

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ'NDE BİNA İÇİ RADON
KONSANTRASYONLARININ NÜKLEER İZ DEDEKTÖRLERİ
KULLANILARAK BELİRLENMESİ**

Gökhan BAYRAKTAR

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mehmet Ertan KÜRKCÜOĞLU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI
ISPARTA-2011**

TEZ ONAYI

Gökhan BAYRAKTAR tarafından hazırlanan “Süleyman Demirel Üniversitesi’nde Bina İçi Radon Konsantrasyonlarının Nükleer İz Dedektörleri Kullanılarak Belirlenmesi” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile Süleyman Demirel Üniversitesi Fizik Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

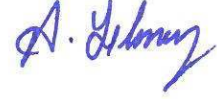
Danışman : Yrd. Doç. Dr. Mehmet Ertan KÜRKÇÜOĞLU
Süleyman Demirel Üniversitesi Fizik Anabilim Dalı



Jüri Üyeleri :
Doç. Dr. Abdullah KAPLAN
Süleyman Demirel Üniversitesi Fizik Anabilim Dalı



Yrd. Doç. Dr. Alaiddin YILMAZ
Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fizik Anabilim Dalı



Doç. Dr. Mehmet Cengiz KAYACAN
Enstitü Müdür Vekili

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Radyasyon Fiziğinde Kullanılan Bazı Kavramlar	1
1.2. Radyasyon Çeşitleri	2
1.2.1. İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon	3
1.2.2. İyonlaştırıcı Radyasyon	3
1.2.2.1. Alfa Radyasyonu	4
1.2.2.2. Beta radyasyonu	4
1.2.2.3. Gama radyasyonu	5
1.3. Radyasyon Kaynaklarının Sınıflandırılması.....	5
1.3.1. Doğal radyasyon.....	5
1.3.2. Yapay radyasyon	7
1.4. Radyoaktif Bozunma ve Yarı Ömür.....	7
1.4.1. Toryum serisi.....	9
1.4.2 Aktinyum serisi	10
1.4.3. Uranyum serisi	11
1.5. Radyum	15
1.6 Radyasyon Birimleri.....	15
1.7. Radon.....	17
1.7.1. Toprakta Radon	18
1.7.2. Sularda Radon	19
1.7.3. Atmosferde Radon.....	19
1.8. Kapalı mekanlarda Radon ve Radonun binalara giriş mekanizması.....	20
1.9. İyonlaştırıcı Radyasyonun Biyolojik Etkileri.....	23

1.9.1. Radyasyonun etkileşme mekanizmaları	24
1.9.1.1. Direkt etki.....	25
1.9.1.2. Dolaylı (kimyasal) etki.....	26
1.10. İyonlaştırıcı radyasyonların biyolojik etkilerine tesir eden faktörler	26
1.10.1. Radyasyonun karakteristikleri	26
1.10.2. Hedefin karakteristikleri.....	27
1.11. Radyasyona maruz kalma veya ışınlanma.....	27
1.12. Radonun Sağlık Üzerine Etkileri.....	29
1.13. Sınır Değerler	31
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	33
3. MATERYAL VE YÖNTEM	41
3.1. Radon Ölçüm Teknikleri	41
3.1.1. Laboratuarda Radon ölçümleri	41
3.1.2. Sahadaki Radon konsantrasyonu ölçümleri	44
3.1.2.1. Pasif cihazlar	45
3.1.2.2. Aktif cihazlar	45
3.1.3. Kısa ve uzun dönem ölçümleri.....	46
3.2. Kullanılan Yöntem	46
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	55
4.1. Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Ölçümleri	56
4.2. Bilgi İşlem Merkezi Ölçümleri.....	63
4.3. Ziraat Fakültesi Ölçümleri.....	66
4.4. Atatürk Spor Salonu Ölçümleri.....	71
4.5. Hukuk Fakültesi Ölçümleri	74
5. SONUÇ	80
6. KAYNAKLAR.....	83
ÖZGEÇMİŞ.....	90

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ'NDE BİNA İÇİ RADON KONSANTRASYONLARININ NÜKLEER İZ DEDEKTÖRLERİ KULLANILARAK BELİRLENMESİ

Gökhan BAYRAKTAR

**Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı**

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mehmet Ertan KÜRKÇÜOĞLU

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, üst solunum yollarında 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, 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/m^3 , 279 Bq/m^3 , 265 Bq/m^3 , 324 Bq/m^3 ve 173 Bq/m^3 olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca bu birimleri kullanan personel ve öğrencilerin radon nedeniyle alacakları 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: Isparta Süleyman Demirel Üniversitesi, radon ölçümü, bina içi atmosferik radon konsantrasyonu, CR-39 nükleer iz dedektörü, etkin doz.

2011, 91 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

DETERMINATION OF INDOOR RADON CONCENTRATIONS AT SÜLEYMAN DEMİREL UNIVERSITY BY USING NUCLEAR TRACK DETECTORS

Gökhan BAYRAKTAR

Süleyman Demirel University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Physics Department

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Mehmet Ertan KÜRKÇÜOĞLU

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 formation of cancer in the upper respiratory system. 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) in the Süleyman Demirel University, which has been established on an area of approximately 10 thousand decares. The measurements were performed in the Faculty of Agriculture, Faculty of Law, the Atatürk Sports Hall, School of Engineering and Architecture, Information Processing Centre by using CR-39 nuclear etched track detectors in 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/m^3 , 279 Bq/m^3 , 265 Bq/m^3 , 324 Bq/m^3 and 173 Bq/m^3 respectively. Furthermore, the doses taken by personnel 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: Isparta Süleyman Demirel University, radon measurement, atmospheric indoor radon concentration, CR-39 nuclear track detector, effective dose.

2011, 91 pages

TEŐEKKÖR

Bu alıŐma için beni yönlendiren, tez yazımının her aŐamasında benden yardımlarını esirgemeyen, karŐılaŐtıŐım her türlü zorluklarda sabır ve istekle yol gösterici olan deŐerli danışman hocam Yrd. Doç. Dr. M. Ertan KÜRKÇÜOĞLU'na teŐekkürlerimi sunarım. Ayrıca katkılarından dolayı Doç. Dr. Abdullah KAPLAN'a ve Yrd. Doç. Dr. Alaidin YILMAZ'a teŐekkürlerimi sunuyorum.

Bu alıŐma, Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi BaŐkanlıŐı tarafından 2150-YL-10 nolu proje ile desteklenmiŐtir. Desteklerinden dolayı Süleyman Demirel niversitesi'ne ayrıca teŐekkr ederim.

Tez alıŐması süresince bilgi alıŐveriŐinde bulunduğum ve bana yardımcı olan arkadaşlarım, Gökhan COF ve Vahap KARAKILIÇ'a, deŐerli arkadaşım AraŐ. Gör. DurmuŐ Ali ALDEMİR'e ve tezimin tamamlanması sürecinde bana her konuda destek veren çok kıymetli aileme sonsuz teŐekkr ederim.

Gökhan BAYRAKTAR

ISPARTA, 2011

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Madde üzerinde meydana getirdiği etkilere göre radyasyonun sınıflandırılması	2
Şekil 1.2. Dünya genelinde doğal ve yapay radyasyon kaynakları nedeniyle maruz kalınan radyasyon düzeyleri	6
Şekil 1.3. ²³² Th (Toryum) bozunma zinciri (Değerlier, 2007)	10
Şekil 1.4. ²³⁵ U (Aktinyum) bozunma zinciri (Değerlier, 2007)	11
Şekil 1.5. ²³⁸ U (Uranyum) bozunma zinciri (Baldık, 2006)	13
Şekil 1.6. Doğal radyasyon kaynakları sebebiyle maruz kalınan radyasyon dozları yüzdesi (Karadem, 2011)	18
Şekil 1.7. Radon konsantrasyonunun bina içinde havalandırma ile zamanla değişimi	21
Şekil 1.8. Radonun bina içine giriş biçimleri (WEB, 2010)	22
Şekil 2.1. Ülkelere göre ortalama radon konsantrasyonları (WEB, 2011)	36
Şekil 2.2. Avrupa ülkelerine ait yayınlanmış Radon haritaları (Dubois, 2005)	38
Şekil 2.3. Çizelge 2.1'deki verilere göre çizilen Türkiye Radon haritası (Karakılıç vd., 2010)	40
Şekil 3.1. CR-39 nükleer iz dedektörü bulunduran difüzyon kabı (Karadem, 2011)	48
Şekil 3.2. Radoslide dedektör tutucu	49
Şekil 3.3. İz kazıma işleminin yapıldığı Radobath ünitesi	50
Şekil 3.4. Yayılan alfa parçacıklarının dedektör üzerinde meydana getirdiği izler. ..	51
Şekil 3.5. Radosys değerlendirme ünitesi	52
Şekil 4.1. Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi için ortalama atmosferik Radon gazı düzeyleri	61
Şekil 4.2. Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi'ndeki ölçüm yapılan yerlerde maruz kalınacak yıllık etkin dozlar	62
Şekil 4.3. Bilgi İşlem Merkezi için dedektörlerin kayıt ettikleri Radon seviyelerine ait ortalamalar (sonuçlar üretici tarafından öngörülen $\pm\%20$ hata payı ile verilmiştir)	65
Şekil 4.4. Bilgi İşlem Merkezi'ndeki ölçüm yapılan odalarda maruz kalınacak yıllık etkin doz değerleri	65

Şekil 4.5. Ziraat Fakültesi ölçümlerinden elde edilen ortalama atmosferik Radon gazı seviyeleri	69
Şekil 4.6. Ziraat Fakültesi'ndeki ölçüm yapılan odalarda alınacak yıllık etkin dozlar.....	70
Şekil 4.7. Spor Salonu'nda ölçüm yapılan yerlerdeki ortalama atmosferik Radon konsantrasyonları	73
Şekil 4.8. Atatürk Spor Salonu için belirlenen yıllık etkin doz eşdeğerleri	73
Şekil 4.9. Hukuk Fakültesi için ölçüm yapılan odalardaki 2010 yaz mevsimi ortalama Radon gazı düzeyleri.....	77
Şekil 4.10. Hukuk Fakültesi'nde maruz kalınan etkin dozlar	78

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Bazı Radyoaktif izotoplar ve yarı ömürleri (Turhan, 2008).....	8
Çizelge 1.2. Doğal Radon izotopları	12
Çizelge 1.3. Uranyum bozunma serisindeki radyoizotopların yayınladığı radyasyonların enerjileri (Baldık, 2006).....	14
Çizelge 1.4. Radiumun doğal izotopları (Karadem, 2011).....	15
Çizelge 1.5. Radyasyon birimleri ve dönüşümleri.	16
Çizelge 1.6. Bazı yapı malzemelerinin Radon yoğunlukları (Bq/m ³) (Akyıldırım, 2005).....	22
Çizelge 2.1. Avrupa bina içi Radon düzeyleri için bazı istatistikler (Dubois, 2005).37	
Çizelge 2.2. Türkiye'nin bazı illerindeki bina içi Radon konsantrasyonları (Karakılıç vd., 2010).....	39
Çizelge 3.1. Ölçümlerde kullanılan CR-39 nükleer iz dedektörlerinin teknik özellikleri (Radosys WEB, 2010).....	49
Çizelge 3.2. İz kazıma ünitesine ait teknik özellikler (Radosys WEB, 2010).....	51
Çizelge 3.3. Mikroskop ünitesi (Radosys WEB, 2010).....	52
Çizelge 3.4. Setin operasyonel özellikleri (Radosys WEB, 2010).....	52
Çizelge 3.5. Katıhal nükleer iz dedektörleri ile atmosferik radon ölçümü yapılan bazı okullarda maruz kalınan doz hesaplamaları için kullanılan denge faktörleri	54
Çizelge 4.1. Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi'nde kullanılan 16 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. Arıca dedektör takılış ve sökölüş tarihlerinde alınan sıcaklık ve nem ölçümleri de verilmektedir).....	59
Çizelge 4.2. Bilgi İşlem Merkezi ölçümlerinde kullanılan CR-39 dedektörlerinin konumlandığı yerler, oda kullanım alanı bilgileri, bu dedektörün zeminden yükseklikleri, ölçüm noktalarında 17.05.2010 ve 12.07.2010 tarihlerinde alınan nem ve sıcaklık ölçümü bilgileri ile bu tarihler arasında nükleer iz dedektörlerinin kayıt ettikleri atmosferik Radon	

konsantrasyonları ve bu konsantrasyonlara karşılık gelen yıllık etkin doz eşdeğerleri.....	64
Çizelge 4.3. Ziraat Fakültesi'ndeki nükleer iz dedektörlerinin analizleinden elde edilen atmosferik Radon konsantrasyonları ve yıllık etkin doz eşdeğerleri bu dedektörlere ait konum bilgileri, ölçüm noktalarındaki nem, sıcaklık ve kullanım alanı bilgileri ile verilmektedir	68
Çizelge 4.4. 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. Ayrıca, dedektörler takılır ve sökülürken ölçülen sıcaklık ve nem değerleri her bir ölçüm noktası için verilmektedir	72
Çizelge 4.5. Hukuk Fakültesi'ne yerleştirilen dedektörlerin konumları, ölçüm yapılan yerlerdeki nem, sıcaklık, kullanım alanı bilgileri ile nükleer iz dedektörlerinin bu noktalarda kayıt ettiği atmosferik Radon seviyeleri ve hesaplanan yıllık doz düzeyleri.....	76
Çizelge 4.6. S.D.Ü. birimlerindeki ortalama Radon düzeyleri ve maruz kalınacak yıllık doz eşdeğerleri	79

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Bq	Becquerel
Ci	Curie
eV	Elektron Volt
EPA	Çevre Koruma Ajansı (Environmental Protection Agency)
Gy	Gray
IAEA-BSS	Uluslar arası Atom Enerji Ajansı Temel Güvenlik Standartları
ICRP	Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi (International Commission on Radiological Protection)
RAC	Radon aktivite konsantrasyonu
Rn	Radon
Sv	Sievert
T	Sıcaklık
TAEK	Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
U	Uranyum
UNSCEAR	Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation)
H _{wb}	Tüm vücut doz eşdeğeri
H _T	T dokusunun doz eşdeğeri
W _T	T dokusu için ağırlık faktörü
WHO	Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization)
α	Alfa parçacığı
β	Beta parçacığı
γ	Gama Işını
SANAEM	Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi

1. GİRİŞ

1.1. Radyasyon Fizikinde Kullanılan Bazı Kavramlar

Çekirdek için ayırt edici fiziksel bir özellik olan radyoaktivite, proton ve nötronlardan (nükleonlardan) meydana gelen atom çekirdeğinin kararlı ve kararsız durumlarıyla ilintilidir. Atom çekirdeğinin kararlı bir yapı sergileyebilmesi, çekirdekte bulunan nötron ve proton sayıları arasındaki dengeye bağlıdır. Genellikle, nötron sayısının proton sayısına oranı 1.5 'dan küçük olan çekirdekler kararlı ya da az kararlı, bu oranın 1.5'dan büyük olduğu çekirdekler ise kararsızdır. Radyoaktivitenin keşfi 1896 yılında H. Becquerel'in yaptığı çalışmalara dayanır. Temelde radyoaktivite, kararsız olan bir elementin çekirdeğinden radyasyon salmasıyla kararlı bir elemente dönüşmesi olayıdır. Çekirdek kararsızlığı arttıkça radyoaktif olma özelliği artar. Bu süreçte yayınlanan radyasyon formları tarihsel olarak Rutherford tarafından alfa (α), beta (β), gama (γ) radyasyonu olmak üzere üç ana başlıkta toplanmıştır; α -parçacıkları iki proton ve iki nötrondan oluşan helyum çekirdekleridir, β -parçacıkları yüksek enerjili elektronlar iken, γ -ışınları da çekirdekte yayınlanan yüksek enerjili fotonlardır.

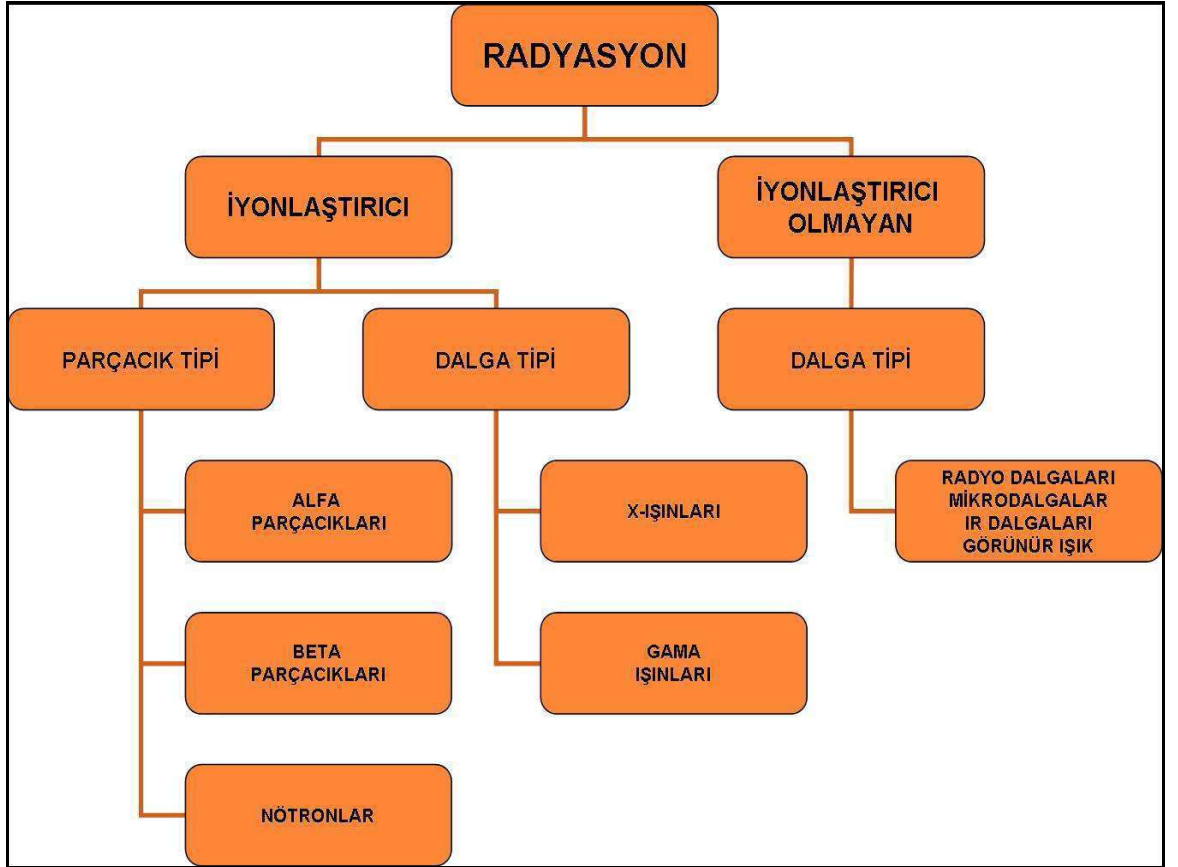
Radyasyon, parçacık ya da elektromagnetik dalga formundaki enerji mobilizasyonudur. Her daim doğada bulunan ve sürekli olarak maruz kaldığımız iyonlaştırıcı radyasyon hakkındaki ilk çalışma X-ışınının keşfi ile başlanmış, incelenen Uranyum tuzunda (kristallerde) doğal radyasyonun keşfedilmesiyle, radyasyon alanındaki çalışmalar giderek hızlanmış ve günümüzde de artarak devam etmektedir.

Dünyadaki tüm canlıları etkileyen çevresel radyoaktivitenin belirlenmesi insan sağlığı açısından günümüzde oldukça önemli bir yer teşkil etmektedir. Doğal radyoaktif elementlerin kendi kendine enerji (radyasyon) yaymaması doğal radyoaktivite ve kararlı çekirdeklerin çeşitli dış etkilerle kararsızlaştırılarak radyoaktif hale getirilmesi sonucunda çekirdeğin radyasyon yayması işlemi ise yapay radyoaktivite olarak adlandırılır. Bilinen en temel doğal radyasyon kaynakları; yaşadığımız evren, yerküre ve güneştir. Radyasyon ayrıca; endüstri, tıp ve araştırma amaçlı kullanım için insan eliyle de üretilmektedir. Doğal radyoaktivite seviyelerinin belirlenmesi çalışmaları, insanların nükleer santralleri ve hızlandırıcıları kullanmaya

başlamaları ve bu tür radyasyon üretebilme potansiyeli olan tesislerin çevre üzerindeki etkilerinin araştırılmaya başlanması ile ivme kazanmıştır.

1.2. Radyasyon Çeşitleri

İnsanlar hemen her gün yaşadığı çevredeki farklı formlardaki radyasyonların etkisinde kalmaktadır. Radyasyon, madde üzerinde ve aynı zamanda canlı hücrelerinde meydana getirdiği etkilere göre; iyonlaştırıcı radyasyon (kozmetik ışınlar, X-ışınları, gama ışınları, nötronlar, alfa ve beta radyasyonları v.b.) ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon (ultraviyole, kızılötesi, radyo dalgaları, mikrodalgalar v.b.) olmak üzere iki ana başlık altında sınıflandırılabilir (Şekil 1.1.).



Şekil 1.1. Madde üzerinde meydana getirdiği etkilere göre radyasyonun sınıflandırılması

1.2.1. İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon

İyonlaşma, atom veya moleküllerin toplam yükleri üzerinde meydana getirilen pozitif veya negatif değişik sonucu oluşur. Belirli bir enerjideki radyasyon değişik tür atomlar veya moleküller üzerinde farklı derecede iyonizasyon etkisi gösterebilir. Bu yüzden, radyasyon bir ortam için iyonlaştırıcı iken başka bir ortamda bu özelliğe sahip olmayabilir. İyonlaştırıcı olmayan radyasyon, madde ile etkileştiğinde herhangi bir iyonizasyona neden olmayan radyasyondur ve genellikle 124 eV dan daha düşük enerjili radyasyon iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olarak nitelenir. Radyo ve televizyon dalgaları, mikro dalgalar, görünür ışık madde ile etkileştiğinde herhangi bir iyonizasyona yol açmadığı için iyonlaştırıcı olmayan radyasyona örnek olarak verilebilir. Ana kaynağı güneş olan ultraviyole ışınlar da iyonlaştırıcı değildir ve basit bir şekilde engellenebilir olduğundan maddeden geçebilmesi çok zordur. Atmosfer tabaka katmanları, mevsimlerin durumu ve jeolojik etmenler güneşten gelen ışıkların miktarını belirleyici sebeplerdendir.

1.2.2. İyonlaştırıcı Radyasyon

124 eV dan daha yüksek enerjiye sahip (frekansı 2500 GHz den büyük olan) radyasyon madde ile etkileştiğinde iyonlaşmaya neden olabilir. Atom veya moleküller ile etkileştiğinde iyonlaşmaya neden olan radyasyona, iyonlaştırıcı radyasyon veya iyonlaştırıcı radyasyon adı verilir. X-ışınları, gama ışınları, beta parçacıkları (negatron ve pozitronlar), protonlar, alfa parçacıkları ve nötronlar en temel iyonlaştırıcı radyasyon çeşitleridir (Karadem, 2011). İyonize radyasyon, doğrudan veya dolaylı yoldan iyonlaşmaya sebep olabilir. Doğrudan iyonlaştırıcı radyasyon pozitronlar, negatronlar, protonlar, alfa-parçacıkları ve diğer ağır iyonlar gibi yüklü parçacıklardır. Herhangi bir doğrudan iyonlaştırıcı radyasyon madde ile etkileşime girince, ortamdaki atom veya molekülleri anında iyonlaştırabilir. Yüksüz radyasyonun (X-ışını, gama ışını, nötronlar vb.) madde ile etkileşmesi sonucu oluşan ikincil radyasyon sayesinde ortamın iyonlaştırılması olayı ise dolaylı yoldan iyonlaştırma mekanizmasını tanımlamaktadır. Bir atomun elektronunun yörüngesinden çıkması ya da elektron yörüngesindeki değişimler yüksek enerjili

parçacıkların atom yakınından geçerken oluşturdukları iyonlaştırıcı radyasyonun etkileridir (Değerlier, 2007).

1.2.2.1. Alfa Radyasyonu

Bir kağıt parçası veya cildimiz tarafından durdurulabilir olan alfa radyasyonu, helyum atomunun çekirdeği olup α sembolü ile gösterilir. +2 değerlikte yüke sahip olan α -parçacıklarının çekirdek reaksiyonlarında 4_2He biçiminde gösterilmesi de yaygındır.



Radyum-226 çekirdeğinin daha kararlı hale gelmek için Radon-222'ye bozunmasında (Denklem 1.1'de) olduğu gibi, radyoaktif çekirdeklerin bozunma sürecinde alfa parçacıkları yayınlanabilir. Doğal kaynaklı alfa parçacıklarının enerjileri 2-10 MeV arasındadır ve elektrik yüklerinin büyük olması sebebiyle madde içerisinden geçerken yüksek yoğunlukta iyonlaşma meydana getirerek tamamen soğrularak sahip oldukları enerjiyi kaybederler. Bu durum alfa parçacıklarının madde içindeki erişim mesafelerinin kısa olduğu anlamına gelir ki, bu yüzden alfa parçacıkları zırhlanması kolay bir radyasyon tipidir. Hava ortamı bile düşük enerjili alfa parçacıklarının zırhlamasında etkili olabilir. Ortamda bulunan katı maddeler zırhlamayı güvenli kılar ki bu nedenden ötürü alfa parçacıkları çok önemli bir dış radyasyon tehlikesi oluşturmaz fakat vücut içine girişi durumunda tehlikelidir. Çünkü; burada alfa parçacıklarının menzili kısa olduğundan bütün enerjilerini direkt olarak temas ettikleri canlı dokularla aktarırlar ve canlı dokulara zarar verebilirler (Baldık, 2006).

1.2.2.2. Beta radyasyonu

Çekirdeğin fazla protonundan veya nötronundan bir nötronu protona veya bir protonu nötrona dönüştürerek kurtulması beta bozunmasıdır. İki farklı yolla gerçekleşebilen bu işlemde elektrik yükünün korunabilmesi için yüklü başka bir parçacığın bulunması gerekmektedir.

$$\begin{aligned} n &\rightarrow p + e^- + \bar{\nu} && (\beta^- \text{ bozunumu}) \\ p &\rightarrow n + e^+ + \nu && (\beta^+ \text{ bozunumu}) \end{aligned} \quad (1.2)$$

Beta parçacıkları alfa parçacıkları gibi kolay durdurulamazlar çünkü kütleleri küçüktür. Enerjilerine bağlı olarak havada birkaç metre gidebilirler ve madde içine nüfuz edebilmeleri için yüksek enerjilere çıkmaları gerekmektedir. Böylece dış radyasyon tehlikeleri vardır. Beta parçacıkları, alfa parçacıkları gibi vücut içine girdiklerinde tüm enerjilerini canlı dokulara bırakırlar ve dolayısıyla iç radyasyon tehlikesi oluştururlar (Baldık, 2006).

1.2.2.3. Gama radyasyonu

Gama ışınları radyoaktif bozunmalar ya da nükleer reaksiyonlar sonucu oluşan çekirdekten yayınlanan yüksek enerjili ve kısa dalga boylu elektromagnetik ışınlardır. Bir çekirdekte alfa veya beta ışınları meydana geldikten sonra çoğu zaman çekirdek uyarılmış hale geçer ve gama radyasyonu yayınlanır. Enerjileri yüksek olan Gama ışınları birkaç santimetre kurşundan geçebilir, doğrudan doğruya iyonlaştırıcı değildir fakat meydana getirdikleri elektronlarla bunu gerçekleştirebilirler.

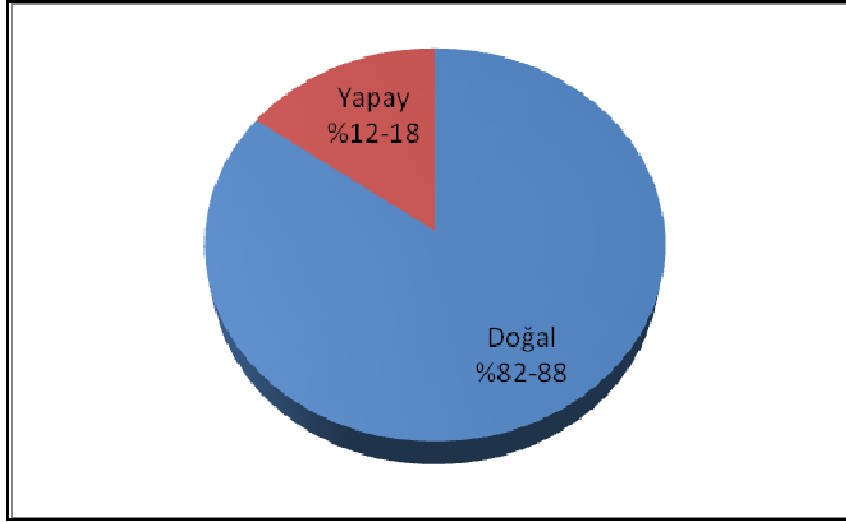
1.3. Radyasyon Kaynaklarının Sınıflandırılması

Maruz kaldığımız radyasyon kaynakları; su, bazı gıdalar, kozmik ışınlar, yer kabuğunda bulunan radyonüklidler gibi doğal veya bütünüyle yapay olabilmektedir.

1.3.1. Doğal radyasyon

Canlılar uzay kaynaklı kozmik ışınların ve yerkürede bulunan doğal radyoaktif maddelerin yayınladığı çeşitli radyasyonların etkisinde hayatlarını devam ettirmektedirler. Yaşadığımız coğrafyada bulunan doğal radyoizotopların çeşidine ve konsantrasyonuna göre, hayatımızı sürdürebilmek için ihtiyaç duyduğumuz su ve gıda maddeleri, bulunduğumuz bölgenin toprağı ve barınma için kullandığımız yapı malzemeleri az veya çok miktarda radyasyon ihtiva eder. Özellikle dünyanın oluşumundan itibaren kendine yer edinen oldukça uzun yarı-ömürlü radyoaktif elementler doğal radyasyon düzeyine ciddi bir katkıda bulunmaktadır. İnsanların

doğal kaynaklı radyasyondan aldığı doz miktarı önemlidir çünkü dünya nüfusunun maruz kaldığı ortalama radyasyon dozunun büyük bir kısmı (%82-%88 lik bir kısmı) doğal kaynaklar nedeniyle oluşmaktadır (Şekil 1.2.).



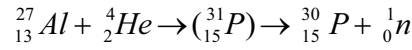
Şekil 1.2. Dünya genelinde doğal ve yapay radyasyon kaynakları nedeniyle maruz kalınan radyasyon düzeyleri

Toprak yapısı, binaların yapımında kullanılan malzemeler, yaşanan yer, mevsimler maruz kalınan doğal radyasyon seviyesini etkileyen faktörlerdendir. Doğal radyasyon kaynaklarının kendi arasındaki dağılımına bakıldığında ise; kozmik ışınların 0.39mSv/yıl, gama radyasyonunun 0.46mSv/yıl, Radonun 1.30mSv/yıl, yiyecek ve vücut içi ışınlamaların ise 0.25mSv/yıl düzeyinde doğal radyoaktiviteye katkı verdikleri söylenebilir.

Yer yüzeyi ve yer kabuğu birçok fiziksel ve meteorolojik olaya dünyanın oluşumu sırasında ağır bir biçimde maruz kalmıştır. Bu sebepten, yüksek yoğunlukta ve dünyanın üst kabuğunda doğal radyoaktif madde olan Toryum, Uranyum ve potasyum bulunmaktadır. Uranyum yoğunluğu yer kabuğunun 10 km deriliğinin hemen her yerinde bulunmaktadır ve denizlerde 4×10^9 ton, dünyada 1 km kalınlığında yaklaşık 10^{12} ton olduğu düşünülmektedir (Karadem, 2011). Uranyum ve bozunma ürünleri en büyük radyasyon kaynağıdır.

1.3.2. Yapay radyasyon

İnsanlar, tıp, enerji üretimi endüstri, hayvancılık, tarım gibi birçok alanda kullanımı kaçınılmaz olan yapay kaynaklar nedeni ile doz almaktadır. Radyoaktiflik özelliğini dışarıdan bir etkiyle kazanan çekirdeğin dışarıya yaydığı radyasyona yapay radyasyon denir. Yapay radyoaktivite hafif elementlerin alfa bombardımanına tutularak nötron elde etme çalışmaları esnasında keşfedilmiştir. Yapılan çalışmada; helyum çekirdeği ile $^{27}_{13}\text{Al}$ atomu çarpıştırılarak, $^{30}_{15}\text{P}$ çekirdeği elde edilmiş ve nötron açığa çıkmıştır.



Denklem 1,3'de verilen bozunma bağıntısına göre radyoaktif olan $^{30}_{15}\text{P}$, 2.5 dakika sonra pozitron (β^+) yayımlayarak $^{30}_{14}\text{Si}$ çekirdeğine bozunmuştur. Böylece ilk kez pozitron yayımlayan radyoaktif bir izotop ve yapay olarak radyoaktif bir madde elde edilmiştir (Akyıldırım, 2005).

1.4. Radyoaktif Bozunma ve Yarı Ömür

Doğada bulunan elementlerin bir kısmı kararsız çekirdeklere sahipken bir kısmı da kararlı çekirdeklere sahiptir. Nötronların ve protonların kararlı çekirdeklerde birbirlerine nükleer kuvvet ile çok sıkı bağlanmasından dolayı çekirdek dışına hiçbir parçacık çıkamaz. Parçacıkların çekirdekten dışarı çıkamama durumu çekirdeğin dengede olduğunu gösterir. Kararsız radyoaktif çekirdekler ise dengeye ulaşmak için radyasyon yayarlar. Radyoaktivite hiçbir zaman durdurulamayacak ve yavaşlatılamayacak bir olgudur ve bu sebeple dışarıdan herhangi bir etkiyle kontrol edilemez (Karadem, 2011).

Radyoaktif bir maddenin herhangi bir t anındaki radyoaktif çekirdeklerinin sayısı $N(t)$ ise ve bu radyoaktif çekirdeklerin sayısının zamana göre değişimini;

t ile t+dt zaman aralığında bozunan çekirdeklerin sayısı; $dN(t)$;

t anındaki radyoaktif çekirdeklerin sayısı; N(t) dt bozunma süresi ile doğru orantılıdır (dN(t) ~ N(t)dt). Radyoaktif çekirdeklerin birim zamandaki bozunma olasılıklarının λ (bozunum/s) gibi bir değişmez olduğu varsayılarak bu orantı, λ bozunma değişmezi kullanılarak,

$$dN(t) = -\lambda N(t)dt \quad (1.4)$$

şeklinde tanımlanabilir. Buradaki (-) işareti, radyoaktif bozunumdan kaynaklanan radyoaktif çekirdeklerin sayısındaki azalmayı göstermektedir.

Radyoaktif bir maddenin atomlarının sayısının yarıya inmesi için geçen zamana yarı ömür denir. Yarı ömür (T) ile bozunma sabidi (λ) arasındaki ilişki (1.5) bağıntısı ile elde edilebilir. t=T ve N(t)= N₀/2 olduğundan;

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T} \quad (1.5)$$

bağıntısı elde edilir ve bu bağıntıdan;

$$T = \frac{0,693}{\lambda} \quad (1.6)$$

yarı ömür ile bozunma sabitinin ters orantılı olduğunu gösteren eşitlik yazılabilir. Çizelge 1.1.'de bazı izotoplara ilişkin yarı ömür ve radyasyon türleri verilmektedir.

Çizelge 1.1. Bazı Radyoaktif izotoplar ve yarı ömürleri (Turhan, 2008)

Element	İzotop	Yarı Ömür	Yaydığı Radyasyon
Hidrojen	${}^3_1\text{H}$	12 yıl	Beta
Karbon	${}^{14}_6\text{C}$	5730 yıl	Beta
Fosfor	${}^{32}_{15}\text{P}$	14 gün	Beta
Potosayum	${}^{40}_{19}\text{K}$	1.28x10 ⁹ yıl	Beta ve gama
Kobalt	${}^{60}_{27}\text{Co}$	5 yıl	Beta ve gama
Stronsiyum	${}^{90}_{38}\text{Sr}$	28 yıl	Beta
İyot	${}^{131}_{53}\text{I}$	8 gün	Beta ve gama

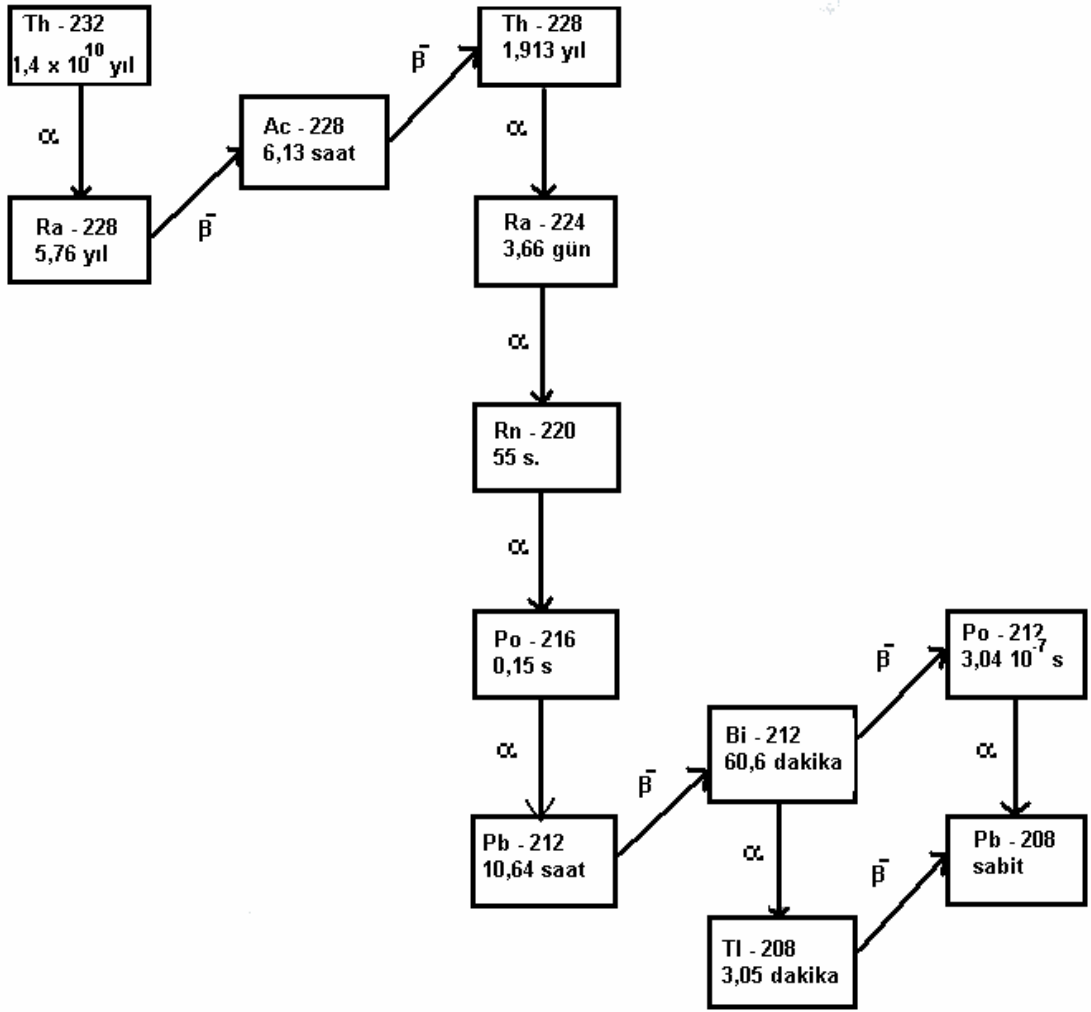
Çizelge 1.1. (devam)

Sezyum	$^{137}_{55}\text{Cs}$	30 yıl	Beta
Polonyum	$^{214}_{84}\text{Po}$	1.6×10^{-4} saniye	Alfa ve gama
Radyum	$^{226}_{88}\text{Ra}$	1600 yıl	Alfa ve gama
Uranyum	$^{235}_{92}\text{U}$	7.1×10^8 yıl	Alfa ve Gama
	$^{238}_{92}\text{U}$	4.5×10^9 yıl	Alfa

Ağır çekirdeklerden başlayarak bir dizi bozunmadan sonra kararlı kurşun izotoplarına dönüşen doğal radyoaktif elementler, bozunma serilerinin elemanları olarak doğada bulunmaktadır. ^{238}U , ^{235}U ve ^{232}Th doğada bulunan üç önemli ağır radyoizotoptur ve her üçü de farklı bir bozunma serisinin başlangıç elemanını oluştururlar (Baldık, 2006).

1.4.1. Toryum serisi

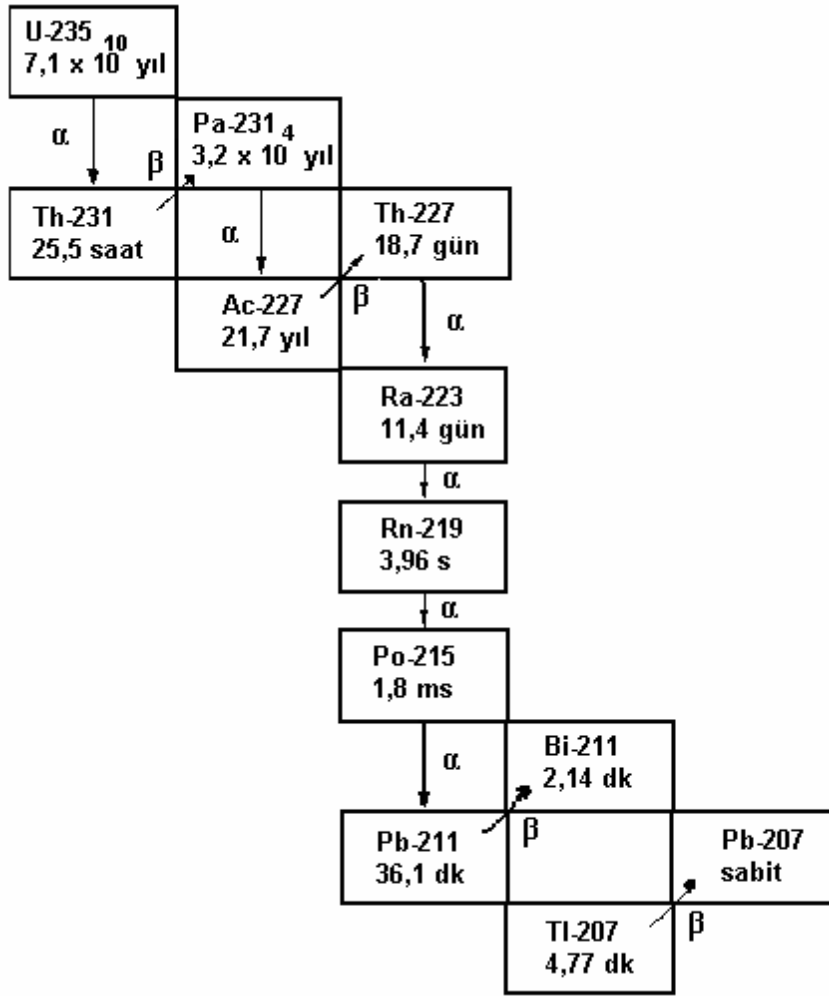
12 nüklit serisinin başı ^{232}Th dir. ^{238}U ve ^{232}Th serilerinin birbirleriyle güçlü benzerlikleri vardır. Bu seriler aynı elementlerin (Bizmut, Polonyum, Kurşun, Radon, Radyum) izotopları olup çoğu α parçacıklarını yayınlamaya bozunurlar. ^{232}Th nin zincirdeki çok uzun ömürlü tek radyonüklit olması onu ^{238}U den ayıran en temel farktır. Şekil 1.3' de ^{232}Th nin bozunma zinciri verilmiştir.



Şekil 1.3. ^{232}Th (Toryum) bozunma zinciri (Değerlier, 2007)

1.4.2 Aktinyum serisi

ABD'li nükleer fizikçi Dempster tarafından keşfedilen ^{235}U , 143 nötron ve 92 proton dan oluşan Uranyum izotopudur. ^{235}U 'i ^{238}U 'den ayıran en önemli özellik zincirleme fisyon reaksiyonu oluşturabilmesi ve doğada az miktarda bulunmasıdır. Yarılanma ömrü 7.038×10^8 yıl olan ^{235}U in bozunması sonucu ^{231}Th izotopu oluşur. Doğadaki toplam doğal Uranyumun kütle olarak yalnızca % 0.72'si ^{235}U 'dir (Değerlier, 2007). Geri kalanın çoğunluğunu da ^{238}U sağlamaktadır. Şekil 1.4.'de ^{235}U 'in bozunum zinciri verilmiştir.



Şekil 1.4. ^{235}U (Aktinyum) bozunma zinciri (Değerlier, 2007)

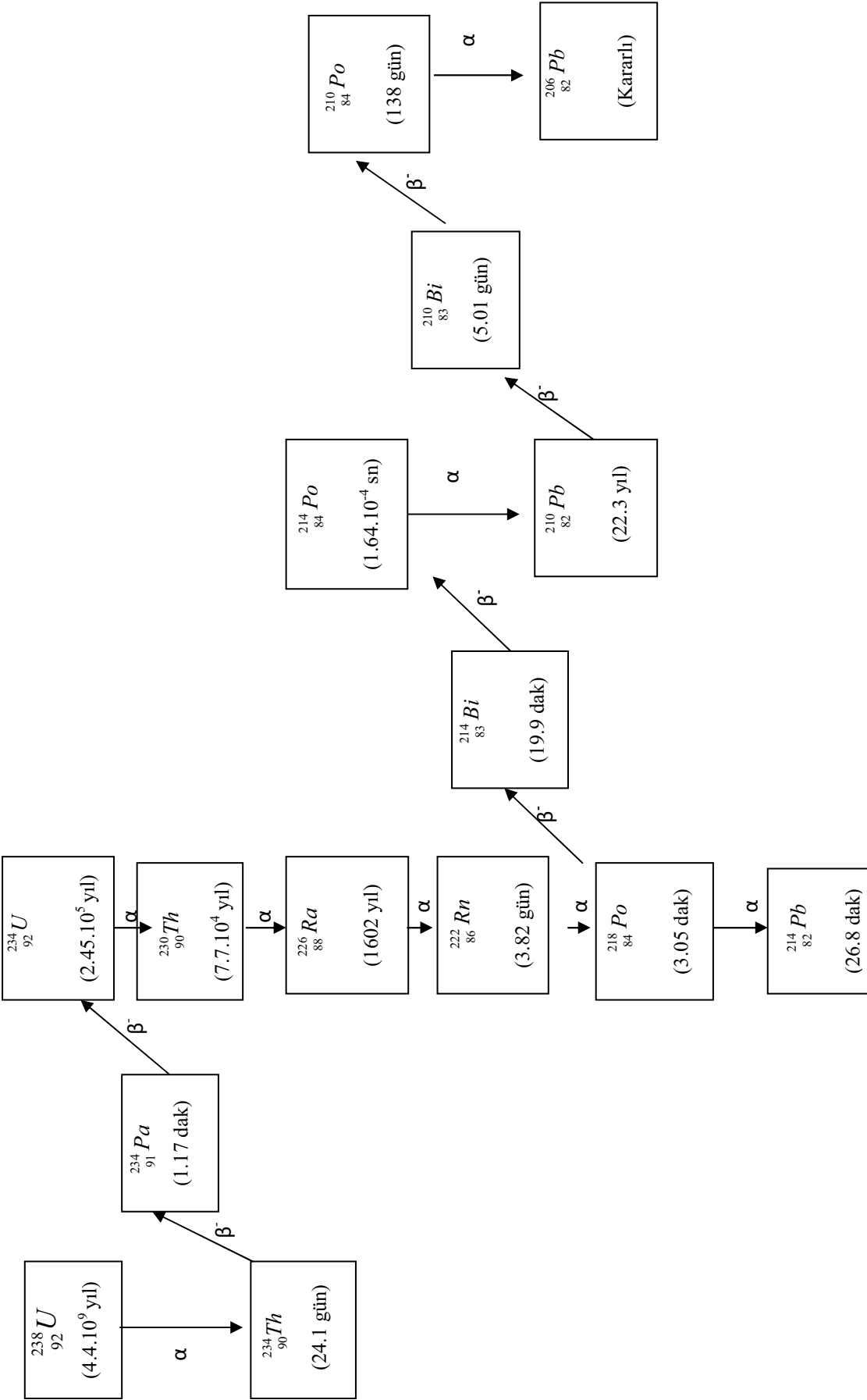
1.4.3. Uranyum serisi

Esas çekirdeğin başı olan ve alt serilere bölünen ^{238}U , 146 nötron ve 92 proton dan oluşan, doğada en sık rastlanan Uranyum izotopudur. $4,46 \times 10^9$ yarılanma ömrü olan ^{238}U , 5 radyoaktif ışımaya yaparak bozunur. ^{238}U kaynaklı Uranyum bozunum serisi, ^{238}U kaynaklı Aktinyum bozunum serisi ve ^{232}Th kaynaklı Toryum bozunum serileri son kararlı çekirdek olan kurşun izotopu dışında radyoaktiftir ve doğal radyoaktivenin başlıca sorumluları olan radyoizotoplardandır. Şekil 1.4.'te ^{238}U in bozunma zinciri verilikten, Çizelge 1.3.'te Uranyum bozunma serisindeki radyoizotopların yayınladığı radyasyonların enerjileri verilmektedir.

Doğal radyasyon kaynaklarının etkisiyle canlıların maruz kaldığı radyoaktivitenin başlıca sorumlusu olan Radon ^{238}U , ^{232}Th ve ^{235}U bozunma serilerinden gelen üç doğal radyoizotopa sahiptir. ^{219}Rn (aktinon), Aktinyum serisinin, ^{220}Rn (toron), Toryum serisinin ve ^{222}Rn ise Uranyum bozunma serisinin bir ürünüdür (Çizelge 1.2) ve ^{219}Rn ile ^{226}Rn arasında yirmiden fazla yapay izotopu bulunmaktadır. Bu radyoizotoplar içerisinde ^{222}Rn insanların radyasyona maruz kalmaları açısından ele alındığında en tehlikelidir ve ^{226}Ra nın saldıdığı gaza atfen “radyum emanasyonu” tanımlaması yapılan Radon düzeylerinin belirlenmesi insan sağlığı açısından son derece önemlidir.

Çizelge 1.2. Doğal Radon izotopları

Bozunma Serisi	Ana Element	Ürün Element	Adı	Yarı Ömrü	Bozunma Türü
Uranyum	^{226}Ra	^{222}Rn	Radon (emanon)	3.82 gün	α, γ
Toryum	^{224}Ra	^{220}Rn	Toron	55 s	α, γ
Aktinyum	^{223}Ra	^{219}Rn	Aktinon	3.96 s	α, γ



Şekil 1.5. ^{238}U (Uranium) bozunma zinciri (Baldık, 2006)

Çizelge 1.3. Uranyum bozunma serisindeki radyoizotopların yayınladığı radyasyonların enerjileri (Baldık, 2006)

İzotop	Sembol	Yayınladığı Radyasyon	Temel Radyasyon Enerjileri (MeV)		
			α	β	γ
• Uranyum I	^{238}U	α	4.18		
• Toryum I	^{234}Th	β		0.205	
• ProtAktinyum	^{234}Pa	β		2.32	
• Uranyum II	^{234}U	α	4.76		
• Toryum II	^{230}Th	α	4.68		
• Radyum	^{226}Ra	α	4.78		
• Radon	^{222}Rn	α	5.48		
• Polonyum	^{218}Po	α	6.00		
• Kurşun	^{214}Pb	β ve γ		0.65	0.295
• Bizmut	^{214}Bi	β ve γ		3.13	1.050
• Polonyum	^{214}Po	α	7.68		
• Kurşun	^{210}Pb	β		0.018	
• Bizmut	^{210}Bi	β		1.17	
• Polonyum	^{210}Po	α	5.30		
• Kurşun	^{206}Pb				

1.5. Radyum

Radyuma yer kabuğunun çeşitli tabakalarında Uranyumun bulunduğu yerlerde rastanabilir. Ayrıca, Uranyumun bulunduğu yerlerden uzaklara taşınıp birikmesi de mümkündür çünkü çözünürlüğü yüksektir (Karadem,2011). Kütle numarası 213 den 230' a, yarı ömrü ise 10^{-3} saniyeden 1620 yıla kadar değişebilen Radiumun doğal ve yapay 14 radyoizotopu vardır. Radiumun doğal izotopları Çizelge 1.4.'te gösterilmektedir. Yeraltı sularıyla bağlantılı su kaynakları da radyum ihtiva edebilir.

Çizelge 1.4. Radiumun doğal izotopları (Karadem, 2011)

İzotoplar	Bozunma serisi	Ana Element	Ürün Element	Yarı Ömür
^{228}Ra	^{230}Th	^{230}Th	^{228}Ac	5.8 yıl
^{226}Ra	^{238}U (Uranyum)	^{230}Th	^{222}Rn	1620 yıl
^{224}Ra	^{232}Th (Toryum)	^{228}Th	^{220}Rn	3.66 gün
^{223}Ra	^{235}U (Aktinyum)	^{235}U	^{219}Rn	11.4 gün

1.6 Radyasyon Birimleri

Radyasyon birimleri, aktivite birimleri ve doz birimleri olarak iki kategoride incelenebilir. Aktivite için kullanılan birim Curie (Ci) olup saniyede 3.7×10^{10} parçalanma veya bozunma gösteren maddenin aktivitesi olarak tanımlıdır. Işınlanma birimi olarak Röntgen (R) yaygın şekilde kullanılmaktadır. Normal şartlarda, havanın 1 kilogramında 2.58×10^{-4} C'luk elektrik yükü değerinde pozitif ve negatif iyonlar oluşturan X ve gama ışını miktarıdır. Soğurulan doz birimi olarak bilinen rad, ışınlanan maddenin 1 kg'ına 10^{-2} joule'lük enerji veren parçacık veya foton formundaki radyasyon miktarıdır. Eşdeğer doz birimi Sievert (Sv), kilogram başına soğurulan enerji olup soğurulan doz olarak tanımlanır. Eski birim sistemindeki rad kullanılırsa eşdeğer doz birimi rem (röntgen equivalent man) cinsinden ölçülür.

ICRU (International Commity of Radiation Units – Uluslararası Radyasyon Birimleri Komitesi) MKS birim sisteminin kabul edilmesinin ardından SI birimlerini

tanımlamıştır. Çizelge 1.5'te radyasyon için kullanılan eski ve yeni birimler, dönüşümleriyle birlikte verilmektedir.

Çizelge 1.5. Radyasyon birimleri ve dönüşümleri.

TERİM	ESKİ	YENİ	DÖNÜŞÜM
AKTİVİTE	Curie (Ci) : Saniyede 3.7×10^{10} Parçalanma gösteren radyoaktif madde miktarı.	Bequerel (Bq): Saniyede 1 bir parçalanmayı gösteren radyoaktif madde miktarı.	$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$ $1 \text{ Bq} = 2.7 \times 10^{-11} \text{ Ci}$
İŞINLANMA	Röntgen: Normal hava şartlarında havanın 1kg'ında $2.58 \times 10^{-4} \text{ C}$ ' luk elektrik yükü değerinde pozitif ve negatif iyonlar oluşturan x ve gama ışını miktarıdır.	Coulomb/ kilogram (C/kg) : Normal hava şartlarında havanın 1kg'ında Coulomb'luk elektrik yükü değerinde (+) ve (-) iyonlar oluşturan X veya gama radyasyonu miktarıdır.	$1 \text{ C/kg} = 3876 \text{ R}$ $1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$
SOĞRULMUŞ DOZ	Radiation absorbed doz (rad) : Işınlanan maddenin 1 kg'ına 10^{-2} Joule'lük enerji veren radyasyon miktarıdır.	Gray(Gy) : ışınlanan maddenin 1 kg'ına 1 Joule'lük enerji veren radyasyon miktarıdır.	$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$ $1 \text{ rad} = 0.01 \text{ Gy}$
DOZ EŞDEĞERİ	Röntgen equivalent man (rem) :1 Röntgenlik X veya gama ışını ile aynı biyolojik etkiyi oluşturan herhangi bir radyasyon miktarıdır.	Sievert (Sv) : 1 Gy'lik X ve gama ışını ile aynı biyolojik etkiyi meydana getiren herhangi bir radyasyon miktarıdır.	$1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$ $1 \text{ rem} = 0.01 \text{ Sv}$

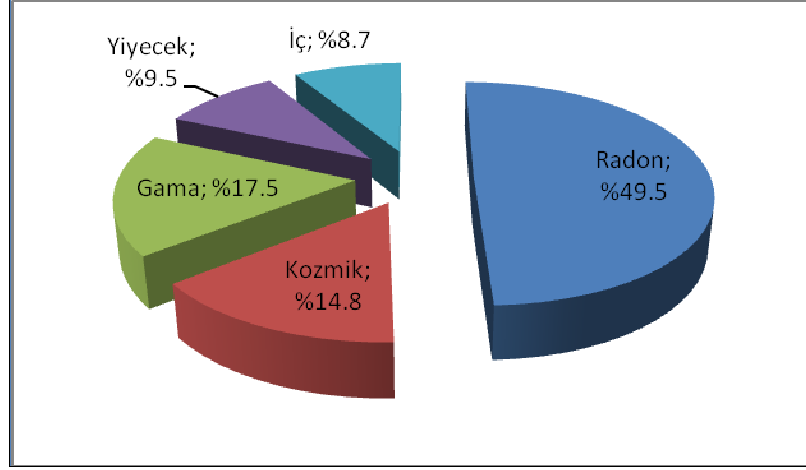
1.7. Radon

En ağır soy gaz ve 86 Atom numarası ile periyodik cetvelin 8A grubu elementi olan Radon 5.48 MeV enerjili alfa parçacığı yayınlayan radyoaktif bir gazdır ve yarılanma ömrü 3.82 gündür (Yaprak vd., 2003). 222 g atomik ağırlığı ve çekirdekdeki nötron sayısı 136 olan Radon rengi ve kokusu olmayan, gözle görülemeyen bir gazdır (Akyıldırım, 2005). Aynı zamanda -71 °C'de donarken -61.5 °C'de sıvılaşır. Hidrojenden 100 kat daha ağır olan Radon, havadan ise yedi buçuk kat daha ağırdır (Güler ve Çobanoğlu, 1997).

Radonun atomik yarıçapı 1.3×10^{-10} m ve atomik kesitinin alanı 0.72×10^{-10} cm²dir. Yoğunluğu, 1 atmosfer basınçta 9.73 gr/l ve 273 K'deki molar hacmi 50.5 cm³/moldür. Elektrik iletkenliği hiç yoktur ve ısı iletkenliği 0.0000364 W/cmK olarak çok düşüktür. Bunun yanında öz ısısı 0.091 J/grK dir (Akyıldırım, 2005).

Dünya yüzeyinde yaklaşık 100 ton bulunduğu tahmin edilen Radonun ana kaynağı yerküredir (Saç ve Camgöz, 2005) ve dünya yüzeyindeki ²²⁶Ra'nın bozunması sonucu oluşur. Radyumun toprakta bozunmasıyla oluşan Radon önce topraktan hava dolu gözeneklere kaçar ve bu gözenekler arasından atmosfere geçmek için hareket eder. Radonun atmosfere geçebilmesi ancak maddenin gözenekleri arasında yayılmasıyla mümkün olur ve bazı Radon atomları içinden kaçamayacak şekilde kapalı gözenekleride hapsolarak buradan kaçamazlar.

Canlıların maruz kaldığı doğal radyasyonun yaklaşık yarısı Radondan kaynaklanmaktadır (Şekil 1.6). Topraktaki Radyum-226'nın bozunması sebebiyle oluşan Radon aktivitesinin dünya ölçeğinde yıllık yaklaşık 2 milyar Curie ve yeraltı sularındaki potansiyelin de 500 milyon Curie kadar olduğu tahmin edilmektedir (George, 2007).



Şekil 1.6. Doğal radyasyon kaynakları sebebiyle maruz kalınan radyasyon dozları yüzdesi (Karadem, 2011)

Yerküredeki kayalarda değişen düzeylerde Uranyum ve Radyum bulunmaktadır. Bu doğal radyoaktif elementlerin bozunması sonucu oluşan Radon ve Radon ürünleri, kaya katmanları arasında sürekli olarak üretilmektedir (Durrani ve Ilic, 1997; Gültekin vd., 2003; Yaprak vd., 2003). Böylece Radon gazı ve onun bozunma ürünleri (radyoaktif elementlerin katmanlar arasındaki boşluklardan hava vasıtasıyla ve radyoaktif maddelerle temas halinde bulunan yeraltı sularının yüzeye çıkışı esnasında su ile taşınması sonucu) atmosfere yayılmaktadır.

1.7.1. Toprakta Radon

Yer kabuğunda bulunan toprak ve kayalarda az veya çok Uranyum ve Toryum bulunmaktadır. Bir kara parçasının önemli bir Radon kaynağı sayılabilmesi için 50 ppm değerinden yüksek Uranyum yoğunluğuna sahip olması gerekir (Durrani ve Ilic, 1997). Uranyum yoğunluğu yer kabuğunun alkali içeriğinin fazla olduğu bölgelerde 100 ppm olabilmektedir. Kayalarda bulunan Uranyumun bozunması sonucu zincirin bir parçası olan radyum difüzyona uğrayarak üst katmanlardaki toprağa karışır ve toprak içinde devamlı olarak bozunmaya uğrayarak ^{222}Rn atomlarının mineral ve toprak parçacıkları arasında serbest kalmasına neden olur. Toprakta bulunan ve havaya sızan Radon miktarı toprak özelliklerine ve basınca bağlıdır (Akyıldırım, 2005). Radon gazının çevreye yayılması bulunduğu bölgenin jeolojik yapısıyla yakından alakalıdır. Doğal bozunma sürecinin bir parçası olarak ortaya çıkan ve

atmosfere salınan Radonun atmosferdeki yoğunluğu 0.1 pCi/l dir (Kulalı, 2009). Toprak gazında ve atmosferde Radon yoğunluğunu ölçmeye yönelik yapılacak olan çalışmalar ölçüm yapılan bölgenin toprağındaki Uranyum ve Toryum varlığı hakkında bilgilendirici olabilir.

1.7.2. Sularda Radon

İnsanlar kullanım ve içme amaçlı su ihtiyaçlarını, yer altı su kaynaklarından ve yüzey sularından sağlamaktadır. Herhangi bir jeolojik bölgede bulunan akarsular, göller, göletler ve kuyular buldukları yerin jeokimyasal yapısı ve radyoaktif elementleri hakkında bilgi verebilir. Yeraltı Uranyum yataklarının keşfine yönelik yürütülecek çalışmalar için genellikle, sondaj ve kuyu sularında yapılan Radon gazı ölçümleri fikir verici olabilmektedir. Çünkü bu suların kaynağı yeraltı akarsular sistemidir. Eğer bir akarsu sisteminin kollarından bir ya da birkaçı kolu yeraltı Uranyum yataklarından geçiyorsa, bu yatağı yıkayan sularda Uranyum ve Radyum elementleri çözelti olarak taşınabilir. Bu yüzden, yeraltı sularının çıkış noktalarında Uranyum, Radyum ve Radon bulmak doğaldır. Sudaki Radon konsantrasyon değeri Bq/l ya da pCi/l birimleri ile verilir (Karadem, 2011). Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi UNSCEAR, yüzey suları için tipik ^{222}Rn konsantrasyonunun 40 Bq/m^3 (1pCi/l) değerinden daha alt sevide bulunduğunu ve yer altı suları için tipik ^{222}Rn konsantrasyonunun 4 ile 40 kBq/m^3 arasında değişiklik gösterdiğini bildirmektedir (UNSCEAR, 1982).

1.7.3. Atmosferde Radon

Radon topraktan kayaçlardan ve yapı malzemelerinden dış solunum yaparak bina içi ve bina dışı atmosfere karışır. Radon atomlarının akımı topraktan havaya doğrudur ve bu hareketi etkileyen faktörler; materyallerden kaçan Radonun kimyasal bağ yapma isteği, radyumun toprak ve kayaçlardaki yoğunluğu, toprak ve kayaçlardaki gözenekli yapı, toprağın suya doyma derecesi ve toprak ve hava arasındaki atmosferik basınç farkıdır. Atmosferik basıncın düşmesi aynı zamanda toprak havasında da basıncın düşmesine neden olur. Bu da derinden gelen Radon dışlanmasını arttırır. Yağışlı havalarda yüzey toprakları nemlenir ve bunun sonucu olarak toprak gözenekleri kapanır. Radon toprağın üst gözeneginde hapsolür.

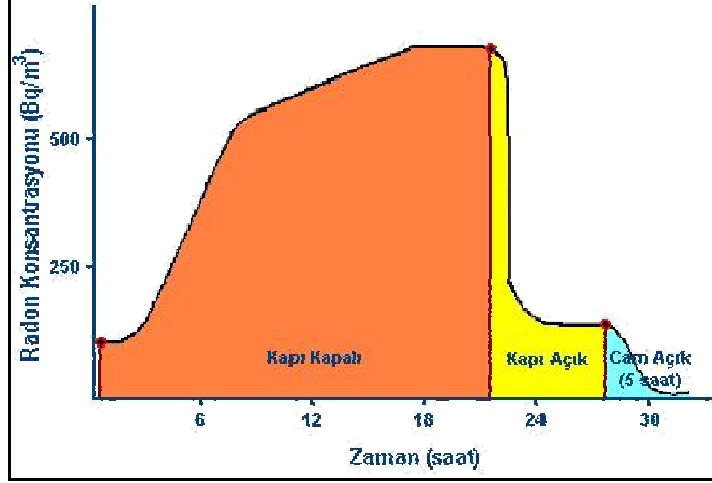
Radonun aşağıdan yukarıya difüzyon yolu ile geçmesi zorlaşır. Sonuçta toprak yüzeyindeki Radon yoğunluğu azalır. Sıcaklık yükselmesi ise toprağın kurumasına ve gözeneklerin armasına neden olur. Böylece Radonun topraktan kaçıışı kolaylaşır. Radon topraktan havaya geçtiği zaman rüzgarların etkisi ile atmosfere karışır. Dünyanın hemen her yerinde miktarı az ya da çok olsun Radon bulunmaktadır. Radon yoğunluklarının genel itibariyle, 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). Birçok araştırmacı tarafından Radon yoğunlukları mevsimsel ve günlük olarak incelenmiş ve birbirine yakın sonuçlara ulaşılmıştır. Radonun mevsimsel değişimi 4 yıllık periyot için ABD’de yapılmış ve Ağustos ve Ekim aylarında minimum, Mart ayında ise maksimum değerde olduğu görülmüştür (UNSCEAR, 1982). Dağlık bölgelerde rüzgar ve sıcaklığa göre değişiklik gösteren Radon yoğunluklarının deniz seviyesinden yüksekliğe göre mevsimsel değişikliğe bağlı farklılıklar gösterdiği de gözlemlenmiştir. Radon konsantrasyonunun artan yüksekliğe bağlı olarak azaldığı Fransa’da yapılan bazı çalışmalarda ortaya çıkmıştır (UNSCEAR, 1988).

1.8. Kapalı mekanlarda Radon ve Radonun binalara giriş mekanizması

Havadan daha ağır olan Radon gazı ve dolayısıyla Radonun bozunma ürünleri, zamanımızın büyük bir kısmını geçirdiğimiz ev ve işyeri gibi binaların içerisinde birikme eğilimi göstermektedir. Binalar, dışarıdan gelen radyasyonun bir kısmının bina içine girişine engel olsa da bina malzemelerinde ve binanın konumlandığı zeminde bulunan radyonüklidlerden dolayı, genellikle bina içi radyasyon düzeyi dış ortama göre daha yüksek olabilmektedir. Bina içi Radon düzeylerini yükselten ve değişiminde rol oynayan birçok etmen söz konusudur. Ülkemizde ve dünyada yapılan bina içi Radon ölçümlerine yönelik çalışmalar için ayrıntılı bilgi Bölüm 2’de verilmektedir.

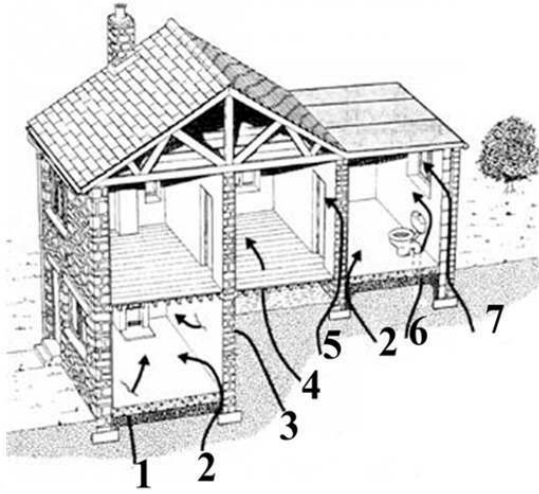
Bina altında bulunan Uranyum içerikli toprak ve kaya yapısı bina içindeki Radonun başlıca kaynağıdır topraktan salınan Radon gazı, binanın temelinde bulunan çatlak ve boşluklardan, bina civarında toprak gazının birikerek sıcaklık ve basınç farklılıkları

oluşturması nedeniyle açık pencere ve kapılardan bina içine sızabilir (Gültekin vd., 2003; Akyıldırım, 2005). Havadan daha ağır olan Radon gazı iyi havalandırılmayan mekanlarda zamanla birikebilmekte (Şekil 1.7), binalarda birikmediği dururumda ise atmosfere yayılmaktadır.



Şekil 1.7. Radon konsantrasyonunun bina içinde havalandırma ile zamanla değişimi

Bina içindeki Radon kaynaklarının en önemli unsurlarından biri de bina yapımında kullanılan malzemelerdir. ^{238}U içeren tüm bina malzemeleri potansiyel Radon yayınlayıcılarıdır (Durrani ve Ilic, 1997). Binadaki hava dolaşım sıklığı ve binanın havalandırma yöntemi gibi etkenler kapalı bir ortamdaki Radon konsantrasyonu üzerinde etkilidir (Çelebi vd., 2003). Malzemelerin içerdiği radyum miktarı, binanın yüksekliği ve zeminin geçirgenliği gibi etkenler, etkisi altında kalınan dozların düzeyinde önemli farklılıklara sebep olabilmektedir (Çelebi, 2007). Şekil 1.8'de Radon gazının bina içine giriş mekanizmaları ve Çizelge 1.6'da bazı yapı malzemelerinin Radon yoğunlukları verilmektedir.



1. Zemin ve duvar çatlakları
2. Yapının birleşme noktaları
3. Toprak altında kalan duvardaki çatlaklar
4. Zemin yapısında bulunan boşluklar
5. Duvardaki çatlaklar
6. Tesisat ve boru boşlukları
7. Duvarların içerisinde olabilecek boşluklar

Şekil 1.8. Radonun bina içine giriş biçimleri (WEB, 2010)

Ev ve iş yerleri gibi kapalı mekanlarda sürekli olarak yüksek miktarda Radon gazına maruz kalınması önemli bir problem olarak ortaya çıkabilir (TAEK, 2009). Eski binaların zemin katları kansere yakalanma riski bakımından genellikle daha da fazla tehdit içermektedir. Radondan dolayı karşı karşıya olduğumuz sağlık risklerinin saptanabilmesi ve mümkün olabilecek tedbirlerin alınabilmesi için yaşadığımız çevredeki Radon konsantrasyon düzeylerinin bilinmesi gerekmektedir. İyonlaştırıcı radyasyonun biyolojik etkileri izleyen bölümde ve Radonun sağlık üzerinde etkileri Bölüm 1.12’de daha ayrıntılı olarak verilmektedir.

Çizelge 1.6. Bazı yapı malzemelerinin Radon yoğunlukları (Bq/m^3) (Akyıldırım, 2005)

Malzeme Cinsi	Konsantrasyon (Bq/m^3)	Malzeme Cinsi	Konsantrasyon (Bq/m^3)
Ağaç	1,1	Kırmızı Tuğla	78
Doğal Alçı	2.9	Uranyum Madeni Atıkları	4625
Portland çimento	45	Alçı Taşı	26
Beton	98	Kireç Lime	33
Deniz kumu	7	Kireç Taşı	3

Çizelge 1.6. (devam)

Nehir kumu	44	82	2140
Kum Tuğla	82	Şapşist	496
Granit	180	-----	-----

1.9. İyonlaştırıcı Radyasyonun Biyolojik Etkileri

Parçacık veya foton formundaki iyonlaştırıcı tipte bir radyasyon (Bkz. Bölüm 1.2.2) canlı dokularla etkileştiğinde, biyolojik yapılara aktarılan radyasyon enerjisi nedeniyle dokulara hasar verme potansiyeline sahiptir. Bu zarar ölüm, nesilden nesile geçen genetik etkiler ve kusurlar ya da kanser gibi daha sonra ortaya çıkan etkiler biçiminde görülebilmektedir.

X-ışınının keşfini takiben, radyasyonun insan sağlığı üzerine ilk etkileri gözlemlenmeye başlanmış ve araştırmalar maruz kalınan radyasyon dozu ile meydana gelen biyolojik etkiler arasında bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur. 1900'lü yılların başında yapılan birçok bilimsel çalışma, yüksek düzeyde radyasyon dozunun kansere neden olduğu yönündeki iddalarıyla tıp literatürüne girmiştir. 1920'lerin sonunda yapılan hayvan deneyleriyle birlikte radyasyonun genetik bozukluklara yol açtığı anlaşılmıştır.

İyonlaştırıcı radyasyonun canlılar üzerinde meydana getirdiği etkileri incelemek amacıyla doğan “radyobiyoloji” bilim dalı, bu etkileri fiziksel, kimyasal ve biyolojik açılardan ele alarak moleküler ve hücresel düzeylerde araştırmaktadır. Canlı yapılarda görülen değişiklikler, radyasyonun cinsine, miktarına ve süresine göre; onarılabilen veya kalıcı tipte olabilir. Genellikle, düşük dozdaki iyonlaştırıcı radyasyonun etkilerinin önemli olmadığı yönünde bir yanlış kanaat bulunmaktadır. Göz ardı edilmemesi gereken düşük dozların etkileri, bu iyonlaştırıcı radyasyonların yüksek doz etkileri göz önüne alınarak belirlenmeye çalışılmaktadır. Bu gerçekçi senaryoların üretildiği yaklaşımlardan hareketle, ICRP tarafından olası tüm etkiler için risk katsayıları oluşturulmaktadır. Bu yaklaşımlar; genellikle, tüm radyasyon

çeşitleri için nesilden nesile geçen tehlikeler ile, nötron, proton, alfa ve diğer ağır parçacıklarla ışınlanmalar nedeniyle meydana gelen kanser tehlikeleri için kabul görmektedir. X-ışınları, gamma ışınları ve elektronlar nedeniyle ortaya çıkan kanser riskleri için yapılan araştırmalarda ise, öngörülenden çok daha büyük risk katsayıları benimsenerek, çalışmak durumunda kalınmıştır (Taner, 2006).

1.9.1. Radyasyonun etkileşme mekanizmaları

Madde ile çarpışmalar ve benzeri mekanizmalarla etkileşen iyonlaştırıcı radyasyonun zararlı etkisi, iyonlaştırıcı radyasyon tarafından kaybedilen enerjinin, etkileşmenin gerçekleştiği ortam içerisindeki atomları uyarması ve iyonlaştırması sonucu ortaya çıkmaktadır. Bilinen hiçbir canlı hücresi, radyasyon nedeniyle oluşan bu uyarma ve iyonlaşma enerjisine dirençli olmadığından mutlaka etkilenmektedir. Hücre çekirdeği ve özellikle de bölünme halindeki kromozomlar; hücre sitoplazmasına göre radyasyondan çok daha fazla etkilenmektedir. Radyasyonun hücre üzerinde meydana getirdiği en belirgin etkilerden biri hücre büyümesini baskılamasıdır. Özellikle mitoz bölünme sırasında radyasyona maruz kalan hücrelerde büyüme kesintiye uğramaktadır. Bu nedenle, mitotik (bölünme) aktivitesi fazla olan hücrelerin radyasyondan daha çok etkilendiği düşünülmektedir (Taner, 2006).

Hücre açısından bakıldığında radyasyon; kromozomların kırılmasına, birbirlerine yapışmasına, kenetlenmesine ve kıvrılmasına yol açabilir. Kırılan kromozomlar yeniden organize olabilir, kırık halde kalabilir veya bir başka kromozomla birleşebilir. Tüm bu değişiklikler sonucunda mutasyon veya hücre ölümü gerçekleşebilir. Organizma ölen hücreleri soğurabilir veya reddederek bünyesinde atabilir. Ölen hücrelerin sayısı yeterince yüksek ise, organizmanın fonksiyonlarını etkilenerek bozulabilir ve hatta bu durum organizmanın ölümüne kadar gidebilir. İyonlaştırıcı radyasyonların etkilerinin daha detaylı anlaşılabilmesi için, hücreyi oluşturan moleküllerle kimyasal etkileşme mekanizmalarının da incelenmesi gerekmektedir (Taner, 2006).

1.9.1.1. Direkt etki

Yüksek doz radyasyonun etkileri akut somatik etkiler ve kronik somatik etkiler şeklindedir. Akut somatik etkiler; birkaç dakika ile birkaç saatlik bir sürede, bir defada tüm vücudun büyük miktarlarda radyasyona maruz kalması sonucu oluşur. Akut radyasyon sendromu şu evrelerden oluşur:

- Başlangıç Evresi: 0–48 saat arasında iştahsızlık, bulantı, terleme, yorgunluk gibi belirtiler görülür.
- Lavent Evre: 48 saat ile 2–3 hafta arasında, başlangıç bulgularında düzelme ile seyreder.
- Ağır Hastalık Evresi: 2–3 hafta ile 6–8. hafta arasında görülür. Ateş, enfeksiyon, cilt hassasiyeti, saç dökülmesi, hemoraji, diare, letarji, şuur ve algılamada bozukluklar, kardiyovasküler kollaps ortaya çıkabilir. Bu bulguların ortaya çıkışı tamamıyla alınan doza bağlıdır.
- İyileşme Evresi: 6–8 haftadan birkaç aya kadar sürebilir.

Bir defalığına veya yinelenen radyasyona maruz kalınmasını takiben uzun bir süre sonra ortaya çıkabilen etkilere kronik somatik etkiler adı verilmektedir. Bu etkiler arasında ciltte değişiklikler, yanıklar, dermatitlerin kansere dönüşümü, yaşam kalitesinin düşmesi, fizyolojik yaşlanma sürecinin hızlanması, lösemi insidansında artış, iyi huylu ve kötü huylu tümör insidansında artış sayılabilir.

Yüksek dozda iyonlaştırıcı radyasyonlara maruz kalınması sonucu ortaya çıkan biyolojik etkiler, organizma içindeki birkaç molekülün iyonlaşma veya uyarılması ile uzun ve karmaşık bir olaylar dizisi şeklinde meydana gelmektedir. İyonlaştırıcı radyasyonun direkt etkisine karşı, dokularda bulunan hücrelerin direnç göstermeleri ve canlılıklarını sürdürerek iyonlaştırıcı radyasyonun direkt tesirini bertaraf edebilmeleri mümkün olmakla beraber, radyasyonun dolaylı etkisine (kimyasal etkisine) karşı direnç veya dayanma gücü göstermeleri mümkün değildir. Kanserli hücrelerin yok edilmesi amacıyla Tıpta (özellikle Nükleer Tıp ve Onkoloji Ana Bilim Dallarında) radyasyonun bir tedavi aracı olarak bu yolla kullanımı yaygındır.

1.9.1.2. Dolaylı (kimyasal) etki

Radyasyon nedeniyle meydana gelen moleküler değişikliklerin dolaylı yoldan gerçekleşmesi de mümkündür (yani iyonlaştırıcı radyasyon sonucu oluşan bazı ara ürünlerin bir dizi kimyasal reaksiyona girerek moleküllerin değişimine neden olması söz konusudur). Bu etki mekanizması için iyonlaştırıcı radyasyonun hücredeki su moleküllerini (hücrelerde yaklaşık %70 oranında su bulunmaktadır) ayrıştırarak serbest radikallerin meydana gelmesine neden olduğu düşünülmektedir. Bu da diğer moleküllerin bozulmasına sebep olmaktadır. Saf su ışınlandığında, H^+ ve OH^- iyonları oluşur (Taner, 2006). Oluşan bu hidrojen ve hidroksil grupları iyon olmayıp kısa ömürlü reaktif radikallerdir. Bu radikaller, hücre içerisinde bağlanabilecekleri atomlar arar. Böylelikle çok kuvvetli oksitleyici ürünlerin oluşması ve bu ürünlerin bulunduğu bölgedeki hücrelerin etrafının oksitlenerek, hücrelerin ve dolayısıyla dokunun fonksiyonlarını yitirerek beslenememesi söz konusu olabilir. Radyasyon tamamen rastlantısal olarak karbonhidrat, lipit, protein, enzim veya DNA ya da RNA gibi bir nükleit asit gibi moleküllerle reaksiyona girebilir. Örneğin, karbonhidrat ve lipitlerin doymuş ya da doymamış bağları serbest bir hidroksil radikali tarafından bozularak değişikliğe uğratılabilir. Aminoasitlerin yan zincirleri ile reaksiyona girdiğinde ise, proteinlerin yapısının ve fonksiyonlarının bozulmasına yol açabilir. Radyasyondan zarar gören hücreye ait kritik hedefler, hücre zarı yapısında bulunan karmaşık yapıdaki lipitler, metabolik olarak önemli enzimler ve nükleik asitlerdir. Bu yapılar zarar gördüğünde, hücrenin normal fonksiyonları bozulur ve hücre ölümleri meydana gelebilir.

1.10. İyonlaştırıcı radyasyonların biyolojik etkilerine tesir eden faktörler

1.10.1. Radyasyonun karakteristikleri

Radyasyonun biyolojik olarak zarar verebilme kapasitesi, dokuya aktarılan enerjinin etkinliği ile ilişkilidir. Radyasyonun enerji kaybetme biçimi, radyasyon türü ve enerjisine bağlıdır. Enerjik ağır parçacıklar, aynı enerjili elektron veya fotonlara göre daha kısa mesafelerde enerjilerini kaybederler. İyonize radyasyonun ortam içinde birim uzaklık başına kaybettiği ortalama enerji, lineer enerji transferi (LET) olarak adlandırılır. İyonize radyasyonun yükü artıp hızı azaldıkça yayıldığı ortamdaki birim

yolda transfer edeceği enerji miktarı artar. Alfa parçacığının hızı düşük, yükü ise + 2 dir. Beta parçacığının ise hızı yüksek ve yükü -1 dir. Bu yüzden alfa parçacığı, beta parçacığına göre daha büyük LET değerine sahiptir. Daha büyük LET değerine sahip radyasyonun ölümcül etkileri de daha fazladır. Radyasyonla hedefin birim kütlesine aktarılan enerji, absorblanmış (soğurulmuş) doz (D) olarak tanımlanır. Radyasyon güvenliği ve radyasyondan korunma açısından, farklı tiplerdeki radyasyonların neden oldukları biyolojik etkilerin ortaya konmasında her bir iyonlaştırıcı radyasyon çeşidi için farklı bir katsayının (Q kalite faktörünün) kullanılması gerekmektedir. Böylelikle, absorblanmış doz ile ilgili iyonlaştırıcı radyasyona ait kalite faktörünün çarpımı ile doz eşdeğeri hesaplanabilir. Radyasyon ile ilgili önemli diğer bir nicelik de doz hızıdır. (Taner, 2006).

1.10.2. Hedefin karakteristikleri

Farklı doku çeşitlerinin radyasyona karşı gösterdiği duyarlılıklar farklıdır. Kemik iliği içindeki kan yapan hücreler gibi daha sık bölünen hücreler, daha seyrek bölünen hücrelere (örneğin, bağ ve yağ dokusu hücreleri) kıyasla radyasyondan daha çok etkilenmektedir. Belirli dokular için ağırlık faktörleri dikkate alınarak, vücudun bir veya daha fazla kısmının ışınlanması, tüm vücut ışınlanması eşdeğerine göre gösterilebilmektedir. Tüm vücut doz eşdeğeri (H_{wb}) için verilen, $H_{wb} = \sum_T W_T H_T$ bağıntısında; T dokusunun doz eşdeğeri H_T ile ve T dokusu için ağırlık faktörü de W_T ile ifade edilmektedir (Taner, 2006).

1.11. Radyasyona maruz kalma veya ışınlanma

Diğer çevre kirleticileri için de geçerli olduğu gibi, radyasyonda da iki tip ışınlanma (radyasyona maruz kalma) söz konusudur:

- i. Kısa sürede bir defada yüksek dozda radyasyona maruz kalma ve
- ii. Uzun süre boyunca düşük dozda radyasyona maruz kalma.

Kazara, kısa süreli yüksek dozda bir radyasyona maruz kalındığında (akut ışınlanmada), çok kısa bir süre içerisinde biyolojik etkiler ortaya çıkar. 0.1Gy (10 rad) ila 10 Gy (1000 rad) arasındaki yüksek dozlardaki bu tür ışınlanmaların haftalar,

günler hatta saatler içinde meydana gelen ani-şiddetli etkileri olabildiği gibi yıllar sonra görülen gecikmiş etkilerinin ortaya çıkabilmesi de mümkündür. Akut radyasyona maruz kalmada fonksiyonu ilk bozulan hedef organ kemik iliğidir. Radyasyona karşı gösterilen duyarlılık kişiden kişiye değişmektedir. Bununla birlikte, alınan dozun büyüklüğüne bağlı olarak akut radyasyonun belirtileri genel bir değerlendirmeye tehlike derecesine göre sınıflandırılırsa; kan yapıcı sistemdeki belirtiler, sindirim sistemindeki belirtiler ve merkezi sinir sistemindeki belirtiler biçiminde sıralanabilir. Akut ışınlanma nedeniyle bu üç sistemde meydana gelen ortak etkiler; mide bulantısı ve kusma, kırıklık ve yorgunluk, yüksek ateş ve kan tablosunun değişimi biçiminde olmakta, bu etkilerle birlikte çok sayıda başka etkilere de rastlanılmaktadır (Taner, 2006).

Ani-şiddetli etkilerin oluşmasına neden olamayacak büyüklükteki radyasyon dozlarına uzun süre maruz kalınması durumunda, yıllar sonra ortaya çıkan gecikmiş etkilerin görülmesi mümkündür. Genel olarak, nükleer tıpta ve radyolojide kullanılan radyasyon birkaç rad'ı geçmez ve düşük doz radyasyon olarak nitelenir. Düşük doz radyasyonun insan üzerindeki etkilerini direkt olarak kanıtlamak mümkün değildir. İnsan üzerinde radyasyonun etkileri hakkındaki kritik bulgular, 0.1 Sv'den (10 rem'den) daha fazla doz etkilerinin gözlemlerine dayandırılmaktadır. Mesleki ışınlanmalarda (5–20 mSv/yıl) oluşan etkiler risklerin hesaplanması için yetersizdir. Yaklaşık 2 mSv/yıl düzeyinde olan doğal radyasyonun etkileri hakkında da bilimsel veriler mevcut değildir. Bu yüzden, mesleki ışınlanma veya çevresel faktörlerden ileri gelen etkiler ile, doğal radyasyon düzeylerinde olabilecek risklerin tahmin edilmesi, ancak yüksek dozlardan elde edilen doz-etki analizlerine ait sonuçlara dayalı tahminler sayesinde mümkündür. Genel olarak, radyasyonun oluşturduğu riskin düşük dozlarda bile alınan radyasyon dozuyla direkt orantılı olduğu görüşü kabul görse de karşıt görüşler de bulunmaktadır. Düşük doz radyasyonun biyolojik etkileri; genetik etkiler, kanser indüksiyonu, fetus ve embriyo üzerine etkiler şeklinde incelenebilir.

Genel olarak bir değerlendirme yapılırsa, iyonlaştırıcı radyasyon nedeniyle insanlar tarafından alınan doz miktarının 0,1 Sv'den fazla olması durumunda, somatik (vücut ve organlarla ilgili) ve genetik etkiler ortaya çıkmaktadır. 1 Sv (100 rem) ile 10 Sv

(1000 rem) arasındaki dozlar, ani-şiddetli etkilere yol açabilmekte ve 10 Sv'den (1000 rem'den) yüksek dozlar da ölümlere sebebiyet verebilmektedir. 0.1 Sv'le (10 rem'le) 1 Sv (100 rem) mertebesinde alınan dozlarda ise uzunca bir süre sonra çok az da olsa, gecikmiş etkiler şeklinde hasarların görülebileceği bildirilmektedir (Taner, 2006). Diğer taraftan hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde bir yandan ortalama ömür ve diğer yandan da yapay radyasyon kaynakları hızla artmaktadır. Bu durumda, insanların kanserli hastalıklara yakalanma ihtimallerinin de arttığı söylenebilir.

1.12. Radonun Sağlık Üzerine Etkileri

Alfa parçacığı yayınlayan tek radyoaktif gaz olan Radon, kimyasal olarak pasif bir gazdır ve dokulardaki çözünürlüğü de düşüktür. Akciğerlere alınan Radonun bir kısmı solunum yoluyla dışarı atılabilir fakat Radon ve Radonun bozunma ürünleri üst solunum yolu organlarında ve akciğerde önemli tehlikeler meydana getirebilmektedir (Değerler, 2007). 1950'li yıllara kadar Radonun akciğer kanserine sebebiyet verdiği görüşü vardı ancak 1951 yılında Rochester üniversitesindeki araştırmacılar, akciğer kanseri tehlikesinin direkt olarak Radondan değil daha çok Radon ürünlerinin yayınladığı alfa radyasyonundan kaynaklanabileceği görüşünü ileri sürmüşlerdir. 1988 yılından sonra Amerika'da yürütülen çalışmalar sonucunda, Radon bozunma ürünlerinin akciğer kanserine yol açtığı ortaya konmuştur (George, 2007). Radon gazının atmosferi kirleten tüm etkenler içerisinde akciğer kanseri bakımından en tehlikelilerden biri olduğu da söylenmektedir (Gültekin vd., 2003). Araştırmalar uzun süre radyasyona maruz kalmanın akciğer kanserine yakalanma riskini arttırdığını göstermiştir (Planiniç vd., 2002). Uranyum zincirindeki Radonun bozunmasıyla oluşan Radon ürünleri α , β ve γ radyasyonu yayınlayarak kararlı olan ^{206}Pb ya kadar bozunur. Kimyasal bakımdan aktif halde bulunan ve radyoaktif parçacık olan Radon ürünleri havadaki toz zerreciklerine yapışarak solunumla akciğer bronşlarına yerleşip bozunmaya devam edebilirler. Radon ve Radon ürünleri solunduğunda, solunum yetmezliği ve baş ağrısı gibi şikayetler oluşturmaz, ancak bozunmaya devam eden bu ürünlerin yaydığı radyasyon, hücrelerin DNA yapılarını değiştirebilir ve kansere neden olabilir (UNSCEAR, 1988).

Akciğer kanseri çağımızın en yaygın hastalıklarından birisidir. Dünyada kadın ve erkeklerde görülen tüm kansere bağlı ölümlerin %28'inin akciğer kanserinden kaynaklandığı rapor edilmektedir (Yürekli vd., 2002). Dünya Sağlık Örgütü'nün 2001 verilerinin değerlendirildiği bir çalışmada, dünya genelinde meydana gelen tüm ölümlerin % 13.8 lik kısmının (7.6 milyon kişi) kanser sebebiyle gerçekleştiği ve tüm ölümler içerisinde kanserden dolayı meydana gelen ölümlerin üçüncü sırada yer aldığı bildirilmektedir (Gürsoy, 2004). Türkiye'de ise, 2003 yılında yapılan bir çalışmaya göre % 47.7 lik kalp ve damar hastalıklarının sebep olduğu ölümlerin ardından kanser nedeniyle gerçekleşen ölümler %13.1 (56250 kişi) ile ikinci sırada gelmektedir (Ünüvar vd., 2006). Bu oran hastanelerde kayıtlı olan kanser ölümleri için geçerlidir. Ne yazık ki ülkemizde kayıt edilmemiş kanser vakalarının sayısı azımsanmayacak derecede olup, kanser nedeniyle hayatını kaybedenlerin çok daha fazla olduğu düşünülmektedir. Bununla birlikte, Türkiye'de kanser nedeniyle ölen kayıtlı erkek hastalarda akciğer ve bronş kanserine bağlı gerçekleşen ölümler, tüm kanser nedeni ölümler içerisinde ilk sırada gelmektedir ve ülkemizde görülen kanser ölümlerinde erkekler kadınlardan yaklaşık 1.6 kat daha fazla risk altındadır (Gürsoy, 2004). Bu durum, Türkiye'deki erkeklerin sigara kullanma alışkanlığının kadınlara göre daha fazla olmasından kaynaklanabilir. Çünkü iyi havalandırılmayan kapalı mekânlarda birikerek yüksek seviyelere ulaşabilen Radon gazı ile sigaranın etkileşimi sinerjiktir (Akpınar, 2006).

Radon gazı, U.S.A. Çevre Koruma Ajansı (EPA: Environmental Protection Agency) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından "A sınıfı kanserojen madde" olarak derecelendirilmiştir (Vural, 2004). İngiltere Milli Radyasyondan Korunma Komitesi (NRPB), İngiltere'deki yıllık toplam 41 000 akciğer kanserinin en az % 6 sının Radondan kaynaklandığını bildirmiştir (Değerlier, 2007). Radon, Amerika Birleşik Devletleri'nde, akciğer kanserine neden olan en tehlikeli maddeler listesinde, sigaradan sonra ikinci sırada yer almaktadır. EPA, Amerika'da akciğer kanserinden bir yılda ölen 160 000 kişinin yaklaşık % 13 ünün ölümünün Radon gazı solunması nedeniyle meydana geldiğini bildirmektedir (EPA, 2009). Radona maruz kalınmasıyla oluşabilecek sağlık riskleri üzerinde yaş, sigara kullanımı ve cinsiyet gibi faktörlerin etkili olduğu bildirilmektedir (EPA, 2003). Ayrıca, radyasyonun canlılar üzerinde meydana getirdiği biyolojik etkiler; alınan toplam doz ve bu dozu

alma süresi, radyasyona maruz kalan bölge veya organ gibi başlıca etkenlerle birlikte diğer birçok unsura da bağlıdır (Fişne 2002). Radon gazının yüksek seviyelerde olmasının, özellikle madencilik sahasında çalışanlar için ciddi sağlık riskleri meydana getirebileceği bazı çalışmalarda anlatılmıştır (Hewson ve Ralph, 1994; Singh vd., 2001; Küçüktaş, 1996; Fişne vd., 2005; Baldık vd., 2006). Radon gazının işyeri ve ev gibi kapalı mekanlarda da sağlık bakımından tehlikeli düzeylere ulaşma ihtimali vardır. 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. Bina içi ortamlarda yüksek seviyelere ulaşabilen Radon konsantrasyonlarının ölçülmesi, maruz kalınacak riskin belirlenebilmesi bakımından önem taşımaktadır (Çelebi vd., 2003; Gültekin vd., 2003). WHO, Radonun solunmasıyla oluşan akciğer kanseri vakalarının, tüm akciğer kanseri vakaları arasında %6 ile %15’lik bir yer tuttuğunu bildirmektedir (WHO, 2005). Bilim insanları, tüm bu argümanlardan dolayı Radon konusu üzerinde yoğun şekilde çalışmaktadır.

1.13. Sınır Değerler

Radon miktarının kontrolü amacıyla uluslararası yetkili kuruluşlar ve ülkeler, kapalı mekanlarda bulunmasına izin verilebilecek en yüksek radon düzeyleri için bazı sınırlamalar getirmişlerdir. Bu sınırların aşıldığı yerlerde, bina içi radon yoğunlunu azaltıcı önlemlerin alınması tavsiye edilmekte veya zorunlu kılınmaktadır. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) tarafından bildirilen ve ülkemiz için geçerli olan limitler; evler için 400 Bq/m^3 ve iş yerleri için 1000 Bq/m^3 ’tür (Resmi Gazete, 2004). Avrupa Birliği konutlar için, yeni binalarda 200 Bq/m^3 ’lük ve eski binalarda 400 Bq/m^3 sınır değerlerini baz almaktadır. (TAEK, 2008). Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi (ICRP: International Commission on Radiological Protection) ise, meskenlerdeki müdahale düzeylerini $200-600 \text{ Bq/m}^3$ ve iş yerleri için bu sınırları $500-1500 \text{ Bq/m}^3$ olarak bildirmiştir (ICRP, 1993) fakat en son bilimsel değerlendirmeler dahilinde WHO, radona maruz kalma nedeniyle oluşabilecek sağlık problemlerinin minimuma indirilebilmesi için evlerde 100 Bq/m^3 ’lük referans düzeyinin uygulanmasını tavsiye etmektedir (WHO, 2009). Ülkelerin özel durumları nedeniyle bu seviyenin uygulanamayacağı durumlar için ise en azından 300 Bq/m^3

değerindeki limit değeri aşmayacak bir bina içi düzeyinin belirlenmesi gerektiği vurgulanmaktadır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Bina içi Radon ölçümleri tüm Dünya’da gerek aktif gerekse pasif ölçüm teknikleri vasıtasıyla yoğun biçimde çalışılmaktadır. Bu bölümde, özellikle CR-39 dedektörlerinin kullanıldığı pasif ölçüm tekniği ile yapılan bina içi ölçümlerine ait kısa bir literatür özeti verilmektedir.

Literatürde, bölge veya ülke bazında fon radyasyonunun belirlenmesine yönelik birçok araştırmaya rastlamak mümkündür. Yapılan bu çalışmalarla toprakta, sularda ya da havada bulunan doğal radyoizotopların belirlenmesi amaçlanmaktadır. Sadece ABD’de yılda 1 milyon civarında bina içi Radon düzeyi ölçümü yapılmaktadır (George, 2007). ICRP ve UNSCEAR (diğer bazı kriterlerin de sağlanması koşuluyla), atmosferdeki ^{222}Rn ve ^{220}Rn konsantrasyonlarının 40 Bq/m^3 ten yüksek olduğu bölgelere HLNRA (High Level Natural Radiation Area) yani yüksek seviyeli doğal radyasyon alanı adını vermiştir (Durrani ve Ilic, 1997). Dünya genelindeki bina içi Radon seviyesi ortalama olarak 39 Bq/m^3 tür. Şekil 2.1’de Dünya’da yapılan ölçümler sonucu elde edilen ortalama radon konsantrasyonlarına ait ölçümler verilmektedir. Kırmızı renk ile belirlenmiş olan bölgeler 100 Bq/m^3 ten yüksek olan yerleri göstermektedir.

Çizelge 2.1’de bazı Avrupa ülkelerinde yapılan ölçüm sonuçları yer almaktadır. Buna göre en yüksek radon yoğunlukları 144 Bq/m^3 ile Sırbistan Karadağ ve 140 Bq/m^3 ile Çek Cumhuriyeti’nde ölçülürken en düşük Radon yoğunluğu 20 Bq/m^3 olarak İngiltere’de ölçülmüştür (Dubois, 2005). Şekil 2.2’de ise, Çizelge 2.1’deki ülke ortalamalarının elde edildiği ölçümlere ait yerel olarak her ülkenin kendi renklendirmesini veya kodlamasını içeren Avrupa Radon haritası yer almaktadır.

Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de kapalı mekanlarda insanların maruz kaldığı radyasyon dozunun belirlenmesi amacıyla Radon gazı düzeylerinin ölçülmesine yönelik çalışmalar yürütülmektedir. Radon konsantrasyonu ölçümleri için meskenlerde (Kumbur vd. 1997, Selçuk vd. 1998, Vaizoğlu ve Güler 1999, Gültekin vd. 2003, Köksal vd. 2004, Uluğ vd. 2004, Kam vd. 2005, Yazar vd. 2005, Erees vd. 2006, Yazar vd. 2006, Kam ve Bozkurt 2007, Değerlier ve Çelebi 2008, Kurnaz vd. 2009, Özderya vd. 2009, Damla vd. 2010) hatta kütüphanelerde (Çelebi vd. 2003,

Kürkçüoğlu vd. 2009, Karakılıç vd. 2009) yapılmış çalışmalara rastlamak mümkündür.

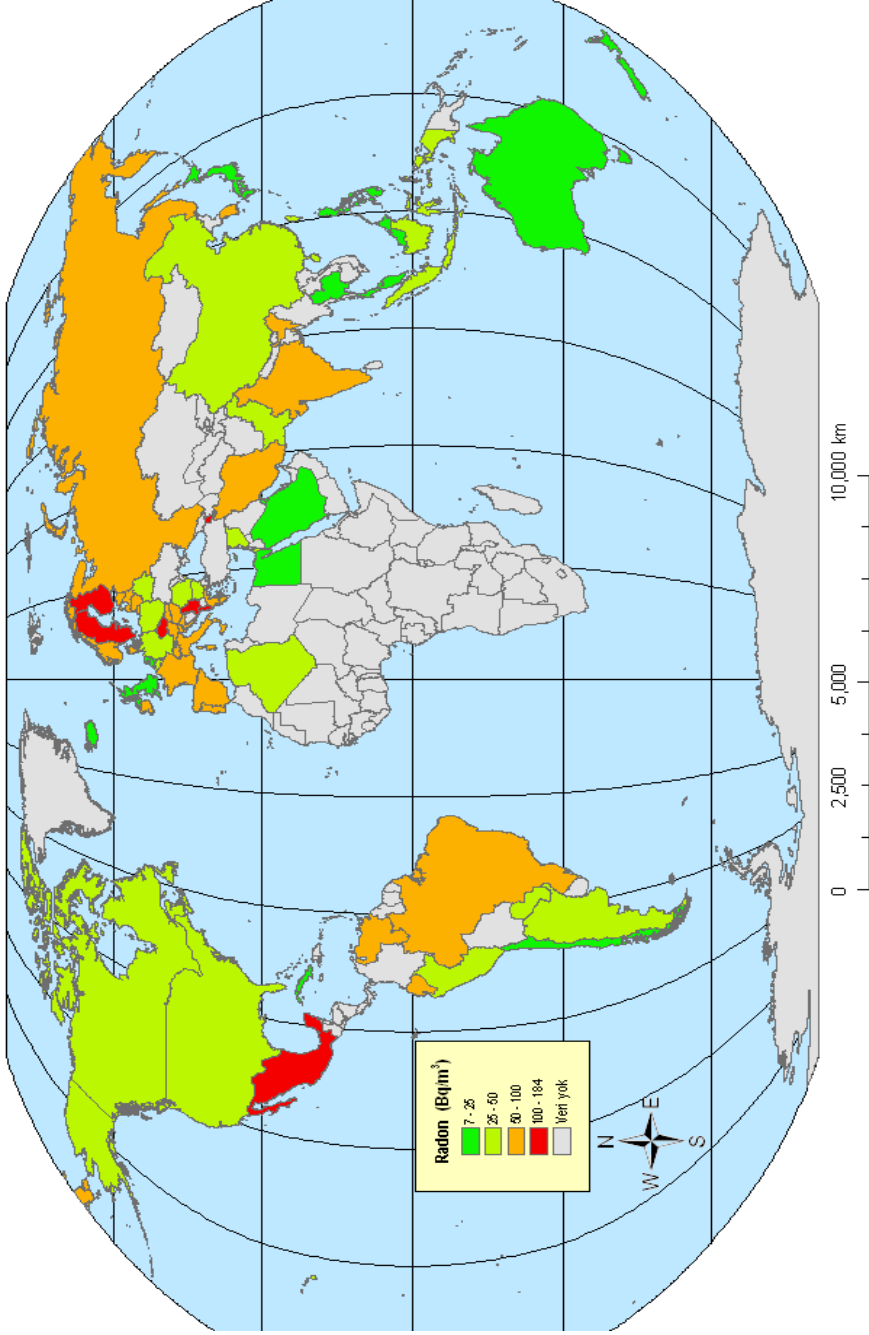
Ülkemizde TAEK 1984 yılında evlerde radon yoğunluklarını belirlemeye yönelik çalışmaları başlatmıştır (Uluğ ve Çelebi 2004, TAEK 2009). 27 ilde 2004 yılına kadar tamamlanmış ölçümlerin değerlendirildiği bir çalışmada, ülkemizdeki ortalama bina içi atmosferik radon seviyesinin 35 ± 12 Bq/m³ olduğu rapor edilmiştir (Köksal vd., 2004). 2004 yılından sonra yapılan radyolojik ölçümlerden faydalanılarak 55 ildeki bina içi atmosferik radon düzeylerinin, kayaç yapısı ve ilin hangi deprem kuşağında olduğuna göre karşılaştırmalı olarak incelendiği bir çalışmada, ülke ortalamasının 77 ± 34 Bq/m³ civarında olduğu tespit edilmiştir (Karakılıç vd., 2010). Bu seviye Avrupa ülkelerindeki ortalamalar ile kıyaslandığında, Türkiye'nin bina içi Atmosferik Radon yoğunluğu bakımından ortalarda yer aldığı söylenebilir. Çizelge 2.2'de Türkiye'de yapılan Radon ölçüm çalışmalarından elde edilen illere göre ortalamalar ve Şekil 2.3'de de bu ortalamalar dikkate alınarak çizilmiş Türkiye Radon haritası yer almaktadır (Karakılıç vd., 2010).

Isparta'da ise şimdiye kadar yapılan çalışmalarda il Radon konsantrasyonu ortalamasının 160 Bq/m³ ten yüksek olduğu saptanmıştır ve bu durum Isparta'nın atmosferik Radon yoğunluğu bakımından ülkemizdeki en riskli illerden biri olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Pasif ölçüm tekniğinin kullanıldığı, Isparta il merkezi ile Eğirdir ve Yalvaç ilçelerindeki evlerin atmosferik Radon konsantrasyonunu ölçmeye yönelik bir çalışmada, il merkezi için seçilen 25 evdeki Radon yoğunlukları 4 mevsim boyunca CR-39 detektörleri kullanılarak ölçülmüştür. Havalandırma ve bina yaşının evlerdeki Radon düzeyi üzerindeki etkisinin incelendiği bu çalışmanın sonucunda, Isparta il merkezinde bulunan meskenlerdeki Radon yoğunluğunun aritmetik ortalaması 164 Bq/m³ olarak saptanmıştır (Uluğ vd., 2004). Isparta il merkezindeki 7 yerleşim birimi ve Süleyman Demirel Üniversitesi'nde aktif ölçüm tekniği kullanılarak AlphaGuard cihazı ile yapılan başka bir çalışma sonucunda ise, bu 8 mahaldeki atmosferik Radon konsantrasyonu ortalaması 198 Bq/m³ olarak belirlenmiş, Süleyman Demirel Üniversitesi'ndeki Radon düzeyi ise 372 Bq/m³ olarak saptanmıştır (Akyıldırım, 2005). Süleyman Demirel Üniversitesi Bilgi Merkezi'nde CR-39 dedektörleri ile 20 ölçüm noktasında

yapılan bir başka çalışmada ise ortalama Radon yoğunluğu 188 Bq/m^3 olarak bulunmuştur (Karakılıç vd., 2009). Süleyman Demirel Üniversitesi Diş Hekimliği Fakülte binasında 2010 yılında yapılan bir çalışmada ise, binadaki 20 farklı birime yerleştirilen CR-39 nükleer iz dedektör çiftleriyle 6 hafta boyunca radon gazı nedeniyle yayınlanan alfa radyasyonu kayıt edilmiş ve 64 ile 658 Bq/m^3 değerleri arasında değişen bina içi atmosferik radon düzeylerinin 217 Bq/m^3 lük bir aritmetik ortalamaya sahip olduğu tespit edilmiştir (Kürkçüoğlu vd., 2010).

Ülkelere Göre Aritmetik Radon Konsantrasyonu Ortalaması

2007 yılı verilerine göre

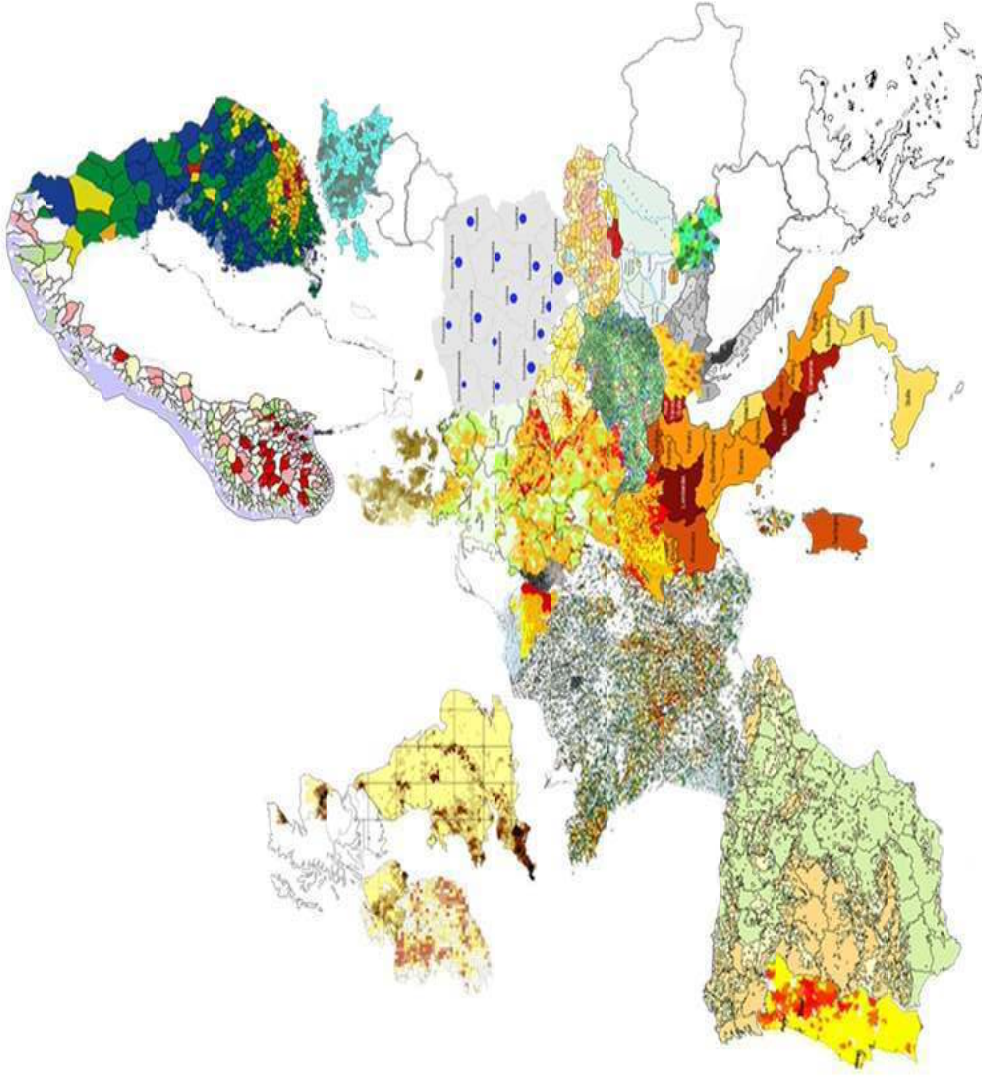


Şekil 2.1. Ülkelere göre ortalama radon konsantrasyonları (WEB, 2011)

Çizelge 2.1. Avrupa bina içi Radon düzeyleri için bazı istatistikler (Dubois, 2005)

Ülke	Bina içi yıllık ortalamaları (Bq/m ³)	% Konutlar > 200 Bq/m ³ ve <400 Bq/m ³	% Konutlar > 400 Bq/m ³
Avusturya	97	8	4
Belçika	48	1.7	0.3
Hırvatistan	68	5.4	1.8
Kıbrıs	19	0	0
Çek Cumhuriyeti	140	10 - 15	2 - 3
Danimarka	53	2.7	0.2
Estonya	60	2 - 2.5	0.3 - 0.5
Finlandiya	120	8.7	3.6
Fransa	63	6.5	2
Almanya	50	2.5	< 1
Yunanistan	55	2	1.1
Macaristan	MD	5.1	0.8
İrlanda	89	6	1.5
İtalya	70	3.2	0.9
Litvanya	55	2.5	0.3
Lüksemburg	115	MD	3
Malta	40	0	0
Hollanda	23	0.3	0
Norveç	89	6	3
Polonya	49	1.6	0.4
Romanya	45	MD	MD
Sırbistan Karadağ*	144	18	4
Slovakya	108	14	11
Slovenya	87	5.5	2
İspanya	90	4	2
İsveç	108	6 - 7	3 - 4
İsviçre	77	10	7
İngiltere	20	0.4	0.1

*Sadece Voyvodina eyaleti için MD: Mevcut Değil

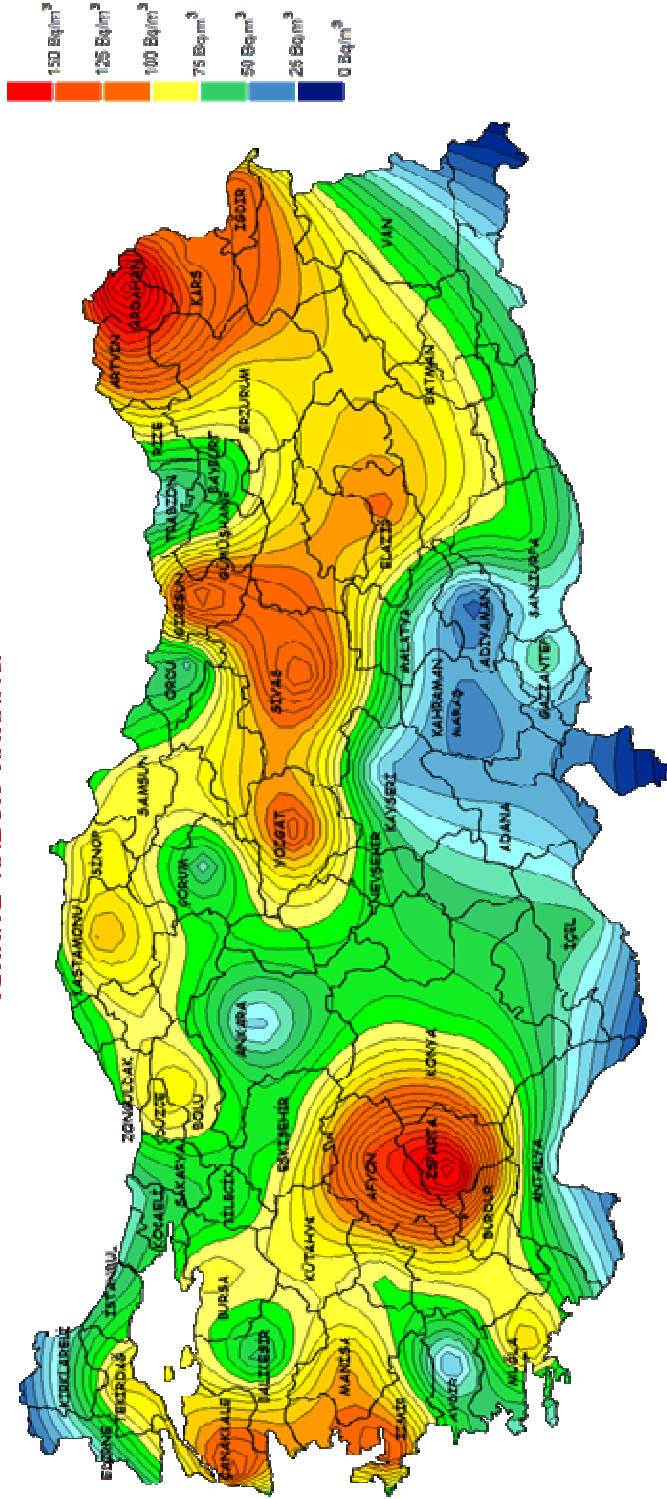


Şekil 2.2. Avrupa ülkelerine ait yayınlanmış Radon haritaları (Dubois, 2005)

Çizelge 2.2. Türkiye'nin bazı illerindeki bina içi Radon konsantrasyonları (Karakılıç vd., 2010)

İl	Rn Düzeyi (Bq/m ³)	İl	Rn Düzeyi (Bq/m ³)	İl	Rn Düzeyi (Bq/m ³)	İl	Rn Düzeyi (Bq/m ³)	İl	Rn Düzeyi (Bq/m ³)
ADANA	37	BURSA	80	İÇEL	51	MANİSA	97	TRABZON	40
ADYAMAN	20	ÇANAKKALE	120	İSTANBUL	50	KAHRAMANMARAŞ	26	ŞANLIURFA	68
AFYON	131	ÇORUM	46	İZMİR	117	MUĞLA	94	UŞAK	69
ANKARA	35	EDİRNE	49	KARS	114	NEŞEHİR	63	VAN	49
ANTALYA	43	ELAZIĞ	103	KASTAMONU	98	ORDU	46	YOZGAT	117
ARTVİN	132	ERZURUM	85	KAYSERİ	34	RİZE	77	ZONGULDAK	71
AYDIN	29	ESKİŞEHİR	63	KIRKLARELİ	69	SAKARYA	60	BAYBURT	56
BALIKESİR	49	GAZİANTEP	51	KOCAELİ	49	SAMSUN	80	BATMAN	84
BİLECİK	89	GİRESUN	130	KONYA	69	SINOP	83	ARDAHAN	173
BOLU	86	GÜMÜŞHANE	71	KÜTAHYA	83	SIVAS	129	İĞDIR	109
BURDUR	86	ISPARTA	164	MALATYA	49	TEKİRDAĞ	87	DÜZCE	80

TÜRKİYE RADON HARİTASI



Şekil 2.3. Çizelge 2.1'deki verilere göre çizilen Türkiye Radon haritası (Karakılıç vd., 2010)

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Radon Ölçüm Teknikleri

Alfa yayınlayan tek radyoaktif gaz olan Radon üç doğal izotopa sahiptir. Radon, alfa yayınlayarak bozunur ve Radon ürünlerini oluşturur. Dolayısıyla Radon seviyelerinin ölçülmesi, bozunma sürecinde yayımlanan radyasyonun dedekte edilmesiyle gerçekleştirilebilir. Aktif veya pasif ölçüm tekniklerinin kullanıldığı farklı dedekte etme yöntemleriyle laboratuarda ve/veya sahada (yerinde) Radon konsantrasyonu ölçümleri yapılmaktadır.

3.1.1. Laboratuarda Radon ölçümleri

Radon yoğunluğunun ölçülmesi için, bu alanda çalışmış araştırmacıların geliştirdikleri yöntemlere bağlı olarak çok farklı teknikler bulunmaktadır. Radon ölçümlerinde başlıca iki ana alanda çalışılmaktadır. Bunlar sağlık fiziki ve yer bilimleri alanlarıdır. Sağlık fiziki alanında, Radona maruz kalınması sonucu oluşabilecek farklı türdeki kanserlerin araştırılmaktadır. Bu alanda bilimsel yayınların sayısı zaman geçtikçe üstel olarak artmaktadır. Yer bilimleri alanında ise Radon ölçümleri mineral aramalarından jeotermal çalışmalarda, volkanik patlamalarda ve depremlerin tahminine kadar geniş boyutta incelenmektedir.

Oldukça farklı uygulama alanları olması, çalışılan alanda iyi analiz yapabilmek için öncelikle iyi bir literatür incelemesi yapılmasını gerektirmektedir. Araştırma konusuna geçmeden önce ilk başta Radonun kendisinin mi yoksa ürünlerinin mi ölçüleceğinin belirlenmesi ile başlanabilir. Daha sonra alfa ve gama radyoaktiviteleri dedekte edilebilir, bu işlem ayrı ayrı veya eş zamanlı olarak yapılabilir. Beta radyoaktivitesi de ele alınabilir. Bu durumlarda ölçüm için aşağıdaki tekniklerden birisi kullanılabilir (Durrani ve Ilic, 1997).

- Nükleer emülsiyon
- Adsorpsiyon
- Katı sintilasyon
- Sıvı sintilasyon

- Gama spektrometresi
- Beta monitörlemesi
- Katı-hal nükleer iz dedektörleri
- Elektrometre veya elektroskop
- İyonizasyon odaları
- Yüzeysel durdurmalı dedektörler
- Termoluminesans fosforlar
- Yukarıdaki tekniklerin birlikte kullanılabilmesi için çeşitli kombinasyonlar.

Bu konuyu araştıran kişiler yukarıdaki tekniklerin birini, ikisini ve hatta bazen üçünü birden kullanmaktadır. Bilim adamları, mühendisler ve mucitlerin hayal gücüne bağlı olarak 300 den fazla ölçüm tekniği kombinasyonu geliştirilmiştir. Bu nedenle, son 10 yılda dünya çapında Radon ölçümleri ile ilgili yüzden fazla patentin alınmasına şaşırılmamaktadır. Literatür varlığının fazlalığı göz önüne alındığında, sistematik bir biçimde bütün ölçüm ihtimallerini tartışmak yerine, uygun teknikler içinde en çok uygulananın göz önüne alınması gerekmektedir. Pratikte saha ölçümleri için kullanılan teknikler laboratuarda da kullanılabilir. Bu bilgiye bağlı olarak saha ölçümlerinde yaygın olarak kullanılmayan, fakat laboratuvar ortamında en iyi performansı veren ölçüm tekniklerine odaklanılmalıdır.

Laboratuardaki teknikler radyoaktivitenin ölçülmesi, belirlenmesi ve sayılması için kullanılan genel tekniklere dayanır. Buradaki temel farklılık, radyoaktif gaz olan Radonun bu tekniklere adapte edilmesidir. Bu amaçla parıldama sayımı gaz fazı için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Lucas, 1957). Bu en eski ve en güvenilir yöntemdir. Daha sonra bu tekniğin çeşitli varyasyonları literatüre girmiştir (Graves, 1987). Genelde Radonu düzeyini belirlemek için kullanılan ekipman, içerisi ZnS (çinko-sülfür) gibi parıldama yapan bir malzemeye kaplanmış cam kap şeklindedir. Alfa tanecikleri tarafından üretilen minik ışık parıldamaları fosfora çarptığında yükselticide bir ışık görünür. Bu nedenle foto-çoğaltıcılar uzun bir süre kullanılmıştır.

Ölçümün hassaslığı büyük ölçüde sayma periyoduna bağlıdır. ^{218}Po atomlarının doğrudan dedektör de elektiriksel olarak toplanması bu hassaslığın daha da artmasına sebep olur (Bochicchio ve Risica, 1990).

Değişik bir şekilde alfa ve beta parçacıklarının rastlaşması sintilasyon sayımı ile bulunabilir (Centro De Investigaciones Energeticas, 1995). Sintilasyon ayrıca Radon ürünlerini filtreledikten sonra ve parıldama ekranın önüne sonuçta alfa yayınlayan zengin filtreyi yerleştirerek de gözlenebilir (Bovi vd., 1993; Fuji Photo Corp., 1993). Lucas hücresinin daha karmaşık versiyonu çoklu sintilasyon odası cihazıdır. Daha iyi bir tepkiye sahip olan bu cihaz, sonucu zamanın fonksiyonu olarak verir (Demel, 1988). Sürekli gaz sintilasyonu sayımı Madnick ve Sherwood'un geliştirdikleri bir aparatla sağlanmıştır. Bunların cihazı, Radon ve Radon ürünlerinin sintilasyon sayımını yapan ışık geçirmez odacıklardan oluşur. Bu durum Radon gazı dedektörlerinin maliyetini düşürmüştür. Son olarak havada oluşan Radon ürünlerinin konsantrasyonu Bressan ve Larson'un cihazıyla zamanın bir fonksiyonu olarak ölçülebilmektedir. Bu cihazla Radon ürünlerinin bir filtre yardımıyla toplanması mümkündür. Parçacıkların bulunduğu alandan yayınlanan beta radyasyonu bir plastik sintilatör ve bir foto-çoğaltıcı dedektör ile algılamaktadır. İyonizasyon odaları ve orantısal sayaçlar atmosferdeki Radon miktarının ölçülmesinde sıkça kullanılan radyasyon ölçüm tekniklerindedir.

Sudaki Radon seviyesinin belirlenmesi işleminde de sintilasyon dedektörleri kullanılabilir. Radon suda kolay çözünebilir ve bu yolla uzun mesafeler boyunca taşınabilir. Burada sintilasyon sıvısı olarak tolüen'in kullanılabilir. Su ve tolüen karıştırılabilir sıvı olmadığından Radonca zengin tolüen ayrılması kolaydır. Tolüen içerisinde bulunan Radon miktarı böylece sıvı sintilasyon dedektörü ile belirlenir.

Spektroskopik yöntemler de Radonun belirlenmesi için dolaylı yönden kullanılabilir. Radon her durumda ışımaya yapar. Alfa sayımı için alfa spektroskopisi kullanılabilir (Bochicchio ve Risica, 1990) Bu metotlarla belirli bir zaman aralığı için filtreden yayınlanan toplam alfa parçacığı sayısı sayılmaktadır. Özellikle 30 dk. dan daha uzun yapılan sayımlar uzun ömürlü toron ürünlerinin varlığına duyarlıdır.

Gama spektroskopisi en yaygın olan ikinci spektroskopi metodudur ve gama ışınlarının madde ile etkileşmesi temeline dayanır. U ve Th serilerinin ayırımına imkân kılar. Bilinmektedir ki bir radyoçekerden, tek enerjili bir gama ışını yayınlandığında bir spektrum oluşturur ve ki birçok farklı pik gözlemlenir. Bu durum Compton saçılması bilgisi kullanılarak açıklanabilir (Sgorbati, 1989). Charueau'nın geliştirdiği cihazda, Radon gazı homojen olarak cihazın bir parçası tarafından hapsedilerek bozunma ürünleri bir gama kaynağı gibi davranana kadar bekletilmektedir. Sitieff bir dielektirik madde ile gama dengeleyici Radon ölçüm sistemini kullanmıştır. Ek olarak kullanılan bu dielektirik madde yüksek fon radyasyonun düzeltilmesinde oldukça yardımcı olmuştur (Durrani ve Iliç, 1997).

Riedel bir hastanın maruz kaldığı radyasyon miktarı değerini bulmaya niyetlenmiştir. Hastanın nefesindeki Radon ürünlerinin ölçümü için tasarladığı cihaz ile aynı zamanda hastanın nabız atışını ve vücut sıcaklığını monitörle izleyerek bu verilerin zamana göre değişimini, iç doz hakkında bir belirti olarak kabul etmiştir. Kuzhevski muhtemelen en sıra dışı cihazı önermişlerdir. Numuneden meydana gelecek Radonun belirlenmesi için içine Be bir süzgecin yerleştirildiği bir hücreye numuneyi koyarak bozunma sonucu salınan alfaların Be ile bir nükleer reaksiyona girerek sonuçta nötron üretmesi amaçlanmış ve bu nötronların bir dış nötron sayacı tarafından sayılmasıyla da Radon bozunma miktarının hesaplanması esas alınmıştır (Durrani ve Iliç, 1997).

3.1.2. Sahadaki Radon konsantrasyonu ölçümleri

Yerinde Radon konsantrasyonu ölçümleri, dedektörlerin ölçüm yapılacak yerlere yerleştirilerek yeterince uzun bir zaman burada bırakılarak daha sonra sonuçların belirlenmesi esasına dayanır. Ölçümler sürekli veya aralıklı yapılabilir. Ölçümler 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.

3.1.2.1. Pasif cihazlar

Radyasyon ölçümü yapması beklenen kabın içerisine bir sensör yerleştirilir. Bu kap Radonun kabın içine girmesine izin verecek açıklığa sahip ve detektörü korumaktadır. Aynı zamanda alfa parçacıklarının sensör üzerinde oluşturdukları izlerin korunmasında müsait bir hacim oluşturmaktadır (Fleisecher ve Mgoro-Campero, 1980). Radon ve Radon ürünlerinin yayınladıkları alfa parçacıklarının menzili havada 5 cm mertebesinde olduğundan, detektörün önünde bu büyüklükteki bir boşluk en yüksek verimli ölçümün yapılmasında 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.(Hambleton Jones ve Smit, 1980) Bu problemin çözümü mümkündür.

Radon yoğunluğu ölçümleri için kullanılacak bazıları; katı-hal nükleer iz detektörleri, dielektirik dedektörleri, termoluminesans fosforlar, katı-hal elektronik detektörler ve minik elektrometreler olarak sıralanabilir, pasif ölçüm cihazlarına dayalı bu teknikler hakkında detaylı bilgiye (Durrani ve Iliç, 1997) kaynağından ulaşılabilir.

3.1.2.2. 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 (Gelleve vd., 1993; Schcible, 1987).

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 özellikle dikkat edilecek şey numunenin içeriğinin bozulmamasıdır.

3.1.3. Kısa ve uzun dönem ölçümleri

Elde edilmek istenen veriye göre (çalışmanın amacına göre) kısa dönem veya uzun dönem ölçümleri tercih edilir. Örneğin bir evin 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 detektörleri oldukça kullanışlıdır. Uzun dönemli ölçümlerin mi yoksa kısa dönemli ölçümlerin mi daha güvenilir bir veri sağlayacağı hala kesinleştirilmemiş bir tartışma konusu olup bu sorunun en doğru cevabı ölçümün amacına göre verilebilir (Durrani ve Iliç, 1997).

3.2. Kullanılan Yöntem

Radyoaktif bir maddenin bozunması neticesinde çevreye radyasyon yayılır, bu sebepten maddenin belli bir zaman dilimindeki aktivitesinin (bozunma miktarının) bilinmesi önem taşımaktadır. Radon gazı insanın duyu organları ile algılanamaz ve bu yüzden varlığı ve şiddeti ancak özel olarak geliştirilmiş teknikler yardımıyla tespit gerçekleştirilebilir. Atmosferik Radon ölçümleri, aktif ve pasif yöntemler kullanılarak incelenebilir. Aktif ölçüm tekniği, ölçüm yapılacak birimdeki Radon konsantrasyonunun bir radyasyon sayıcısı ile ortamdaki numune alınarak anlık olarak ölçülmesi ve bu numunelerin içerdiği Radon yoğunluğunun laboratuvar ortamında belirlenmesi prensibine dayanmaktadır. Bu teknikte, topraktan, sudan veya havadan alınan numuneler içerisindeki Radon gazı genel itibarıyla cihazın elektronik kısmında dedekte edillir. Aktif ölçüm tekniği, bina içi Radon ölçümleri için fazla

tercih edilen bir yöntem değildir. Çünkü basınç, nem, hava sıcaklığı gibi dış parametrelerden oldukça fazla etkilenebilen Radon konsantrasyonu daima aynı kalmaz, kısa zaman dilimleri içerisinde değişimler gösterebilir. Bu durumdan kaçınmak için yeterince uzun bir dönem boyunca aktif ölçümlerin kesinti olmaksızın tekrarlanması gerekir ki, bu da aktif ölçüm tekniğinin en büyük dezavantajlarından birisidir.

Pasif ölçüm tekniği ise aylık, mevsimlik veya yıllık olarak evlerde, işyerlerinde, kamu kurum ve kuruluşlarında, mağaralarda, madenlerde ve tünellerde Radon gazı konsantrasyonunun belirlenmesi için kolaylıkla kullanılabilir. Aktif ölçüm tekniğinin aksine, bu teknoloji Radon aktivite konsantrasyonlarının pek çok ölçüm noktasında eş zamanlı olarak belirlenebilmesi imkanını sağlamaktadır. Üstelik bu tekniğin maliyeti aktif ölçüm tekniğini kullanan dedektörlere göre çok daha uygundur. Bu ölçüm tekniğinde, ölçüm noktalarına yerleştirilecek dedektörler 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 2–3 aylığına bırakıldığında herhangi bir masraf çıkarmadan bu süre boyunca kullanılabilir. Ayrıca pahalı ölçüm sistemlerinde olduğu gibi güvenlik kaygıları da gerektirmez.

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 allil diglikol 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, bir ortalama değer tespit edebilmek için Radon ölçümlerinde oldukça uygun bir yöntemdir.

Bu yöntemde kullanılan CR-39 plakaları, radon difüzyon kabı olarak adlandırılan elektrostatik korumaya sahip bir plastik kap içerisine yerleştirilmiştir. Bu kap, Radon ürünlerini filtre ederek sadece Radon gazını geçirecek bir biçimde tasarlanmıştır. Bu

kap içerisine sızan Radon gazı, radyoaktif bozunma neticesinde alfa parçacıkları yayımlayarak bu alfa parçacıklarının dedektör ile etkileşmesi akabinde plakalarda iz bırakmaktadır. Plakalar üzerindeki iz yoğunluğu, bu kap içindeki Radon konsantrasyonu ve dolayısıyla ölçüm yapılan mekandaki atmosferik Radon seviyesi ile orantılıdır. Şekil 3.1’de içerisinde CR-39 nükleer iz dedektörü bulunduran difüzyon kabının bir resmi verilmiştir.



Şekil 3.1. CR-39 nükleer iz dedektörü bulunduran difüzyon kabı (Karadem, 2011)

Macaristan’da bulunan Radosys firması tarafından üretilen CR-39 nükleer iz dedektör çipleri için üretici firma tarafından verilen teknik özellikler Çizelge 3.1’de verilmektedir. 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 dedektörlerin 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 difüzyon kabı açılarak CR-39 plakaları el değmeden çıkartılıp radoslide olarak adlandırılan dedektör tutucu üniteye yerleştirilir. Yerleştirme esnasında difüzyon kabından çıkarılan dedektörler, dedektör tutucusundaki yuvalara ID kodları üstte, alfanümerik (noktalı) kodları alt kenarda kalacak şekilde yerleştirilir. Bir radoslide ünitesi aynı anda 12 dedektör çipini (plakasını) alabilmektedir (Şekil 3.2).

Çizelge 3.1. Ölçümlerde kullanılan CR-39 nükleer iz dedektörlerinin teknik özellikleri (Radosys WEB, 2010).

Tip	Kapalı; Kutu: Radosys-RS
Dedektör konumu	1 çip, Kapak kısmına sabitlenmiştir
Materyal	Geçirgen plastik
Filtre	Hava-boşluğu
Boyutlar (difüzyon kabı)	Ø26mm x 55mm
Boyutlar (çip alanı)	100mm ²
Dedektör ile birlikte sunulanlar	Dedektör çipi için hazırlanmış tanımlama etiketi 3 katlı folyodan yapılmış Radon geçirmez torba
Seçenek	İsteğe bağlı tasarlanmış etiketler
Uygulama	Kapalı ortam Radon testi



Şekil 3.2. Radoslide dedektör tutucu

Dikdörtgen dedektör tutucusunun alt kısmındaki konik yarıklar kazıma diskindeki konik yarıklara denk gelecek şekilde kaydırılıp sıkıştırılarak iz kazıma işlemi için topluca Radobath banyo ünitesine yerleştirilmektedir (Şekil 3.3). İz kazıma işlemi için Radobath haznesi içerisine %75 saf su ve %25 NaOH içeren bir çözelti konulmaktadır.



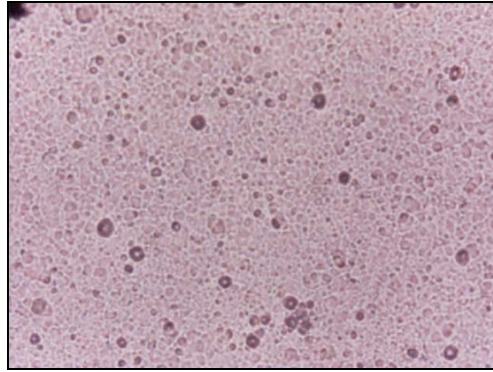
Şekil 3.3. İz kazıma işleminin yapıldığı Radobath ünitesi.

Çözelti içerisine yerleştirilen plakalar 4 saat boyunca 90°C de iz kazıma işlemine maruz bırakılmaktadır. İz kazıma işleminin yapıldığı Radobath iz kazıma ünitesine ait teknik özellikler çizelge 3.2’de verilmektedir. Bu işlem sonunda Radobath haznesine asetik asit ile saf su eklenerek plakalar nötrleştirilerek kurumaya bırakılmaktadır.

Çizelge 3.2. İz kazıma ünitesine ait teknik özellikler (Radosys WEB, 2010)

İz kazıma maddesi	% 25 lik NaOH
İz kazıma sıcaklığı	90 °C
İz kazıma süresi	4 saat
Aynı anda işleme tabi tutulacak dedektör sayısı	432
İz kazıma çözeltisi hacmi	5000 g
Banyo işlemi özellikleri	Sıcaklık düzenleme ayarı, otomatik sıvı karıştırıcı
Diğer standart özellikler	Çözelti hazırlamada kullanılacak yardımcı malzeme seti
Güç	90-240 V (AC),50/60 Hz
Paketlenmiş ağırlığı	8kg
Boyutları (paketlenmemiş)	ø250mm x 350mm

İz kazıma işlemi tamamlandıktan sonra dedektör plakaları üzerinde görünür hale gelen izler (Şekil 3.4.) Radosys firmasınınca üretilmiş optik bir sistem olan RadoMeter 2000 ünitesinde okunmaktadır. Şekil 3.4.'de alfa parçacıklarının CR-39 nükleer iz dedektöründe bıraktıkları izlere ait bir örnek görülmektedir.



Şekil 3.4. Yayılan alfa parçacıklarının dedektör üzerinde meydana getirdiği izler.

Bir ışık mikroskobundan görüntüyü alan 100× büyütmeli bir CCD kamera ve buna bağlı bir bilgisayardan meydana gelen görüntü işleme seti (RadoMeter 2000 ünitesi) plakalar üzerindeki iz yoğunluğunun saptanabilmesi için kullanılmaktadır (Şekil 3.5). Dijital hale getirilen görüntülerin analizi için Linux işletim sistemi altında çalışan bir yazılım kullanılmaktadır. Her bir dedektör için işlem süresi ortalama 60 s olup dedektör yüzeyleri otomatik olarak taranmaktadır (Şekil 3.6). Tek ve üst üste geçmiş izler, 150 iz/mm² ye kadar hassasiyetle algılanabilmektedir. Bu görüntü işleme

setinde kullanılan mikroskop ünitesine ait teknik özellikler Çizelge 3.3’de ve setin operasyonel özellikleri ise Çizelge 3.4 ile verilmektedir.



Şekil 3.5. Radosys değerlendirme ünitesi

Çizelge 3.3. Mikroskop ünitesi (Radosys WEB, 2010)

Görüntüleme birimi	B&W CCD Camera (Siyah Beyaz CCD kamera)
Optik büyütme	100×
Nesne konumlandırma	3-Boyutlu otomatik adımlı motor
Odaklama	Otomatik, keskin görüntü-bazlı
Kapasite	12 dedektör
Paketlenmiş ağırlığı	25kg
Boyutları (paketlenmemiş)	500mm x 500mm x 300mm

Çizelge 3.4. Setin operasyonel özellikleri (Radosys WEB, 2010)

Her bir dedektör için işlem süresi	Ortalama 60 sn.
İz tanımlama yeteneği	Tek ve üst üste geçmiş izler, 150 iz/mm ² ye kadar
Alfa izleri için taranan dedektör alanı	46,8 mm ²
Veri erişimi	Web-temelli yönetim, her bir uygulama için text dosyası oluşturulabilir
Veri depolama	SQL (PostgreSQL)
Dedektör çipinin algısı	Otomatik nokta kodu okuma

Böylece, ölçüm noktalara yerleştirilmiş CR-39 dedektörlerinin ölçüm süresi boyunca kayıt ettikleri iz yoğunlukları, her bir plaka için belirlenmekte ve elde edilen veriler RadoMeter 2000 ünitesindeki PC’de toplanmaktadır. Bu iz sayısı ölçüm sonuçlarından faydalanılarak, atmosferik Radon konsantrasyonu

$$\text{Radon Konsantrasyonu (RAC)} = \frac{d \times kf \times 1000}{s} \quad (3.1)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Bu denklemdeki, yoğunluk (d), plaka yüzeyi üzerindeki iz sayısından elde edilmektedir, s , dedektörlerin Radona maruz kalma süresini saat cinsinden göstermektedir. Eşitlik 3.1’de kullanılan kf , kalibrasyon faktörünün değeridir. Böylelikle, ortalama Radon aktivitesi Bq/m³ cinsinden saptanabilmektedir. Birimdeki atmosferik Radon konsantrasyonu için elde edilen ortalama değerden (RAC değerinden) hareketle bu mekanları kullanan kişilerin maruz kalacakları Radon kaynaklı radyasyon dozu, yani alınan yıllık etkin doz eşdeğeri ($YEDE$),

$$YEDE = RAC \times F \times EEC \times BMF \times 8760 \text{ (saat/yıl)} \quad (3.2)$$

formülü ile hesaplanır. Eşitlik 3.2’deki denge eşdeğer Radon konsantrasyonu EEC faktörü (equilibrium equivalent concentration), 9.0×10^{-9} (Sv/saat) (Bq/m³) değerinde alınmaktadır. 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. Çizelge 3.5.’ te daha önce bazı okullarda yapılmış bina içi ölçümleri ve doz hesaplamalarında kullanılan denge faktörlerine ait bilgiler verilmektedir. Açıkça görüldüğü gibi çoğu yerde denge faktörü 0.4 alınmıştır.

Çizelge 3.5. Katihal nükleer iz dedektörleri ile atmosferik radon ölçümü yapılan bazı okullarda maruz kalınan doz hesaplamaları için kullanılan denge faktörleri

ÜLKELER	F (Denge Faktörü)	Radon Seviyesi (Bq/m ³)	Ölçülen yerler	Kullanılan dedektör	Kaynaklar
İRAN (2007)	0.4	2.8 – 78	50 Sınıf	CR-39	(Papaefthymiou ve Georgiou, 2007)
İTALYA (2009)	0.4	144 ± 7	30 Okul	LR-115	(Venoso vd., 2009)
SWAZILAND (2008)	0.7	123	Swaziland Üniversitesi	CR-39	(Nsibande vd., 1994)
SLOVENYA (1998)	0.2	30-705	4 Anaokulu	İz dedektörleri	(Vaupoti vd., 1998)
PAKİSTAN(2008)	0.4	42.75±9.28	60 Okul	CR-39	(Rahman vd., 2009)
İRAK (2006)	0.4	96.815±26.939	30 Anaokulu	CR39	(As'ad, 2006)
YUNANİSTAN(2007)	0.4	35+17	23 İlkokul	LR-115	(Papaefthymiou ve Georgiou, 2007)

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Isparta ilinde bina içi atmosferik Radon konsantrasyonu ölçümlerine yönelik yapılan az sayıdaki araştırma, ildeki Radon gazı düzeyinin dünya ortalamasından yaklaşık 4-5 kat daha yüksek bir seviyede olduğuna işaret etmektedir. Süleyman Demirel Üniversitesi'nde bina içi Radon konsantrasyonlarının belirlenerek üniversitemizdeki Radon davranışının ortaya konulması ve ölçüm yapılan birimlerden hareketle, üniversite personel ve öğrencilerinin Radon gazı nedeniyle alacağı ortalama radyasyon dozunun hesaplanması, Isparta'daki yüksek düzeydeki Radon nedeniyle oluşabilecek sağlık risklerine dikkat çekilmesi ve alınabilecek basit önlemler hakkında bilgilendirme yapılması amacıyla hazırlanan bu çalışma için 10 bin dekarlık bir alan üzerine kurulu olan Süleyman Demirel Üniversitesi'ndeki 5 birimde Radon gazı ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

Üniversitenin doğu kampüsünde bulunan Ziraat/İlahiyat 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 92 adet CR-39 nükleer iz dedektörü kullanılarak ölçülmüştür. Radon düzeyinin yüksekliğe bağlı değişiminin de incelenebilmesi için binalar içerisindeki ölçüm noktalarının farklı katlarda seçilmesine özen gösterilmiştir. Ayrıca, ölçümlerin güvenilirliğinin sağlanabilmesi için ölçüm alınan her bir odada (ofis, derslik, laboratuvar, okuma odası, teknisyen odası, seminer odası, fotokopi odası, sekreterlik, çay odası, malzeme odası v.b.) mümkün olduğunca zeminden farklı yüksekliklere yerleştirilen bir çift dedektör kullanılmasına dikkat edilmiştir. Ölçüm periyodunun sonunda toplanan dedektörlerin kayıt ettiği alfa izlerinin sayım işlemi TAEK'e bağlı SANAEM (Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi) Sağlık Fiziki Laboratuvarı'nda tamamlanmıştır.

Üniversitedeki bu 5 birime yerleştirilen dedektörlerin bina içindeki konumları, ölçüm noktalarında ölçülen Radon konsantrasyonları, ölçüm süresi içerisinde bu noktalardaki nem ve sıcaklık değişimlerine ait bilgiler ve bu mekanları kullananların maruz kalacakları yıllık etkin doz eşdeğerleri tablolararak izleyen bölümlerde her bir

birim için ayrı ayrı verilmektedir. Ayrıca; ölçüm yapılan odalardaki ortalama Radon düzeyleri ve maruz kalınacak yıllık radyasyon dozları hesaplanarak sonuçlar grafiklerle sunulmaktadır.

4.1. 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 4.1'de sunulmaktadır. Dedektörler (seçilen ölçüm noktaları) bina içerisine ve katlara olabildiğince homojen bir biçimde dağıtılmaya çalışılmış, bununla binadaki Radon düzeyinin daha sağlıklı bir biçimde belirlenebilmesi amaçlanmıştır. Dedektörlerin ortam havasındaki Radon konsantrasyonlarını daha doğru bir şekilde ölçebilmesini sağlamak üzere çalışmanın yürütüldüğü tüm fakülte veya birimlerde; ölçüm yapılan odalara çiftler halinde yerleştirilen dedektörlerin mümkünse solunum seviyesinde birbirinden farklı yüksekliklere konumlandırılmasına dikkat edilmiş, kalorifer, ısıtıcı ve bilgisayar, TV v.b. elektronik cihazların yakınına dedektör konulmasından kaçınılmıştır. Bununla birlikte, kapı ve pencere yakınındaki hava akımlarının (havalandırmanın) daha yoğun olduğu noktalar tercih edilmemiştir. Ayrıca, kayıpları en aza indirebilmek için dedektörlerin yerleştirileceği noktaların (özellikle seminer salonu, okuma odası ve laboratuvar gibi herkese açık odalarda) olabildiğince göz önünde olmamasına çalışılmıştır.

Dedektörler, yaklaşık 2 aylık bir ölçüm süresi boyunca Çizelge 4,1'de yerleri ve bazı fiziksel özellikleri verilen 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 analiz işlemleri TAEK'e bağlı Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (SANAEM) Sağlık Fiziği laboratuvarında yapılmıştır. Denklem 3.1'de $42.95 \text{ (kBq/m}^3\text{)}/(\text{iz/saat})$ değerindeki kalibrasyon faktörünün ve CR-39 dedektörlerinin kayıt ettiği alfa iz yoğunluklarına ait okumaların kullanılmasıyla, ölçüm noktalarına ait atmosferik Radon konsantrasyonu değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 4.1). Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi için ölçüm yapılan noktalardaki 2010 yılı yaz mevsimine ait atmosferik Radon konsantrasyonlarının 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 küçük olmakla beraber dünya ve Türkiye bina içi ortalamalarından oldukça yüksektir. Özellikle 300 Bq/m^3 lük düzeyin üzerinde Radon gazı yoğunluğuna sahip 6odada (Şekil 4.1) havalandırma koşullarının iyileştirilmesi tavsiye edilebilir.

Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi binasındaki Radon düzeylerinin katlara göre (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 Radon seviyesi 247 Bq/m^3 ve 3. kat için 159 Bq/m^3 tür).

Dedektör okumalarından elde edilen Radon yoğunlukları kullanılarak, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi personeli ve öğrencilerin alacakları yıllık etkin doz eşdeğerleri Denklem 3.2 ile hesaplanmıştır (Çizelge 4.1). Hesaplama, fakülteyi kullananların bina içerisinde günde 8 saat zaman geçirdiği varsayılarak yapılmıştır. Buna göre, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi'ndeki 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 4.1) verisi kullanılarak Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi'nde ölçüm yapılan 18 oda için maruz kalınacak yıllık etkin doz düzeyleri Şekil 4.2 ile ayrı ayrı

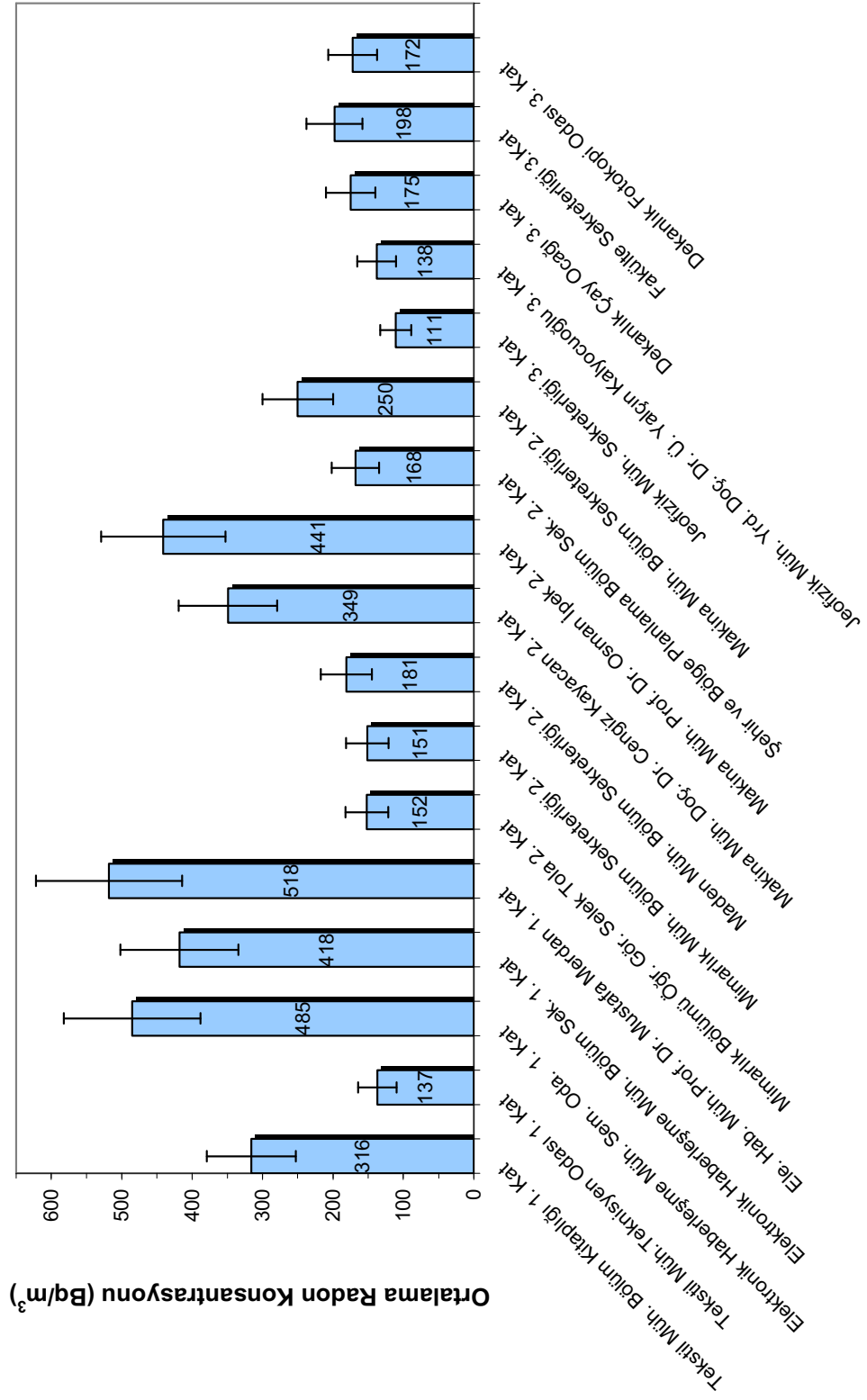
değerlendirilmiştir. ICRP'nin "Ev ve İşyerlerinde ²²²Rn'ye Karşı Korunma" hakkında yayınladığı 65 nolu raporda, Radon kaynaklı alınacak yıllık etkin doz için müdahale limitlerinin 3-10 mSv olarak belirlendiği (ICRP, 1993) göz önüne alındığında, binadaki her üç odadan birinde ICRP'nin 3mSv'lik alt limitini aşan düzeyde dozlara maruz kalındığı söylenebilir. Şekil 4,2'deki grafikten görüleceği gibi, alınacak yıllık etkin doz miktarları yer yer değişmeler göstermekle birlikte, genel olarak zemine daha yakın katlarda daha fazladır.

Çizelge 4.1. Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi'nde kullanılan 16 çift CR-39 dedektörünün konumlandığı yerler ve bu noktalarda ölçülen Radon yoğunlukları ile maruz kalınacak yıllık etkin doz eşdeğerleri (Dedektörlerin konumları, oda zemininden ne kadar yükseğe yerleştirildiğiyle gösterilmiştir. Ayrıca dedektör takılış ve sökölüş tarihlerinde alınan sıcaklık ve nem ölçümleri de verilmektedir)

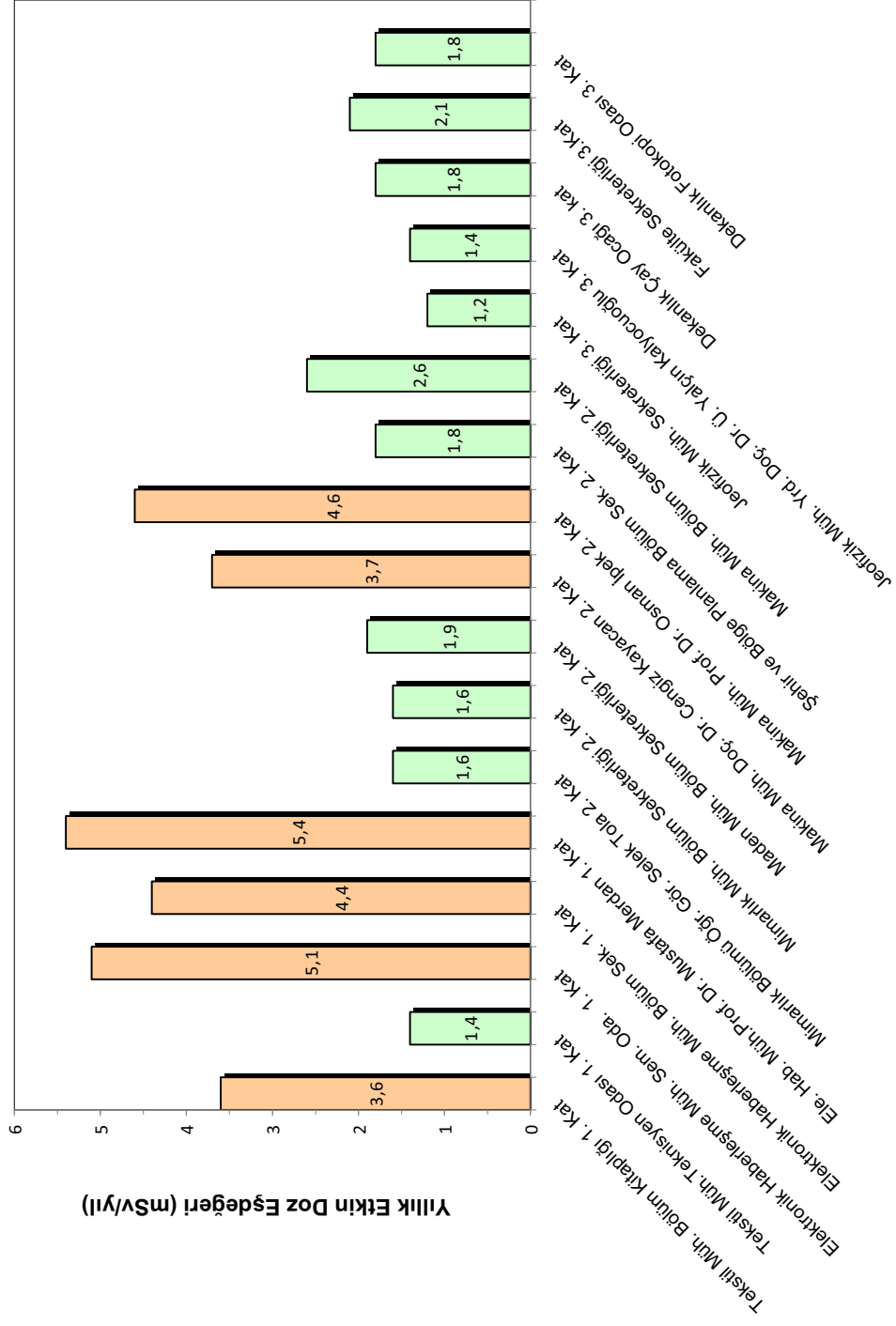
Sıra No	Konumlandırıldığı Yer	RAC (Bq/m ³)	YEDE (mSv/yıl)	Oda Alanı (m ²)	Zeminden Yüksekliği (m)	Sıcaklık (°C)		Nem (%)	
						18.05 2010	12.07 2010	18.05 2010	12.07 2010
1	Tekstil Müh. Bölüm Kitaplığı 1. Kat	345	3.6	24	1.5	27.0	33.6	38	36
2	Tekstil Müh. Bölüm Kitaplığı 1. Kat	286	3.0	24	1.0	27.0	33.6	38	36
3	Tekstil Müh. Teknisyen Odası 1. Kat	146	1.5	12	1.5	26.4	34.0	36	36
4	Tekstil Müh. Teknisyen Odası 1. Kat	127	1.3	12	1.5	26.4	34.0	36	36
5	Elektronik Haberleşme Müh. Sem. Oda. 1. Kat	488	5.1	45	1.5	26.6	30.0	40	36
6	Elektronik Haberleşme Müh. Sem. Oda. 1. Kat	483	5.1	45	1.0	26.6	30.0	40	36
7	Elektronik Haberleşme Müh. Bölüm Sek. 1. Kat	382	4.0	15	1.0	26.7	30.0	41	38
8	Elektronik Haberleşme Müh. Bölüm Sek. 1. Kat	454	4.8	15	1.0	26.7	30.0	41	38
9	Ele. Hab. Müh. Prof. Dr. Mustafa Merdan 1. Kat	509	5.3	15	1.0	27.0	29.0	40	34
10	Ele. Hab. Müh. Prof. Dr. Mustafa Merdan 1. Kat	527	5.5	15	1.0	27.0	29.0	40	34
11	Mimarlık Müh. Öğr. Gör. Selek Tola 2. Kat	131	1.4	15	1.0	26.6	-	39	-
12	Mimarlık Müh. Öğr. Gör. Selek Tola 2. Kat	172	1.8	15	1.0	26.6	-	39	-
13	Mimarlık Müh. Bölüm Sekreterliği 2. Kat	150	1.6	15	1.5	26.0	29.0	38	33
14	Mimarlık Müh. Bölüm Sekreterliği 2. Kat	153	1.6	15	1.0	26.0	29.0	38	33
15	Maden Müh. Bölüm Sekreterliği 2. Kat	182	1.9	18	1.0	26.8	-	38	-
16	Maden Müh. Bölüm Sekreterliği 2. Kat	180	1.9	18	1.5	26.8	-	38	-
17	Makina Müh. Doç. Dr. Cengiz Kayacan 2. Kat	375	3.9	18	1.0	27.0	-	37	-
18	Makina Müh. Doç. Dr. Cengiz Kayacan 2. Kat	322	3.4	18	1.5	27.0	-	37	-
19	Makina Müh. Prof. Dr. Osman İpek 2. Kat	443	4.7	18	1.5	27.0	-	37	-
20	Makina Müh. Prof. Dr. Osman İpek 2. Kat	438	4.6	18	1.0	27.0	-	37	-

Çizelge 4.1. (devam)

Sıra No	Konumlandırıldığı Yer	RAC (Bq/m ³)	YEDE (mSv/yıl)	Oda Alanı (m ²)	Zeminden Yüksekliği (m)	Sıcaklık (°C)		Nem (%)	
						18.05 2010	12.07 2010	18.05 2010	12.07 2010
21	Şehir ve Bölge Planlama Bölüm Sek. 2. Kat	-	-	15	1.0	26.0	30.0	38	42
22	Şehir ve Bölge Planlama Bölüm Sek. 2. Kat	168	1.8	15	1.0	26.0	30.0	38	42
23	Makina Müh. Bölüm Sekreterliği 2. Kat	243	2.6	18	1.0	26.5	-	37	-
24	Makina Müh. Bölüm Sekreterliği 2. Kat	257	2.7	18	1.0	26.5	-	37	-
25	Jeofizik Müh. Bölüm Sekreterliği 3. Kat	123	1.3	15	1.0	26.5	29.0	39	35
26	Jeofizik Müh. Bölüm Sekreterliği 3. Kat	99	1.0	15	1.0	26.5	29.0	39	35
27	Jeofizik Müh. Yrd. Doç. Dr. Ü. Yalçın Kalyoncuoğlu 3. Kat	124	1.3	15	1.5	26.0	29.0	40	34
28	Jeofizik Müh. Yrd. Doç. Dr. Ü. Yalçın Kalyoncuoğlu 3. Kat	152	1.6	15	1.5	26.0	29.0	40	34
29	Dekanlık Çay Ocağı 3. kat	200	2.1	3	1.5	26.8	29.5	56	40
30	Dekanlık Çay Ocağı 3. kat	149	1.6	3	1.5	26.8	29.5	56	40
31	Fakülte Sekreterliği 3.Kat	208	2.2	50	0.9	26.6	29.0	40	32
32	Fakülte Sekreterliği 3.Kat	188	2.0	50	1.5	26.6	29.0	40	32
29	Dekanlık Fotokopi Odası 3. Kat	178	1.9	20	1.0	26.6	29.0	39	32
30	Dekanlık Fotokopi Odası 3. Kat	165	1.7	20	1.0	26.6	29.0	39	32
31	Jeoloji Müh. Çay Ocağı 3. Kat	-	-	5	1.5	27.0	-	57	-
32	Jeoloji Müh. Çay Ocağı 3. Kat	-	-	5	1.5	27.0	-	57	-



Şekil 4.1. Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi için ortalama atmosferik Radon gazı düzeyleri



Şekil 4.2. Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi'ndeki ölçüm yapılan yerlerde maruz kalınacak yıllık etkin dozlar

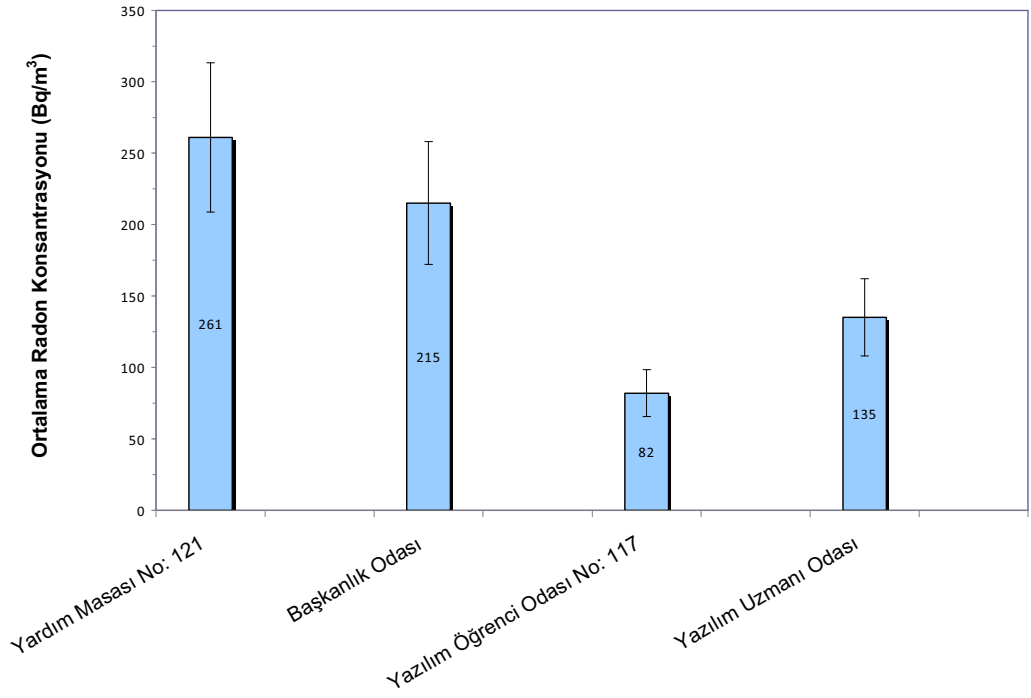
4.2. Bilgi İşlem Merkezi Ölçümleri

Üniversitenin batı kampüsünde yer alan bilgi İşlem Merkezi betonarme tipte bir bina olup 35 idari ve akademik personeli vardır. 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 Denklem 3.1 kullanılmasıyla ölçüm noktalarındaki Radon seviyeleri belirlenmiştir (Çizelge 4.2). Tek kat üzerine kurulu olan birimdeki 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.

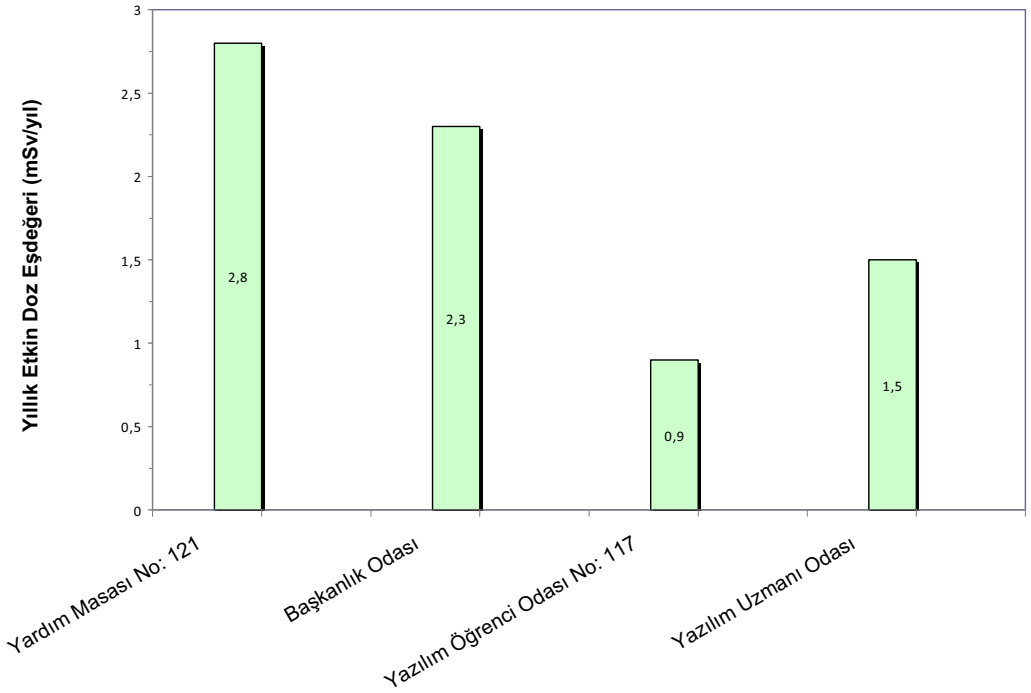
Yaz mevsimine ait ölçümlerden elde edilen ortalamalar her bir oda için Şekil 4.3'te verilmiştir. Birimde 300 Bq/m^3 ün üzerinde herhangi bir konsantrasyona rastlanmamış, sadece yardım masası ve başkanlık odasındaki Radon düzeylerinin 200 Bq/m^3 ü aştığı görülmüştür. Odalardaki ortalama Radon yoğunlukları dikkate alınarak hesaplanan; maruz kalınacak yıllık etkin dozlar çalışanlar için Şekil 4.4 ile gösterilmiştir. Ayrıca her bir ölçüm noktasında maruz kalınacak doz miktarı Çizelge 4.2'de sunulmaktadır. Hesaplamalar Denklem 3.2 kullanılarak ve çalışanların bu birimde 8 saat zaman geçirdiği kabul edilerek yapılmış ve Bilgi İşlem Merkezi'nde alınacak yıllık etkin doz eşdeğerlerinin aritmetik ortalaması 1.8 mSv düzeyinde bulunmuştur. Gerek birimdeki ortalama Radon düzeyi gerekse çalışanların maruz kalacakları yıllık dozlar TAEK ve ICRP'nin öngördüğü sınırların altındadır.

Çizelge 4.2. Bilgi İşlem Merkezi ölçümlerinde kullanılan CR-39 dedektörlerinin konumlandığı yerler, oda kullanım alanı bilgileri, bu dedektörün zeminden yükseklikleri, ölçüm noktalarında 17.05.2010 ve 12.07.2010 tarihlerinde alınan nem ve sıcaklık ölçümünü bilgileri ile bu tarihler arasında nükleer iz dedektörlerinin kayıt ettikleri atmosferik Radon konsantrasyonları ve bu konsantrasyonlara karşılık gelen yıllık etkin doz eşdeğerleri

Sıra No	Konumlandırıldığı Yer	RAC (Bq/m ³)	YEDE (mSv/yıl)	Oda Alanı (m ²)	Zeminden Yüksekliği (m)	Sıcaklık (°C)		Nem (%)	
						17.05 2010	12.07 2010	17.05 2010	12.07 2010
1	Yardım Masası No: 121	334	3.5	14	1.20	27.0	33.0	39	23
2	Yardım Masası No: 121	187	2.0	14	1.00	27.0	33.0	39	23
3	Başkanlık Odası	184	1.9	49	1.00	26.3	32.0	37	25
4	Başkanlık Odası	245	2.6	49	1.00	26.3	32.0	37	25
5	Yazılım Öğrenci Odası No: 117	78	0.8	20	1.25	26.5	33.4	38	23
6	Yazılım Öğrenci Odası No: 117	86	0.9	20	1.00	26.5	33.4	38	23
7	Yazılım Uzmanı Odası	122	1.3	40	1.00	26.5	33.8	37	25
8	Yazılım Uzmanı Odası	148	1.6	40	1.00	26.5	33.8	37	25



Şekil 4.3. Bilgi İşlem Merkezi için dedektörlerin kayıt ettikleri Radon seviyelerine ait ortalamalar (sonuçlar üretici tarafından öngörülen $\pm\%20$ hata payı ile verilmiştir)



Şekil 4.4. Bilgi İşlem Merkezi'ndeki ölçüm yapılan odalarda maruz kalınacak yıllık etkin doz değerleri

4.3. Ziraat Fakültesi Ölçümleri

Doğu kampüsünde bulunan Ziraat Fakültesi'nde; Bahçe Bitkileri, Tarla Bitkileri, Bitki Koruma, Zootekni, 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. Ziraat Fakültesi, 100 ü aşkın akademik ve 30 civarındaki idari personeli ile 1000 e yakın öğrenciye sahiptir.

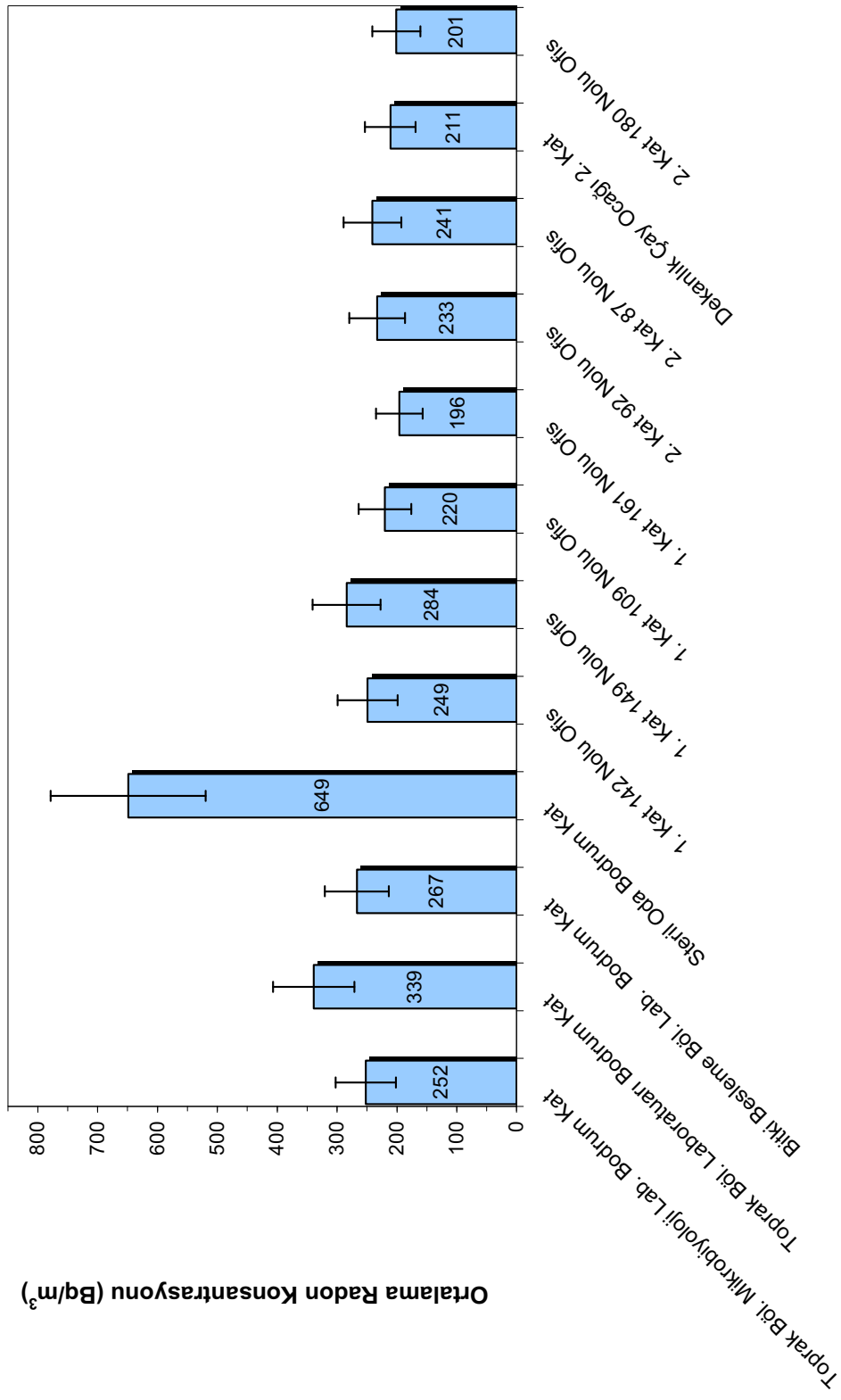
24 adet dedektör ikişer ikişer Ziraat/İlahiyat Fakültesi'ndeki 12 odaya 17 Mayıs 2010 ile 12 Temmuz 2010 tarihleri arasında yaklaşık 8 haftalık bir süre boyunca konumlandırılarak Radon gazına maruz bırakılmıştır. Bu süre sonunda toplanan CR-39 dedektörlerinin analizleri SANAEM'de yapılmış ve dedektörlerin kayıt ettiği atmosferik Radon konsantrasyonları $42.95 \text{ (kBq/m}^3\text{)}/(\text{iz/saat})$ değerindeki kalibrasyon faktörü kullanılarak Denklem 3.1 ile hesaplanmıştır. Çizelge 4.3'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 1000 Bq/m^3 lük 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 gösterebilmekle birlikte en az 200 Bq/m^3 düzeyinde olduğu izlenimini vermektedir.

Ziraat Fakültesi için Radon seviyelerinin yüksekliğe göre değişimine bakıldığında, borumda 377 Bq/m^3 olan ortalama Radon yoğunluğunun yükseklik arttıkça azaldığı, 1. katta 237 Bq/m^3 değerine ve 2. katta 222 Bq/m^3 e düştüğü görülmüştür. Bu durum havadan daha ağır olan Radon gazının kapalı mekanlarda zemine gidildikçe artan konsantrasyonlarda bulunma eğilimi ile uyumludur. Ölçüm yapılan 12 odaya ait ortalama atmosferik Radon konsantrasyonları Şekil 4.5 ile verilmektedir. 4 metrekare kullanım alanına sahip, bodrum katta bulunan steril odadaki 650 Bq/m^3 lük Radon yoğunluğu özellikle dikkat çekicidir.

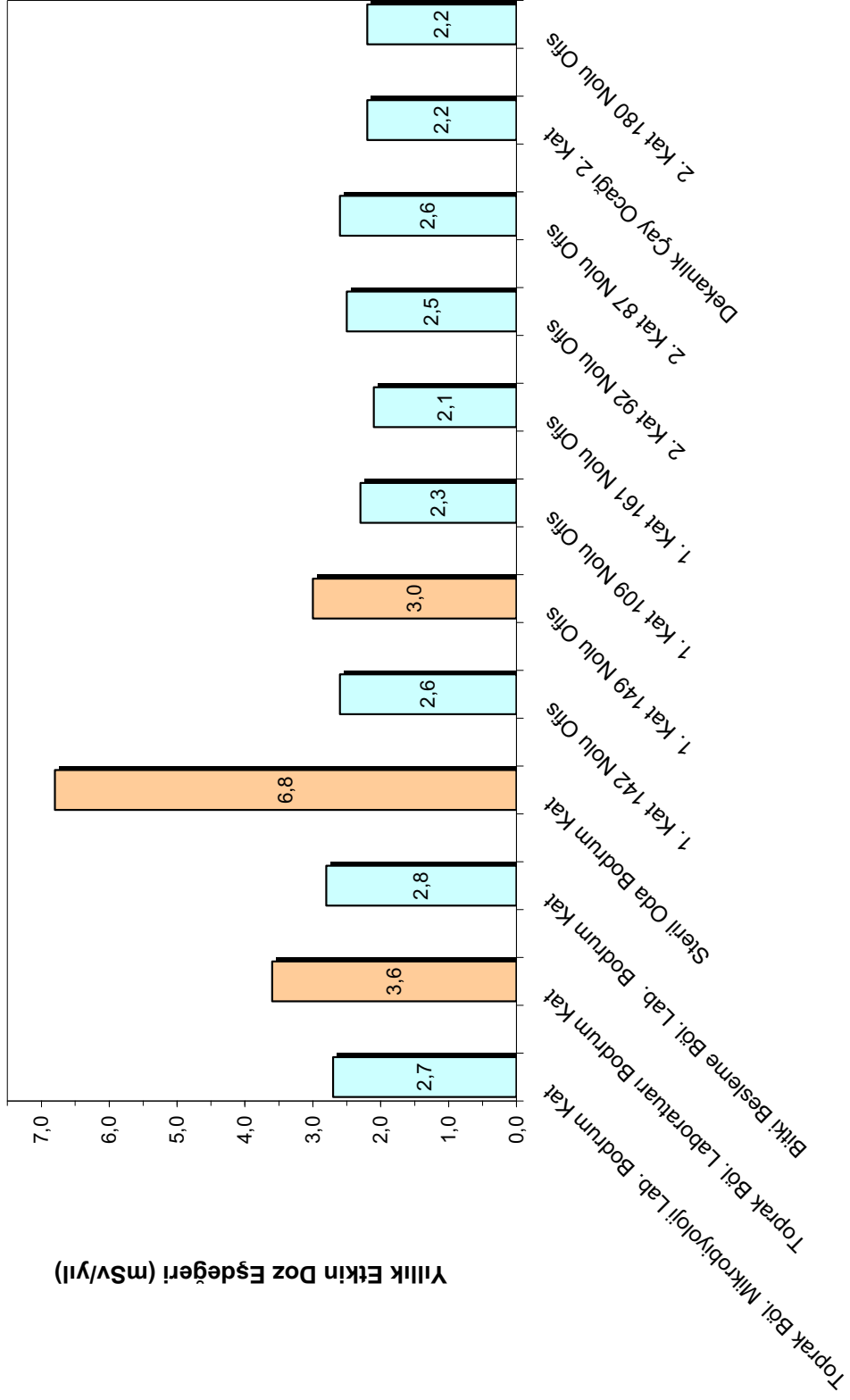
Ölçüm noktalarında tespit edilen Radon düzeylerinin Denklem 3.2’de kullanılmasıyla Ziraat Fakültesi personeli ve öğrencileri için maruz kalınacak yıllık etkin doz eşdeğerleri hesaplanmıştır (Çizelge 4.3). Hesaplamalarda, bina içi meşguliyet faktörü için bina içerisinde günde 8 saat zaman geçirdiği kabul edilmiştir. Çizelge 4.3’den görüldüğü gibi, fakültede maruz kalınan etkin dozlar 2 den 7.1 mSv/yıl değerine kadar değişmekte olup binadaki yıllık etkin doz eşdeğeri ortalaması 2.9 mSv/yıl dır. Fakülte ortalaması, ICRP’nin müdahale limitlerinden (3-10 mSv) daha düşük bir düzeyde çıkmıştır. Ek olarak, her bir odadaki ortalama Radon yoğunluğundan hareketle, 12 oda için alınacak yıllık doz düzeyleri Şekil 4.6 ile verilmektedir. Bu odaların dörtte birinde 3mSv/yıl lık düzeyin üzerinde etkin dozlara maruz kalınacağı ve yine zemine yaklaşıldıkça alınacak doz miktarının arttığı görülmektedir.

Çizelge 4.3. Ziraat Fakültesi'ndeki nükleer iz dedektörlerinin analizlerinden elde edilen atmosferik Radon konsantrasyonları ve yıllık etkin doz eşdeğerleri bu dedektörlere ait konum bilgileri, ölçüm noktalarındaki nem, sıcaklık ve kullanım alanı bilgileri ile verilmektedir

Sıra No	Konumlandığı Yer	RAC (Bq/m ³)	YEDE (mSv/yıl)	Oda Alanı (m ²)	Zeminden Yüksekliği (m)	Sıcaklık (°C)		Nem (%)	
						17.05 2010	12.07 2010	17.05 2010	12.07 2010
1	Toprak Böl. Mikrobiyoloji Lab. Bodrum Kat	219	2.3	30	1.5	26.4	28.1	42	47
2	Toprak Böl. Mikrobiyoloji Lab. Bodrum Kat	285	3.0	30	1.5	26.4	28.1	42	47
3	Toprak Böl. Laboratuvarı Bodrum Kat	360	3.8	45	1.5	26.0	28.0	44	46
4	Toprak Böl. Laboratuvarı Bodrum Kat	319	3.3	45	1.5	26.0	28.0	44	46
5	Bitki Besleme Böl. Lab. Bodrum Kat	222	2.3	35	1.5	26.0	28.2	40	46
6	Bitki Besleme Böl. Lab. Bodrum Kat	311	3.3	35	1.5	26.0	28.2	40	46
7	Steril Oda Bodrum Kat	622	6.5	4	1.5	26.7	29.0	42	50
8	Steril Oda Bodrum Kat	677	7.1	4	1.5	26.7	29.0	42	50
9	1. Kat 142 Nolu Ofis	229	2.4	20	1.5	27.9	-	39	-
10	1. Kat 142 Nolu Ofis	270	2.8	20	1.0	27.9	-	39	-
11	1. Kat 149 Nolu Ofis	316	3.3	20	1.0	26.0	-	39	-
12	1. Kat 149 Nolu Ofis	253	2.7	20	1.0	26.0	-	39	-
13	1. Kat 109 Nolu Ofis	197	2.1	15	1.5	28.7	28.5	43	44
14	1. Kat 109 Nolu Ofis	243	2.5	15	1.0	28.7	28.6	43	44
15	1. Kat 161 Nolu Ofis	200	2.1	30	1.0	26.1	29.3	38	47
16	1. Kat 161 Nolu Ofis	193	2.0	30	1.5	26.1	29.3	38	47
17	2. Kat 92 Nolu Ofis	272	2.9	15	1.0	26.0	28.4	39	42
18	2. Kat 92 Nolu Ofis	195	2.0	15	1.6	26.0	28.4	39	42
19	2. Kat 87 Nolu Ofis	243	2.6	15	1.0	26.5	-	40	-
20	2. Kat 87 Nolu Ofis	240	2.5	15	1.6	26.5	-	40	-
21	Dekanlık Çay Ocağı 2. Kat	213	2.2	25	1.0	26.2	29.5	46	48
22	Dekanlık Çay Ocağı 2. Kat	208	2.2	25	1.0	26.2	29.5	46	48
23	2. Kat 180 Nolu Ofis	195	2.1	15	1.0	26.1	-	39	-
24	2. Kat 180 Nolu Ofis	208	2.2	15	1.0	26.1	-	39	-



Şekil 4.5. Ziraat Fakültesi ölçümlerinden elde edilen ortalama atmosferik Radon gazı seviyeleri



Şekil 4.6. Ziraat Fakültesi'ndeki ölçüm yapılan odalarda alınacak yıllık etkin dozlar

4.4. Atatürk Spor Salonu Ölçümleri

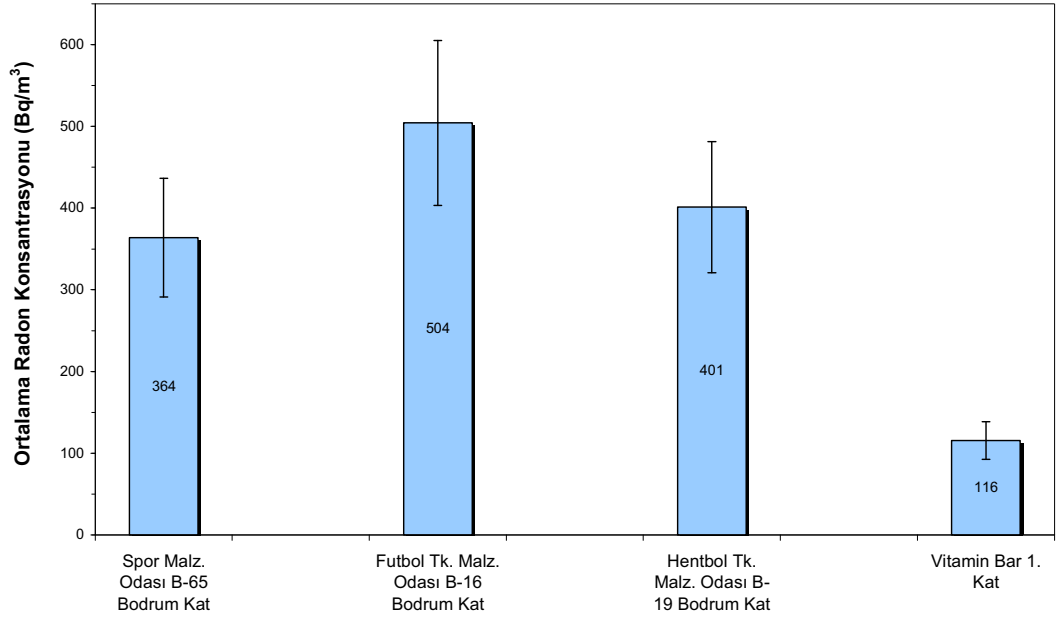
2500 kişi kapasiteli 21500 metrekarelik alana sahip Atatürk Kapalı Spor Salonu 2008 yılında yapılmıştır ve doğu kampüsünde yer almaktadır. 40 civarındaki personel ile haftanın 7 günü sabah saat 09:00'dan gece 22:30'a kadar kullanıcılara hizmet verilmektedir.

Atatürk Spor Salonu için 18 Mayıs 2010 ile 12 Temmuz 2010 tarihleri arasında 8 adet CR-39 nükleer iz dedektörü kullanılarak 4 odada yapılan atmosferik Radon ölçümlerine ait bilgiler Çizelge 4.4 ile verilmektedir. Spor salonundaki Radon seviyelerinin, 108 Bq/m^3 ile 504 Bq/m^3 arasında değerler aldığı ve birimdeki ortalama Radon konsantrasyonunun $324 \pm 152 \text{ Bq/m}^3$ düzeyinde olduğu saptanmıştır. Atatürk Spor Salonu bodrum kattaki tüm ölçüm noktalarında 300 Bq/m^3 ün üzerinde Radon konsantrasyonları kayıt edilmiş, 1. kattaki ölçüm noktalarında ise Radon düzeylerinin 100 Bq/m^3 seviyelerine düştüğü görülmüştür. Spor salonundaki bodrum kat ortalaması 407 Bq/m^3 iken 1.kat ortalaması 116 Bq/m^3 e düşmektedir. Bu durum, zeminden bodrum kat odalarına Radon gazı sızdığı veya bodrum kat odalarındaki havalandırmanın çok yetersiz olduğu gibi ihtimalleri akla getirmektedir.

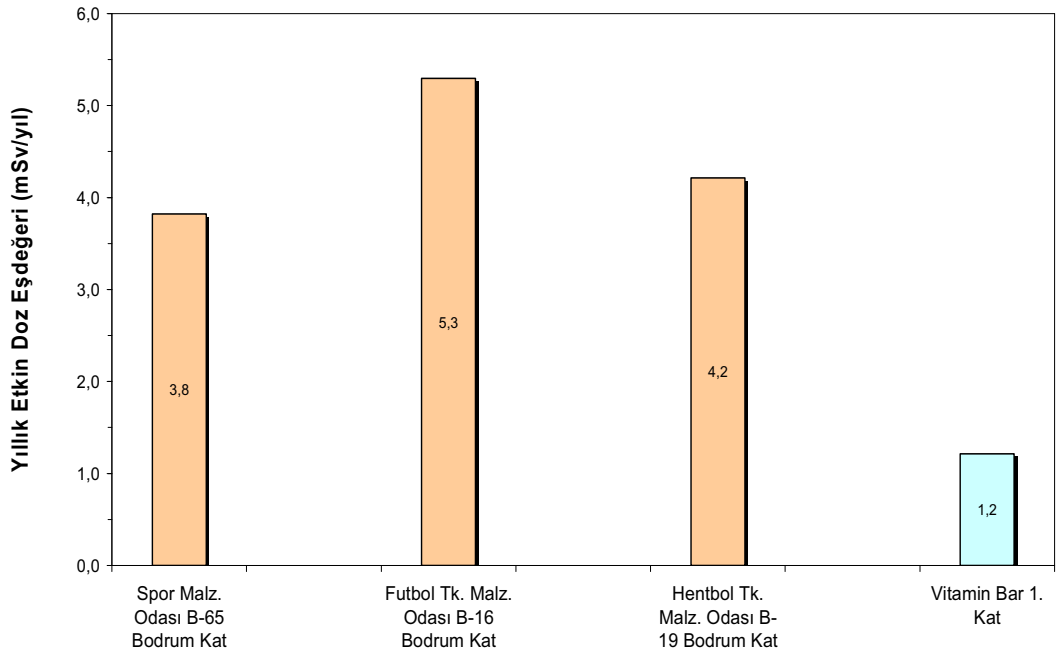
Ayrıca, ölçüm yapılan her bir oda için 2010 yılı yaz mevsimine ait atmosferik Radon seviyelerine ait ortalama değerler Şekil 4.7'de verilmiş ve bu ortalamalar kullanılarak Denklem 3.2 vasıtasıyla hesaplanan, spor salonunda Radon nedeniyle maruz kalınacak ortalama etkin doz eşdeğerleri Şekil 4.8 ile gösterilmiştir. Ayrıca her bir ölçüm noktasında maruz kalınacak doz miktarı Çizelge 4.4'de sunulmaktadır. Atatürk Spor Salonu'nda alınacak dozlar 1.1 mSv/yıl ile 5.3 mSv/yıl arasında değişmektedir. Birimdeki yıllık etkin doz eşdeğerinin ortalaması 3.4 mSv düzeyinde bulunmuştur. Spor Salonu'ndaki ortalama Radon düzeyi ve kullanıcıların maruz kalacakları yıllık dozlar TAEK ve ICRP'nin öngördüğü sınırların altındadır. Ancak, birimde çalışan görevlilerin bodrum katta ölçülen yüksek düzeydeki Radon gazına maruz kalmamaları için önlem alınması uygun olacaktır.

Çizelge 4.4. 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. Ayrıca, dedektörler takılır ve sökülürken ölçülen sıcaklık ve nem değerleri her bir ölçüm noktası için verilmektedir

Sıra No	Konumlandırıldığı Yer	RAC (Bq/m ³)	YEDE (mSv/yıl)	Oda Alanı (m ²)	Zeminden Yüksekliği (m)	Sıcaklık (°C)		Nem (%)	
						18.05 2010	12.07 2010	18.05 2010	12.07 2010
1	Spor Malzeme Odası B-65 Bodrum Kat	400	4.2	25	1.5	28.0	27.7	57	47
2	Spor Malzeme Odası B-65 Bodrum Kat	328	3.4	25	1.5	28.0	27.7	57	47
3	Futbol Tk. Malzeme Odası B-16 Bodrum Kat	504	5.3	20	1.5	28.0	28.0	57	47
4	Futbol Tk. Malzeme Odası B-16 Bodrum Kat	-	-	20	1.0	28.0	28.0	57	47
5	Hentbol Tk. Malzeme Odası B-19 Bodrum Kat	372	3.9	15	1.5	28.0	31.0	58	39
6	Hentbol Tk. Malzeme Odası B-19 Bodrum Kat	430	4.5	15	1.5	28.0	31.0	58	39
7	Vitamin Bar 1. Kat	123	1.3	450	1.0	27.0	28.0	35	23
8	Vitamin Bar 1. Kat	108	1.1	450	1.7	27.0	28.0	35	23



Şekil 4.7. Spor Salonu'nda ölçüm yapılan yerlerdeki ortalama atmosferik Radon konsantrasyonları



Şekil 4.8. Atatürk Spor Salonu için belirlenen yıllık etkin doz eşdeğerleri

4.5. Hukuk Fakültesi Ölçümleri

Hukuk Fakültesi 2009 yılında kurulmuştur. Doğu kampüsünde yer alan 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. Üç katlı olan betonarme tipteki fakülte binası 2000 yılında yapılmış İktisat Fakültesi binasıdır. 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 Hukuk Fakültesi'nde belirlenmiş olan 16 ölçüm noktasına (çiftler halinde 8 odaya) yerleştirilerek Radon gazına maruz bırakılmıştır. Çizelge 4.5'de yerleri verilen ölçüm noktalarından toplanan dedektörlerin analizleri SANAEM'de yapılarak dedektörler üzerindeki alfa parçacıklarına ait iz yoğunlukları belirlenmiştir. $42.95 \text{ (kBq/m}^3\text{)}/(\text{iz/saat})$ değerindeki kalibrasyon faktörünün Denklem 3.1'de kullanılmasıyla her bir ölçüm noktasındaki Radon seviyesi hesaplanmıştır. Tamamı ölçüm yapılan odaların zemininden 1m yüksekliğe konulan dedektörlerin kayıt ettikleri atmosferik Radon konsantrasyonları, bu ölçüm noktalarında maruz alınacak yıllık dozlar ve ortam koşullarına ait bazı bilgiler Çizelge 4.5'de sunulmaktadır. Hukuk Fakültesi ölçüm noktalarındaki 2010 yılı yaz mevsimine ait Radon yoğunluklarının 155 Bq/m^3 ile 607 Bq/m^3 değerleri arasında değiştiği ve ortalama konsantrasyonun $265 \pm 131 \text{ Bq/m}^3$ 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/m^3 lük düzeyin üzerinde Radon gazı yoğunluğu tespit edilmiştir.

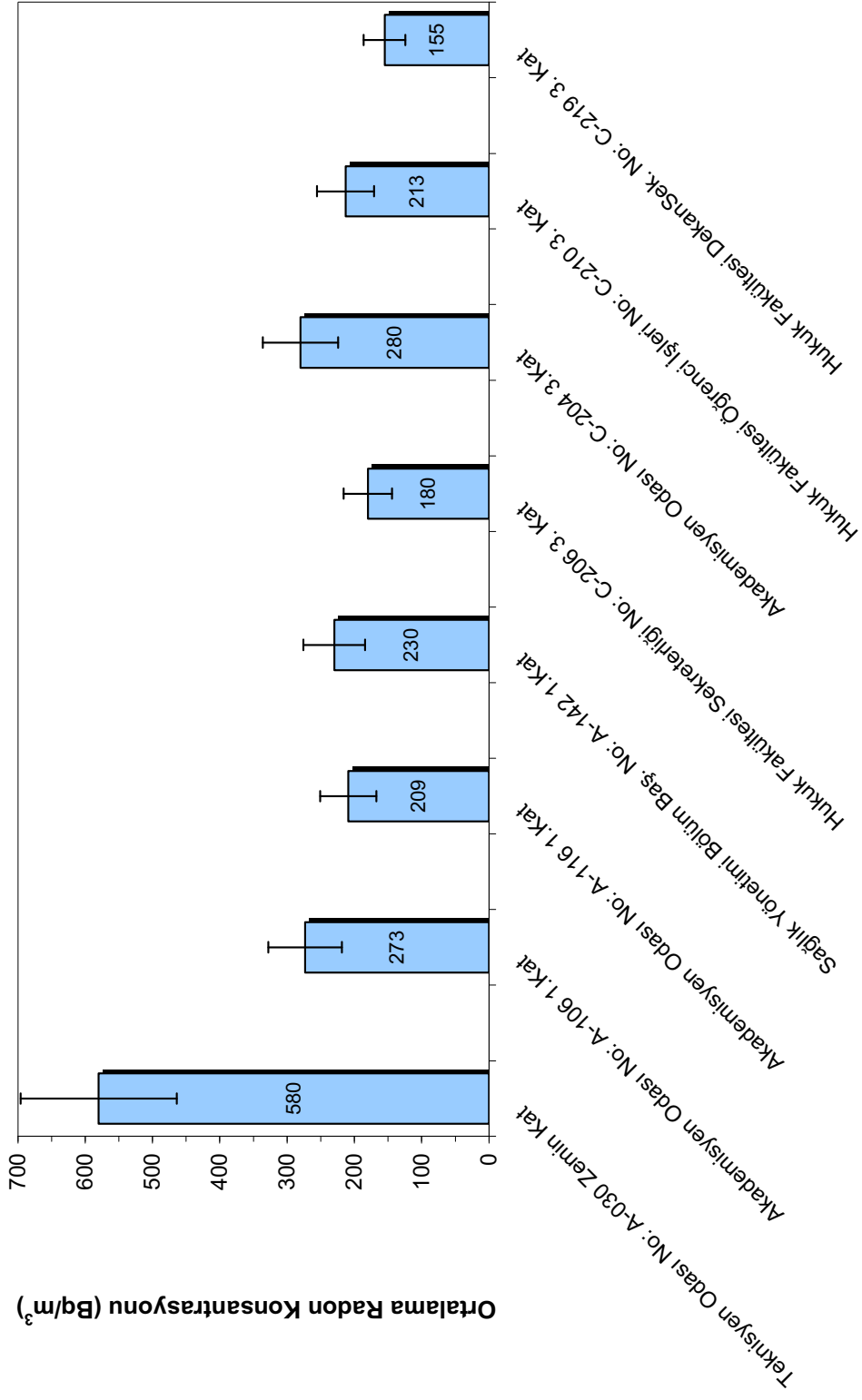
Binadaki Radon düzeylerinin, beklentiye uygun olarak yükseklik arttıkça azaldığı görülmektedir. En yüksek Radon yoğunluğuna 580 Bq/m^3 lük ortalama ile zemin katta rastlanılmış, ortalamanın 1. katta 238 Bq/m^3 e ve 3. katta 207 Bq/m^3 değerine

düştüğü tespit edilmiştir. Ayrıca, ölçüm yapılan her bir odadaki ortalama Radon yoğunluğu Şekil 4.9 ile verilmektedir.

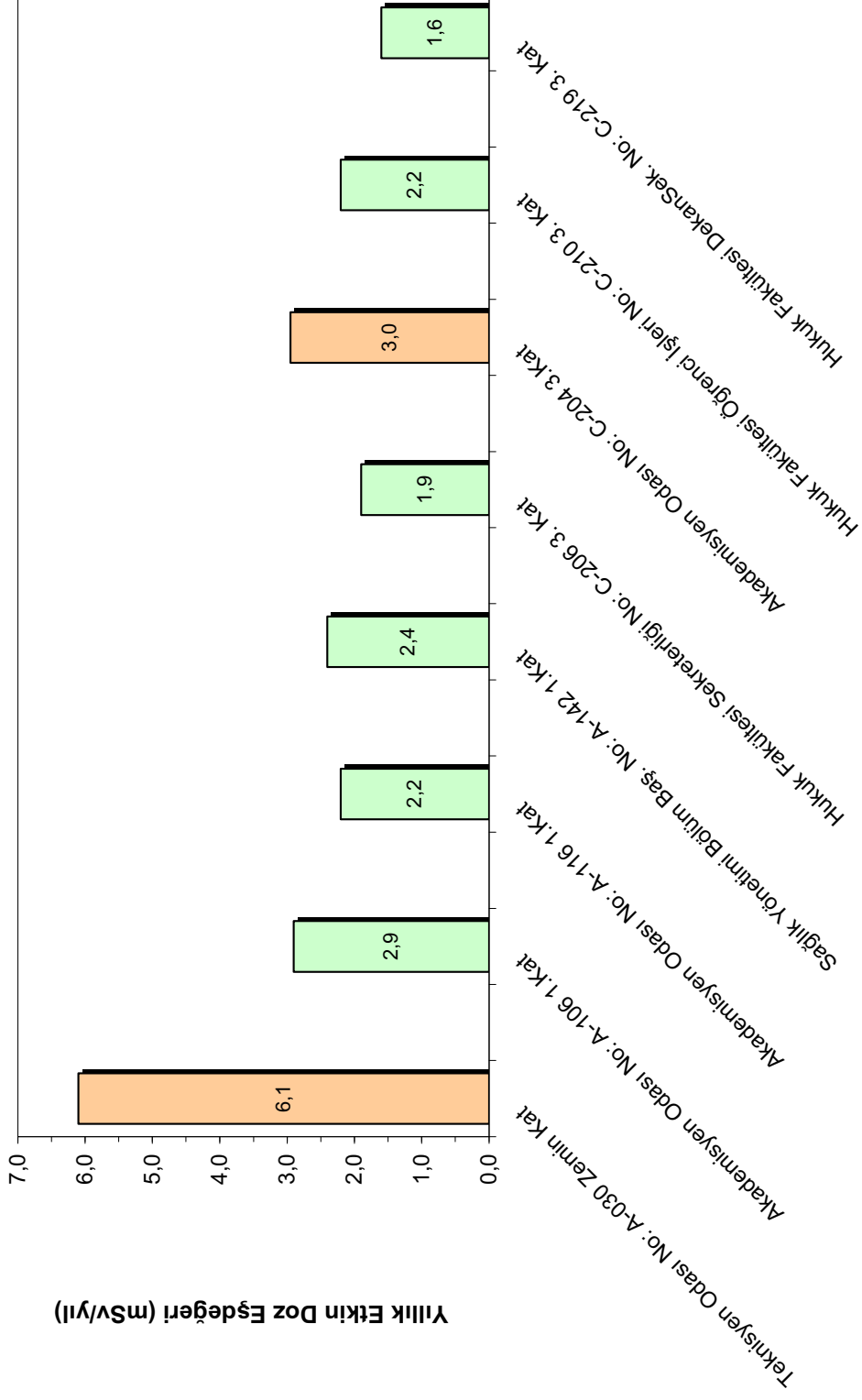
Elde edilen Radon yoğunlukları kullanılarak, fakülteadaki ölçüm yapılan noktalarda maruz kalınacak yıllık etkin doz eşdeğerleri Denklem 3.2 ile hesaplanmıştır (Çizelge 4.5). Alınacak doz düzeylerinin 1.6 ile 6.4 mSv/yıl değerleri arasında değiştiği bulunmuştur. Hukuk Fakültesi genelinde, personel ve öğrencilerin maruz kalacakları ortalama doz miktarı ise 2.8 mSv/yıl düzeyindedir. Ayrıca, 8 oda için maruz kalınacak yıllık etkin doz eşdeğeri ortalamaları Şekil 4.10 ile ayrı ayrı değerlendirilmiştir. ICRP'nin belirlendiği müdahale limitleri açısından bakıldığında, binadaki her dört odadan birinde 3mSv'lik alt limitin aşılmasına neden olacak düzeyde Radon gazının varlığından söz edilebilir. Son olarak, zemine yakın yerlerde alınacak yıllık etkin doz miktarlarının dikkat çekici bir biçimde artma eğilimi gösterdiği söylenebilir.

Çizelge 4.5. Hukuk Fakültesi'ne yerleştirilen dedektörlerin konumları, ölçüm yapılan yerlerdeki nem, sıcaklık, kullanım alanı bilgileri ile nükleer iz dedektörlerinin bu noktalarda kayıt ettiği atmosferik Radon seviyeleri ve hesaplanan yıllık doz düzeyleri

Sıra No	Konumlandırıldığı Yer	RAC (Bq/m ³)	YEDE (mSv/yıl)	Oda Alanı (m ²)	Zeminden Yüksekliği (m)	Sıcaklık (°C)		Nem (%)	
						18.05 2010	12.07 2010	18.05 2010	12.07 2010
1	Teknisyen Odası No: A-030 Zemin Kat	552	5.8	20	1	28.8	30.0	57	33
2	Teknisyen Odası No: A-030 Zemin Kat	607	6.4	20	1	28.8	30.0	57	33
3	Akademisyen Odası No: A-106 1.Kat	254	2.7	20	1	28.3	30.4	56	34
4	Akademisyen Odası No: A-106 1.Kat	293	3.1	20	1	28.3	30.4	56	34
5	Akademisyen Odası No: A-116 1.Kat	226	2.4	15	1	28.0	31.0	56	31
6	Akademisyen Odası No: A-116 1.Kat	192	2.0	15	1	28.0	31.0	56	31
7	Sağlık Yönetimi Bölüm Baş. No: A-142 1.Kat	232	2.4	40	1	28.0	-	57	-
8	Sağlık Yönetimi Bölüm Baş. No: A-142 1.Kat	229	2.4	40	1	28.0	-	57	-
9	Hukuk Fakültesi Sekreterliği No: C-206 3. Kat	182	1.9	50	1	27.9	31.5	60	35
10	Hukuk Fakültesi Sekreterliği No: C-206 3. Kat	177	1.9	50	1	27.9	31.5	60	35
11	Akademisyen Odası No: C-204 3.Kat	252	2.7	15	1	28.5	32.0	56	35
12	Akademisyen Odası No: C-204 3.Kat	308	3.2	15	1	28.5	32.0	56	35
13	Hukuk Fakültesi Öğrenci İşleri No: C-210 3. Kat	204	2.1	15	1	28.0	31.0	60	35
14	Hukuk Fakültesi Öğrenci İşleri No: C-210 3. Kat	222	2.3	15	1	28.0	31.0	60	35
15	Hukuk Fakültesi DekanSek. No: C-219 3. Kat	155	1.6	15	1	28.0	31.5	59	30
16	Hukuk Fakültesi DekanSek. No: C-219 3. Kat	155	1.6	15	1	28.0	31.5	59	30



Şekil 4.9. Hukuk Fakültesi için ölçüm yapılan odalardaki 2010 yaz mevsimi ortalama Radon gazı düzeyleri



Şekil 4.10. Hukuk Fakültesi'nde maruz kalman etkin dozlar

Bu çalışmada yapılan bina içi atmosferik Radon konsantrasyonu ölçümlerinin ve alınacak yıllık etkin doz eşdeğeri hesaplamalarının karşılaştırmalı olarak genel bir değerlendirmesi, daha önce C-39 dedektörleri kullanılarak Süleyman Demirel Üniversitesi'ndeki diğer birimlerde yapılmış benzer çalışmalara ait sonuçlarla birlikte Çizelge 4.6' da verilmektedir. Buna göre, üniversite binalarındaki ortalama Radon düzeylerinin 173 Bq/m^3 ile 324 Bq/m^3 arasında değiştiği bu ortalamaların 39 Bq/m^3 olan dünya ortalamasından 4.4 ile 8.3 kat arasında daha yüksek olduğu açıkça görülmektedir.

Çizelge 4.6. S.D.Ü. birimlerindeki ortalama Radon düzeyleri ve maruz kalınacak yıllık doz eşdeğerleri

	BİRİM	RAC (Bq/m³)	YEDE (mSv/yıl)	KAYNAK
1	Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi	259±136	2.7	bu çalışma
2	Bilgi İşlem Merkezi	173±86	1.8	bu çalışma
3	Ziraat Fakültesi	279±123	2.9	bu çalışma
4	Spor Salonu	324±152	3.4	bu çalışma
5	Hukuk Fakültesi	265±131	2.8	bu çalışma
6	Bilgi Merkezi	188	1.97	Karakılıç vd. 2009
7	Diş Hekimliği Fakültesi	217	2.28	Kürkçüoğlu vd. 2010

5. SONUÇ

İnsanlar radyasyon nedeniyle sağlık riskleriyle karşı karşıyadır ve bu sebepten çevresel radyasyonun belirlenmesi oldukça önemlidir. İnsanların doğal radyasyon kaynaklarından aldıkları eşdeğer dozun büyük bölümü Radondan kaynaklanmaktadır. Radonun asıl kaynağı Uranyum olduğu için Radon düzeyleri yerkaşu üzerinde bölgeden bölgeye göre değişiklikler göstermektedir. Ülkemizde, yaşadığımız alanlarda insan ve çevre sağlığını etkileyen radyolojik risklerin belirlenmesi amacıyla yapılan Radon konsantrasyonu ölçümlerine dayalı araştırmalar son yıllarda yoğunluk kazanmıştır.

Kapalı alanlarda zamanla birikerek yüksek düzeylere ulaşabilen Radonun sigaradan sonra kanserojen etkiye sahip en etkin ikinci maddedir. Ülkemizde her yıl yaklaşık 150 bin kişiye kanser teşhisi konduğu ve en yüksek ölüm oranının akciğer kanserinden kaynaklandığı göz önüne alındığında, zamanımızın çoğunu içerisinde geçirdiğimiz ev, okul ve işyerlerinde Radon düzeylerinin belirlenmesinin insan sağlığı bakımından çok önemli olduğu tartışılmaz bir gerçektir. Üstelik daha önce yapılmış sınırlı sayıdaki radyolojik ölçüme göre Isparta ilindeki Radon seviyesinin ($\sim 160 \text{ Bq/m}^3$) 2004 yılında belirlenen 35 Bq/m^3 lük Türkiye ortalamasından çok daha yüksek bir düzeyde olması bu çalışmanın önemini daha da arttırmaktadır.

Bu çalışmada, Süleyman Demirel üniversitesinde bulunan Ziraat Fakültesi, Hukuk Fakültesi, Atatürk Spor Salonu, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Bilgi İşlem Merkezi'nde CR-39 nükleer iz dedektörleri ile ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümler yaklaşık 8 hafta süre ile 2010 yılı Mayıs ile Temmuz ayı arasında yapılmıştır. Ölçümler sonucunda, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Ziraat Fakültesi, Hukuk Fakültesi, Atatürk Spor Salonu, Bilgi İşlem Merkezi'nde ortalama Radon konsantrasyonlarının sırasıyla 259 Bq/m^3 , 279 Bq/m^3 , 265 Bq/m^3 , 324 Bq/m^3 , 173 Bq/m^3 olduğu tespit edilmiştir. Her ne kadar birimlere ait ortalamalar, TAEK ve ICRP'nin kabul ettiği müdahale seviyelerinin (sırasıyla 1000 Bq/m^3 ve $500\text{-}1500 \text{ Bq/m}^3$ lük limitlerin) altında da kalsa, genel olarak dünyada görülen bina içi Radon düzeylerini aşan çok sayıda ölçüme rastlanmıştır. Bu noktadaki Radon seviyeleri kanser riski bakımından dikkate alınmalıdır. Isparta iş yerlerindeki Radon

düzeylerinin araştırıldığı başka bir çalışmada, 15 mahallede ölçümler yapılmış ve il merkezi genelinde iş yerleri için 150 Bq/m^3 düzeyinde bir konsantrasyona rastlanmıştır (Küküoğlu vd., 2010). Süleyman Demirel Üniversitesi yerleşkelerinde CR-39 dedektörleriyle yapılan tüm ölçümler birlikte değerlendirildiğinde, üniversite genelinde bina içi atmosferik Radon konsantrasyonunun 250 Bq/m^3 civarında bir ortalama ile dünya ortalamasının 6 katından daha fazla bir düzeyde seyrettiği söylenebilir. Bu sonuç, yerleşke için bina içi Radon düzeylerinin azımsanmayacak kadar yüksek olduğunu açıkça ortaya koymaktadır.

Ayrıca personel ve öğrencilerin ölçüm yapılan binalarda alacakları eşdeğer doz miktarları elde edilen ortalama Radon yoğunlukları kullanılarak hesaplanmıştır. Yıllık etkin dozlar, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Ziraat Fakültesi, Hukuk Fakültesi, Atatürk Spor Salonu ve Bilgi İşlem Merkezi için sırasıyla 2.7 mSv, 2.9 mSv, 2.8 mSv, 3.4 mSv ve 1.8 mSv olarak bulunmuş ve alınacak doz düzeyleri ortalamalarının 1.8 ile 3.4 mSv/yıl değerleri arasında değiştiği görülmüştür. Bilgi İşlem Merkezi haricindeki birimlerde ICRP'nin alt müdahale limiti olan 3mSv düzeyinde dozlara rastlanması (üstelik spor salonunda bu değer aşılmış durumdadır) ve doz hesaplamalarında bina içi meşguliyet faktörünün günde 8 saat üzerinden hesaplanmış olması, Isparta il merkezinde nadiren 150 Bq/m^3 ün altına düşen atmosferik Radon seviyesi bilgisi ile birlikte dikkate alındığında (yani, günde 16 saat de en az bu düzeyde doz alınacak demektir), Isparta'da yaşayanların ICRP'nin zorunlu müdahale limiti olan 10 mSv'i aşacak düzeyde Radona maruz kalmasının çok da zor olmadığını göstermektedir.

Birleşik Krallık Ulusal Radyolojik Korunma Kurulu, NRPB (National Radiological Protection Board UK) evlerdeki bina içi radon ölçümlerinin %1'inin 200 Bq/m^3 seviyesini geçtiği bölgeleri radonun etkisinde kalmış alan (radon affected area) olarak adlandırmaktadır (Denman ve Phillips, 1998). Bu tez çalışması için ölçüm yapılan odaların %65 e yakınında 200 Bq/m^3 ten yüksek ortalamalar tespit edilmiştir. 200 Bq/m^3 ten yüksek konsantrasyonların ölçüldüğü bu mekanlarda, insan sağlığının olumsuz yönde etkilenmesini önlemek amacı şu gibi önlemler alınması tavsiye edilebilir:

- 1) İçinde yaşadığımız ortamların sürekli olarak kapalı tutulmayıp havalandırmanın mümkün olduğu kadar yapılması Radon gazının zamanla birikimini engelleyeceğinden havalandırma koşullarının iyileştirilmesi gerekmektedir,
- 2) Binaların toprak ile bağlantısının sağlandığı noktalar olan bodrum katları iyi yalıtılmış olmalıdır. Toprakla teması olan bina zemininin Radonun bina içine girişini önleyecek biçimde yalıtılması önem teşkil etmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Akpınar Y.B., 2006. Primer Akciğer Karsinomu Nedeniyle Opere Edilecek Hastalarda Otofloresan Bronkoskopi ile Prekanseroz Lezyonların ve Senkron Tümörlerin Sıklığının Araştırılması, Uzmanlık Tezi, 125s, İstanbul.
- Akyıldırım, H., 2005. Isparta İlinde Radon Yoğunluğunun Ölçülmesi ve Haritalandırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans tezi, 99s, Isparta.
- As'ad, H. I., 2006. Physics Department, Science Education College, Salahaddin University, Erbil/ İraçî Kurdistan Region-erbil, Study of Indoor Radon /Thoron And Its Hazards Inside Kındergartens In İraçî Kurdistan Using CR-39 Nuclear Track Detectors, Proceedings Of The 2nd Environmental Physics Conference, 18-22 Feb. Alexandria, Egypt
- Baldık, R., 2005. Gökgöl ve Cehennemağzı Mağraları ile Amasra Taşkömürü İşletmesi'nde Radon-222 Ölçümü. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 81s, Zonguldak.
- 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.
- Bochicco, F. And Risica, S., 1990. Active Radon and Radon Daughter Monitors. In Proceedings International Workshop on Radon Monitoring in Radioprotection. Enviromental Radioactivity and Earth Science (eds. L. Tommasino et al.), Trieste, 1989, World Scientific. Singapore, pp. 110-121.
- Bovi, M., Baldassini, P. and Porcu, I., 1993. Radon Monitoring Diffusion Device, Italia.
- Centro de Investigaciones Energeticas, 1995. Equipo Para Mediciones Continuas de Concentraciones de Radon in Aire Spanish.
- Çelebi, N., 2007. Konutlarda Radon Konsantrasyon Değerlerinin Yapı Biyolojisi Açısından İncelenmesi. VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, ss 327-402.
- 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, bildiri tam metni, Kayseri.
- Damla, N., Çevik, U., Kobya, A.İ., Ataksor, B., Işık, Ü., 2010. Assessment of environmental for batman, Turkey. Environmental Monitoring and Assessment, 160, 401-412.

- Değerlier, M., 2007. Adana İli ve Çevresinin Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Saptanması ve Doğal Radyasyonların Yıllık Etkin Doz Eşdeğerinin Bulunması. Doktora Tezi,175s, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Değerlier, M., Çelebi N., 2008. Indoor Radon concentrations in Adana, Turkey, Radiation Protection Dosimetry, 131(2), 259-264.
- Demel, F., 1988. Radon Activity Measuring Apparatus. Czeckoslovak Patent.
- Denman, A. R., Phillips, P. S., 1998. Workplace Radon in Northamptonshire. Environmental Management and Health. 9/5, pp 194-199.
- Dubois, G., 2005. An Overview of Radon Surveys in Europe. EUR 21892 EN. 168p. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- Durrani, A.S. and Ilic, R., 1997. Radon Measurements by Etched Track Detectors: Applications in Radiation. Earth Sciences and Enviroment, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, 387p. England.
- 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.
- Erees, F.S., Akozcan, S., Parlak Y., Cam, S., 2006. Assessment of dose rates around Manisa (Turkey). Radiation Measurements, 41, 598-601.
- Fişne, A., 2002. Yeraltı Madenlerinde Radon Gazı Konsantrasyon Seviyelerinin Belirlenmesi ve İşçi Sağlığı Üzerine Etkilerinin Araştırılması. İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, s. 22-24, İstanbul.
- Fişne, A., Otken, G., Çelebi, N., 2005. Radon concentration measurements in bituminous coal mines. Radiation Protection Dosimetry, 113(2), 173-177.
- Fleischer, R. L. and Mogro- Campero, A., 1980. Techniques and principles for mapping of integrated Radon emanation within the Earth. National Radiation Environment, 3, 57-71.
- Fuji Photo Film Co. Ltd., 1993. Dedection of Radon in Air. Japanese Patent, 930,427.
- Gellev, M. G., Penchev, O. Y., Pressianov, D. S., Pentshev, O. J. And Geilev, M. G., 1993. Radon and Thoron Daughter product Monitoring Device. U.S. patent, 5, 225, 673, 930, 706 from 91 BG-093, 584, 910, 104.

- George, A. C., 2007. World History of Radon Research and Measurement from the Early 1900's to Today. Historical Evolution of Radon Measurements.
- Graves, B., 1987. Radon, Radium, and Other Radioactivity in Ground Water. Lewis Publishers. Chelsea, MI, 437-447pp.
- Güler, Ç., Çobanoğlu, Z., 1997. Radon Kirliliği. Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi, No: 44, 18s. Ankara.
- Gültekin, Y., Çam, S., Ereeş, F. S., 2003. Manisa ili Bina İçi Radon Konsantrasyonu Tayinleri. VII. Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi, 15-17 Ekim, Erciyes Üniversitesi, bildiri tam metni. Kayseri.
- Gürsoy G., 2004. Patients Who Died of Cancer in Training and Research Hospitals and University Hospitals. <http://www.ukdk.org/pdf/kitap/en/22.pdf> Erişim Tarihi: 28.03.2009.
- Hambleton - Jones, B. B., Smit, M. C. B., 1980. ROAC – A New Dimension in Radon Prospecting. Atomic Energy Board, Pretoria.
- Hewson, G.S., Ralph, M.I., 1994. An Investigation Into Radiation Exposure in Underground Non-Uranium Mines in Western Australia. Journal of Radiological Protection, 14(4), 359-370.
- ICRP, 1993. Annual Report of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication. Ann ICRP Oxford:Pergamon; No:65.
- Kam, E., Bozkurt, A., 2007. Environmental Radioactivity Measurements in Kastamonu Region of Northern Turkey, Applied Radiation and Isotopes, 65, 440-444.
- Kam, E., Yazar 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, 143s.
- Karadem, A., 2011. CR-39 Dedektörleri ile Mağaralarda Radon Konsantrasyonu Ölçümleri. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans tezi, 97s, Isparta.
- 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.
- Karakılıç, V., Cof, G., Kürkçüoğlu, M.E., 2010. Türkiye genelinde bina içi atmosferik Radon seviyelerinin karşılaştırılması. ADIM Fizik Günleri-I Kongresi, Afyonkarahisar, Türkiye, 21-22 Mayıs 2010, Özet Kitabı.

- 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.
- Kulalı, F., 2009. Toprak gazında Radon Anomalileri ve Depremlerin İlişkilendirilmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 60s, Isparta.
- Kumbur, H., Zeren O., Köksal M., Özçınar B., 1997. İçel’de Evlerde Radon Düzeylerinin Araştırılması. *Ekoloji*, (25), 25-31ss. <http://www.ekolojidergisi.com.tr/resimler/25-8.pdf> Erişim Tarihi: 28.03.2009.
- Kurnaz, A., Küçükömeroğlu B., Çelebi N., 2009. Seasonal Variation of Indoor Radon Levels in Trabzon. *Türk Fizik Derneği 26. Uluslararası Fizik Kongresi*, 24-27 Eylül 2009, Bodrum, Türkiye, Özet Kitabı, 88s.
- Küçüktaş, E., 1996. Maden Ocaklarındaki Radyonüklid Konsantrasyonlarının Birikimi Etkileyen Parametrelere Bağlı Olarak Ölçülmesi, Maruz Kalınan Dozların Analitik Bir Yöntem Geliştirilerek Hesaplanması. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Nükleer Bilimler Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 64s, İzmir.
- Kürkçüoğlu I., Karakılıç V., Kürkçüoğlu, M.E., 2010. 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, Prishtina-Kosovo, September 23-25, Abstract Book, p85.
- 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.
- Lucas, H. F., 1957. Improved low level alpha-scintillation counter for Radon. *review of science instruments*, 28(9), 680-683p.
- NCRP, 1988. Report. Measurements of Radon and Radon Daughters in Air, 97, p174.
- Nsibande, M.C., Mahlobo, M., and Farid, S.M., 1994. Radon Llevels Inside Residences in Swaziland, *Science of The Total Environment* Volume 151, Issue 3, 18 July, pp.181-185.
- Özderya, F., Küçükömeroğlu, B., Kurnaz A., Taşkın, H., 2009. Indoor Radon Concentration Measurement in Samsun. *Türk Fizik Derneği 26. Uluslararası Fizik Kongresi*, 24-27 Eylül 2009, Bodrum, Türkiye, Özet Kitabı, 93 s.
- Papaefthymiou, H. and Georgiou, C. D., 2007. Indoor Radon levels in primary schools of patras, Greece. *Radiation Protection Dosimetry*, 1–5.

- Planiniç, J., Faj, D., Vukoviç, B., Faj, Z., Radoliç, V., Suveljak, B., 2002. Radon Exposure and Lung Cancer. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 256(2), 349-352.
- Radosys WEB, 2010. <http://www.radosys.com/products.html> Erişim Tarihi: 25.03.2010.
- Rahman, S.U., Anwar, M. and J, 2009. Assessment of The Dose Received By Students and Staff in Schools in the Rawalpindi Region Of Pakistan Due To indoor Radon, pp273–277.
- RESMÎ 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, M.M., Camgöz, B., 2005. İzmir'de sismik aktiviteler ile Radon konsantrasyonları arasındaki korelasyonun incelenmesi. *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 7(3), 47-54.
- Scheible, J. N., 1987. Radon Collection Apparatus. U.S. Patent, 091, 589, 870, 831.
- 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.
- Sgorbati, G., 1989. Gamma Spectroscopy of Natural Radionuclides. In Proc. Int. Workshop on Radon Monitoring in Radioprotection, Enviromental Radioactivity and Earth Science (eds. L. Tommasino et al.) Trieste, 1989, World Scientific, Singapore, 189-198pp.
- Singh, A.K., Varma, N.K., Ahmad, I., Shay, N., Singh, R.P., 2001. Environmental health hazards in coal mines with special reference to radioactivity and its contro a review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 31, 63-67.
- TAEK, 2008. Teknik Rapor. Türkiye'deki çevre radyoaktivitesinin izlenmesi s17.
- TAEK, 2009. Kapalı Ortam Radon Konsantrasyonları. http://www.taek.gov.tr/bilgi/bilgi_maddeler/analiz_kapaliortam.html Erişim Tarihi: 12.11.2010.
- Taner, A.C., 2006. İyonlaştırıcı Radyasyonların Biyolojik Etkileşme Mekanizmaları. *Çağın Polisi Dergisi*, 55. ve 56. sayılar.

- Turhan, A., 2008. Borlamanın Paslanmaz Çeliğinin Radyasyon Zırhlama Özelliğine Etkisinin Araştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans tezi, 83s, Isparta.
- 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, s383.
- 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.
- UNSCEAR, 1982. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources, Effects, and Risks of Ionizing Radiation.
- UNSCEAR, 1988. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources, Effects, and Risks of Ionizing Radiation.
- Ünüvar, N., Mollahaliloğlu, S., Yardım, N., 2006. Türkiye Hastalık Yükü Çalışması, Ankara.
- Vaizoğlu, S.A., Güler Ç., 1999. Indoor Radon concentrations in Ankara dwellings. Indoor and Built Environment, 8, 327–331.
- Vaupoti, J., Kobal, I., Planini, J., 1998. Long-Term Radon Investigation in Four Selected Kindergartens in Different Geological and Climate Regions of Slovenia, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, VoL 238, Nos 1 2 pp61- 66.
- 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.
- Vural, S.M., 2004. Yapı İçi Hava Niteliği Risk Süreci Modeli Belirlenmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 22s, İstanbul.
- WEB, 2010. www.nukleer.web.tr/uaea/pia75/icerik.htm. Erişim Tarihi: 08.09.2010
- WEB, 2011 http://www.mclaughlincentre.ca/research/map_radon/Index.htm Erişim Tarihi: 29.06.2011
- WHO, 2005. Radon and Cancer. World Health Organization Fact Sheet, No: 91.
- WHO, 2009. Handbook on Indoor Radon. a Public Health Perspective. Edited By Hajo Zeeb. and Ferid Shannoun. World Health Organization, s83.
- Yaprak, G., Candan, O., Gür, F., Batmaz, İ., Camgöz, B., 2003. Aktif Gediz Grabeninde Yeralan Alaşehir/Manisa Yöresinde Tektonik Aktiviteye Dayalı

Radon Anomalilerinin İncelenmesi. VII. Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi, 15-17 Ekim 2003, Kayseri, http://kutuphane.taek.gov.tr/internet_tarama/dosyalar/cd/4115/pdf/202.pdf. Erişim Tarihi: 29.03.2009.

Yarar, Y., Gunaydi, T., Kam, E., 2005. A Radon Survey in Some Regions of Turkey. International Congress Series, 1276, 385-386.

Yarar, Y., Günaydı, T., Çelebi, N., 2006. Determination of Radon concentrations of the Dikili Geothermal area in western Turkey. Radiation Protection Dosimetry, 118(1), 78-81.

Yürekli Y., Ertay T., Sayit E., Aktoğu S., Doğan A.S., 2002. Akciğer Kanserlerinin Tc-99m Tetrofosmin ile Görüntülenmesi: Talyum-201 ile Karşılaştırmalı Bir Çalışma. Toraks Dergisi, 3(3), 266-272.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Gökhan BAYRAKTAR

Doğum Yeri ve Yılı: Ankara-1982

Medeni Hali: Bekar

Yabancı Dil: İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Şehit Ali İhsan Kalmaz Lisesi 1996 - 2000

Lisans : Süleyman Demirel Üniversitesi FEF Fizik Bölümü 2002 - 2006

Yüksek Lisans : Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü 2009 -

Çalıştığı Kurum: KuveytTürk Katılım Bankası A.Ş. 2010

Yayınları

- 1- 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.
- 2- Bayraktar, G., Karakılıç, V., Karadem, A., Kürkçüoğlu, M.E., 2009. S.D.Ü. Sabancı Öğrenci Yurdu'nda CR-39 Dedektörleri Kullanarak Radon Ölçümleri. X. Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi, Bildiri Tam Metinleri, Cilt-I, ss. 245-252.

Bildirileri

- 1- Bayraktar, G., Karakılıç, V., Karadem, A., Kürkçüoğlu, M.E., 2009. S.D.Ü. Sabancı Öğrenci Yurdu'nda CR-39 Dedektörleri Kullanarak Radon Ölçümleri. X. Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi, Muğla,Türkiye, Poster Bildirisi.
- 2- Karakılıç, V., Bayraktar, G., Kürkçüoğlu, M.E., Haner, B., Yılmaz, A., 2009. S.D.Ü. Bilgi Merkezi'nde Radon Ölçümleri. Türk Fizik Derneği 26. Uluslararası Fizik Kongresi, 24-27 Eylül 2009, Bodrum, Türkiye, Poster Bildirisi.



- 3- Karadem A., Bayraktar G., Haner B., Yılmaz A ve Kürkçüoğlu M.E. 2009. Mencilis Mağarası İçin Kış Dönemi Radon Konsantrasyonunun Belirlenmesi, Türk Fizik Derneği 26. Uluslararası Fizik Kongresi, 24-27 Eylül 2009, Bodrum/Türkiye, Poster Bildirisi