

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**ADAPAZARI MERKEZİ KIŞ DÖNEMİ
RADON ÖLÇÜM VE ANALİZLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Enis KAPDAN**

Anabilim Dalı : Enerji Bilim ve Teknoloji

Programı : Enerji Bilim ve Teknoloji

MAYIS 2009

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**ADAPAZARI MERKEZİ KIŞ DÖNEMİ
RADON ÖLÇÜM VE ANALİZLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Enis KAPDAN

(331071012)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 04 Mayıs 2009

Tezin Savunulduğu Tarih : 04 Haziran 2009

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Nesrin ALTINSOY (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. A. Beril TUĞRUL (İTÜ)
Doç. Dr. Cenap Ş. ÖZBEN (İTÜ)

MAYIS 2009

ÖNSÖZ

“Adapazarı Merkezi Kış Dönemi Radon Ölçüm ve Analizleri” adlı bu tezin, Cr-39 dedektörlerinin temini ve sayım işlemi Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezinde gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmanın hazırlanmasında danışmanlığımı üstlenen, araştırmanın her safhasında büyük bir özveriyle tecrübesini ve emeğini ortaya koyan değerli hocam Doç. Dr. Nesrin ALTINSOY’a;

Ayrıca çalışmanın gerçekleştirilmesi için her türlü desteği sağlayan, ÇNAEM Merkez Müdürü Dr. Şevket CAN’a, ÇNAEM Merkez Müdür Yardımcısı Dr. Deniz DALCI’ya, ÇNAEM Sağlık Fiziği Birim Koordinatörü Dr. Berna ATAKSOR’a;

Bununla birlikte çalışmanın hazırlanması sırasında değerli bilgilerini esirgemeyen, ÇNAEM Radyoaktivite Ölçme ve Analiz Birim Kooordinatörü Dr. Nilgün ÇELEBİ’ye, ÇNAEM Sağlık Fiziği Birimi Radyasyon Korunma Uzmanı Dr. Gürsel KARAHAN’a, ÇNAEM Radyoaktivite Ölçme ve Analiz Birimi Uzmanı Halim TAŞKIN’a, ÇNAEM Araştırma ve Geliştirme Bölümü Yüksek Fizikçisi Erol KAM’a, ÇNAEM Reaktör Teknolojileri Birimi Nükleer Enerji Yüksek Mühendisi Levent ÖZDEMİR’e, ÇNAEM Sağlık Fiziği Birimi Radyasyon Korunma Uzmanı Nesli ALBAYRAK’a;

Adapazarında yapılan saha çalışmalarında imkânlarını seferber eden; Adapazarı İlçe Kaymakamı Akın YILMAZ’a, Organize Sanayi Bölge Müdürü Şandan BAYHAN’a Adapazarı esnafı ileri gelenlerinden kadim dostumuz Selçuk İRİS’e

Çalışmalarımın ve hayatımın her aşamasında en büyük destekçim olan sevgili anneme ve eşime sonsuz teşekkür ederim.

Mayıs 2009

Enis KAPDAN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KISALTMALAR	v
SEMBOL LİSTESİ	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
ÖZET	x
SUMMARY	xi
1. GİRİŞ	x
2. ÇEVRESEL RADYASYON KAYNAKLARI	5
2.1 Radyoaktivite ve Radyasyon	5
2.1.1 Radyasyon birimleri.....	6
2.1.2 Düşük dozlu radyasyon riskleri	8
2.1.3 Radyasyon doz limitleri	9
2.2 Doğal ve Yapay Radyasyon Kaynakları	10
2.2.1 Doğal radyasyon kaynakları	11
2.2.1.1 Kozmik ışınlar	13
2.2.1.2 Karasal radyasyon	15
2.2.2 Yapay radyasyon kaynakları.....	23
3. RADON VE BOZUNUM ÜRÜNLERİ	25
3.1 Radon	25
3.2 Radonun Bozunum Ürünleri.....	27
3.2.1 Radon bozunum ürünleri için özel büyüklükler ve birimler.....	28
3.2.1.1 Potansiyel alfa parçacık enerji konsantrasyonu (PAEC)	28
3.2.1.2 Çalışma düzeyi (Working level)	29
3.2.1.3 Denge Faktörü (F)	30
3.3 Bina İçi Radon Konsantrasyonu	31
3.3.1 Toprak gazından gelen radon.....	33
3.3.2 İnşaat malzemelerinden gelen radon	35
3.3.3 Sulardan gelen radon	36
3.3.4 Doğal gazdan gelen radon	37
3.3.5 Bina içi radon gazının azaltılması için alınabilecek tedbirler.....	37
3.4 Radon Gazının Sağlık Üzerindeki Etkileri	38
3.5 Radon Uranyum Rezerv İlişkisi.....	42
3.6 Radon-Deprem İlişkisi.....	43

3.7 Radon Ölçüm Yöntemleri.....	47
3.7.1 Kısa dönem ölçüm teknikleri.....	48
3.7.1.1 Aktif karbon tekniği	48
3.7.1.2 Sıvı sintilasyon sayım sisteminde aktif karbon	49
3.7.1.3 Alfa iz dedektörleri	49
3.7.1.4 Elektret iyon odaları	49
3.7.1.5 Sürekli monitörler	50
3.7.1.6 Radon Tuzağı (Grab Sampler) tekniği	51
3.7.2 Uzun dönem ölçüm teknikleri	51
3.7.2.1 Katı hal nükleer iz dedektörleri (Alfa iz dedektörleri)	51
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	53
4.1 Bölgenin Tanıtılması.....	53
4.2 Dedektörlerin Yerleştirilmesi	57
4.2.1 Dedektörlerin konutlara yerleştirilmesi	57
4.2.2 Dedektörlerin okul ve işyerlerine yerleştirilmesi	58
4.3 Dedektörlerin Okunması.....	58
4.3.1 Araştırmada kullanılan radon ölçüm sistemi	59
4.3.1.1 Cr-39 radon dedektörleri	59
4.3.1.2 Kimyasal iz kazıma ünitesi	59
4.3.1.3 Radon iz okuma cihazı	61
5. DENEY SONUÇLARI	65
5.1 Radon Konsantrasyon Değerleri.....	65
5.1.1 Yerleşim bölgelerine göre radon konsantrasyon dağılımları.....	68
5.1.2 Bina türüne göre radon konsantrasyon dağılımları.....	70
5.2 Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri.....	74
5.2.1 Evler için yıllık etkin doz eşdeğerleri.....	74
5.2.2 Okul ve işyerleri için yıllık etkin doz eşdeğerleri.....	77
5.3 Radon Kaynaklı Kanser Riski.....	78
6. SONUÇ VE TARTIŞMA	81
6.1 Evlerde Ölçülen Radon Konsantrasyonlarının Değerlendirilmesi.....	81
6.2 Okullarda Ölçülen Radon Konsantrasyonlarının Değerlendirilmesi	83
6.3 İşyerlerinde Ölçülen Radon Konsantrasyonlarının Değerlendirilmesi	83
6.4 Bölge Genelinde Ölçülen Radon Konsantrasyonlarının Değerlendirilmesi	84
KAYNAKLAR.....	87
EKLER	91

KISALTMALAR

ALARA	As Low As Reasonable and Achievable
BSS	Basic Safety Standards
ÇNAEM	Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi
DSÖ	Dünya Sağlık Örgütü
EPA	United States Environmental Protection Agency
EEC	Equilibrium Equivalent Concentration
IAEA	International Atomic Energy Agency
ICRU	International Commission on Radiation Units and Measurements
ICRP	International Commission on Radiological Protection
KF	Kalite Faktörü
NCRP	National Council on Radiation Protection and Measurements
NRPB	National Radiation Protection Board
OSB	Organize Sanayi Bölgesi
PAEC	Potential Alpha Energy Concentration
RBE	Relative Biologic Effectiveness
SI	International System of Unit
TAEK	Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
TSE	Türk Standartlar Enstitüsü
UNSCEAR	United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
WHO	World Health Organization
WL	Working Level
Y.E.D.E	Yıllık Etkin Biyolojik Doz Eşdeğeri

SEMBOL LİSTESİ

RAC	Radon Activity Concentration
D	Track Density
D_f	Background Track Density
S	Standart Calibration Factor
T	Time

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1: İyonlaştırıcı radyasyon birimleri ve dönüşüm faktörleri.	6
Çizelge 2.2: Çeşitli radyasyonlar için kalite faktörleri.	8
Çizelge 2.3: Türkiye ve Dünyada değişik bölgelerdeki radyasyon dağılımı.	12
Çizelge 2.4: Doğada tek başına bulunan radyoizotoplar.	19
Çizelge 3.1: Radon ve bozunum ürünlerinin özellikleri.	27
Çizelge 3.2: Çalışma düzeyinin hesaplanması.	30
Çizelge 3.3: Farklı ülkelerdeki ev içi ortalama radon konsantrasyonu.	33
Çizelge 3.4: İnşaat malzemeleri içindeki ²²⁶ Ra ve ²²² Rn değerleri.	36
Çizelge 3.5: Evlerde ve işyerlerinde radon ve ürünleri için önerilen eylem seviyeleri.	41
Çizelge 3.6: Çeşitli ülkeler için radon konsantrasyon limitleri.	41
Çizelge 3.7: Çeşitli kayalardaki ortalama uranyum konsantrasyonu.	42
Çizelge 5.1: Adapazarı İlçe Merkezine bağlı mahallelerin ortalama radon konsantrasyonları ve çalışma düzeyleri.	66
Çizelge 5.2: Eski Adapazarı Bölgesindeki mahallelerin radon konsantrasyon değerleri.	68
Çizelge 5.3: Yeni Adapazarı Bölgesindeki mahallelerin radon konsantrasyon değerleri.	69
Çizelge 5.4: Farklı yerleşim bölgeleri için ortalama radon konsantrasyonları.	69
Çizelge 5.5: Farklı bina türleri için ortalama radon konsantrasyonları.	72
Çizelge 5.6: Farklı yerleşim bölgelerindeki okul ve konutlarda ortalama radon Konsantrasyonları.	73
Çizelge 5.7: Yeni Adapazarı Bölgesindeki mahalleler için hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri.	75
Çizelge 5.8: Eski Adapazarı Bölgesindeki mahalleler için hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri	76
Çizelge 5.9: Adapazarı ilçe merkezinde yaşayan halkın radondan aldıkları toplam doz miktarı	77
Çizelge 5.10: Konut, okul ve işyerleri için hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri	77
Çizelge 5.11: Adapazarı İlçe Merkezine bağlı mahalleler için radon kaynaklı akciğer kanseri riskleri.	79
Çizelge A.1: Konutlarda ölçülen radon konsantrasyon değerleri.....	92
Çizelge A.2: Okullarda ölçülen radon konsantrasyon değerleri.	93
Çizelge A.3: Okullarda ölçülen radon konsantrasyon değerleri.	94

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 : Yeryüzünde radyasyon dağılımı.	10
Şekil 2.2 : Doğal radyasyon kaynaklarından alınan dozlar.....	11
Şekil 2.3 : Doğal radyasyon kaynakları dağılımı.	13
Şekil 2.4 : Kozmik ışınlardan alınan radyasyon dozunun yüksekliğe göre değişimi.	15
Şekil 2.5 : Uranyum serisinin bozunum şeması.	17
Şekil 2.6 : Toryum serisinin bozunum şeması.	17
Şekil 2.7 : Aktinyum serisinin bozunum şeması.	18
Şekil 2.8 : Toprakta bulunan radyonüklit konsantrasyonları.	19
Şekil 3.1 : Radon ve radon dışındaki kaynaklardan maruz kalınan radyasyon dozları.	25
Şekil 3.2 : Uranyum bozunum serisi	27
Şekil 3.3 : Radonun binalara giriş yolları.	32
Şekil 3.4 : Topraktaki radon geçirgenliği.	35
Şekil 3.5 : Radon konsantrasyonunun havalandırmaya bağlı olarak değişimi.	38
Şekil 3.6 : Akciğerlerde radon bozunum ürünleri tarafından yapılan ışınlanma.	40
Şekil 3.7 : Kırklareli ili yüzey toprağındaki uranyum ve evlerdeki radon konsantrasyonlarının coğrafi dağılım haritaları.	43
Şekil 3.8 : 1966 Taşkent depremi öncesi kuyu sularında gözlenen radon konsantrasyon değişimleri.	45
Şekil 3.9 : 1967 Taşkent depremi öncesi kuyu sularında gözlenen radon konsantrasyon değişimleri.	45
Şekil 3.10: 1976 Songan-Pinwu depremi öncesi kuyu sularında gözlenen radon konsantrasyon değişimleri	46
Şekil 3.11: 1995 Kobe depremi öncesi kuyu sularında gözlenen radon konsantrasyon değişimleri.	46
Şekil 4.1 : Sakarya ili ve ilçeleri.	54
Şekil 4.2 : Adapazarı Merkez İlçesi.	55
Şekil 4.3 : Eski Adapazarı, Yeni Adapazarı ve Organize Sanayi Bölgesi.	56
Şekil 4.4: Bölgenin ana fay haritası ve çalışma sahası.	57
Şekil 4.5: Cr-39 Dedektörü.	59
Şekil 4.6: Kimyasal iz kazıma banyo ünitesi.	60
Şekil 4.7: Slaytlara Yerleştirilmiş Dedektörler.	60
Şekil 4.8: Otomatik iz okuma sistemi.	61
Şekil 4.9: Dedektörler üzerindeki izlerin okunma işlemi.	62

Şekil 4.10: Bilgisayar ekranında görülebilen alfa parçacık izleri.	62
Şekil 4.11: Okuyucu sistemin kalibrasyon doğrusu.	63
Şekil 5.1 : Adapazarı İlçe Merkezinde ölçüm yapılan binaların radon konsantrasyonları.	67
Şekil 5.2 : Mahalleler bazında ortalama radon konsantrasyonları.	67
Şekil 5.3: Farklı yerleşim bölgelerinin konsantrasyonları.ortalama radon	70
Şekil 5.4: Adapazarı Merkezine bağlı mahallelerde bulunan konutlarda ölçülen radon konsantrasyonları.	71
Şekil 5.5 : Adapazarı Merkezine bağlı okul binalarında ölçülen radon konsantrasyonu.	71
Şekil 5.6 : Adapazarı Merkezine bağlı Organize Sanayi Bölgesindeki işyerlerinde ölçülen radon konsantrasyonları.	72
Şekil 5.7 : Farklı yerleşim bölgelerinin ortalama radon konsantrasyonları.	73
Şekil 5.8 : Adapazarı ilçe merkezi ve etrafında ölçülen ortalama radon konsantrasyonları.	74
Şekil 5.9 : Bina içi radon konsantrasyonlarına bağlı olarak radon kaynaklı akciğer kanseri riski.	78
Şekil A1 : Binalarda radon araştırması bilgi formu.	91

ADAPAZARI MERKEZİ KIŞ DÖNEMİ RADON ÖLÇÜM VE ANALİZLERİ

ÖZET

Bu çalışma çerçevesinde; Sakarya ilinin önemli bir nüfus yoğunluğuna sahip Adapazarı ilçe merkezinde bina içi radon konsantrasyonlarının tespit edilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla bölge sınırları içinde bulunan bütün okullar, Organize Sanayi Bölgesindeki bütün fabrika ve iş yerleri ile konutların bir kısmına yerleştirilen dedektörler kullanılarak kış dönemi için karşılaştırmalı radon konsantrasyonu ölçümü ve değerlendirmesi yapılmıştır.

Radon konsantrasyonlarının nükleer iz kazıma yöntemi ile belirlendiği bu çalışmada kullanılan dedektörlerin okunma işlemi Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi Sağlık Fiziki bölümünde yapılmıştır. Bu araştırma kapsamında bölgeye nüfus yoğunluğu ve akciğer kanserine yakalanma sıklıkları göz önüne alınarak 136 adet Cr-39 pasif radon dedektörü yerleştirilmiştir. Bu dedektörlerin 45 tanesi Adapazarı İlçe'sine bağlı okullara, 36 tanesi Organize Sanayi Bölgesinde bulunan fabrika ve iş yerlerine, 55 tanesi ise Adapazarı İlçesine bağlı merkez mahallelerdeki konutlara yerleştirilmiştir. Bu dedektörler önceden belirlenen bu adreslerde 70 gün bekletilerek bina içi radon konsantrasyonları belirlenmiştir.

Adapazarı Merkezi Organize Sanayi Bölgesinde bulunan fabrika ve iş yerlerinde tespit edilen ^{222}Rn konsantrasyonu ortalaması $51,00 \text{ Bq/m}^3$, okullardaki ^{222}Rn konsantrasyonu ortalaması $65,48 \text{ Bq/m}^3$ ve evlerdeki ^{222}Rn konsantrasyonu ortalaması $59,14 \text{ Bq/m}^3$ 'tür. Radondan bir yılda alınan etkin doz eşdeğeri Adapazarı Merkezi Organize Sanayi Bölgesinde bulunan fabrika ve iş yerleri, okullar ve konutlar için sırasıyla 0.36, 0.47, 1.49 mSv olarak tespit edilmiştir. Her ne kadar ortalama radon konsantrasyonları WHO (Dünya sağlık Örgütü) ve diğer uluslararası kuruluşların belirlediği limit değerlerin altında çıkmış ise de, ölçüm ve analiz sonuçları tek tek değerlendirildiğinde bu limit değerlerin az da olsa aşıldığı görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Doğal radyoaktivite, Radon, Bina içi radon konsantrasyonu, Yıllık etkin doz eşdeğeri, Adapazarı radon konsantrasyonları

RADON MEASUREMENT AND ANALYSIS IN THE CENTER OF ADAPAZARI FOR WINTER SEASON

SUMMARY

Within the framework of this study; the assessment of the concentration of radon in buildings in the center of Adapazari district which has significant population density of Sakarya province is aimed. For this purpose, the comparative assessment of radon concentration measurements have been made for the winter period by using detectors placed at all schools within the district boundaries, all the factories and work places in the Organized Industrial Zone and a portion of dwellings.

Reading process of detectors which were used in this study to determine radon concentrations with the nuclear track method of excavation was held in Çekmece Nuclear Research and Training Center Health Physics Department. On the scope of this research, by considering of population density and how often people are caught lung cancer, 136 of Cr-39 passive radon detectors were placed in the region. 45 of these detectors were placed in schools connected to Adapazari district, 36 of them were placed in factories and work places in the Organized Industrial Zone, 55 of them were placed in dwellings in the neighborhood connected to the center of Adapazari district. The concentrations of radon in buildings were determined by waiting these detectors for average of 70 days at predetermined locations.

We determined that, the average radon concentration in factories and work places is $51,00 \text{ Bq/m}^3$, the average radon concentration in the dwellings is $59,14 \text{ Bq/m}^3$ and the average radon concentration in the schools is $65,48 \text{ Bq/m}^3$. Annual effective dose equivalent from radon have been determined by order of from the factories and work places, schools and dwellings in the Central Adapazari 0.41, 0.54, 1.49 mSv respectively. Although the average concentrations of radon are below the limit value identified by WHO (World Health Organization) and other international organizations, when the results of measurement and analysis are evaluated one by one it seems that the limit values are slightly exceeded.

Key words: Natural radioactivity, Radon, Indoor radon concentration, Annual effective dose equivalent, Adapazari radon concentrations

1. GİRİŞ

İnsanoğlu ve diğer canlılar, milyonlarca yıldan beri evrenden gelen kozmik ışınlar ve yerkürede bulunan doğal radyoaktif maddelerden yayılan radyasyonla ışınlanmakta olup; tüm canlılar varoluşlarından bu yana sürekli olarak doğal radyasyonla iç içe yaşamaktadırlar.

Vücudumuza solunum ve sindirim yollarıyla, hava, su, tüm bitkisel ve hayvansal besinlerde az da olsa bulunan radyoaktif maddeler alınmakta, bunlarda zamanla çeşitli organlarda birikmektedir. Buna ek olarak kozmik ışınlardan ve yerkürede bulunan doğal radyoaktif maddelerden etkilendiğimiz de düşünöldüğünde, insan vücudu hem iç hem de dış radyasyon ışınlanmasına doğal olarak maruz kalmaktadır (Durrani ve Iliç, 1997).

İnsanlar, yaşam standartları, yaşadıkları ortamların fiziksel özellikleri ve coğrafi şartlara bağlı olarak değişiklik göstermekle birlikte, yılda yaklaşık 2.5 mSv radyasyon dozuna maruz kalmaktadır. Radon haricindeki doğal radyoizotopların solunum yolu ile vücuda alınmasından kaynaklı iç ışınlamaya katkıları oldukça azdır. Radon tarafından maruz kalınan yıllık doz değeri ise, doğal radyoaktif kaynaklardan yıllık maruz kalınan doz değerinin yaklaşık olarak yarısı (1.3 mSv) olarak belirlenmiştir (UNSCEAR, 1988).

Renksiz, kokusuz, tatsız, periyodik cetvelin soy gazlar sınıfında yer alan Radon kaya, toprak ve sudaki doğal uranyumun radyoaktif bozunması sonucunda oluşur. Tarihsel olarak bakıldığında, 16. Yüzyıldan beri Almanya ve Çekoslavakya' daki yeraltı maden işçileri aşırı derecede solunum sistemi ve ona bağlı hastalıklara maruz kalmışlardır. 18. yüzyılın sonunda yeraltı uranyum madenlerinde çalışan pek çok işçinin ani ölümü, problemi had safhaya getirmiştir. Tıbbi tarih ve otopsi çalışmalarına bakıldığında bu ölümlerin %50' sinin akciğer kanserinden kaynaklandığı görölmüştür. 1924 yılında, radon'un akciğer kanserine ve solunum yolu hastalıklarına neden olabileceğine dikkat çekilmiştir. Daha sonra Amerika

Birleşik Devletleri' ndeki madenlerde yapılan çalışmalar, Rn-222 ve onun kısa yarı ömürlü bozunum ürünlerine maruz kalmayla akciğer kanseri arasında pozitif bir ilişki olduğunu göstermiştir. Bu nedenle ev ve iş yerlerinde Rn-222 konsantrasyon dağılımının belirlenmesi önemli bir problemdir (Qureshi ve diğ., 1999).

Genelde insanlar zamanlarının hemen hemen %90'ını kapalı mekânlarda geçirdikleri için radona maruz kalmaları önemli bir problem olarak ortaya çıkmaktadır. Binalardaki radon kaynağının büyük bir kısmı, binanın temelindeki toprak ve kayalardır. Radon ve diğer gazlar, toprak boyunca yükselerek binanın altında hapsolür ve bir basınç oluştururlar. Evlerdeki hava basıncı genelde topraktaki basınçtan daha düşüktür. Binanın altındaki bu yüksek basınç nedeniyle gazlar yerden ve duvarlardan, daha çok çatlak ve boşluklardan, bina içlerine sızarlar.

Radon gazı alfa parçacığı yaymakta olup, solunum yoluyla akciğerlere ulaşarak akciğer kanserine yakalanma riskini arttırmaktadır. Radon bozunduğu zaman, kısa yarı ömürlü bozunum ürünleri ortaya çıkmaktadır. Bozunum ürünleri havadaki toz ve diğer parçacıklara tutunarak radyoaktif aerosoller oluştururlar ve solunum yoluyla vücuda alınabilirler. Bozunum ürünleri kararlı hale gelinceye kadar bozunma devam eder ve bozunma sürecinin her aşamasında radyasyon salımı olur. Solunum borusunda ve akciğerlerdeki bozunma sonucunda, bu organlardaki hassas hücreler olumsuz etkilenerek kanser oluşumuna neden olabilmektedir. Bu süreçte, bozunma ürünlerinin bazılarının alfa yayıcı olmaları nedeniyle alfa radyoaktivitesinin biyolojik etkileri önem kazanmaktadır.

Uranyum madencileri üzerinde yapılan araştırmaların, radonun akciğer kanseri için ana sebep olduğunu ortaya koymasıyla, radona maruz kalma sınırlandırılmıştır (ÇELEBİ, 2000). Uluslararası Atom Enerji Ajansı, Temel Güvenlik Standartları (IAEA-BSS) çerçevesinde, radon için tavsiye edilen düzeyler evlerde 200-600 Bq/m³, iş yerlerinde 500-1500 Bq/m³ olarak belirlenmiştir. TAEK Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği, Türkiye'de müsaade edilebilir radon konsantrasyonunu, evlerde 400 Bq/m³, işyerlerinde 1000 Bq /m³ olarak belirlemiştir.

Çalışmamızda, "Türkiye'de Bina İçi Radon Ölçümü Projesi" kapsamında Adapazarı ilçe merkezinde radon gazı radyoaktivite konsantrasyonları ölçülmüştür. Bu çerçevede Adapazarı ilçe merkezindeki binalarda radon konsantrasyonu belirlenmiş ve yıllık maruz kalınan dozlar hesaplanmıştır. Ölçümler Çekmece Nükleer Araştırma

ve Eğitim Merkezi'nden sağlanan Cr-39 nükleer iz dedektörleri kullanılarak yapılmıştır. Dedektörler insanların günlük yaşamlarının büyük bir bölümünü geçirdikleri oturma odalarına ağız ve burun yüksekliğinde noktalara yerleştirilmiştir.

Ülkemizde ev içi radon gazı konsantrasyonları ölçümü henüz tamamlanmadığı için evlerde radon gazı seviyeleri ile bunun mevsimsel ve bölgesel değişimleri tam olarak bilinmemektedir. Bu çalışmada Adapazarı ilçe merkezinde bulunan okullar, fabrikalar ve konutlar arasında karşılaştırmalı radon konsantrasyon analizleri yapılarak radon gazı birikimini etkileyen faktörlerin belirlenmesi hedeflenmiştir.

Binalardaki radon konsantrasyonunun bilinmesi başka yararlar da sağlayacaktır. Radonun uranyum bozunma serisinde bir ara ürün olarak oluştuğu bilindiğinden dolayı, yapılan araştırma kapsamında yüksek radon konsantrasyonu tespit edilen bölgelerde araştırma sonrasında daha detaylı hava, toprak ve su analizleri yapılarak olası uranyum rezervleri belirlenebilmektedir Ayrıca uzmanlar tarafından büyük depremlerden iki üç gün önce radon gazı çıkışının ciddi oranda arttığı belirlenmiştir. (TAEK, 2005). Araştırma bölgesi Kuzey Anadolu Fay Hattına yakın olduğu için bu konunun önem arz ettiği söylenebilir. Yapılan çalışmalar kapsamında belirlenen radon konsantrasyon değerleri kullanılarak, kapalı ortamlar için tasarlanacak deprem öncesi uyarı sistemleri için bir veri tabanı oluşturulması mümkün olacaktır.

2. ÇEVRESEL RADYASYON KAYNAKLARI

2.1 Radyoaktivite ve Radyasyon

Radyoaktivite, kararsız olan bazı atom çekirdeklerinin, bazı parçacıklar ve/veya enerji yayınlamakla kendiliğinden bozunmasıdır. Bir çekirdeğin kararlılığını, nötron (N) ve proton (Z) sayıları, düzenlenişleri ve birbirleri üzerine uyguladıkları kuvvetler belirler. N/Z oranı hafif izotoplarda 1 iken, periyodik çizelgenin sonundaki ağır elementlere doğru gidildikçe bu oran artmaktadır. En ağır kararlı çekirdek ${}_{83}\text{Bi}^{207}$ dur. Daha ağır çekirdekler sahip oldukları fazla enerjiden dolayı kararsızdırlar. Böyle çekirdeklere radyoaktif çekirdek adı verilir. Bunlar fazla enerjilerinden radyasyon yayınlamakla kurtulmaya ve kararlı duruma geçmeye çalışırlar. Radyoaktivite kontrol edilemeyen bir olaydır. Yavaşlatılamaz veya durdurulamaz. Zayıflayan bir tempo ile kendiliğinden tükeninceye kadar devam eder. Bozunuma uğrayan radyoizotop doğada bulunuyor veya doğada bulunan diğer radyoizotopların bozunmasından ortaya çıkıyorsa buna doğal radyoaktiflik, radyoizotop insan tarafından yapay olarak reaktörlerde veya hızlandırıcılarda üretiliyorsa buna da yapay radyoaktiflik adı verilir (Murray, 2001; Turner, 1995).

Radyasyon; parçacık ve dalga tabiatına uygun olarak, bir maddeye veya ortama enerji transfer edilmiştir. Radyasyonlar madde ile etkileşmelerine göre iki grupta toplanırlar (Shapiro, 1990; Turner, 1995). Bunlar:

- 1) İyonlaştırıcı Radyasyonlar
- 2) İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyonlardır.

Radyasyonla, bir atomun elektronlarından bir veya bir kaçının yörüngelerinden kopararak serbest hale gelmesi olayına iyonizasyon, madde ile etkileşmesi durumunda iyonlaşma meydana getiren radyasyonlara ise iyonlaştırıcı radyasyonlar denir. Alfa, beta, elektron ve pozitron gibi yüklü parçacıklar doğrudan iyonlaştırıcı

radasyonlardır. X-ışınları, γ -ışınları ve nötronlar yüksüz oldukları için dolaylı yoldan iyonizasyona neden olurlar.

2.1.1 Radyasyon birimleri

Radyasyonun fiziksel etkilerini anlamlı bir şekilde tanımlamak için bazı büyüklüklere ve birimlere ihtiyaç vardır. İyonlaştırıcı radyasyonların etkileri radyasyonun geçtiği ortamda meydana getirdiği iyonlaşmaya bağlıdır. İyonlaşma da soğurulan radyasyonun enerjisine bağlıdır. Uluslararası Radyasyon Birimleri Komitesi (ICRU), radyoaktivite, ışınlama, soğurulan doz ve biyolojik doz eşdeğeri için sırasıyla Curie (Ci), Röntgen (R), rad ve rem birimlerini tanımlamıştır (Gollnick, 1988).

Uluslararası Birimler Sisteminin (International System of Unit, SI) kabul edilmesiyle ICRU 1971 yılında SI birimlerini tanımlamıştır. Eski birimler ve SI birim sistemindeki radyasyon birimleri dönüşüm faktörleri ile birlikte Çizelge 2.1' de verilmektedir.

Çizelge 2.1: İyonlaştırıcı radyasyon birimleri ve dönüşüm faktörleri (Kam, 2004).

Büyüklik	SI Birimleri	Eski Birimler	Dönüşüm Faktörleri
Aktivite	Becquerel (Bq)	Curie (Ci)	$1\text{Bq} = 2.7 \times 10^{-11} \text{ Ci}$
Işınlama	Röntgen (C/Kg)	Röntgen	$1 \text{ C/Kg} = 3876 \text{ R}$
Soğurulan Doz	Gray (Gy)	Rad (rad)	$1\text{Gy}=100 \text{ rad}$
Eşdeğer Doz	Sievert (Sv)	Rem (rem)	$1\text{Sv}=100 \text{ rem}$

Radyoaktivite birimi Curie olup, herhangi bir radyoaktif madde miktarı eğer saniyede 3.7×10^{10} parçalanma hızına sahipse aktivitesi 1 curie olarak tanımlanır. Saniyedeki her bir parçalanma ise Becquerel ile ifade edilir. Işınlama birimi Röntgen(R), normal hava şartlarında (0°C ve 760 mm Hg basıncı) havanın 1 kg'ında

2.58×10^{-4} Coulomb'luk elektrik yükü değerinde + ve - iyonlar oluşturan X ve γ radyasyon miktarı olarak tanımlanır (Çelebi, 1995). Işınlama, X ve γ ışınlarının havayı iyonlaştırmalarının bir ölçüsüdür. SI birim sisteminde ışınlama biriminin özel bir adı yoktur.

Soğurulan doz her ortam ve her türdeki iyonlayıcı radyasyonlar için tanımlanmıştır. Bu birim, radyasyon demeti ile birlikte soğurucu maddenin de özelliğini belirtir. SI birim sisteminde soğurulan doz birimi gray (Gy) olup, gray; 1 kg'lık bir maddeye 1 Joule'luk enerji veren herhangi bir iyonlayıcı radyasyon dozudur. Eski birim rad (radiation absorbed dose) olup, 1 rad, herhangi bir maddenin gramı başına 100 erg'lik enerji soğurumuna eşdeğerdir.

Radyasyona maruz kalan bir insanda meydana gelebilecek zararlı biyolojik etkileri ölçebilen bir birime de ihtiyaç bulunmaktadır. Vücudun kilogramı başına soğurduğu enerjinin meydana getirdiği biyolojik etki, maruz kalınan radyasyonun cinsine ve enerjisine göre farklılıklar gösterir. Örneğin alfa parçacıkları beta parçacıklarına göre daha ağır ve yüksek enerjili olduğundan vücut içinde geçtikleri birim yol başına daha fazla enerji bırakırlar, bu nedenle geçtikleri bölgede daha fazla hasar meydana getirirler. Ayrıca bazı organların diğer organlara nazaran radyasyona karşı hassasiyeti farklı olduğundan aynı doza karşı gelen biyolojik etki de farklıdır. İşte bütün bu faktörleri içine alan radyasyon doz birimi olarak eşdeğer doz tanımlanmıştır.

Kalite faktörü (KF) biyolojik doz eşitliğini tayin etmede kullanılan faktör olup, biyolojik etkilenmenin radyasyon türüne ve enerjisine bağımlılığını belirlemek üzere kullanılmaktadır. Daha önceleri, KF yerine bağıl biyolojik etki (RBE) kullanılmaktaydı. Pratik amaçlar için Çizelge 2.2 de gösterilen kalite faktörleri kullanılmaktadır. Bütün vücut için ise etkin biyolojik eşdeğer doz terimi kullanılır. Biyolojik eşdeğer doz veya etkin eşdeğer doz birimi Sievert (Sv), eski birim ise rem (roentgen equivalent man) dir (Cember, 1996).

Yıllık etkin biyolojik biyolojik doz eşdeğeri (Y.E.D.E), insanın farklı radyasyon kaynaklarından yayınlanan ışınlarla gerek dışarıdan maruz kalmak suretiyle, gerekse yediği ve içtiği gıdalar veya teneffüs ettiği havada bulunan değişik radyonüklidlerden yayınlanan ışınlarla içerden maruz kalmak suretiyle bir yıl süresince alacağı radyasyon dozu olarak tanımlanır (Çelebi, 1995).

Çizelge 2.2: Çeşitli radyasyonlar için kalite faktörleri (Kam, 2004).

Radyasyon Türü	Kalite Faktörü
X ve gama ışınları	1
Elektronlar ve beta parçacıkları	1
Nötronlar, enerjileri<10KeV	3
Nötronlar, enerjileri>10KeV	10
Alfa parçacıkları	20

Yıllık etkin biyolojik doz eşdeğerinin hesaplanmasında her radyonüklidin yayınladığı radyasyon tipi ve enerjisi kullanılarak her radyonüklid için aktivite başına yayınladığı radyasyonun doz dönüşüm faktörleri belirlenmektedir. Birim hacim veya birim ağırlık başına tespit edilen aktivite konsantrasyonu ile doz dönüşüm faktörleri çarpılarak yıllık etkin biyolojik doz eşdeğeri (Y.E.D.E) bulunur.

2.1.2 Düşük dozlu radyasyon riskleri

Radyasyonun dozu ne düzeyde olursa olsun insan sağlığına zarar verme olasılığı vardır. Düşük dozların riski de küçük olmakta ve klinik etkileri kolay belirlenmemektedir. Doğadan aldığımız yıllık doğal seviye radyasyon dozundan binlerce ve on binlerce defa büyük olan iyonlaştırıcı radyasyon dozları alındığında fark edilir sayıda hücre ölmektedir. İyonlaştırıcı radyasyonun bu özelliğinden yararlanarak radyoterapide, kanserli hücrelerin öldürülmesi veya tıbbi ürünlerin sterilizasyonu amacı ile bakterilerin öldürülmesi gibi uygulama alanları geliştirilmiştir. Tüm vücut, kısa bir zaman içinde 10 Sv gibi şiddetli radyasyona maruz kaldığında, vücuttaki bazı hücreler tahrip olmakta ve vücut, bu hücreleri tekrar eski haline getirememektedir. Bu gibi durumların ölüm ile sonuçlandığı görülmüştür. Daha düşük radyasyon dozları doğrudan öldürücü değildir fakat radyasyon ışınlanmasından uzun süreler sonra kansere neden oldukları gözlenmiştir. Kansere neden olan ışınlanma ile hastalığın oluşumu ve başlaması arasında uzun yıllar geçebilmektedir. Sigara içmek, beslenme alışkanlığı, güneş ışınları gibi kansere neden olan birçok etken arasından, söz konusu kansere, radyasyonun neden olduğu hakkında karar verebilmek hayli zordur.

Düşük doz radyasyonun biyolojik etkileri için bir eşik değerin varlığı tartışılmaktadır. Yüksek dozlardaki verilerden elde edilen eğrilerin ekstrapolasyonu düşük radyasyon düzeylerinin, insanlara olan riskleri konusunda abartılı tahminlere götürebilmektedir. Düşük doz düzeylerinin oluşturacağı riskler hakkında araştırmalar devam etmektedir. İyonlaştırıcı radyasyonun düşük dozları için, daha sonra oluşabilecek biyolojik etkiler de yeterince küçük olduğu için kesin olarak belirlenememektedir. Bununla birlikte, bilim adamları düşük dozlar da dâhil olmak üzere iyonlaştırıcı radyasyonla ışınlanan kişilerin, alınan dozlar ile orantılı olarak kanser riski bulunduğunu kabul etmektedirler. Radyasyon etkilerinin bu lineer teorisine göre doz yarıya inerse, risk de yarıya inmektedir. Uluslararası Radyolojik Korunma Komisyonunun (ICRP) 26 nolu raporunda radyasyonun stokastik etkileri için eşik doz bulunmadığı ve toplumun küçük dahi olsa sürekli olarak radyasyona maruz kalmasının toplum sağlığını olumsuz yönde etkileyebileceği kabul edilmiştir (ICRP, 1977).

2.1.3 Radyasyon doz limitleri

Doğal radyasyonlardan tamamen korunmak olanaksız olup, yapay radyasyonlardan ise, alınacak bir takım önlemlerle oldukça büyük oranlarda korunma sağlanabilmektedir. Alınan önlemlere karşın, bazı çalışmalarda kaçınılmaz olarak bir miktar radyasyon dozuna maruz kalınmaktadır. ALARA (As Low As Reasonable Achievable) prensibine göre, çalışan kişiler tarafından alınan tüm radyasyon dozları, ekonomik ve sosyal koşullar da göz önüne alınarak, mümkün olduğu kadar düşük tutulmalıdır.

Radyasyon korunmasında, ulusal ve uluslararası kuruluşların belirlediği sınır değerler dikkate alınmaktadır. Uluslararası Radyolojik Korunma Komisyonu (ICRP) tarafından müsaade edilebilir maksimum doz; bir insanda ömür boyunca hiçbir önemli rahatsızlık ve aşırı bir genetik etki meydana getirmesi beklenmeyen iyonlaştırıcı radyasyon dozu olarak tarif edilmiştir. Bu dozlar, kontrol altındaki radyasyon çalışanları ile kontrol altında olmayan toplum üyeleri için farklı değerlerde kabul edilmiştir. ICRP' nin önerilerine göre, radyasyon çalışanları için müsaade edilen doz sınırı; birbirini takip eden beş yılın ortalaması 20 mSv'i geçmeyecek şekilde yıllık en fazla 50 mSv'i, toplum üyesi diğer kişiler için ise yıllık

1 mSv’i geçmemelidir. Bu dozlara doğal radyasyonlardan ve tıbbi uygulamalardan gelen ilave dozlar dahil değildir (ICRP, 1993; Çelebi, 1995).

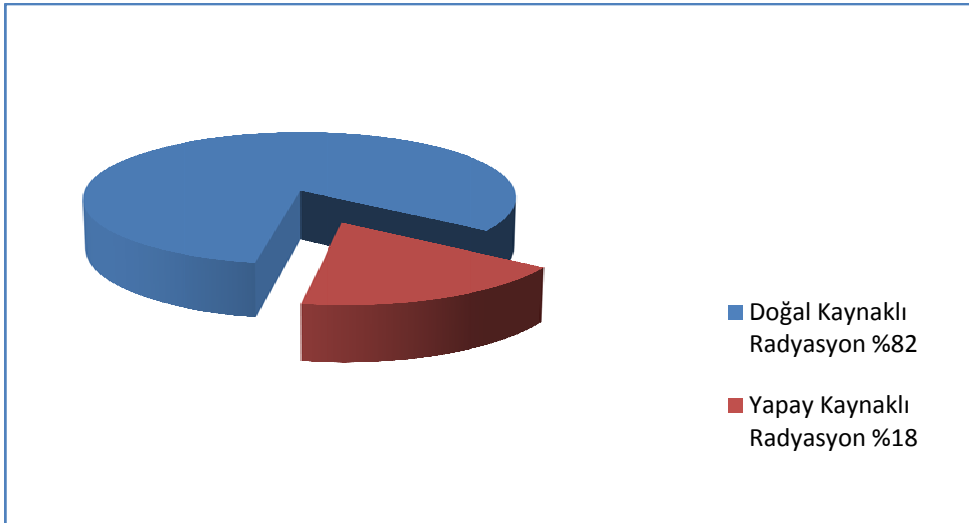
2.2 Doğal ve Yapay Radyasyon Kaynakları

Gerek insanlar gerekse diğer canlılar hem yer kabuğundan hem de uzaydan kaynaklanan doğal radyasyona yaşamları boyunca sürekli olarak maruz kalmaktadırlar. Bu gruptaki iyonlaştırma etkisi olan radyasyonlara kısaca doğal radyasyonlar denilmektedir. Son yüzyılda bu doğal radyasyon seviyelerine bazı yapay radyasyon kaynakları da eklendiğinden, canlıların maruz kaldıkları ortalama radyasyon dozunun arttığı gözlenmiştir.

Çevresel radyasyon kaynakları Şekil 2.1’de de görüldüğü gibi,

- Doğal Radyasyon Kaynakları
- Yapay (İnsan Yapımı) Radyasyon Kaynakları

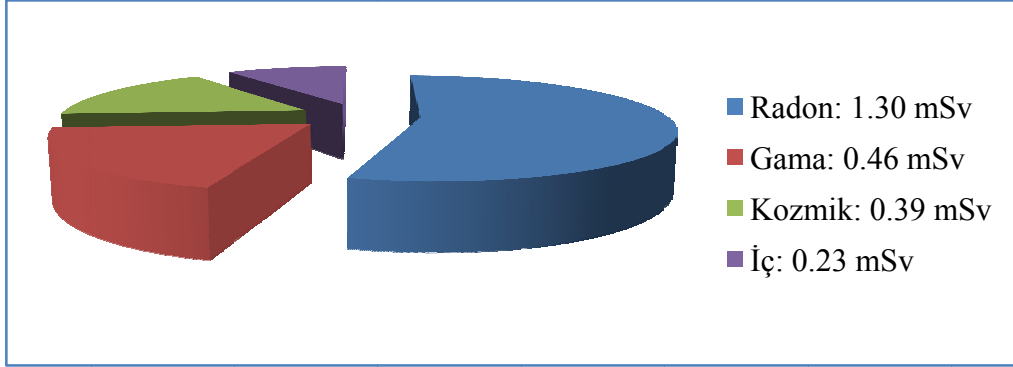
olarak iki grupta toplanabilmektedir (Taşkın,2006).



Şekil 2.1 : Yeryüzünde radyasyon dağılımı (Taşkın,2006).

2.2.1 Doğal radyasyon kaynakları

İnsanlar ve yeryüzünde yaşayan diğer tüm canlıların maruz kaldıkları çeşitli radyasyon ışınlanmalarının önemli bir bölümü çevresel doğal kaynaklardan gelmektedir. Dünyanın oluşumundan bu yana insanlar sürekli olarak doğal radyasyon kaynaklarından dolayı radyasyona maruz kalmaktadırlar. Şekil 2.2’de farklı doğal radyasyon kaynaklarından alınan dozlar görülmektedir.



Şekil 2.2: Doğal radyasyon kaynaklarından alınan dozlar (Taşkın,2006).

Şekil 2.2’de de görüldüğü üzere doğal radyasyon kaynaklarından alınan dozun önemli bir bölümü radondan kaynaklanmaktadır. Bu çalışmanın da konusu olan radon ve bozunum ürünleri Bölüm 3 içinde ayrıntılı olarak ele alınacaktır.

Kâinatın henüz yeni oluşmaya başladığı zamanlarda birçok izotopun radyoaktif olduğu tahmin edilmektedir. Bu durumun birkaç milyon yıl sürdüğü ve kısa yarı ömre sahip olan radyonüklidlerin bu süre içinde ömürlerini tamamladıkları, geriye kalan ve halen mevcut olan radyonüklidlerin yarı ömürleri kâinatın ömrüyle mukayese edilecek kadar büyük olduğu (en az 10^{10} yıllık yarı ömre sahip oldukları) için bozunmalarının halen devam ettiği görülmektedir (Johnson, 1983).

Bütün canlılar radyasyonla birlikte yaşamakta, hayatın bir parçası olarak dış uzay ve güneşten gelen kozmik ışınlar, yer kabuğunda bulunan radyoizotoplar dolayısıyla toprak ve yapı malzemeleri, su ve gıdalar gibi doğal kaynaklardan ışınlanmaktadırlar. İnsanlar, yaşam standartları, yaşadıkları ortamların fiziksel özellikleri ve coğrafi şartlara bağlı olarak değişiklik göstermekle birlikte, yaklaşık 2,5 mSv yıllık doza maruz kalmaktadırlar (UNSCEAR, 1988).

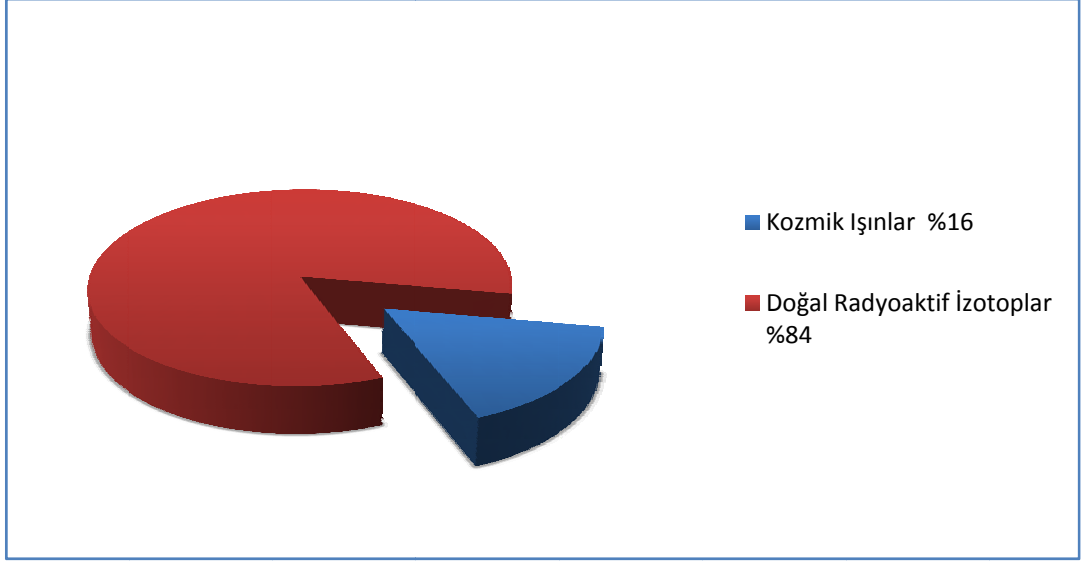
Yeryüzündeki doğal radyasyon düzeyleri birçok faktöre bağlı olarak değişiklikler göstermektedir. En önemli faktör, yer kabuğunda bulunan radyoaktivite konsantrasyonlarının, ortamın jeolojik ve kimyasal oluşumuna bağlı olarak, çok geniş bir aralıkta değişim göstermesidir. Örneğin, volkanik kayalardaki radyoaktivite konsantrasyonu, tortul kayalara göre daha yüksektir (Eisenbud, 1987; Çelebi, 1995).

Toprak, su ve bitkilerde biriken radyoaktif maddeler yerel ve bölgesel radyoaktiviteyi önemli oranda değiştirmektedir. Çevresel ışımalara maruz kalma bölgeden bölgeye değişmekte, hatta birbirlerine yakın yerler arasında bile farklılıklar gözlenebilmektedir (IAEA, 1996; UNSCEAR, 1993). Bölgeler için gama radyasyonları hem en kolay ölçülebilen hem de bölge radyoaktivite karakteristiğini en net şekilde ortaya koyan radyasyonlardır. Çizelge 2.3’de Türkiye ve Dünyada değişik bölgeler için yıllık gama radyasyon dozları görülmektedir.

Çizelge 2.3: Türkiye ve Dünyada değişik bölgelerde yıllık gama radyasyon dozları (Taşkın, 2006).

Bölge	Yıllık Doz (mSv/yıl)
Mersin (Akkuyu)	0.53
Ankara	0.44
Iğdır (Alican)	0.88
Çanakkale	1.23
Kars (Digor)	1.58
Hindistan (Kerela)	15.80
İran(Ramsar)	148.92
Brezilya (Guarapari kumsalları)	788.40

Doğal radyasyondan kaynaklanan ışınlanma, uzaydan dünya atmosferine gelen yüksek enerjili kozmik ışınlarla ait parçacıklardan ve karasal radyasyondan kaynaklanmaktadır. Yer kabuğunda (toprak, hava, su, bitkiler ve diğer canlılar) bulunan doğal radyoaktif izotoplar karasal radyasyonu oluşturmaktadır. Kozmik ışınların ve doğal radyoaktif izotopların yüzde olarak dağılımları Şekil 2.3 de görülmektedir.



Şekil 2.3: Doğal radyasyon kaynakları dağılımı (Taşkın,2006).

2.2.1.1 Kozmik ışınlar

Dünyamız uzaydan gelen yüksek enerjili parçacıklarla sürekli olarak bombardıman edilmektedir. Yüksek enerjili parçacıkların büyük bir çoğunluğu atmosfere ulaşan protonlardır. Güneşin aktif durumuna (güneş patlamalarına), yerin manyetik alanına ve yerküreden yüksekliğe bağlı olarak kozmik ışınların yoğunluğu değişmektedir. Protonlar elektrik yüklü parçacıklar olduklarından atmosfere ulaştıklarında dünyanın manyetik alanının etkisine girerler. Bu nedenle kozmik ışın yoğunluğu ekvator dan kutuplara gidildikçe artar. Böylece, insanların aldığı radyasyon enlem arttıkça artar. Bu ışınların büyük bir kısmı dünya atmosferinden geçmeye çalışırken tutulurlar. Yani atmosferimiz kısmi olarak radyasyonu zırhlar. Bu nedenle, deniz seviyesine yaklaştıkça kozmik ışınların yoğunluğu, dolayısıyla da doz miktarı azalır. UNSCEAR tarafından yapılan hesaplamalara göre, kozmik ışınlardan kaynaklanan yer seviyesindeki yıllık etkin doz enlem ve yükseklikle değişse de 0,4 mSv civarındadır (UNSCEAR, 19982; TAEK 2009).

Süpernova patlamaları kozmik ışınların en önemli kaynağıdır. Kozmik radyasyonlar dünya atmosferine girdiklerinde atmosferde bulunan bazı elementlerin çekirdekleriyle nükleer reaksiyona girerler (Kam, 2004). Bu reaksiyonlar sonucu başka ışınlar üretilir. Uzaydan gelen bu ışınlara birincil ışınlar, atmosferdeki reaksiyonlar sonucu üretilen partiküllere de ikincil ışınlar denir.

Birincil kozmik ışınlar, birincil galaktik kozmik ışınlar ve birincil solar kozmik ışınlar olmak üzere ikiye ayrılırlar. Birincil galaktik kozmik ışınlar yıldızlararası ortamlardan ve güneş sisteminden gelmekte olup çoğunlukla yüksek enerjili protonları içerirler. Birincil galaktik kozmik ışınlar, yüksek enerjili protonların yanı sıra, yaklaşık %10 oranında ^4He iyonları, çok az oranlarda da ağır çekirdekler, elektronlar, nötronlar ve fotonlardan oluşmaktadır (UNSCEAR, 1982). Birincil solar kozmik ışınlar ise güneşteki patlamalar boyunca, yüklü parçacıkların büyük bir bölümünün (temel olarak proton ve alfa parçacıkları) serbest kalarak, düşük enerjili olarak dünya yüzeyinde meydana getirdikleri radyasyonlardır.

Kozmik ışın elektron ve pozitronları birincil kozmik radyasyonun ancak küçük bir bölümünü oluşturmalarına rağmen yıldızlararası ve galaktik uzaydaki olgular hakkındaki bilgilerimizin asıl kaynağını oluştururlar. Bunun nedeni, kozmik ışın elektronlarının kozmik ışın nükleonlarına göre yıldızlararası uzayda daha aktif olan davranışlarıdır (Webber, 1983).

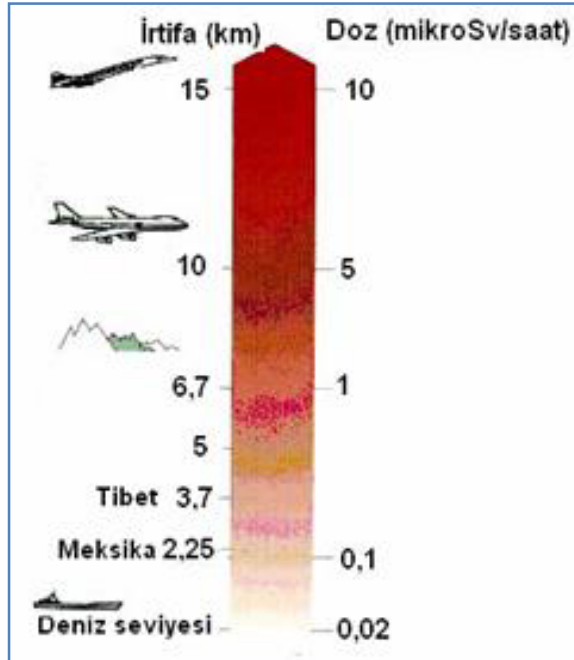
Atmosfere gelen birincil kozmik ışınlar pratik olarak yeryüzüne ulaşamamaktadırlar. Bu ışınlar atmosferde mevcut olan atomların çekirdekleriyle nükleer reaksiyona girerler. Bu reaksiyonlar sonucunda, yüksek enerjili nötronlar, protonlar, pionlar, kaonlar ve dozimetrik açıdan çok önemli olan farklı reaksiyon ürünü ^3H , ^7Be , ^{14}C , ^{10}Be , ^{22}Na ve ^{24}Na gibi kozmojenik radyonüklitler üretilir. Bu kozmojenik radyonüklitler ikincil radyasyonlar olarak tanımlanır (Ginzburg ve diğ.,1964). Atmosferik şartlara bağlı olarak yeryüzüne inen bu radyoizotoplar, gerek solunum gerekse de besinler yolu ile iç ışınlanmaya neden olurlar.

İkincil kozmik ışınlar elementer parçacık araştırmalarında yararlanılan bir kaynak da oluştururlar. Muonlar, pozitronlar, pionlar, kaonlar ve bazı hiperonlar ilk olarak ikincil kozmik ışınlarda keşfedilmiştir. Bundan başka yeryüzü yakınında kozmik ışınların ikincil nötron bileşenine de rastlanmıştır. Nötronların miktarı muonların yaklaşık %1'ini oluşturmaktadır.(Ginzburg, 1987).

İnsanların büyük çoğunluğu rakımı düşük bölgelerde yaşadıkları için kozmik radyasyon nedeni ile maruz kaldıkları dozlarda fazla farklılıklar gözlenmez. Bununla birlikte dünyada önemli sayılabilecek yoğunlukta nüfus barındıran yerleşim bölgelerinde yaşayan insanların aldıkları yıllık dozlar (Örneğin And Dağlarındaki

Quito ve La Paz, Himalayalardaki Lhasa) deniz seviyesinde yaşayan insanlara oranla birkaç kat daha fazladır. Örneğin La Paz'da bu rakam küresel ortalamanın 5 katıdır (URL-1).

Uçuş yüksekliğindeki kozmik ışın yoğunluğu yer seviyesine oranla daha fazla olduğundan, uçakla yapılan seyahatlerde yer seviyelerine göre daha fazla kozmik ışına maruz kalınır. Kozmik ışınlardan alınan radyasyon dozunun yüksekliğe göre değişimi Şekil 2.4 'te görülmektedir. Uçuşlarda alınan radyasyon dozu uçuş süresine, uçuş rotasına ve irtifaya bağlı olarak değişmekle birlikte, yıllık dozun üzerine 0,01 mSv lik ek doz alınmasına neden olur (URL-1).



Şekil 2.4: Kozmik ışınlardan alınan radyasyon dozunun yüksekliğe göre değişimi (Kam, 2004).

2.2.1.2 Karasal radyasyon

Karasal radyasyon, yerkabuğunun yapısında bulunan radyoizotoplardan kaynaklanmaktadır. Doğal radyoaktif elementler $4.6 \cdot 10^9$ yıl önce dünyanın oluşumundan beri vardır. Karasal radyasyon kaynaklarını oluşturan radyoaktif elementler:

- doğal radyoaktif bozunum serisi içinde yer alanlar
- doğada tek başına bulunanlar

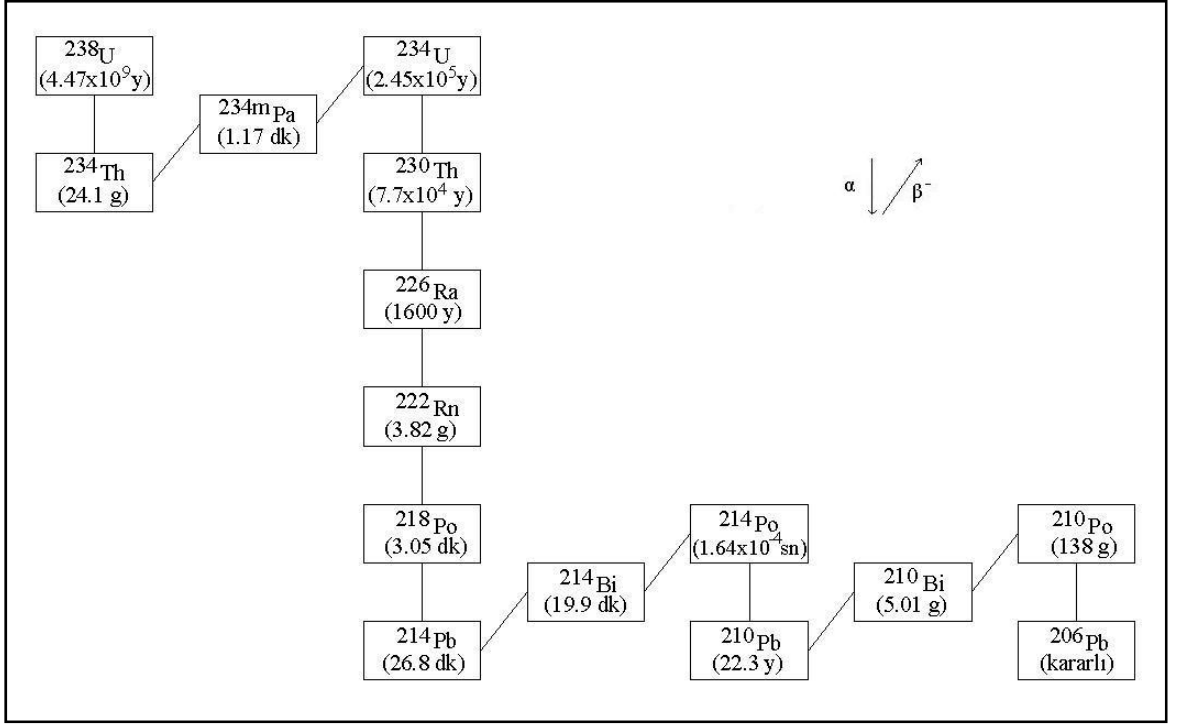
olmak üzere iki grupta toplanabilmektedir (Eisenbud, 1987; Valkovic, 2000).

Doğada her biri ağır bir radyoizotoptan başlayan üç radyoaktif bozunum serisi bulunmaktadır. Bunlar:

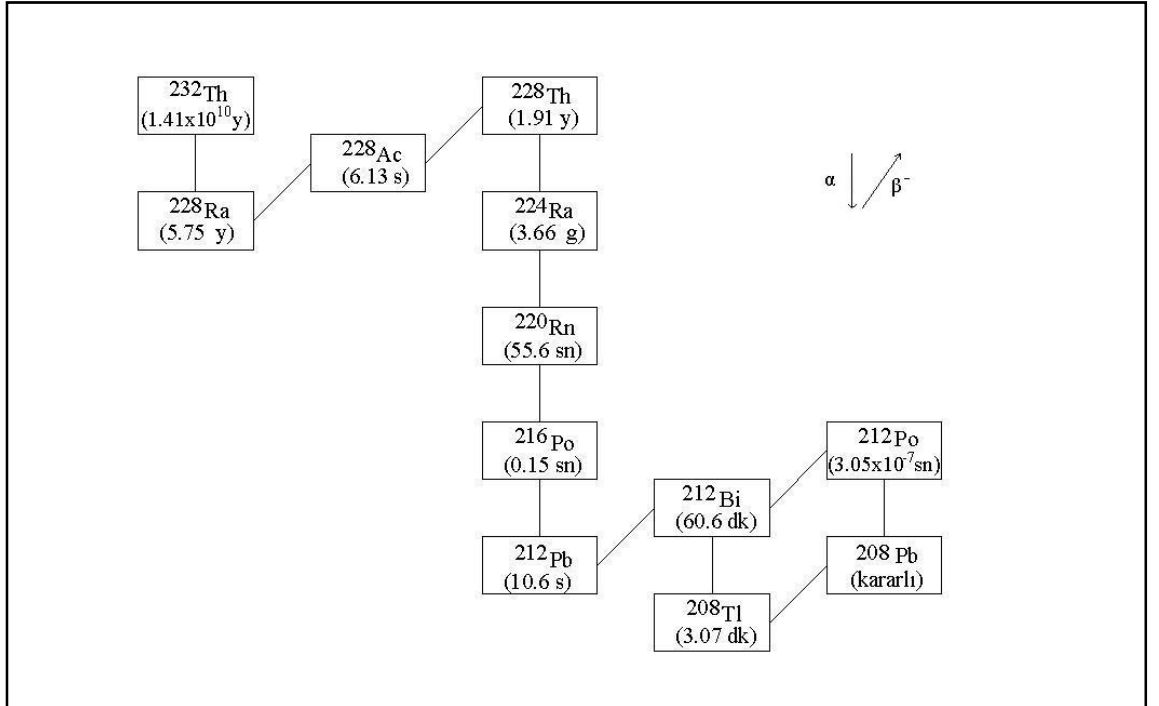
- Uranyum serisi (U-238 kaynaklı)
- Toryum serisi (Th-232 kaynaklı)
- Aktinyum serisi (U-235 kaynaklı) dir.

Her üç radyoaktif ailede ortak olarak birçok uzun yarı ömürlü üye ile bir gaz üye bulunmakta ve her üç aile de bir kararlı kurşun izotopu ile sona ermektedir (Valkovic, 2000). Bu seriler ve bunların bozunum ürünleri olan radyoizotoplar Şekil 2.5, 2.6 ve 2.7' de verilmektedir.

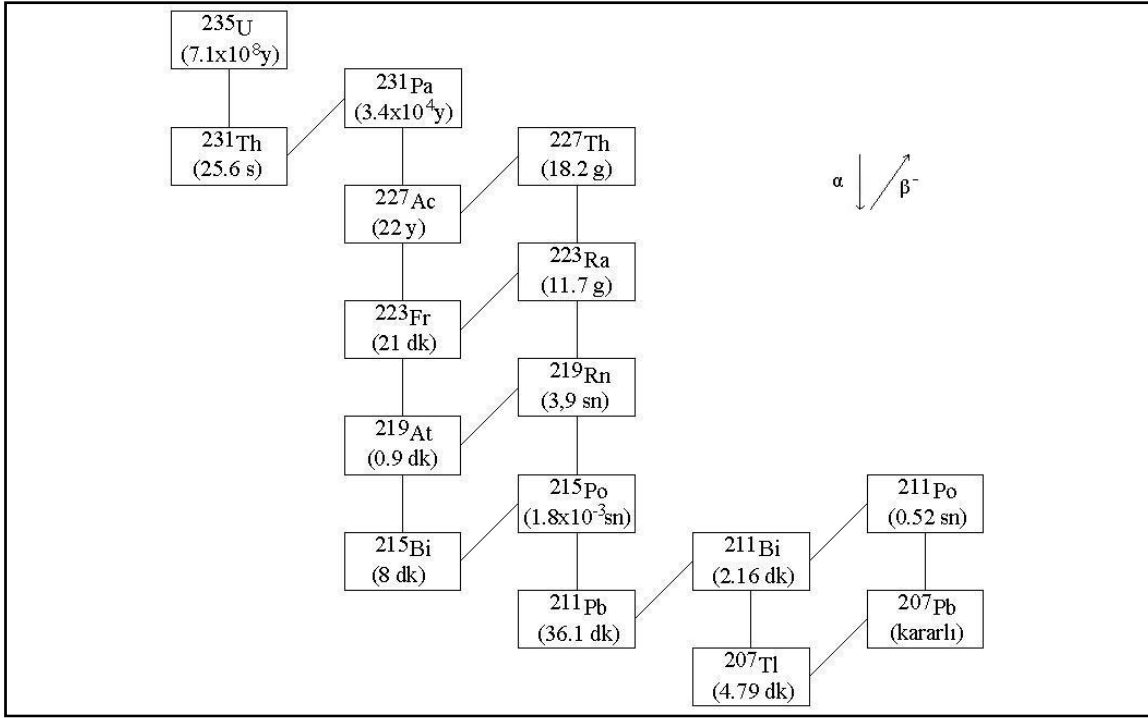
Uranyum, kaya ve toprak katmanları boyunca düşük konsantrasyonlarda dağılmıştır. U-238 birçok elementin uzun radyoizotop bozunma serisinin başlangıç kaynağı olup, kararlı Pb-206 haline gelinceye kadar bozunur. Oluşan ilk ürünler arasında yer alan ve radyoaktif gaz olan radon radyoizotopu (Rn-222) atmosfere dağılır ve bozunmaya devam eder. Toryum da benzer şekilde yeryüzüne dağılmıştır ve Th -232, başka bir radyoaktif serinin başlangıç kaynağıdır. ²³⁵U ve bozunma ürünlerinin katkıları ihmal edilecek düzeyde olduğu için genellikle dikkate alınmamaktadır.



Şekil 2.5 Uranyum serisinin bozunum şeması (NCRP 97, 1988).



Şekil 2.6 Toryum serisinin bozunum şeması (NCRP 97, 1988).



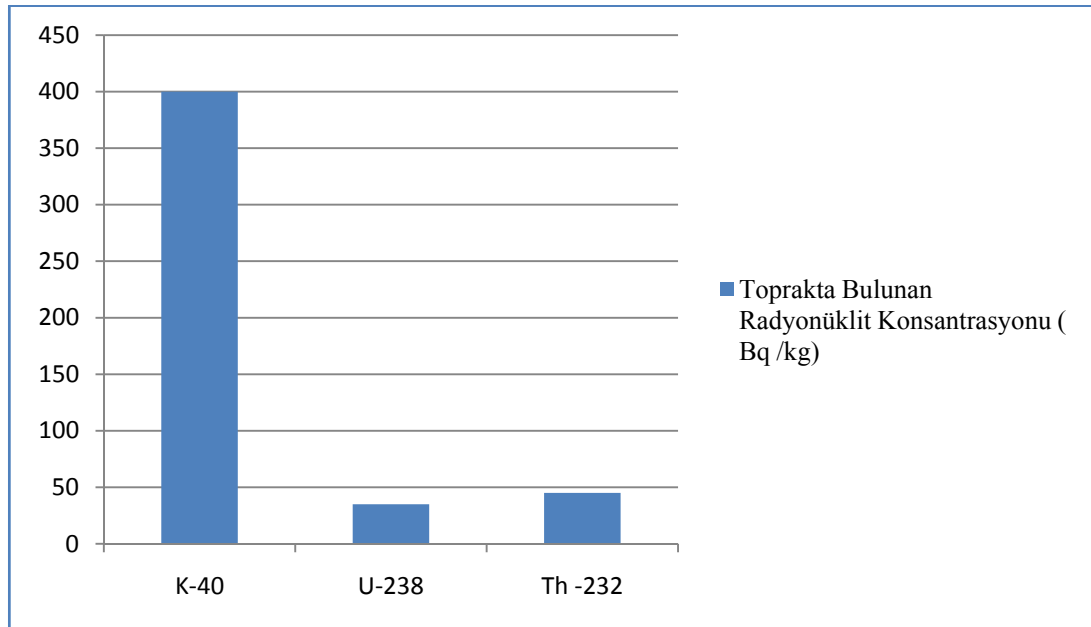
Şekil 2.7 Aktinyum serisinin bozunum şeması (NCRP 97, 1988).

Doğada tek başına bulunan karasal kökenli bazı radyonüklitler de vardır. Çizelge 2.4' de tabiatta tek başına var olan radyoizotopların bir listesi verilmektedir. Bunlar arasında en önemli olanlardan biri 1.27x10⁹ yıl yarı ömre sahip olan K-40' tır. Doğadaki potasyumun %0.01'ini K-40 oluşturmaktadır (Eisenbud, 1987; Gollnick, 1988; Turner, 1995; Valkovic, 2000). Şekil 2.8'de de görülebileceği gibi yer kabuğunun ağırlık olarak % 2,4' ünü oluşturan K-40'ın aktivite konsantrasyonu genelde, U-238 ve Th -232' den daha büyüktür.

Karasal radyasyon kaynakları olan bu radyonüklitler özellikle volkanik kayalarda, değişim geçiren kayalarda, toprakta ve deniz diplerinde birikmiş çamurlarda yüksek konsantrasyonlarda bulunurlar. Bu radyonüklitlerin konsantrasyonları ile dış ışınlamalar arasında doğrudan bağlantı vardır. Eğer radyonüklit konsantrasyonu biliniyorsa, bunun dış ışınlamalara ne oranda katkıda bulunduğu hesaplanabilmektedir (Karahan, 1997).

Çizelge 2.4 : Doğada tek başına bulunan radyoizotoplar (Valkovic, 2000).

Radyonüklit	Yarı ömür (10 ⁹ yıl)	Spesifik aktivite/ Ci/gr	Radyoaktivite
⁴⁰ K	1.27	8.3×10 ⁻¹⁰	β
⁵⁰ V	6×10 ⁵	2.8×10 ⁻¹⁴	β
⁸⁷ Rb	47	2.5×10 ⁻⁸	β
¹¹⁵ In	6×10 ⁵	5×10 ⁻¹²	β
¹³⁸ La	110	2.1×10 ⁻¹²	β
¹⁴² Ce	6×10 ⁶	5.7×10 ⁻¹⁴	α
¹⁴⁷ Sm	110	3.4×10 ⁻⁹	α
¹⁴⁸ Sm	1.2×10 ⁴	2.2×10 ⁻¹¹	α
¹⁴⁹ Sm	4×10 ⁵	8.2×10 ⁻¹³	α
¹⁵² Gd	1.1×10 ⁵	4.1×10 ⁻¹²	α
¹⁷⁴ Hf	4.3×10 ⁶	8.4×10 ⁻¹⁴	α
¹⁴⁴ Nd	5×10 ⁶	1.2×10 ⁻¹³	α
¹⁹⁰ Pt	700	3.3×10 ⁻¹³	α
¹⁹² Pt	10 ⁶	1.4×10 ⁻¹⁴	α
²⁰⁴ Pb	1.4×10 ⁸	1.8×10 ⁻¹⁶	α
²³² Th	14	1.1×10 ⁻⁷	α
²³⁵ U	0.71	1.5×10 ⁻⁸	α
²³⁸ U	4.5	3.3×10 ⁻⁷	α



Şekil 2.8 : Toprakta bulunan radyonüklit konsantrasyonları (Çelebi, 1995).

Dünyanın jeolojik yapısı incelendiğinde belli kalınlıktaki toprak tabakasının hemen altında kaya yataklarının olduğu görülür. Bu kaya yataklarının da karasal radyoaktiviteye sebep olduğu tahmin edilmektedir. Özellikle gama radyasyonlarının önemli bir kısmının 0-25 cm derinlikteki yüzey tabakadan kaynaklandığı bilinmektedir (Çelebi, 1995).

Bazı bölgelerde çok geniş alanlara yayılmış olan granit kayaları önemli miktarlarda toryum içermektedir. Yapılan radyometrik araştırmalar göstermiştir ki, bu kayaların bulunduğu alanlarda ölçülen gama radyasyonları oldukça yüksektir. ABD'nin Coloroda bölgesinde havada ölçülmüş gama radyasyon dozu 0,08-0,16 $\mu\text{Gy/saat}$, Brezilya'da 0,05-1,58 $\mu\text{Gy/saat}$, İtalya'da 0,07-0,5 $\mu\text{Gy/saat}$, İsveç'te 0,02-4 $\mu\text{Gy/saat}$, Hindistan'da 0,02-1,1 $\mu\text{Gy/saat}$ civarındadır (UNSCEAR, 1988). Gama radyasyon doz değerlerinden anlaşıldığı gibi bu ülkelerde doğal radyasyon seviyelerinin diğer ülkelere göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu bölgelerde yaşayan insanların doğal kaynaklardan aldıkları yıllık radyasyon dozları diğer ülkelerde yaşayan insanlara nazaran çok daha fazladır.

Taş ve topraktan üretilen yapı malzemeleri düşük oranda da olsa radyoaktivite içerebilirler. Böylece insanlar yaşam alanları dışında olduğu gibi bina içinde de radyasyona maruz kalmaktadırlar. Alınan radyasyon dozu yaşanılan bölgenin jeolojik özelliklerine, binada kullanılan yapı malzemelerine bağlı olarak değişmektedir. Betonarme binalardaki radyasyon dozu, ahşap yapılara oranla daha fazladır.

Ev içi gama radyasyonu ölçümlerinde duvar kalınlıkları, oda veya ev büyüklükleri, kapı ve pencere boyutları ve kullanılan malzemenin neden yapıldığı da ev içi ortamda ölçülen soğurulmuş dozu etkilemektedir. Ev içi hava ortamında ölçülen soğurulmuş dozu genele yaymak için farklı malzemelerden yapılmış meskenlerin bağıl olarak sayılarının tespit edilmesi gereklidir (Karahana, 1997). Birçok ülkede, iç ve dış doğal radyasyon etkilerini en aza indirmek amacıyla birtakım çalışmalar yapılmaktadır. UNSCEAR 1993 raporunda dünya insanların alacakları ortalama yıllık ev içi gama ışınlamalarının üst sınırını maksimum 1,2 mSv olarak belirtmiştir (UNSCEAR, 1993).

İnsanların çevredeki doğal radyasyon kaynaklarından etkilenmeleri genel olarak iki şekilde olmaktadır. Bunlar;

- Dış ışınlamalar
- İç ışınlamalardır.

Dış ışınlamalarda, alfa ve beta parçacıklarına göre menzili ve giriciliği daha fazla olan gama ışınları ön plana çıkmaktadır. Yeryüzündeki radyoizotopların yaydığı gama ışınları nedeniyle tüm vücudumuz dış kaynaklı radyasyona maruz kalır. Özellikle granit gibi volkanik kayalarda, fosfat kayalarda, tortularda yüksek radyoaktivite bulunabilmektedir. Yapı malzemeleri taş ve topraktan üretildikleri için düşük oranda da olsa radyoaktivite içerebilirler. Böylece insanlar konutları dışında olduğu gibi, bina içinde de kullanılan yapı malzemelerinden dolayı radyasyona maruz kalmaktadırlar.

İç ışınlamalar, radyoizotopların insan vücuduna alınması ile oluşan ışınlamalar olup bu tür ışınlamada ise kısa mesafelerde etkili olan alfa ışınları daha önemli olmaktadır. Radyoizotopların insan vücuduna alınma yolları:

- Ağız yoluyla
- Radyoniklit içeren havanın solunması
- Radyoaktif çözeltilerin cilt tarafından absorblanması
- Radyoaktif maddelerin ciltteki kesik, yara ve çatlaklardan kan dolaşımına karışması

şeklinde olabilmektedir (Ataksor, 2002; Cothorn and Lappenbusch, 1983).

İç ışınlama, vücudumuzda bulunan radyoaktif elementler (özellikle K-40) ile birlikte yeryüzü kaynaklı doğal olarak bulunan radyoizotopların solunum ve sindirim yolu ile alınmasından kaynaklanır. Bu şekilde vücuda alınan maddeler iç ışınlamaya yol açmaktadır. Havada bulunan U-238 ve Th-232 bozunum zincirlerindeki radyoizotoplardan oluşan toz parçacıkları solunum yolu ile vücuda alınmaktadır. Solunum yolu ile iç ışınlamanın en önemli bileşenini radon ürünleri oluşturmaktadır. Yiyecek ve içeceklerde bulunan K-40, U-238 ve Th-232 serileri, sindirim yolu ile alınan dozun temel nedenini oluşturmaktadır.

Vücudumuzda bulunan radyoaktif elementlerden (özellikle Potasyum-40 dan) dolayı belli bir radyasyon dozuna maruz kalırız. Potasyum doğada nispeten bol miktarda bulunmakta ve 70 kg ağırlığında bir insan vücudu ortalama 140 mg potasyum içermektedir. Vücudun çeşitli organ ve dokularında potasyumun dağılımı kullanılarak, bu organ ve dokulardaki ^{40}K konsantrasyonlarına karşılık gelen soğurulan doz şiddetleri hesaplandığında kırmızı kemik iliği 270 μGy ile yıllık en yüksek soğurulan dozu, tiroid 100 μGy ile en düşük soğurulan dozu almaktadır. Yıllık etkin biyolojik doz eşdeğeri ise 180 μSv olarak değerlendirilmektedir (Andrasi, 1979). İnsan vücudundaki potasyum miktarının biyolojik proseslerle kontrol edildiği bilinmesine rağmen toplam değerın kişiden kişiye nasıl değiştiği hakkında çok az bilgi bulunmaktadır (URL-1).

^{40}K , ^{226}Ra , ^{238}U ' nin bozunum ürünleri ve çok düşük oranlarda ^{14}C ve ^3H , vücuda sindirim yoluyla alınan doğal radyonüklitlerin başında gelmektedir (UNSCEAR, 1988). Doğal radyoizotopların sindirim yolu ile vücuda alınması yiyecek ve içeceklerin tüketim hızına ve radyoizotop konsantrasyonuna bağlı olarak değişmektedir. Besin maddelerinde doğal olarak bulunan radyoizotop konsantrasyonu ise bölgenin doğal fon seviyelerine, iklimine ve tarım uygulamalarına bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir. Aynı şekilde beslenme alışkanlıkları da bölgeden bölgeye, ülkeden ülkeye değişebilmektedir. Sindirim yolu ile iç ışınlama kaynaklarından alınan yıllık ortalama etkin doz miktarının 0,3 mSv olduğu ve bunun yarısının ^{40}K 'dan kaynaklandığı tahmin edilmektedir (URL-1). Genellikle gıdalarla vücuda alınan ^{40}K ' ın yayınladığı gama ışınlarının %50' si ve beta ışınlarının tamamı vücutta absorbe edilmektedir (Karahan, 1997).

Radon haricinde doğal radyoizotopların solunum yolu ile vücuda alınmasından kaynaklı iç ışınlamaya katkısı oldukça azdır. İnsan, nefes alıp verirken havada asılı bulunan toz, partikül ve gazlar ile birlikte bunların içinde bulunan radyoaktif maddeleri de akciğerlerine almaktadır. Bu maddeler vücut içinde iç ışınlamalara neden olmaktadır. Havada bulunan toz ve partikül konsantrasyonları ve büyüklükleri hava şartlarının etkisiyle sürekli değişmektedir. Özellikle, kırsal kesimlerde toz ve partiküller havada nispeten az yoğunluklarda bulunmaktadır. Havadaki partiküllerin ortalama büyüklükleri 0.5 mikron mertebesinde, konsantrasyonları da 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ civarındadır (Karahan, 1997). Genelde toprak içerisindeki U-238 ve Th -232 konsantrasyonununun hava içerisinde yol açacağı

aktivite değeri 1 – 2 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ tür. Toprak haricinde özellikle sanayi bölgelerinde ve kış aylarında havada bulunan kül parçacıkları içerisinde uranyum konsantrasyonu yüksek olabilmektedir (URL-1).

2.2.2 Yapay radyasyon kaynakları

Yapay radyasyon kaynakları genel olarak radyoaktif serpinti, tıbbi uygulamalar ve endüstriyel uygulamalar ile tüketici ürünlerinden oluşmaktadır.

Savaş zamanında nükleer silahların kullanılması ve hatta barış zamanında bu nükleer silahların test edilmesi sonucu radyoaktif kirlilik meydana gelmektedir. Bu silahların kullanımını esnasında açığa çıkan radyasyon atmosfere karışarak global bir radyoaktif kirliliğe sebep olmaktadır. Yapay radyasyon kaynaklarının %1' den daha az bir kısmını radyoaktif serpintiler oluşturmaktadır (Valkovic, 2000).

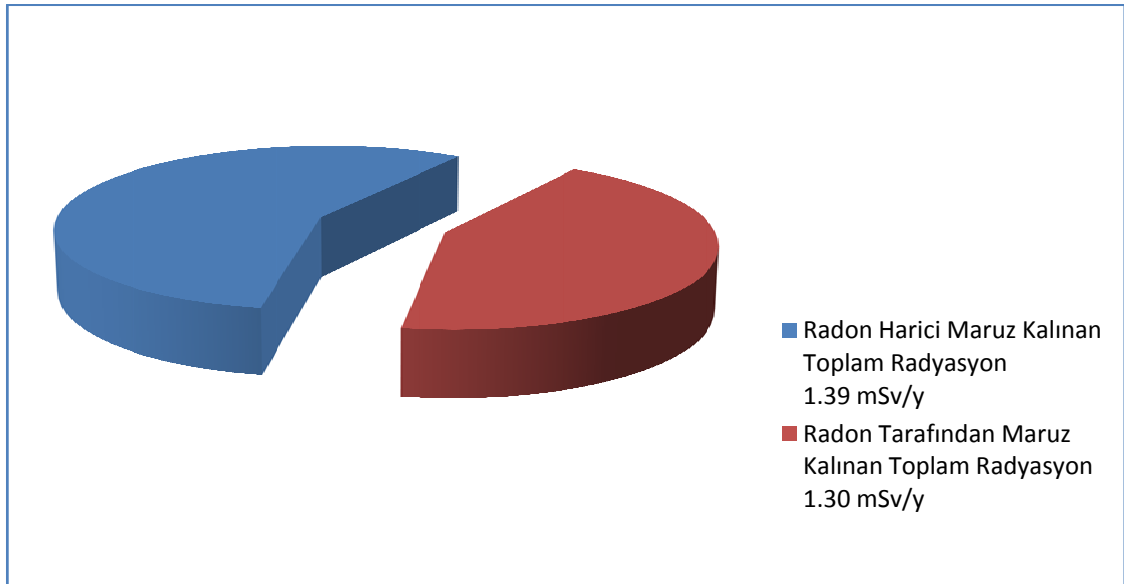
Yapay radyasyon kaynaklarının %90' ını tıbbi uygulamalar oluşturmaktadır. Radyoaktivite tıpta teşhis ve tedavi amaçlı olarak kullanılmaktadır. Teşhis için kullanılan yöntemler arasında, X ışını makineleri, radyografi, floroskopi, fotofloroskopi, mamografi, tomografi, radyofarmostik uygulamaları sayılabilir. Tedavi için kullanılan yöntemler ise kanser hücrelerinin ışınlanması ve çeşitli radyofarmostik uygulamalara yöneliktir (Gollnick, 1988).

Yapay radyasyon kaynaklarının %3 gibi bir kısmını endüstriyel uygulamalar ve tüketici ürünleri oluşturmaktadır. Tüketici ürünleri olarak renkli televizyonlar, video, sigara ürünleri, yakıtlar (kömür vs.) saymak mümkündür. Endüstriyel amaçlı cihazlara örnek olarak ise hava alanı bagaj kontrol sistemleri, elektron mikroskobu vs. örnek olarak gösterilebilir (Gollnick, 1988).

3. RADON VE BOZUNUM ÜRÜNLERİ

3.1 Radon

Radon 1900 yılında Darn tarafından keşfedilmiş ve havadaki varlığı, ilk olarak 1901 yılında Elsterve Geitel tarafından bulunmuştur. Simgesi Rn, atom numarası 86, olan radon renksiz, doğada bütünüyle radyoaktif olarak bulunan bir gazdır. Radon, doğada var olan üç temel radyoaktif bozunma serisinin tek gaz ürünüdür. Bu bozunma zincirlerinin ana atomları bütün doğal malzemelerde bulunabilir. Bu nedenle radon, tüm yüzey kaya ve toprak parçalarından ve yapı malzemelerinden ortama salınır (Evans, 1969; Durrani, 1997). Şekil 3.1’de görülebileceği gibi radon, yeryüzünde bulunan tüm radyasyon kaynakları içerisinde en yüksek doza maruz kalınan doğal radyasyon kaynağıdır.



Şekil 3.1: Radon ve radon dışındaki kaynaklardan maruz kalınan radyasyon dozları (Taşkın,2006).

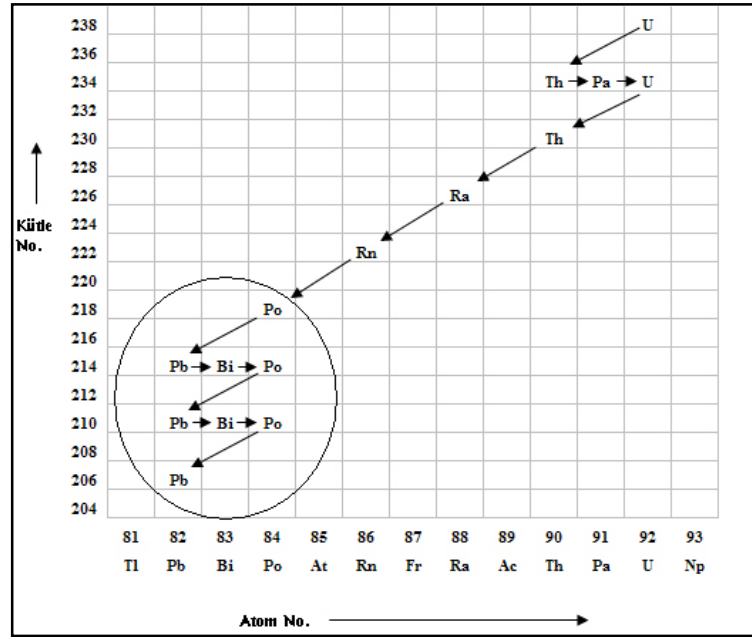
Radon, topraktaki radyumun bozunumuyla oluştuğundan sonra atmosfere yayılır. Radonun, kuru topraktaki bozunmadan önce ortalama yayılma mesafesi yaklaşık 1

m' dir. Toprakta bulunan radonun yaklaşık % 50'si, yüzeyden 1 m derinlikte ve yaklaşık % 75'i de 2 m içinde oluşur (Lichtenstein, 2000). Radonun havadaki yayılma hızı yüksek olup radon ve ürünleri atmosferin her yerinde bulunur. Bu nedenle radon konsantrasyonlarının yüksek olduğu bölgeler olası uranyum rezervi madenlerinin ipuçlarını vermektedir (Kumbur, 1997).

Radonun 27 izotopu vardır. Üç temel izotopu olan ^{222}Rn , ^{220}Rn ve ^{219}Rn sırasıyla uranyum, toryum ve aktinyum bozunum serilerine ait radyoaktif gazlar olup sırasıyla radon, toron ve aktinon olarak da bilinmektedir. Bu izotoplarının yarı ömürleri sırasıyla 3,82 gün, 55,6 sn ve 3,96 sn ortalama yarı ömürleri ise 5.51 gün, 80.2 sn ve 5.71 sn'dir (Evans, 1968; Durrani ve Ilic, 1997). ^{220}Rn ve ^{219}Rn ' un yarı ömürlerinin çok kısa olması nedeniyle ortam havasına karışarak oluşturabilecekleri konsantrasyonlar düşüktür. Doğada ^{222}Rn , ^{220}Rn den 20 kat daha bol bulunmaktadır. Bu yüzden yapılan Radon çalışmalarında özellikle ^{222}Rn üzerinde durulmuştur.

^{222}Rn , doğal radyasyon kaynaklarından olan 4.5 milyar yıl yarı ömre sahip Uranyum-ailesinin bir elemanıdır ve uranyum serisi içinde yer alan ^{222}Rn ve bozunum ürünleri Şekil 3.2'de görülmektedir. U-238 elementinin doğada diğer radyoaktif elementlere göre çok daha yüksek konsantrasyonlarda bulunması nedeniyle sadece ^{222}Rn atmosferde önemli yoğunluklar oluşturmaktadır.

^{222}Rn yarı ömrü 1600 yıl olan ve bir alfa yayınlayıcısı olan ^{226}Ra 'nın radyoaktif bozunumu sonucunda ortaya çıkmaktadır. Radyum bir uranyum ailesi elemanı olduğundan toprakta, kayalarda, yapı malzemelerinde, su ve gıdalarda bulunmakta ve oldukça geniş bir dağılım göstermektedir. Radyum, uzun yarı ömürlü olması nedeniyle, ^{222}Rn oluşumunda bir üreteç görevi yapar ve genellikle radon, kısa yarı ömürlü bozunma ürünleri ile denge halinde bulunur (Thomas, 1985). ^{222}Rn izotopik özellikleri nedeni ile konsantrasyon ölçümlerinde ön planda tutulmaktadır ve radon dendiğinde akla ^{222}Rn gelmektedir (Evans, 1968). Bu çalışmada da bundan sonraki bölümlerde “radon” kelimesi ^{222}Rn yi ifade edecektir.



Şekil 3.2 : Uranyum bozunum serisi (URL-2)

3.2 Radonun Bozunum Ürünleri

Radon'un bozunması ile alfa (α) ve beta (β) yayımlayan, kısa yarı ömürlü radon ürünleri olan ^{218}Po (RaA), ^{214}Pb (RaB), ^{214}Bi (RaC), ve ^{214}Po (RaC) meydana gelir. Özellikle radon gazı bozunduğu zaman oluşan ^{218}Po (RaA) atomları, iyonize halde, hava içindeki herhangi bir parçacığa tutunma eğiliminde olduğundan ^{214}Pb , ^{214}Bi ve ^{214}Po atomlarının pek çoğu oluştuklarında bir parçacığa tutunmuş haldedirler. Radon ve bozunum ürünlerinin özellikleri Çizelge 3.1' de verilmektedir (Turner, 1995).

Çizelge 3.1 : Radon ve bozunum ürünlerinin özellikleri (Turner, 1995).

İzotop	Yarı Ömür	Bozunma Sabiti (sn^{-1})	Temel Radyasyon Enerjileri (MeV)		
			α	β	γ
^{222}Rn	3,825 gün	$2,1 \cdot 10^{-6}$	5,49		
^{218}Po (RaA)	3,05 dk	$3,79 \cdot 10^{-3}$	6,00		
^{214}Pb (RaB)	26,8 dk	$4,31 \cdot 10^{-4}$		0,65	0,24
^{214}Bi (RaC)	19,7 dk	$5,86 \cdot 10^{-4}$		3,27	0,61
^{214}Po (RaC')	$1,5 \cdot 10^{-4}$ sn	$4,62 \cdot 10^3$	7,69		
^{210}Pb	22,3 yıl	-	-	-	-

Radonun kendisinin sağlığa olumsuz etkisi oldukça azdır denebilir. Bir soygaz olarak radon, teneffüs edildiğinde dikkate değer ölçüde vücut tarafından tutulmaz (Turner, 1995). Gene teneffüs yoluyla dışarı atılır. Çünkü radon nefes alma süresiyle kıyaslandığında daha uzun bir yarı ömre sahip olan bir asal gazdır. Ayrıca radonun kimyasal reaktivitesi olmadığından teneffüs edildiğinde dokulara kimyasal olarak bağlanmaz. Buna ilaveten dokulardaki çözünürlüğü de çok düşüktür. Sadece bir miktar radon gazı vücut sıvılarında çözünerek kan dolaşımına girmektedir. Kan dolaşımına giren radon ve vücut içindeki bozunmasıyla oluşan radon ürünleri çeşitli organların ışınlanmasına neden olacak ise de bu olasılık ihmal edilebilecek düzeydedir (Durrani ve Ilic, 1997; Fişne, 2002).

Potansiyel sağlık zararı radonun gaz olmayan radyoaktif bozunum ürünlerinden kaynaklanmaktadır. Radonun bozunum ürünlerinin bir kısmı atmosfer içindeki herhangi bir parçacığa tutunmak, bazıları ise serbest radyoaktif atomlar olarak kalma eğilimindedirler. Radonun bozunum ürünlerinden, serbest olarak kalma eğiliminde olanları taşıyan hava solunduğu zaman bunlar üst solunum yollarında, yapışma eğiliminde olanlar ise akciğerlerin derinliklerinde tutulma eğilimi gösterirler. Ve ciğerlerin normal temizleme mekanizmasından önce bozunmaya başlarlar ve bozunum ürünleri kararlı hale gelinceye kadar bozunmaya devam ederler. Bu parçacıkların bozunması devam ettiğinde ortaya çıkan enerji, akciğer dokusunda hasara, dolayısıyla zaman içerisinde kansere neden olur (Fişne, 2002; Turner, 1995; URL-1).

3.2.1 Radon bozunum ürünleri için özel büyüklükler ve birimler

Radonun bozunum ürünlerinin konsantrasyonuna ilişkin olarak ölçümlerde kullanılan bazı kavram ve büyüklüklere sırasıyla değinilecektir.

3.2.1.1 Potansiyel alfa parçacık enerji konsantrasyonu (PAEC)

Radonun insan sağlığı üzerinde meydana getirdiği olumsuz etkinin, esas itibariyle radonun bozunum ürünlerinin yayınladığı alfa parçacıklarından kaynaklandığı daha önce belirtilmişti. Bu nedenle söz konusu sağlık sorunu potansiyel alfa parçacık enerji konsantrasyonu (Potential Alpha Particle Energy Concentration, PAEC) ile

yakından ilgilidir. PAEC, havadaki radon ürünleri karışımında havanın birim hacminde radonun tüm bozunum ürünleri tarafından yayınlanan alfa enerjileri toplamıdır. PAEC J/m^3 veya MeV/m^3 birimleriyle ifade edilmektedir (Fişne, 2002; Turner, 1995).

3.2.1.2 Çalışma Düzeyi (Working Level, WL)

Belli miktar hava içindeki radonun kısa yarı ömürlü bozunum ürünlerinde potansiyel olarak bulunan toplam radyasyon enerjisinin bir ölçüsü olarak Çalışma Düzeyi (Working Level, WL) kavramı tanımlanmıştır.

Radonun bozunma ürünlerinde potansiyel olarak bulunan toplam radyasyon enerjisini hesaplayabilmek için, öncelikle her bir ürün için 3700 Bq aktivite oluşturacak atom sayılarının bilinmesi gerekir (EPA, 1987).

RaA' nın her atomu öncelikle 6.00 MeV enerjili alfa parçacığı yayınlayarak RaB' ye dönüşmektedir. Oluşan RaB atomu beta ışını yayınlayarak RaC ve RaC' 'ye dönüşmektedir. RaC' atomu ise 7.68 MeV enerjili alfa parçacığı yayınlayarak en sonunda RaD (Pb-210) atomuna dönüşür. Dolayısıyla bir RaA atomu RaD atomuna dönüştüğü zaman toplam 13.68 MeV (6.00+7.68) enerjili alfa parçacığı yayınlamış olur. Benzer şekilde RaB, RaC ve RaC' atomlarının RaD'ye dönüşürken yayınlacakları alfa parçacıklarının toplam enerjileri bulunabilir. Çalışma düzeyine ilişkin bu sonuçlar Çizelge 3.3' de toplu olarak verilmiştir.

Çalışma Düzeyi (WL) hesaplamalarında alfa ışınları dikkate alınmaktadır. Çünkü RaB ve RaC tarafından yayınlanan beta ve gama ışınlarının akciğer dozuna katkısı ihmal edilebilir düzeydedir (EPA, 1987). Çizelge 3.2' den de görüleceği gibi kısa yarı-ömürlü bozunma ürünleriyle dengede olan 3700 Bq radon, 1.3×10^5 MeV' luk toplam alfa enerjisi yayınlamaktadır.

Dolayısıyla radyoaktif denge durumları ne olursa olsun 1.3×10^5 MeV toplam alfa enerjisi yayınlamak olan radon ürünlerinin herhangi bir karışımı aynı hava içinde dağılmış olarak bulunuyorsa, denge karışımı ile aynı potansiyel tehlikeyi oluşturacaktır. Hava hacmi 1 litre olarak alındığı takdirde yeni bir birim olan Çalışma Düzeyi (WL) ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 3.2 Çalışma düzeyinin hesaplanması (Turner, 1995).

İzotop	Alfa Enerjisi (MeV)	Yarı Ömrü	3700 Bq'deki Atom Sayısı	Atom Başına Alfa Enerjisi (MeV)	Toplam Alfa Enerjisi (MeV / 3700 Bq)
RaA	6.00	3,05 dk	977	6.00+7.68	0,134.10 ⁵
RaB	0.00	26,8 dk	8580	7.68	0,660.10 ⁵
RaC	0.00	19,7 dk	6310	7.68	0,485.10 ⁵
RaC'	7.68	10 ⁻⁶ dk	0,0009	7.68	0,000.10 ⁵
				Toplam	1,3.10 ⁵

O halde 1 Çalışma Düzeyi (WL) 1.3×10^5 MeV' luk alfa enerjisi yayınlayan 1 litre hava içindeki radon ürünlerinin konsantrasyon birimi olarak tanımlanmaktadır. Çalışma düzeyi (WL) Denklem 3.1 ile bulunabilmektedir (EPA, 1987; Çile, 2004).

$$WL = EEC(Bq/m^3)/3700 \quad (3.1)$$

Burada EEC Denge Eşdeğer Konsantrasyonu olup, havadaki kısa yarı ömürlü radon ürünlerinin dengede olmayan bir karışımını ifade eder ki, bu karışım ile aynı potansiyel alfa enerjisi konsantrasyonuna sahip kısa yarı ömürlü ürünleri ile radyoaktif dengede olan radonun, radyoaktivite konsantrasyonu anlamındadır. Birimi Bq/m³ veya pCi/lt dir (Fişne, 2002; NCRP 97, 1988; Turner, 1995).

3.2.1.2 Denge Faktörü (F)

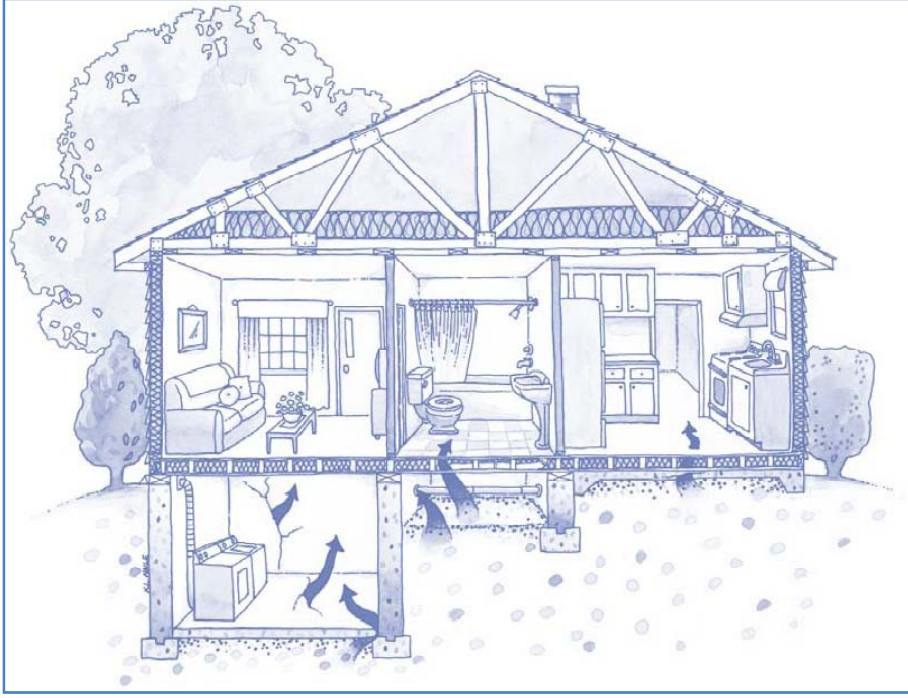
Denge faktörü, Denge Eşdeğer Konsantrasyonunun (EEC) havadaki radon konsantrasyonuna oranıdır. Bu faktör, eğer radon ve radonun bütün kısa yarı ömürlü bozunum ürünleri radyoaktif dengede ise tanım gereği olarak 1'e eşittir. Denge faktörü iç mekanlarda 0,2 ile 0,6 aralığında olup nadiren 1 değerini almaktadır (Turner, 1995).

3.3 Bina İçi Radon Konsantrasyonu

Genelde insanlar zamanlarının hemen hemen %90'ını kapalı mekânlarda geçirdikleri için radona maruz kalmaları önemli bir problem olarak ortaya çıkmaktadır. Evlerde radon ölçümü ilk kez 1956 yılında İsveç'te yapılmıştır. Bazı evlerde çok yüksek konsantrasyonda radon bulunmasına rağmen bunun söz konusu ölçüm bölgesine özel istisnai bir durum olduğu düşünülmüştür. Ancak 20 yıl kadar sonra tüm dünyada değişik ülkelerde geniş ölçekli sistematik çalışmalar başlatılmıştır (Güler, 1997).

Radon binalara; toprak, binanın civarı veya altındaki kayalar, bina malzemeleri, su kaynakları, doğal gaz ve dışarıdaki hava gibi farklı kaynaklardan girmektedir. Radonun binalara girişi, inşaatta kullanılan malzemelerdeki açıklıklar arasından veya malzemelerin arasındaki havanın akışıyla oluşan basınçla ya da binanın altındaki topraktan, yayılma yoluyla olmaktadır. Şekil 3.3'de radonun bina içine giriş yolları görülmektedir. Bununla birlikte binalardaki radon konsantrasyonu coğrafi yerleşime, zamana, yerden yüksekliğe ve meteorolojik şartlara bağlı olarak değişiklikler göstermektedir. Ölçüm olmaksızın evlerde radon değerinin tahmini mümkün değildir. Binaların altında bulunan topraklardaki farklı radyum konsantrasyonları başta olmak üzere bir çok faktöre bağlı olarak bina içindeki radon konsantrasyonu değişim göstermektedir. Buna bağlı olarak birbirine çok yakın mesafelerde bulunan evlerde bile farklı değerler elde edilebilmesi mümkündür (Eisenbud, 1987; Çelebi, 1995; Güler, 1997; Harley, 1990).

Radonun büyük bir kısmı, binalara, altındaki toprak ya da kayalardan girmektedir. Toprak boyunca yükselerek binanın altında sıkışan radon ve diğer gazlar, basınç oluştururlar. Evlerdeki hava basıncı genelde topraktaki basınçtan daha düşüktür. Binanın altındaki bu yüksek basınç nedeniyle gazlar çatlak ve boşluklardan, bina içlerine sızarlar (Çelebi, 1995).



Şekil 3.3 : Radonun binalara giriş yolları (EPA, 2001).

Radon havadan ağırdır ve yerden genellikle 50 santimetre mesafede kalma eğilimindedir. Bu nedenle kapalı ortamdaki hava binada kalma eğilimindedir. Günümüzde petrol krizinden sonra artan bina yalıtım işlemi söz konusu basınç farkının daha da artmasına neden olmaktadır (Güler, 1997). Bununla birlikte binaların üst katlarındaki radon yoğunlukları, zemin katlardakinden daha az olmaktadır (Köksal, 1997).

Norveç'te yapılan bir araştırmada, ağaçtan gelen radon gazı salınımı olmamasına rağmen, ağaçtan yapılan evlerin, diğer evlerden daha çok radon gazı içerdiği gözlenmiştir. Bunun en önemli nedeni ağaç evlerin genel olarak daha alçak ve dolayısıyla odaların toprağa daha yakın olmasıdır. Diğer taraftan Chicago'da yapılan bir araştırmada; tabanı kaplanmamış ve çıplak toprak üzerine kurulmuş evlerde, topraktaki radon yoğunluğu normal olmakla birlikte, evlerde ölçülen radon miktarının, tipik dış radon seviyelerinin 100 katından çok da yoğun olduğu görülmüştür (UNSCEAR, 1982).

Ilıman bölgelerde evlerin içindeki radon konsantrasyonunun, dışarıdaki radon konsantrasyonundan 8 kez fazla olduğu belirlenmiştir (UNSCEAR, 1982). Bugüne kadar, tropik ülkelerde bir radon seviyesi ölçümü yapılmamıştır. Bunun nedeni, bu bölgelerde havanın çok sıcak olması ve binaların daha açık bir şekilde yapılmış

olması nedeniyle iç ve dış radon yoğunlukları arasında fazla bir fark olmamasıdır. 1970'li yılların sonlarına doğru İsveç ve Finlandiya' daki evlerde yapılan ölçümlerde, açık havadaki radon seviyesinden 5000 kat daha fazla radon bulunmuştur (UNSCEAR, 1977). Çizelge 3.3'de değişik ülkelerde ölçülen ortalama ev içi radon konsantrasyonları verilmektedir.

3.3.1 Toprak gazından gelen radon

Konuta giren radonun asıl kaynağı, binanın inşa edildiği arazide bulunan toprak ve kayalardır. Radon, uranyumun mevcut olduğu tüm kayalardan ve topraktan gelmekte olup gaz olması nedeniyle bulunduğu ortamın boşluklarında ilerleyerek atmosfere kaçma eğilimi göstermektedir. Radonun değişik bölgelerde salınım bakımından farklılık gösterdiği bilinmektedir. Aynı yerleşim bölgesinde bile zamana bağlı olarak değişim söz konusudur. Granit ve volkanik kayalar, tortul şistler en önemli radon kaynaklarını oluşturmaktadır. Sedimenter topraklarda ise konsantrasyon daha düşüktür

Çizelge 3.3 : Farklı ülkelerde ev içi ortalama radon konsantrasyonları (Bq/m³) (Taşkın, 2006).

ABD	46	Fransa	62	Macaristan	107
Almanya	50	Hindistan	57	Mısır	9
Arjantin	37	Hollanda	23	Norveç	73
Avustralya	11	İngiltere	20	Polonya	41
Belçika	48	İran	82	Portekiz	62
Cezayir	30	İspanya	86	Romanya	45
Çek Cum.	140	İsveç	108	Slovakya	87
Çin	24	İsviçre	70	Suriye	44
Danimarka	53	İtalya	75	Tayland	23
Ermenistan	104	Japonya	16	Türkiye	52
Finlandiya	120	Kanada	34	Yunanistan	73

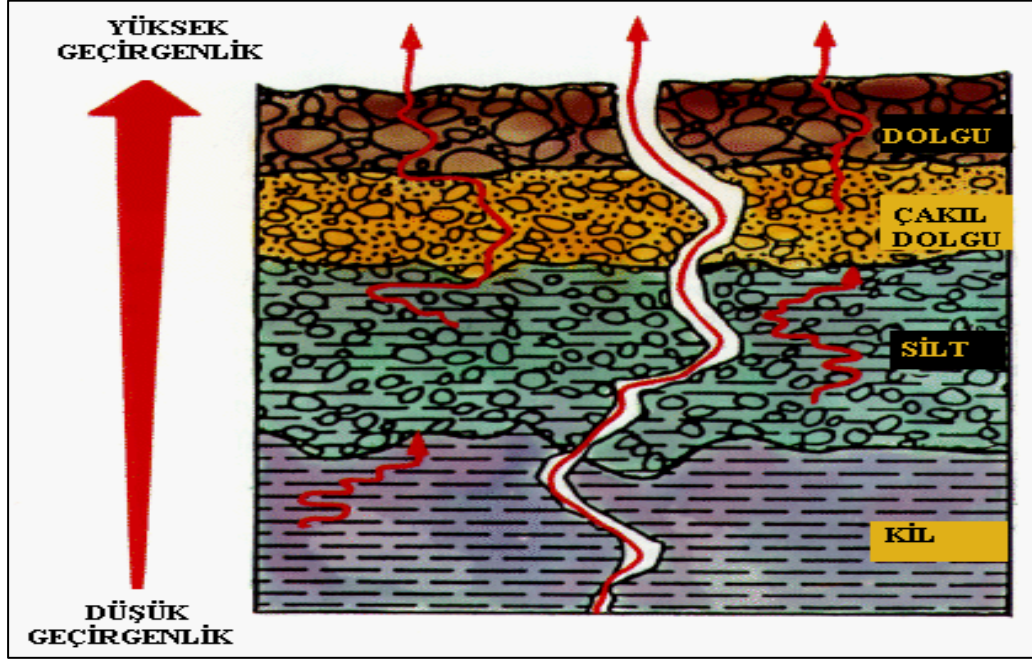
Radyum toprakta bozunduğu zaman oluşan radon, önce toprak partiküllerinden hava dolu gözeneklere kaçar ve bu gözenekler arasından atmosfere geçmek için hareket eder. Radon gazının atmosfere geçebilmesi, maddenin gözenekleri arasında

yayılması ile mümkündür. Bazı radon atomları, kapalı gözeneklerin içine girerler ve buralardan kaçamazlar (Meggett, 1983). Radonun çıkış hızı; toprak-hava arakesitinde birim alan başına, radyoaktivite aktarımı oranı olarak tanımlanmaktadır. Topraktan gelen aktivitenin yalnızca küçük bir yüzdesi, çatlağı olmayan 0.2 m kalınlığındaki betona aktarılır. Beton tabakada çatlak varsa, topraktan gelen aktivitenin % 25'inin yayılma yolu ile beton tabakaya aktarılacağı hesaplanmıştır (UNSCEAR, 1982).

Radon konsantrasyonları için coğrafi yerleşim önemlidir. Adalar ve Kutup Bölgesi gibi radon çıkışını sağlayan toprağın azaldığı yerleşim bölgelerinde, radon konsantrasyonu düşüktür (Iakovleva, 2003).

Topraktan radon salınımı:

- Topraktaki radyum konsantrasyonuna,
- Yayılma gücüne,
- Toprağın gözenekliliğine, geçirgenliğine ve nem içeriğine (Şekil 3.4).
- Toprağın permeabilitesine (yoğunluk, porozite, granülometrik özelliklerine)
- Toprağın durumuna (kuruluk, suyla tıkanmış olma, donma, karla örtülü olma)
- Meteorolojik koşullara (toprak ve hava sıcaklığı, hava basıncı, rüzgâr hızı, rüzgârın yönü)
- Bölgenin yüksekliğine bağlıdır.



Şekil 3.4 : Topraktaki radon geçirgenliği (Nero ve diğ., 1984).

3.3.2 İnşaat malzemelerinden gelen radon

Kökeni toprak ve kum olan yapı malzemesi bileşiminde de uranyum ve radyum bulunmaktadır. İnşaat sektöründe kullanılan yapı malzemelerinde bulunan eser miktardaki uranyum binalardaki radon düzeyini artırıcı etkenlerden birisidir (Çelebi, 1995). Bu nedenle dış solunum adı verilen bir doğal mekanizma ile duvarlardan sürekli olarak radon gazı çıkar ve bina içi ortamda artan bir yoğunluk oluşturur. Sağlam çimento duvarlardan radonunun yayılımında başlıca mekanizma difüzyondur (Renken 1995). Kullanılan çimento karışımıyla bağlantılı olarak radon miktarı değişmektedir (Güler, 1997).

Çizelge 3.4’de bazı inşaat malzemeleri için radyum konsantrasyonları ve radon çıkış hızları verilmektedir. Beton ve tuğla, en yaygın kullanılan inşaat malzemeleridir. Yapılan çalışmalar sonucunda betondaki ^{226}Ra konsantrasyonunun, tuğlaya göre daha az, ^{222}Rn çıkış oranının ise betonda tuğladan daha yüksek olduğu belirlenmiştir. (Çelebi, 1995).

Çizelge 3.4 : İnşaat malzemeleri içindeki ^{226}Ra ve ^{222}Rn değerleri (Çelebi, 1995).

İnşaat Malzemesi	^{226}Ra konsantrasyonu (Bq kg⁻¹)	^{222}Rn çıkış hızı ($\mu\text{Bq kg}^{-1} \text{sn}^{-1}$)
Tahta	-	0.2
Beton	9-32	2.5-20
Tuğla	45	1.0
Alçı taşı	12	6.3
Fosfattan elde edilen alçı taşı	580-740	0.13-0.20
Çimento	50	1.0
Kum	10	3.0

3.3.3 Sulardan gelen radon

Radon özellikle yeraltı suyu olmak üzere, suda da çözünebilir. Tipik olarak, musluktan akan su içindeki radonun 10000'de biri havaya yayılır. Sudaki radon miktarı arttıkça, bina içindeki radon düzeyi de artacaktır (Çelebi, 1995). Sularda bulunan radon ev içlerine, sular kullanıldığı zaman girer. Suyun sıcaklığı arttıkça, ortama verilen radon miktarı da artar (UNSCEAR, 1993). Suda ölçülen radon, sadece suyun içerisinde bulunan radyumdan kaynaklanmamakta, aynı zamanda suyun geçtiği yerlerdeki toprak ve kayalarda bulunan radyumdan da ileri gelmektedir (UNSCEAR, 1982).

Evdeki alışkanlıklar ve uygulamalar; duş, çamaşır ve bulaşık makinesi gibi suyun püskürtülmesi veya çalkalanması büyük miktar radonun salınmasına neden olur. Sudaki radon seviyesi, ev içi radon seviyesini önemli derecede etkileyebilecek kadar yüksektir. Bazı bölgelerde evlere ulaşan sular özel kuyulardan gelir. Yeraltı sularındaki radon konsantrasyonu, yüzeysel sulardan daha yüksektir. İnşaat malzemesinden gelen ışınlanmalara, yüzeysel sulardan katkı % 0.2, yeraltı sularından ise % 20'dir (UNSCEAR, 1982).

Ev içi havasına, musluk suyundan radon transferi çalışmalarında bir günde kişi başına ortalama 0.2-0.4 m³ su kullanıldığı varsayılarak, bu miktarın transfer veriminin % 0.5-0.6 olduğu rapor edilmiştir (Gesell, 1980). Sudaki en yüksek konsantrasyonlar Kanada' da 14 MBqm⁻³, Finlandiya' da 77 MBqm⁻³, ABD' de 20

MBqm⁻³ bulunmuştur. Yapılan çalışmalar 370 BqL⁻¹ radon konsantrasyonuna sahip bir suyun, ev içi radon konsantrasyonuna katkısının 37 mBqL⁻¹ olduğunu ortaya koymuştur (UNSCEAR, 1988).

3.3.4 Doğal gazdan gelen radon

Doğal gazın endüstriyel işlemleri, saflaştırma ve hidrokarbonlardan ayrıştırma işlemleri içerir. Bu hidrokarbonların bazıları yakıt olarak kullanılırken, bazıları sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) olarak, basınç altında şişelenerek satılmaktadır. Doğal gazın üretimi ve depolanması esnasında doğal gazın bozunumu ile ortama radon gazı verilir. Doğal gazın üretim kuyularındaki radon konsantrasyonu, dedekte edilemeyen seviyelerden, 50 kBq/m³ seviyesine kadar değişik değerler vermektedir (Wilkins, 1980).

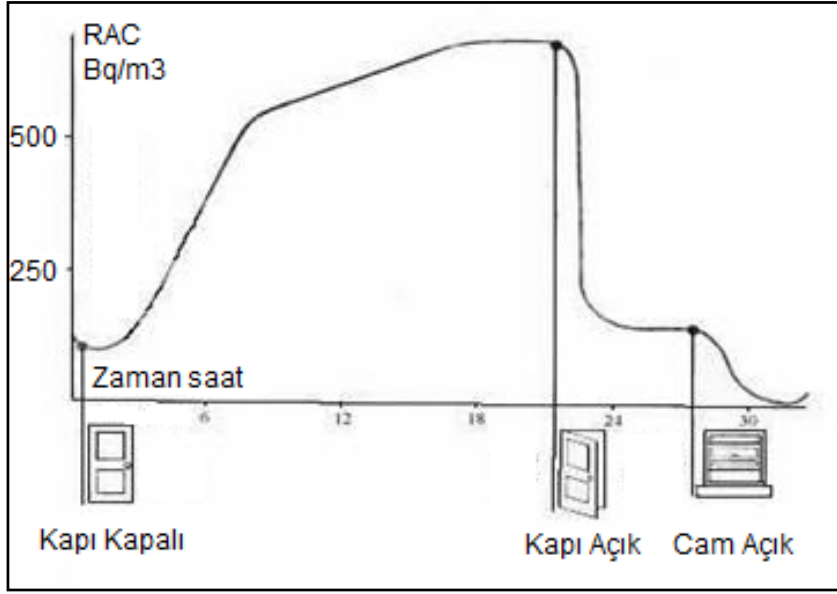
Doğal gazın önemli bir ev içi radon kaynağı olduğu bilinmektedir. Doğal gaz, evlerde ısıtma ve yemek pişirmede kullanıldığında da radon gazı ortaya çıkarak, ev içi radon seviyesini artırır. Eğer yanma ürünleri havalandırma ile dışarı atılırsa, radon kaynağı ihmal edilebilir (Çelebi, 1995).

3.3.5 Bina içi radon konsantrasyonunun azaltılması için alınabilecek tedbirler

Bina içi radon konsantrasyonunun azaltılması için alınabilecek tedbirler şöyle sıralanabilir:

- Yapı malzemelerinin radyoaktivite analizleri ve doz değerlendirmeleri yapılarak, değerlendirme sonuçları tavsiye edilen radyoaktivite düzeylerinin üzerinde olan malzemeler bina yapımında kullanılmamalıdır.
- Binaların, özellikle bodrum katlarının toprakla izolasyonu iyi yapılmalıdır. Bodrum katların ve zemin katların tabanına şap, beton vb. dökülmelidir. Toprak ile temas eden yüzeyler sızıntıya imkan vermeyecek şekilde izole edilmelidir.
- Radon düzeyi yüksek olabileceğinden, 20 yıldan eski olan evlerde çatlaklar kapatılmalı, izolasyon ile bakımı sürekli yapılmalıdır.

- Yerden ve duvarlardan bina içine sızan radon gazı bina dışına çıkamazsa bina içindeki konsantrasyon artacaktır. Bu nedenle kapalı ortamların havalandırılmasına özen gösterilmelidir (Şekil 3.5).
- Evlerde, kapı ve pencerelerde izolasyon yapıldıysa havalandırma süresi arttırılmalıdır.
- Radon kanser riskini arttırdığından, kapalı ortamlarda sigara içilmemelidir.



Şekil 3.5 : Radon konsantrasyonu havalandırmaya bağlı olarak değişimi (URL-1).

3.4 Radon Gazının Sağlık Üzerindeki Etkileri

Uranyum madenlerindeki radon ve bozunum ürünlerinin solunması üzerine yapılan epidemiyolojik çalışmalar, uranyum madencilerinin en yüksek kanser riskine maruz meslek grubu olduğunu ortaya çıkarmıştır (UNSCEAR, 1988). BEIR (Rapor No: VI)' in yayınına göre kapalı madenlerde yapılan epidemiyolojik araştırmada madenlerde çalışan 68.000 maden işçisinin içinde 2.700 işçi radona bağlı mesleki akciğer kanserine yakalanmıştır.

Madenlerde çalışanlarda radona bağlı akciğer kanser riskinin arttığını gösteren epidemiyolojik çalışmalar özellikle kapalı ortamda radon kirliliği ile ilgili endişelerin artmasına neden olmuştur. Ancak hayvan deneyleri ve epidemiyolojik çalışmaların yapılmasına kadar radonla ilgili kesin bir risk değerlendirme şansı olmamıştır.

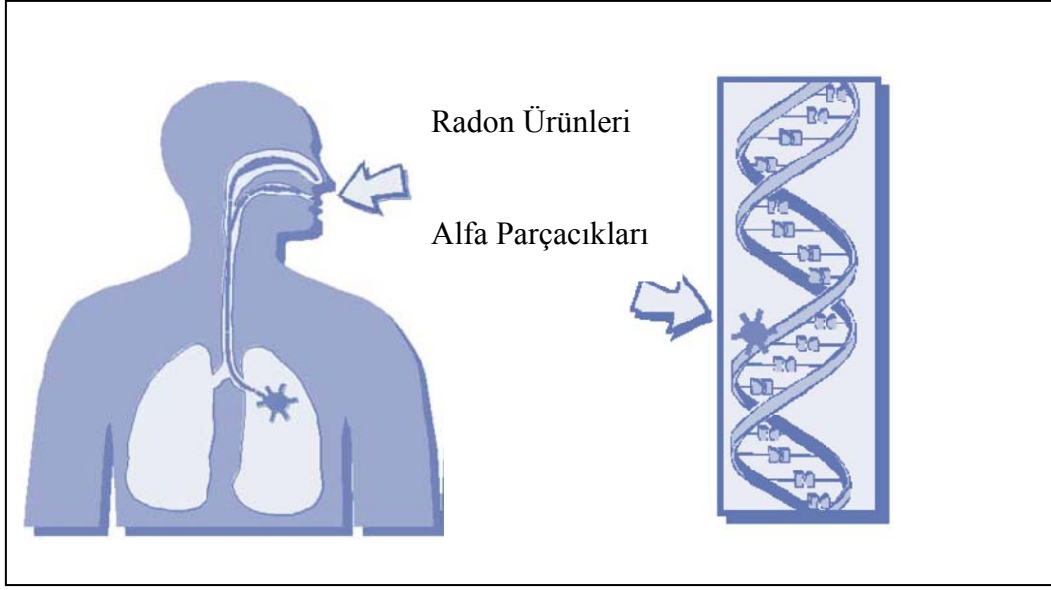
Günümüze kadar yapılan hayvan deneyleri ve epidemiyolojik değerlendirmeler radonla akciğer kanseri arasında doğrudan ilişki kurulmasını sağlamıştır (Güler, 1997).

Epidemiyolojik çalışmalar, yüksek seviyede radon ve bozunum ürünleri dolayısıyla radyasyona maruz kalmış bireylerde akciğer kanseri oranlarının yüksek olduğunu göstermiştir. İngiltere Milli Radyasyondan Korunma Komitesi (NRPB), İngiltere'deki yıllık toplam 41.000 akciğer kanserinden en az 2.500'ünü, ABD Halk Sağlığı Servisi yıllık akciğer kanseri vakalarının, sigara içmeyenlerden 5.000, sigara içenlerden 15.000'ini, Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi (ICRP) ise toplam akciğer kanserlerinin %10'unu radona bağlamaktadırlar. Ancak bu durum yüksek dozda radona maruz kalmış herkesin akciğer kanserine yakalanacağı anlamına gelmemekte ve maruz kalınma ile hastalığın oluşması arasında geçen zaman yıllarca sürebilmektedir (Halliday, 1974).

Radon soygaz olduğundan dolayı tenneffüs edildiğinde dokulara kimyasal olarak bağlanmaz. Ayrıca, dokulardaki çözünürlüğü çok düşüktür. Ancak, radonun bozunma ürünleri, toz ve diğer parçacıklara tutunarak radyoaktif aerosoller oluştururlar. Bu nedenle, taşınarak solunum yoluyla alınabilirler. Bozunum ürünleri kararlı hale gelinceye kadar bozunma devam eder; bozunma sürecinin her aşamasında radyasyon salımı olur (Çelebi, 1995). Radon gazından dolayı dünya genelinde maruz kalınan ortalama doz 1.3 mSv/yıl'dır (Seligman 1990).

Radon gazının tenneffüs edilmesi, solunum yetmezliği, baş ağrısı, öksürük gibi akut etkilere neden olmaz. Radyoaktif bozunmaya uğrayan radon gazı, tenneffüs edildiğinde akciğerler tarafından tutulabilecek parçacıklara dönüşür. Bu parçacıkların bozunması devam ettiğinde ortaya çıkan alfa parçacıkları akciğer dokusunda hasara, dolayısıyla zaman içerisinde kansere neden olabilir (Şekil 3.6).

Solunum borusunda olan bozunma sonucunda, bronşal epiteldeki radyasyon dozu artar. Bozunma ürünlerinin bazılarının alfa yayıcı olmaları nedeniyle alfa radyoaktivitesinin biyolojik etkileri önem kazanmaktadır (URL-1).



Şekil 3.6 : Radon bozunum ürünleri tarafından akciğerlerde yapılan ışınlanma (EPA, 2001).

Sigara, kanser riskini arttırmaktadır. Sigara içen ve bunun yanı sıra yüksek dozda radona maruz kalmış kişilerde kansere yakalanma riski oldukça yüksektir. Sigaranın bırakılıp, maruz kalınan radon seviyesinin düşürülmesiyle kanser riski azalacaktır. Ancak, sigara içiminin az bilinen bir zararı da içindeki radyoaktif maddelerin soluma yoluyla insan vücuduna alınmasından kaynaklanmaktadır (URL-1).

Uluslararası Radyasyon Korunma Komitesi radona maruz kalma konusunu inceleyerek “Evde ve işte Radon-222’ye karşı korunma” konusunda 65 nolu bir rapor yayınlamıştır. Bu raporda radona maruz kalma sınırlandırılarak, limit değerler tavsiye edilmiş ve yıllık doz için bir eylem seviyesi tespit edilmiştir (Çizelge 3.5). Eylem seviyesinin, 3-10 mSv arasında sınırlandırılması tavsiye edilmiştir. Bu doz değerlerine karşılık gelen radon konsantrasyonu evler için 200–600 Bq/m³ (evde geçirilecek süre 7000 saat ve denge faktörü 0.4 alınarak), iş yerlerinde ise 500-1500 Bq/m³ arasında bir değer tespit edilmesi önerilmiştir (Çelebi, 1995).

Çizelge 3.5 : Evlerde ve işyerlerinde radon ve ürünleri için önerilen eylem seviyeleri (Çelebi, 1995).

Eylem seviyesi (Etkin doz)	3 mSv/yıl	10 mSv/yıl
Evler için Eylem seviyesi (Radon konsantrasyonu)	200 Bq/m ³	600 Bq/m ³
İş Yerleri için Eylem Seviyesi (Radon Konsantrasyonu)	500 Bq/m ³	1500 Bq/m ³

Radonun asıl kaynağının uranyum olması nedeniyle radon konsantrasyonu yer kabuğu üzerinde bölgeden bölgeye değişiklikler göstermektedir. Bu nedenle radon konsantrasyonunda izin verilen limit değerler de ülkeler arasında değişiklikler göstermektedir. İngiltere’de bu değer 200 Bq/m³, Avrupa ülkelerinde 400 Bq/m³, yeni inşa edilecek binalarda 200 Bq/m³, Kanada’da ise 800 Bq/m³ olarak kabul edilmiştir (Ayotte, 1998). Türkiye’de ise bu değer Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği’nde 400 Bq/m³ olarak belirlenmiştir (TAEK, 2000). Çizelge 3.6’ da çeşitli ülkeler ve uluslararası kuruluşlar tarafından benimsenen kapalı ortamlar için müsaade edilen radon konsantrasyonları verilmektedir (EPA, 1992).

Çizelge 3.6: Çeşitli ülkeler için radon konsantrasyon limitleri (Bq/m³) (Çelebi, 1995).

A.B.D.	150	Hindistan	150	Norveç	200
Almanya	250	İngiltere	200	Rusya	200
Avustralya	200	İrlanda	200	Türkiye	400
Çin	200	İsveç	200	AB	400
Danimarka	400	Kanada	800	ICRP	400
Fransa	400	Lüksemburg	250	WHO	100

Ülkemizde ev içi radon gazı konsantrasyonları henüz yeterince ölçülmemiş olduğundan, evlerde radon gazı seviyeleri ile radonun mevsimsel ve bölgesel değişimleri bilinmemektedir. 1984 yılında Türkiye Atom Enerji Kurumu, Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi, Sağlık Fiziği Bölümünce “Türkiye’de Ev İçi Radon Ölçümü Projesi” kapsamında radon ölçüm çalışmaları başlatılmış olup çalışmalar halen sürdürülmektedir (Taşkın, 2006).

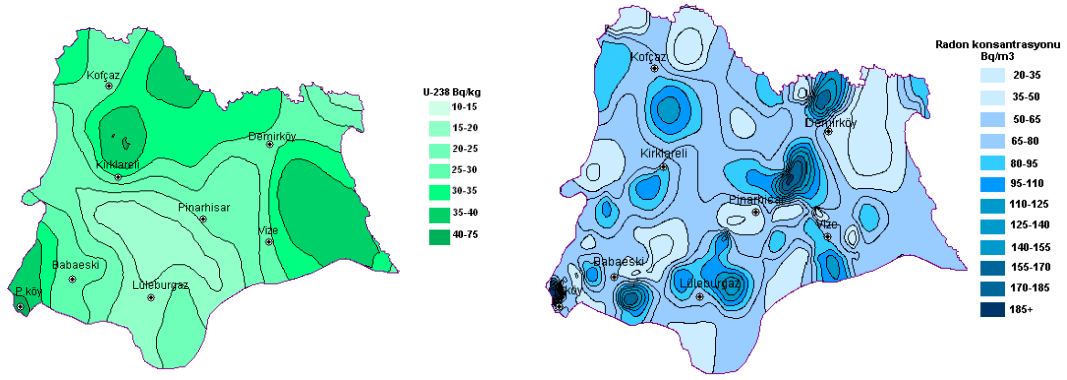
3.5 Radon Uranyum Rezerv İlişkisi

Daha önce belirtildiği gibi uranyum serisi ^{238}U ile başlayarak diğer alt serilere bölünür. Uranyum tüm kayalarda ve topraklarda bulunmaktadır. Çizelge 3.7' de toprak ve kaya çeşitlerinin tipik uranyum konsantrasyonları verilmektedir (NCRP, 1977). Çizelgede belirtilen Florida'nın fosfat kayaları (120 ppm) ticari uranyum kaynağı olarak kullanılmaktadır (NCRP, 1982).

Çizelge 3.7: Çeşitli kayalardaki ortalama uranyum konsantrasyonu (Çelebi, 1995).

Kaya Tipleri	Uranyum Konsantrasyonu (ppm)
Volkanik Kayalar	3.0
Fosfat Kayalar(Florida)	120.0
Fosfat Kayalar(Kuzey Afrika)	20-30
Granit	4.0
Kireçtaşı	1.3
Tortul Kayalar	1.2

Radon gazının varlığı Uranyumun bir habercisidir. Yüksek miktarlarda radon konsantrasyonlarının tespit edildiği bölgelerin radon konsantrasyon haritaları incelendiğinde uranyum konsantrasyon haritalarıyla büyük bir uyumluluk gösterdiği ve haritaların çakıştığı gözlenmektedir. Örnek olarak, Şekil 3.7' de verilen Kırklareli ili yüzey toprağındaki U-238 konsantrasyonunun coğrafi dağılımı ile Kırklareli ili evlerinde radon konsantrasyonlarının coğrafi dağılım haritalarına baktığımızda bu örtüşmeyi görebiliriz.



Şekil 3.7 : Kırklareli ili yüzey toprağındaki uranyum ve evlerdeki radon konsantrasyonlarının coğrafi dağılım haritaları (Taşkın, 2006).

3.6 Radon-Deprem İlişkisi

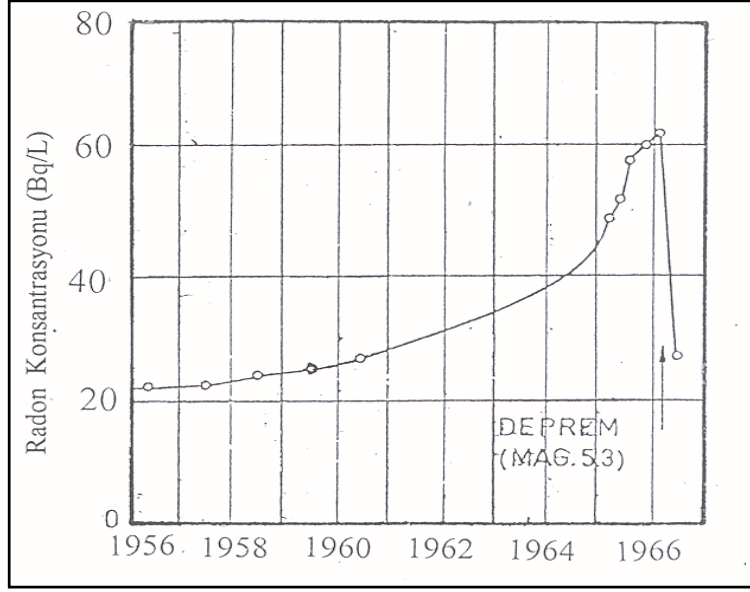
Depremi olacağını önceden bilememek depremde mal ve can kaybının çok fazla olmasının önemli nedenlerinden biridir. Depremlerin önceden saptanması konusunda yapılan çalışmalar da iki temel öncü yöntem ortaya konmuştur. Birincisi depremlerin istatistiksel analizleri, ikincisi ise jeofiziksel öncüler olarak bilinir. Yeraltından radon salınımları jeofiziksel öncüler arasında yer almaktadır (Asada , 1982). Rusya, Japonya ve Çin’de yapılan çalışmalar radon gazı ile sismik aktiviteler arasında doğrudan bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur.

Radon, uranyumun mevcut olduğu tüm kayalardan, topraktan gelmekte ve gaz olması nedeniyle bulunduğu ortamın boşluklarında ilerleyerek atmosfere kaçma eğilimi göstermektedir. Radon sızıntısının, aktif faylar üzerinde daha fazla olduğu, atmosferik koşullara ve sismik faaliyetlere bağlı değişiklikler gösterdiği bilinmektedir. Yer kabuğundaki gerilmeler nedeniyle meydana gelecek genişlemeler sonucu, kayalardan yeraltı su sistemine radon geçişi artmaktadır. Bunun sonucu olarak, sismik faaliyetin başlamasından önce çevredeki kuyu ve kaynak sularındaki radon konsantrasyonunda bir artış gözlenmektedir. Bu nedenle deprem araştırmalarına yönelik çalışmaların özellikle çevredeki kuyu ve kaynak sularında yapılması çok daha doğru sonuçlar vermektedir. 1976 Çin ve 1966 Taşkent depremlerinde yapılan yeraltı sularındaki radon değişim gözlemleri sonucu Japonya’da yer altı sularında sürekli izleme sistemi geliştirilmiştir. Tokyo Üniversitesi ve Japon Jeoloji Araştırma Birimi depremi önceden saptamak için bir ağ kurmuşlardır (Igarash, 1995).

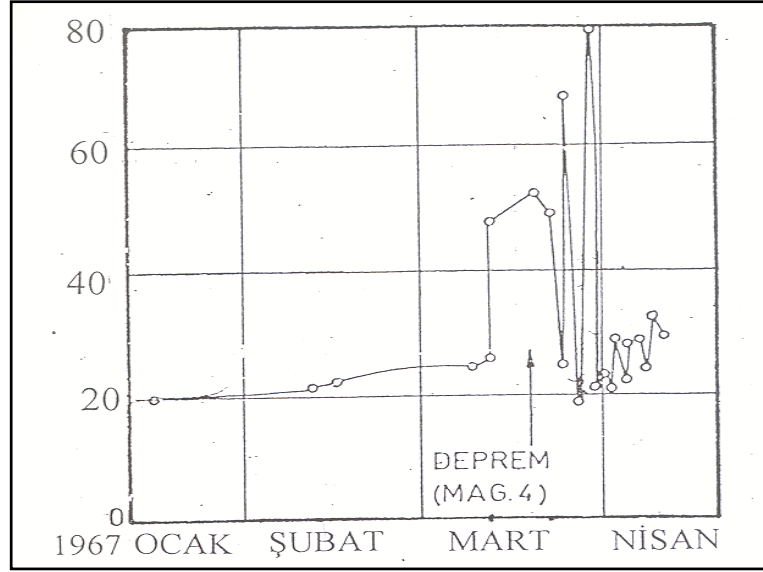
Yeraltı sularında ölçülen radon konsantrasyonunun, bu su sistemi içindeki kayaların sadece kimyasal değil yapısal özelliklerini de yansıtmaları beklenir. Yeraltı suyundaki radon konsantrasyonu su içindeki komşu kayalardaki uranyum konsantrasyonu ile ilgilidir. Radonun geri saçılma mesafesi (3×10^{-8} m) çok kısa olduğundan sadece kaya yüzeyinde oluşan radon atomları suya karışır. Kaya içindeki radon yüzeye kaçamaz (Çelebi, 1995).

Genelde kuyu sularındaki radon konsantrasyonu normal şartlar altında çok fazla değişmez. Radon konsantrasyonu mevsimsel olarak \pm % 10 bir değişimle, her ilkbaharda maksimuma, sonbaharda ise minimuma ulaşır. Ancak kayalar içinde oluşan mikro çatlaklar radon çıkışını sağlayabilir. Deprem öncesi kayalar üzerindeki genişlemeler sonucu oluşan mikro çatlaklar kaya içindeki radonun kaya yüzeyine ulaşmasına ve suya karışmasına neden olacağından sudaki radon konsantrasyonunda bir artış görülecektir. Çatlaklar oluştuğunda radon konsantrasyonunda da artışlar olacaktır. Mikro çatlakların oluşumunun tamamlandığı evrede radon artışı da duracak, radon konsantrasyonu artık değişmeyecektir (Bold, 1988. Chris, 1995).

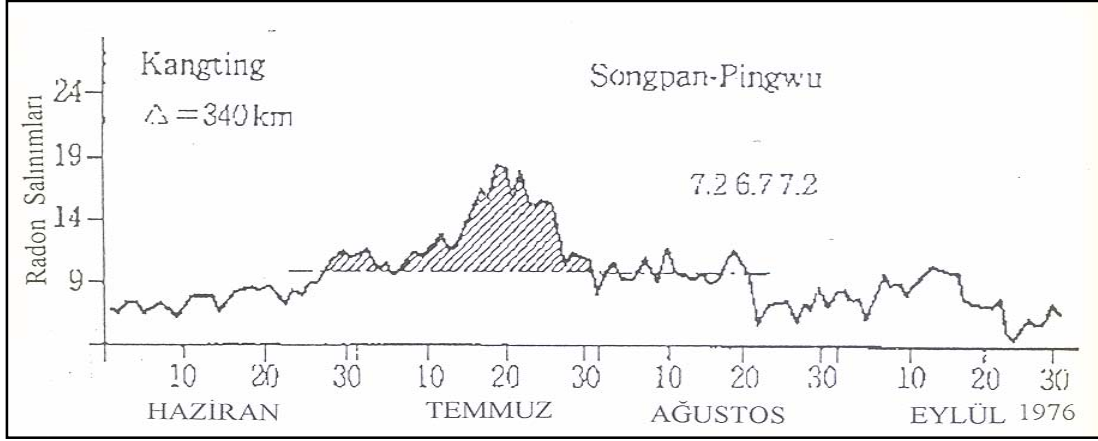
1966 ve 1967 Taşkent depremi öncesi radon konsantrasyonundaki değişiklikler Şekil 3.8 ve Şekil 3.9'da verilmektedir (Press, 1975). Şekil 3.8'de görüldüğü gibi, radon konsantrasyonu yıllarca kararlı bir şekilde artış göstermiş, deprem öncesi artış hızlanmış 1966 da deprem esnasında aniden düşmüştür. Benzer değişiklikler Çin depremi öncesinde izlenmiştir. 1976 Songan-Pingwu depremleri öncesinde de radon konsantrasyonları artmıştır. Songan-Pinwu depremi öncesi kuyu sularında gözlenen radon konsantrasyon değişimleri Şekil 3.10'da görülmektedir. Radon konsantrasyonundaki artış depremden 2-3 yıl önce başlamış ve depremin başladığı ana kadar devam etmiştir (Asada, 1982).



Şekil 3.8 : 1966 Taşkent depremi öncesi kuyu sularında gözlenen radon konsantrasyon değişimleri (TAEK, 2005).

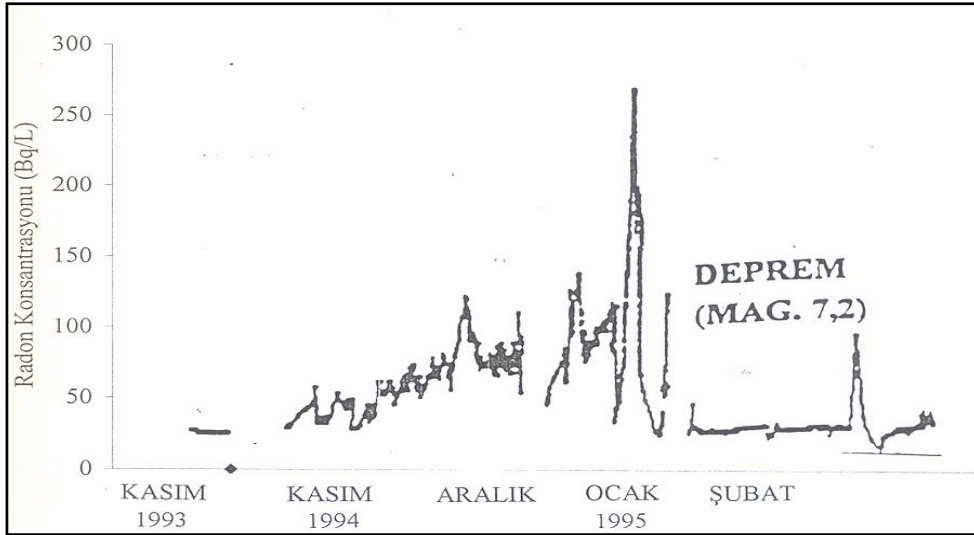


Şekil 3.9 : 1967 Taşkent depremi öncesi kuyu sularında gözlenen radon konsantrasyon değişimleri (TAEK, 2005).



Şekil 3.10 : 1976 Songan-Pinwu depremi öncesi kuyu sularında gözlenen radon konsantrasyon değişimleri (TAEK, 2005).

Japonya’da yeraltı sularında yapılan ölçümlerde ise radon konsantrasyonunun 17 Ocak 1995 Kobe depreminden birkaç ay önce artış gösterdiği Şekil 3.11’de görülmektedir. Radon konsantrasyonunun Ekim 1994’ten Aralık 1994’ün sonuna kadar 4 kat arttığı görülmüştür. 8 Ocak’ta depremden 9 gün önce radon konsantrasyonu başlangıç değerinin 10 katına çıkarak bir pik yapmış, deprem sonrası ise başlangıç değerine inmiştir (Igarashi, 1995).



Şekil 3.11 : 1995 Kobe depremi öncesi kuyu sularında gözlenen radon konsantrasyon değişimleri (TAEK, 2005).

Fay hattı üzerine çok sayıda açılan kuyularda radon gazı değişimlerinin aktif yöntemlerle kesintisiz izlenmesi, depremi önceden saptamada en etkin yöntemdir. Radon ölçümleri fay hattı üzerindeki toprakta veya fay hattı üzerinde bulunan kuyu sularında yapılmalıdır. Sularda radon konsantrasyonundaki değişimleri izleyebilmek

için Kaliforniya’da Berkeley Laboratuvarında radonun bozunma ürünlerinden ^{214}Pb ve ^{214}Bi yaydığı gama ışınlarını ölçebilmek için bir gama spektrometrik sistem geliştirilmiştir. Fakat sistemin pahalı ve arazi uygulamaları için pratik olmaması nedeniyle son yıllarda geliştirilen alfa ışınlarına duyarlı CR-39 ve LR-115 gibi plastik film detektörler deprem araştırmalarında da kullanılmaya başlanmıştır. Plastik detektörler, radondan gelen alfa izlerinden etkilenmektedir. Oluşan izler, nükleer iz kazıma tekniği ile mikroskopta görünür hale getirilerek sayılmakta ve radon konsantrasyonları hesaplanmaktadır.

Pasif radon detektörleri ve nükleer iz kazıma yöntemi 1975 yılında ABD’de Kaliforniya eyaletindeki San Andreas ve Calaveras faylarının 60 km’lik aktif bölgesi boyunca 20 kuru delik içine yerleştirilerek depremlerin önceden saptanmasında yararlı olacak ön değişiklikleri ölçmede kullanılmaya başlanmıştır. Japonya’da ise 1989 yılında geliştirilmiş bir radon izleme sistemi kullanılmaktadır. Yüksek enerji çözünürlüğü olan yarı iletken alfa parçacık detektörü (PIN fotodiyot) bir ağ ile bağlanmıştır. Sistem 60 kuyu içinde 17 m derinlikte radon değişimlerini kaydetmektedir (Igarashi, 1995).

3.7 Radon Ölçüm Yöntemleri

Günümüzde kullanılan pek çok radon ölçüm tekniği bulunmaktadır. Bu ölçüm teknikleri değişik şekilde sınıflandırılabilir. Radon ve bozunum ürünlerini ölçmek için

- aktif ölçüm yöntemi,
- pasif ölçüm yöntemi

olmak üzere iki temel yöntem geliştirilmiştir (Urban ve diğ., 1981).

Aktif ölçüm yöntemi, elektronik sistemler, pompalar, güç kaynakları gibi cihazlar gerektirmektedir. Aktif sistemde iyon odaları, sintilasyon hücreleri veya spektroskopik sayım cihazları kullanılmaktadır. Pasif ölçüm yönteminde ise termoluminesans dedektörler veya katı hal nükleer iz dedektörleri selüloz nitrat (LR-115) veya alil diglikol karbonat (Cr-39) kullanılır. Pasif alfa dedektörü kullanılarak yapılan radon dozimetreleri 3 farklı yolla oluşturulabilir:

- a-) Dedektörün önünde bulunan bir filtre üzerinde radon ürünlerinin toplandığı gaz akışlı aktif cihazlarla
- b-) Gaz akışı olmayan difüzyon yoluyla radon girişi olan ağız kapaklı odacıklarla
- c-) Açık bir dedektör üzerinde, havadaki radon ve ürünlerinden gelen alfa parçacıklarının kaydedildiği pasif aygıtlarla.

Radon ölçüm teknikleri, ölçüm sonuçlarının alınma süresine bağlı olarak ise:

- kısa dönem ölçüm teknikleri
- uzun dönem ölçüm teknikleri

olmak üzere iki grupta incelenebilmektedir (EPA, 1987; URL-1).

3.7.1 Kısa dönem ölçüm teknikleri

Kısa dönem ölçümlerde amaç bir an önce sonuçları almaktır. En sık kullanılan kısa dönem ölçüm teknikleri aktif kömür, alfa iz dedektörleri, sıvı sintilasyon sayım sisteminde aktif kömür, elektret iyon odaları, radon tuzağı örnekleri ve sürekli monitörleridir (EPA, 1987).

3.7.1.1 Aktif karbon tekniği

Bu teknik bir adsorblayıcı ortamda (kömür gibi) radon gazının adsorbe olmasına ve daha sonrada bu malzemenin analiz edilmesiyle radonun bozunum ürünleri olan Pb-214 ve Bi-214' ün yayımladığı gama ışınlarının aktivitelerinin ölçülmesi esasına dayanmaktadır (Durrani ve Ilic, 1997). Bu sayede radon miktarı tespit edilmiş olur.

Bu amaçla metal bir kap içerisine birkaç gram aktif karbon yerleştirilir. Uygun bir kapakla metal kap kapatılır. Metal kap ölçüm yapılacak yere yerleştirilir ve radon yüklü havanın kömüre yani karbon yatağına difüze edebilmesi için kapağı açılır (Durrani ve Ilic, 1997; URL-3). Kabın bu şekilde kalma süresi birkaç gün kadardır. Ölçüm süresi sonunda kabın kapağı tekrar kapatılır ve analiz için laboratuvara götürülür. Laboratuvarda genellikle NaI sayıcıları kullanılarak gama aktivite ölçümü gerçekleştirilir (Eisenbud, 1987). Kullanılan metal kaplar farklı boyutlarda ve şekillerde olabilir. Bazı metal kaplarda toron girişini engellemek ya da nemi minimize etmek için difüzyon bariyerleri kullanılabilir (Garcia-Leon ve Madurga, 1988).

3.7.1.2 Sıvı sintilasyon sayım sisteminde aktif karbon

Aktif karbon tekniği gibi radon gazının aktif karbon üzerinde adsorblanması esasına dayanmaktadır. Fakat analiz için farklı bir ekipman kullanılır. Dedektör tipik olarak içerisinde 1-3 gram kömür bulunan 20 ml' lik sıvı sintilasyon şişesinden oluşur. Ölçüm için sintilasyon şişesi açılarak radonun kömüre difüze etmesi sağlanır. Difüzyon sonrasında sintilasyon şişesi tekrar kapatılır ve analiz etmek için laboratuara götürülür. Analize hazırlamak için radon yayını tekniği kullanılır. Bu teknik kullanılarak kömür üzerine adsorbe olmuş radonun büyük bir kısmı sıvı sintilasyon şişesindeki özel sıvıya transfer edilir. Radon ve radonun bozunum ürünlerinin çözündüğü sıvıyı içeren sintilasyon şişesi sıvı sintilasyon sayıcısına yerleştirilir ve sayım alınır (Çile, 2004; URL-3).

3.7.1.3 Alfa iz dedektörleri

Bu teknik Bölüm 3.7.2.1' de anlatılmaktadır.

3.7.1.4 Elektret iyon odaları

Elektret, kalıcı elektriksel yük gösterebilen bir dielektrik malzemedir. Çelik bir kap içerisine elektret malzemesi (teflon gibi) yerleştirilir. Bu güçlü bir elektrostatik alan oluşturur. Kabın tabanındaki küçük bir giriş radon gazının içeri girmesini sağlar. Radon ve radonun bozunum ürünleri bozunduğu zaman alfa, beta ve gama ışınları yayımlar. Bu yüksek enerjili parçacıklar hava içerisinde ilerlerken havadaki oksijen, azot gibi atomlarla çarpışırlar ve kap içerisinde iyonizan parçacıklar üretirler. Bu iyonlar elektret tarafından oluşturulmuş olan elektrik alan tarafından çekilerek toplanır ve elektretin toplam yükü değişir (Durrani ve Ilic, 1997; URL-3). Bu değişimden yararlanarak radon konsantrasyonu bulunur.

3.7.1.5 Sürekli monitörler

Radon ölçümleri için kullanılan üç çeşit sürekli radon monitörü vardır. Bunlar; alfa sintilasyon, iyonizasyon odası ve katı hal dedeksiyonudur.

Sürekli radon monitörlerinin avantajları;

- Çoğu çeşidi taşınabilirdir.

- Sahada sonuç almak mümkündür.
- Radon konsantrasyonunun gerçek zamanlı değişimi görülebilir.
- Ölçüm aralıklarında esneklik sağlar.

Sürekli radon monitörlerinin dezavantajları;

- Pahalı sistemlerdir.
- Bazı modelleri büyük ve ağırdır.
- Düzenli kalibrasyon gereklidir.
- Yetişmiş elemana ihtiyaç vardır.
- İyonizasyon odası sürekli monitörü bazı durumlarda neme karşı hassas olabilir (Çile, 2004, URL-3).

- **Alfa sintilasyon sürekli radon monitörleri**

Bir alfa sintilasyon hücresi ile foto çoğaltıcı tüp sayım sistemine bağlı zamanlama devresi ve kontrol sisteminden meydana gelir. Pasif difüzyon yoluyla ya da aktif difüzyon yoluyla hava numuneleri alınır. Belirli bir zaman aralığı için alınan sayımlar hafızaya kaydedilir ve bir sonraki zaman aralığı için yeni sayım alınır. Ve bu şekilde devam eder. Kısa dönem alınan bu sonuçlar zamanla radon konsantrasyonunun değişimini yansıtır.

- **İyonizasyon odaları sürekli radon monitörleri**

Bir elektrometre ve veri kaydedicisine bağlı iyonizasyon odasından meydana gelir. Pasif difüzyon yada aktif difüzyonla alınan hava numunesi dedektöre yollanır. Radonun bozunum ürünleri elektrostatik olarak yok edilir ve böylece dedektöre girmesi engellenir. Radon, iyonizasyon odasının hacmi içerisinde bozunur ve iyonlar oluşturur. Bunlar elektrik sinyallerine dönüştürülür. Bu sinyaller sayılır, yüklenir, elektrometre ve data kaydedici tarafından görüntülenir.

- **Katı hal sürekli radon monitörleri**

Difüzyon örnekleme esasına dayanır. Alfa bozunumuna hassas bir katı hal silikon dedektörü kullanılır. Sürekli alınan verilerin yazıcıyla çıkışı alınır ve böylece radon konsantrasyonu görüntülenmiş olur. Diğer sürekli ölçüm monitörlerine göre daha az duyarlı olmasına rağmen kullanımını kolay ve nispeten ucuz olmaları nedeniyle tercih edilebilmektedir.

3.7.1.6 Radon Tuzağı (Grab Sampler) tekniği

Bu teknikte Lucas Hücresi olarak da bilinen bir alfa sintilasyon hücresi ve bir veya iki fototüp kullanılır. Sintilasyon hücresinin duvarları ZnS(Ag) fosfor ile kaplanmıştır. Sintilasyon hücresi bir veya iki vanalı olabilir. Hava numunesi toplamak için bu vana (veya vanalar) açılır. Numune alındıktan sonra vana kapatılarak radonun bozunum ürünleriyle radyoaktif dengeye gelebilmesi için yaklaşık olarak dört saat beklenir. Bu süre sonunda sintilasyon hücresi sayım için fototübün ağzına yerleştirilir. Radon ve radonun bozunum ürünlerinin yayınladığı alfa parçacıkları sintilasyon hücresinin duvarlarındaki ZnS ile etkileşimi sonucu çıkan pulslar (elektrik sinyalleri) sayılır ve gerekli hesaplamalar yapılarak radon konsantrasyonu belirlenir (Garcia-Leon ve Madurga, 1988).

3.7.2 Uzun dönem ölçüm teknikleri

Radon seviyesi günden güne, mevsimden mevsime göre değişebileceği için yıllık ortalama radon seviyesini tespit edebilmek adına uzun dönem radon ölçümü gerçekleştirilir. En sık kullanılan uzun dönem ölçüm teknikleri alfa iz dedektörleri ve elektret iyon dedektörleridir.

3.7.2.1 Katı hal nükleer iz dedektörleri (Alfa iz dedektörleri)

Katı hal nükleer iz dedektörleri uzun süreli radon ölçümleri için kullanılmaktadır (Durrani ve Ilic, 1997). Daha önce anlatıldığı üzere radon ve radonun bozunum ürünleri genelde alfa aktifdirler. Radon ve radonun bozunum ürünlerinin yayınladıkları bu alfa parçacıkları tespit edilerek (sayılarak) radon konsantrasyonu bulunabilir. Çünkü yayınlanan alfa parçacıklarıyla radon konsantrasyonu arasında doğrudan bir orantı vardır (Garcia-Leon ve Madurga, 1988).

Bu amaçla radonun yayınladığı enerji aralığındaki özellikle alfa parçacıklarına hassas olan plastik filmler kullanılır. Alfa parçacıkları bu filmler üzerinde bir iz bırakır. Radonun bozunum ürünleri alfa parçacığı dışında beta ve gama ışınları da yayınlarlar. Fakat bu filmler büyük ölçüde beta ve gama ışınlarına hassas değildir. Beta ve gama ışınları bu filmler üzerinde iz bırakmazlar (Durrani ve Ilic, 1997). Alfa parçacıklarının bu filmler üzerinde bıraktıkları izler daha sonra kimyasal iz kazıma yöntemiyle açığa çıkartılarak mikroskop yardımıyla sayılır. Gerekli hesaplamalardan sonra radon konsantrasyonu belirlenir.

Kullanılan filmler selüloz nitrat, selüloz asetat, polikarbonat, allil diglikol karbonat gibi plastik maddelerden yapılmıştır. Kimyasal iz kazıma esnasında alkali (NaOH yada KOH) yada asit çözeltileri (HF veya HNO₃) kullanılır (Durrani ve Ilic, 1997; URL-3).

Nükleer iz dedektörlerinin avantajları;

- Küçüktürler (1cm x1cm ve yaklaşık 100-500 mikrometre kalınlığında)
- Kullanılması kolaydır.
- Elektronik bir cihaza gerek yoktur.
- Taşınması kolaydır.
- İşlenmesi ve okunması kolaydır.
- Ucuzdur.
- Uzun süreli radon ölçümüne müsaittir.
- Nemden, makul seviyedeki ısıdan ve ışıktan etkilenmezler.

Nükleer iz dedektörlerinin dezavantajları ise;

- Radon konsantrasyonu yüksek değilse anlık ölçüm almaya uygun değildir.
- Düşük konsantrasyonlarda hata oranı yüksektir (Durrani ve Ilic, 1997; URL-3).

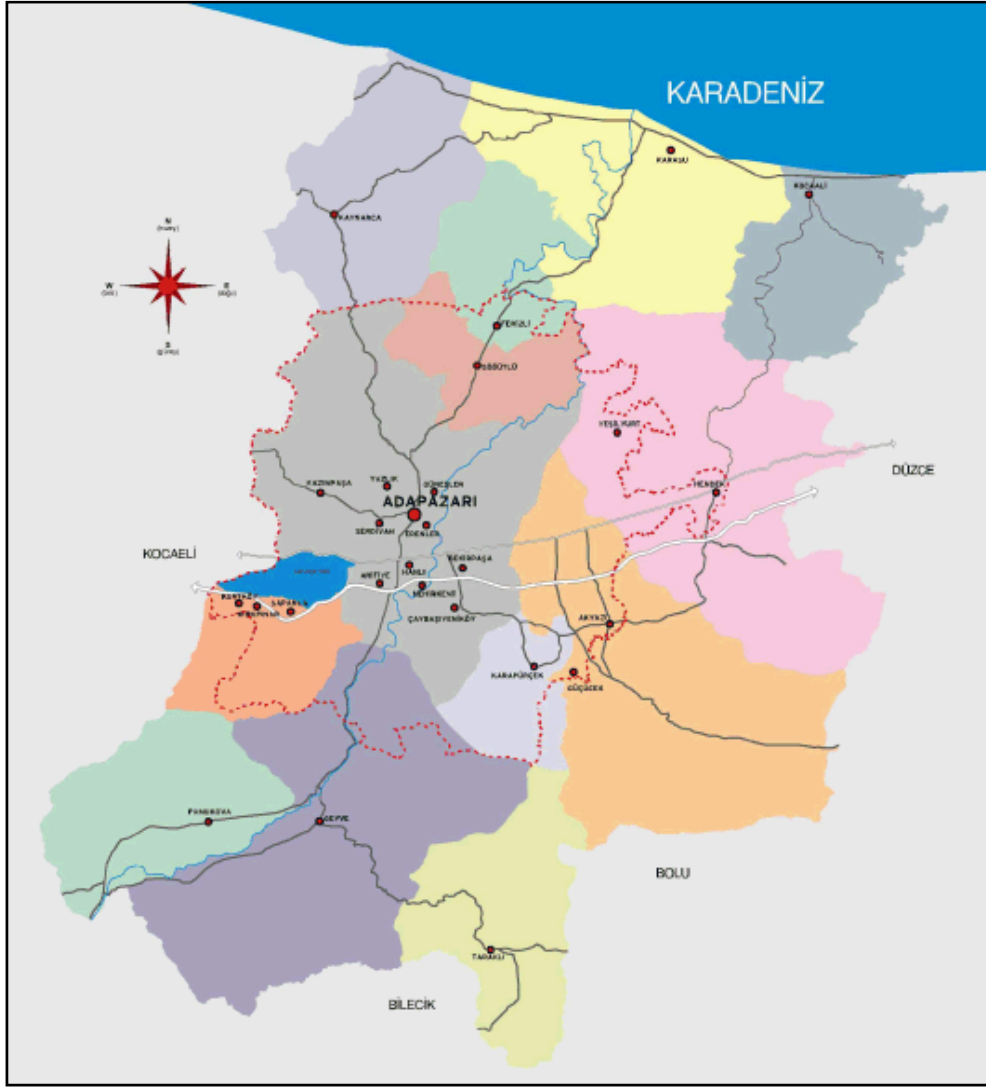
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Diğer ülkelerde olduğu gibi Türkiye’de de evlerde radon gazından dolayı alınan radyasyon dozunu hesaplamak ve radon konsantrasyonu yüksek olan bölgeleri tespit etmek amacıyla Türkiye Atom Enerjisi Kurumu tarafından “Türkiye’de Evlerde Radon Ölçümü Projesi” başlatılmıştır. Bu tez çalışmasında söz konusu proje kapsamında, Sakarya ilinin önemli bir nüfus yoğunluğuna sahip Adapazarı ilçe merkezinde bina içi radon konsantrasyonlarının tespit edilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla bölge sınırları içinde bulunan bütün okullar, Organize Sanayi Bölgesindeki bütün fabrika ve iş yerleri ile konutların bir kısmına yerleştirilen dedektörler kullanılarak bölgedeki mevsimsel en yüksek değerlerin belirlenebileceği kış dönemi için karşılaştırmalı radon konsantrasyonu ölçümü ve değerlendirmesi yapılmıştır.

Radon konsantrasyonlarının nükleer iz kazıma yöntemi ile belirlendiği bu çalışmada kullanılan dedektörlerin temini ve okunma işlemi Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi Sağlık Fiziği bölümünde yapılmıştır.

4.1 Bölgenin Tanıtılması

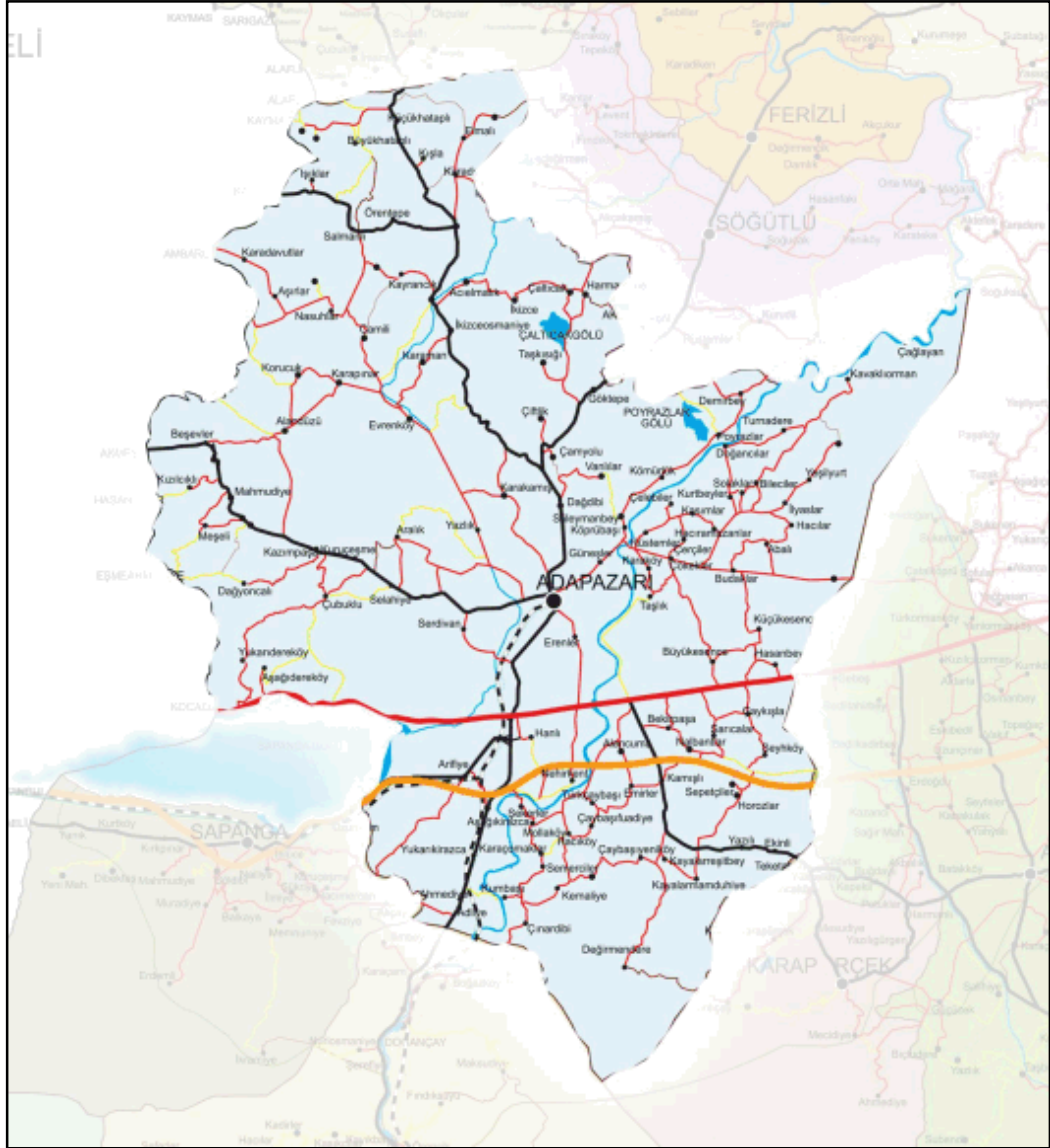
Sakarya ili Marmara Bölgesi'nin kuzeydoğu bölümünde yer alır. İlin merkezi olan Adapazarı ilçesi Akova adıyla anılan düzlükte Sakarya Havzası'nın aşağı kısmındadır. Sakarya ili ve ilçelerini gösteren harita Şekil 4.1’de görülmektedir. Sakarya ili, iklim özellikleri açısından Marmara ve Karadeniz Bölgesi iklim özelliklerini taşımaktadır. İl, yağışlı ve rutubetli bir havaya ve ılıman bir iklime sahiptir. Kışlar bol yağışlı ve ılık, yazlar ise sıcaktır. Meteorolojik gözlemlere bakıldığında il bol yağış alan ve nem oranı yüksek bir yapıya sahiptir. Yıllık yağış ortalaması 1.016 mm., sıcaklık ortalaması 14.4 °C ve nispi nem oranı % 73.9’dur.



Şekil 4.1 : Sakarya ili ve ilçeleri (URL-4).

6 Mart 2000 tarihli Resmi Gazete’de yayınlanan 593 sayılı Kanun Hükmünde Kararname ile “Büyükşehir Belediyesi” kurulmuş, Adapazarı Belediyesi de Büyükşehir Belediyesi’nin “Merkez” isimli alt kademe belediyesine dönüştürülmüştür. Şekil 4.2’ de Adapazarı Merkez İlçesi haritası yer almaktadır.

22.10.2000 tarihinde yapılan son nüfus sayımı sonuçlarına göre, Adapazarı Merkez nüfusu 158.474, Büyükşehir nüfusu ise 303.989’dır. Sakarya ili büyükşehir olduktan sonra Merkez ilçe konumunda bulunan Adapazarı dört ayrı bölgeye bölünmüştür. Bu bölgeler Merkez, Arifiye, Serdivan ve Erenler olarak adlandırılmaktadır.

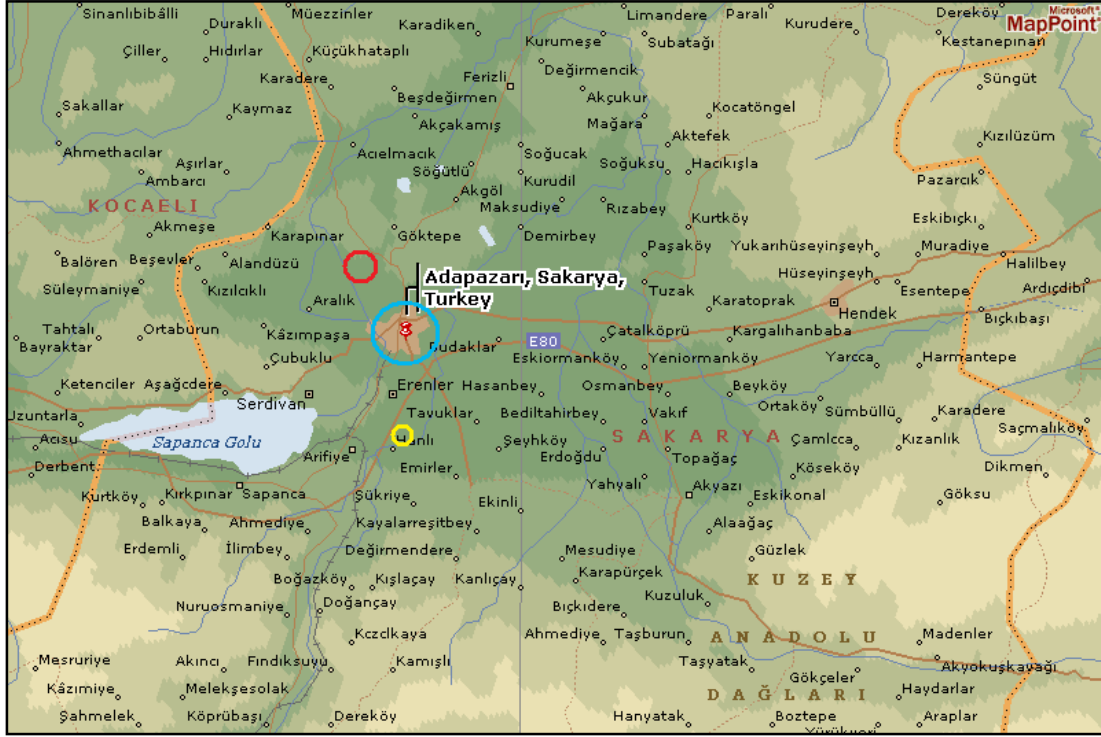


Şekil 4.2 : Adapazarı Merkez İlçesi (URL-5).

Araştırma sahası olarak seçilen Adapazarı Merkez ilçesi, 1999 yılında meydana gelen deprem sonrasında nüfusunun ve idari birimlerinin bir kısmını eskisine göre daha kuzeyde kalan Camili-Karaman bölgesine kaydırmış bulunmaktadır. Bu bölgede şu an yaklaşık olarak nüfusun beşte biri ikamet etmektedir.

Araştırma sahamız üç ana bölgeden oluşmaktadır. Bunlar, eski Adapazarı diye tabir edilen ilçe merkezi nüfusunun yaklaşık yüzde sekseninin yaşadığı düşünülen bölge, yeni Adapazarı olarak tabir edilen ve ilçe merkezi nüfusunun yaklaşık yüzde yirmisinin yaşadığı kabul edilen Camili-Karaman bölgesi ve Adapazarı merkezine

bağlı Organize Sanayi Bölgesi (OSB) dir. Bu bölgelerin konumları Şekil 4.3'deki haritada belirtilmiştir.



Şekil 4.3 : Eski Adapazarı, Yeni Adapazarı ve Organize Sanayi Bölgesi (URL-6).

Haritada kırmızı renkle belirtilen bölge Yeni Adapazarı bölgesini, mavi renkle belirtilen bölge Eski Adapazarı bölgesini, sarı renkle belirtilen bölge ise Organize Sanayi Bölgesini göstermektedir.

Bölge deprem ana fay hatlarına yakın bir konumda bulunduğundan dolayı birçok kuruluş tarafından sürekli olarak toprak ve su radon ölçümlerinin titizlikle yapıldığı bir merkezdir. Bölgenin ana fay haritası ve çalışma sahası Şekil 4.4 de bir arada gösterilmektedir.



Şekil 4.4 : Bölgenin ana fay haritası ve çalışma sahası (URL-7).

4.2 Dedektörlerin Yerleştirilmesi

Adapazarı Merkezindeki evlerin, işyerlerinin ve okulların radon konsantrasyonunun ölçülmesi için, 170 adet Cr-39 radon dedektörü TAEK-ÇNAEM Sağlık Fiziği Biriminden teslim alınmıştır. Sakarya valiliği ile resmi görüşmeler yapılarak gerekli yazılı izinler alındıktan sonra dedektörler, 20-21 Ocak 2009 tarihlerinde konut, okul ve işyerlerine teslim edilmiştir.

4.2.1 Dedektörlerin konutlara yerleştirilmesi

Valilik tarafından verilen izin belgeleri ile birlikte, Adapazarı ilçe merkezine bağlı 32 merkez muhtarlığı ile görüşülerek daha önceden belirlenmiş mevkilerde bulunan konutlara dedektörlerin yerleştirilmesi sağlanmıştır. Ev sakinlerine dedektörlerin yerden 1 m yükseklikte kapı ve pencerelerden uzak olacak şekilde ve elektronik cihazlardan 1 m mesafede bulunacak şekilde en çok kullandıkları oturma odaları veya salonlara konulmasının gerekliliği anlatılmıştır. Dedektör kaplarının hiçbir şekilde açılmaması ve dedektörlerin araştırma süresi boyunca aynı yerde kalmalarının önemi belirtilerek dedektörler konut sahiplerine elden teslim edilmiştir. Dedektörlerin teslimi esnasında EK A'da (Şekil A.1) verilen her dedektöre ait

dedektörün bırakıldığı adresin, teslim tarihinin ve konuta ait özelliklerin bulunduğu bilgi formu tüm konutlar için konut sahipleriyle beraber doldurulmuştur. Bu şekilde her mahalleye radon ölçüm dedektörü bırakılarak konutlara dedektör teslim işlemi tamamlanmıştır.

4.2.2 Dedektörlerin okul ve işyerlerine yerleştirilmesi

Adapazarı Kaymakamlığı ve Adapazarı İlçe Milli Eğitim Müdürlüğü ile temasa geçilerek Adapazarı ilçesi merkezine bağlı tüm ilköğretim okullarına ve liselere dedektörlerin dağıtımı işlemi için İlçe Milli Eğitim Müdürlüğü'nün belirlediği 6 tane sorumlu bölge okuluna gidilerek bu okullardaki yetkili kişilere dedektörlerin nasıl yerleştirileceği hakkında bilgi verilmiştir. Bu okullara bağlı diğer okullara bırakılmak üzere dedektörler bu yetkililere teslim edilmiştir. Sorumlu bölge okulu ile bu okula bağlı diğer okulların bilgi formları doldurularak okullara dedektör dağıtılması işlemi tamamlanmıştır.

Organize sanayi bölge müdürünün yardımlarıyla Adapazarı ilçesine bağlı 1. Organize Sanayi Bölgesinde bulunan tüm işyeri yetkilileriyle görüşülerek dedektörlerin nasıl yerleştirileceği konusunda bilgi verilmiş ve dedektörlere ait bilgi formları doldurularak işyerlerine dedektör bırakma işlemi sona ermiştir. Bu şekilde konutlara 70 adet, iş yerleri ve okullara ise 50 şer adet olacak şekilde toplam 170 adet radon ölçüm dedektörü teslim edilmiştir.

Dedektörlerin toplanması için gerekli izin yazıları valilikten temin edilerek 26-28 Mart 2009 tarihleri arasında dedektörler geri alınmıştır. Her dedektör geri alınırken dedektörlere ait bilgi formlarına geri alınış tarihleri yazılmıştır.

4.3 Dedektörlerin Okunması

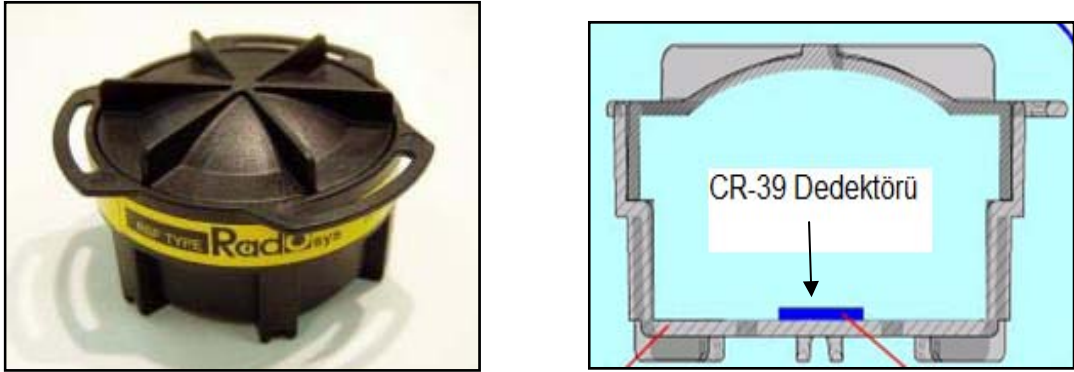
ÇNAEM Sağlık Fiziği biriminde bulunan okuma sistemi yardımıyla dedektörler okunarak her dedektöre ait radon aktivite konsantrasyonları belirlenmiştir. Dedektörlerin okunması aşamasında toplam 34 adet dedektör zedelenmiş ve okunamamıştır.

4.3.1 Araştırmada kullanılan Radon Ölçüm Sistemi

Bu çalışmada Radosys marka (77 Elektronika, Budapeşte, Macaristan) radon ölçüm sistemi kullanılmıştır. Bu sistem üç ana bölümden oluşmaktadır. Bunlar, firma tarafından üretilen Cr-39 plastik alfa iz dedektörleri, bu dedektörlerin kimyasal kazıma işleminin yapıldığı banyo ünitesi ve bilgisayar destekli optik okuyucu sistemidir.

4.3.1.1 Cr-39 radon dedektörleri

Ticari adı Cr-39 olan pasif nükleer iz dedektörlerinin kimyasal yapısı alil diglikol karbonat'tan oluşmaktadır. Radon ve bozunum ürünlerinin yayınladıkları alfa tanecikleri Şekil 4.5'de görülen dedektör kabının içine girerek 1 cm² büyüklüğündeki Cr-39 detektörü ile etkileşmekte ve detektör yüzeyinde gözle görülemeyecek büyüklüklerde izler oluşturmaktadır.



Şekil 4.5 : Cr-39 dedektörü (Radosys, 2000).

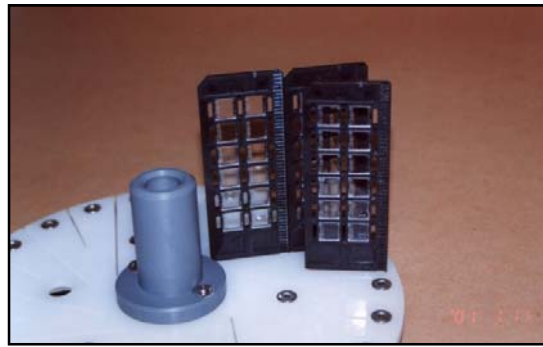
4.3.1.2 Kimyasal iz kazıma ünitesi

Toplanan detektörlere, üzerindeki alfa izlerinin görülebilir hale getirilebilmesi için kimyasal iz kazıma işlemi uygulanmaktadır. İz kazıma işlemi Şekil 4.6'da görülen banyo ünitesinde gerçekleştirilir. Bu işlem için detektörler öncelikle içinde buldukları dedektör kabından çıkartılır ve Şekil 4.7' de görülen, her biri on iki adet dedektör alan slaytlara yerleştirilerek kimyasal iz kazıma işlemine hazır hale getirilir.

Kimyasal iz kazıma işlemi için ilk olarak 4 litre saf su, banyo ünitesinin haznesine doldurulduktan sonra suyun sıcaklığının 60 °C ye gelmesi beklenir. Daha sonra banyo ünitesindeki saf suya toplam 1 kg NaOH, her biri 25 gram olacak şekilde ayarlanmış bir ölçü kabıyla birer dakika aralıklarla yaklaşık 40 dakika süren bir işlem sonunda eklenir.



Şekil 4.6 Kimyasal iz kazıma banyo ünitesi (Radosys, 2000).

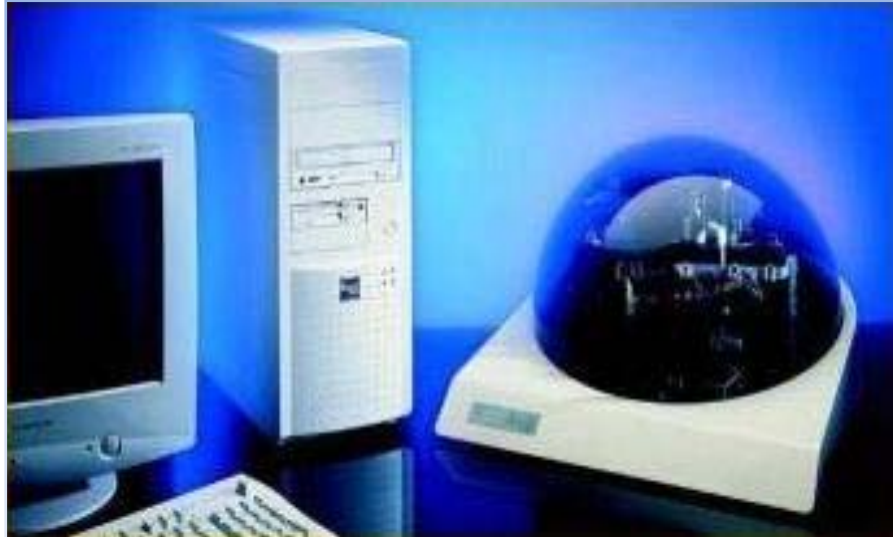


Şekil 4.7 : Slaytlara yerleştirilmiş dedektörler (Radosys, 2000).

İşlemin bu şekilde gerçekleştirilmesinin nedeni, NaOH ile su tepkimesi ekzotermik bir tepkime olduğu için yüksek miktarda ısı açığa çıkmasıdır. Bu işlemden sonra slaytlara yerleştirilmiş şekilde bekleyen dedektörler banyo ünitesine yerleştirilerek kimyasal iz kazıma işlemi başlatılır. 80 °C' de yaklaşık 4 saat süren bu işlemin ardından slaytlar banyo ünitesinden dışarıya alınır ve banyo ünitesinde bulunan NaOH içeren su boşaltılır. Daha sonra % 25 oranında asit bileşeni içeren (asit bileşeni olarak sıklıkla üzüm sirkesi tercih edilir) saf su banyo ünitesine konulan dedektörlerin, bu karışımla 1-2 dakika yıkanması sağlanır. Banyo ünitesi tekrar boşaltıldıktan sonra son defa olmak üzere 4 lt. su, banyo ünitesinin içine konularak dedektörlerin saf su ile yıkanması sağlanır. Yıkama işleminin bitmesinin ardından dedektörlerin yaklaşık 1 saat süre bekletilerek kurumaları sağlanır. Kuruyan dedektörler okuma işlemine hazır hale gelmiştir.

4.3.1.3. Radon iz okuma cihazı

Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'da görülen iz okuma cihazı, bilgisayara bağlı 500 büyütmeli bir mikroskop ve yazılımdan oluşmaktadır. Slaytların içinde bulunan dedektörler sırayla optik okuyucu sistemine yerleştirilir. Otomatik radon iz okuma cihazı her bir dedektörü 144 eşit parçaya bölerek dedektörlerdeki iz sayısını ve iz konsantrasyon miktarını belirler.



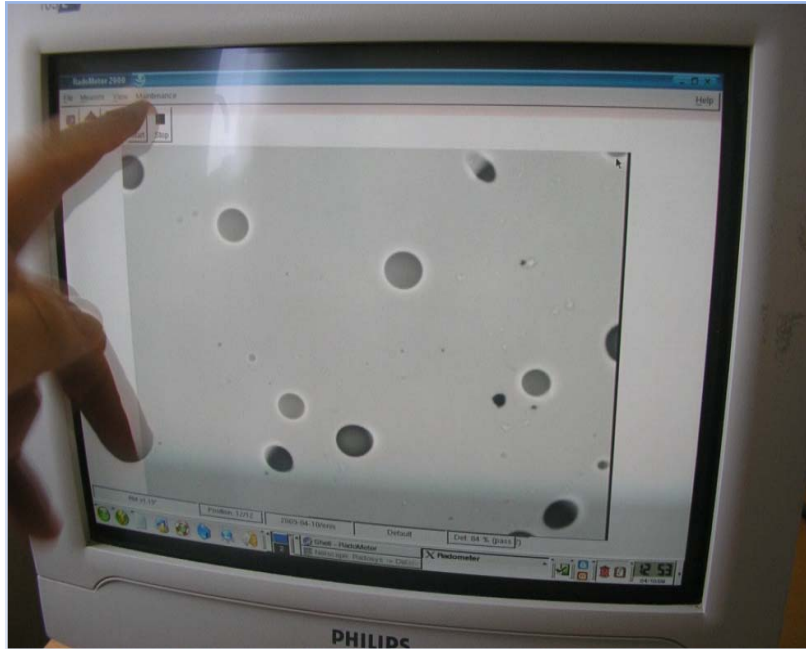
Şekil 4.8 : Otomatik iz okuma sistemi (Radosys, 2000).

Şekil 4.10'da bilgisayar ekranında görülebilen alfa izleri yer almaktadır. Belirlenen değerler lokal network aracılığı ile ana işlemciye iletilir. Daha sonra dedektörlerin

araştırma boyunca binalarda bekletilme süreleri bilgisayara girilerek her bir dedektörün bulunduğu ortamın radon aktivite konsantrasyonu ve ortam radon yoğunluğu yazılım tarafından hesaplanır (Radosys, 2000).



Şekil 4.9 : Dedektörler üzerindeki izlerin okunma işlemi



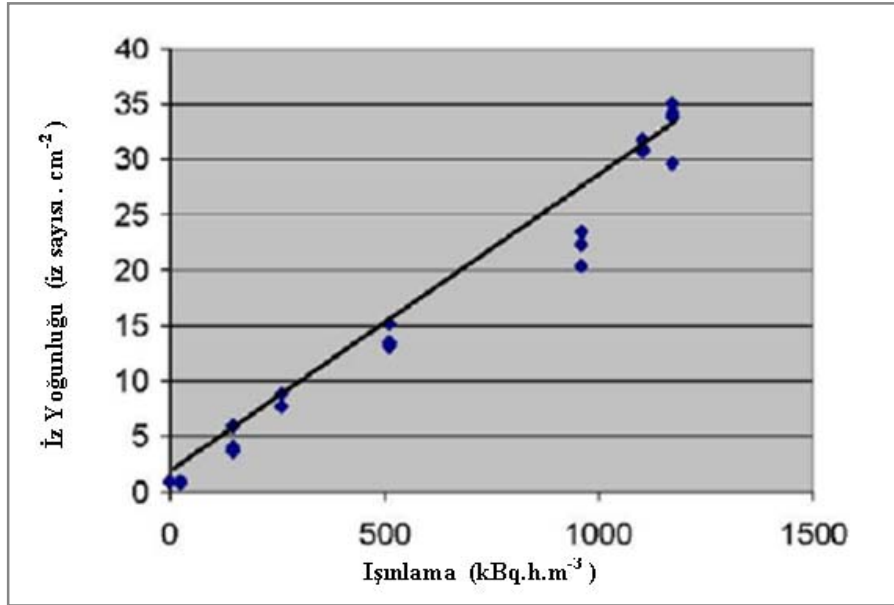
Şekil 4.10 : Bilgisayar ekranında görülebilen alfa parçacık izleri

Radon konsantrasyonu belirlenirken dedektörlerin fon değerinin (background) tespit edilmesi gerekmektedir. Bu işlem için kullanılmamış dedektörler ile araştırma

esnasında kullanılan dedektörler aynı okuma işlemlerine tabi tutulmuş ve araştırma sırasında kullanılan dedektörlerin iz yoğunluğu ile kullanılmayan dedektörlerin iz yoğunlukları farkından net iz yoğunluğu bulunmuştur. İz sayısından hareketle radon aktivite konsantrasyonunun bulunabilmesi için, bilinen radon aktivite konsantrasyonlarına karşı gelen iz yoğunlukları ile elde edilen kalibrasyon doğrusu Şekil 4.11’de verilmektedir (Radosys, 2000). Kullanılan Radosys sistemi için kalibrasyon faktörü 2,58 iz sayısı.cm⁻².Bq.h⁻¹.m³ olmaktadır. Buna göre net iz yoğunluğu, kalibrasyon faktörü ve dedektörlerin ortamda kalma süreleri kullanılarak ortamdaki radon aktivite konsantrasyonları Denklem 4.1 kullanılarak belirlenmektedir.

$$RAC = \frac{D - D_f}{S \cdot T} \quad (4.1)$$

Bu denklemde RAC radon aktivite konsantrasyonunu, D ve D_f sırasıyla kullanılmış ve kullanılmamış dedektörlerin iz yoğunluğunu (iz sayısı.cm⁻²), S kalibrasyon faktörünü (iz sayısı.cm⁻².Bq.h⁻¹.m³), T ise dedektörlerin binalarda kalış süresini (saat) ifade etmektedir.



Şekil 4.11: Okuyucu sistemin kalibrasyon doğrusu (Radosys, 2000).

5. DENEY SONUÇLARI

Bu çalışmada Adapazarı ilçe merkezindeki binalarda radon gazı konsantrasyonlarını belirlemek amacıyla okul, fabrika ve konutlara Cr-39 nükleer iz dedektörleri yerleştirilmiştir. Kış dönemindeki bina içi radon konsantrasyonunun tespit edilebilmesi amacıyla konutlara yerleştirilen dedektörler 20.01.2009 – 26.03.2009 tarihleri arasında, okul ve iş yerlerine yerleştirilen dedektörler ise 21.01.2009 – 28.03.2009 tarihleri arasında önceden tespit edilen binalarda bekletilmiştir.

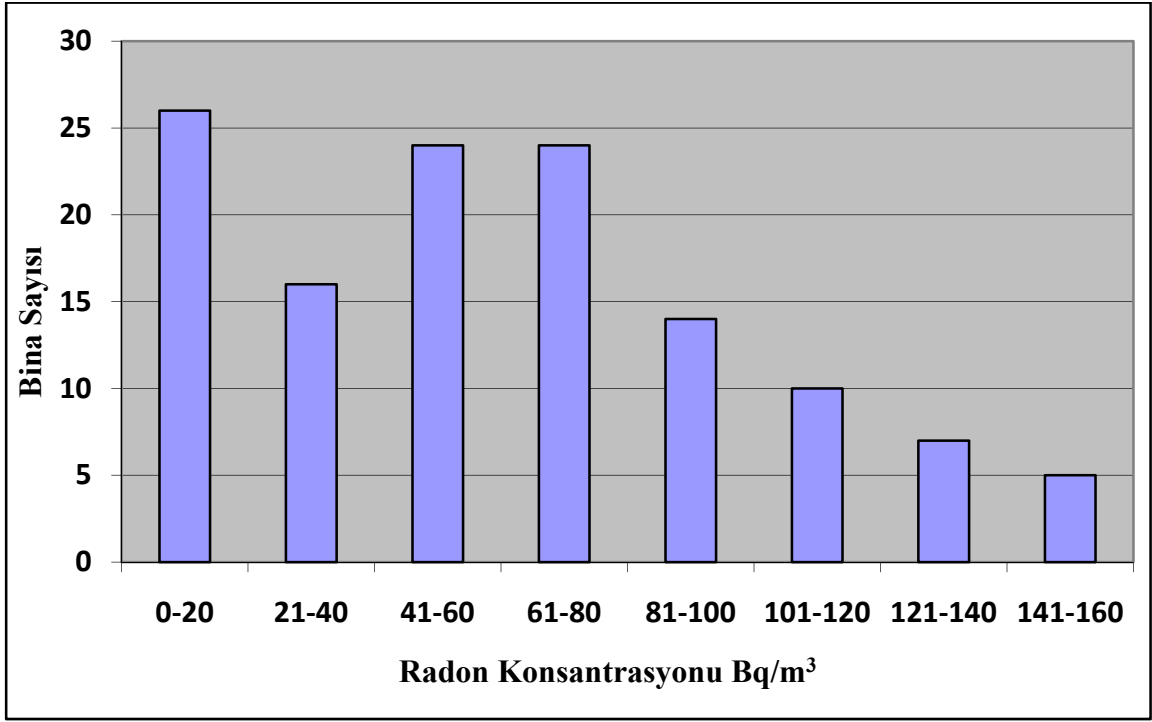
5.1 Radon Konsantrasyon Değerleri

Radon konsantrasyonunun belirlenmesi için yerleştirildikleri binalardan toplanan dedektörlerin okumaları, ayrıntısı Bölüm 4 içinde anlatılan Radon Ölçüm sisteminde yapılmıştır. Elde edilen radon konsantrasyonu sonuçları her bir konut, okul ve işyeri için EK A'da yer alan çizelgelerde (Çizelge A.1, Çizelge A.2, Çizelge A.3) verilmektedir. Adapazarı İlçe Merkezinde araştırma kapsamında ölçüm yapılan tüm binaların (okul, konut ve işyeri) mahalleler bazında belirlenen radon konsantrasyon ortalamaları ve Denklem 3.1'den bulunan çalışma düzeyi (WL) değerleri Çizelge 5.1'de toplu halde verilmektedir. Bölüm 3'de de belirtildiği üzere binalardaki radon konsantrasyonunu etkileyen birçok faktör olduğu için sonuçlar hayli geniş bir aralıkta dağılım göstermektedir. Bu durum dikkate alınarak literatürde olduğu gibi ortalama değerlerle birlikte en düşük ve en yüksek (minimum ve maksimum) değer aralıkları da verilmiştir.

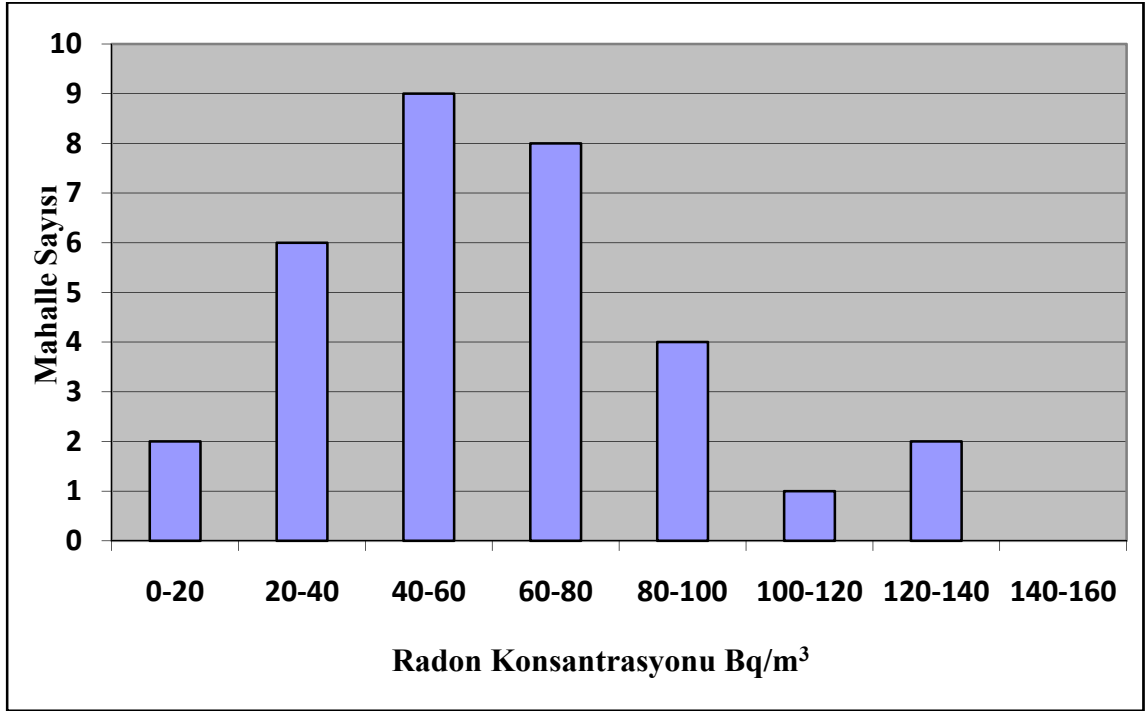
EK A'da yer alan çizelgeler ve Çizelge 5.1'den hareketle araştırma kapsamında ölçüm yapılan tüm binalar (okul, konut ve işyeri) ve mahalleler bazında elde edilen radon konsantrasyonu dağılımları sırasıyla Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'de görülmektedir.

Çizelge 5.1 : Adapazarı İlçe Merkezine bağlı mahallelerin ortalama radon konsantrasyonları ve çalışma düzeyleri

Mahalle Adı	Bina Sayısı	Radon Konsantrasyonu (Bq/m ³)			Çalışma Düzeyi (WL)
		Minimum	Maksimum	Ortalama	
Alandüzü Mahallesi	1	7.30	7.30	7.30	0.79
Camili 1 Mahallesi	6	29.01	153.26	89.14	9.60
Camili 2 Mahallesi	2	22.71	23.71	23.21	2.50
Cumhuriyet Mahallesi	3	9.95	113.27	53.79	5.79
Çökekler Mahallesi	1	38.50	38.50	38.50	4.14
Çukurahmediye Mahallesi	3	60.01	60.01	60.01	6.46
Dağdibi Mahallesi	1	60.02	60.02	60.02	6.46
Evren Mahallesi	1	138.54	138.54	138.54	14.91
Güllük Mahallesi	2	20.43	155.00	87.71	9.44
Güneşler Mahallesi	4	33.88	150.92	102.08	10.99
Hızırtepe Mahallesi	6	40.14	137.02	84.79	9.13
İstiklal Mahallesi	3	13.55	42.74	27.27	2.94
Karakamış Mahallesi	1	64.32	64.32	64.32	6.92
Karaman Mahallesi	5	25.77	114.88	74.05	7.97
Karaosman Mahallesi	3	5.34	68.63	33.65	3.62
Korucuk Mahallesi	5	15.41	90.46	60.58	6.52
Kurtuluş Mahallesi	1	19.47	19.47	19.47	2.10
Maltepe Mahallesi	2	18.00	58.24	38.12	4.10
Mithatpaşa Mahallesi	5	18.95	115.99	67.75	7.29
Orta Mahallesi	5	2.63	89.58	51.98	5.60
OSB	36	5.70	129.94	51.00	5.49
Ozanlar Mahallesi	5	20.00	91.75	52.64	5.67
Pabuççular Mahallesi	2	31.67	77.62	54.64	5.88
Sakarya Mahallesi	2	29.19	64.32	46.75	5.03
Semerciler Mahallesi	5	7.80	102.69	51.20	5.51
Şeker Mahallesi	9	11.98	143.88	52.55	5.66
Tekeler Mahallesi	5	38.60	144.78	86.52	9.31
Tepekum Mahallesi	1	65.93	65.93	65.93	7.10
Van Mahallesi	1	62.70	62.70	62.70	6.75
Yağcılar Mahallesi	5	21.89	87.99	64.19	6.91
Yenicami Mahallesi	1	130.48	130.48	130.48	14.05
Yeniğün Mahallesi	5	10.00	68.63	35.52	3.82



Şekil 5.1 : Adapazarı İlçe Merkezinde ölçüm yapılan binaların radon konsantrasyonları.



Şekil 5.2 : Mahalleler bazında ortalama radon konsantrasyonları

5.1.1 Yerleşim bölgelerine göre radon konsantrasyon dağılımları

Bölüm 4’de belirtildiği üzere araştırma sahası üç ana bölgeden oluşmaktadır. Bunlar; eski Adapazarı diye tabir edilen ilçe merkezi nüfusunun yaklaşık yüzde sekseninin yaşadığı düşünülen bölge, yeni Adapazarı olarak tarif edilen ve ilçe merkezi nüfusunun yaklaşık yüzde yirmisinin yaşadığı kabul edilen yeni Adapazarı yani Camili-Karaman bölgesi ve Adapazarı merkezine bağlı Organize Sanayi Bölgesidir.

Eski Adapazarı bölgesinde yer alan mahalleler için, konutlarda yapılan ölçümlerden hareketle belirlenen ortalama radon konsantrasyonu değerleri Çizelge 5.2’de verilmektedir.

Çizelge 5.2: Eski Adapazarı Bölgesindeki mahallelerin konutlar için radon konsantrasyon değerleri

Mahalle Adı	Konut Sayısı	Radon Konsantrasyonu (Bq/m ³)		
		Minimum	Maksimum	Ortalama
Cumhuriyet	2	38.17	113.27	75.71
Çukurahmediye	2	19.33	98.52	58.92
Güllük	2	155.00	155.00	155
Hızırtepe	1	40.14	137.02	82.45
İstiklal	5	13.55	42.74	27.27
Karaosman	3	5.34	26.99	16.16
Kurtuluş	2	19.48	19.48	19.47
Maltepe	1	18.00	18.00	18.00
Mithatpaşa	1	114.68	115.99	115.33
Orta	2	2.63	55.77	29.96
Ozanlar	2	20.00	69.07	44.53
Pabuççular	2	31.67	77.62	54.64
Semerciler	2	7.80	102.69	51.41
Şeker	4	11.98	143.88	45.54
Tekeler	6	38.60	144.78	94.87
Yağcılar	3	21.89	81.84	58.24
Yenigün	4	16.75	42.27	33.00

Adapazarı bölgesinde yer alan mahalleler için konutlarda yapılan ölçümlerden hareketle belirlenen ortalama radon konsantrasyonu değerleri Çizelge 5.3’de verilmektedir.

Çizelge 5.3: Yeni Adapazarı Bölgesindeki mahallelerin konutlar için radon konsantrasyon değerleri

Mahalle Adı	Konut Sayısı	Radon Konsantrasyonu (Bq/m ³)		
		Minimum	Maksimum	Ortalama
Camili 1 Mahallesi	3	61.84	153.26	108.52
Camili 2 Mahallesi	1	23.71	23.71	23.71
Karaman Mahallesi	2	25.77	103.85	64.80
Korucuk Mahallesi	3	15.41	90.46	57.00

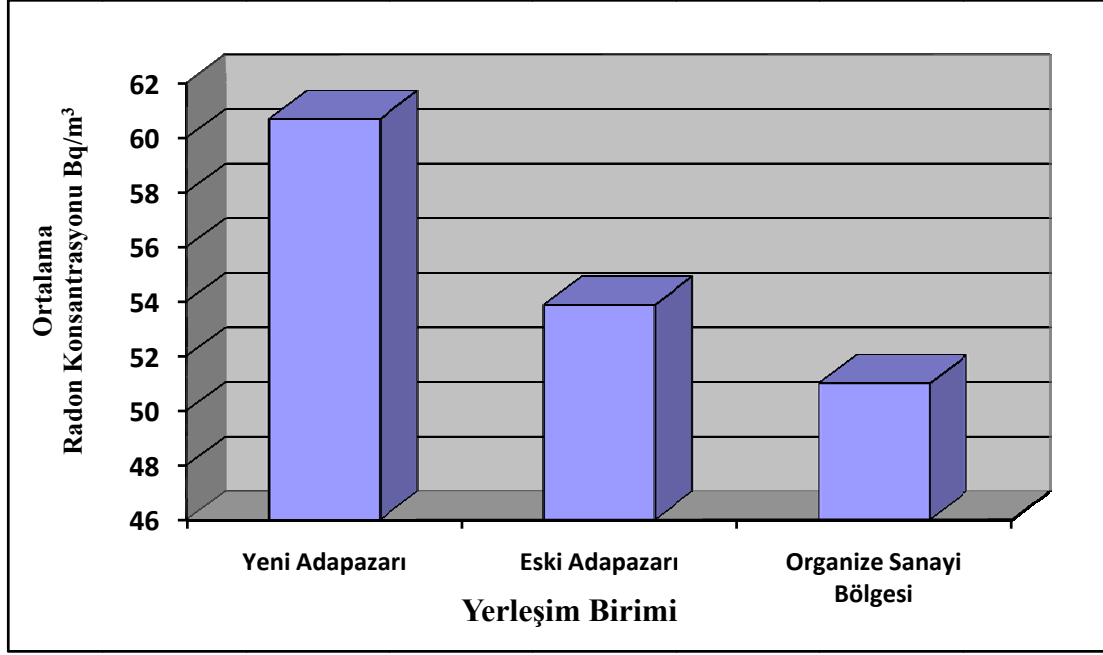
Organize Sanayi Bölgesi’ne ilişkin sonuçlar her bir işyeri için EK A’da (Çizelge A.3) verilmekte olup ortalama radon konsantrasyonu 51,00 Bq/m³ olarak bulunmuştur.

Bu üç yerleşim bölgesinde bulunan binalarda yapılan ölçümlere ilişkin ortalama radon konsantrasyon değerleri toplu olarak Çizelge 5.4’de verilmektedir.

Çizelge 5.4 : Farklı yerleşim bölgeleri için ortalama radon konsantrasyonları.

Yerleşim Bölgesi	Ölçüm Yapılan Bina Sayısı	Ortalama Radon Konsantrasyonu (Bq/m ³)
Yeni Adapazarı	17	60.68
Eski Adapazarı	73	53.87
Organize Sanayi Bölgesi	36	51.00

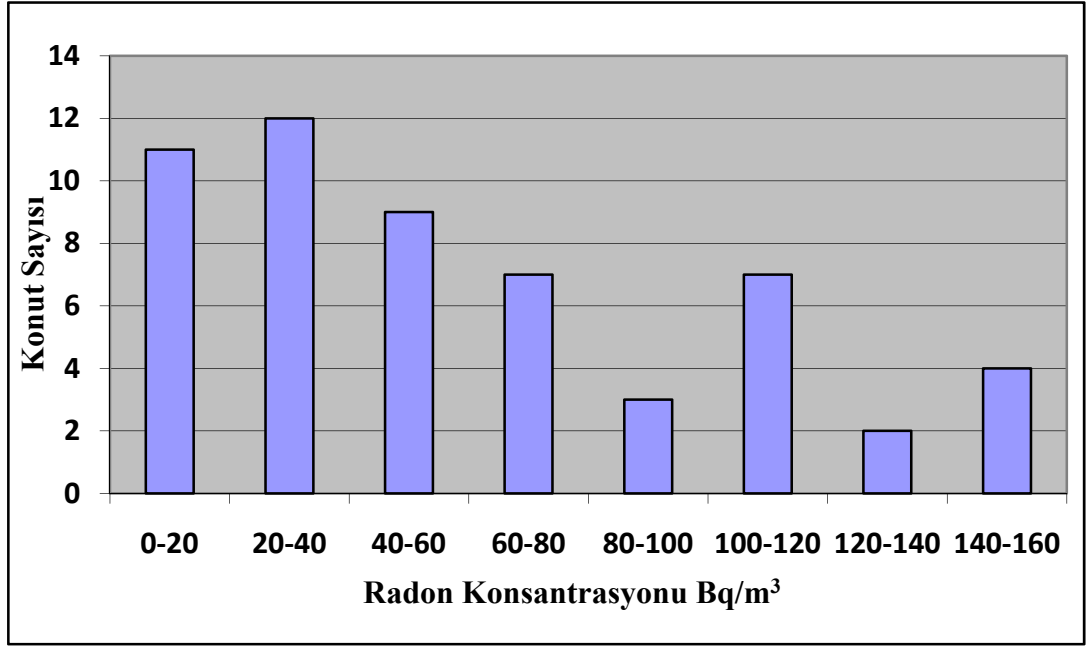
Çizelge 5.2, 5.3 ve EK A’da yer alan çizelgelerden hareketle çizilen ve üç yerleşim bölgesine ilişkin ortalama radon konsantrasyonlarını mukayeseli olarak gösteren grafik Şekil 5.3’de görülmektedir.



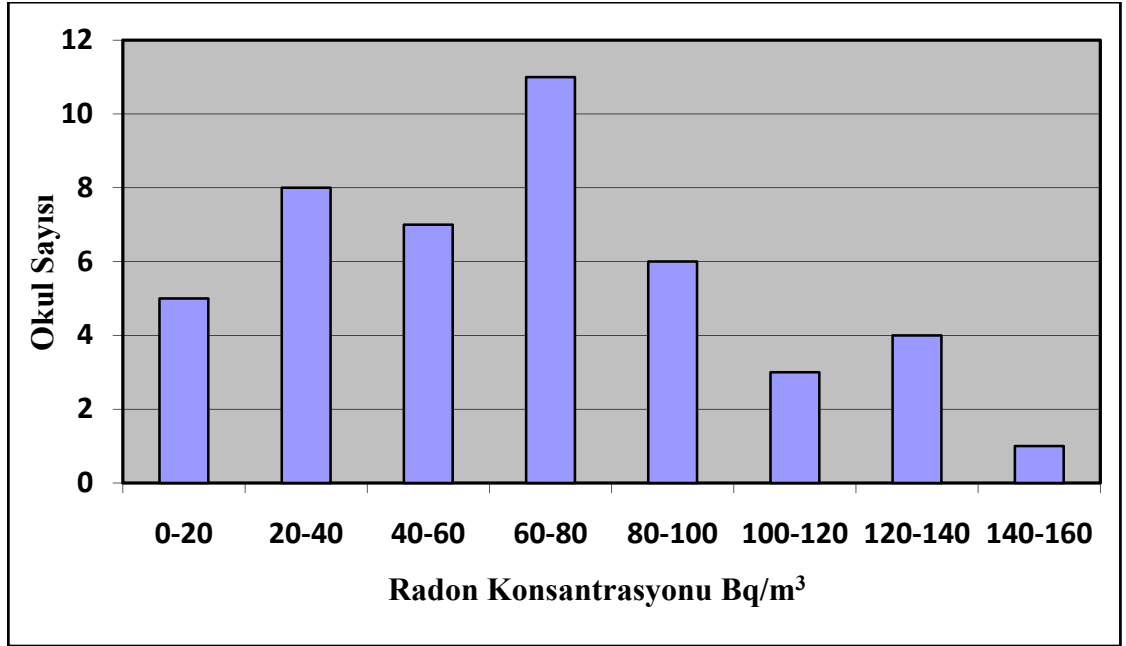
Şekil 5.3 : Farklı yerleşim bölgelerinin ortalama radon konsantrasyonları.

5.1.2 Bina türüne göre radon konsantrasyon dağılımları

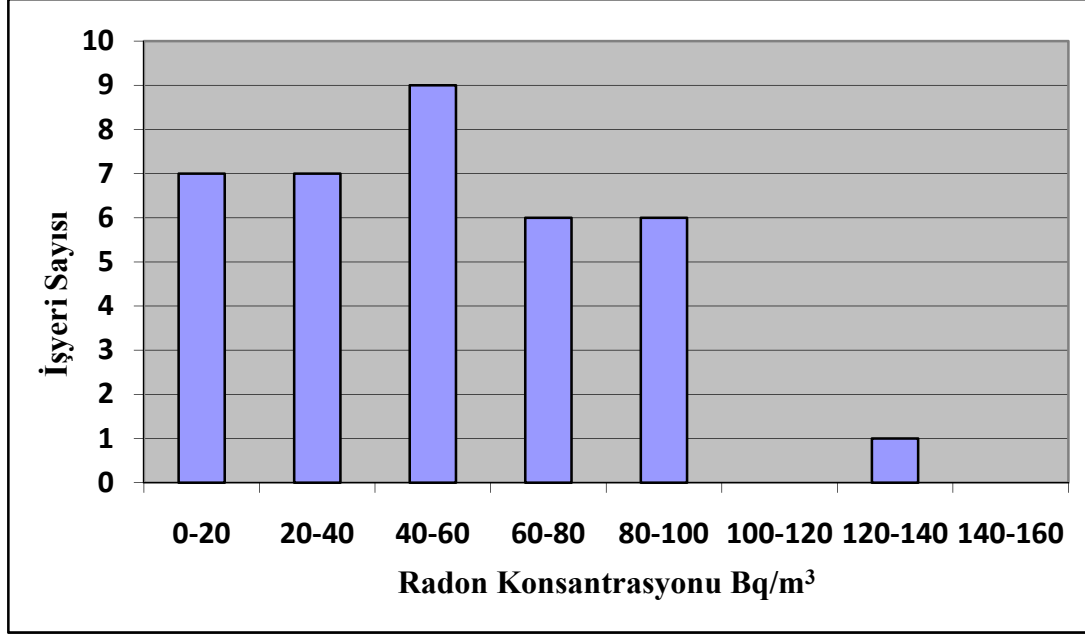
Konut, okul ve işyeri olmak üzere üç farklı bina türüne dedektörlerin yerleştirildiği ifade edilmişti. Her bir konut, okul ve iş yerine ilişkin sonuçlar EK A'daki çizelgelerde verilmektedir. Konut, okul ve işyerleri için radon konsantrasyon dağılımları sırasıyla Şekil 5.4, Şekil 5.5 ve Şekil 5.6 da görülmektedir.



Şekil 5.4 : Adapazarı Merkezine bağlı mahallelerde bulunan konutlarda ölçülen radon konsantrasyonları



Şekil 5.5 : Adapazarı Merkezine bağlı okul binalarında ölçülen radon konsantrasyonu.



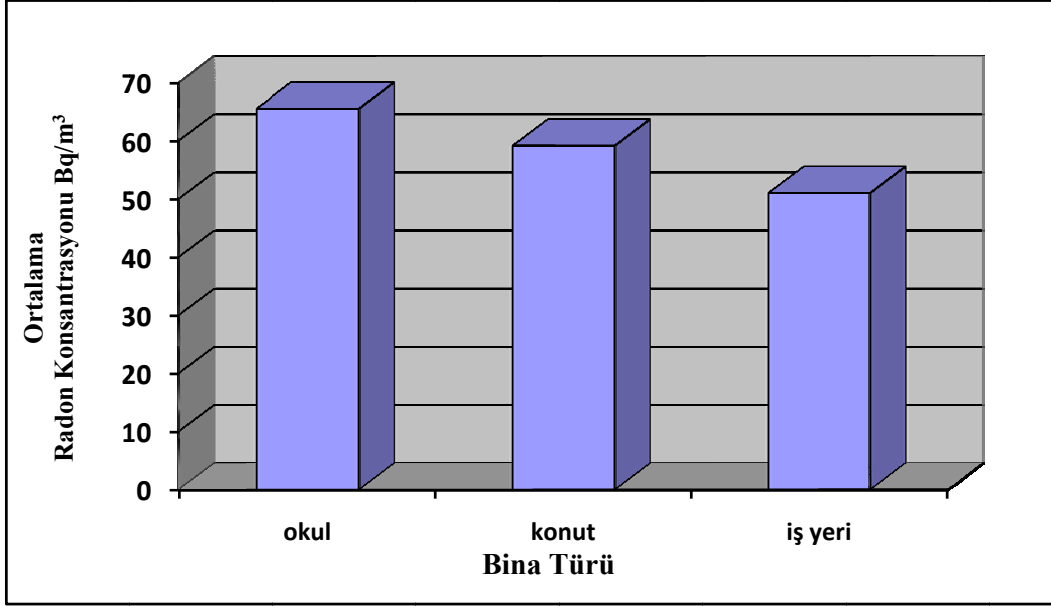
Şekil 5.6 : Adapazarı Merkezine bağlı Organize Sanayi Bölgesindeki işyerlerinde ölçülen radon konsantrasyonları.

Çizelge 5.5’de bina türüne bağlı olarak ortalama radon konsantrasyonları bir arada verilmektedir.

Çizelge 5.5 : Farklı bina türleri için ortalama radon konsantrasyonları.

Bina Türü	Ölçüm Yapılan Bina Sayısı	Ortalama Radon Konsantrasyon (Bq/m ³)
Konut	55	59.14
Okul	45	65.48
İşyeri	36	51.00

Şekil 5.7’de ise üç farklı bina türüne ilişkin grafik gösterim yer almaktadır.

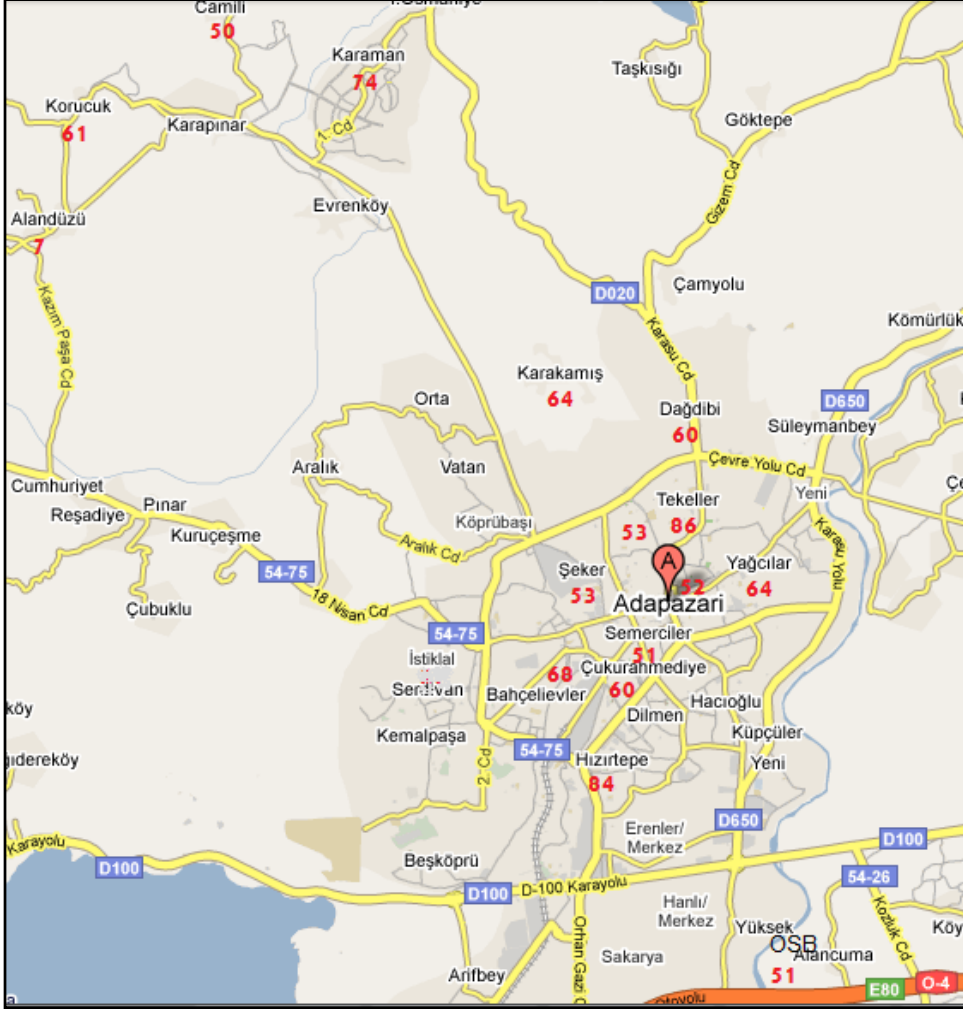


Şekil 5.7 : Farklı bina türleri için ortalama radon konsantrasyonları

Yerleşim bölgelerine göre okul ve konutlardaki ortalama radon konsantrasyonları Çizelge 5.6’da verilmektedir. Adapazarı ilçe merkezinde ölçülen ortalama radon konsantrasyonları harita üzerinde Şekil 5.8’de görülmektedir.

Çizelge 5.6: Farklı yerleşim bölgelerindeki okul ve konutlarda ortalama radon konsantrasyonları

Yerleşim Bölgesi	Konut Radon Konsantrasyon Ortalaması (Bq/m ³)	Okul Radon Konsantrasyon Ortalaması (Bq/m ³)	Konut Sayısı	Okul Sayısı
Eski Adapazarı	57.67	60.10	45	27
Yeni Adapazarı	63.50	67.99	9	8
Adapazarı İlçe Merkezi	58.78	61.90	54	35



Şekil 5.8 : Adapazari ilçe merkezinde ölçülen ortalama radon konsantrasyonları

5.2 Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri

5.2.1 Evler için yıllık etkin doz eşdeğerleri

Araştırma bölgesinde sadece kış mevsimine ilişkin radon konsantrasyonu sonuçları belirlenmiştir. Bir dönemlik ölçümlerden yararlanılarak yıllık etkin biyolojik doz eşdeğerinin yaklaşık olarak bulunması yoluna gidilebilmektedir (Çile, 2004; Örgün ve diğ.; 2008; Qureshi, 2000). Radon ve bozunum ürünlerinin yıllık etkin biyolojik doz eşdeğerini hesaplamak için denge eşdeğer radon konsantrasyonu (Equilibrium Equivalent Concentration, EEC) değerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu değer, Denklem 5.1’de verilen F “denge faktörü” eşitliğinden yararlanılarak hesaplanabilir.

$$F = (\text{EEC}) / (\text{Ortalama Radon Konsantrasyonu}) \quad (5.1)$$

F değeri, UNSCEAR 2000 raporunda, ev içi ışınlanmalar için 0.4 olarak verilmektedir (UNSCEAR, 2000). Denge eşdeğer konsantrasyonu, etkin doza çevirme katsayısı ise; 1Bqsaat/m^3 (EEC) denge eşdeğer radon konsantrasyonunun solunması ile alınan etkin doz 9 nSv olarak belirlenmiştir. Evde zaman geçirme faktörü, zamanın %80'inin ev içinde geçirildiği düşünülerek 0.8 olarak alınmaktadır (UNSCEAR, 2000). Bu durumda yıl içinde evde geçirilen süre 7000 saat olmaktadır.

Ortalama radon konsantrasyon değerleri kullanılarak bölge halkının radon ve radonun bozunum ürünlerinden aldıkları toplam yıllık etkin doz eşdeğerleri (Y:E.D.E) Denklem 5.2'ye göre hesaplanmıştır.

$$Y:E.D.E = (\text{EEC}) \times (\text{Etkin Doza Çevirme Katsayısı}) \times (\text{Binada geçirilen süre}) \quad (5.2)$$

Çizelge 5.7 ve 5.8' de sırasıyla Yeni ve Eski Adapazarı Bölgesindeki mahalleler için hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri verilmektedir.

Çizelge 5.7 : Yeni Adapazarı Bölgesindeki mahalleler için hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri.

Mahalle Adı	Y.E.D.E mSv/yıl			Konut Sayısı
	Minimum	Maksimum	Ortalama	
Camili 1 Mahallesi	1.56	3.85	2.73	3
Camili 2 Mahallesi	0.60	0.60	0.60	1
Karaman Mahallesi	0.66	2.62	1.63	2
Korucuk Mahallesi	0.38	2.27	1.44	3

Çizelge 5.8 : Eski Adapazarı Bölgesindeki mahalleler için hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri.

Mahalle Adı	Y.E.D.E mSv/yıl			Konut Sayısı
	Minimum	Maksimum	Ortalama	
Cumhuriyet Mahallesi	0.96	2.85	1.91	2
Çukurahmediye Mahallesi	0.48	3.90	1.48	2
Güllük Mahallesi	3.90	3.90	3.90	1
Hızırtepe Mahallesi	1.01	3.45	2.08	5
İstiklal Mahallesi	0.35	1.08	0.69	3
Karaosman Mahallesi	0.13	0.68	0.41	2
Kurtuluş Mahallesi	0.48	0.48	0.49	1
Maltepe Mahallesi	0.45	0.45	0.45	1
Mithatpaşa Mahallesi	2.90	2.92	2.91	2
Orta Mahallesi	0.08	1.41	0.75	2
Ozanlar Mahallesi	0.50	1.74	1.12	2
Pabuççular Mahallesi	0.81	1.97	1.38	2
Semerciler Mahallesi	0.20	2.59	1.30	4
Şeker Mahallesi	0.30	3.63	1.15	6
Tekeler Mahallesi	0.98	3.65	2.39	3
Yağcılar Mahallesi	0.55	2.07	1.47	4
Yenigün Mahallesi	0.43	1.06	0.83	3

Adapazarı ilçe merkezinde yaşayan halk için yıllık etkin doz eşdeğerleri ve yaşam süreleri (70 yıl) boyunca radondan aldıkları toplam doz miktarları Çizelge 5.9'da bir arada verilmektedir.

Çizelge 5.9 : Adapazarı ilçe merkezinde yaşayan halkın radondan aldıkları toplam doz miktarı.

Bölge	Ortalama Radon Konsantrasyonu Bq/m³	Y.E.D.E mSv/yıl	Toplam Doz
Yeni Adapazarı	63.50	1.60	112.17
Eski Adapazarı	57.67	1.46	101.87
Adapazarı İlçe Geneli	58.78	1.47	103.21
Dünya ortalaması	40.00	1.30	91.04

5.2.2 Okul ve işyerleri için yıllık etkin doz eşdeğerleri

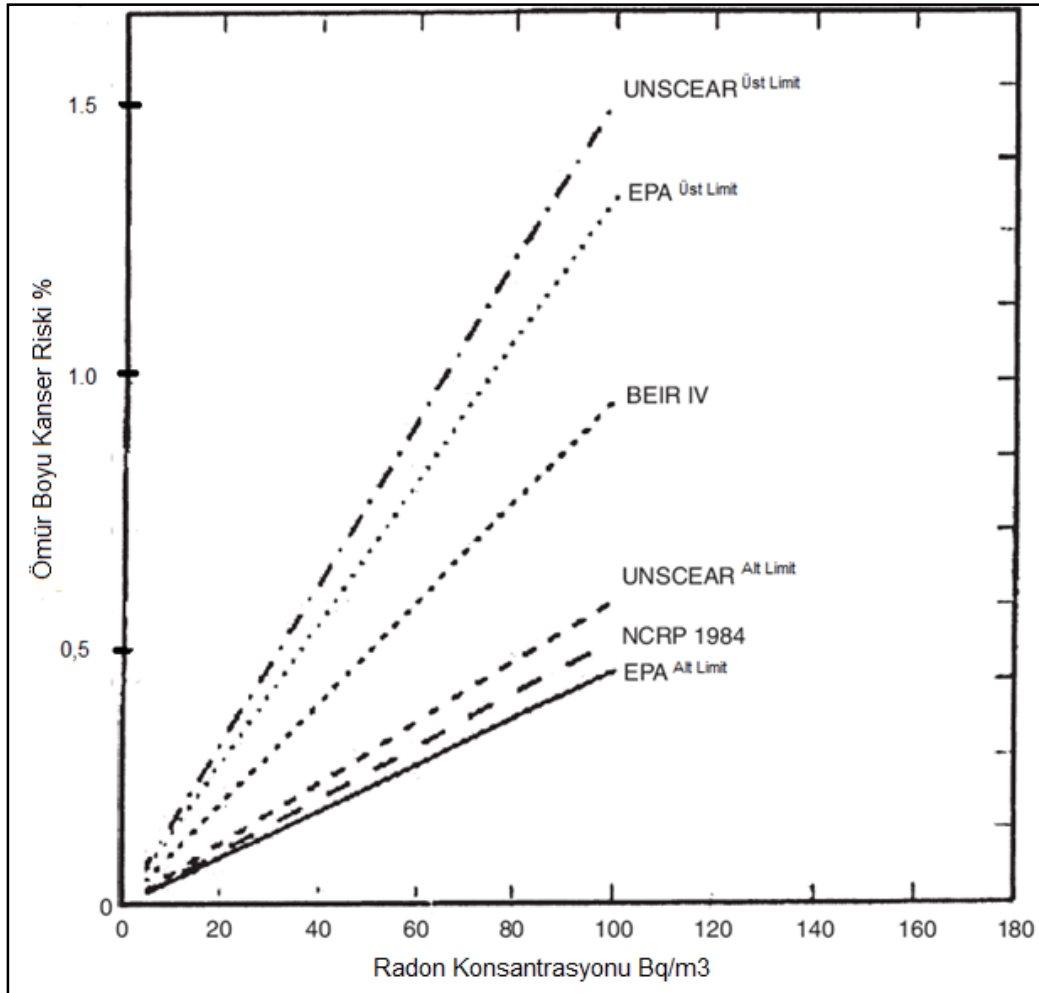
Okul ve işyerleri için yıllık etkin doz eşdeğerleri bu binalarda geçirilecek süre 2000 saat ve denge faktörü 0.4 alınarak Denklem 5.2 ye göre hesaplanmıştır (UNSCEAR, 2000). Çizelge 5.10'de ortalama radon konsantrasyonundan hareketle hesaplanan konut, okul ve işyerleri için yıllık etkin doz eşdeğerleri bir arada verilmektedir.

Çizelge 5.10 : Konut, okul ve işyerleri için hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri.

Bina Türü	Ölçüm Yapılan Bina Sayısı	Ortalama Radon Konsantrasyonu Bq/m³	Y.E.D.E. mSv/yıl
Konut	55	59.14	1.49
Okul	45	65.48	0.47
İşyeri	36	51.00	0.36

5.3 Radon Kaynaklı Kanser Riski

Bireylerin bina içlerinde maruz kaldığı radondan dolayı kanser olma riskine ilişkin çalışmalar, maden işçileri ile ilgili bu konuda yapılan araştırmalardan hareketle tespit edilmeye çalışılmaktadır. Bina içi radondan kaynaklanan kanser riski ile ilgili olarak uluslararası ajansların geliştirdiği farklı modeller bulunmaktadır. Şekil 5.9'da farklı ajansların geliştirdiği modellerden yola çıkılarak elde edilen, radon kaynaklı akciğer kanseri riskinin bina içi radon konsantrasyonuna bağlı olarak değişimi görülmektedir (Matiullah ve diğ., 2003). Şekilden de görülebileceği gibi akciğer kanseri riski için önerilen değerler oldukça geniş bir aralıkta değişim göstermektedir.



Şekil 5.9 : Bina içi radon konsantrasyonlarına bağlı olarak radon kaynaklı ömür boyu (70 yıl için) akciğer kanseri hastalığına yakalanma risk yüzdesi (Matiullah ve diğ., 2003).

Çizelge 5.11: Adapazarı İlçe Merkezine bağlı mahalleler için ömür boyu (70 yıl) radon kaynaklı akciğer kanseri riskleri (%).

Mahalle Adı	Ortalama radon konsantrasyonu (Bq/m ³)	Radon kaynaklı kanser riski (%)			
		EPA	NCRP	UNSCEAR	BEIR
Korucuk Mahallesi	57.00	0.28-0.75	0.25	0.33-8.86	0.55
Camili 2 Mahallesi	23.71	0.12-0.31	0.10	0.14-0.35	0.22
Karaman Mahallesi	64.80	0.32-0.85	0.29	0.38-0.97	0.62
Camili 1 Mahallesi	108.52	0.53-1.44	0.48	0.63-1.63	1.04
Orta Mahallesi	29.96	0.15-0.39	0.13	0.17-0.45	0.28
Karaosman Mahallesi	16.16	0.08-0.21	0.07	0.10-0.24	0.16
Semerciler Mahallesi	51.41	0.25-0.68	0.23	0.30-0.77	0.49
Şeker Mahallesi	45.54	0.22-0.60	0.20	0.26-0.68	0.44
İstiklal Mahallesi	27.27	0.13-0.36	0.12	0.16-0.41	0.26
Yenigün Mahallesi	33.00	0.16-0.44	0.15	0.19-0.49	0.31
Maltepe Mahallesi	18.00	0.09-0.24	0.08	0.11-0.27	0.17
Çukurahmediye Mahallesi	58.92	0.29-0.78	0.26	0.34-0.88	0.56
Kurtuluş Mahallesi	19.47	0.10-0.26	0.09	0.11-0.29	0.19
Ozanlar Mahallesi	44.53	0.22-0.59	0.20	0.26-0.67	0.42
Yağcılar Mahallesi	58.24	0.29-0.77	0.26	0.34-0.87	0.56
Pabuççular Mahallesi	54.64	0.27-0.72	0.24	0.32-0.82	0.52
Cumhuriyet Mahallesi	75.71	0.37-1.00	0.34	0.44-1.13	0.72
Tekeler Mahallesi	94.87	0.47-1.25	0.42	0.55-1.42	0.91
Hızırtepe Mahallesi	82.45	0.41-1.09	0.37	0.48-1.24	0.79
Mithatpaşa Mahallesi	115.33	0.57-1.53	0.51	0.67-1.73	1.11
Güllük Mahallesi	155	0.76-2.05	0.69	0.90-2.32	1.48
Yeni Adapazarı	63.50	0.31-0.84	0.28	0.37-0.95	0.60
Eski Adapazarı	57.67	0.28-0.76	0.25	0.33-0.86	0.55
Adapazarı İlçe Geneli	58.78	0.29-0.77	0.26	0.34-0.88	0.56
Dünya ortalaması	40.00	0.20-0.53	0.17	0.23-0.60	0.38

Adapazarı İlçe Merkezindeki araştırma kapsamında mahalleler bazında belirlenen radon konsantrasyon ortalamalarından hareketle Şekil 5.9'daki modeller yardımıyla radon kaynaklı akciğer kanseri riskleri hesaplanarak Çizelge 5.11'de verilmiştir.

6. SONUÇ VE TARTIŞMA

6.1 Evlerde Ölçülen Radon Konsantrasyonlarının Değerlendirilmesi

İnsan yaşamının büyük bir bölümü kapalı mekânlarda geçmektedir. Bu mekânlardan konutlar en çok vakit geçirilen kapalı mekânlar olması sebebiyle özellikle insan sağlığı açısından özel öneme sahiptir. Yetersiz konut koşullarının sağlık üzerine olumsuz etkileri en az 150 yıldır bilinmektedir. İnsanların doğal radyasyon kaynaklarından aldığı eşdeğer doza en büyük katkıyı radon gazı yapmaktadır. ²²²Rn'nin asıl kaynağı uranyum olduğu için, radon konsantrasyonu yer kabuğu üzerinde bölgeden bölgeye değişiklikler göstermektedir.

Türkiye'de evlerde gerçekleştirilen radon ölçümlerine ait bazı ortalama değerler İstanbul'da 73 Bq/m³, Şanlıurfa'da 73 Bq/m³, Erzurum'da 85 Bq/m³, Çanakkale'de (Kestanbol) 160 Bq/m³, Antalya'da 29 Bq/m³, Adana'da 69 Bq/m³, Afyon'da 72 Bq/m³, Aydın'da 26 Bq/m³, Balıkesir'de 45 Bq/m³, Trabzon'da 89 Bq/m³, Kars'da 106 Bq/m³, Eskişehir'de 66 Bq/m³ dür (TAEK, 2005). Bu güne kadar ÇNAEM tarafından toplam 60 il ve ilçe merkezinde evlerde radon ölçümü yapılmıştır. Mevcut sonuçlara göre evlerde radon konsantrasyonunun Türkiye ortalaması 68±39 Bq/m³ tür. UNSCEAR 1988 raporunda, evlerde radon konsantrasyonunun Dünya ortalaması 40±25 Bq/m³ olarak verilmiştir (UNSCEAR 1988). . Adapazarı ilçe Merkezi evlerindeki radon konsantrasyonunun 3-155 Bq/m³ arasında olduğu tespit edilmiştir. Adapazarı ilçe Merkezi evlerindeki ortalama radon aktivitesi ise 59 Bq/m³ olarak belirlenmiştir. Bu değer Dünya ortalamasının üstünde, Türkiye ortalamasının altında olan bir değerdir.

Evler için radon konsantrasyon limit değerleri olarak, ICRP ve Avrupa Birliği tarafından 400 Bq/m³, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından 100 Bq/m³ değeri üst sınır değer olarak benimsenmiştir. Türkiye'de ise bu değer Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği'nde 400 Bq/m³ olarak belirlenmiştir (TAEK, 2000). Bu durumda Adapazarı İlçe Merkezi evlerinde ölçülen ortalama radon konsantrasyonu

TAEK ve WHO tarafından müsaade edilen değerleri aşmamıştır. Ancak 55 ev teker teker değerlendirildiğinde bunlardan 13'ünde (%23.63) radon konsantrasyonu WHO'nun belirlediği sınır değer olan 100 Bq/m³'ten yüksek çıkmıştır.

Adapazarı ilçe Merkezi evlerindeki radon konsantrasyonları düşük (0-49 Bq/m³), orta (50-100 Bq/m³) ve yüksek (100> Bq/m³) olmak üzere üç kategoride incelendiğinde düşük 31 ev (%56.4), orta 11 ev (%20) ve yüksek 13 ev (%23.6) olarak bulunmuştur. Burada en büyük grubu düşük konsantrasyon düzeyi oluşturmuştur. Evlerle ilgili daha ayrıntılı bilgi edinmek için 10 sorudan oluşan bir bilgi formu düzenlenmiştir (Şekil A.1). Bu formlardan elde edilen veriler değerlendirilerek radon konsantrasyonunda etkili olan faktörler belirlenmeye çalışılmıştır. Bilgi formlarına göre yapılan değerlendirmelere göre göze çarpan en etkili faktörlerin sırasıyla evlerin havalandırılma sıklıkları, evin binanın kaçınca katında bulunduğu, ev içinde sigara içilme sıklığı, binanın tipi (ahşap, tuğla betonarme), binanın şekli (bodrumlu, bodumsuz) ve evin pencere sisteminin olduğu tespit edilmiştir.

Buna göre Adapazarı İlçe Merkezi evlerindeki ortalama radon konsantrasyon değerlerine göre alınan yıllık ve yaşam boyu dozlar hesaplanmış ve ortalama 70 yıl yaşayan bir insanın yaşam boyu kanser olma riski de hesaplanmıştır. Buna göre İlçe geneli için ortalama yıllık doz miktarı 1.47 mSv, yaşam boyu (70 yıl için) alınan doz 90.30 mSv ve ömür boyu (70 yıl için) kanser olma riski % 0.288-% 0.876 aralığında hesaplanmıştır. Bu değere göre, nüfusu 158.474 olan merkezde bir yılda tahmini olarak en az 7 kişi en fazla 20 kişinin radona bağlı olarak akciğer kanseri hastalığına yakalanma riski olduğu anlamına gelmektedir.

Elde edilen sonuçlara göre ilçe geneline ait ortalama (1.47 mSv) göz önüne alındığında ICRP'nin evler için önerdiği yıllık etkin doz değeri olan 3 mSv'lik sınır değeri aşılmamıştır. Ancak Araştırma dönemi için havalandırmanın az olduğu kış mevsiminin seçilmesinin, ortalama radon konsantrasyonu miktarının diğer mevsimlere göre daha yüksek değerde çıkmasına yol açtığı düşünülmektedir. Hesaplanan doz değerleri ve kanser olma yüzdesinin diğer mevsimler için daha düşük düzeyde olması beklenmektedir.

6.2 Okullarda Ölçülen Radon Konsantrasyonlarının Değerlendirilmesi

Bu çalışmada, Adapazarı ilçe Merkezine bağlı okullardaki ortalama radon konsantrasyonlarının aritmetik ortalaması 65.48 Bq/m^3 olarak elde edilmiştir. Okulları işyeri kapsamında değerlendirdiğimizde, Adapazarı İlçe Merkezi için Türkiye’de işyerleri için maksimum müsaade edilen radon konsantrasyon seviyesi olan 1000 Bq/m^3 lük seviyenin çok altında bir ortalama tespit edilmiştir. Bütün okullarda ölçülen radon konsantrasyon değerleri bu limitin altında bulunmaktadır. Adapazarı ilçe Merkezi okullarındaki radon konsantrasyonları düşük ($0-49 \text{ Bq/m}^3$), orta ($50-100 \text{ Bq/m}^3$) ve yüksek ($100 > \text{Bq/m}^3$) olmak üzere üç kategoride incelendiğinde düşük 15 okul (%33.3), orta 8 okul (%17.7) ve yüksek 13 okul (%28.8) olarak bulunmuştur.

Aynı bölgelerde bulunan okullarda ölçülen radon konsantrasyon ortalamaları ile evlerde ölçülen radon konsantrasyon ortalamaları birbirine hayli yakın olmakla birlikte; okul ortalama değerlerinin bir miktar daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Okullardaki ortalama radon konsantrasyonlarının konutlardaki radon konsantrasyonlarından Eski Adapazarı bölgesinde % 4.2, Yeni Adapazarı bölgesinde % 7, Adapazarı İlçe Merkezi genelinde % 5.3 daha fazla olduğu görülmüştür. Evlerde sigara içilip okullarda içilmemesine rağmen ortalama radon konsantrasyonunun okullarda daha yüksek çıkmasının nedeni olarak, okulların hafta sonları tatil olmasından dolayı evlere nazaran daha az havalandırılmalarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Adapazarı İlçe Merkezinde konutlarda ölçülen radon konsantrasyonu ile okullarda ölçülen radon konsantrasyonlarının bölgelere göre paralel değerler gösterdiği görülmüş, bu da o bölgeye ait yorumların netleşmesini sağlamıştır.

6.3 İşyerlerinde Ölçülen Radon Konsantrasyonlarının Değerlendirilmesi

Bu çalışmada Adapazarı ilçe Merkezi işyerlerindeki radon konsantrasyonlarının aritmetik ortalaması 51.00 Bq/m^3 ’tür. Adapazarı İlçe Merkezi ne bağlı bulunan

fabrika ve işyerlerinde, Türkiye’de işyerleri için limit radon konsantrasyon seviyesi olan 1000 Bq/m³ lük seviyenin çok altında bir ortalama tespit edilmiştir. Bütün işyerlerinde ölçülen radon konsantrasyon değerleri bu limitin altında bulunmaktadır. Organize Sanayi Bölgesinde bulunan fabrika ve işyerlerinin radon konsantrasyonları düşük (0-49 Bq/m³), orta (50-100 Bq/m³) ve yüksek (100> Bq/m³) olmak üzere üç kategoride incelendiğinde düşük 17 işyeri (%47.2), orta 18 işyeri (%50) ve yüksek 1 işyeri (%2.7) olarak bulunmuştur.

Adapazarı İlçe Merkezi’ne bağlı işyerleri için ortalama radon konsantrasyonlarının, ev ve okul ortalama radon konsantrasyonlarının altında bir değer çıkmasının başlıca nedeni, fabrika üretim tesislerinin genellikle kapı ve pencerelerinin uzun süreli açık tutulduğu geniş ortamlar olması ve bu fabrikaların bir kısmının ise çok iyi havalandırma sistemlerine sahip olmasıdır.

6.4 Bölge Genelinde Ölçülen Radon Konsantrasyonlarının Değerlendirmesi

Bölge genel olarak incelendiğinde Eski Adapazarı bölgesinin dış mahallelerinde daha yüksek değerler görülmüş, Yeni Adapazarı bölgesinin Eski Adapazarı Bölgesine göre daha yüksek değerlerde olduğu anlaşılmıştır. Bunların sebebi olarak Eski Adapazarı Bölgesinin orta kısımlarının bir ova üzerine kurulmuş olması bu nedenle bina zeminlerinin altında çok az ve derinlerde kayaç yapılarının bulunmasıdır. Özellikle Yeni Adapazarı olarak tabir edilen Camili, Karaman, Evren ve Güneşler bölgeleri sert zemin olduğundan dolayı 1999 depremi sonrasında yeni yerleşim birimi olarak seçilmiştir. Bu nedenle söz konusu bu bölgelerde kayaç yoğunluğunun fazlalığına bağlı olarak daha yüksek değerler tespit edilmiştir. Bununla birlikte Eski Adapazarı bölgesinin dış tarafında bulunan Hızırtepe semtinin zemini de coğrafi olarak bir tepe üzerinde bulunduğundan dolayı sert kayaç yapıdan oluşmaktadır. Bu da değerlerin bu bölgede daha yüksek okunmasını açıklamaktadır. Tekeler mahallesinin zemininin kayaç yapıda olduğu öğrenilmiş ve diğerlerine göre daha yüksek okunan değer buna bağlanmıştır.

Güllük mahallesine konulan iki dedektörden birisi müstakil, bodrumu olmayan, sürekli içerisinde sigara içilen ve içerisinde hasta bulunduğundan dolayı neredeyse hiç havalandırılmayan bir eve konulmuş ve bu evde radon konsantrasyonu bölge

genelinin en yüksek değeri olarak tespit edilmiştir. Bu da iki dedektörle ölçülen mahalle ortalamasını üst seviyelere çekmiştir. Söz konusu evde yaşayanların yılda ortalama 3.91 mSv radon kaynaklı radyasyon dozuna maruz kalacağı hesaplanmıştır. Bu değerin ICRP'nin konutlar için önerdiği eylem seviyesi olan yıllık 3 mSv doz limitini aştığı belirlenmiştir. Bölgede ölçüm yapılan binalar arasında bu eylem seviyesinin aşıldığı başka bir bina tespit edilmemiştir.

Bilgi formlarına bakıldığında radon konsantrasyonlarının yüksek olarak belirlendiği binaların başlıca ortak özellikleri olarak bu binaların yeteri kadar havalandırılmadığı, bina içinde sigara kullanımının fazla olduğu ve bu binalarda dedektörlerin zemin katlara yerleştirildiği gözlenmiştir. Yapılan bu çalışmanın sonucu (59 Bq/m^3) daha öce 2000 yılında Sakarya ili genelinde yapılan radon konsantrasyonu çalışmasının sonucuna (57 Bq/m^3) hayli yakın bir değer olarak bulunmuştur (TAEK, 2005). Bu da bize radon konsantrasyon ortalamasını değiştirecek harici fiziksel bir sebebin oluşmadığı fikrini vermektedir.

Yapılan bu tez çalışması ile Adapazarı ilçe Merkezi'ndeki binalarda (konut, okul ve işyeri) radon konsantrasyon seviyeleri belirlenmiştir. Her ne kadar Adapazarı ilçe Merkezi ve Mahalle ortalamaları bazında sonuçlar WHO ve diğer uluslararası kuruluşların belirlediği limit değerlerin altında çıkmış ise de, ölçüm ve analiz sonuçları tek tek değerlendirildiğinde bu limit değerlerin az da olsa aşıldığı görölmüştür. 22 binada (%16.1) radon konsantrasyonunun 100 Bq/m^3 lük eşik değerin üstünde çıkmaması düşündürücüdür. Radon konsantrasyonu yüksek çıkan binalarda binaların düzenli havalandırılması konusunda eğitim çalışmaları yapılmalıdır. Ülkemizde binalardaki ortalama radon konsantrasyonlarının yeterince bilinmemesi, insan sağlığının korunması açısından radyolojik risk tahminini güçleştirmektedir. Bu nedenle tüm illerde benzer çalışmaların yapılması ve doğal fon radyasyonlarının belirlenmesi insan sağlığı açısından büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- Andrasi, A., Belezny, E.,** 1979: Natural Potassium Content and Internal Radiation Burden from Potassium-40. Health Physics. 37:591-592.
- Asada, T.,** 1982: Earthquake Prediction Techniques: Their Application in Japan. Japan University of Tokyo Press.
- Asikainen, M and Kahlos, H.,** 1980: International Radiation Doses from Radioactivity of Drinking Water in Finland. Health Physics, Vol. 39,
- Ataksor, B.,** 2002. Toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite tayini ile havza yüzey suları kirliliğine ilişkin yeni bir inceleme ve reseptör model ile karşılaştırmalı değerlendirmesi, Doktora Tezi, İ.T.Ü., Nükleer Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- Audouze, J. and Vauclair, S.,** 1978: "An Introduction to Nuclear Astrophysics", D.Reidel Publishing Company.
- Ayotte, P.,** 1998: Indoor Exposure to 222Rn: A Public Health Perspective, Health Physics, 75, 297-302,.
- Bolt, Bruce A.,** 1988: Earthquakes. New York: W.H.FreeMan and Company.
- Cember, H.,** 1996. Introduction to Health Physics, Third edition, McGraw Hill.
- Cothorn, R. C. and Lappenbusch, W. L.,** 1983, Occurance of Uranium in Drinking Water in the U.S., Health Physics, 45(1), 89-99.
- Çelebi, N.,** 1995: Çevresel Örneklerde Uranyum, Radyum ve Radon Ölçüm Tekniklerinin Geliştirilmesi, Doktora Tezi
- Çelebi, N., Taşdelen, M., Kopuz, G., Uluç, A.,** 2000: Antalya Evlerinde Radon Konsantrasyon Ölçümleri, - GAP-Çevre Kongresi, Vol.2,1053-1058,2000.
- Çile, S.,** 2004, Soma ve Tavşanlı yer altı linyit maden ocaklarında radon gazı konsantrasyon seviyelerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- Durrani, S.A. ve Iliç, R.,** 1997. Radon measurements by etched track detectors : applications in radiation protection, earth sciences, and the environment, World Scientific, Singapore.
- Eisenbud, M.,** 1987. Environmental radioactivity : from natural, industrial, and military sources, Academic Press, San Diego
- EPA,** 1987, United States Environmental Protection Agency, Radon Reference, Manual.

- EPA**, 1992: A Citizen's Guide to Radon, EPA Document 402-K92-001,
- Evans, R.D.**, 1969: Engineers' Guide to the Elementary Behavior of Radon Daughters. Health Physics.17
- Fişne, A.**, 2002. Yeraltı madenlerinde radon gazı konsantrasyon seviyelerinin belirlenmesi ve işçi sağlığı üzerine etkilerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Garcia-Leon, M. ve Madurga, G. (Editor)**, 1988, Low-Level Measurements and Their Application to Environmental Radioactivity: Proceedings, World Scientific Pub. Co.
- Gesell, T. F., Prichard, H. M.**, 1980: The Contribution of Radon in Tap Waters to Indoor Radon Concentrations. Natural Radiation Environmental III, CONF-780422
- Ginzburg, V. L. and Syrovatski, S.I.**, 1964: The Origin of Cosmic-Rays, Pergaman Press
- Ginzburg, V. L.**, 1987: "Astrophysical Aspects of Cosmic Ray Conference, Moscow USSR (August 2-15)
- Gollnick, D. A.**, 1988. Basic radiation protection technology, Pacific Radiation.
- Güler, Ç.**, 2000: Radon Kirliliği
- Halliday D. and Resnick R.**, 1974: Fundamentals of Physics, John Wiley&Sons,Inc.USA,
- Harley, N. H., Harley, J. H.**, 1990: Potential Lung Cancer Risk From Indoor Radon Exposure. Ca, A Cancer Journal for Clinician. 40. 5, Sept/Oct.,
- IAEA**, 1996: International Atomic Energy Agency, Radiation Safety, IAEA Division of Public Information, 96-00725.
- Iakovleva, V.S., Ryzhakova, N.K.**, 2003: Spatial and Temporal Variations of Radon Concentrationin Soil Air, Radio. Measur.
- ICRP**, 1977: Publicaltion 26, International Commission on Radiological Protection, Recommendations of the International Commission on Radiological Protection.
- ICRP 65**, 1993. Protection against ²²²Rn at home and at work, International Commission on Radiological Protection (ICRP), Annals of ICRP, Publication No. 65, Oxford: Pergamon Press
- Igarash I.G.,Saek,N., Takahata, K.**, 1995: Ground-Water Radon Anomaly Before the Kobe Earthquake in Japan. Science, 269.
- Kam E.**, 2004: Tekirdağ'ın Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Tayini Yüksek Lisans Tezi;
- Karahan, G.**, 1997 İstanbul'un Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Tayini Doktora Tezi;
- Koksal M.E., Çelebi N., Özçınar. B.**, 1993: Indoor Rn-222 Concentrations in Istanbul Houses, Health Phys.

- Kumbur H., ZEREN O., Koksak M., ÖZÇINAR B.**, 1997: İçel'de evlerde radon düzeylerinin araştırılması TAEK.
- Matiullah, A. Ahad, Rehman, S., Mirza, M.L.**, 2003: Indoor Radon Levels and Lung Cancer Risk Estimates in Seven Cities of the Bahawalpur Division, Pakistan, Radiation Protection Dosimetry Vol. 107 N0:4 pp. 269-276.
- Murray, R. L.**, 2001, Nuclear Energy, Fifth edition, Butterworth-Heinemann.
- NCRP 97**, 1988. National Council on Radiation Protection and Measurements; Measurements of Radon and Radon Daughters in Air, NCRP Report No. 97.
- Özmen, B.**, 1995: Depremlerin Önceden Bilinmesinde Kullanılan Yöntemler, Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Seminer Dersi (JEO 500)
- Press, F.**, 1975: Earthquake Prediction. Scientific American.
- Qureshi, A.A., Kakar, D.M., Akram, M., Khattak, N.U., Tufail, M., Mehmood, K., Jamil, K. ve Khan, H.A.**, 2000. Radon concentrations in coal mines of Baluchistan, Pakistan, Journal Of Environmental Radioactivity, 48, 203-209.
- Radosys**, 2000. User's Manual.
- Renken K.J.**, 1995: Rosenberg T. Laboratory Measurements of The Transport of Radon Gas Through Concrete Samples, Health Phys. Jun.
- Shapiro, J.**, 1990. Radiation protection: a guide for scientists and physicians, Cambridge, Mass. : Harvard University.
- Simpson, J. A.**, 1983: Introduction to Galactic Cosmic Radiation" from composition and Origin of Cosmic Rays, D. Reidel Publishing Company.
- Smith B.W.**, W.N Higgins J.F.b and Terrill J.G., 1961; Natural Radioactivity in ground .
- Stoulos, S., Manolopoulou, M. and C., Papastefanou**, 2003: Assessment of natural radiation exposure and radon exhalation from building materials in Greece, Journal of Environmental Radioactivity, Volume 69, Issue 3.
- TAEK**, 2000: Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği, 24.03.2000, Sayı: 23999, Madde 37.
- Taşkın H.**, 2006: Yüksek Lisans Tezi; İnsan Sağlığı ve Çevre Kirliliği Açısından Kırklareli İlinin Fon Radyasyonunun Belirlenmesi ve Haritalandırılması
- Thomas, D.C., Mcneill, K.G., Dougherty, C.**, 1985: Estimates of Life-time Lung Cancer Risks Resulting from Rn Progeny Exposure. Health Physics,
- Turner, J. E.**, 1995. Atoms, radiation, and radiation protection, New York: J. Wiley.

- UNSCEAR**, 1977: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation : Sources, Effects, and Risks of Ionizing Radiation. United Nations sales publication No.E.77.IX.1. New York.
- UNSCEAR**, 1982: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation Report to the General Assembly.
- UNSCEAR**, 1982:United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation Levels and Effects of Ionizing Radialion, New York, UN, UNSCEAR Report.
- UNSCEAR**, 1988: United Nations Scientific Committe on the Effects of Atomic Radiation; Sources,Effects, and Risks of Ionizing Radiation United Nations sales publication No:E.88.IX.7.New York.
- UNSCEAR**, 1993: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Sources, Effects, and Risks of Ionizing Radiation. United Nations sales publication No.E. 94.IX.2. New York
- UNSCEAR**, 2000 Sources,Effects of Ionizing Radiation. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation Report to the General Assembly, with scientific annexes. United Nations, New York.
- URL.1.** □http://www.taek.gov.tr/bilgi/bilgi_maddeler/dogalrad.html> 11.04.2009
- URL.2.** □http://www.rcs.k12.va.us/chemistrynhs/advanced/01_adv_atomic/advanced_atomic.htm> 11.04.2009
- URL.3.** □http://www.uic.edu/sph/glakes/radon_course/final/ppts/revised/device_characteristics/index.htm > 12.04. 2009
- URL.4.** □<http://www.turkeyarena.com/turkeyarena/cografya/13123-sakarya-il-haritasi.html>> 19.04. 2009
- URL.5.** □www.sakaryarehberim.com/pictures/ebulten/resim1017.jpg> 19.04. 2009
- URL.6.** □<http://www.microsoft.com/uk/mappoint/>> 19.04. 2009
- URL.7.** □http://www.mta.gov.tr/mta_web/dirifay.asp> 19.04. 2009
- Valkovic, V.**, 2000, Radioactivity in the Environment, New York, Elsevier Science.
- Webber, W.R.**, 1983: Cosmic Ray Electrons and Pozitrons" from Composition and Origin of Cosmic Rays, D.Reidel Publishing Company.
- Wilkins, B. T.**, 1980: The Assasement of Radon and its Daughters in North Sea Gas used in the United Kingdom. Radiation Protection.

EKLER

EK A.1 : Bilgi Formu ve Ölçüm Sonuçları

EK A.1

BİNALARDA RADON ARAŞTIRMASI BİLGİ FORMU				
Araştırma yapılan dedektör no:.....				
Görüşmenin yapıldığı tarih :.....				
Görüşme yapılan kişinin adı soyadı:.....				
Görüşme yapılan kişinin adresi, tel no:.....				
Radon dedektörünün eve konuş tarihi:.....Alınış tarihi:.....				
Lütfen bina ve binanın yapısı hakkında uygun olanlarını işaretleyerek yanıtlayınız.				
1. Binanın tipi:				
<input type="checkbox"/> 1.Apartman bodrumlu <input type="checkbox"/> 2.Apartman bodrumsuz <input type="checkbox"/> 3.Müstakil bodrumlu <input type="checkbox"/> 4. Müstakil bodrumsuz				
2. Binanın yapıldığı yıl:				
<input type="checkbox"/> 1.1900'dan önce <input type="checkbox"/> 2.1900-1945 <input type="checkbox"/> 3.1950- 1969 <input type="checkbox"/> 4. 1970-1979 <input type="checkbox"/> 5.1980-1989 <input type="checkbox"/> 6. 1990-2000 <input type="checkbox"/> 7. 2000'den sonra				
3.Binanın duvar, tavan ve tabanının yapı malzemesi:				
Taban : <input type="checkbox"/> 1.Toprak <input type="checkbox"/> 2. Beton <input type="checkbox"/> 3. Ahşap				
Tavan : <input type="checkbox"/> 1 Beton <input type="checkbox"/> 2. Ahşap <input type="checkbox"/> 3. Diğer				
Duvarlar : <input type="checkbox"/> 1. Beton <input type="checkbox"/> 2. Tuğla <input type="checkbox"/> 3. Ahşap <input type="checkbox"/> 4. Taş <input type="checkbox"/> 5.Diğer.....				
4. Pencere durumları:				
<input type="checkbox"/> 1. Pencere tek camlı ısı yalıtımı iyi <input type="checkbox"/> 2. Pencere tek camlı ısı yalıtımı zayıf <input type="checkbox"/> 3. Pencere çift camlı ısı yalıtımı iyi <input type="checkbox"/> 4. Pencere çift camlı ısı yalıtımı zayıf				
5.Havalandırma sistemi: <input type="checkbox"/> 1.Doğal havalandırma <input type="checkbox"/> 2.Cihaz ile havalandırma				
6. Havalandırma durumu: <input type="checkbox"/> 1.İyi havalanıyor <input type="checkbox"/> 2.Az havalanıyor <input type="checkbox"/> 3. Hiç havalanmıyor				
7. Kışın ısıtma sistemi: <input type="checkbox"/> 1. Kalorifer <input type="checkbox"/> 2.Kömür sobası <input type="checkbox"/> 3.Doğal gaz <input type="checkbox"/> 4.Diğer.....				
8..Aşağıdaki boşlukları doldurunuz.				
a. Binanın kullanım alanım ² b. Oda sayısı adet. c. Oturma salonunun alanı.....m ²				
9.Kaç yıldır bu binada yaşıyorsunuz?				
<input type="checkbox"/> 1.10 yıldan az <input type="checkbox"/> 2. 10-20 yıl <input type="checkbox"/> 3. 20-30 yıl <input type="checkbox"/> 4. 30-40 yıl <input type="checkbox"/> 5. 40-50 yıl <input type="checkbox"/> 6. 50 yıldan fazla				
10.Binada yaşayanların yaş, cinsiyet, meslek ve sigara içme alışkanlıkları:				
Yaş	Cinsiyet	Meslek	Sigara içme alışkanlığı	
			var (+)	yok(-)
11. Bu binada yaşayanlardan hiç akciğer kanseri olan veya bu hastalıktan ölen oldu mu? Eğer ölen veya hasta olan varsa yaşı, cinsiyeti ve yılını belirtiniz.				

Şekil A.1 Binalarda radon araştırması bilgi formu

Çizelge A.1: Konutlarda ölçülen ortalama radon konsantrasyonları (Bq.m⁻³).

Dedektör No	Dedektör Bırakılma Tarihi	Dedektör Toplama Tarihi	Adres	Ortalama Radon Konsantrasyonu
I37735	01.20.09	03.26.09	Demirkapı Sok. No:6 Orta Mah.	2.63
I37599	01.20.09	03.26.09	Bezirci Sok. No:13 Karaosman Mah.	5.34
I37862	01.20.09	03.27.09	Yuvam Sok. No:6 Semerciler Mah.	7.80
I37879	01.20.09	03.26.09	Kaya Sok. 24/2 Şeker Mah.	11.98
I37535	01.22.09	03.28.09	Tüten Sok No:15 İstiklal Mah.	13.55
I37604	01.21.09	03.28.09	1691 Ada Blok M5/8 Korucuk Mah.	15.41
I37885	01.20.09	03.27.09	Şehit Ekrem Bayramoğlu Sok. No:95 Şeker Mah.	15.50
I37911	01.16.09	03.26.09	Başlar Sok. No:2 Yenigün Mah.	16.75
I37624	01.20.09	03.26.09	1 Nolu Sok. No:5 Maltepe Mah.	18.00
I36619	01.20.09	03.26.09	Düz Sok. No:8 Çukurahmediye Mah.	19.33
I37615	01.21.09	03.26.09	Güneşli Sok. No:71/8 Kurtuluş Mah.	19.48
I37833	01.21.09	03.26.09	Hoş Sok. No:29 Ozanlar Mah.	20.00
I37906	01.21.09	03.27.09	Hayat Sok. No:22 Yağcılar Mah.	21.89
I37875	01.21.09	03.26.09	Ark Cad. No:78/1 Şeker Mah.	22.24
I36248	01.15.09	03.26.09	1640 Sok. S2 Blok D:4 Camili 2 Mah.	23.71
I37536	01.22.09	03.28.09	Bölük sok. No:35 Kat 1 B2/1 İstiklal Mah.	25.54
I37571	01.21.09	03.28.09	1409 Ada Blok :5 D:1 Karaman Mah.	25.77
I37597	01.20.09	03.26.09	Pınar Sok. No:7 Karaosman Mah.	26.99
I37733	01.20.09	03.26.09	Demirkapı Sok. No:5 Orta Mah.	31.50
I37841	01.20.09	03.28.09	No:19 kat:2 Pabuççular Mah.	31.67
I37884	01.20.09	03.26.09	864. sok No:31-4 Şeker Mah.	33.36
I36376	01.20.09	03.26.09	Toplu Sok. No: 13/A Cumhuriyet Mah.	38.17
I37890	01.21.09	03.28.09	Öğretmen sok. No: 70 Tekeler Mah.	38.60
I37914	01.20.09	03.26.09	Dikim Sok. No:11 Yenigün Mah.	40.00
I37068	01.20.09	03.26.09	Yurt Cd. No:19 Hızırtepe Mah.	40.14
I37918	01.23.09	03.27.09	Somun Sok. No:4 Yenigün Mah.	42.27
I37516	01.22.09	03.28.09	Yıldız Cad. no:72 İstiklal Mah.	42.74
I37854	01.20.09	03.27.09	Yuva Sok. No:5 D:2 Semerciler Mah.	46.30
I37874	01.21.09	03.28.09	Mesire Sok. No:9 Şeker Mah.	46.30
I37509	01.20.09	03.26.09	Başaklı Sok. No:13 Hızırtepe Mah.	46.91
I37859	01.21.09	03.28.09	A.Necdet Güven Cad. Asmaoğlu İş M. Semerciler Mah.	48.87
I37767	01.21.09	03.27.09	Çeşme Meydanı Cad. Varlık Apt D:5 Orta Mah.	55.77
I36196	01.23.09	03.28.09	1611 Ada D:14 Camili 1 Mah.	61.84
I37903	01.20.09	03.27.09	Kemer Sok. No:48 Yağcılar Mah.	62.93
I37605	01.21.09	03.27.09	2. Etap 1698 Ada M1 Blok No:7 Korucuk Mah.	65.16
I37514	01.20.09	03.26.09	Kırık Sok. No:80 Hızırtepe Mah.	66.20
I37905	01.20.09	03.27.09	Hayat Sok. Dolunay Blokları K:2 D:3 Yağcılar Mah.	66.33
I37834	01.20.09	03.26.09	Ark Sok No:36 Ozanlar Mah.	69.07
I37839	01.21.09	03.28.09	No:25 kat:2 Pabuççular Mah.	77.62
I37904	01.21.09	03.27.09	Dolunay Sitesi E blok D:2 Yağcılar Mah.	81.84
I37601	01.21.09	03.28.09	1693 Ada K2 Blok D:13 Korucuk Mah.	90.46
I36537	01.20.09	03.26.09	Demirci Sok No:10 Çukurahmediye Mah.	98.52
I37893	01.21.09	03.28.09	Şehit Adil Uğurlu Sok No: 1 Tekeler Mah.	101.24
I37863	01.22.09	03.28.09	Yuvam Sok. No:17 Semerciler Mah.	102.69
I37563	01.21.09	03.28.09	1469 Ada 4/7 Karaman Mah.	103.85
I36058	01.21.09	03.28.09	1572 Ada A2 Blok D:2 Camili 1 Mah.	110.48
I36427	01.23.09	03.27.09	Kayın Sok. No:5 Cumhuriyet Mah.	113.27
I37707	01.20.09	03.26.09	Kartal Sok No:42 Mithatpaşa Mah.	114.68
I37670	01.20.09	03.26.09	Hazan Sok No:5 Mithatpaşa Mah.	115.99
I37342	01.20.09	03.26.09	Şehit Mustafa Akyıldız Sok. No:10 Hızırtepe Mah.	121.98
I37511	01.21.09	03.26.09	Yunus Sok No:28 Hızırtepe Mah.	137.02
I37872	01.22.09	03.28.09	Şehit Ekrem Bayramoğlu Sok. Şeker Mah.	143.88
I37894	01.21.09	03.28.09	996. sok No 7 Tekeler Mah.	144.78
I35665	01.22.09	03.28.09	1539 Ada E1 D:12 Camili 1 Mah.	153.26
I36878	01.20.09	03.28.09	Donat Sok. No:16 Güllük Mah.	155.00

Çizelge A.2: Okullarda ölçülen ortalama radon konsantrasyonları (Bq.m⁻³).

Dedektör No	Dedektör Bırakılma Tarihi	Dedektör Toplama Tarihi	Adres	Ortalama Radon Konsantrasyonu
I37917	01.22.09	03.26.09	Eser İÖO	10.00
I37883	01.21.09	03.26.09	Şehit Abdullah Ömür İÖO	18.95
I37708	01.22.09	03.26.09	Mithatpaşa Şükrü Ayna Lisesi	18.95
I36839	01.20.09	03.28.09	Erdemli Sok No:16	20.43
I36281	01.22.09	03.26.09	Osman Bey İÖO	22.71
I37835	01.22.09	03.26.09	Kurtuluş İÖO	27.75
I36119	01.21.09	03.26.09	Sakarya Lisesi	29.01
I37853	01.22.09	03.28.09	Ünal Ozan Cad. No:82	29.19
I36971	01.22.09	03.26.09	Güneşler Lisesi	33.88
I37700	01.22.09	03.26.09	Yavuz Selim İÖO	36.89
I36497	01.22.09	03.26.09	Çökekler Fatih Kemal Yaşar İÖO	38.51
I37838	01.21.09	03.26.09	Fatih. End. Mes. Lisesi	40.66
I37861	01.22.09	03.26.09	İmam Hatip Lisesi	50.34
I37714	01.21.09	03.26.09	Şehit Ahmet Akyol İÖO	52.25
I37837	01.22.09	03.26.09	Ozanlar Şehit Mustafa İÖO	54.64
I37577	01.22.09	03.26.09	Aykut Yiğit İÖO	58.22
I37665	01.22.09	03.26.09	Vali Mustafa Uygur İÖO	58.24
I36065	01.22.09	03.26.09	Mehmet Akif Ersoy End. Mes. Lisesi	58.41
I36699	01.22.09	03.26.09	Dağdibi Berna Yılmaz İÖO	60.02
I36503	01.21.09	03.26.09	21 Haziran İÖO	62.20
I37901	01.22.09	03.26.09	Mustafa Erdoğan İÖO	62.71
I37537	01.22.09	03.26.09	Karakamış İÖO	64.32
I37852	01.22.09	03.26.09	ATSO Tic. Mes. Lisesi	64.32
I37896	01.22.09	03.26.09	Mehmet Nuri İÖO	65.94
I37547	01.22.09	03.26.09	Karaman İÖO	67.55
I37583	01.22.09	03.26.09	Karaosman İÖO	68.63
I37919	01.22.09	03.26.09	Merkez Atatürk İÖO	68.63
I37610	01.22.09	03.26.09	Korucuk TOKİ İÖO	71.32
I37869	01.22.09	03.26.09	Hacı Zehra Akkoç Kız Lisesi	75.62
I37752	01.22.09	03.26.09	80.Yıl Cumhuriyet	80.46
I37902	01.22.09	03.26.09	Namık Kemal İÖO	87.99
I37766	01.22.09	03.26.09	Sakarya İÖO	89.58
I37831	01.22.09	03.26.09	Selçuk Eşrefoğlu Lisesi	91.75
I37515	01.22.09	03.26.09	Mehmet Akif Ersoy İÖO	96.50
I36950	01.22.09	03.26.09	Güneşler Talat Töreke İÖO	98.98
I37880	01.22.09	03.26.09	Şeker İÖO	105.20
I37895	01.22.09	03.26.09	Cengiz Topel İÖO	107.35
I37556	01.22.09	03.26.09	17 Ağustos İÖO	114.88
I36037	01.22.09	03.26.09	Sait Faik Abasıyanık İÖO	121.87
I36937	01.22.09	03.26.09	Adapazarı mesleki eğitim Merkezi	124.56
I37910	01.22.09	03.26.09	Mustafa Kemal Paşa İÖO	130.48
I36768	01.22.09	03.26.09	Evren Köy İÖO	138.55
I37017	01.22.09	03.26.09	Güneşler Köprübaşı İÖO	150.92

Çizelge A.3 : İşyerlerinde ölçülen ortalama radon konsantrasyonu (Bq.m⁻³).

Dedektör No	Dedektör Bırakılma Tarihi	Dedektör Toplama Tarihi	Adres	Ortalama Radon Konsantrasyonu
I37807	01.23.09	03.27.09	SİDAŞ AŞ Tekstil 1.yol No:26 OSB	5.70
I37823	01.23.09	03.27.09	Panoteks Örne San. Ltd. Şti. 1.yol No:23 OSB	6.77
I37777	01.23.09	03.27.09	TALU Tekstil Ltd. Şti 1.yol No:6 OSB	7.04
I37797	01.23.09	03.27.09	Demireller Makine Teks. AŞ. 1.yol No:32 OSB	12.15
I37921	01.20.09	03.26.09	707 Nolu sok OSB	13.03
I37816	01.23.09	03.27.09	Kromel San. Tic. Ltd. 1.yol No:1 OSB	15.91
I37812	01.23.09	03.27.09	TKG Adapazarı Otomotiv 1.yol No:38 OSB	18.60
I37811	01.23.09	03.27.09	SİNİTAŞ Plastik Metal San. Tic. 1.Yol No:15 OSB	20.22
I37814	01.23.09	03.27.09	Meiller-Doğuş Damper San. 2.yol No:19-20 OSB	22.91
I37805	01.23.09	03.27.09	Erden Çelik San. Tic. AŞ. 1.yol No:10 OSB	23.98
I37790	01.23.09	03.27.09	Demireller Makine Teks. AŞ.(Oto) 1.yol No:32 OSB	30.98
I37830	01.23.09	03.27.09	Terakkiogulları Ltd. 1.yol No:14 OSB	34.74
I37793	01.23.09	03.27.09	Toyomar 1.yol No:14 OSB	36.89
I37771	01.20.09	03.26.09	Başkurt Motor ve Kablo San. 1.yol No:35 OSB	39.61
I37808	01.23.09	03.27.09	Federal Elektrik 1.yol No:25 OSB	43.35
I37775	01.23.09	03.27.09	CORUS Metal San. Tic. AŞ 3.yol No:5 OSB	43.88
I37819	01.23.09	03.27.09	Arma Filtre Sistemleri 1.yol No:13 OSB	46.04
I37789	01.23.09	03.27.09	Planart AŞ: 3.yol No:2 OSB	51.64
I37827	01.23.09	03.27.09	Neutech ilaç Sanayi 1.yol No:3 OSB	51.77
I37796	01.23.09	03.27.09	Sazcılar Otomotiv AŞ 1.yol No:21 OSB	55.18
I37795	01.23.09	03.27.09	Yazar Taşıt Koltukları AŞ. 1.yol No:27/A OSB	55.72
I37794	01.23.09	03.27.09	Barış San. Tic. 1.yol No:9 OSB	56.25
I37829	01.23.09	03.27.09	Aksa Endüstri Ürünleri 1.yol No:7 OSB	59.48
I37788	01.23.09	03.27.09	Lucas Elektronik Tic.Ltd. AŞ. 3.yol No:4 OSB	62.71
I37817	01.23.09	03.27.09	Atasan Metal San. Ltd. Şti. 2.yol No:15 OSB	68.63
I37769	01.23.09	03.27.09	Aldem Metal 1.yol No:17 OSB	69.70
I37784	01.23.09	03.27.09	Bursa Plastik. San. Tic. AŞ. 3.yol No:1 OSB	73.68
I37813	01.23.09	03.27.09	OSB Müdürlüğü OSB	78.00
I37773	01.23.09	03.27.09	Umde Mühendislik Tic. Ltd. 1.yol No:2 OSB	78.85
I37822	01.23.09	03.27.09	Kesin Makine San. Tic. 2.yol No:11 OSB	83.15
I37825	01.23.09	03.27.09	Verrona San. Tic. AŞ 2.yol No:1 OSB	84.76
I37791	01.23.09	03.27.09	RC Mühendislik 1.yol No:5 OSB	85.30
I37798	01.23.09	03.27.09	Daloğlu Döküm 1.yolNo18 OSB	87.45
I37806	01.23.09	03.27.09	Lavantin Nakış Tekstil San. Ltd. Şti. 1.yol No:5 OSB	87.99
I37924	01.23.09	03.27.09	TOYOTA Tsusho Otomotiv. Sn. Tic. AŞ. 1.yol OSB	93.91
I37785	01.23.09	03.27.09	LC Waikiki Konfeksiyon Ltd. Şti. 1.yol No:4 OSB	129.94

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Enis KAPDAN

Doğum Yeri ve Tarihi: Adapazarı, 02.10.1977

Adres: İstasyon mah. ÇNAEM Lojmanları K-1/5 Halkalı İSTANBUL

Lisans Üniversitesi: Fizik, Orta Doğu Teknik Üniversitesi