



**T.C.  
ÇALIŞMA VE SOSYAL GÜVENLİK BAKANLIĞI  
İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ**

**OFİS ÇALIŞANLARININ RADON GAZI  
MARUZİYETİNİN NÜKLEER İZ DEDEKTÖR  
YÖNTEMİNE GÖRE BELİRLENMESİ  
VE SAĞLIK ÜZERİNE ETKİLERİ**

**Ayşe PİŞKİN**

**(İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi)**

**ANKARA-2016**

**T.C.  
ÇALIŞMA VE SOSYAL GÜVENLİK BAKANLIĞI  
İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ**

**OFİS ÇALIŞANLARININ RADON GAZI  
MARUZİYETİNİN NÜKLEER İZ DEDEKTÖR  
YÖNTEMİNE GÖRE BELİRLENMESİ  
VE SAĞLIK ÜZERİNE ETKİLERİ**

**Ayşe PİŞKİN**

**(İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi)**

**Tez Danışmanı  
Mehmet ÖZKAN**

**ANKARA-2016**

**T.C.**  
**Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı**  
**İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü**

**O N A Y**

Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü  
İş Sağlığı ve Güvenliği Uzman Yardımcısı Ayşe PİŞKİN'in,  
Mehmet ÖZKAN danışmanlığında başlığı **Ofis Çalışanlarının Radon Gazı Maruziyetinin  
Nükleer İz Dedektör Yöntemine Göre Belirlenmesi**  
ve **Sağlık Üzerine Etkileri** olarak teslim edilen bu tezi, savunma sınavı 23/05/2016 tarihinde  
yapılarak aşağıdaki jüri üyeleri tarafından **İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi**  
olarak kabul edilmiştir.

**Dr. Serhat AYRIM**  
Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı  
Müsteşar Yardımcısı  
JÜRİ BAŞKANI

**Kasım ÖZER**  
İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürü  
ÜYE

**Dr. H. N. Rana GÜVEN**  
İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdür Yrd.  
ÜYE

**İsmail GERİM**  
İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdür Yrd.  
ÜYE

**Yrd. Doç. Dr. Mehmet Efe Özbek**  
Öğretim Üyesi  
ÜYE

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi olması için  
gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

Adı Soyadı  
İSGGM Genel Müdürü  
Kasım ÖZER

## TEŐEKKÜR

Mesleki açıdan yetiŐmem ve uzmanlık tezi çalıŐmamı hazırlama aŐamasındaki değerli katkılarından dolayı Genel M¼d¼r¼m¼z Sayın Kasım ÖZER'e, Genel M¼d¼r Yardımcılarımız Sayın Dr. Havva Nurdan Rana G¼VEN'e, Sayın İsmail GERİM'e, Sayın Sedat YENİDÜNYA'ya ve İŞ Güvenliği Daire Başkanımız Sayın İsmail G¼LTEKİN'e, İSG Uzmanı Sayın Fatma G¼lay GEDİKLİ'ye, değerli yorumlarıyla tez çalıŐmama yön veren tez danışmanım Sayın Mehmet ÖZKAN'a, bilgisini ve desteğini esirgemeyen Sayın Hocam Doç. Dr. M. Murat SA'a, beni her zaman cesaretlendiren ve her konuda güvenen çok kıymetli babam Selim PİŞKİN'e, annem Zeliha PİŞKİN'e ve tüm aileme, değerli katkılarıyla her zaman yanımda olan tüm çalışma arkadaşlarıma çok teŐekk¼r ederim.

## ÖZET

Ayşe PİŞKİN

**Ofis Çalışanlarının Radon Gazı Maruziyetinin Nükleer İz Dedektör Yöntemine Göre Belirlenmesi ve Sağlık Üzerine Etkileri**

**Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü**

**İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi**

**Ankara, 2016**

Ofis ortamlarının çalışma koşullarını iyileştirmek farklı sağlık risklerini azaltmak bakımından önemlidir. İyonlaştırıcı radyasyonun en önemli kaynağı olan radon gazı doğal olarak oluşan, havadan sekiz kat daha ağır, tatsız, kokusuz ve renksiz bir gazdır.

İnsanlar arasında sigaradan sonra akciğer kanserinin ikinci sebebidir. Epidemiyolojik çalışmalar meskun binalarda yaygın olarak bulunan nispeten düşük radon seviyelerinde bile radon gazı maruziyeti ve akciğer kanseri arasında kesin kanıtlar olduğunu göstermiştir. Bu çalışma Türkiye'deki Aydın ve Ankara illerinde gerçekleşen öncül bir çalışmadır. Çalışma kapsamında üçü Aydın ilinde, altısı Ankara ilinde olmak üzere toplamda dokuz ofis ortamı seçilmiştir. Ofis ortamı radon gazı konsantrasyonu bir ay boyunca LR-115 pasif nükleer iz dedektörü kullanılarak ölçülmüştür. Ayrıca ofis çalışanlarının yıllık etkin doz eşdeğeri ölçülmüştür. Bu çalışma sonucunda ofis içi radon konsantrasyonları ve radon gazı yıllık etkin doz eşdeğerleri, sınır değerleri ile karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** İş Sağlığı ve Güvenliği, Ofis Çalışanları, Radon Gazı, Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri

## **ABSTRACT**

**Ayşe PİŞKİN**

### **Determination of Radon Gas Exposure for Office Workers Using Nuclear Track Detector Method and Health Effects**

**Ministry of the Labor and Social Security, Directorate General of Occupational Health and Safety**

**Thesis for Occupational Health and Safety Expertise**

**Ankara, 2016**

Required attention has been given to improve office environment conditions, primarily to reduce the different health risks. Radon gas is a naturally occurring radioactive noble gas, the most important source of natural ionizing radiation and it is a tasteless, unscented and colorless gas, which is eight times heavier than the air. Radon gas is the second cause of lung cancer for human being, after smoking. Epidemiological studies have provided convincing evidence of an association between indoor radon gas exposure and lung cancer, even at the relatively low radon levels commonly found in residential buildings. This study is a pioneer research that has been done in Aydın and Ankara, Turkey. Nine offices were selected, three of these are in Aydın and the others are in Ankara. Office environment radon gas concentrations were measured for a month, using LR-115 passive nuclear track radon detectors. Furthermore annual effective dose equivalents for the office workers were calculated. As a consequence of this study, indoor radon gas concentration for office environment and annual effective dose equivalents has been compared with limit values.

**Keywords:** Occupational Health and Safety, Office Workers, Radon Gas, Annual Effective Dose

# İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET .....	ii
ABSTRACT .....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
RESİMLEMELER LİSTESİ .....	vi
SİMGE VE KISALTMALAR.....	x
TANIMLAR .....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER .....	3
2.1. RADYASYON .....	3
2.1.1. İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon .....	4
2.1.2. İyonlaştırıcı Radyasyon.....	5
2.1.3. Radyoaktivite ve İyonlaştırıcı Radyasyon .....	7
2.1.4. Vücuttaki Radyoaktivite .....	7
2.1.5. Doz ve Radyasyon Dozu .....	8
2.1.6. İyonlaştırıcı Radyasyonun Biyolojik Etkileri .....	9
2.1.7. Radyasyon Kaynakları .....	9
2.1.8. Radyasyondan Korunma .....	12
2.1.9. Temel Prensipler .....	12
2.2. İç Hava Kalitesi Tanımı ve Tarihçesi .....	13
2.2.1 Hasta Bina Sendromu (HBS).....	13
2.2.2. Hasta Bina Sendromuna Sebep Olan Başlıca Faktörler .....	14
2.3. RADON GAZI .....	18
2.3.1. Radon Gazının Bina Ortamına Girişi .....	20
2.3.2. Radon Gazının Ofis Çalışanlarına Etkisi.....	22
2.3.3. Dünyada ve Türkiye’de Kapalı Ortam Radon Ölçüm Çalışmaları.....	24
2.3.4. Dünyadaki ve Türkiye’deki Radon Gazı Çalışmaları ve Politikalarına Örnekler. 25	
2.3.4.1. Türkiye .....	27
2.3.4.2. İngiltere.....	29
2.3.4.3. ABD.....	30
2.3.4.4. İsviçre .....	31
2.3.4.5. Brezilya.....	32

2.3.4.6. Kanada .....	32
2.3.4.7. Çin Halk Cumhuriyeti .....	34
2.3.4.8. Finlandiya .....	34
2.3.4.9. İsveç.....	34
2.3.4.10. Slovenya .....	34
2.3.5. AB Mevzuatı.....	34
2.3.5.1. AB Mevzuatının Gereksinimleri.....	35
2.3.6. Türkiye Mevzuatı .....	38
3. GEREÇ VE YÖNTEMLER .....	41
3.1. OFİS ÇALIŞANLARININ RADON MARUZİYETİNİ BELİRLEMEK İÇİN SEÇİLEN İŞ YERLERİ.....	41
3.2. NÜKLEER İZ KAZIMA DEDEKTÖRÜ İLE ÖLÇÜM YÖNTEMİ .....	41
4. BULGULAR .....	47
5. TARTIŞMA.....	61
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	63
KAYNAKLAR.....	67
ÖZGEÇMİŞ.....	73
EKLER .....	75
EK – 1.....	76



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. İyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyonun etkileri.....	3
Şekil 2.2. Radyasyon çeşitleri.....	4
Şekil 2.3. İyonlaştırıcı radyasyon türlerinin farklı madde ortamlarında giriciliği .....	6
Şekil 2.4. Uranyum çekirdeğinin bozunarak radon gazına dönüşümü ve radon gazının solunduktan sonra akciğerlerde bozunuma devam etmesi.....	19
Şekil 2.5. Radon gazının bina ortamına giriş yerleri.....	21
Şekil 2.6. Radon gazı ve havalandırma arasındaki ilişki .....	22
Şekil 2.7. Bir odaya 10 L/s taze hava verilmesi.....	23
Şekil 2.8. Radon gazının yaydığı alfa parçacıklarının solunması ile DNA yapısının zarar görmesi .....	23
Şekil 2.9. Ülkelerin radon gazı düzeylerinin aritmetik ortalaması .....	26
Şekil 2.10. Türkiye'deki illere göre ortalama radon gazı konsantrasyonları .....	28
Şekil 2.11. İngiltere bölgesel radon gazı haritası .....	30
Şekil 2.12. USA bölgesel radon gazı haritası .....	31
Şekil 2.13. İsviçre bölgesel radon gazı haritası.....	32
Şekil 2.14. Kanada bölgesel radon gazı haritası .....	33

## GRAFİKLER LİSTESİ

<b>Grafik</b>	<b>Sayfa</b>
Grafik 2.1. Küresel radyasyon dozuna doğal ve yapay radyasyon kaynaklarının katkısı .....	11
Grafik 2.2. ABD nüfusunun radyoaktif kaynaklara göre radyasyon maruziyet dağılımı .....	11
Grafik 2.3. Doğal radyasyon kaynaklarının dünya nüfusuna göre dağılımı .....	19
Grafik 2.3. İnsan yapımı kaynakların neden olduğu kirleticiler .....	17
Grafik 4.1. Aydın ilindeki ofis içi radon gazı konsantrasyonlarının katlara göre değişimi....	51
Grafik 4.2. Aydın ilindeki ofis çalışanlarının radon gazı yıllık etkin doz eşdeğerlerinin katlara göre değişimi .....	51
Grafik 4.3. Aydın ilindeki ofis içi radon gazı konsantrasyonlarının ofis hacimlerine göre değişimi .....	52
Grafik 4.4. Aydın ilindeki ofis çalışanlarının radon gazı yıllık etkin doz eşdeğerlerinin ofis hacimlerine göre değişimi .....	52
Grafik 4.5. Ankara ilindeki ofis içi radon gazı konsantrasyonlarının katlara göre değişimi..	57
Grafik 4.6. Ankara ilindeki ofis çalışanlarının radon gazı yıllık etkin doz eşdeğerlerinin katlara göre değişimi .....	57
Grafik 4.7. Ankara ilindeki ofis içi radon gazı konsantrasyonlarının ofis hacimlerine göre değişimi .....	58
Grafik 4.8. Ankara ilindeki ofis çalışanlarının radon gazı yıllık etkin doz eşdeğerlerinin ofis hacimlerine göre değişimi .....	59

## RESİMLER LİSTESİ

<b>Resim</b>	<b>Sayfa</b>
Resim 3.1. LR-115'in ofislere asılma şekli .....	42
Resim 3.2. Aydın ili ofis ortamları .....	42
Resim 3.3. Ankara ili ofis ortamları .....	43
Resim 3.4. Filmlerin banyo edilmesi .....	43
Resim 3.5. Banyo işleminden sonra mikroskop altında alfa izlerinin görüntüsü .....	44
Resim 3.6. Filmlerin sayıldığı mikroskop ve bilgisayar sistemi .....	44
Resim 3.7. Alfa izlerinin sayımı .....	45
Resim 3.8. Kalibrasyon düzeneği .....	45
Resim 3.9. Alfa Guard radon dedektörü .....	46

## TABLolar LİSTESİ

<b>Tablo</b>	<b>Sayfa</b>
Tablo 2.1. Radyasyon birimleri.....	8
Tablo 2.2. Doğal kaynakların neden olduğu kirleticiler.....	15
Tablo 2.3. Yanma kaynaklı kirleticiler.....	16
Tablo 2.4. İnsan yapımı kaynakların neden olduğu kirleticiler.....	17
Tablo 2.5. Bazı inşaat malzemeleri için radon gazı konsantrasyonları (Bq/kg) .....	21
Tablo 2.6. Bazı ülkeler için ortalama radon gazı konsantrasyon değerleri (Bq/m <sup>3</sup> ) .....	27
Tablo 2.7. Radon gazı için konsantrasyon limitleri (Bq/m <sup>3</sup> ).....	27
Tablo 4.1. Aydın ilindeki ofis içi radon gazı konsantrasyonları ve çalışanların maruz kaldığı radon gazı yıllık etkin doz eşdeğerlerinin ofis hacimleri ve ofisin bulunduğu katlara göre dağılımı. ....	48
Tablo 4.2. Aydın ilindeki ofis içi radon gazı konsantrasyonlarının WHO, UNSCEAR, ICRP, AB Ülkeleri ve Türkiye'nin radon gazı konsantrasyon limitleri ile karşılaştırılması. ....	49
Tablo 4.3. Aydın ilindeki ofis çalışanlarının radon gazı yıllık etkin doz eşdeğerlerinin WHO, UNSCEAR ve ICRP limit değerleri ile karşılaştırılması. ....	50
Tablo 4.4. Ankara ilindeki ofis içi radon gazı konsantrasyonları ve çalışanların maruz kaldığı radon gazı yıllık etkin doz eşdeğerlerinin ofis hacimleri ve ofisin bulunduğu katlara göre dağılımı. ....	54
Tablo 4.5. Ankara ilindeki ofis içi radon gazı konsantrasyonlarının WHO, UNSCEAR, ICRP, AB Ülkeleri ve Türkiye radon gazı konsantrasyon limitleri ile karşılaştırılması. ....	55
Tablo 4.6. Ankara ilindeki ofis çalışanlarının radon gazı yıllık etkin doz eşdeğerlerinin WHO, UNSCEAR ve ICRP limit değerleri ile karşılaştırılması. ....	56

## SİMGELER ve KISALTMALAR

DNA	Deoksi Ribo Nükleik Asit
WHO	World Health Organization (Dünya Sağlık Örgütü)
%	Yüzde
m/sn	Metre/Saniye
mm	Milimetre
Hz	Hertz
Nm	Nanometre
$\mu\text{m}$	Mikrometre
cm	Santimetre
NCRP	National Council on Radiation Protection and Measurements (Ulusal Radyasyondan Korunma ve Ölçüm Komisyonu)
ICRP	International Commission on Radiological Protection (Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi)
MEMD	Müsaade Edilebilir Maksimum Doz
mSv	Milisievert
HBS	Hasta Bina Sendromu
$\text{kBq/m}^3$	Kilobekerel/Metreküp
$\text{Bq/m}^3$	Bekerel/Metreküp
EPA	US Environmental Protection Agency (ABD Çevre Koruma Ajansı)
pci/L	Pikoküri/Litre
YEDE	Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri
BMF	Bina İçi Meşguliyet Faktörü
SSNTD	Solid State Nuclear Track Detectors (Katı Hal Nükleer İz Dedektörü)
IARC	International Agency for Research on Cancer (Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı)
TAEK	Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
TUBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
AB	Avrupa Birliği
EC	European Commission (Avrupa Komisyonu)
USA	United States of America (Amerika Birleşik Devletleri)

EURATOM	European Atomic Energy Community (Avrupa Atom Enerjisi Topluluğu)
AAET	Avrupa Atom Enerjisi Topluluğu
KKD	Kişisel Koruyucu Donanım
BSS	Basic Safety Standards (Avrupa Temel Güvenlik Standardı)
ERA	(European Radon Association ) Avrupa Radon Derneği
MTA	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğu
NaOH	Sodyum Hidroksit
UNSCEAR	United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (Birleşik Devletler Atomik Etkiler Bilimsel Komitesi)

## TANIMLAR

İyonlaşma	Bir molekülün veya atomun iyona (yükü parçacığa) dönüşme sürecidir.
LR-115	Pasif nükleer iz kazıma dedektörü
Fisyon	Kütle numarası büyük olan bir atom çekirdeğinin bölünerek kütle numarası küçük iki ayrı çekirdeğe dönüşme sürecidir.
Olf	Koku birimi
Desipol	Bina içi hava kalitesinin ölçüsü
Radyonüklit	Kararsız çekirdeğe sahip izotoplara radyonüklit denir.
İzotop	Çekirdeğinde proton sayıları eşit olmasına rağmen nötron sayıları farklı olan atomlara izotop denir.
Angström	Işığın dalga boyunu ölçmek için kullanılan uzunluk ölçü birimidir. Ångström kısaca Å olarak simgelenir ve $10^{-10}$ m'ye eşit bir birimdir.
Soy Gaz	Asil gaz olarak da bilinen, periyodik cetvelin son grubunu oluşturan, tümü tek atoma sahip ve renksiz gaz halindeki elementlerdir. En dış yörüngeleri elektronlar ile dolu olduğu için çok kararlılırlar ve tepkimelere eğilimleri oldukça düşüktür.
Su Basman Zemin kotunun (sıfır kotu ya da giriş kotu) altında olmakla birlikte toprağa gömülmemiş bölümü ifade eder. Binanın zemin kotunu normal zeminden daha yükseğe yapmaktaki sebep, binayı doğal etkilerden, sudan, nemden vs. korumaktır.	

# 1.GİRİŞ

Günümüzde teknolojinin gelişmesi ile birlikte masa başı yapılan işler artmış ve çalışanlar daha çok kapalı ortamlarda vakit geçirmeye başlamışlardır. Ofisler iş kazaları ve meslek hastalıkları yönünden diğer çalışma ortamlarına nazaran daha az riskli yerler olarak görülseler bile aslında ciddi riskler barındıran ve bu kapsamda ele alınması gereken çalışma ortamlarıdır. Ofis ortamında çalışanlar kayma, takılma, düşme, elektrik çarpması, duruş bozuklukları gibi risk etmenlerinin yanı sıra gürültü, titreşim, termal konfor, aydınlatma, alçak ve yüksek basınç, iyonize ve iyonize olmayan radyasyon gibi fiziksel risk etmenleri ile de karşı karşıya kalmaktadırlar.

Ülkemizde farkındalığı yeni yeni artmaya başlayan ofis çalışanlarının iyonize radyasyona maruz kalmasının en önemli kaynağı radyoaktif radon gazıdır. Kapalı alanlarda birikim yapabilme özelliklerinden dolayı insan sağlığı üzerinde tehdit unsuru oluşturabilen karbon monoksit, karbondioksit, hidrojen sülfür, azot oksitler ve kükürt dioksit gibi başlıca gazlar içinde radyoaktif radon gazı da öncelikli olarak ele alınmalıdır. Radon gazı uranyumun bozunumu ile oluşan radyoaktif bir soy gazdır. Radon gazı doğada toprakta, suda, kayalarda, neredeyse her yerde az ya da çok miktarlarda bulunur. Dünyanın oluşumundan buyana yerkürenin yapısında bulunan uranyum, toryum gibi radyoaktif maddeler bozunarak radyuma dönüşür. Bu dönüşüm doğada kendiliğinden oluşur ve uygun şartlarda ortaya çıkar. Radon gazı renksiz, tatsız ve kokusuz olması sebebiyle kolayca tanınmaz.

Radyoaktiflik ve uranyum kavramlarının çalışma hayatına girmesi 1896 tarihinde Fransız fizikçi Henri Becquerel'in radyoaktiviteyi keşfi ile olmuştur. Böylece doğada bulunan uranyum, toryum, radyum ve aktinyum gibi radyoaktif maddelerin kullanımı yaygınlaşmıştır. Çalışan sağlığına verdiği zararlar tam olarak bilinmeden kullanımına başlanan bu maddelerin ilk yan etkileri zamanla ortaya çıkmıştır. Yüksek radyasyon dozuna maruziyet bir radyoloğun sağ elinde yaralar oluşturmuş ve birkaç yıl sonra ise kanser olgusu ile ilgili ilk rapor yayımlanmıştır. Bu olaydan bir süre sonra New Jersey saat fabrikasında çalışan saat minelerini radyumlu boya kullanarak boyayan işçi kızlarda radyumun iç radyasyon etkisi tespit edilmiş ve kemiklere yerleşen radyum sebebiyle kemik kanserinden ölenlerin olduğu gözlenmiştir. 300 yıl kadar önce, radyoaktivitenin bilinmediği dönemlerde, Almanya ve Çekoslovakya'da feldspat madenlerinde çalışan madencilerde sebebi bilinmeyen hastalıklar ve ölümler gerçekleşmiştir. Günümüzde sebebi bilinmeyen bu hastalığın radon gazından kaynaklanan akciğer kanseri olabileceği düşünülmektedir. Aynı şekilde ABD ve Kanada'da



radon gazına maruz kalan uranyum madencileri ile akciğer kanseri vakaları görülmesi arasında doğrudan epidemiyolojik ilişki olduğu yapılan bilimsel araştırmalarla ortaya konmaktadır.

Radon gazı 1900'lerde keşfedilmekle beraber gazın yapılar içinde birikmesi 1950'li yıllarda fark edilmiş, etkileri ve alınabilecek önlemler üzerine çalışmalar 1970'li yıllarda başlamıştır. 1985 yılında, binalarda bu birikimin yüksek düzeyde radyoaktif kirliliğe sebep olduğu, ABD'de meydana gelen bir rastlantı sonucu ortaya çıkmıştır. Nükleer santral çalışanı bir mühendis olan Stanley Watras'ın santrale girişi esnasında yapılan ölçümde yüksek dozda radyasyon bulaşımına maruz kaldığı saptanmış ve sonrasında yapılan kapsamlı araştırmada bu duruma, evinde birikim yapan radon gazının neden olduğu anlaşılmıştır [1].

İnsan vücudu radyasyonun az miktarına dayanıklı olmakla beraber bu doz arttığında tehlike ortaya çıkar. Radon gazının yaydığı radyasyon insan vücuduna solunum yolu ile girer. Nefes yolu ile alınan radon gazı, alfa partikülleri olarak bilinen iyonlaştırıcı bir radyasyon yayar. Bu partiküller elektrikle yüklüdür ve solunan havadaki tozlara, statik yüklü parçacıklara ve diğer partiküllere yapışır. Bunun sonucunda, havada asılı bulunan partiküller solunum yoluna yerleşir, radyoaktif alfa ışınları gerçekleştirerek dokulardaki DNA zincirini bozar ve moleküler yapıya zarar verir.

Akciğerin en küçük dokularına nüfuz edebilme özelliği bulunan radyoaktif parçacıklar, bu organın dokularını hasara uğratar. Vücut, hasar görmüş dokuyu onarmaya çalışmakla beraber, radon gazına sürekli olarak yoğun bir şekilde maruz kalınması sonucunda onarılamayan hücrelerde tümör oluşur. Yapılan araştırmalara göre akciğer kanserinin oluşumunda radon gazının çok ciddi bir etkisi olduğu saptanmıştır ve son yıllarda akciğer kanseri vakalarındaki artışa bu gazın sebep olduğu belirtilmektedir.

Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) yayımladığı rapor sonucuna göre dünyadaki akciğer kanseri vakalarının %15'i radon gazı kaynaklıdır ve sigaradan sonra akciğer kanserinin ikinci büyük sebebi olarak gösterilmektedir. Araştırmalara göre, radon gazının yalnız Kanada ve Amerika'da her yıl 10 ila 15 bin kişinin akciğer kanserine yakalanmasına sebep olduğu tahmin edilmektedir.

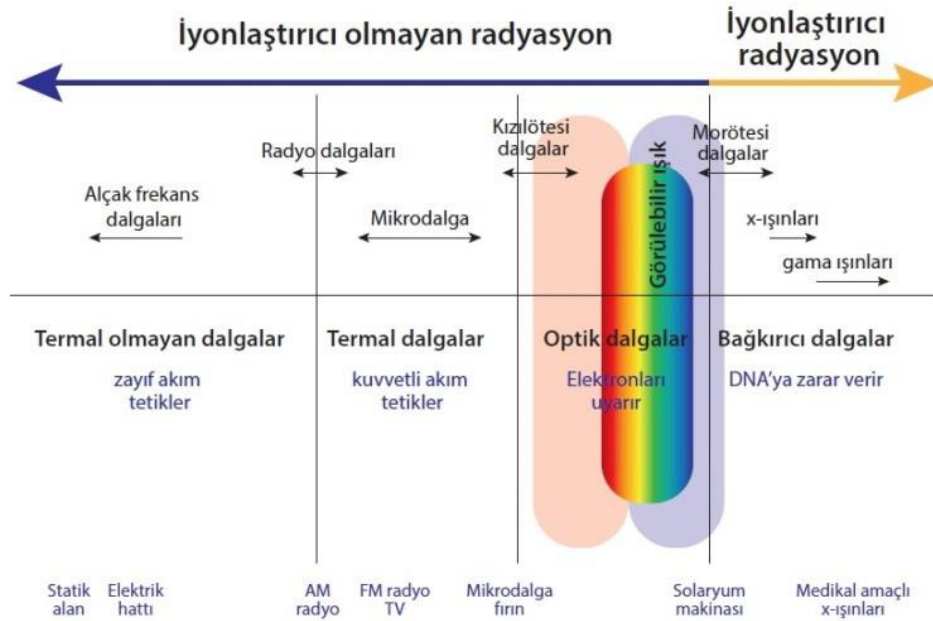
Bu tez çalışması kapsamında ülkemizde farkındalığı yeni oluşmaya başlayan radon gazı maruziyeti nükleer iz dedektör yöntemi kullanılarak ölçülmüş ve ofis ortamlarında da risk oluşturabileceğini gösterebilmek için bu ortamlardaki ölçümlere odaklanılmıştır.

## 2. GENEL BİLGİLER

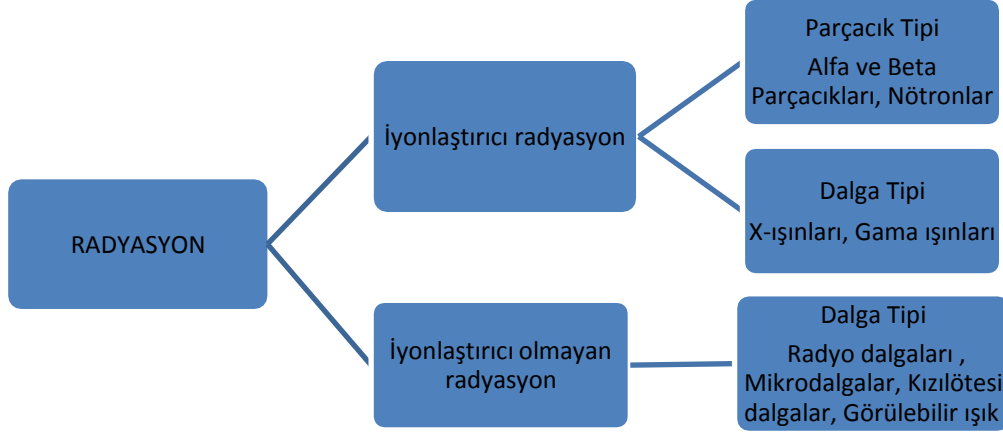
### 2.1. RADYASYON

Radyasyon bir kaynaktan parçacıklar ya da elektromanyetik dalgalar şeklinde salınan enerjidir. Güneş, lazer, x-ışını makineleri, radar sistemi, televizyon vericileri ve radyoaktif kaynaklar gibi çok çeşitli radyasyon kaynakları bulunmaktadır. Genel olarak insan yararı için kullanılan yapay radyasyon kaynakları ile doğal radyasyon kaynakları çok çeşitli düzeylerde radyasyon maruziyetine yol açmaktadır [2].

Radyasyon iki çeşit olmakla birlikte bunlar “parçacık” ve “dalga” tipi radyasyon olarak tanımlanır. Parçacık radyasyonu; belirli bir kütle ile enerjiye sahip oldukça hızlı hareket eden mikro parçacıkları ifade eder [3]. Dalga tipi radyasyon; belirli bir enerjisi olan ancak kütlesi olmayan radyasyon çeşididir. Bu tip radyasyonlar, titreşim yaparak ilerleyen manyetik ve elektrik enerji dalgaları gibidir. Görünür ışıkta bir çeşit dalga tipi radyasyon olmakla beraber bütün dalga tipi radyasyonlarının ışık hızıyla ( $3 \times 10^8$  m/sn) hareket ettikleri bilinmektedir [3]. Dalga tipi ve parçacık radyasyonlarını da oluşturdukları etkiye göre iki ana gruba ayırmamız mümkündür. Bunlar, “iyonlaştırıcı” ve “iyonlaştırıcı olmayan” radyasyonlardır (Şekil 2.1.).



Şekil 2.1. İyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyonun etkileri [4].



**Şekil 2.2. Radyasyon çeşitleri.**

### 2.1.1. İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon

İyonlaştırıcı olmayan radyasyon bir maddeye çarptığında maddenin atomları ile etkileşime girmediğinden maddenin yapısında bir değişiklik oluşturmaz. Böylece iyonizasyona neden olmaz. Bu tip radyasyonlar ise görünür ışık, ultraviyole (morötesi), infrared (kızılötesi), radyo dalgaları, mikro dalgalar, radar dalgaları, televizyon, bilgisayar ve cep telefonlarından yayılan elektromanyetik dalgalardır.

**Görünür Işık:** Spektrumda, gözle görülebilen elektromanyetik dalgaların olduğu bölgeye “görünür ışık spektrumu” denir.

**Ultraviyole Işıklar (Morötesi Işıklar):** X- ışınları ile görünür ışın arasında bulunan elektromanyetik radyasyonlardır. Ultraviyole (morötesi) ışın dalga boyları görünür ışın dalga boylarından kısa X- ışınlarınınkinden ise uzundur. Dalga boyları o kadar kısadır ki insan gözüyle algılanamazlar.

**İnfrared Işıklar (Kızılötesi Işıklar):** Görünür ışıktan daha uzun dalga boyu olan, gözle görülmeyen ışıklardır. Dalga boyları yaklaşık 0,760  $\mu\text{m}$  ile 1000  $\mu\text{m}$  arasındadır. Belirli bir sıcaklığa sahip cisimlerin atomlarının titreşimi ile oluşur. Titreşimin derecesi ise cismin sıcaklığı ile doğru orantılıdır. Isı transferi varsa radyasyonun elektromanyetik spektrumdaki yeri kızıl ötesi bölgedir. Normal fotoğraf filmlerine etki etmedikleri gibi normal optik aletlerle de fark edilemezler. Bunun sebebi, enerjilerinin görünür ışığın enerjisinden daha düşük olmasıdır. Bu ışınlar yalnızca ortaya çıkardıkları ısı sonucu fark edilirler [5].

### **2.1.2. İyonlaştırıcı Radyasyon**

İyonlaştırıcı radyasyon, bir madde ile etkileşime girdiğinde yüklü parçacıklar (iyonlar) oluşturabilmektedir. İyonizasyon olarak da bilinen iyon meydana gelmesi tüm maddelerde olabileceği gibi insanlar ve diğer tüm canlılarda da oluşabilir. İyonlaştırıcı radyasyon, bir maddeye çarptığında maddenin atomları ile etkileşime girerek bir iyonu koparır ve buradaki yapının değişmesine neden olur. Bu olay bir canlı dokuda meydana geldiğinde dokudaki DNA zinciri hasar görebilir. İyonlaştırıcı radyasyon ortamda yayımlanması bakımından iki çeşittir;

#### **Dalga Tipi Radyasyon:**

**X Işınları:** X-ışınları da ışık gibi elektromanyetik dalga yapısına sahip olup daha fazla giriciliğe ve daha yüksek enerjiye sahiptirler. X-ışınları, özel cihazlarda hızlandırılan elektronların metal bir hedefe çarptırılması yardımıyla elde edilir. İnsan vücuduna girebildikleri için X-ışınları tıpta pek çok teşhis yönteminde kullanılır [6].

**Gama Işınları:** Gama ışınları, beta parçacıkları gibi kararsız çekirdeklerden yayımlanan ışığa benzer elektromanyetik radyasyonun bir türü olan çok yüksek enerjili fotonların salınmasıyla oluşurlar. Gama ışınları içinden geçtiği maddenin atomlarının elektronları ile etkileşime girerek iyonizasyona neden olur. Madde ile etkileştiğinde, maddenin içine çok yüksek derecede nüfuz edebildiğinden güçlü bir zırhlama sağlayabilen kurşun ya da çelik gibi yoğun maddelerin belli kalınlıkları ile sadece bir kısmı durdurulabilir. Bunun yanında gama radyasyonu solunma ya da yutma yolu ile vücuda alınmasa dahi insan derisinden kolayca geçebildiği için iç organlar çok ciddi radyasyon dozuna maruz kalabilir [7].

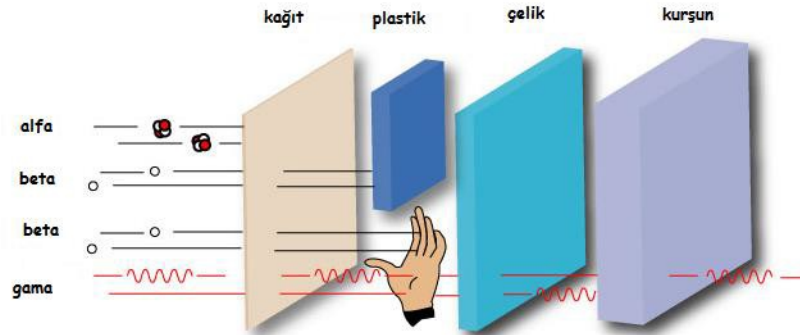
Gama ve X ışınlarının, beta ve alfa parçacıklarına göre maddeye nüfuz etme özellikleri çok daha fazla, iyonlaşmaya neden olma özellikleri ise çok daha azdır. Bununla birlikte birkaç santimetre kalınlığındaki kurşun levhalarla gama ışınlarının yalnızca belirli bir kısmı durdurulabilir. Madde içinden geçerken ise üstel bir fonksiyon şeklinde şiddet azalmasına uğrarlar. Herhangi bir yüke sahip olmadıkları için manyetik ve elektrik alanda sapma göstermezler [8].

### Parçacık Radyasyonu:

Alfa ( $\alpha$ ) Işınları: Alfa parçacıkları helyum çekirdeğinin iki elektronunu kaybetmiş halidir. İki nötronu ve iki protonu olan alfa parçacıkları atomun çekirdeğinden salınırlar. Madde içinden geçerken alfa parçacıkları çarpışmalar aracılığıyla neredeyse enerjisinin tamamını kaybeder. Alfa parçacıkları, çoğunlukla bir kağıt tabakası, 0,004 cm kalınlığı olan bir alüminyum folyo ya da havanın birkaç santimetresi içinde yutulurken ortamdan arındırılabilirler [9]. Toryum, radyum, uranyum ve plütonyum gibi kütleli radyoaktif çekirdekler alfa parçacığı salınımı ile bozunuma uğrar.

Beta ( $\beta$ ) Işınları: Beta parçacıkları kararsız çekirdeklerden bir elektron salınması ile oluşur ve alfa parçacıklarına göre daha küçük olduğundan madde veya dokuya nüfuz etme özellikleri yüksektir. Bu parçacıkların tamamı cam, plastik veya metal tarafından soğurulabilir. Genellikle deri yüzeyinden geçemezler sadece yüksek enerjili betalara yoğun maruziyet deride yanmalara neden olabilir. Yüksek enerjili betalar sindirim ya da solunum yolu ile alınırsa vücutta ciddi hasarlara yol açabilir [7].

Serbest Nötronlar: Nötronlar, radyasyonun oluşturduğu yüksüz parçacıklardır. Bu parçacıklar bilhassa atomik ya da nükleer fisyon esnasında kararsız çekirdeklerden salınır. Kozmik ışınların parçacıkları dışında nötronlar çoğunlukla yapay yollarla üretilir. Yüksüz parçacıklar olduklarından maddeyle veya doku ile etkileşime girdiklerinde iyi nüfuz edebildikleri gibi beta ve gama radyasyonu salınımına neden olabilirler. Nötron radyasyonundan kaynaklanan maruziyeti azaltmak için yoğun zırhlama gereklidir [7].



Şekil 2.3. İyonlaştırıcı radyasyon türlerinin farklı madde ortamlarında giriciliği [10].

### 2.1.3. Radyoaktivite ve İyonlaştırıcı Radyasyon

Çekirdek fiziği için önemli gelişmelerin başlangıcı olan radyoaktiviteyi, 1896 yılında Fransız fizikçi Henry Becquerel keşfetmiştir. Radyoaktif bozunma veya radyoaktivite, fazla enerjisi olan kararsız atom çekirdeklerinin bir parçacık ya da ışın çıkararak daha kararlı farklı bir çekirdeğe dönüşmesi olayıdır [8]. Her atomun çekirdeği kararsız olmadığından radyoaktivite çekirdeğe özgü ayırt edici fiziksel bir niteliktir.

Alfa ( $\alpha$ ), beta ( $\beta$ ) ve gama ( $\gamma$ ) gibi kararlı olmayan çekirdekler yüksek enerjili parçacıklar yayarak kararlı hale gelirler. Bozunuma uğrayan çekirdekler, doğada bulunuyor veya doğada bulunan diğer çekirdeklerin bozunması ile meydana geliyorsa buna doğal radyoaktivite denir. Doğal radyoaktivite, toryum ve uranyum içeren doğal minerallerin radyoaktif bozunuma uğramaları sonucu oluşmaktadır. Bu bozunumlar dünyanın yaşı kadar yarı ömre sahip olup geçmişten günümüze gelerek radyoaktif zincirler meydana getirirler.  $^{235}\text{U}$  ve  $^{238}\text{U}$  gibi doğal çekirdekler çok uzun yarı ömre sahip olmasalardı günümüzde doğada uranyum olmayacak ve dolayısıyla nükleer sektör veya nükleer silah olmayacaktı [6]. Doğada bulunan radyoaktif çekirdeklerin yanı sıra laboratuvarlarda nükleer reaksiyonlar aracılığıyla da radyoaktif çekirdekler üretilmektedir. 1934 yılında Irene Curie ve Pierre Joilot, doğal radyoaktif bozunum yapan polonyumdan çıkan alfa parçacıkları ile alüminyumu bombardıman ederek radyoaktif çekirdek üretimini ilk olarak gerçekleştirmişlerdir. Reaksiyon sonunda üretilen izotop yarı ömrü 2,5 dakika olan pozitron yayımlayarak bozunuma uğramıştır [11]. Bu keşif doğada kararlı bulunan izotopların yapay yollar ile kararsız hale getirilebileceğini ortaya koymuştur. Böylece kararlı birtakım elementler radyasyona maruz bırakma yolu ile aktif hale getirilir. Aktif hale gelen elementin parçalanmaya uğraması olayı ise yapay radyoaktivite olarak adlandırılır [12].

### 2.1.4. Vücuttaki Radyoaktivite

İnsanlar vücutlarında bulunan radyoaktif elementlerden de (özellikle Potasyum-40'tan) belirli bir radyasyon dozuna maruz kalırlar. Bu radyoaktif potasyum miktarının biyolojik süreçlerle kontrol edildiği bilirse de toplam miktarın kişiden kişiye nasıl değiştiği ile ilgili çok az bilgi mevcuttur. Çok yüksek oranda radyoaktivite içeren yiyeceklerin ve içeceklerin tüketilmemesi dışında iç ışınlanmayı önleyecek başka bir yol bulunmamaktadır [12].

### 2.1.5. Doz ve Radyasyon Dozu

Doz, herhangi bir maddenin ait olduğu ölçüm sistemi cinsinden belirli bir zaman içinde tüketilen ya da kullanılan belirli bir miktarını ifade etmektedir. Bu durumda radyasyon dozu hedef kütlenin, belirli bir sürede, soğurduğu veya aldığı radyasyon miktarıdır. Radyasyon birimleri iki temel gruba ayrılmaktadır. Radyoaktif kaynak vasıtasıyla üretilen radyasyonun miktarını tayin eden aktivite birimleri ve radyasyonun maddeler üzerinde bıraktığı etkiyi tayin eden soğurulan doz birimleridir [12].

**Tablo 2.1. Radyasyon birimleri [13].**

Radyasyon Birimleri	SI Birimi	Özel Birim
<b>Aktivite Birimi</b>	<b>Becquerel ( Bq ):</b> Saniyede 1 parçalanma yapan çekirdeğin aktivitesidir. 1 Bq = $2,7 \times 10^{-11}$ Ci	<b>Curie ( Ci ):</b> Saniyede $3,7 \times 10^{10}$ parçalanma veya bozunma gösteren maddenin aktivitesidir. 1Ci= $3,7 \times 10^{10}$ Bq
<b>Işınlama Birimi</b>	<b>Coulomb/kg ( C/kg ):</b> Bu birim 0°C sıcaklıkta ve 760 mm-Hg basınçta, havanın bir kilogramında bir Coulomb'luk elektrik yükü değerinde, pozitif ve negatif iyonlar oluşturan x veya gama ışınım miktarıdır. 1 C/kg = $3,88 \times 10^3$ R	<b>Röntgen ( R ):</b> Normal hava şartlarında havanın 1 kg'ında $2,58 \times 10^{-4}$ C' luk elektrik yükü değerinde pozitif ve negatif iyonlar oluşturan x ve gama ışını miktarıdır. 1 R = $2,58 \times 10^{-4}$ C / kg
<b>Soğurulma Doz Birimi</b>	<b>Gray ( Gy ):</b> Işınlanan maddenin 1 kg'ına 1 joule'lük enerji veren radyasyon miktarıdır. 1 Gy = 100 Rad	<b>Rad:</b> Işınlanan maddenin 1 kg'ına $10^{-4}$ joule'lük enerji veren radyasyon miktarıdır. Soğurulan enerji parçacık veya foton olabilir. 1 Rad = $10^{-4}$ Gy
<b>Doz Eşdeğer Birimi</b>	<b>Sievert:</b> 1 Gray'lik x ve g ışını ile aynı biyolojik etkiyi meydana getiren radyasyon miktarıdır. 1Sv = 100 Rem = 1 J/kg	<b>Rem:</b> Radyasyonun farklı türlerinden soğurulan enerjiler eşit olsa bile biyolojik etkileri farklı olabilir. 1 Rem = $10^{-2}$ Sv

### 2.1.6. İyonlaştırıcı Radyasyonun Biyolojik Etkileri

İyonlaştırıcı radyasyon aracılığıyla ışınlanan organ ve dokulardaki biyolojik etkiler; radyasyon hassasiyetine (radyosensivite), radyasyona maruz kalan alanın genişliğine, radyasyon tipine, alınan toplam doza ve doz hızlarına bağlı olarak deterministik ve stokastik etkiye neden olur.

**Radyasyonun etkileri:** Radyasyonun sağlığa zararlı olabilecek etkileri iki grupta incelenebilir. Bunlar ise deterministik ve stokastik etkilerdir. Değişik oranlarda radyasyon dozlarını farklı sıklıkta vücudun farklı bölgelerinin değişen dozlarda alması pek çok radyasyon hasarına yol açabilir. Tüm vücudun yüksek dozda radyasyona tek seferde maruz kalması haftalar içerisinde ölüme sebep olabilir. Eğer vücudun belirli bir bölgesi ışınlanırsa bu ölüme sebebiyet vermez ancak diğer birtakım erken etkiler görülür. Bir veya birkaç hafta içinde üreme organının doz alımı ile kısırlık başlayabilir. Bu gibi etkilere “deterministik etki” denir. Deterministik etki ancak belirli bir eşik doz miktarının aşılması halinde görülür. Deterministik etkilerin bazıları daha uzun zaman periyodunda meydana çıkar. Bunların içinde en çok bilinen ise “katarakt”tır. Eğer doz düşükse ya da tek seferde değil, daha uzun bir zaman diliminde maruz kalınmışsa hücrelerin kendini onarma ihtimali daha yüksektir. Alınan doz ile birlikte hemen fiziksel bir etki görülmesi de hayatın ileri bir evresinde ya da diğer nesillerde ortaya çıkabilecek zararlar meydana gelmiş olabilir. Bu gibi etkilere de “stokastik etki” denir. Bu etkilerin oluşabileceğine dair kesin bir yargı bulunmamakla beraber büsbütün olasılıkla ifade edilir. Bilinen en önemli şey, radyasyon dozuna maruziyet yüksek dozlarda gerçekleştiğinde artan radyasyon dozuyla birlikte bu olasılığın da artmasıdır. Kanseri stokastik etkiler içinde en iyi bilinendir. Nedeni hala tam olarak bilinmese de sigara, asbest, iyonize radyasyon ve ultraviyole ışınlarının belirli tip kanserlerin oluşumuna ve gelişimine katkısının olduğu bilinmektedir [14].

### 2.1.7. Radyasyon Kaynakları

Dünyanın var oluşundan beri canlılar iç ve dış ışınlanma yolu ile çeşitli kaynaklardan radyasyona maruz kalmaktadırlar. Bu radyasyon kaynaklarının birtakımı dünyanın doğal oluşum sürecinde ortaya çıktığı gibi birtakımı da insan kaynaklı olarak ortaya çıkmıştır. Buna göre radyasyon oluşum kaynakları bakımından doğal radyasyon kaynakları ve yapay radyasyon kaynakları olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.



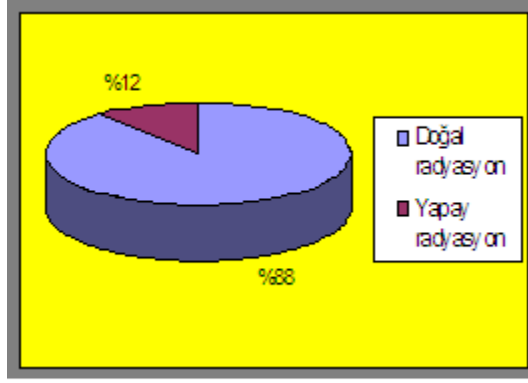
**Doğal Radyasyon Kaynakları:** İnsanoğlu ve diğer tüm canlılar, milyonlarca yıldan buyana evrenden dünyaya gelen kozmik ışınlar ve dünyada bulunan doğal radyoaktif maddelerden salınan radyasyonla ışınlanmaktadır. Tüm canlılar varoluşlarından beri sürekli olarak doğal radyasyonla birlikte yaşamaktadırlar.

Havada, suda, tüm hayvansal ve bitkisel besinlerde az da olsa bulunan radyoaktif maddeler vücudumuza sindirim ve solunum gibi yollardan alınmakta, bunlar da bir süre sonra çeşitli organlarda birikmektedir. Bununla birlikte yerkürede bulunan doğal radyoaktif maddelerden ve kozmik ışınlardan etkilendiğimiz de göz önünde bulundurulduğunda, vücudumuz hem iç hem de dış radyasyon ışınlanmasına maruz kalmaktadır [3].

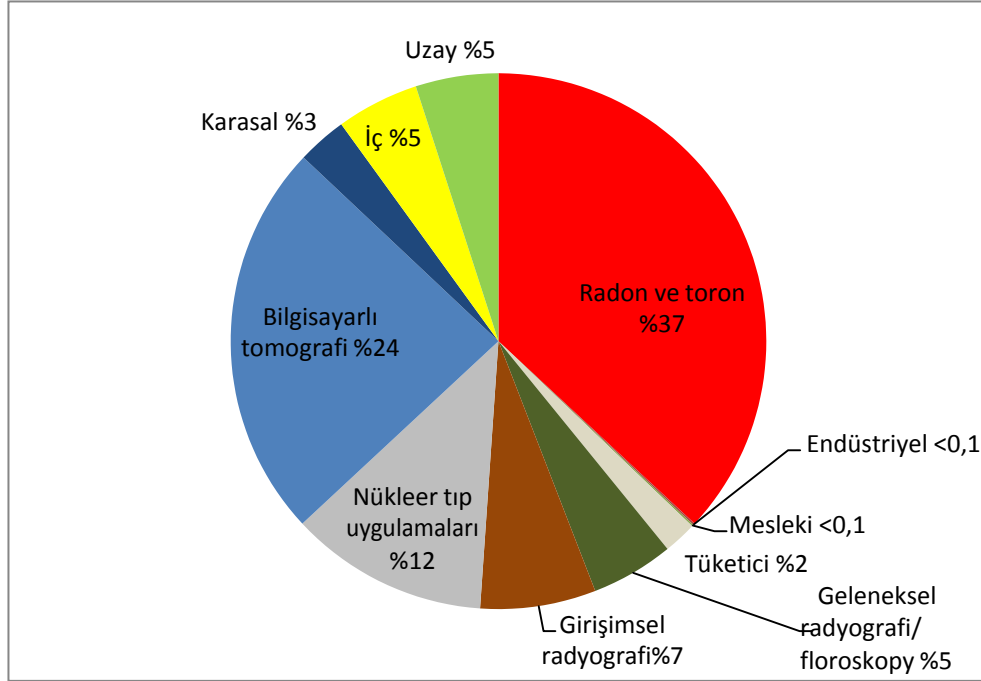
**Yapay Radyasyon Kaynakları:** Yeryüzünde yaşadığımız sürece doğal radyasyon kaynaklarına benzer olarak yapay radyasyon kaynaklarından da belirli miktarlarda radyasyon dozuna maruz kalırız. Fakat bu doz miktarı doğal kaynaklardan aldığımız doza göre oldukça düşüktür. Bu kaynakların doğal radyasyon kaynaklarından farklı olarak tamamen kontrol altında tutulabilmeleri de maruz kalınacak doz miktarı için önemli bir özelliktir.

Nükleer bomba denemeleri sonucu meydana gelen nükleer serpintiler, tıbbi, zirai ve endüstriyel uygulamalar için kullanılan X-ışınları ve yapay radyoaktif maddeler, çok az miktarlarda nükleer güç üretiminden çevreye yayılan radyoaktif maddeler ile bazı tüketici ürünlerinin yapımında kullanılan radyoaktif maddeler bilinen yapay radyasyon kaynaklarıdır.

Grafik 2.1.'de küresel radyasyon dozuna doğal ve yapay radyasyon kaynaklarının katkısı incelendiğinde; doğal radyasyon kaynaklarının daha fazla olduğu bununla birlikte NCRP 2009 verilerine göre ise ABD'de nüfusun radyasyon maruziyetine bakıldığında; en büyük payın radon gazı ve ürünlerine ait olduğu görölmektedir (Grafik 2.2.). Bu da doğal radyasyon kaynaklarına maruziyetin azımsanmaması gerektiğini ortaya koymaktadır.



**Grafik 2.1. Küresel radyasyon dozuna doğal ve yapay radyasyon kaynaklarının katkısı [11].**



**Grafik 2.2. ABD nüfusunun radyoaktif kaynaklara göre radyasyon maruziyet dağılımı [15].**

**Dış ışınlama:** Tüm vücudumuz yeryüzündeki radyoizotoplardan salınan gama ışınları sebebiyle dış kaynaklı radyasyondan etkilenir. Başta granit olmak üzere tortul kayalarda, volkanik kayalarda ve fosfat kayalarda yüksek oranda radyoaktivite bulunabilmektedir. Yapı malzemeleri toprak ve taştan üretildiklerinden düşük oranda radyoaktivite içerebilirler. Bu durumda insanlar bina dışında olduğu gibi, radyasyona bina içinde de maruz kalırlar. Bölgenin jeolojik yapısının yanında, bina yapımında kullanılan yapı malzemeleri alınan radyasyon dozuna katkı yapmaktadır [16].

**İç Işınlanma:** Kaynağı yeryüzü olması sebebiyle doğada bulunan radyoizotopların sindirim ve solunum yoluyla vücuda alınmasından kaynaklanır. Havadaki  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  çekirdeklerinin bozunum ürünü olan radyoizotoplardan oluşan toz partikülleri solunum vasıtasıyla vücuda alınmaktadır. Solunum ile iç ışınlanmanın en önemli kaynaklarının başında radon gazı ve bozunum ürünleri gelmektedir. Yiyecek ve içeceklerde mevcut olan  $^{40}\text{K}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{238}\text{U}$  gibi seriler, sindirim vasıtasıyla alınan dozun temel sebebini oluşturmaktadır [16].

### **2.1.8. Radyasyondan Korunma**

Radyasyona karşı korunmada temel prensip, tahammül edilebilen ya da tolere edilebilen dozları belirlemek ve radyasyonla çalışanlar ile yerel halkın bu doz değerinin üzerinde radyasyon maruziyetini önlemektir.

Radyasyondan korunmanın amacı ise;

- Doku hasarına neden olduğu bilinen deterministik etkileri önlemek,
- Stokastik etkilerin ortaya çıkma olasılıklarını kabul edilebilir seviyede tutmak,

MEMD yani Müsaade Edilebilir Maksimum Doz ICRP tarafından, bir insanda ömrü boyunca hiçbir ciddi vücut hasarı ve genetik etki oluşturması beklenmeyen iyonize radyasyon dozu olarak ifade edilir.

ICRP'nin tavsiyelerine göre; müsaade edilen maksimum doz sınırı radyasyon çalışanları için, birbirini izleyen beş yılın ortalaması 20 mSv'i geçemezken (yılda ise en fazla 50 mSv), toplumdaki diğer kişiler (halk) için ise aynı koşullarda bu sınır değer 1 mSv'in altında tutulmalıdır [5].

### **2.1.9. Temel Prensipler**

Radyasyondan korunmanın üç temel prensibi bulunmaktadır. Bunlar radyasyonun gerekliliği, etkinliği ve kişisel doz miktarının risk sınırları olarak ifade edilmektedir. Gerekliliğe göre net faydası olmayan radyasyon uygulamalarına izin verilmemelidir. Alınan dozlar mümkünse düşük tutulmalıdır yani radyasyonla yapılan çalışmalarda radyasyonun dozu az ancak etkinliği fazla olmalıdır. Çalışanların almasına müsaade edilen dozlar sınırlandırılmalıdır [5]. Belirlenen kişisel maruziyet doz sınırları aşılmamalıdır. Bununla birlikte kişisel maruziyet doz sınırları aşılsa oluşacak risklere karşı önlem alınmalıdır.

## 2.2. İç Hava Kalitesi Tanımı ve Tarihçesi

İç hava sorunu, insanoğlunun ateşi bulması ve kapalı yaşam alanı olan mağaralarda kullanmaya başlaması ile birlikte ortaya çıkmıştır. Ateşten çıkan dumanın insan ömrünü azaltıcı etkisi bu dönemlerde fark edilir. Mağara tavanına bir delik açarak dumanı ortamdan uzaklaştırmayı öğrenen insanoğlu, bundan sonra da iç hava sorunlarıyla mücadele etmek zorunda kalır. Mısır'da piramit yapımında çalışan işçilerde özellikle içeride çalışanlarda, açık alanlarda çalışanlardan daha çok solunum hastalıkları gözlemlenir. Bu tip sorunlarla mücadele etmek için Romalılar, ısınma sistemleri üzerine çalışarak dumansız döşemeden ısıtmayı keşfeder. Bununla birlikte 11. yüzyıla gelindiğinde İbn-i Haldun Mukaddime adlı eserinde, hava kirliliğinin hastalıklara sebep olacağına değinir. 16. yüzyılda ise İngiltere Kralı I. Charles, kirli havanın binalardaki etkisini azaltmak için birtakım kurallar getirir. Bu inşaat kuralları; boyu eninden daha büyük olan pencereler, 3 metreden yüksek olan tavanlar, pencere alanının odanın taban alanına göre belirlenmesi gibi kurallar olup içerideki kirli hava ve duman dışarı atılmaya çalışılır. Günümüze yaklaşık 18. yüzyıla gelindiğinde, karbondioksitin Lavosier tarafından keşfedilmesiyle, bu yeni gazın hava kirliliği üzerine etkileri araştırılmaya ve tartışılmaya başlanır. Özellikleri tam olarak bilinmeyen karbondioksitin başlarda zehirleyici bir gaz olduğu düşünülür. 1853'teki Kırım Savaşı boyunca yaralılarla dolup taşan İstanbul hastanelerinde, havasız odalarda yaralıların iyileşmesinin çok daha uzun zaman aldığı gözlemlenir. Başlangıçta bu durumun, havadaki yoğun karbondioksitle ilgili olabileceğini düşünen doktorlar, sonraları asıl sebebin, yaralılarından ortama yayılan mikropların havalandırma yetersizliği sebebiyle uygun yayılma imkânı bularak çoğalmaları olduğunu anlarlar [17].

### 2.2.1 Hasta Bina Sendromu (HBS)

Hasta Bina Sendromu ya da HBS son yıllarda yapılan çalışmalar neticesinde ortaya konmuş bir kavramdır. HBS tanıları 1970'lerden günümüze kadar artan bir sıklıkta bildirilmektedir. Hasta bina sendromu genellikle çeşitli ısıtma, klima ve havalandırma sistemlerinin olduğu yeni veya yenilenmiş binalarda görülmekle birlikte, etkin havalandırma sistemleri bulunmayan veya kirli halılara sahip eski binalarda da görülmektedir [18].

Dünya Sağlık Örgütü, günümüz ofis çalışanlarında işe bağlı olarak görülen mukoz membran ve cilt şikayetleri ile birlikte halsizlik, konsantrasyon bozukluğu ve baş ağrısı gibi genel belirtilerin olduğu durumları HBS olarak ifade etmiştir. Dünya Sağlık Örgütü bu bağlamda

Hasta Bina Sendromunu; “kişide son üç ay içinde, her hafta en az bir genel, bir mukozal ve bir deri semptomunun bulunması” olarak tanımlanmıştır. Bu tanıma göre genel semptomlar nefes darlığı, görmede zayıflama, ateş basması, göğüste sıkışma hissi, yorgunluk, uyuklama; mukozal semptomlar kuru öksürük, boğaz kuruluğu, gözlerde; sulanma, yanma-batma, kızarıklık; deriye ait bulgular ciltte kaşıntı, kızarıklık ve kuruluk olarak açıklanabilir [18]. Radon gazı, ev gazı olarak da bilinmekle beraber genellikle ev yapımı malzemesi olan toprak, taş ve çimentoda doğal bir şekilde bulunur, devamlı olarak ortama yayıldığı için havaya karışarak solunum vasıtasıyla akciğerlere kadar ulaşır. Bu sebeple radon gazı insanlarda akciğer kanseri riski oluşturduğu gibi mevcut riski de arttırmaktadır. İnsanlarda genel bir bitkinlik hissi oluşturması en sık gözlenen semptomdur. Bu semptom, genel olarak işe gelişi takip eden birkaç saat içinde ortaya çıkar, binadan çıktıktan sonra birkaç dakika içinde düzelmeye gösterir. Semptomlar mevsimsel olabildiği gibi kış aylarında kötüleşme gösterebilir. Migrene benzememekle beraber nadiren zonklayıcı olmak üzere genellikle künt ve basınç biçiminde bir baş ağrısı mevcuttur [16].

### **2.2.2. Hasta Bina Sendromuna Sebep Olan Başlıca Faktörler**

Hasta bina sendromuna sebep olan faktörler arasında, dışarıdan ve içeriden kaynaklanan kimyasal ve biyolojik kirleticiler, yetersiz havalandırma, tozlar, tanecikler, asbest, cam yünü gibi lifli maddelerin yanı sıra radon gazı gibi sağlık için tehlikeli olan, farklı kaynaklardan gelen hava ortamı kirleticileri bulunmaktadır. Bu kirleticiler ise oluş kaynakları bakımından üç temel başlık altında toplanabilir. Bunların ilki doğal kaynakların neden olduğu kirleticilerdir. Biyolojik kirleticiler ve radon gazı bu gruba dahildir (Tablo 2.2.). Maddenin yapı taşı oluşturduğu karbonun tamamının yanmayarak oluşturduğu atıklar yanma kaynaklı kirleticiler grubuna dahildir. Özellikle karbon monoksit gibi kükürt dioksit, azot oksitler, çevresel tütün dumanı ve solunabilir asılı tanecikler de yanma kaynaklı kirleticilerdir (Tablo 2.3.). Sanayi ve teknolojinin gelişmesiyle insanlar çevrelerine yapay kirleticiler yaymaya başlamıştır. İnsan üretimi bu yapay kaynakların neden olduğu kirleticiler arasında uçucu organik kimyasallar, asbest, kurşun ve formaldehit bulunmaktadır (Tablo 2.4.).

**Tablo 2.2. Doğal kaynakların neden olduğu kirleticiler [19].**

<b>Kirletici</b>	<b>Sağlığa Olası Etkisi</b>	<b>Binadaki Ana Kaynağı</b>
<b>Radon Gazı</b> – Uranyum veya radyumun radyoaktif bozunumundan oluşan tatsız, kokusuz ve renksiz bir tür gazdır.	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Hemen belirti yok</li><li>▪ Akciğer kanseri</li><li>▪ Yılda yirmi bin kişinin akciğer kanserinden ölüm sebebi</li><li>▪ Sigara kullanımı ise akciğer kanseri oluşumunda radon gazının etkisini arttırıyor.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Bina altındaki toprak ve kayalar</li><li>▪ Bina yapımı için kullanılan birtakım inşaat malzemeleri</li><li>▪ Belli kaynaklardan çıkan kuyu ve yer altı suları</li></ul>
<b>Biyolojik Kirleticiler</b> –Toz, virüsler, bakteriler, akarlar, mantarlar ve küfler	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Astım ve alerjiler</li><li>▪ Göz, boğaz ve burun tahrişi</li><li>▪ Baş ağrısı</li><li>▪ Soğuk algınlığı, zatürree ve grip</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Enfekte olmuş insanlar ya da hayvanlar</li><li>▪ Ev tozu</li><li>▪ Yataklar</li><li>▪ Nemli ya da ıslak yüzeyler</li><li>▪ Verimli olmayan nem tutucular, yetersiz nem ve klimalar</li><li>▪ Ev eşyaları ve halılar</li></ul>

**Tablo 2.3. Yanma kaynaklı kirleticiler [19].**

<b>Kirletici</b>	<b>Sağlığa Olası Etkisi</b>	<b>Kaynaklar</b>
<b>Karbon monoksit (CO)</b> – Karbonunun tamamının yanmaması ile oluşan renksiz ve kokusuz bir gazdır.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Baş dönmesi, baş ağrısı, uyuşukluk,</li> <li>▪ Görme, solunum ve beyin işleyişi bozukluğu, zihinsel karışıklık, bulantı</li> <li>▪ Genellikle grip olduğu düşünülen semptomlar</li> <li>▪ Çok yüksek maruziyet seviyeleri ölüme sebep olabilir</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Isıtma sistemleri(su ısıtıcıları, fırınlar yağ yakıtlı ısıtıcılar) gazyağı ve doğal gaz,</li> <li>▪ Ahşap veya kömür sobaları</li> <li>▪ Set üstü - fırınlar</li> <li>▪ Şömine</li> <li>▪ Kömür griller</li> <li>▪ Tütün dumanı</li> <li>▪ Motorlar (benzin, motorin)</li> </ul>
<b>Solunabilir Asılı Tanecikler (SAT)</b> - Toksik seviyesi, şekli ve boyutları solumak için yeterli tanecikler.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bronşit ve solunum yolu enfeksiyonları</li> <li>▪ Göz, boğaz ve burun tahrişi</li> <li>▪ Akciğer kanseri</li> <li>▪ Amfizem</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Şömineler ve odun sobaları</li> <li>▪ Bacası olmayan gazyağı ısıtıcıları</li> <li>▪ Sabun tozu, pamuk tozu, polen, toz, temizlik ve yemek pişirme, spreyley</li> <li>▪ Gaz yakıtlı ızgaralar, su – ısıtıcılar, fırınlar</li> <li>▪ Ev tozu ve vakumlu temizleme</li> <li>▪ Tütün dumanı</li> </ul>
<b>Kükürt Dioksit ve Azot Oksitler</b> – Karbon içeren yakıtların tamamının yanmaması sonucu oluşan gazlar.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Akciğerlere ve solunum sistemine hasar verir - azot dioksit</li> <li>▪ Solunum sisteminde, gözlerde ve burunda tahriş - kükürt dioksit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Karbon monoksit gibi kaynaklar</li> </ul>
<b>Çevresel Tütün Dumanı</b> - Sigara içimi ile havaya üflenen dumanın oluşturduğu pasif içicilik, yanal duman olarak da adlandırılır.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Göz, burun ve boğaz tahrişi</li> <li>▪ Solunum tahrişi (hırıltı, öksürme)</li> <li>▪ Bronşit ve zatürre (özellikle çocuklarda)</li> <li>▪ Amfizem, akciğer kanseri ve kalp hastalıkları riski artar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sigara</li> <li>▪ Puro</li> <li>▪ Pipo</li> </ul>

**Tablo 2.4. İnsan yapımı kaynakların neden olduğu kirleticiler [19].**

<b>Kirletici</b>	<b>Sağlığa Olası Etkisi</b>	<b>Kaynaklar</b>
<p><b>Asbest</b> – Çeşitli yapı malzemelerinde kullanılan doğal mineralli elyaftır. Ömrü yaklaşık yirmi yıldan fazla olan bütün binalarda bazı asbestlerin olması muhtemeldir.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Anında belirti yok</li> <li>▪ Göğüs, karın ve akciğer kanseri ve asbestoz</li> <li>▪ Asbestoz özellikle sigara içenler arasında akciğer kanserine sebep olabilir.</li> <li>▪ ABD’de yılda 600 ile 1000 kişi çoğunlukla işyerinde maruz kalmasına bağlı olarak asbestozdan ölmektedir.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Hasarlı veya bozulan tavan, duvar ve boru izolasyonu</li> <li>▪ Vinil-asbest zemin malzemesi</li> <li>▪ Isı kalkanları içindeki yanmaz contalar, odun sobaları ve fırınlar</li> <li>▪ Akustik malzemeler</li> <li>▪ Isı yalıtımı</li> <li>▪ Dış cephe kaplaması</li> </ul>
<p><b>Uçucu Organik Kimyasallar (UOK)</b> - Birçok ev ürününün içerdiği uçucu kimyasallar.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Göz, burun, boğaz tahrişi</li> <li>▪ Baş ağrısı</li> <li>▪ Koordinasyon kaybı</li> <li>▪ Sersemleme</li> <li>▪ Karaciğer, böbrekler ve beyinde hasar</li> <li>▪ Çeşitli tiplerde kanser</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aerosol spreyleyler, saç spreyleyler, parfümler, çözücüler, yapıştırıcılar, temizlik maddeler, kumaş yumuşatıcılar, böcek ilaçları, boyalar, güve kovucular, deodorantlar ve diğer ev ürünleri</li> <li>▪ Kuru temizleme giyim</li> <li>▪ Güve topları</li> <li>▪ Tütün dumanı</li> </ul>
<p><b>Formaldehit</b> - Havaya salınan keskin kokulu gaz</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Alerjik reaksiyonlar</li> <li>▪ Göz, burun ve boğaz tahrişi</li> <li>▪ Baş ağrısı</li> <li>▪ Bulantı, baş dönmesi, öksürük</li> <li>▪ Kanser olasılığı</li> <li>▪ Yaygın değişen hassasiyet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Preslenmiş ahşap ürünleri (kontrplak, lambri, sunta)</li> <li>▪ Köpük duvar yalıtım için kullanılan Üre-formaldehit</li> <li>▪ Halılar, perdeler, mobilya kumaşları</li> <li>▪ Kağıt ürünleri, tutkallar, yapıştırıcılar</li> <li>▪ Bazı kişisel bakım ürünleri</li> <li>▪ Tütün dumanı</li> </ul>
<p><b>Kurşun</b> – Benzin, ev boyaları, su boruları ve lehim olarak kullanılan doğal bir elementtir.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Beyin, böbrek ve sinir sistemine hasar</li> <li>▪ Davranış ve öğrenme sorunları</li> <li>▪ Büyüme ve gelişme bozuklukları</li> <li>▪ Anemi</li> <li>▪ İşitme kaybı</li> <li>▪ Yüksek dozları öldürücü olabilir.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kurşunlu boyanın sebep olduğu ev tozu</li> <li>▪ Kurşun bazlı boya</li> <li>▪ Kurşun ya da kurşun lehimli borular ya da pirinçli tesisattan gelen su</li> <li>▪ Karayollarına yakın topraklar/kurşun endüstrisi</li> <li>▪ Vitray gibi hobi çalışmaları, bazı halk ilaçları</li> <li>▪ Kurşun-sırlı seramikler</li> </ul>

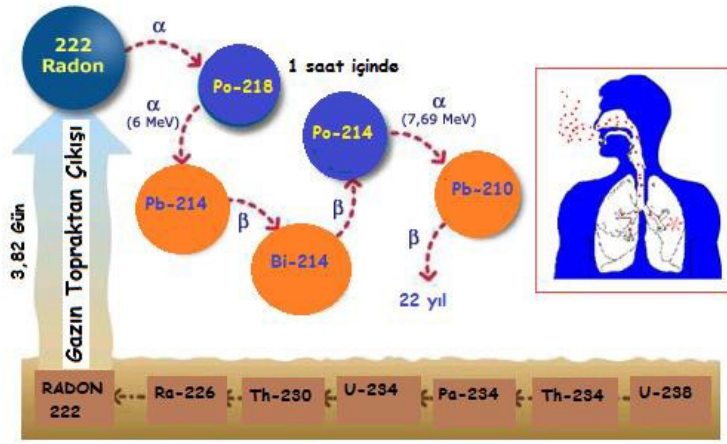


### 2.3. RADON GAZI

Radon gazı herhangi bir kokusu, tadı ve rengi olmayan doğal olduğu bilinen radyoaktif bir gazdır. Ortamda olup olmadığı ancak özel cihazlar ile ölçülebilir. Uranyum çekirdeğinin bozunuma uğraması sonucu oluşur. Radyoaktif uranyum çok çeşitli oranlarda tüm topraklarda, kayalarda, tuğlalarda ve betonlarda bulunan doğal radyoaktif bir çekirdektir. Uranyum genellikle dağlık ve kayalık alanlar olmakla birlikte dünyanın her yerinde oluşum yapabilir. Radon gazı ise uranyumun kararlı kurşuna dönüşümü sırasında ortaya çıkan kısa bir yarı ömre sahip kararsız yapılı radyoaktif gazdır. Radon gazının kısa yarı ömre sahip bozunum ürünleri soluma vasıtasıyla ile alındığında zarar miktarı artmaktadır.

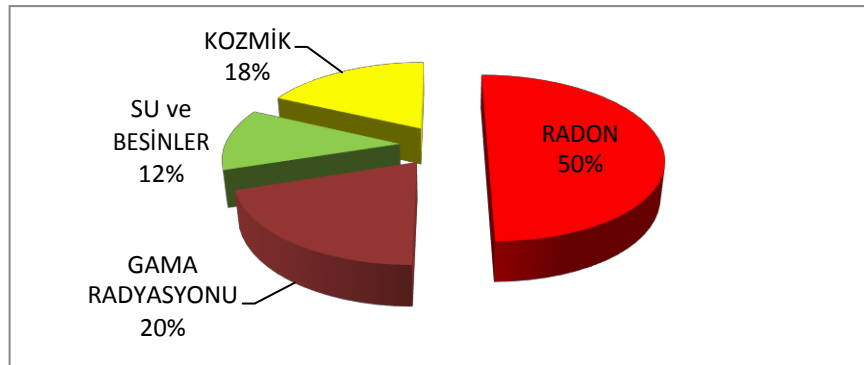
Radon gazı ve radon gazının bozunum ürünleri iyonizasyon gücü yüksek olan alfa radyasyonu yayımlayarak bozunumlarına devam ederler. Havada asılı bulunan bozunum ürünleri soluma vasıtasıyla vücuda alınır. Radon gazının açık alanlarda konsantrasyonu azaldığından risk daha düşük olmasına rağmen kapalı alanlardaki radon gazının toplam radyasyon oranına katkısı %50 gibi bir değerdir. Bununla beraber mağara ve maden gibi kapalı yerlerde tehlikeli olabilecek konsantrasyonlarda birikim yapabildiği için radon gazına uzun süre maruziyet ciddi sağlık sorunlarına sebep olabilir. Granit ve volkanik toprakların yanı sıra alimünyum şistler gibi jeolojik yapılar da yüksek olasılıkla radon gazı içermektedir. Öte yandan tortul kayaların düşük miktarlara sahip olduğu bilinmektedir. Radon gazı konsantrasyonlarının; toprak gazında 18-180 kBq/m<sup>3</sup>, bina içi atmosferinde 11-300 Bq/m<sup>3</sup>, okyanuslar üzerindeki hava tabakasında 0,02-0,2 Bq/m<sup>3</sup>, mağaralarda 0,37-11 kBq/m<sup>3</sup> ve havalandırması olmayan uranyum madenlerinde 37-3700 kBq/m<sup>3</sup> aralığında değiştii bildirilmektedir [20].

Radon gazı, uranyum çekirdeğinin bozunum ürünü olan radyumun kararlı özellikteki kurşuna dönüşümü sürecinde oluşur. Radyum-226'nın bozunumu ile 3,82 günlük bir yarı ömrü sahip Radon-222 meydana gelir. Oluşan radon gazı ise bozunum yoluyla alfa ışınması yaparak Polonyum-218'e dönüşür. Dönüşüm sonucu meydana gelen Polonyum-218'in ise 3 dakikalık bir yarı ömrü vardır. Radon gazı ifadesi bazı durumlarda sadece Radon-222 için kullanılmakla birlikte diğer iki doğal izotopu olan Toronun ifade biçimi Radon-220 aynı şekilde Aktinonun ifade biçimi ise Radon-219'dur (Şekil 2.4.) [21].



**Şekil 2.4. Uranyum çekirdeğinin bozunarak radon gazına dönüşümü ve radon gazının solunduktan sonra akciğerlerde bozunuma devam etmesi [22].**

Toron ( $^{220}\text{Rn}$ ) ve Aktinon ( $^{219}\text{Rn}$ ) aynı zamanda uranyumun da bozunum ürünleri olan izotoplardır. Radon gazı özellikle yer altı madenleri, mağaralar ve binalar gibi kapalı alanlarda yoğunlaşma yaparak topraktan ve kayalardan ortama yayılma eğilimindedir. Bu sebeple de halk sağlığını etkileyen en fazla iyonize radyasyon dozunu oluşturan kaynaklardandır [23]. Aynı zamanda radon gazına maruz kalınması akciğer kanserine neden olmaktadır ve genellikle binalarda biriktiği için sağlık üzerine büyük tehdit oluşturmaktadır. Radyoaktivitenin doğada oluşarak insan sağlığını etkilemesinin en büyük nedeni radon gazıdır. Radon gazının sebep olmasıyla maruz kalınan ortalama yıllık doz miktarı 1,3 mSv'dir. Bununla birlikte Avrupa Komisyonunun mesleki dozları belirlediği yenilenmiş Euratom Direktiflerinde bu değer yılda 1 mSv halk için ise yılda 0,3 mSv'dir [24]. Grafik 2.3.'de doğal radyasyon kaynaklarının dünya nüfusuna göre dağılımı görülmektedir.



**Grafik 2.3. Doğal radyasyon kaynaklarının dünya nüfusuna göre dağılımı [25].**

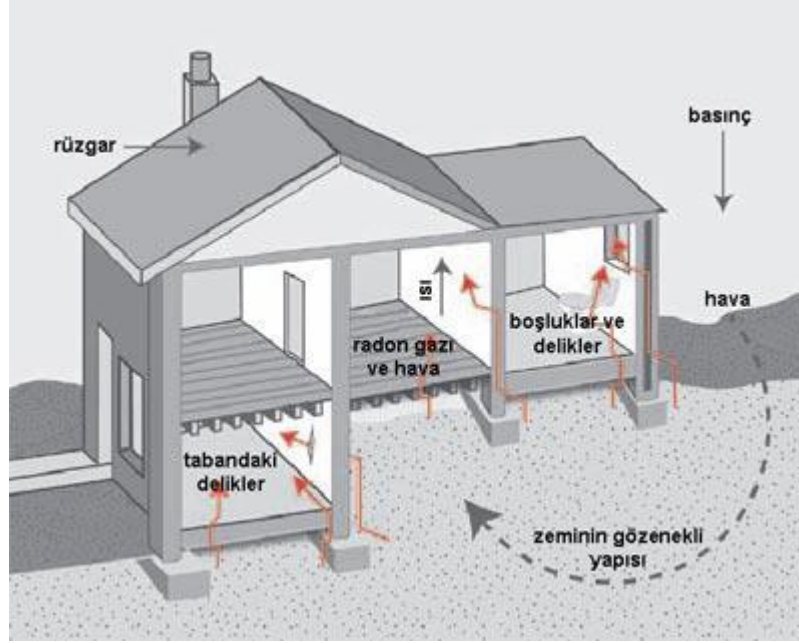
### 2.3.1. Radon Gazının Bina Ortamına Girişi

İnsanlar zamanlarını çoğunlukla kapalı ortamlarda geçirdiklerinden radon gazına maruz kalmaktadırlar. Bina içinde bulunan radon gazı; binalardaki zemin çatlakları, duvarlar arası boşluklar ve yapıdaki bağlantı noktaları gibi yerlerden girmektedir. Ayrıca bina yapmak için kullanılan inşaat malzemeleri, ısınma amaçlı ya da mutfakta kullanılan doğal gaz ve çeşme sularında bulunan radon gazı da bina içindeki radon gazı konsantrasyon miktarını artırmaktadır. Bilindiği üzere binalardaki radon gazı kaynağının çoğunluğunu, binanın temelinde bulunan çeşitli toprak ve kayalar oluşturmaktadır. Radon gazı topraktan yukarı doğru yükselerek, bina altında birikmekte ve burada bir basınç oluşturmaktadır. Binanın altında bulunan bu yüksek basınç sebebiyle gazlar duvarlardan ve yerden, özellikle boşluk ve çatlaklardan bina içine doğru sızarlar. Yapı malzemelerinde ve topraktaki <sup>226</sup>Ra miktarı, yapı malzemelerinin ve toprağın nem oranı, toprağa temas eden yapıların yüzey alanı, difüzyon potansiyeli, yalıtım özelliği, binada bulunan havalandırmanın kapasitesi, binanın zemini, iklim şartları, iç ve dış havanın basınç ve sıcaklık farkı gibi binalarda bulunan radon gazı konsantrasyon miktarını etkileyen ana unsurlardır [26].

Yapılan pek çok araştırma radon gazı konsantrasyon değerini; dış havada 7.5 Bq/m<sup>3</sup> olarak belirtirken binalar için ise bu değer 55 Bq/m<sup>3</sup> civarında olduğunu ifade etmektedir. Toprak ile yerküre merkezli birçok yapı malzemesi açık havada bulunan radon gazı miktarının hemen hemen 103-104 kat fazlasıdır. Aynı zamanda radon gazı su içinde çözünebildiğinden, bilhassa yer altı sularında eriyik halde olan radon gaz konsantrasyonu yaklaşık 4-1.000.000 Bq/L aralığında değişmektedir. Genel olarak, musluk gibi binalara su taşıyan sistemlerden akan su içinde bulunan radon gazının 10.000 de biri atmosfere karışmaktadır. Bununla birlikte radon gazının binalara giriş hızı, ortalama olarak topraktan ve yapı malzemelerinden 60 kBq/gün, sulardan 4 kBq/gün, dış hava ortamından 10 kBq/gün dür. Şekil 2.5.'de örnek bir bina içine radon gazının giriş yerleri gösterilmektedir [26].

Bina yapımında kullanılan inşaat malzemeleri, binalarda bir tür radyasyon kaynağı görevi görürler. Bu yapı malzemelerinde doğal bulunan radyumun, bina ortamlarında gama radyasyon doz oranını ve radon konsantrasyonunu artırıcı en büyük neden olduğu bilinmektedir. Özellikle fosfat türü kayaçların, inşaat malzemesi yapımında kullanılması, ortamdaki gama radyasyon dozunu artırmaktadır. Bina içi ışınlanmaların, dış hava ışınlanmaları ile karşılaştırılması yapıldığında ise inşaat malzemelerinin binadaki dozu % 40 ila % 50 oranında artırdığı görülmüştür. Tablo 2.5.'de bazı inşaat malzemelerinin radon gazı

konsantrasyonları verilmektedir. Tuğla ve beton bina yapımında kullanılan en yaygın inşaat malzemeleridir. Betonda olan radyum konsantrasyonu, tuğla ile karşılaştırıldığında daha az ancak radon gazının çıkış hızı oranı betonda daha yüksektir [27].



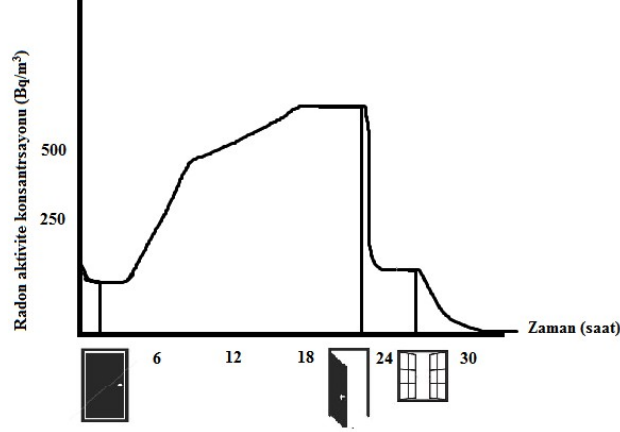
Şekil 2.5. Radon gazının bina ortamına giriş yerleri [26].

Kökenine bakıldığında kum ve topraktan oluşan yapı malzemelerinin bileşiminde de radyum ve uranyum mevcuttur. İnşaat sektörünün vazgeçilmez unsuru olan yapı malzemeleri barındırdıkları az miktarda uranyum ile bina ortamında radon gazı düzeyinin artmasına katkıda bulunan etkenlerdendir. Bu sebeple dış solunum olarak ifade edilen doğal bir mekanizma devreye girerek duvarlardan devamlı radon gazı çıkması suretiyle bina ortamında artan bir radon gazı konsantrasyonu meydana getirir.

Tablo 2.5. Bazı inşaat malzemeleri için radon gazı konsantrasyonları (Bq/kg) [26].

Malzeme Türü	Konsantrasyon Bq/kg	Malzeme Türü	Konsantrasyon Bq/kg
Granit	180	Ağaç	1,1
Uranyum Madeni Atıkları	4625	Doğal Alçı	2,9
Kireç Lime	33	Portland Çimento	45
Alçı Taşı	26	Nehir Kumu	44
Kireç Taşı	3	Deniz Kumu	7
Kalsiyum Silikat	2140	Beto	98
Kırmızı Tuğla	78	Kum Tuğla	82

Radon gazı ve havalandırma arasındaki ilişkiyi incelediğimizde kapı kapalı olduğunda radon gazının zamanla arttığı kapı açıldığında içeriye havanın girmesiyle radon gazı miktarında ani bir düşüşün yaşandığı görülmektedir (Şekil 2.6.).

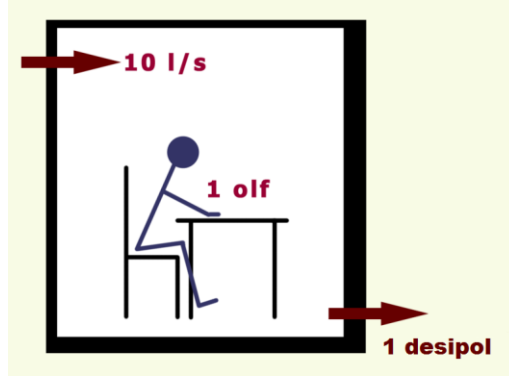


**Şekil 2.6. Radon gazı ve havalandırma arasındaki ilişki [28].**

Bina ortamında birikim yapan ve havalandırmayla azalma gösteren iç ortamdaki radon gazının kaynaklarından biri binanın inşa edildiği toprak ve kayadaki uranyumdur. Bu uranyumun doğal olarak parçalanmasıyla renge ve kokuya sahip olmayan radyoaktif bir gaz olan radon gazı salınır. Radon gazının ortamda varlığı ise bu sebeplerden anlaşılabilir. Bununla birlikte radon gazının ortamda olması çeşitli rahatsızlıklara yol açabildiği gibi dünyada sigaranın ardından akciğer kanserinin başlıca sebebidir. EPA'nın tavsiyelerine göre radon gazı miktarı 4 pci/L'yi (148 Bq/m<sup>3</sup>) aştığında azaltılması gerekir. Aktif toprak basınçlandırılması ve binanın havalandırılması, okullarda çok yaygın olarak kullanılan iki radon gazı azaltılması yöntemidir.

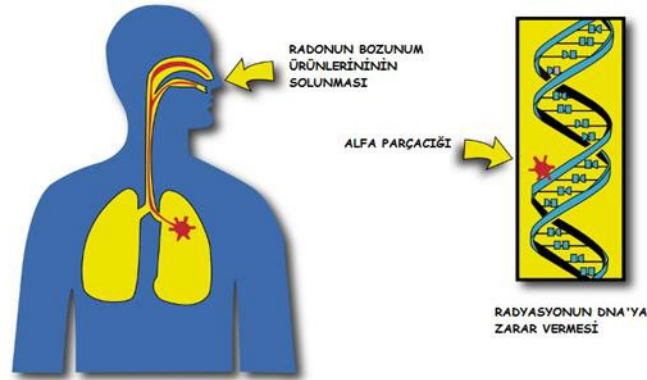
### **2.3.2. Radon Gazının Ofis Çalışanlarına Etkisi**

Ofis, bir hizmeti ya da bir işletmeyi idare etmek üzere organizasyonel işlerin yapıldığı alandır [29]. Bu alanlarda çalışanlar da ofis çalışanı olarak değerlendirilmektedir. Ofis çalışanları iç hava kalitesini olumlu ya da olumsuz etkileyen pek çok etmene maruz kalmaktadırlar. Bunun yanında ofis ortamında yer alan çoğu malzeme çok çeşitli kokular yaymaktadır. Bu kokuları insanlar desipol türünden algılarlar yani 1 olf koku üreten bir odaya 10 L/s taze hava verilmesiyle insan burnunun algılayabildiği kokudur (Şekil 2.7.). Pek çok gaz için ortam kokusu ayırt ediciyken radon gazı kokusuz olduğundan ortamda ayırt edilemez.



Şekil 2.7. Bir odaya 10 L/s taze hava verilmesi [17].

Ofis çalışanları iş zamanlarının tümünü kapalı ortamda geçirdikleri için radon gazına maruziyeti önemli bir sorun olarak gündeme gelmektedir. Çalışan radon gazını, bu gazın yer kabuğundan kolaylıkla sızabilmesi ve radon ürünleri olarak bilinen kısa ömre sahip parçacıklara bozunması sonucu solunum yolu ile vücuduna alır. Kısa ömre sahip bu ürünlerde alfa parçacıkları yayımı yapar. Oluşan bu atomlar, radon gazının bozunum ürünüdür ve elektriksel olarak yüke sahip oldukları için kapalı ortamda bulunan toz parçacıklarına yapışarak tutunabilirler. Ofis atmosferinde asılı olan bu toz parçacıkları ise kolaylıkla solunarak akciğerlere ulaşır ve burada tutunabilir. Solunan alfa parçacıklarında akciğer hücrelerinin DNA'sında zarara yol açabilir. Sonuçta DNA'da oluşan hasar, kansere kadar giden olaylar zinciri için bir ilk adımdır (Şekil 2.8.). Radon gazından korunmak için ise standart gaz ölçümleri için yapılan birtakım işlemlerden çok daha ileri analizler gereklidir [30].



Şekil 2.8. Radon gazının yaydığı alfa parçacıklarının solunması ile DNA yapısının zarar görmesi [31].

### 2.3.3. Dünyada ve Türkiye’de Kapalı Ortam Radon Ölçüm Çalışmaları

Literatür incelendiğinde kapalı ortamlarda radon gazı yoğunluğunun ölçülmesi ile ilgili birçok çalışma bulunmakla beraber herhangi bir radyasyon kaynağına maruz kalınması durumunda, bir yıl süresince alınacak radyasyon dozu olarak tanımlanan Yıllık etkin doz eşdeğeri (YEDE) ile ilgili sınırlı çalışmalar bulunmaktadır.

Bayraktar ve ark. [32] tarafından Süleyman Demirel Üniversitesi Sabancı Öğrenci Yurdunda yapılan bir çalışmada radon gazı konsantrasyonu  $39,3 \text{ Bq/m}^3$  olarak tespit edilmiştir. Bununla birlikte çalışmada radon gazı yıllık etkin doz eşdeğer hesaplamaları da yapılmıştır. Bina içi meşguliyet faktörü (BMF) yurt öğrencileri için 0,8 alınmış ve buna göre öğrencilerin alacakları radon gazı yıllık etkin doz eşdeğeri  $0,99 \text{ mSv/yıl}$  olarak hesaplanmıştır. Çalışanların ise günde 8 saat mesaiye buldukları göz önüne alındığında, maruz kalacakları doz miktarının  $0,41 \text{ mSv/yıl}$  değerinde olduğu saptanmıştır.

Değerlier ve Çelebi [33] tarafından Adana’da bina içi radon gazı konsantrasyonları mevsimsel olarak ölçülmüştür. Yaz dönemi için ortalama konsantrasyon  $25,8 \text{ Bq/m}^3$  kış dönemi için  $48,9 \text{ Bq/m}^3$  olarak bulunmuştur. Çalışmada yapılan radon gazı yıllık etkin doz eşdeğer hesaplamalarında bulunan sonuç ise  $0,9 \text{ mSv/y}$  dir.

Vucıcı ve ark. [34] Doğu Sırbistan’ın Kalna bölgesinde yer alan uranyum maden yataklarının bulunduğu alandaki binalarda yaşayan halkın radon gazı yıllık etkin doz eşdeğer hesaplamalarını yapmışlardır. Radon gazı yıllık etkin doz eşdeğerinin  $0,47 \text{ mSv}$ ’tan  $10,81 \text{ mSv}$ ’a kadar değiştiğini saptamışlardır.

Kürkçüoğlu ve ark. [35] tarafından Isparta ilindeki Yakaören ve Deregümü köylerinde yapılan çalışmada radon gazı konsantrasyonlarının Yakaören köyündeki meskenlerde  $69 \text{ Bq/m}^3$  ile  $465 \text{ Bq/m}^3$  arasında değiştiği ve ortalama radon gazı konsantrasyonunun ise  $181 \text{ Bq/m}^3$  olduğu saptanmıştır. Deregümü köyü için meskenlerdeki radon gazı ölçümlerinin ise  $46 \text{ Bq/m}^3$  ile  $271 \text{ Bq/m}^3$  arasında değerler aldığı ve ortalamanın  $120 \text{ Bq/m}^3$  olduğu tespit edilmiştir. Çalışma kapsamında radon gazı yıllık etkin doz eşdeğeri Yakaören ve Deregümü köylerindeki halkın zamanın %80’ini kapalı mekanlarda geçirdiği varsayılarak hesaplanmıştır. Böylelikle, radon gazı nedeniyle (bina içindeki havanın solunmasıyla) maruz kalınacak radon gazı yıllık etkin doz eşdeğerleri hesaplanmış ve yıllık doz ortalamalarının, Deregümü köyünde yaşayanlar için  $3,03 \text{ mSv}$  ve Yakaören köyündekiler için  $4,57 \text{ mSv}$  düzeyinde olduğu bulunmuştur.

Özbyay ve ark. [36] tarafından İzmir ilinin farklı ilçelerinde halkın radon gazına maruziyetinin belirlenmesi ile ilgili bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Buna göre Bayraklı'da bir ev 10,5 mSv/yıl, Karşıyaka'da iki ev 11,4 mSv/yıl, 12,3 mSv/yıl Bornova'da bir ev 11,9 mSv/yıl haricinde tahmin edilen radon gazı yıllık etkin doz eşdeğerleri güvenilir aralıkta bulunmuştur.

Chauhan [37] tarafından Haryana'da yapılan çalışmada evlerde radon gazı, toron ve onların ürünlerini izlemiştir. Ölçümde ikiz dozimetre kapları kullanılmıştır. SSNTD dedektör sistemi ile yapılan kaplarla alınan ölçüm sonuçları yerleşim bölgelerindeki Uranyum madenin varlığına göre değişmektedir. Uranyum madeninin olduğu bölgelerde çok daha yüksektir.

Gültekin ve ark. [38] Manisa ilinde toplam 23 binada yaptığı çalışmada radon gazı konsantrasyonları 47–154 Bq/m<sup>3</sup> arasında değişmektedir. Bu 23 binanın 9'u işyeri, 14'ü ise mesken (apartman dairesi). Bunların mesken ve işyeri olarak radon gazı konsantrasyon değişimleri incelendiğinde, 9 işyerinin radon gazı konsantrasyonu 56–146 Bq/m<sup>3</sup> arasında değişirken, meskenlerde bina içi radon gazı konsantrasyonu 47–154 Bq/m<sup>3</sup> arasında değişmekte olduğu görülmektedir.

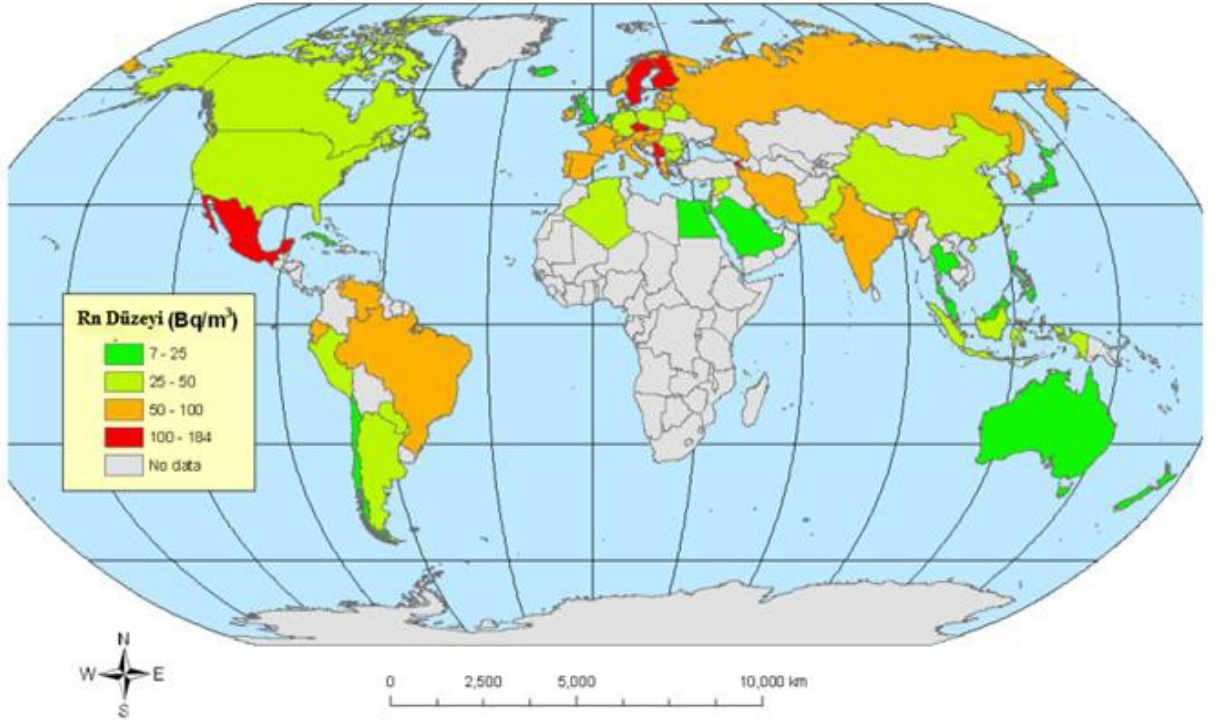
Oikawa ve ark. [39] Japonya'daki iş yerlerinde kapalı ortam radon gazı konsantrasyonunu ölçmek için yaptıkları çalışmada. Bina içi radon konsantrasyonunun 1,4 - 182 Bq/m<sup>3</sup> arasında değiştiği radon gazı yıllık etkin doz eşdeğerinin ise 0,42 – 0,52 mSv/y aralığında olduğunu bulmuşlardır.

#### **2.3.4. Dünyadaki ve Türkiye'deki Radon Gazı Çalışmaları ve Politikalarına Örnekler**

Bina içi radon gazı maruziyetinin sağlık üzerine olası etkilerini ilk olarak Dünya Sağlık Örgütü 1979 yılında ele almıştır. 1988 yılına gelindiğinde ise radon gazı IARC tarafından kanserojen olarak kabul edilmiştir. Ardından Dünya Sağlık Örgütü 1993 yılında üye ülkelere radon gazının sağlık üzerine etkilerini kontrol altına alma yolunda ilk resmi çağrısını yapmıştır. Günümüze gelindiğinde ise 2005 yılında, 30 ülkenin katılım gerçekleştirdiği radon gazının sağlık üzerine olumsuz etkilerinden korunma yöntemlerini araştırmıştır. Dünya sağlık örgütünün 2005 yılında yürüttüğü uluslararası radon gazı projesi kapsamında farklı ülkelerden gelen veriler doğrultusunda ülkelerin radon gazı düzeylerinin aritmetik ortalamasını gösteren bir dünya haritası oluşturulmuştur (Şekil 2.9.). Bununla birlikte 2009 yılında Ulusal Kontrol Programı radon gazı kontrolünün geliştirilmesi amacıyla bir kitap yayımlamıştır. Dünya Sağlık Örgütü ülkelere önleyici tedbirler ile ıslah edici tedbirler açısından etkin olanını seçmeleri için maliyet etkinlik analizi yapmalarını, ülke



genelinde yapılan araştırmalar ile ev içi radon gazı seviyelerinin tespitini, coğrafik yapılarına göre radon gazı haritalarının çıkarılmasını ve ulusal radon gazı seviyeleri eşik değerlerinin tespit edilmesini öncelikli olarak önermiştir. Tüm bu gelişmeler ile yıllardır bina içi maruziyetinin kanserojen olduğu bilinen radon gazı ile etkileşim konusu ne yazık ki ancak son yıllarda devletlerin gündemine gelmeye başlamıştır [40].



**şekil 2.9. Ülkelerin radon gazı düzeylerinin aritmetik ortalaması [41].**

Bununla beraber, ABD, İngiltere, Norveç ve İsviçre’de ev alım satımlarında radon gazı ölümleri yapılmaktadır. Aynı zamanda Finlandiya Radyasyon Güvenliği Kurulu ’da yeni yapılan binalarda gerekli radon gazı önleyici tedbirlerin alınması gerektiğini belirtmiştir. Yapılan literatür tarama çalışmasında en fazla kontrol programının ABD’de yapıldığı görülmüştür. Avrupa Birliği ye ülkelerinde ise konuyla alakalı çalışmalar yeni yeni başlamış ve İsveç dışında ülke genelini kapsayan ulusal bir kontrol programı ile karşılaşılmamıştır. İsveç ise kısa bir süre önce ilk defa 2012- 2020 radon Kontrol Programını yayınlamıştır [41]. Ülkelerin yürüttüğü bilimsel çalışmalara göre belirlenen ortalama radon gazı konsantrasyonlarını Tablo 2.6.’da göstermek mümkündür. Aynı zamanda her ülkenin ve belirli kuruluşların da kendi radon gazı sınır değerleri bulunmaktadır (Tablo 2.7).

**Tablo 2.6. Bazı ülkeler için ortalama radon gazı konsantrasyon değerleri (Bq/m<sup>3</sup>) [25].**

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	<b>Türkiye</b>	<b>52</b>
Finlandiya	120	Kanada	34	Yunanistan	73

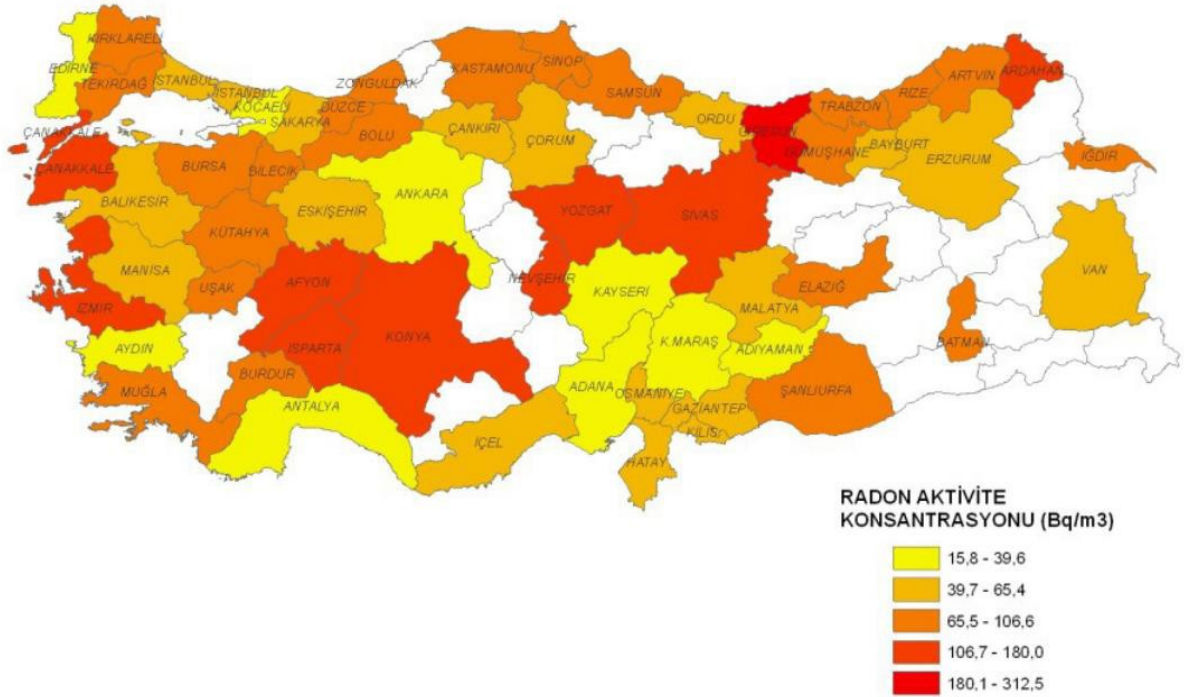
**Tablo 2.7.Radon gazı için konsantrasyon limitleri (Bq/m<sup>3</sup>) [25].**

ABD	150	Hindistan	150	Norveç	200
Almanya	250	İngiltere	200	Rusya	200
Avustralya	200	İrlanda	200	<b>Türkiye</b>	<b>400</b>
Çin	200	İsveç	200	AB Ülkeleri	400
Danimarka	400	Kanada	800	ICRP	400
Fransa	400	Lüksemburg	250	WHO	100

#### 2.3.4.1. Türkiye

Radon gazı ile ilgili ülkemizdeki ilk çalışmalar 1984 yılında “Türkiye’de Konutlarda Radon Ölçümü Çalışması” başlığıyla TAEK tarafından yapılmıştır. Çalışmalar sonunda 2007 yılına gelindiğinde toplamda 54 il olmak üzere, 4337 evde radon gazı ölçümü yapılarak ortalaması 74 Bq/m<sup>3</sup> olan bir değer bulunmuştur. Sonuçlar değerlendirildiğinde görülmüştür ki evlerin %99’unun radon gazı konsantrasyonu 200 Bq/m<sup>3</sup>’ten düşük değerde olup TAEK sınır değeri olan 400’ü aşmadığı saptanmıştır. Bunun yanı sıra, “TUBİTAK Marmara Araştırma Merkezi” tarafından devam eden çalışmalar söz konusu olmakla beraber pek çok ölçüm güvenilir aralıktadır. Ancak coğrafi yapıdan ötürü Armutlu gibi bazı kaplıçalarda yüksek

değerler elde edilmiştir. TAEK tarafından ülkemizdeki yapı malzemelerinde bulunan radyoaktiviteyi belirlemek için yapılan çalışmada Türkiye'nin birbirinden farklı jeolojik bölgeleri ele alınmış ve buralardan temin edilen 33 çeşit yapı malzemesini yansıtan 1033 yapı malzemesi örneğinin  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  ve  $^{232}\text{Th}$  analizleri ile aktivite konsantrasyonları ölçülmüştür [40]. Bununla birlikte Türkiye'deki illere göre evlerde bulunan ortalama radon gazı konsantrasyonları TAEK tarafından haritalandırılmıştır (Şekil 2.10).



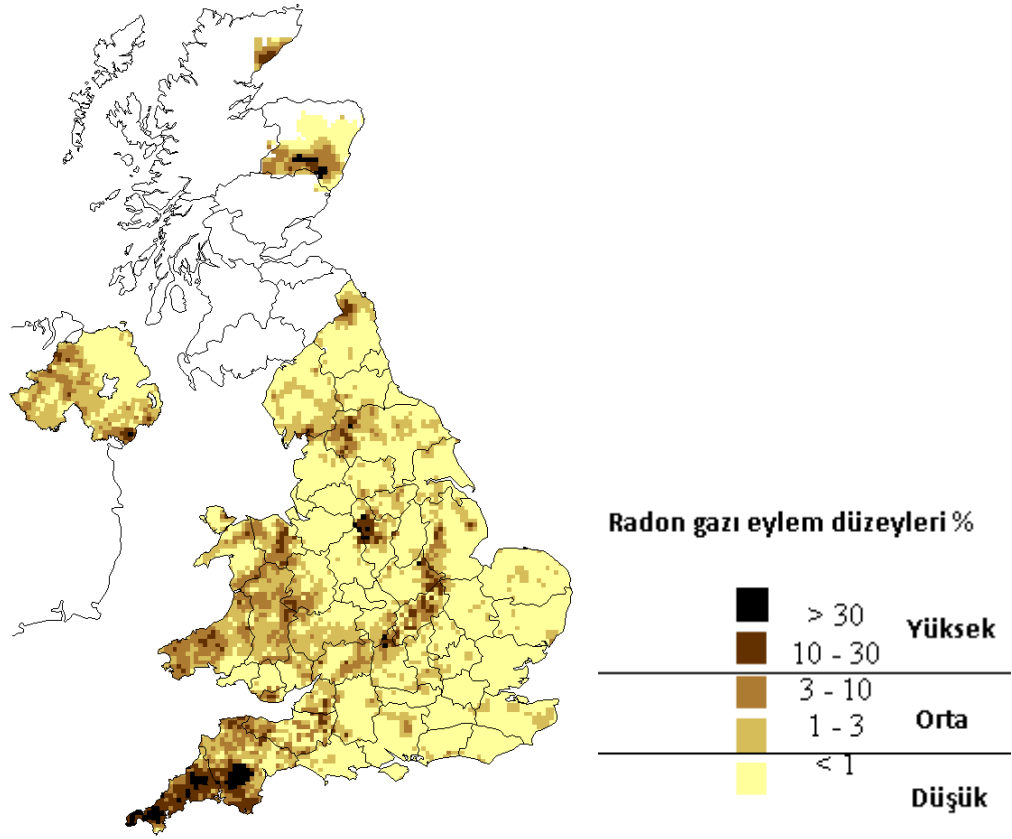
**Şekil 2.10. Türkiye'deki illere göre ortalama radon gazı konsantrasyonları [42].**

“Yüksek, istikrarlı ve kapsayıcı ekonomik büyümenin yanı sıra hukukun üstünlüğü, bilgi toplumu, uluslararası rekabet gücü, insani gelişmişlik, çevrenin korunması ve kaynakların sürdürülebilir kullanımı” gibi unsurları kapsayacak şekilde tasarlanan Onuncu Kalkınma Planında (2014-2018) iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili ifadeler de yer almaktadır. Türkiye'nin iş sağlığı ve güvenliğine dair geliştireceği politika “Çalışma hayatında iş sağlığı ve güvenliği kültürü geliştirilecek, denetim ve teşvik uygulamaları ile iş sağlığı ve güvenliği standartlarına uyum artırılabilecek ve bu alanda yeterli sayı ve nitelikte uzman personel yetiştirilecektir.” buna göre önümüzdeki on yıl içinde radon gazının sağlık üzerine etkileri anlaşılabilir ve mevzuatta yerini alacağı öngörülebilir.

#### 2.3.4.2. İngiltere

İngiltere radon gazı programında iki ana konuyu ele almıştır. Bunlardan ilki evlerde bulunan yüksek radon gazı düzeylerinin iyileştirilmesi, ikincisi ise yeni yapılan binalarda önlemeye yönelik ölçümler yapılmasıdır. İngiltere'nin asıl politikası 1980'lerin başında yaklaşık olarak 2100 evde yapılan "İngiltere ulusal araştırmasına" dayanmaktadır. Yapılan bu çalışmada, 10 kez ölçüm alınarak ortalama bir değer bulunmuş ve aktif radon gazı düzeyleri belirlenmiştir [43].

1993 yılı araştırmaları, evlerdeki radon gazı yayılımı açısından iyileştirilmenin %10 gibi bir değerden %20'ye yükseldiğini göstermiştir. Bununla birlikte İngiltere'nin son radon gazı programı daha fazla yerel uzmana ihtiyaç duymaktadır. Bu programın başarısı yerel sorumluluğa bağlı kalmasına rağmen, yine de yararlı olacağı düşünülmektedir. Bu bakımdan değerlendirildiğinde, yerel uzmanların olduğu bölgelerde %25-30 oranında radon gazı ölçümleri artış göstermiştir. Yeni program sayesinde evlerde radon gazının birikiminin ve yayılımının önüne geçilmesi ile alakalı önerilerin arttığı ve buna bağlı olarak bilinç düzeyi yükselen insanların iyileştirmeye ilgili yöneliminin gelişmiş olduğu gözlenmiştir [43]. Bununla birlikte İngiltere genelinde yapılan ölçümler sonucunda binalarda radon gazı eylem düzeyi olan 200 Bq/m<sup>3</sup> değerini aşan ve bu değer altında kalan bölgeler için İngiltere bölgesel radon gazı haritası oluşturulmuştur (Şekil 2.11.).



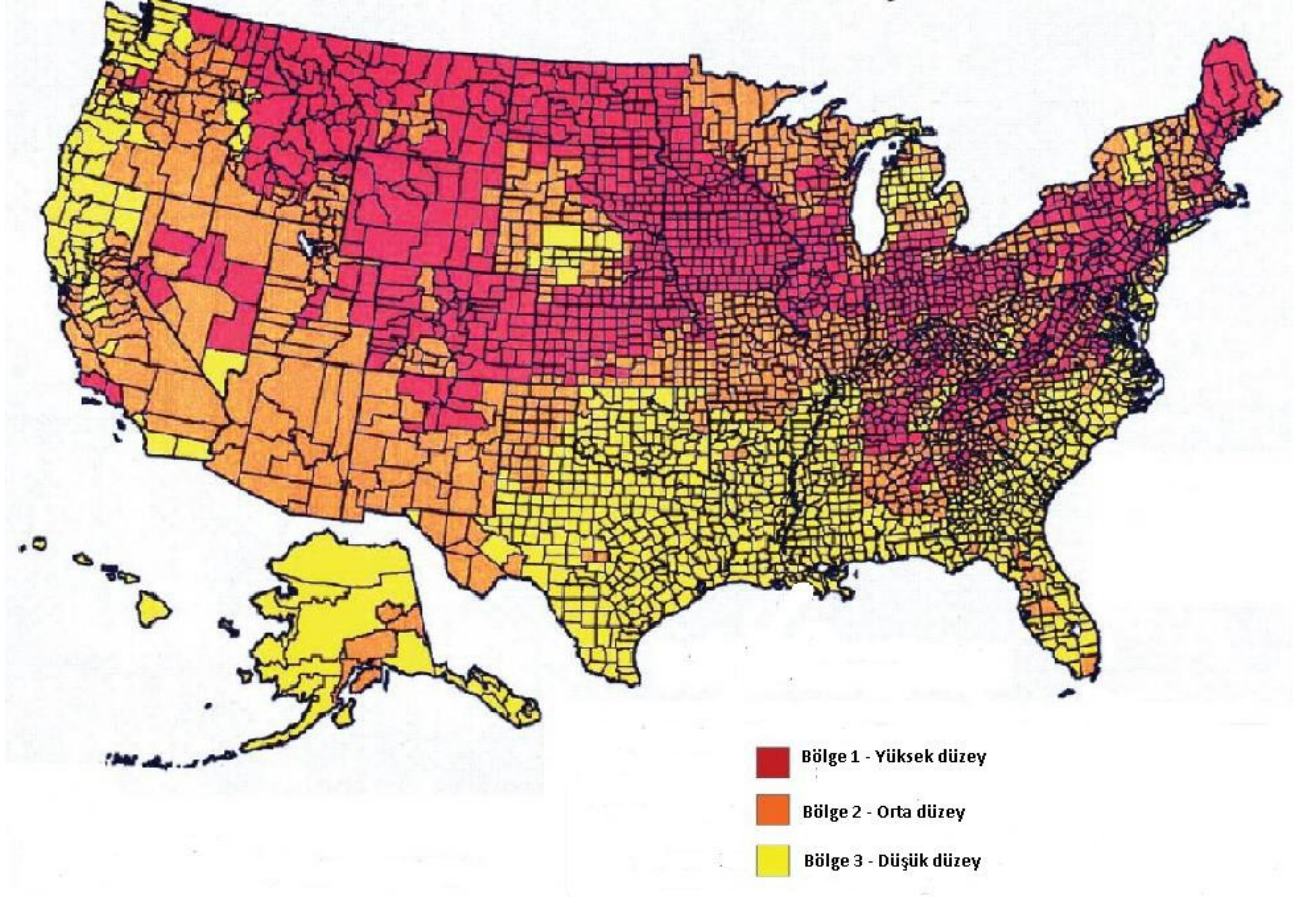
Şekil 2.11. İngiltere bölgesel radon gazı haritası [44].

### 2.3.4.3. ABD

EPA tarafından ABD’de bölgeler radon gazı konsantrasyonuna göre haritalanmıştır. Bu haritanın amacı ulusal, eyalet ve yerel yöneticilere doğal kaynakların ve binaların radon maruziyetine karşı dayanıklılığı konusunda yardımcı olmaktır. Harita radon gazı konsantrasyonuna göre üç bölgeye ayrılmıştır; birinci bölge kapalı ortam radon gazı konsantrasyonu 4 pCi/L den fazla olan, ikinci bölge 2 ve 4 pCi/L arasında ve üçüncü bölge 2 pCi/L’den daha az olan yerlerdir (Şekil 2.12.). Bölgelere bakılmaksızın tüm binalarda radon gazı ölçümü yapılması yasalara göre zorunludur.

Eyalet Yasama Ulusal Konferansı ve Çevre Hukuku Enstitüsü’ne göre eyaletlerin en az dörtte üçü radon gazı yasanın bazı maddelerini benimsemişlerdir. Ancak, yeni radon gazı mevzuatına geçişi 1990’ların başından beri azalmıştır. Kentucky Üniversitesi, Eyalet Yasama

Ulusal Konferansı ve Çevre Hukuku Enstitüsü dahil bazı araştırma kuruluşları ve akademik kuruluşlar radon gazı mevzuatının bir kısmını benimsemiştir.

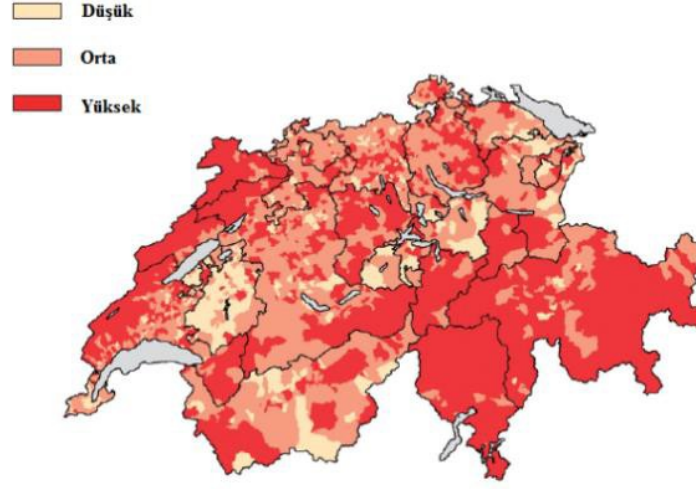


Şekil 2.12. USA bölgesel radon gazı haritası [45].

#### 2.3.4.4. İsviçre

İsviçre'nin belirlediği radon gazı programı kapsamında yapılan araştırmalar sonucunda, radon gazının temel kaynağı toprak olarak tanımlanmıştır. İsviçre'de yapı malzemeleri radon gazı konsantrasyonunun yükselmesine neden olmamaktadır ve suda bulunan çözülmüş radon gazı değeri ise düşüktür. Bununla birlikte, İsviçre radon gazı programının iki temel amacı vardır: radon gazının yüksek konsantrasyonlarda birikim yaptığı binalardaki radon gazı düzeylerini azaltmak ve yeni binalar yapılırken konsantrasyonun yüksek olmaması için önlem olarak yüksek konsantrasyonlara sahip binaların yapımına izin vermemek. Bu önlemleri alabilmek için İsviçre, bölgesel radon gazı haritası oluşturarak düşük, orta ve yüksek seviyede radon

gazı konsantrasyonlarına sahip bölgeleri belirlemiştir (Şekil 2.13.) . İsviçre'nin nükleer korunma hakkındaki yönetmeliğinin amacı, “yeni binaların kirlenmesini önlemek, yaşanılan ve çalışılan alanlar arasında temiz bir sınır geliştirmek, iyileştirici programlar oluşturmak, konfederasyon ve eyaletler arasında iyi bir işbirliği sağlamaktır” [43].



Şekil 2.13. İsviçre bölgesel radon gazı haritası [46].

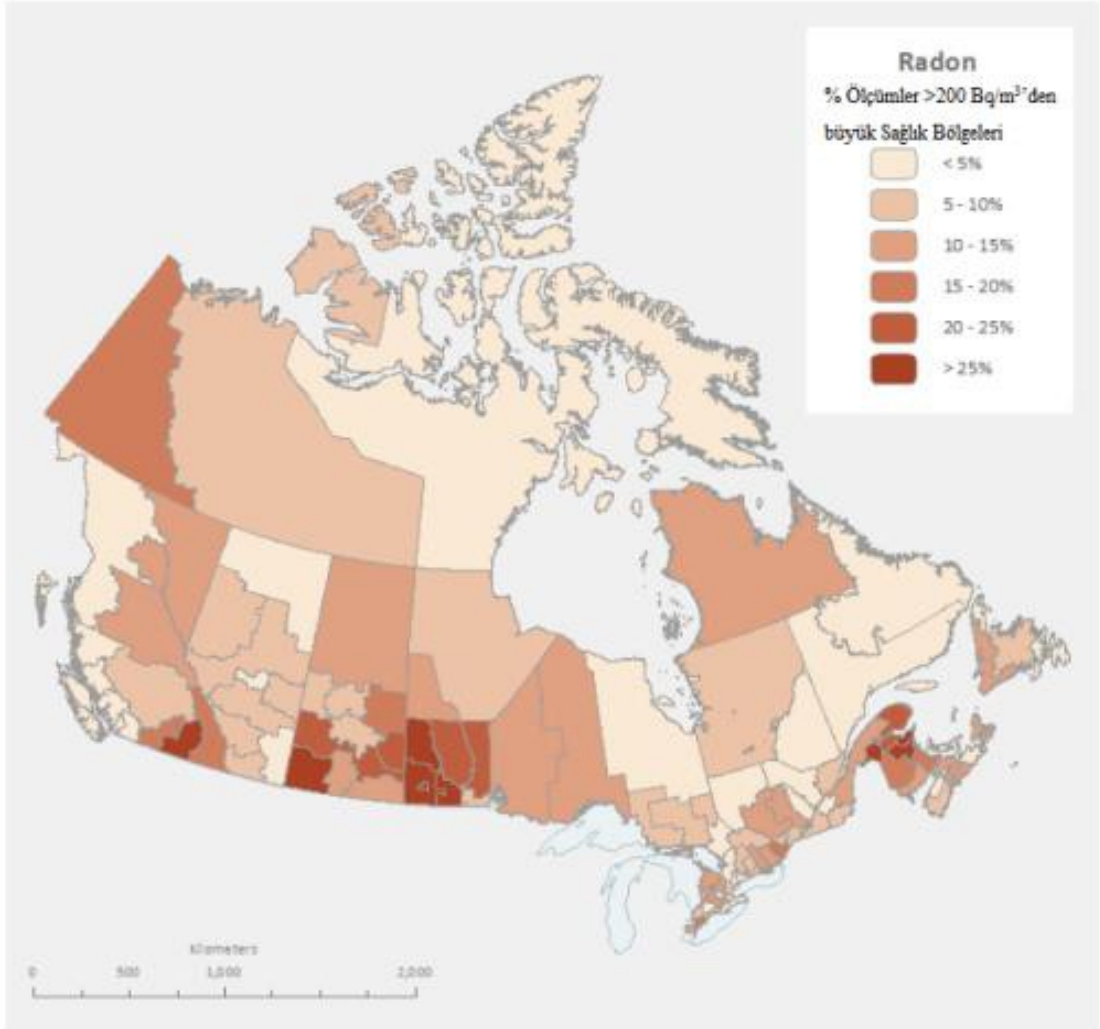
#### 2.3.4.5. Brezilya

Brezilya tropikal iklimine ve binaların iyi havalandırılmasına rağmen, halkın yaşadığı alanlarda yüksek düzeyde radon gazı konsantrasyonu gözlenebilen bir ülkedir. Bunun nedeni ise yüksek uranyum barındıran yapı malzemeleri ve toprağıdır. Son zamanlarda ise, radon gazı konsantrasyonu 1000 Bq/m<sup>3</sup>'den yüksek olan çalışma ortamlarında, iyileştirme yapılması için tavsiyede bulunan ulusal bir yönetmelik onaylanmıştır. Aynı zamanda ulusal bir proje ile uranyum madeni haricindeki yeraltı madenlerinde de bulunabilecek, radon gazı konsantrasyonunu tespit etmek için girişim başlatılmıştır [43].

#### 2.3.4.6. Kanada

Kanada'da havada bulunan ortalama radon gazı konsantrasyonu 10 Bq/m<sup>3</sup> tür. 2009'dan 2011'e kadar ulusal bina içi radon gazı konsantrasyon ölçüm çalışmalarının sonucu Dünya Sağlık Örgütü'nün sınır değeri olan 100 Bq/m<sup>3</sup>'ün üzerindedir. Yaklaşık olarak evlerin %7'si Kanada'nın alt limiti olan 200 Bq/m<sup>3</sup>'ü aşmaktadır. 1999 yılında başlayan radon gazı rehberi direkt olarak zorlayıcı olmamakla beraber daha çok il bazında olmuştur. Daha sonra

Radyasyondan Korunma Komitesi tarafından federal, il bazında ve bölgesel olarak ulusal radon gazı rehberini de içeren radyasyon korunma standardı geliştirilmiştir. Bununla birlikte ulusal rehberde belirtilen  $200 \text{ Bq/m}^3$ 'ün aşıldığı yerler için iyileştirme ya da radon gazı testlerinin zorunlu olması için uygulanabilir bir yasal düzenleme mevcut değildir. Kanada'da radon gazı politikası Çevre Hukuku Derneği tarafından üç kritere göre sürdürülmektedir. Kriterleri uygulayabilmek için Kanada bölgesel radon gazı haritası oluşturulmuştur (Şekil 2.14.). Bu kriterlere göre Kanada'da inşaat yapım aşamasının devam edebilmesi için gerekli olan Quebec Yapı Kodu radon gazı test sonuçlarını zorunlu kılmaktadır, bunun yanında radon gazı test sonuçları  $800 \text{ Bq/m}^3$ 'ün üzerindeyse iyileştirme yapılır ve ancak belirli yerler yüksek radon gazı seviyeleri yüzünden riskli olarak kabul edilir [47].



Şekil 2.14. Kanada bölgesel radon gazı haritası [47].



#### **2.3.4.7. Çin Halk Cumhuriyeti**

Çin’de bulunan Ulusal Standart Kurumu radon gazı düzeylerini yeni inşa edilen binalar için 200 Bq/m<sup>3</sup> ve mevcut yapılar için ise 400 Bq/m<sup>3</sup> olarak sınırlamıştır. Çin, WHO’nun radon gazı projesinin bir parçası olmayı planlamaktadır. Fakat binalardaki radon gazı düzeylerinin haritalanmasını bitirmek için ise diğer ülkelerden teknik destek istemektedir [43].

#### **2.3.4.8. Finlandiya**

Finlandiya’da bulunan sağlık uzmanları, binalardaki radon gazı konsantrasyonunu araştırmak ve bina sahiplerini radon gazı düzeylerini azaltmak konusunda bilgilendirmekten sorumludur. “Finlandiya Ulusal Bina Kodlama Programı” çerçevesinde radon gazı ile alakalı düzenlemeler yapılmakta olup bina sahipleri radon gazı hakkında bilgilendirilmekte ve binanın yalıtımı ile ilgili yardım edilmektedir [43].

#### **2.3.4.9. İsveç**

İsveç’teki yönetmelikler, radon gazının emisyon değerini var olan binalar, yeni binalar ve halka açık bütün binalarda 200 Bq/m<sup>3</sup> değerinde sınırlamıştır. İşyerleri için ise bu sınır değer 400 Bq/m<sup>3</sup>’tür. Su düzeylerine bakıldığında ise tüketime uygun olan sular için 100 Bq/litre’den az bir değer olarak belirlenmiştir. Bununla beraber, radon gazı için geçici olan hedefler 1999’da “İsveç Parlamentosu” tarafınca kabul edilmiştir [43].

#### **2.3.4.10. Slovenya**

Günümüze kadar Slovenya Sağlık Bakanlığı’nın yanı sıra Eğitim, Bilim ve Spor Bakanlığı’nın yardımıyla 730 gündüz bakım evi ve anaokulunda (1994- 1998) ve 890 lisede ve ilkokulda (2000-2001) bina içi radon gazı ölçüm çalışmaları yapılmıştır. Sonuçlara bakıldığında binaların %69’unda saptanan değerler 100 Bq/m<sup>3</sup>’ün altındadır, yaklaşık olarak %2’sinde 1000 Bq/m<sup>3</sup> den ise yüksektir. Genellikle yüksek olan değerlere karstik ve alüvyon alanlarda rastlanmıştır. Buna göre yerden yukarıya doğru radon gazının çıkışı, boşluklar ve kırıklar ile kolaylaşmaktadır. Sonuçta daha yüksek radon gazı miktarı beklenen radyumca zengin mineral ve termal suların olduğu alanlarda, bu gibi bir durum gözlenmemiştir [43].

#### **2.3.5. AB Mevzuatı**

Radon gazı kontrolü, Avrupa Birliği ve diğer Avrupa ülkelerinde 1987 yılında konutlarda ve işyerlerinde radon gazı maruziyetinin akciğer kanserine sebep olmasıyla ilgili olarak

yayımlanan ICRP – 50 önerilerine göre düzenli olarak yapılmaktadır. Bu konu ile ilgili düşünceler 1990 yılında yayımlanan kapalı alanlarda halkın radon gazına maruziyetine karşı korunması hakkındaki (90/143/Euratom) sayılı Avrupa Komisyonu'nun tavsiye kararlarında ve ICRP – 60'ta hayata geçirilmiştir. Kısaca söylemek gerekirse, hali hazırda var olan binalarda kapalı ortam maruziyet düzeyleri 20 mSv/y (400 Bq/m<sup>3</sup>'e karşılık gelen), ancak yeni binaları radon gazı maruziyetinden korumak için bu oran 200 Bq/m<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir. Aynı zamanda risk göstergelerini tanıtmak ve kamuyu bilgilendirmek için de bu bilgiler yayımlanmıştır. Bundan sonra, bina malzemelerinde radon gazının varlığını sınırlayan ve özellikle radon gazı eğilimli alanlar olarak tanımlanan yerlerde bulunan işyerleri için 10 mSv/y üzerinde müdahalenin zorunlu olduğu ICRP – 65 geliştirilmiştir. İşyerleri ile ilgili kavramlar 96/29/Euratom Konsey Direktifi'nde belirtilmektedir. Radon gazına karşı temel koruma prensipleri ICRP – 103'e dayanan 2013/59/Euratom BSS Konsey Direktifi'nde görüşülmüştür ve güncellenmiştir. Yeni BSS'nin etkisinin birçok AB üyesi devlet için önemli olması beklenmektedir. Çünkü sadece aktif çalışanların değil aynı zamanda halkın radon gazına maruziyetinin azaltılması ile ilgili zorlayıcı düzenlemeler ilk kez uygulanmaktadır. Bununla birlikte havadaki yıllık ortalama radon gazı aktivite konsantrasyonunun maksimum değeri 300 Bq/m<sup>3</sup>'e düşürülmektedir. Ayrıca diğer Avrupa Ülkeleri de son ICRP ve AB yayınlarının düşük radon gazı maruziyeti yaklaşımını benimsemektedir. 1990'dan bu yana, ulusal strateji geliştirme yaklaşımları ve düzenlemeleri Avrupa Ülkeleri'nde farklılık göstermekteydi. Yeni BSS'nin gerektirdiği ulusal radon gazı eylem planı geliştirildiğinde bu mevcut farklı yaklaşımlar arasında güçlü noktaları belirlemek faydalı olacaktır. Aynı zamanda Avrupa'daki radon gazı düzenlemeleri ERA çalışma grubu tarafından tanımlanmaktadır [48].

Bununla birlikte Avrupa Komisyonu konutlardaki kabul edilebilir radon gazı düzeylerinin 1990'daki (1990 EC) tavsiye kararlarında yayınlamıştır. Komisyon 1996 yılında iyonlaştırıcı radyasyondan kaynaklanan tehlikelere karşı işçi sağlığının ve halkın korunması için temel güvenlik standartlarını ortaya koyan Konsey Direktifi 96/29 / EURATOM yayınlamıştır, radon gazının izlenmesinin gerekliliği ve işyerinde radon gazı maruziyetine karşı düzeltici önlemler alınması ile ilgili tavsiye kararlarını da 97'de yayınlamıştır (1997 EC).

### **2.3.5.1. AB Mevzuatının Gereksinimleri**

EURATOM ya da AAET olarak bilinen Avrupa Atom Enerjisi Topluluğu Avrupa Birliği'nden bağımsız bir şekilde 1957 senesinde, Avrupa Ekonomi Topluluğu'nun da kurulmasının öngörüldüğü Roma Antlaşması'nın imzalanmasıyla kurulmuştur. Faaliyetlerine

başladığı günden beri nükleer alanda, tüm paydaşlarının ortak bir bilim ve teknoloji stratejisi oluşturması yönünde çalışmalarına devam etmektedir. Günümüzde gelinen noktaya bakıldığında söz konusu stratejilerin ve politikaların oluşturulup Avrupa düzeyinde uyumlaştırılma çalışmalarında önemli bir görev üstlenmiş ve çok yol kat etmiştir. Aynı zamanda AAET'nin yayımladığı yönerge ve direktifler Birliğin ihtiyaç duyduğu nükleer güvenlik ile radyasyondan korunma temel standartlarının yasal dayanaklarını oluşturmaktadır. Yeni oluşturulan direktif ise, tüm çalışanları ve halkı iyonlaştırıcı radyasyonun sebep olduğu sağlık tehlikelerine karşı korumak ve önlemleri belirtmek için, tek bir tip temel güvenlik standardının oluşturulmasını sağlar. Günümüze kadar kullanılan 96/29/EURATOM sayılı “Temel Güvenlik Standartları Direktifi” ile her Üye Devlet emredilen temel standartları uyumlaştırarak eğitim, öğretim ve mesleki eğitim ile ilgili gerekli tedbirlerin alınması için düzenleyici ya da idari yaptırım yoluyla uygun önlemleri gerektirmekteydi. Ancak bu direktif, 90/641/EURATOM “Dışarıda Çalışanların Radyasyondan Korunması Direktifi”, 97/43/EURATOM “Tıbbi Maruziyet Kaynaklı Radyasyondan Korunma Direktifi”, 89/618/EURATOM “Acil Durumlarda Kamunun Bilgilendirilmesi Direktifi”, 92/3/EURATOM Direktifi ile 1493/93 “Radyoaktif Maddelerin Taşınması ve Radyoaktif Atıklar Yönetmeliği” ve 737/90 - 770/90 “Gıda Maddelerinin Radyoaktif Kirlenmesi Yönetmelikleri” gibi birçok direktif ve yönetmelikle desteklenmekteydi. Tüm bunları tek bir çatı altında toplamak için 5 Aralık 2013 tarihi ile 2013/59/EURATOM “İyonlaştırıcı Radyasyonun Neden Olduğu Tehlikelere Karşı Temel Korunma Standartları” direktifi Avrupa Birliğinin Resmi Gazetesi'nde 17 Ocak 2014 tarihinde yayımlanarak yürürlüğe girerken söz konusu 96/29/EURATOM ve bunun destekleyici direktifleri de yürürlükten kaldırılmıştır. Sonuç itibarıyla tüm direktifler tek bir direktif içinde birleştirilmiş ve böylece konu bütünlüğü de sağlanmıştır. Radyasyondan korunma ve temel nükleer güvenlik konularında Türkiye'de de “yasal altyapı inceleme ve değerlendirme dokümanı” Avrupa Birliği tarafından 5 Aralık 2013 tarihinde yayımlanan 2013/59/EURATOM “İyonlaştırıcı Radyasyonun Neden Olduğu Tehlikelere Karşı Temel Korunma Standartları” direktifine dayanılarak hazırlanmıştır. Bahsi geçen direktifin amacı “*mesleki, tıbbi ve kamunun maruziyet durumlarında iyonize radyasyondan kaynaklanan tehlikelere karşı bireylerin sağlığının korunması için tek tip temel güvenlik standartlarını belirlemek*” tir. Bu hükümler ise radyasyondan korunma bakımından iyonlaştırıcı radyasyonun söz konusu olduğu mevcut durumlarda, planlı veya acil maruziyet durumlarında ya da uzun vadede insan sağlığının korunmasını amaçlayan çevre ile alakalı uygulamalar için geçerlidir [49]. Uygulama alanları ise özellikle:

(a) Radyoaktif maddeleri yükleme ve boşaltma işleri, Avrupa Birliği'ne ihracatı ve ithalatı, radyoaktif maddelerin endüstride üretimi, kullanımı, işlenmesi, taşınması, depolaması, muhafazası ve bertarafı

(b) İyonlaştırıcı radyasyon yayımı yapan elektrikli ekipmanın üretimi ile işletilmesi,

(c) Kamunun ya da çalışanların doğal radyasyona maruz kalmasında ciddi bir artışa neden olabilecek faaliyetler, özellikle;

1 – Hava yolu ile uzay aracı çalışanları (mürettebat maruziyeti)

2 – Doğal olarak yapısında radyoaktif madde içeren malzemelerin işlenmesi

d) Çalışanların veya kamunun bir acil durum ya da insan faaliyetleri sonucunda uzun süreli iç radon gazına maruziyeti ve yapı malzemelerinin sebep olduğu dış maruziyet durumları,

(e) Kamunun veya çalışanların sağlığını korumaya yönelik önlemleri garantiye almayı hedefleyen acil maruziyet durumlarına hazır bulunma, müdahaleye hazırlanma ve acil durumları idare etme çalışmalarını içermelidir.

Ancak direktif gereği:

(a) İnsan vücudunda mevcut olan radyonüklitler ile yeryüzü seviyesinde bulunan kozmik radyasyon olmak üzere doğal düzeydeki radyasyona maruz kalınması durumlarında,

(b) Yaptıkları iş gereği uzay mürettebatı ve hava yolları dışında çalışanların ya da kamunun kozmik radyasyona maruz kalması durumlarında,

(c) Bozulmamış yer kabuğunda bulunan radyonüklitlerden dolayı yerüstü maruziyetin söz konusu olduğu durumlarında uygulanmayacaktır [49].

2013/59/EURATOM Direktifi'nin Getirdiği Temel Gereksinimler:

Madde 9 “Mesleki doz sınırı; tüm mesleki uygulamalardan kaynaklı maruziyeti, işyerindeki radon gazına maruziyetin ve diğer radyasyona maruz kalmanın bir toplamından oluşturulmalıdır ve doz limitleri bir yıl için 20 mSv, arka arkaya 5 yılın ortalaması 20 mSv’i geçmemek koşuluyla yetkili birimin izniyle bir yıl için en fazla 50 mSv olmalıdır. Göz merceği için eşdeğer doz limiti 20 mSv ve yetkili birimin izniyle bir yıl için maksimum 50 mSv; etkilenen bölgeden bağımsız 1cm<sup>2</sup> lik alandaki deri için izin verilen en yüksek doz limiti 500 mSv ve acil durumlarda eşdeğer doz limiti 500 mSv olmalıdır.”

Madde 31 “Radyasyona herhangi bir şekilde maruz kalma durumunda özellikle acil durum çalışanları, kirlenmiş alan, bina ve diğer yapıların iyileştirilmesinde çalışan işçiler, çalışmaları esnasında radon gazına maruz kalan işçilerin korunması için sorumlulukların net bir şekilde tahsisi ve olası maruziyet bilgilerine ulaşım sağlanmalıdır.”

Madde 54 & 74 “İşyerlerindeki ve yerleşim yerlerinde radon konsantrasyonunun referans değerleri yetkili makamlarca belirlenmelidir. İşyerlerinin zemin ve bodrum katlarında radon gazı ölçümü yapımı/ yaptırılması sağlanmalıdır. Yıllık ortalama konsantrasyon 300 Bq/m<sup>3</sup>’ü geçmemesi sağlanmalıdır. Bu değer üstünde ise yetkili makamlara bilgi verilmesi sağlanmalıdır.”

Madde 103 “Toprak, inşaat malzemeleri veya sudan radon gazı girişine izin veren evlere, kamu erişim ve halka açık herhangi bir işyeri veya binalarda radon gazına maruziyetten kaynaklı uzun vadeli risklerin ele alınarak ulusal bir eylem planı hazırlanması sağlanmalıdır. Bu eylem planlarının düzenli olarak güncellenmesi sağlanmalıdır. Radon gazının bu alanlara girmemesi için uygun tedbirlerin aldırılması sağlanmalıdır. Radon gazı için yetkili makamlarca belirlenmiş referans değerlerinin üzerinde konsantrasyona sahip alanlar belirlenmesi sağlanmalıdır.”

### **2.3.6. Türkiye Mevzuatı**

Ülkemizde işyerlerinde iş sağlığı ve güvenliğinin sağlanması ve mevcut sağlık ve güvenlik şartlarının iyileştirilmesi için işveren ve çalışanların görev, yetki, sorumluluk, hak ve yükümlülüklerini düzenlemek amacıyla 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu ve bu Kanuna dayanılarak yayımlanmış birçok yönetmelik bulunmaktadır.

Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı tarafından yürütülmekte olan çalışanların kanserojen veya mutajen maddelere maruziyetinden kaynaklanabilecek sağlık ve güvenlik risklerinden korunması için bu maddelere maruziyetin önlenmesi ve sınır değerler de dâhil olmak üzere asgari gerekliliklerin belirlenmesi amacıyla 06.08.2013 tarihli ve 28730 sayılı Resmi Gazete ’de yayımlanarak yürürlüğe giren Kanserojen veya Mutajen Maddelerle Çalışmalarda Sağlık ve Güvenlik Önlemleri Hakkındaki Yönetmeliğin “Kapsam” başlıklı 2 nci maddesinin üçüncü fıkrasında “Radyasyonla birlikte farklı kanserojen veya mutajen maddelere maruziyetin olduğu işlerde, radyasyonla ilgili özel mevzuatla birlikte bu Yönetmelik hükümleri de uygulanır. Yalnızca radyasyona maruziyetin söz konusu olduğu işlerde bu Yönetmelik hükümleri uygulanmaz.” hükmü yer almaktadır.

Bununla birlikte “iyonlaştırıcı radyasyon ışınlamalarına karşı kişilerin ve çevrenin radyasyon güvenliğini sağlamak amacıyla” TAEK tarafından yürütülen 24.03.2000 tarihli ve 23999 sayılı Resmi Gazete ’de yayımlanarak yürürlüğe giren “Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği nin “Doğal radyasyon” başlıklı 37 nci maddesinde “doğal ortamlardaki radyasyon seviyelerinin gerektiğinde kurum tarafından izleneceği, gerekli görülen hallerde ilgili bakanlık, kurum ve kuruluşlarla işbirliği yapılacağı” ifade edilmektedir. Bu kaynaklardan radon için izin verilen konsantrasyon seviyelerinin yıllık ortalama olarak evlerde 400 Bq/m<sup>3</sup>, işyerlerinde 1000 Bq/m<sup>3</sup> değerlerini aşmayacağı hükme bağlanmıştır. Ayrıca “maruz kalınan doğal radyasyon seviyesinin yapı malzemeleri nedeniyle artmasının önlenmesi ve toplum üyelerinin alacağı radyasyonun mümkün olan en düşük seviyede tutulması amacıyla bu malzemelerdeki radyoaktivitenin kontrolünün” de esas olduğu belirtilmektedir.

Bahsi geçen Yönetmeliğin “Doğal radyasyon nedeniyle ışınlamaların arttığı durumlar” başlıklı 38 inci maddesinde “görevi gereği radyasyon kaynaklarıyla çalışmamakla birlikte yaptığı iş nedeniyle doğal radyasyona maruz kalan uçuş personeli ile maden ocaklarında çalışan kişiler radyasyon görevlisi sayılmayacağı ancak; uçuş personeli ile içeriğinde uranyum ve toryum ihtiva eden maden cevherlerinin ve radyoaktivitesi yüksek düzeyde doğal radyonüklit içeren madenlerin (mineral tuzlar, fosforlu malzemeler) çıkarılması ve işlenmesi faaliyetlerinde çalışanların radyasyondan korunmaları için etkin kontrol tedbirlerinin alınmasının esas olduğu” hükme bağlanmıştır.

Bununla birlikte yer altı maden ocakları ve benzeri çalışma ortamlarında alınacak tedbirler yönetmelikte sıralanmıştır. Buna göre;

Yer altı maden ocakları ile buna benzer çalışma ortamlarında;

- (a) “Radon gazı ölçümlerinin yaptırılması”,
- (b) “Ortamdaki radon gazı konsantrasyonunun 1000 Bq/m<sup>3</sup>’ü aşması durumunda havalandırma sistemlerinin kurulması ve etkin çalıştırılması”,
- (c) “Kullanılan hammaddelerin içeriğinde uranyum, toryum, fosforlu malzemeler ihtiva eden üretim prosesleri, bunların taşınması ve depolanması faaliyetlerinde çalışanlar da dahil olmak üzere radyoaktif maddeler içerebilecek toz zerreciklerinin solunmasını engellemek amacıyla toz maskesi kullanılması sağlanması”,

Gibi önlemlerin alınması ve gerekli KKD’lerin çalışanlar tarafından kullanılması gerektiği belirtilmekle beraber zorlayıcı bir ifadenin bulunmadığı değerlendirilmektedir. Bununla

birlikten yönetmelikte bu madde kapsamındaki faaliyetlerde çalışanların, görevleri gereği aldıkları radyasyon ve sağlık riskine ilişkin bilgilendirileceğine de yer verilmiştir.

Sağlık Bakanlığının 17.02.2005 tarihli ve 25730 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik’inde” “*Parametreler ve Sınır Değerleri*” başlıklı EK-1’de “*Radyoaktivite*” alt başlıklı bölümde dokuzuncu not olarak “*Trityum, potasyum – 40, radon ve radonun bozunmasından oluşan ürünler hariç; izleme frekansları, izleme metotları ve izleme noktaları için en doğru yerler daha sonra Ek-2’de belirtilecektir.*” ifadesinde radon gazı ve bozunum ürünlerinden söz edilmektedir.

Ayrıca Sağlık Bakanlığının 24.07.2001 tarihli ve 24472 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren Kaplıcalar Yönetmeliğinde “*Kaplıca Tesislerindeki Tedavi Bölümleri*” başlıklı 7 nci maddesinde “*Gaz banyosu birimleri*” tanımlanırken “*Radon gazı inhalasyon ortamlarıdır.*” ifadesi yer almaktadır.

Radon gazı farklı yönetmeliklerimizde bulunmakla beraber çalışan sağlığına zararlarına çok fazla değinilmemiştir. Çalışma ortamlarında bulunup bulunmadığının tespiti ile ilgili ise tüm çalışanları kapsayan bir düzenleme mevcut bulunmamaktadır.

### **3. GEREÇ ve YÖNTEMLER**

#### **3.1. OFİS ÇALIŞANLARININ RADON MARUZİYETİNİ BELİRLEMEK İÇİN SEÇİLEN İŞYERLERİ**

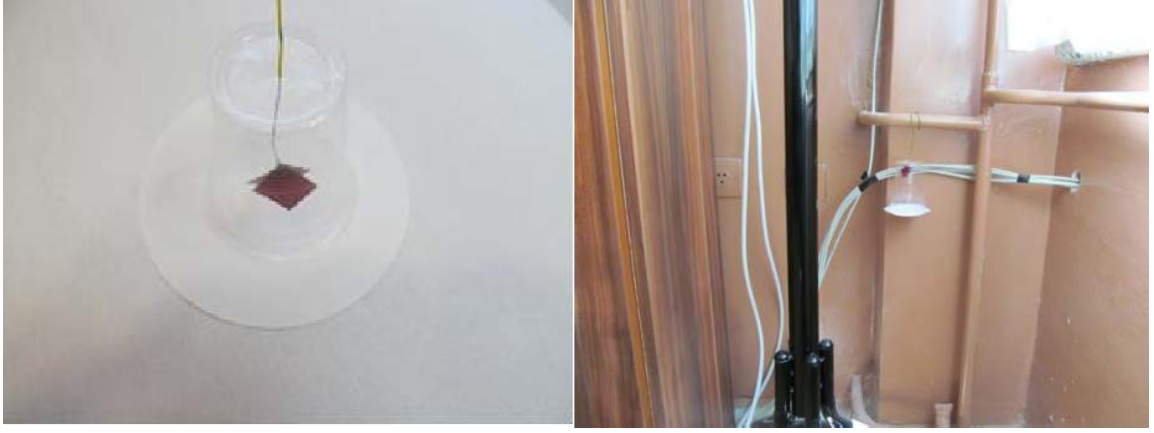
Türkiye'nin jeolojik olarak farklı olan iki büyükşehirindeki belirli ofis ortamları çalışma sahası olarak seçilmiştir. Aydın ili, MTA verilerine göre uranyum maden yataklarının ve jeotermal kaynakların bulunduğu bir yerleşim yeridir. Ankara ilinde ise MTA verilerine göre uranyum maden yatakları bulunmamakla birlikte jeotermal kaynakların olduğu bilinmektedir. Aydın ilinde üç ofis ortamı seçilmiştir. Bunlardan birincisi benzin istasyonu ofisi, ikincisi tarım işlerinin yapıldığı ve sürekli çalışanların olduğu bir ofis, üçüncüsü ise okul çalışanlarının bulunduğu bir ofistir. Ankara ilinde altı ofiste ölçüm yapılmıştır. Şehirde kamu kurumlarının ağırlıklı olarak yer alması sebebiyle seçilen ofisler kamu ofisleridir ve farklı katlarda bulunmaktadır. Toplamda dokuz ofis ortamında ölçüm yapılmıştır. Sonuçlar ofis ortamının hacmi, bina yapımında kullanılan inşaat malzemeleri ve ofislerin bulunduğu kat gibi parametrelere bağlı olarak değerlendirilmiştir.

#### **3.2. NÜKLEER İZ KAZIMA DEDEKTÖRÜ İLE ÖLÇÜM YÖNTEMİ**

Nükleer iz kazıma dedektörleri için dedeksiyon prensibi, katı hal materyaller ( LR-115 Kodak ve CR-39 plastik filmler gibi) üzerinde yüklü alfa parçacıklarının bıraktıkları izlere dayanmaktadır. Maruziyet sonrası izler NaOH solüsyonda kimyasal ya da elektrokimyasal kazıma yöntemi ile görünür hale getirilmektedir. Bununla birlikte, büyük çaplı izler oluşturan elektrokimyasal işlemler, iz sayımlarını da kolaylaştırdığından sıklıkla tercih edilmektedir. Gerekli kimyasal işlemlerden sonra izlerin yoğunluğu, el ile optik tarama ya da otomatik sistemler ile tespit edilmektedir. İz kazıma filmlerinde oluşan iz çaplarının büyüklüğü ise ışınlayıcı parçacığın enerjisine bağlıdır. Alfa parçacıkları organik materyalde ilerlerken enerji kaybına uğrayarak, 50 – 1000 Angström aralığında submikroskobik silindirik oyuklar oluşturur. Ancak bu izler elektron mikroskobu ile görülebilir. Eğer organik materyal kazıma çözültüsüne yerleştirilirse mikroskobik oyuğun etrafındaki hacim meydana çıkar. Bu şekilde nükleer parçacıkların izi normal bir mikroskop altında silindir ya da koni şeklinde görülebilir. Kullanılan yöntemde, dedektör gama ve beta radyasyonuna duyarlı olmamakla birlikte normal çevre şartlarında 3 aydan başlayarak 1 yıla kadar maruziyet süreleri için kullanılır [50]. Bu çalışmada LR-115 katı hal iz kazıma dedektörleri kullanılmıştır. Filmler belirlenen ofis ortamlarına yerden 1m yükseklikte olacak şekilde asılarak 1 ay boyunca tutulmuştur. Resim



3.1’de dedektörlerin asılma şekli, Resim 3.2 ve Resim 3.3’te ölçüm yapılan ofis ortamları görülmektedir.



**Resim 3.1. LR-115’in ofislere asılma şekli.**



**Resim 3.2. Aydın ili ofis ortamları.**

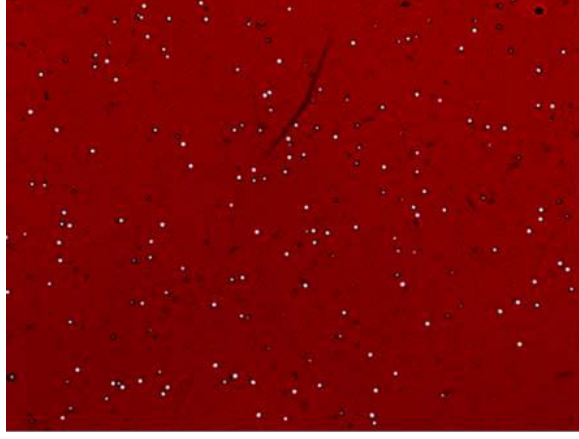


**Resim 3.3. Ankara ili ofis ortamları.**

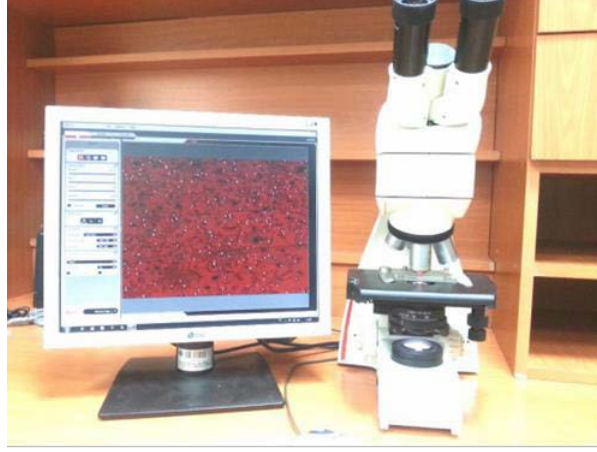
Ölçüm alındıktan sonra dedektörler 2,5 N (% 10) NaOH çözeltisi içinde 60 °C' de 90 dakika boyunca tutulmuştur (Resim 3.4.) [50]. Bu süre sonunda çözülden çıkarılan dedektörler saf su içinde 10 dakika banyo yapılmıştır. Böylece iz kazıma işlemi yardımıyla gizli izler optik mikroskop altında da görünür hale getirilmiştir.



**Resim 3.4. Filmlerin banyo edilmesi.**

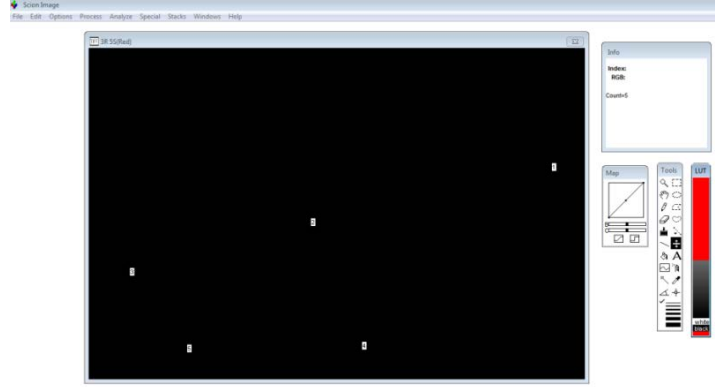


**Resim 3.5. Banyo işleminden sonra mikroskop altında alfa izlerinin görüntüsü.**



**Resim 3.6. Filmlerin sayıldığı mikroskop ve bilgisayar sistemi.**

Çalışma kapsamında dedektörlerdeki alfa iz yoğunluğunun saptanması üç aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada mikroskop altında bulunan görüntülerin fotoğrafı çekilerek ikinci aşamaya geçilmiştir (Resim 3.5.). İkinci aşamada ise fotoğrafın görüntüsü Corel PaintShop yazılımı kullanılarak elde edilmiştir (Resim 3.6.). En son aşamada ise Scion yazılımı yardımı ile görüntü üzerinde bulunan iz yoğunluğu tespit edilmiştir (Resim 3.7.).



**Resim 3.7. Alfa izlerinin sayımı.**

**Kalibrasyon:** Yapılan çalışmada LR-115 dedektörlerindeki alfa iz yoğunluğu ( $\text{iz}/\text{cm}^2\text{gün}$ )  $^{226}\text{Ra}$  standardı ile gerçekleştirilen kalibrasyon deney çalışması sonucu tayin edilen kalibrasyon sabiti kullanılarak aktiviteye ( $\text{Bq}/\text{m}^3$ ) çevrilmiştir [51]. Çalışma kapsamında 5 farklı aktiviteye sahip (10, 20, 30, 40 ve 50 Bq) sıvı radyum standardı, hacmi  $2000 \text{ cm}^3$  olup içine dedektör yerleştirilmiş olan cam kaplara damlatılmıştır. Bu kaplar ise hava almayacak şekilde sıkıca kapatılmıştır (Resim 3.8.). Dedektörler 21 gün boyunca bekletildikten sonra çıkarılarak iz yoğunluğu belirlenmiş ve verilen aktivitelere karşı gelen kalibrasyon eğrisi çizilmiştir. Oluşturulan eğrinin denklemi kullanılarak yapılan hesaplamalarla kalibrasyon katsayısının  $0,0217 \text{ kBq m}^{-3}/\text{iz cm}^{-2} \text{ gün}^{-1}$  oluğu tayin edilmiştir [52].



**Resim 3.8. Kalibrasyon düzeneği [52].**

Radon konsantrasyonları için yıllık efektif doz hesaplamaları yapılırken UNSCEAR 1993 ve UNSCEAR 2000 raporlarında verilen methoddan yararlanılmıştır. Buna göre;

$$YEDE = \text{Radon konsantrasyonu} \times F \times EEC \text{ faktörü} \times \text{Bina meşguliy ktörü}$$

*F*: Radon ile bozunma ürünleri arasındaki denge faktörü = 0,4

*EEC*: Radon ile bozunum ürünlerinin dengeye gelmesi sonucunda oluşan aktivite konsantrasyonunun yaklaşık değeri =  $9,0 \times 10^{-9}$  (Sv/saat) ( $Bq/m^3$ )

*Bina Meşguliyet Faktörü*: 8 saat mesaisi olan bir çalışan günün yaklaşık %33'ünü ofiste geçirir buna göre;

$$0,33 \times \frac{(24 \times 365) \text{ saat}}{\text{yıl}} = 0,33 \times 8760 \text{ saat/yıl} \quad (3.1)$$

Elde edilen veriler atomik radyasyonun insan sağlığına etkileri üzerine araştırmalar yapan UNSCEAR , WHO ve ICRP gibi başlıca kuruluşların limit değerleri ile karşılaştırılmıştır. Türkiye'de ise radon gazı yıllık etkin doz eşdeğer değeri tanımlanmadığı için sadece ofis içi radon konsantrasyonlarının karşılaştırması yapılmıştır.

**Alfa Guard Radon Dedektörü İle Ölçüm Yöntemi:** Radon gazı ölçümlerinde kullanılan, Alpha Guard PQ 2000PRO, radon gazından kaynaklanan alfa radyasyonunu ölçebilen taşınabilir özellikte bir tür radyasyon dedektörüdür. Alfa parçacıklarının maddeyi iyonize edici niteliğinden dolayı dedektör, bu özelliğe göre tasarlanmış iyonizasyon odasına sahip bir cihazdır. Bu iyonizasyon odası ise paslanmaz çelik olup silindirik şekline sahiptir ve dedektörün besleme gerilimi de (anot ve katot arası gerilim farkı) DC 750 voltur. Bununla birlikte, dedektörün toplam hacmi 0,62 litre olmasına rağmen bunun 0,56 litrelik bölümü etkin dedektör olarak kullanılmaktadır. Aynı zamanda, Alpha Guard ile uzun süreli ölçümler alınabilmektedir (Resim 3.9). Tez çalışmasında kullanılan nükleer iz kazıma dedektör yöntemi uzun süreli ölçüm ve kimyasal işlem gerektirdiği için oldukça zahmetlidir. Bu cihazın kolaylığı ise anlık ölçüm alabilmesidir.



**Resim 3.9. Alfa Guard radon dedektörü.**

## 4. BULGULAR

Ofis ortamlarında 1 ay boyunca bekletilen dedektörlerin analizi yapıldıktan sonra Aydın ve Ankara illeri için ayrı ayrı ofis ortamlarının radon gazı konsantrasyonları ve çalışanların maruz kaldığı radon gazı yıllık etkin doz eşdeğerlerini gösteren çizelgeler oluşturulmuştur (Tablo 4.1., 4.4.). Ofis ortamlarının radon gazı konsantrasyonları ve çalışanların maruz kaldığı radon gazı yıllık etkin doz eşdeğeri sonuçları ofisin bulunduğu kat ve ofisin hacmi gibi değişkenlere bağlı olarak grafiklendirilmiştir.

**Aydın ilindeki radon gazı konsantrasyonları ve çalışanların radon gazı yıllık etkin doz eşdeğerleri:** Bu çalışmada ofis çalışanlarının radon gazına maruziyeti nükleer iz dedektör yöntemine göre ölçülmüş ve elde edilen verilere göre sağlık üzerine olası etkileri değerlendirilmiştir. Bunun için Türkiye'nin iki farklı ilindeki bazı ofis ortamları örnekleme sahası olarak belirlenmiştir. Aydın ili MTA verilerine göre jeolojik yapılanması bakımından uranyum yataklarının ve jeotermal kaynakların bulunduğu bir bölge olduğundan uranyumun bozunumu sonucu oluşan radon gazı miktarının yüksek olması beklenmektedir. Elde edilen verilere bakıldığında A(B) kodlu benzin istasyonu ofisinin radon gazı konsantrasyonunun  $113 \text{ Bq/m}^3$  olduğu, birim hacimde ise bu değer  $3,96 \text{ Bq/m}^3$  olduğu belirlenmiştir. A(T) kodlu ofis tarım işlerinin yapıldığı işletmenin idari ofisi olup radon gazı konsantrasyonu  $23 \text{ Bq/m}^3$  iken birim hacimde bu değer  $0,28 \text{ Bq/m}^3$ 'tür. A(O) kodlu okul ofisinde radon gazı konsantrasyonu  $108 \text{ Bq/m}^3$ , birim hacimde ise  $2,27 \text{ Bq/m}^3$ 'tür. Bu sonuçlara bağlı olarak çalışanların radon gazı yıllık etkin doz eşdeğeri A(B) ofisi için  $1,17 \text{ mSv/y}$ , A(T) ofisi için  $0,24 \text{ mSv/y}$  ve A(O) ofisi için  $1,12 \text{ mSv/y}$  olarak hesaplanmıştır (Tablo4.1.).

**Tablo 4.1. Aydın ilindeki ofis içi radon gazı konsantrasyonları ve çalışanların maruz kaldığı radon gazı yıllık etkin doz eşdeğerlerinin ofis hacimleri ve ofislerin bulunduğu katlara göre dağılımı.**

Ofis Kodu	Bulunduğu Kat	Ofis Hacimleri (m <sup>3</sup> )	Ofiste bulunan alışan Sayısı (Kişi)	Ofis İçi Radon Gazı Konsantrasyonu (Bq/m <sup>3</sup> ) Birim Hacimde B/V	Radon Gazı Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri (mSv/yıl)
A(B) Benzin İşt.	1	28,5	1	113 – 3,96	1,17
A(T) Tarım Of.	1	83	1	23 – 0,28	0,24
A(O) Okul	2	47,5	1	108 – 2,27	1,12

**Tablo 4.2. Aydın ilindeki ofis içi radon gazı konsantrasyonlarının WHO, UNSCEAR, ICRP, AB Ülkeleri ve Türkiye'nin radon gazı konsantrasyon limitleri ile karşılaştırılması.**

<b>Ofis Kodu</b>	<b>Ofis İçi Radon Gazı Konsantrasyonu (Bq/m<sup>3</sup>)</b>	<b>WHO / UNSCEAR (Bq/m<sup>3</sup>)</b>	<b>ICRP (Bq/m<sup>3</sup>)</b>	<b>AB Ülkeleri (Bq/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Türkiye (Bq/m<sup>3</sup>)</b>
<b>A(B) Benzin İst.</b>	113	100	400	400	400
<b>A(T) Tarım Of.</b>	23	100	400	400	400
<b>A(O) Okul</b>	108	100	400	400	400

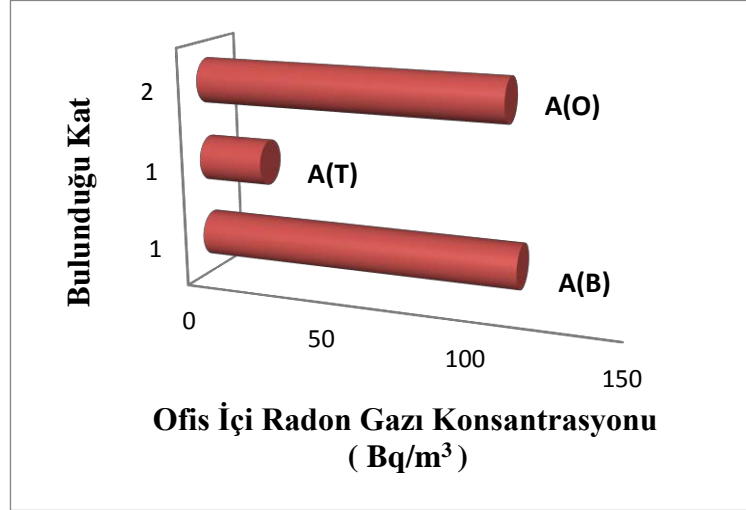
Aydın ilindeki ofis içi radon gazı konsantrasyonlarının WHO, UNSCEAR, ICRP, AB Ülkeleri ve Türkiye'nin radon gazı konsantrasyon limitleri ile karşılaştırma tablosuna bakıldığında A(B) ve A(O) kodlu ofislerin WHO ve UNSCEAR tarafından bildirilen limit değerlerini aştığı görülmüştür. ICRP, AB Ülkeleri ve Türkiye'nin tavsiye ettiği limit değerlerinin ise altında kaldığı görülmüştür (Tablo 4.2.).



**Tablo 4.3. Aydın ilindeki ofis çalışanlarının radon gazı yıllık etkin doz eşdeğerlerinin WHO, UNSCEAR ve ICRP limit değerleri ile karşılaştırılması.**

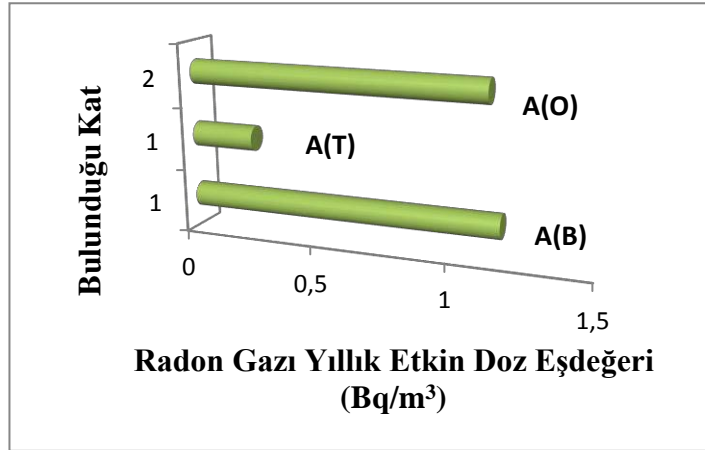
<b>Ofis Kodu</b>	<b>Radon gazı Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri</b>	<b>WHO / UNSCEAR (mSv/yıl)</b>	<b>ICRP (mSv/yıl)</b>	<b>AB Ülkeleri (mSv/yıl)</b>	<b>Türkiye (mSv/yıl)</b>
<b>A(B) Benzin İst.</b>	1,17	1	3 – 10	-	-
<b>A(T) Tarım Of.</b>	0,24	1	3 – 10	-	-
<b>A(O) Okul</b>	1,12	1	3 – 10	-	-

Aydın ilindeki ofis çalışanlarının radon gazı yıllık etkin doz eşdeğerlerinin WHO, UNSCEAR ve ICRP limit değerleri ile karşılaştırma tablosu incelendiğinde A(B) ve A(O) kodlu ofis çalışanları için WHO ve UNSCEAR tarafından bildirilen limit değerlerin aşıldığı görülmüştür. ICRP'nin çalışanlar için tavsiye ettiği limit değerlerinin ise altında kaldığı görülmüştür (Tablo 4.3.).



**Grafik 4.1. Aydın ilindeki ofis içi radon gazı konsantrasyonlarının katlara göre değişimi.**

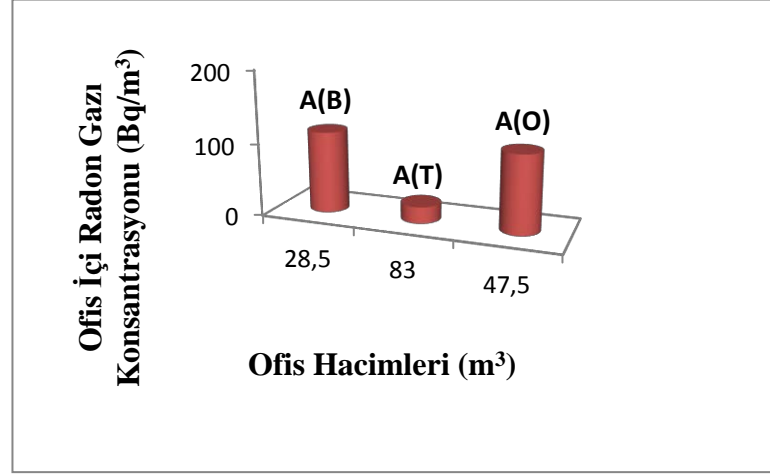
Aydın ilindeki ofis içi radon gazı konsantrasyonlarının katlara göre değişim grafiği incelendiğinde radon gazının üst katlarda daha az birikim yaptığı gözlemlenmiştir (Grafik 4.1). Buna göre A(B) kodlu ofis birinci katta ve bina içi radon gazı konsantrasyonu 113 Bq/m<sup>3</sup> iken A(O) kodlu ofis ise ikinci katta ve bina içi radon gazı konsantrasyonu 108 Bq/m<sup>3</sup> tür.



**Grafik 4.2. Aydın ilindeki ofis çalışanlarının radon gazı yıllık etkin doz eşdeğerlerinin katlara göre değişimi.**

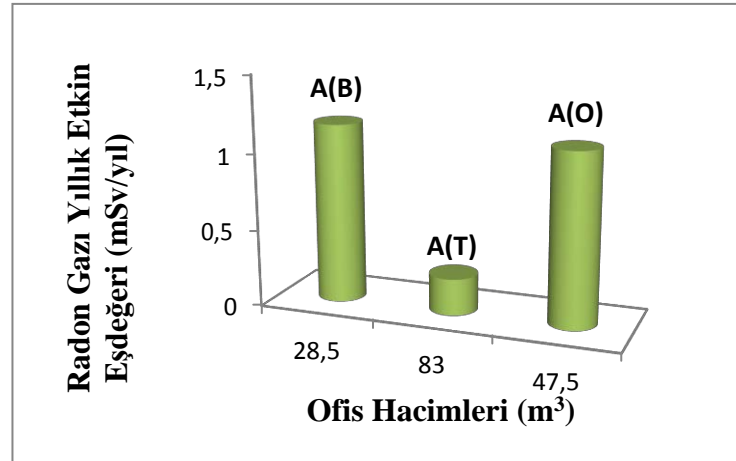
Aydın ilindeki ofis çalışanlarının radon gazı yıllık etkin doz eşdeğerlerinin katlara göre değişimi Grafik 4.2’de verilmiştir. A(B) kodlu ofis birinci katta ve çalışanların radon gazı yıllık etkin doz eşdeğeri 1,17 mSv/yıl iken A(O) kodlu ofis ise ikinci katta ve çalışanların

radon gazı yıllık etkin doz eşdeğeri 1,12 mSv/yıl'dır. Buna göre birinci katta bulunan ofis çalışanlarının radon gazına maruziyetlerinin daha fazla olduğu görülmektedir.



**Grafik 4.3. Aydın ilindeki ofis içi radon gazı konsantrasyonlarının ofis hacimlerine göre değişimi.**

Aydın ilindeki ofis içi radon gazı konsantrasyonlarının ofis hacimlerine göre değişim grafiği incelendiğinde A(B) kodlu ofisin hacmi 28,5 m<sup>3</sup> ve bina içi radon gazı konsantrasyonu 113 Bq/m<sup>3</sup> iken A(T) kodlu ofisin hacmi 83 m<sup>3</sup> ve bina içi radon gazı konsantrasyonu 23 Bq/m<sup>3</sup>'tür. İki ofis karşılaştırıldığında hacmi küçük olan ofiste radon gazının daha çok birikim yaptığı gözlemlenmiştir (Grafik 4.3).



**Grafik 4.4. Aydın ilindeki ofis çalışanlarının radon gazı yıllık etkin doz eşdeğerlerinin ofis hacimlerine göre değişimi.**

Aydın ilindeki ofis çalışanlarının radon gazı yıllık etkin doz eşdeğerlerinin ofis hacimlerine göre değişimine bakıldığında küçük hacme sahip olan A(B) kodlu ofis çalışanlarının maruziyetinin 1,17 mSv/yıl ile en fazla olduğu görülmektedir (Grafik 4.4.).

**Ankara ilindeki radon gazı konsantrasyonları ve çalışanların radon gazı yıllık etkin doz eşdeğerleri:** Ankara ili için çalışma alanı seçimi yaparken tek bir yapı içinde farklı katlarda bulunan ofis ortamları seçilmiş böylece katlar arasındaki radon gazı birikim farkının daha iyi gözlemlenmesi hedeflenmiştir (Tablo 4.4.). Beş farklı katta ölçüm yapıldığında zemine yakın katlarda ölçüm değerlerinin yüksek katlara göre fazla olduğu belirlenmekle beraber ofis hacimlerinin artmasıyla bu ölçüm değerlerinin azaldığı gözlemlenmiştir. İki ölçüm, aynı katta bulunan hacimleri yaklaşık aynı olan farklı ofis ortamlarında gerçekleştirildiğinde, ofislerin bina içi radon gazı konsantrasyonlarının farkının neredeyse üç kat olduğu görülmüştür. Çalışanlarla görüşüldüğünde A(3K) kodlu ofiste bulunan çalışanların her sabah ofisi havalandırdığı A(3) kodlu ofisin ise havalandırılmadığı ve çalışmanın yapıldığı ay içinde havalandırma sisteminin de bozuk olduğu bilgisine ulaşılmıştır.

**Tablo 4.4 Ankara ilindeki ofis içi radon gazı konsantrasyonları ve çalışanların maruz kaldığı radon gazı yıllık etkin doz eşdeğerlerinin ofis hacimleri ve ofislerin bulunduğu katlara göre dağılımı.**

Ofis Kodu	Bulunduğu Kat	Ofis Hacimleri (m <sup>3</sup> )	Ofiste bulunan alışan Sayısı (Kişi)	Ofis İçi Radon Gazı Konsantrasyonu (Bq/m <sup>3</sup> ) – Birim Hacimde B/V	Radon Gazı Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri (mSv/yıl)
A(-1) Kamu Of.	- 1.Kat	137	7	83 – 0,60	0,86
A(Z) Kamu Of.	Zemin Kat	91	5	64 – 0,70	0,66
A(1) Kamu Of.	1.Kat	86,7	6	70 – 0,80	0,73
A(2) Kamu Of.	2.Kat	45,5	3	86 – 1,91	0,89
A(3) Kamu Of.	3.Kat	42,5	3	146 – 3,45	1,52
A(3K) Kamu Of.	3.Kat	40,9	3	66 – 1,61	0,69

**Tablo 4.5. Ankara ilindeki ofis içi radon gazı konsantrasyonlarının WHO, UNSCEAR, ICRP, AB lkeleri ve Türkiye radon gazı konsantrasyon limitleri ile karşılaştırılması.**

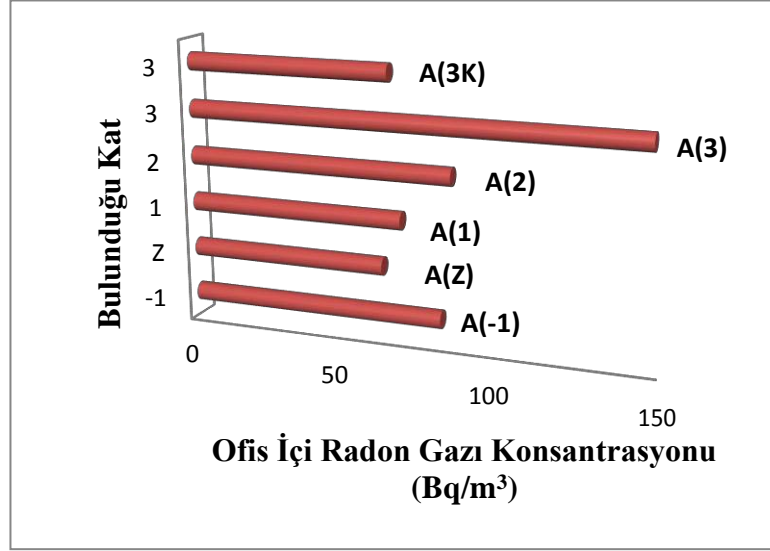
<b>Ofis Kodu</b>	<b>Ofis İçi Radon Gazı Konsantrasyonu (Bq/m<sup>3</sup>)</b>	<b>WHO / UNSCEAR (Bq/m<sup>3</sup>)</b>	<b>ICRP (Bq/m<sup>3</sup>)</b>	<b>AB lkeleri (Bq/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Türkiye (Bq/m<sup>3</sup>)</b>
A(-1) Kamu Of.	83	100	400	400	400
A(Z) Kamu Of.	64	100	400	400	400
A(1) Kamu Of.	70	100	400	400	400
A(2) Kamu Of.	86	100	400	400	400
A(3) Kamu Of.	146	100	400	400	400
A(3K) Kamu Of.	66	100	400	400	400

Ankara ilindeki ofis içi radon gazı konsantrasyonlarının WHO, UNSCEAR, ICRP, AB lkeleri ve Türkiye radon gazı konsantrasyon limitleri ile karşılaştırma tablosu incelendiğinde sadece A(3) kodlu ofisin WHO ve UNSCEAR tarafından bildirilen limit değerlerini aştığı görülmüştür. ICRP, AB lkeleri ve Türkiye'nin tavsiye ettiği limit değerlerinin ise altında kaldığı görülmüştür (Tablo 4.5.).

**Tablo 4.6. Ankara ilindeki ofis çalışanlarının radon gazı yıllık etkin doz eşdeğerlerinin WHO, UNSCEAR ve ICRP limit değerleri ile karşılaştırılması.**

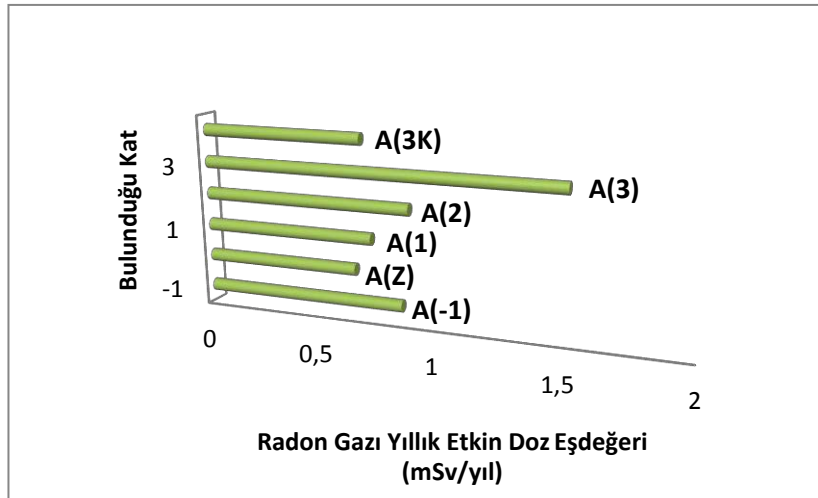
<b>Ofis Kodu</b>	<b>Radon Gazı Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri (mSv/yıl)</b>	<b>WHO / UNSCEAR (mSv/yıl)</b>	<b>ICRP (mSv/yıl)</b>	<b>AB Ülkeleri (mSv/yıl)</b>	<b>Türkiye (mSv/yıl)</b>
A(-1) Kamu Of.	0,86	1	3 – 10	-	-
A(Z) Kamu Of.	0,66	1	3 – 10	-	-
A(1) Kamu Of.	0,73	1	3 – 10	-	-
A(2) Kamu Of.	0,89	1	3 – 10	-	-
A(3) Kamu Of.	1,52	1	3 – 10	-	-
A(3K) Kamu Of.	0,69	1	3 – 10	-	-

Ankara ilindeki ofis çalışanlarının radon gazı yıllık etkin doz eşdeğerlerinin WHO, UNSCEAR ve ICRP limit değerleri ile karşılaştırma tablosu incelendiğinde sadece A(3) kodlu ofis çalışanları için WHO ve UNSCEAR tarafından bildirilen limit değerlerin aşıldığı görülmüştür. ICRP'nin çalışanlar için tavsiye ettiği limit değerlerinin ise altında kaldığı görülmüştür (Tablo 4.6.).



**Grafik 4.5. Ankara ilindeki ofis içi radon gazı konsantrasyonlarının katlara göre değişimi.**

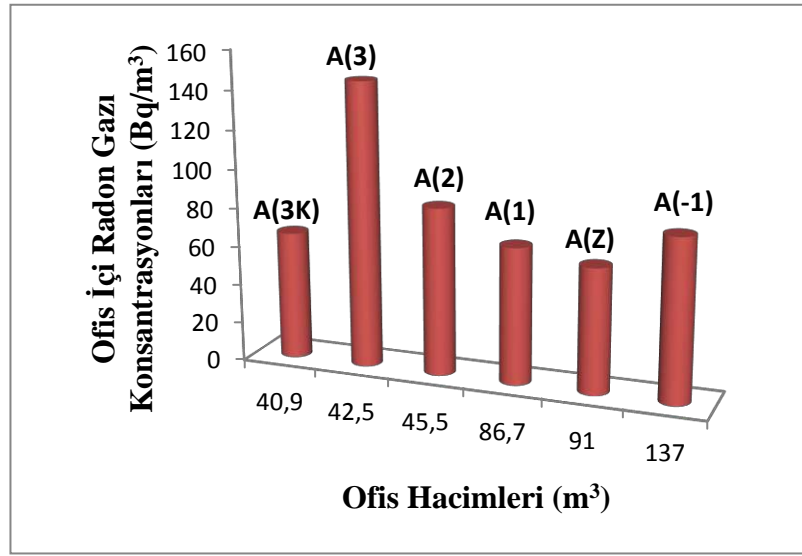
Ankara ilindeki ofis içi radon gazı konsantrasyonlarının katlara göre değişim grafiği incelendiğinde eksi birinci katta bulunan A(-1) kodlu ofis için bina içi radon gazı konsantrasyonu  $83 \text{ Bq/m}^3$ , zemin katta bulunan A(Z) ofisi  $64 \text{ Bq/m}^3$ , birinci katta bulunan A(1) ofisi  $70 \text{ Bq/m}^3$ , ikinci katta bulunan A(2) ofisi  $86 \text{ Bq/m}^3$ , üçüncü katta bulunan A(3) ve A(3K) kodlu ofislerin bina içi radon gazı konsantrasyonları sırasıyla  $146 \text{ Bq/m}^3$  ve  $66 \text{ Bq/m}^3$ 'tür (Grafik 4.5.). Üst katlara çıkıldıkça radon gazı miktarının azalma eğiliminde olduğu ancak ofis hacimleri küçüldükçe de bu miktarın artma eğiliminde olduğu gözlemlenmiştir.



**Grafik 4.6. Ankara ilindeki ofis çalışanlarının radon gazı yıllık etkin doz eşdeğerlerinin katlara göre değişimi.**

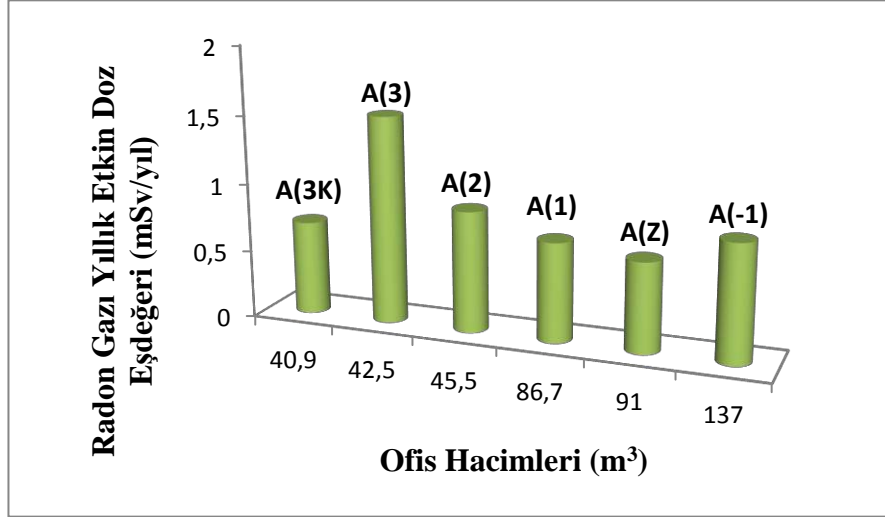


Ankara ilindeki ofis çalışanlarının radon gazı yıllık etkin doz eşdeğerlerinin katlara göre değişim grafiği incelendiğinde A(-1) kodlu ofis çalışanları için radon gazı yıllık etkin doz eşdeğerinin 0,86 mSv/yıl, zemin katta bulunan A(Z) ofis çalışanları 0,66 mSv/yıl, birinci katta bulunan A(1) ofis çalışanları 0,73 mSv/yıl, ikinci katta bulunan A(2) ofis çalışanları 0,89 mSv/yıl, üçüncü katta bulunan A(3) ve A(3K) kodlu ofislerin çalışanları için ise bu değerler sırasıyla 1,52 mSv/yıl ve 0,69 mSv/yıl'dır (Grafik 4.6.). Toprağa yakın ofislerde çalışanların radon gazına maruziyeti fazla olmakla beraber bu maruziyetin ofis ortamına giren temiz hava ile azalma ve küçülen hacimlerle artma eğiliminde olduğu tespit edilmiştir.



**Grafik 4.7. Ankara ilindeki ofis içi radon gazı konsantrasyonlarının ofis hacimlerine göre değişimi.**

Ankara ilindeki ofis içi radon gazı konsantrasyonlarının ofis hacimlerine göre değişim grafiği incelendiğinde 137 m³ hacme sahip A(-1) kodlu ofis için radon gazı konsantrasyonu 83 Bq/m³, 91 m³ hacme sahip olan A(Z) ofisi 64 Bq/m³, 86,7 m³ hacimli A(1) ofisi 70 Bq/m³, 45,5 m³ hacimli A(2) ofisi 86 Bq/m³, 42,5 m³ hacimli A(3) ve 40,9 m³ hacimli A(3K) kodlu ofislerinin radon gazı konsantrasyonları sırasıyla 146 Bq/m³ ve 66 Bq/m³'tür (Grafik 4.7.). Toprağa yakın ofislerde radon gazı birikim miktarı artmakla beraber ofis hacimlerinin büyük olması miktarı azaltmaktadır.



**Grafik 4.8. Ankara ilindeki ofis çalışanlarının radon gazı yıllık etkin doz eşdeğerlerinin ofis hacimlerine göre değişimi.**

Ankara ilindeki ofis çalışanlarının radon gazı yıllık etkin doz eşdeğerlerinin ofis hacimlerine göre değişimine bakıldığında 137 m<sup>3</sup> hacme sahip A(-1) kodlu ofis için çalışanlarının radon gazı yıllık etkin doz eşdeğeri 0,86 mSv/yıl, 91 m<sup>3</sup> hacme sahip olan A(Z) ofisi çalışanlarının 0,73 mSv/yıl, 86,7 m<sup>3</sup> hacimli A(1) ofisi 0,89 mSv/yıl, 45,5 m<sup>3</sup> hacimli A(2) ofisi 0,89 mSv/yıl, 42,5 m<sup>3</sup> hacimli A(3) ofis çalışanlarının maruz kaldığı radon gazı miktarı 1,52 mSv/yıl ve 40,9 m<sup>3</sup> hacimli A(3K) kodlu ofis çalışanları için 0,69 mSv/yıl'dır (Grafik 4.8.). Ofis çalışanlarının maruz kaldığı radon gazı miktarı toprağa yakın katlarda daha fazla olmakla birlikte hacimlerin büyümesinin bu değeri azalttığı küçülmesinin ise artırdığı gözlemlenmiştir.

**Portekiz Urgeiriça Uranyum Madeninde Radon Gazı Maruziyeti İçin Alınan Önlemleri Belirleyen Çalışma Ziyareti:** Tez çalışmasını desteklemesi bakımından AB Komisyonu Genişleme Genel Müdürlüğü Kurumsal Yapılanma Birimi'nin uygulamakta olduğu bir kurumsal yapılanma aracı olan TAIEX ya da diğer adıyla Teknik Destek ve Bilgi Değişim Mekanizması'ndan yararlanılmıştır. Bu yapı faydalanıcı ülkelerin ulusal mevzuatının AB mevzuatına uyumlu hale getirilmesi ve uyumlaştırılmış mevzuatın uygulanması ve yürütülmesi aşamalarında kısa süreli uzmanlık ve danışmanlık desteği sunmaktadır.

Çalışma ziyaretinin gerçekleştirildiği uranyum maden yataklarının bulunduğu Urgeiriça kasabasında bulunan binalarda yetkili kişilerce radon gazı izleme çalışması yapılmış olup yüksek değerlere sahip yerler için azaltma çalışmaları yapılmıştır. Çalışma ziyareti sırasında

direk ölçüm alan Alfa Guard radon dedektörü ile yapılan ölçümde radon gazı  $356 \text{ Bq/m}^3$  olarak ölçülmüştür.

## 5. TARTIŞMA

Radyasyonun insan hayatına girmesiyle birlikte doğal radyasyonun önemsiz olduğu aynı zamanda da değiştirilemeyecek bir arka-plan radyasyonu olarak kalacağı düşünülüyordu. Günümüzde yapılan bilimsel çalışmalar, doğal radyasyonun en önemli kaynağı olan radon gazı sebebiyle ışınlanmanın azaltılabileceği ve bununla ilgili önlemler alınabileceğini göstermiştir. Dünyada birçok ülke de radon gazından kaynaklanan rahatsızlıkları azaltmak için gerekli önlemleri almaktadır. Özellikle büyük binalar, kapalı ve geniş çalışma alanları radon gazı miktarının fazla olduğu yerlerdir. Havalandırması olmayan bodrum katlarında radon gazı birikir ve uzun vadede bu gazı solumanın akciğer kanserine yol açtığı pek çok bilimsel çalışmayla ortaya konulmuştur.

Bu tez çalışmasında ofis çalışanlarının radon gazına maruziyetten dolayı risk altında olup olmadığı araştırılmıştır. Çalışanların maruz kaldığı radon gazı yıllık etkin doz eşdeğeri dokuz ofis ortamının üçünde 1,12 – 1,17 – 1,52 mSv/y olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte söz konusu ofislerin ofis içi radon gazı konsantrasyonları sırasıyla 108 – 113 – 146 Bq/m<sup>3</sup>'tür. Öte yandan Darby ve ark. [53] tarafından Avrupa'da radon gazı veri havuzu oluşturmak için yapılan çalışmada kapalı ortamlarda sürekli ve uzun süreli 100 Bq/m<sup>3</sup>'ün üzerinde radon gazı konsantrasyonuna maruz kalmanın akciğer kanseri riskini %16 oranında artırdığı tespit edilmiştir. Yapılan tez çalışmasında elde edilen üç veri Darby ve ark. tarafından ortaya konan radon gazı risk sınır değeri sonucuyla örtüşmektedir.

Bayraktar ve ark. [32] tarafından Süleyman Demirel Üniversitesi Sabancı Öğrenci Yurdu'nda yapılan bir çalışmada çalışanların günde 8 saat mesaide buldukları göz önüne alındığında, maruz kalacakları radon gazı yıllık etkin doz eşdeğeri 0,41 mSv/yıl değerinde olduğu saptanmıştır. Söz konusu değer bu tez çalışmasında elde edilen en düşük radon gazı yıllık etkin doz eşdeğer değeri olan 0,24 mSv/yıl değerinden yüksek olduğu en yüksek radon gazı yıllık etkin doz eşdeğer değeri olan 1,52 mSv/yıl değerinden ise düşük olduğu görülmektedir. İki çalışma karşılaştırıldığında diğer çalışmanın bu tez çalışmasının veri aralığında olduğunu söylemek mümkündür.

Değerlier ve ark. [33] tarafından Adana'da yapılan çalışmada radon gazı yıllık etkin doz eşdeğeri hesaplamalarında bulunan sonuç 0,9 mSv/y'dir. Bu değer de yine yapılan tez çalışması veri aralığında olup iki çalışma birbiri ile paralellik göstermektedir.

Özbyay ve ark. [36] tarafından İzmir ilinin bazı ilçelerinde radon gazı yıllık etkin doz eşdeğerleri ölçülmüş, Bayraklı'da bir evde 10,5 mSv/yıl, Karşıyaka'da iki evde 11,4 mSv/yıl – 12,3 mSv/yıl ve Bornova'da bir evde 11,9 mSv/yıl olarak bulunmuş diğer verilerde ise radon gazı yıllık etkin doz eşdeğerleri güvenilir aralıkta bulunmuştur. Söz konusu değerler çok yüksek olmakla beraber özellikle akciğer kanseri hastalarının yaşadıkları kapalı alanlar çalışma sahası seçilmiştir. Bu tez çalışması kapsamında ise en yüksek değer 1,52 mSv/yıl olarak bulunmuştur ve ölçüm yapılan ofis çalışanları arasında akciğer kanseri tanısı konmuş bir çalışan yoktur. Bu iki çalışma arasındaki fark kişilerin maruz kaldığı radon gazı yıllık etkin doz eşdeğerlerinin birbirinden oldukça farklı olmasından kaynaklanmaktadır.

Bu tez çalışmasının yapıldığı Aydın bölgesi uranyum madenlerinin olduğu bir yerleşim yeri olduğu için çalışma kapsamında burada ölçülen değerler daha yüksek bulunmuştur. Sürekli havalandırılan ve hacmi çok geniş olan sadece bir ofis ortamında radon gazı değeri düşüktür. Dünyada benzer koşullara bağlı olarak yapılan çalışmalar incelendiğinde; Vucıcı ve ark. [34] Doğu Sırbistan'ın Kalna bölgesinde yer alan uranyum maden yataklarının yakınlarında radon gazı yıllık etkin doz eşdeğerinin 0,47 mSv'den 10,81 mSv'ye kadar değiştiğini saptamışlardır. Chauhan [37] tarafından Haryana'da yapılan çalışmada ölçüm sonuçları yerleşim bölgelerindeki Uranyum madeninin varlığına göre değişmektedir. Uranyum madeninin olduğu bölgelerde radon gazı miktarı çok daha yüksektir. Bu iki çalışma da tez çalışmasını desteklemektedir.

Literatür karşılaştırmalarına ek olarak bu tez çalışmasını desteklemesi bakımından Portekiz Urgeiriça uranyum madeninde radon gazı maruziyeti için alınan önlemleri belirlemek sebebi ile Alfa Guard dedektörü kullanarak da ölçüm yapılmış ve anlık olarak radon gazı konsantrasyonu 356 Bq/m<sup>3</sup> olarak ölçülmüştür. Söz konusu değer bu tez çalışması kapsamında elde edilen değerlerden oldukça yüksektir. Bunun sebebi ise Urgeiriça uranyum madenindeki uranyumun radyuma dönüşmüş olmasıdır bu da bölgeyi daha radyoaktif hale getirmektedir. Bölgenin radyoaktif olması radon gazı değerinin yüksek olmasının en büyük sebebidir.

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Radon gazı uranyum çekirdeğinin bozunumu ile oluşan, başlıca kaynağı ise toprak olan renksiz, tatsız ve kokusuz bir tür gazdır. Dünyanın oluşumu ile birlikte uranyum madeni su ve toprağa az ya da çok oranda karışmıştır. Bu topraklar inşaat malzemesi olarak kullanıldığında radon gazı bina içinde birikim yapabilmektedir. Özellikle mağara, maden ve bina gibi kapalı ortamlarda birikim yaptığı bilimsel pek çok çalışmayla kanıtlanmıştır. Radon gazının varlığı ancak özel yöntemler ve cihazlar ile ölçülebilir.

Bu tez çalışması kapsamında dünyada farkındalığı yeni artmaya başlamış olan ofis çalışanlarının radon gazına maruziyeti belirlenmiştir. Bulunan verilerden yola çıkılarak çalışanların radon gazına maruziyetinin söz konusu olduğu ve bazı ofislerde bu değerlerin dünya sağlık örgütünün belirlediği limit değerinin de üzerinde olduğu tespit edilmiştir.

Ülkemizde belirlenen illerde bulunan ofislerde ölçümler yapılarak, buralarda çalışanların gerekli tedbirleri almadıklarında çok ciddi sağlık sorunları doğurabilecek bir riske maruz kaldıklarını göstermek, bu konuda önlemler almalarını ve tarafların (işveren, çalışan, kamu, vatandaşlar vb.) bilinçlendirilmelerini sağlamak amaçlanmıştır. Radon gazı ile ilgili bilimsel tespitler, yapılan ölçümlerle de doğrulanmış olup ülkemizde radon gazı ile ilgili yasal düzenlemelerin eksik olduğu ve iyileştirmelere ihtiyaç olduğu sonucuna varılmıştır.

Ölçüm yapılan ofis ortamında bulunan çalışanlarla yapılan görüşmeler sonucu özellikle kış aylarında çalışanlarda öksürük ve nefes darlığı gibi semptomların arttığı bilgisine ulaşılmış ancak akciğer kanseri tanısı konmuş bir çalışan tespit edilememiştir. Akciğer kanseri uzun vadede ortaya çıktığı için sadece risk altında oldukları tespit edilen bu çalışanlar radon gazı maruziyeti ve havalandırma koşullarının iyileştirilmesi gerekliliği hakkında bilgilendirilmiştir.

Çalışanları radon gazı maruziyetinden korumak için kurum yetkililerince alınabilecek önlemler;

- Yapı malzemesi olarak kullanılan taş ve toprak gibi hammaddeler, bünyelerinde doğal olarak uranyum, toryum ve fosfor bulundurulabilirler. Bu malzemeler bina yapımında kullanıldığında bina içi radon gazı maruziyeti söz konusu olabilir. Bu sebeple bina yapımında kullanılmadan önce bu maddelerin radyoaktivite analizleri yapılarak doz değerlendirmeleri sonucuna göre insan sağlığına zarar vermeyen yani limit değerlerin altında olan malzemeler yapı malzemesi olarak kullanılmalıdır. Ülkemizde yapı

malzemelerinin analizi TAEK tarafından yapılmaktadır. Bu analizler yapılacak mevzuat düzenlemesi ile zorunlu hale getirilebilir.

- Radon gazı toprak kaynaklı bir gaz olduğu için özellikle binaların hava almayan bodrum katlarının toprakla irtibatı kesilmelidir. Bunun için dünyada uçucu organik bileşikler, hidrokarbonlar ve birikim yapabilme özelliği olan metan ve karbondioksit gibi gazları tutmak için de kullanılan, kimyasallara dayanıklı membran döşemeler kullanılabilir.
- Bina yapılmadan önce yapılan subasman betonunun altında radon gazını hapsedecek kanallar ve boşluklar oluşturulmalıdır. Bu boşluklar ise yapı sektöründe sıkça kullanılan kör kalıp sistemleri ile oluşturulabilir. Kör kalıplar tek kullanımlık olup temele yerleştirildikten sonra çıkarmaya gerek kalmaz ve binanın toprakla irtibatını keser. Böylece oluşturulan boşluklarda hapsolan radon gazı binaya giriş yapamaz.
- Binaların zamanla yıpranmasıyla hem temelinde hem de duvarlarında çatlaklar, yarıklar ve delikler oluşur. Bu şekilde yaşanan binalarda radon gazı seviyesi yüksek olacağından gerek yapı temelinde bulunan gerekse de yapı içinde bulunan çatlaklar, yarıklar ve delikler sıva işlemi ile kapatılmalıdır. Böylece radon gazı yapı içine giremeyecek ve birikim oluşturamayacaktır.
- Radon gazının yapı içinde birikim yapmasını önlemenin en etkili yöntemi iyi bir havalandırma sistemidir. Çalışılan ya da yaşanan ortamlarda her sabah düzenli olarak kapı ve pencere açma yolu ile yarım saatlik etkin bir havalandırma sağlanması bile radon gazı miktarını düşürecektir.
- Binalarda radon gazını önlemenin bir başka etkin yolu, radon gazını binaya girmeden ortamdaki uzaklaştırmaktır. Bunun içinde yapı temelinde tıpkı bir elektrik süpürgesi gibi radon gazını çekebilecek emme boruları yerleştirilebilir. Bu boruların bir ucu temelde oluşan çatlaklara ve toprağa yerleştirilir diğer ucu ise tıpkı bir baca gibi evin çatısından dışarı çıkarılır. Çatıdan çıkan uca takılacak fan yardımıyla radon gazının zeminden emilerek dışarı atılması sağlanır. Örnek sistem şekli Ek – 1’de gösterilmektedir.
- Özellikle son zamanlarda yapılan binalarda, yapı sektörünün de gelişmesiyle beraber enerji verimliliği için sızdırmaz kapı ve pencereler bulunmaktadır. Ancak bu sızdırmazlık, radyoaktivite analizi yapılmamış dolayısıyla doz değerleri bilinmeyen inşaat malzemelerinin kullanıldığı binalarda, yapı malzemelerinden kaynaklı olan bina içi radon ışıması sonucu oluşan radon gazının birikimini kolaylaştırabilir. Kapalı

ortamlarda temiz hava bulunmasının önemli olduğu bilincinin son zamanlarda gelişmesiyle ayarlanabilir ve otomatik havalandırma sistemine sahip pencereler tasarlanmıştır. Bu pencereler kapalıyken bile ortamda devamlı taze hava olmasını sağlar.

- Binalarda kullanılan ahşap pencereler doğal malzemeden üretilmekte ve hava akışını kısmen sağlamaktadır. PVC pencereler çok iyi yalıtım sağladıkları için daha çok tercih edilmekle beraber radon gazı birikimine eğilimli binalarda kullanıldığında ortamda birikim yapabilen radon gazının da tahliyesini engelleyecek ve sağlık yönünden risk oluşturabilecektir. PVC pencerelerin kullanılmasının zorunlu olduğu durumlarda vasistas kullanılması radon gazı birikimini önlemede yardımcı olacaktır.
- Sigara dumanı kapalı bir ortama yayıldığı zaman, dumanın yapısında bulunan zararlı partiküller havada asılı kalmaktadır. Radon gazının bozunum ürünü olan toron ve aktinon asılı partiküllere yapışır. Böylece bu partiküllerin solunmasıyla akciğerlere sigara dumanının verdiği zarar katlanarak artmış olur. Bu durumda radon gazının sigara dumanından kaynaklı zararlı etkisini azaltmak için kapalı ortamlarda sigara içilmemelidir.

Ölçüm sonuçları ofis ortamı gibi tüm gün kapalı ortamlarda çalışanların radon gazı kaynaklı bir hastalığa yakalanabilecekleri riskini ortaya koymuştur. Ülkemizde radon gazı çok az bilinmekle beraber insan sağlığına verdiği zararlar ilgili farkındalık henüz gelişmemiştir. Hayatı boyunca sigara kullanmayıp akciğer kanserinden ölenlerin sayısı azımsanamayacak boyuttadır.

TAEK tarafından yürütülen Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği'nde bir sınır değeri mevcut olup sadece bina içi radon gazı konsantrasyonuna aittir. Ayrıca çalışanların maruz kalması gereken limit dozlar bu Yönetmelikte belirtilmemiştir. Sadece belirli işyerleri için ölçümler zorunlu tutulmuştur. Oysa radon gazı kapalı ortamlarda yaşayan herkesi etkilemektedir. Ülkemizde radon gazına mevzuatta detaylı yer verilmesi bu alandaki iyileştirmeler için somut bir adım atılmasını ve farkındalığın artmasını sağlayacaktır.





## KAYNAKLAR

- [1] FEMA, DMA 2000 Hazard Mitigation Plan Update , *Radon Exposure Profile*, FEMA publications, Bölüm 4.3.8, Pennsylvania, 2013
- [2] Bora, H, *Ankara Üniversitesi Dikimevi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksek Okulu Yıllığı*, Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi Radyasyon Onkolojisi Anabilim Dalı, Cilt 2 Sayı 1, Sayfa: 91-98, Ankara, 2001
- [3] Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, TAEK, <http://www.taek.gov.tr>. (Erişim Tarihi: 27.03.2015)
- [4] Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, AFAD, <https://kbrn.afad.gov.tr/kategori-1204-radyasyon-nedir.html>., (Erişim Tarihi: 18.06.2015)
- [5] Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi Radyasyon Güvenliği El Kitabı 2014, <http://hastane.ege.edu.tr/GenelUyumEgitimi/files/Radyasyon%20G%C3%BCvenli%C4%9Fi%20El%20Kitab%C4%B1.pdf>, (Erişim Tarihi: 20.03.2015)
- [6] Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, TAEK ,[http://www.taek.gov.tr/ogrenci/bolum4\\_03.html](http://www.taek.gov.tr/ogrenci/bolum4_03.html) (Erişim Tarihi: 30.06.2015)
- [7] IAEA, *Radiation, People and The Environment Printed by the IAEA*, Sayfa: 99 – 103, Austria, 2004
- [8] Büget, N., *Genel Radyoaktivite*, TAEK Yayınları, Sayfa:1-16, Ankara,1992
- [9] Kaplan, I., , *Nuclear Physics*, Third Printing, Addison-Wesley Publishing Company, Sayfa: 34 – 35, Massachusetts, 1969
- [10] <http://www.frankswebpace.org.uk/ScienceAndMaths/physics/physicsGCE/D1-3.htm>, (Erişim tarihi: 19.06.2015)
- [11] Krane, K.S., *Introductory Nuclear Physics*, Wiley, Sayfa: 160-236, New York, 1987
- [12] Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, TAEK, <http://www.taek.gov.tr/ogrenci/sf3.html> (Erişim Tarihi:15.07.2015)
- [13] Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, TAEK, <http://www.taek.gov.tr/ogrenci/sf4.html> (Erişim Tarihi:21.10.15)

- [14] ICRP – Publication 103, *Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*, Elsevier Pres, Sayfa: 37, Oxford, 2007
- [15] NCRP – 160 ,ABD, 2009, [http://hps.org/media/documents/ncrp\\_rpt-160\\_pr.pdf](http://hps.org/media/documents/ncrp_rpt-160_pr.pdf), (Erişim Tarihi : 18.02.16)
- [16] Can, B., *Kilis İlindeki Evlerde Radon Gazı Ölçümü*, Kilis 7 Aralık Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Kilis, 2011
- [17] Bulgurcu H., Havalandırma ve İç Hava Kalitesi [http://deneysan.com/Content/images/documents/havalandirma-1\\_46167331.pdf](http://deneysan.com/Content/images/documents/havalandirma-1_46167331.pdf), (Erişim Tarihi: 31.12.2015)
- [18] Yücel, A., Aycan, S., Özkan, S., Vaizoğlu, S., *Bir Kamu Binası Çalışanlarında Hasta Bina Sendromu*, Sağlık ve Toplum Yıl:21, Sayı: 3, Sayfa: 19 – 27, Ankara, 2011
- [19] Adler, L., M.A., Extension Specialist for Home Furnishings, *University of Kentucky Cooperative Extension Service*, 2000, <http://www2.ca.uky.edu/HES/fcs/FACTSHTS/HF-LRA.162.PDF>, (Erişim Tarihi: 18.01.2016)
- [20] NCRP, *Measurement of Radon and Radon Daughters in Air National Council on Radiation Protection and Measurements Report No 97.*, Bethesda, 1988.
- [21] Unsear, *Sources and Effect of Ionizing Radiations*, United Nations Scientific Commities on The Effect of Atomic Radiation, UNSCEAR, NewYork, 1993
- [22] Risks of Radon, [http://www.laradioactivite.com/en/site/pages/Risks\\_Radon.htm](http://www.laradioactivite.com/en/site/pages/Risks_Radon.htm) (Erişim Tarihi: 13.07.2015)
- [23] Zeeb, H., Shannoun, F., *WHO handbook on indoor radon: a public healthperspective*, WHO Publications, Sayfa: 3 – 14, France, 2009
- [24] IAEA, *Naturally Occurring Radioactive Material (NORM V) Proceedings of an international symposium Seville*, IAEA publications, Sayfa: 17 – 25, Spain, 2007
- [25] UNSCEAR, *Sources and effects of ionizing radiation United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Report to the General Assembly with scientific annexes*, New York, USA, 2000

- [26] Bozkurt V., *Niğde İlinde Bulunan Tarihi Mekanlardaki Radon Gazı Ölçümleri*, Niğde Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi T.C Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı, Sayfa: 42 – 44, Niğde, 2008
- [27] Çelebi N., *Konutlarda Radon Konsantrasyon Değerlerinin Yapı Biyolojisi Açısından İncelenmesi*, VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, TESKON, Sayfa: 397-492, 25-28, İzmir, 2007.
- [28] Yücel B., Arıkan İ. H., *Binalarda Radon ve Sağlık Etkileri*, <http://me.emu.edu.tr/haybar/Radon/BinalardaRadon.pdf> (Erişim Tarihi: 31.12.2015)
- [29] Vikipedi, Ofis, <https://tr.wikipedia.org/wiki/Ofis> (Erişim Tarihi: 04.11.2015)
- [30] Gelgün S., *Kütahya İli Kapalı Mekânları Radon Gazı Konsantrasyonu Ölçümü*, Dumlupınar Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı, Sayfa: 33 – 34, Kütahya, 2010
- [31] Radon....what is it?, <http://www.radoncontrols.com/> (Erişim Tarihi: 04.01.2016)
- [32] Bayraktar G., Karakılıç, V., Karadem, A., Kürkçüoğlu, M. E., *S.D.Ü. Sabancı Öğrenci Yurdunda CR-39 Dedektörleri Kullanarak Radon Ölçümleri*, X. Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi, Sayfa: 291-301, Muğla, 2009
- [33] Değerlier M., Çelebi N., *Indoor Radon Concentrations In Adana, Turkey*, Radiation Protection Dosimetry, Published by Oxford University Press, Sayfa: 1–6., İstanbul, 2008
- [34] Vučić D. A., Nikezić D., Vaupotič J., Stojanovska Z., Krstić D., Žunić Z. S., *Effective Dose For Real Population Exposed To Indoor Radon In Dwellings Of The Former Uranium Mine Area Kalna (Eastern Serbia)*, Rom. Journ. Phys., Sayfa: S336–S347, Bucharest, 2013
- [35] Kürkçüoğlu I., Karakılıç V., Kürkçüoğlu M. E., *Isparta ilinde yüksek florlu su kaynaklarını kullanan iki bölgede atmosferik radon düzeylerinin incelenmesi*, S.D.Ü. Sağlık Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt.1/ Sayı. 2, Sayfa: 49 – 61, Isparta, 2010.
- [36] Özbay T., Durak H., Karadeniz Ö., *İzmir İlinde Buca, Bornova, Karşıyaka ve Bayraklı İlçelerinin Radon Dağılım Haritalarının Oluşturulması*, [http://medikalfizik.org/uploads/files/15\\_MFD\\_Kongre/16Mayis\\_26\\_TurkanOzbay.pdf](http://medikalfizik.org/uploads/files/15_MFD_Kongre/16Mayis_26_TurkanOzbay.pdf)(Erişim Tarihi: 10.01.2016)

- [37] Chauhan R.P., *Monitoring of radon, thoron and their progeny in dwellings of Haryana*, Indian Journal of Pure & Applied Physics, Sayfa: 470-472, India, 2010
- [38] Gültekin, Y., Çam S., Ereeş F.S., , *Assesment Of Dose Rates Around Manisa (Turkey)*, Radiation Measurement, Elsevier, Sayfa:598-601, Manisa, 2006
- [39] Oikawa S., Kanno N., Sanada T., Abukawa J., Higuchi H., *A survey of indoor workplace radon concentration in Japan*, Journal of Environmental Radioactivity, Sayfa: 239-245, Japan, 2006
- [40] Radon ve Kanser, <http://kanser.gov.tr/Dosya/onleme/radon.pdf>, (Erişim Tarihi: 04.01.2016)
- [41] Zielinski J.M., *Mapping of Residential Radon in the world Health Canada and Department of Epidemiology and Community Medicine, University of Ottawa*, Sayfa: 24, Paços de Caldas, 2014
- [42] TAEK, *Kapalı Ortamlarda Radon Gazı, Teknik Rapor*, Ankara, 2012
- [43] Mihçı M., *Sivas Merkez Yerleşiminde Radon Gazı Dağılımının Belirlenmesi ve Türkiye’de Yapılaşma Öncesi Radon Gazı Ölçümüne Yönelik Yönetmelik Taslağı Hazırlanması*, Cumhuriyet Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, C.Ü. Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı, Sivas, 2008
- [44] Map of radon in the united kingdom, [http://www.hse.gov.uk/foi/internalops/ocs/500-599/560\\_50/560\\_50radonmap.htm](http://www.hse.gov.uk/foi/internalops/ocs/500-599/560_50/560_50radonmap.htm) (Erişim Tarihi: 20.06.2016)
- [45] EPA Map of Radon Zones, <https://www.epa.gov/radon/find-information-about-local-radon-zones-and-state-contact-information> (Erişim Tarihi: 20.06.2016)
- [46] FOPH, *National Action Plan Concerning Radon 2012 – 2020*, Switzerland , 2011
- [47] Gue, L., *Revisiting Canada’s Radon Guideline*, April 2015, The David Suzuki Foundation
- [48] Radon regulation, <http://radoneurope.org/index.php/activities-and-events-2/working-groups/radon-regulation/>, (Erişim Tarihi:16.12.2015)

- [49] T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, *2014 – 2023 İyonlaştırıcı Radyasyonun Neden Olduğu Tehlikelere Karşı Temel Korunma Standartların Güncellenmesi ve Güçlendirilmesi Yol Haritası Belgesi*, Ankara, 2014
- [50] Baixeras, C., Climent, H., Font, L.L., Bacmeister, G.U., Albarracín, D. and Monnin, M.M., , *Using SSNTDS in Soil and Indoors in Two Mediterranean Locations for Radon Concentration Measurements*, Radiation Measurements, Elsevier, Sayfa: 713-716, France, 1997
- [51] Cherouati, D.E., Djeflal, S., Durrani, S.A., *Calibration Factor For LR-115 Detectors Used For The Measurement of Alpha Activity from Radon*, Nucl. Tracks Radiat. Meas., Elsevier, Sayfa:583-586, Pakistan, 1988
- [52] İçhedef M., *Radon difüzyon hızının farklı büyük toprak gruplarına göre değişiminin incelenmesi*, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tez Çalışması, Ege Üniversitesi, Sayfa: 66 – 67, İzmir, 2011
- [53] Darby S. ve ark., Residential radon and lung cancer: detailed results of a collaborative analysis of individual data on 7148 subjects with lung cancer and 14208 subjects without lung cancer from 13 epidemiologic studies in Europe. Scand J Work Environ Health, 32 Suppl1:1-83., (2006)
- [54] Radon Mitigation System Drawings & Photos , <http://www.saintlouisradon.com/radon-reduction-mitigation.html>, (Erişim Tarihi: 21.06.2016)
- [55] ELBEK, O., BÖREKÇİ, Ş., Polivinil Klorüre Bağlı Akciğer Hastalıkları, [http://www.klinikgelisim.org.tr/kg\\_234/12.pdf](http://www.klinikgelisim.org.tr/kg_234/12.pdf), (Erişim Tarihi: 21.06.2016)



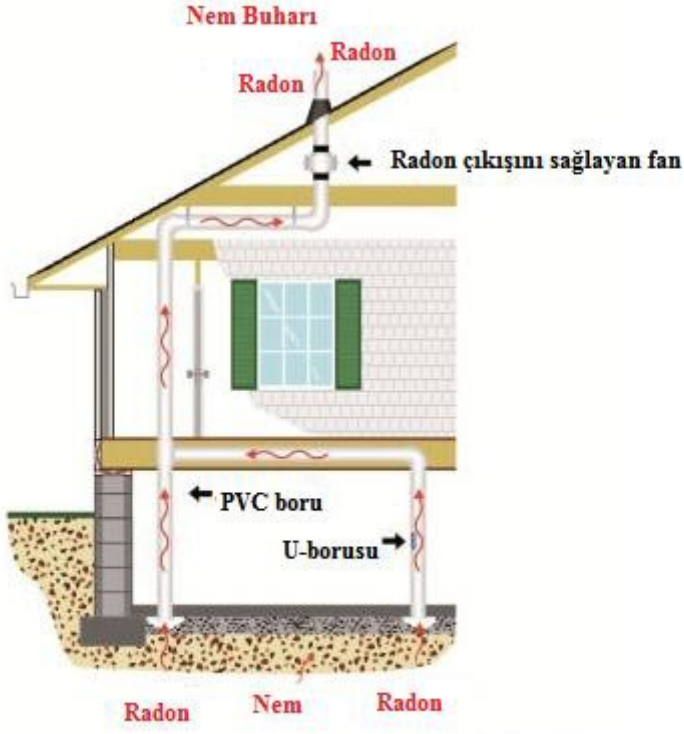




## **EKLER**

**EK – 1 : Radon gazının bina içinden çıkışını sağlayan emme boru sistemi.**

EK - 1



Radon gazının bina içinden çıkışını sağlayan emme boru sistemi [54].