

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BURSA'NIN ORHANELİ, KELEŞ VE OSMANGAZİ İLÇELERİNDEKİ
TOPRAKLARDA RADON YAYILIM HIZLARININ VE EFEKTİF
RADYUM İÇERİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yunus Emre YAŞAR

Enstitü Anabilim Dalı : FİZİK

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Hakan YAKUT

Ocak 2020

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ


BURSA'NIN ORHANELİ, KELEŞ VE OSMANGAZİ İLÇELERİNDEKİ
TOPRAKLARDA RADON YAYILIM HIZLARININ VE EFEKTİF
RADYUM İÇERİKLERİNİN BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yunus Emre YAŞAR

Enstitü Anabilim Dalı : FİZİK

Bu tez 13/01/2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.


Prof. Dr.
Recep AKKAYA

Jüri Başkanı


Doç.Dr.
Hakan YAKUT

Üye



Doç.Dr.

Betül USTA

Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.



Yunus Emre YAŞAR

30.12.2019

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca her konuda değerli bilgi ve deneyimleriyle yanımda olan, tez konusunun belirlenmesinden tezin sonuçlanmasına kadarki süreçte benden yardımlarını esirgemeyen değerli danışmanım Doç. Dr. Hakan YAKUT'a teşekkür ediyorum.

Tez çalışması ve tezimin tamamlanması sürecinde bana her konuda destek veren ve hiçbir zaman yardımlarını esirgemeyen Prof.Dr. Recep AKKAYA'ya, Dr. Öğr. Üyesi Emre TABAR'a ve arkadaşım Yusuf ÖZER'e teşekkürü bir borç bilirim.

Tüm eğitim hayatım boyunca desteklerini üzerimden eksik etmeyen, her zaman maddi ve manevi olarak yardımlarını esirgemeyen aileme sonsuz teşekkür ederim

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	iii
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ	vii
ÖZET	viii
SUMMARY	ix
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
1.1. Genel Literatür Özeti	3
BÖLÜM 2.	
GENEL BİLGİLER	9
2.1. Radon ve Bozunum Ürünleri Hakkında Genel Bilgiler	10
2.2. Radonun Kaynağı	11
2.3. Radon Bozunum Ürünleri	14
2.4. Topraklarda Radon Yayılması ile ilgili Bilgiler	15
2.5. Ortamlarda Bulunan Radon Kaynakları	16
2.5.1. Su kaynaklı radon	17
2.5.2. Doğalgaz kaynaklı radon	18
2.5.3. Yapı malzemesi kaynaklı radon	18
2.6. Radonun Sağlık Üzerindeki Etkileri	20
2.7. Yapılarda Radona Karşı Alınacak Tedbirler	22
2.8. Topraklarda Radon Yayılım Hızları Hakkında Genel Bilgiler	24

2.9. Katıhal Nükleer İz Dedektörleri ve Kapalı Kutu (Sealed Can) Metodu	27
2.10. Kapalı Kutu Metoduyla Radon Yayılım Hızlarının Belirlenmesi	30

BÖLÜM 3.

TOPRAK ÖRNEKLERİNDE RADON YAYILIM HIZI VE EFEKTİF RADYUM İÇERİĞİNİN BELİRLENMESİ.....

36	36
3.1. Çalışma Alanı ve Jeolojisi	36
3.2. Analizler ve Ölçüm Sonuçları.....	41
3.3. Orhaneli, Keleş ve Osmangazi İlçelerindeki Sonuçlar	42
3.4. Tartışma ve Öneriler	57
KAYNAKLAR	59
EKLER.....	70
ÖZGEÇMİŞ	71

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AED	: Yıllık etkin doz eşdeğeri
Bq	: Becquerel (radyoaktivite birimi)
C_{Ra}^{eff}	: Etkin radyum konsantrasyonu
Ci	: Curie (radyoaktivite birimi)
C_{Rn}^{ind}	: Toprakтан yayılan radonun kapalı alandaki radona katkısı
C_{Rn}	: Radon aktivite konsantrasyonu
E_A	: Yüzey radon yayılım hızı
E_M	: Kütle radon yayılım hızı
EURATOM	: Avrupa Atom Enerjisi Topluluğu
eV	: Elektron-Volt
Gy	: Gray (soğrulan doz birimi)
GM	: Geometrik ortalama
H	: Hidrojen
H_{ex}	: Tehlike indeksi
ICRP	: Uluslararası Radyolojik Korunma Komitesi
k_f	: Kalibrasyon faktörü
MDA	: Minimum dedekte edilebilen aktivite
n	: Nanometre (10^{-9} metre)
NaI(Tl)	: Talyum katkılı sodyum iyodür dedektörü
NRPB	: İngiltere Milli Radyasyondan Korunma Komitesi
p	: Pikometre (10^{-12} metre)
PHS	: ABD Halk Sağlığı Servisi
ppm	: Milyonda bir
S	: Yüzey alanı
SD	: Standart sapma

S_r	: İç yüzey alanı
S_v	: Sievert (eşdeğer doz birimi)
TAEK	: Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
T_e	: Etkin ışınlanma süresi
$t_{1/2}$: Yarı ömür
UNSCEAR	: Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi
V_a	: Kapalı kutudaki hava boşluğunun hacmi
V_r	: Odanın hacmi
V_s	: Kutudaki örneğin hacmi
WL	: Çalışma seviyesi
WLM	: Aylık çalışma seviyesi
ρ	: İz yoğunluğu
λ_e	: Etkin bozunma sabiti
λ_b	: Geri difüzyon sabiti
λ_{Rn}	: Radonun bozunma sabiti
α_x	: Geri difüzyon etkisinin düzeltme terimi
μ	: Mikrometre (10^{-6} metre)
μ_B	: Art-ortom sayım hızı
τ	: Ortalama yarı ömür
φ	: Havanın değişim oranı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Uranyum serisi ve radonun bozunum ürünleri.....	2
Şekil 2.1. Radon gazının başlıca kaynakları	11
Şekil 2.2. Radon gazının (Rn-222) bozunum ürünleri ve bozunum süreleri...	13
Şekil 2.3. Radonun binaya sızma yolları	17
Şekil 2.4. Radon gazının havalandırma borusu ile tahliyesi.....	23
Şekil 2.5. Radon difüzyonunun şematik gösterimi.....	25
Şekil 2.6. Ağır yüklü parçacıkların içinden geçtikleri polimerin molekül zincirlerini kırması	28
Şekil 2.7. İzlerin banyo süreci boyunca aldığı şekiller.....	30
Şekil 2.8. Kapalı kutu tekniği şematik gösterimi.....	31
Şekil 3.1. Bursa ili jeoloji haritası.....	39
Şekil 3.2. Bursa ili ve ilçeleri loksayon haritası	40
Şekil 3.3. Bursa ili ilçeleri ve örnekleme noktaları haritası.....	40
Şekil 3.4. Orhaneli (1-14) ve DOSAB (15-17) bölgesindeki topraklarda efektif radyum içeriği (a), kütle eksalasyon oranları (b), yüzey eksalasyon oranları (c) ve iç mekan radon aktivitesine katkılar (d)	47
Şekil 3.5. Keleş (1-56) ilçesindeki topraklarda efektif radyum içeriği (a), kütle eksalasyon oranları (b), yüzey eksalasyon oranları (c) ve iç mekan radon aktivitesine katkılar (d).....	48
Şekil 3.6. Çalışılan ilçelerdeki tüm topraklarda radon aktivitesi (C_{Rn}), efektif radyum içeriği (C_{Ra}), kütle eksalasyon oranları (E_M), yüzey eksalasyon oranları (E_S) değerlerinin frekans dağılımları	51
Şekil 3.7. Çalışma bölgesindeki kapalı alandaki radon seviyesine ilave gelebilecek ^{222}Rn katkıları ve buna karşılık hesaplanan yıllık eşdeğer doz değerleri.....	56

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Radon ve bozunum ürünlerinin özellikleri.....	14
Tablo 2.2. Farklı ülkelerdeki yapı malzemelerinin içerdiği radyum yoğunlukları	19
Tablo 2.3. Yapı malzemelerinin farklı nem oranlarındaki radon salınımları..	19
Tablo 2.4. Kapalı mekanlardaki radon sınır değerleri	21
Tablo 2.5. Yapı içi radon düzeyi ve etkilenim süresine bağlı olarak akciğer kanseri sebebiyle ölüm riski	21
Tablo 2.6. Çeşitli ortamlar için radon difüzyon sabitleri	26
Tablo 2.7. Farklı dedektör tipleri için iz kazıma koşulları	29
Tablo 3.1. Orhaneli (Termik Santral çevresi) ve Osmangazi (DOSAB sanayi bölgesi) ilçelerinden toplanan toprak örneklerinin kütle ve yüzey radon yayılım oranları ve efektif radyum içerikleri.....	43
Tablo 3.2. Keleş ilçesinden toplanan toprak örneklerinin kütle ve yüzey radon yayılım oranları ve efektif radyum içerikleri.....	44
Tablo 3.3. Çalışılan toprak örneklerindeki efektif ²²⁶ Ra içeriği, kütle ve yüzey radon eksalasyon oranlarının istatistiksel analizi.....	50
Tablo 3.4. Bursa'nın Orhangazi, Keleş ve Osmangazi ilçelerinden toplanan toprak örneklerindeki etkin radyum içeriği, kütle ve yüzey radon yayılım hızı değerlerinin başka ülkelerde elde edilen veriler ile karşılaştırması.....	52

ÖZET

Anahtar kelimeler: Radon, radyum, kapalı kutu tekniği, LR-115, Bursa

Bu tez çalışmasında Bursa'nın Orhaneli, Keleş ve Osmangazi ilçelerinden toplanan toprak örneklerinin, “kapalı kutu (sealed can) tekniği” ve katıhal iz dedektör filmleri (LR-115) kullanılarak radon yayılım hızlarının ve efektif radyum içeriklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca topraktan radon yayılımı yoluyla kapalı ortamdaki radon aktivitesine gelen ilave radon aktivitesi de belirlenmiş ve kapalı ortamlardaki radondan kaynaklı yıllık efektif dozlar hesaplanmıştır. Radyoaktivite ölçümleriyle radyolojik risklerin belirlenmesi çevredeki canlılar ve insanlar için oldukça önemlidir. Keleş ve Osmangazi’de kurulması planlanan termik santrallerin çevresinde yapılan bu çalışma, santraller kurulup bir müddet çalıştırdıktan sonra yapılacak radyolojik çalışmalar için de bir kıyaslama çalışması olacaktır.

Çalışmada ölçümler sonucu elde edilen kütle radon yayılım hızları $27,32 \pm 2,61 - 1132,7111 \pm 16,83$ mBqkg⁻¹h⁻¹ ($316,22 \pm 8,89$ mBqkg⁻¹h⁻¹ ortalama ile) aralığında, yüzey radon yayılım hızları $0,65 \pm 0,40 - 24,25 \pm 2,46$ Bqm⁻²h⁻¹ ($7,15 \pm 1,34$ Bqm⁻²h⁻¹ ortalamayla) aralığında ve efektif radyum konsantrasyonu $0,34 \pm 0,29 - 14,23 \pm 1,89$ Bqkg⁻¹ ($3,97 \pm 1,0$ Bqkg⁻¹ ortalama değerle) aralığında değişmektedir. Kapalı alandaki radon aktivitesine katkı ise $2,61 - 97,88$ Bqm⁻³ aralığında değişirken $28,59$ Bqm⁻³ ortalama değere sahiptir. Çalışma da belirlenen ortalama yüzey radon yayılım hızı Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi (UNSCEAR, 2000) tarafından rapor edilen yıllık ortalama değerden ($118,8$ Bqm⁻²h⁻¹) daha düşüktür. Çalışma alanındaki, hesaplanan yıllık etkin doz değerleri $0,07 - 2,72$ mSvy⁻¹ aralığında ($0,80$ mSvy⁻¹ ortalamayla) değişmekte ve tavsiye edilen aksiyon değerlerinin ($3 - 10$ mSvy⁻¹, UNSCEAR, 2000) altındadır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar ulusal ve uluslararası kuruluşlar tarafından önerilen limit değerlerle karşılaştırıldığında, çalışılan bölgedeki toprakların büyük bir kısmının radyolojik açıdan herhangi bir tehlike oluşturmayacağı anlaşılmaktadır.

DETERMINATION OF RADON EXHALATION RATES AND EFFECTIVE RADIUM CONTENTS IN SOIL SAMPLES AROUND ORHANELİ, KELEŞ AND OSMANGAZİ DISTRICTS OF BURSA

SUMMARY

In this thesis, it was aimed to determine radon exhalation rates and effective radium contents of the soil samples collected from Orhaneli, Keleş and Osmangazi districts of Bursa by using “Sealed Can Technique” and solid state track detectors (LR-115). The radon concentration added to the indoor radon activity via radon exhalation from the soil was also determined and the annual effective doses due to radon in indoor environments were calculated. Determination of radiological risks with radioactivity measurements is very important for all living creatures and humans. This study, which is carried out around the thermal power plants planned to be established in Keleş and Osmangazi, will be a comparison study for the radiological studies to be performed after the power plants are installed and operated for a term.

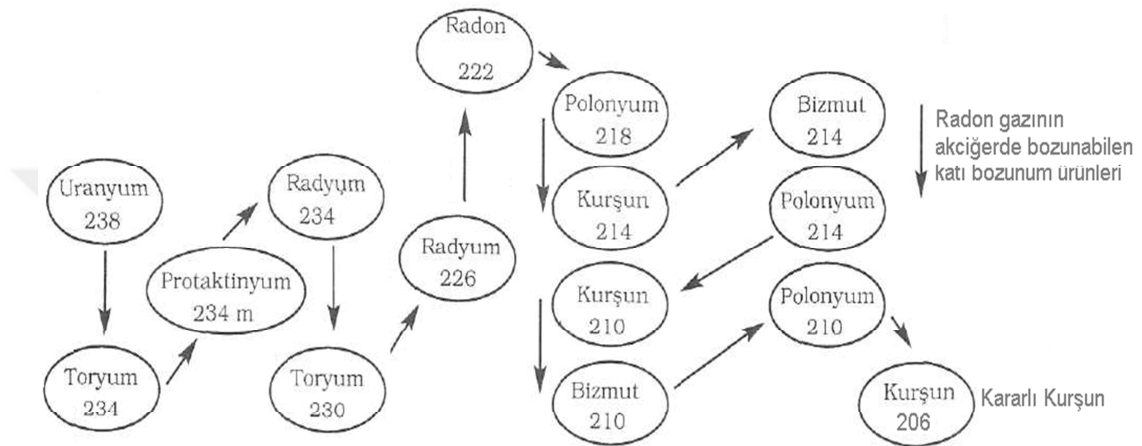
Mass and surface exhalation rates obtained in soil samples vary from 27.32 ± 2.61 to 1132.7111 ± 16.83 $\text{mBqkg}^{-1}\text{h}^{-1}$ with an average value of 316.22 ± 8.89 $\text{mBqkg}^{-1}\text{h}^{-1}$ and 0.65 ± 0.40 to 24.25 ± 2.46 $\text{Bqm}^{-2}\text{h}^{-1}$ with an average value of 7.15 ± 1.34 $\text{Bqm}^{-2}\text{h}^{-1}$, respectively. The effective radium content was found to vary in the range 0.34 ± 0.29 to 14.23 ± 1.89 Bqkg^{-1} with an average value of 7.15 ± 1.34 $\text{Bqm}^{-2}\text{h}^{-1}$. The indoor radon concentration contributed by surface radon exhalation from soil varies from 2.61 to 97.88 Bqm^{-3} with an average value of 28.59 Bqm^{-3} . The average surface radon exhalation rate determined in the study is lower than the annual average value (118.8 $\text{Bqm}^{-2}\text{h}^{-1}$) reported by the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR, 2000). The estimated annual effective dose values in the study area vary between 0.07 and 2.72 mSvy^{-1} (with an average of 0.80 mSvy^{-1}) and are below the recommended action values (3-10 mSvy^{-1} , UNSCEAR, 2000). When the results obtained in this study are compared with the limit values proposed by national and international organizations, it is understood that most of the soils in the studied area do not pose any radiological danger.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Kozmik ışınlar ve dünyanın oluşumundan bu yana var olan karasal radyonüklidler ile teknolojinin gelişimiyle ortaya çıkan yapay radyasyon kaynakları yaşadığımız çevrede bir radyoaktivite düzeyi oluşturmaktadır. Bu nedenle bütün canlıların yaşamları boyunca radyasyona maruz kaldıkları açıktır. Doğal radyoaktivite, tüm jeolojik oluşumlarda yer alan ve yarılanma süresi Dünya'nın yaşı ile kıyaslanabilecek düzeyde olan ilkel radyonüklidlerden kaynaklanır. Radyolojik çalışmalarda çalışılan bu doğal radyonüklidler ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra ve ^{40}K çekirdekleridir (UNSCEAR, 2000). Doğal olarak mevcut olan bu radyonüklidler yayınladıkları gama ışınlarıyla (dış kaynaklı ışınlamaya) vücudumuzun dış kaynaklı ışınlamaya maruz kalmasının temel nedenidir. Bu radyoizotoplar, vücut içinde de bulunduğu gama ışınlarında olduğu gibi, α (alfa) ve β (beta) parçacıklarıyla da organların birçoğunda iç ışınlamaya da sebep olmaktadır. Yer kabuğunda ağırlıklı olarak % 2,4 oranında bulunan ^{40}K 'in aktivite konsantrasyonu genelde, ^{238}U ve ^{232}Th 'nin konsantrasyonundan büyüktür. Toprak katmanları boyunca ve tüm kayalarda bulunan uranyum genelde düşük konsantrasyonlara sahiptir. Uranyum serisinin başlangıç çekirdeği olan ^{238}U , kararlı Pb-206 haline gelinceye kadar bozunmaktadır. Bu seride yer alan ve tek radyoaktif gaz olan radon radyoizotopu (^{222}Rn ; $T_{1/2}=3,82$ gün) atmosferde (coğrafik bölgenin jeolojik yapısıyla ilişkili olarak yayılım göstererek) herhangi bir yerde bulunabilir. Radon ayrıca dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından ileri gelen radyasyon dozları içerisinde en büyük orana (yaklaşık %50) sahiptir. Bulduğumuz her ortama girebilen (bina içlerinde, sulara çözülmüş halde, yapı malzemelerinde, toprakta ...vs) radonun kimyasal reaktivitesi çok zayıftır ve bu nedenle teneffüs edildiğinde dokulara kimyasal olarak bağlanmaz. Dokulardaki çözünürlüğü de oldukça düşüktür. Radonun bozunma ürünleri ise toz ve diğer parçacıklarla radyoaktif aerosoller oluşturarak taşınırlar ve kararlı hale gelinceye kadar bozunmaya devam ederler.

Özellikle solunum borusunda meydana gelen bozunma süreçleri sonucunda, bronşal epiteldeki radyasyon dozu artabilir.

Bu bozunma ürünlerinin bazılarının da farklı enerjilerde α parçacıkları yaymaları nedeniyle önemli biyolojik etkileri olduğu bilinmektedir (Güler ve Çobanoğlu, 1997).



Şekil 1.1. Uranyum serisi ve radonun bozunum ürünleri

Doğal radyonüklid konsantrasyonları ve topraktaki radon gazı dağılımları pek çok etkene bağlı olmakla birlikte esas olarak bulunduğu bölgenin jeolojik ve coğrafi koşullarına göre değişimler gösterebilmektedir. Genel olarak granit, mermer gibi magmatik kayaç tiplerinin yoğun olduğu yerlerde radyonüklid konsantrasyonları yüksek oranlarda gözlenirken, kireç taşı gibi tortul kayaçların olduğu jeolojik bölgelerde ise düşük oranlarda gözlenmektedir. Ayrıca bir bölgedeki radyoaktivite düzeyinin bilinmesi ve değişimlerinin takip edilmesi, o yerlerde yaşayan canlıların doğal ve yapay radyonüklidlerden dolayı aldıkları radyasyon dozunun belirlenmesi ve gerektiğinde önlemlerin alınabilmesi için oldukça önemli bir konudur (UNSCEAR,2000). Özellikle her yaşta insanların doğal radyasyon kaynaklarından aldıkları dozların belirlenmesine yönelik yapılan çalışmalar; Uluslararası Radyolojik Korunma Komitesi (ICRP), Dünya Sağlık Örgütü (WHO), Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi (UNSCEAR) ve Türkiye Atom

Enerjisi Kurumu (TAEK) gibi ulusal/uluslararası kuruluşlar tarafından da desteklenmektedir.

Dünya'daki birçok ülkede çevresel radyoaktivite araştırmalarına olan ilgi her geçen gün artmaktadır. Buna istinaden aşağıda radon, radon eksalasyonları ve efektif radyum konsantrasyonları ile ilgili yapılmış literatür çalışmalarından kısaca bahsedilecektir.

1.1. Genel Literatür Özeti

Son zamanlarda kapalı kutu tekniği (Can Technique) ve LR-115 ya da CR-39 katı hal nükleer iz dedektörleri (SSNTD) kullanılarak birçok ülkede yapılmış çalışmalar vardır. Bunlardan bazıları Hindistan'da 2003 yılında Sharma ve arkadaşları (Sharma ve ark.,2003), 2005 yılında S.Singh ve arkadaşları (Singh ve ark., 2005), 2006'da Pakistan'da Rehman ve diğerleri (Rehman ve ark., 2006), 2008 yılında H. Singh ve arkadaşları (H. Singh ve ark., 2008), 2008'de Prasad ve arkadaşları (Prasad ve ark., 2008), 2009 yılında Gusain ve arkadaşları (Gusain ve arkadaşları, 2009), 2008 yılında J. Singh ve arkadaşları (J.Singh ve ark., 2008), Pakistan'da 2010 yılında Mujahid ve arkadaşları (Mujahid ve ark.,2010), 2011 yılında Pakistan'da Rafique ve arkadaşları (Rafique ve ark., 2011), 2011 yılında Chauhan (Chauhan, 2011), 2011'de Khan ve arkadaşları (Khan ve ark., 2011), 2012'de Verma ve ark. (Verma ve ark., 2012), 2012 yılında Zubair ve arkadaşları (Zubair ve ark., 2012), 2012'de Khan ve arkadaşları (Khan ve ark., 2012), Mısır'da 2012'de El-Farrash ve arkadaşları (El-Farrash ve ark., 2012), 2012'de Verma ve diğerleri (Verma et al., 2012), Japonya'da 2012'de Shiroma vd. (Shiroma et al., 2012), 2013'de Kakati ve diğerleri (Kakati et al., 2013), 2013'te Mısır'da El-Zaher (El-Zaher, 2013), 2013 yılında Kumar ve arkadaşları (Kumar ve ark., 2013), 2013'te Baruah ve arkadaşları (Baruah ve ark., 2013), 2013'te Mahur ve arkadaşları (Maur ve ark., 2013), Libya'da 2013'te Saad ve arkadaşları (Saad ve ark.,2013), 2014 yılında Chauhan ve arkadaşları (Chauan ve ark., 2014), Kumar ve Narang 2014 yılında (Kumar ve Narang, 2014), 2015 yılında Sundar ve arkadaşları (Sundar ve ark., 2015), 2015 yılında Mehta ve arkadaşları (Mehta ve ark., 2015), 2015 yılında Menon ve arkadaşları (Menon ve ark., 2015),

2015'te Irak'ta Tawfiq ve Jaleel (Tawfiq ve Jaleel, 2015), 2016'da Suidi Arabistan'da Farid (Farid, 2016), 2017'de Kaliprasad ve diğeri (Kaliprasad et al., 2017), 2018'de Kumari ve diğeri (Kumari et al., 2018), Zubair ve Shafiqullah (Zubair ve Shafiqullah, 2018), 2018'de Filistin'de Thabayneh (Thabayneh, 2018), Hindistan 2019'da Hindistan'da Singh ve diğeri (Singh et al., 2019), 2005'te Doğu Anadolu Fay Hattı civarında Baykara ve arkadaşları (Baykara ve ark., 2005), 2018 yılında Sakarya'da Tabar ve arkadaşları (Tabar ve ark., 2018) tarafından kapalı kutu tekniği kullanılarak yapılan topraklarda radon, radon yayılım oranları, efektif radyum içerikleri araştırılmıştır. Şimdi bu çalışmaların bir kısmında elde edilen sonuçlar kısaca verilecektir.

Sharma ve arkadaşlarının 2003 yılında, Hindistan'ın Himachal Pradesh şehrinin Kangra yerleşimi topraklarında LR-115 (Selüloz nitrat kaplı filmler) pasif ölçüm film dedektörleri kullanarak yaptıkları ölçümler sonucunda yüzey ve kütle eksalasyon oranlarının sırasıyla 502,12-1162,64 mBqm⁻²h⁻¹ ve 15,16-35,11 mBqkg⁻¹h⁻¹ aralıklarında değiştiği, efektif ²²⁶Ra konsantrasyonunun ise 11,54-26,71 Bqkg⁻¹, aralığında değişim gösterdiği belirlenmiştir (Sharma ve diğeri, 2003). Hindistan'ın Bathinda bölgesi topraklarında Singh ve çalışma arkadaşlarının 2005 yılında, LR-115 dedektörlerini kullanarak yaptıkları çalışmada radon aktivitesinin 1997,08-5349,19 Bqm⁻³ değerleri arasında değiştiği gözlenmiştir. Ayrıca, kütle ve yüzey eksalasyonlarının 7,17-31,98 mBqkg⁻¹h⁻¹ ile 246,3-1100,0 mBqm⁻²h⁻¹ minimum-maksimum değerleri arasında değişim gösterdiği belirtilmiştir (Singh ve diğeri, 2005). Yine Hindistan'ın Haryana ve Punjab bölgelerindeki topraklarında Singh ve diğeri'nin 2008 yılında yaptıkları bir diğeri çalışmada ise, LR-115 film dedektörleri kullanılarak ölçümler yapılmış, Haryana'da Rn kütle ve yüzey eksalasyon hızlarının sırasıyla 3,11-11,54 mBqkg⁻¹h⁻¹ ve 102,91-382,04 mBqm⁻²h⁻¹ aralığında değiştiği, Punjab'ta ise bu eksalasyon oranlarının 1,03-8,83 mBqkg⁻¹h⁻¹ ve 34,11-292,20 mBqm⁻²h⁻¹ aralıklarında değiştiği gözlenmiştir (Singh ve ark., 2008). Prasad ve diğeri'nin yine aynı yılda, Hindistan'ın Kumaun Lesser Himalayas eyaletindeki topraklarda LR-115 filmlerini kullanarak yaptıkları çalışmada, radon konsantrasyonu, efektif Ra içeriği ve kütle eksalasyon hızı değişimlerini sırasıyla 0,4-

25,78 kBqm⁻³, 13,8-298,9 Bqkg⁻¹ ve (0,39-8,21)x10⁻² mBqkg⁻¹h⁻¹ olarak bulmuşlardır (Prasad ve diğerleri, 2008).

2009 yılında, Hindistan'ın Kala Amb, Haryana ve Himachal Pradesh bölge topraklarında Singh ve çalışma arkadaşları tarafından pasif film dedektörleri kullanılarak yapılan bir çalışmada ise kütle, yüzey radon eksalasyonları ve efektif Ra aktivitelerinin sırasıyla 216,87-1298,0 mBqm⁻²h⁻¹, 6,15-36,80 mBqkg⁻¹h⁻¹ ve 5,30-31,71 Bqkg⁻¹ aralıklarında değişim gösterdiği görülmüştür (Singh ve diğerleri, 2009).

Hindistan'ın Garhwal Himalaya eyaleti topraklarında Gusain ve çalışma arkadaşlarının 2009 yılında yaptıkları bir araştırmada da, LR-115 ve NaI(Tl) gama spektrometresi tekniği kullanılmıştır. Ölçümleri sonucunda Ra ve Th aktivitelerinin 24,2-146,0 Bqkg⁻¹ ile 8,8 Bqkg⁻¹-177,8 Bqkg⁻¹ aralıklarında, kütle radon eksalasyon oranlarının ise (0,43-20,10)x10⁻² mBqkg⁻¹h⁻¹ aralığında değiştiği gözlenmiştir (Gusain ve diğerleri, 2009). Pakistan'ın Güney Punjab kesiminde Mujahid ve diğerlerinin, CN-85 nükleer iz dedektörleriyle yaptıkları bir çalışmada, yüzey radon eksalasyonunun 38-288 mBqm⁻²h⁻¹ değerleri arasında, radon aktivitesinin ise 34-260 Bqm⁻³ arasında değiştiği belirlenmiştir (Mujahid ve diğerleri, 2010). Rafique ve çalışma arkadaşları tarafından Pakistan'ın, Keşmir şehrinde nükleer film dedektörlerinin (CR-39) kullanıldığı çalışmalarında yüzey Rn eksalasyonları ve ²²²Rn konsantrasyonları sırasıyla 171-344 mBqm⁻²h⁻¹ ve 66 Bqm⁻³-125 Bqm⁻³ olarak bulunmuştur (Rafique ve diğ.,2011). Hindistan'ın Aravali tepelerinde 2011'de Chauhan tarafından, LR-115 film dedektörleriyle yapılan çalışmada kütle ve yüzey eksalasyonlarının 23,1-28,6 mBqkg⁻¹h⁻¹ ve 493-599 mBqm⁻²h⁻¹ olarak değiştiği, ²²²Rn konsantrasyonlarının ise 806-979 Bqm⁻³ değerleri arasında değiştiği görülmüştür (Chauhan, 2011). Hindistan'ın Etah çevresi topraklarında Khan ve çalışma arkadaşlarının LR-115 filmlerinin kullanarak yaptıkları çalışmalarında yüzey ve kütle eksalasyonlarının (0,26-0,42)x10⁻³ mBqm⁻²h⁻¹ ve (0,01-0,16)x10⁻³ mBqkg⁻¹h⁻¹ değerleriyle değiştiği, etkin radyum içeriğinin ise 27,87-45,14 Bqkg⁻¹ aralığında değiştiği gözlenmiştir (Khan ve diğ., 2011). Hindistan'ın Uttar Pradesh bölgesinde Verma ve diğerlerinin LR-115 dedektörleri ve kapalı kutu tekniğini kullanarak yaptıkları gözlemlerde kütle ve yüzey eksalasyon oranlarının (0,02-0,11)x10⁻³

$\text{mBqkg}^{-1}\text{h}^{-1}$ ile $(0,06-0,11)\times 10^{-3}$ $\text{mBqm}^{-2}\text{h}^{-1}$ değer aralığında, efektif Ra konsantrasyonunun ise 5,39-34,56 Bqkg^{-1} değerleri arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir (Verma ve diğ., 2012).

Zubair ve diğerlerinin, Hindistan'ın Bulandshahr çevresindeki topraklarda kapalı kutu tekniği ve LR-115 film dedektörleri kullanarak yaptıkları ölçümler sonucunda kütle ve yüzey eksalasyonlarının değişim aralıkları 394,12-798,34 $\text{mBqkg}^{-1}\text{h}^{-1}$ ile 15,1-30,7 $\text{mBqm}^{-2}\text{h}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Aynı çalışmada belirlenen efektif Ra konsantrasyonları ise 9,2-18,7 Bqkg^{-1} aralığında değerler almıştır (Zubair ve diğ., 2012). Khan ve çalışma arkadaşları tarafından Kuzey Hindistan topraklarında yapılan çalışmada ise efektif Ra aktiviteleri 8,11-112,83 Bqkg^{-1} değer aralığında bulunmuş olup yüzey ve kütle radon eksalasyonlarının ise sırasıyla 0,03-0,66 $\mu\text{Bqkg}^{-1}\text{h}^{-1}$ ve 0,8-17,1 $\mu\text{Bqm}^{-2}\text{h}^{-1}$ değerleri arasında değişim gösterdiği rapor edilmiştir (Khan ve ark., 2012).

Mısır'ın Alexandria şehri topraklarında El-Zaher tarafından 2013 yılında yapılan çalışmada, ^{222}Rn konsantrasyonunun ölçülen değerlerinin 5,72-157,99 Bqkg^{-1} aralığında değiştiği belirlenmiştir. Ayrıca yüzey ve kütle radon eksalasyon oranlarının da sırasıyla 0,48-15,37 $\text{Bqm}^{-2}\text{h}^{-1}$ ve 8,31-233,70 $\text{mBqkg}^{-1}\text{h}^{-1}$ aralıklarında değişimler gösterdiği rapor edilmiştir (El-Zaher, 2013). Baruah ve çalışma arkadaşlarının, Hindistan'ın Assam şehri ve çevresinde pasif film dedektörler kullanılarak yaptıkları çalışmada efektif Ra konsantrasyonunun 2,85-4,37 Bqkg^{-1} , kütle eksalasyonunun 1,78-2,73 $\text{mBqkg}^{-1}\text{h}^{-1}$ ve yüzey radon eksalasyonunun 62,66-96,22 $\text{mBqm}^{-2}\text{h}^{-1}$ minimum ve maksimum ölçüm değerleriyle değiştiği gözlenmiştir (Baruah ve diğ., 2013). Hindistan'ın Dadri bölgesinde Mahur ve çalışma arkadaşlarının 2013'te yaptıkları ölçümler sonucunda ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{222}Rn aktiviteleri (sırasıyla 32,2-120,9 Bqkg^{-1} , 19,3-44,6 Bqkg^{-1} , 195,4-505,4 Bqkg^{-1} ve 177,5-583,4 Bqm^{-3}) belirlenmiştir. Ayrıca "Can tekniği" ile kütle ve yüzey radon eksalasyon oranlarının değişim aralığı da (sırasıyla 2,5-8,1 $\text{mBqkg}^{-1}\text{h}^{-1}$ ve 63,9-210,2 $\text{mBqm}^{-2}\text{h}^{-1}$) rapor edilmiştir. Absorbe edilen doz ve yıllık etkin doz değerleri de (sırasıyla 34,6-101,3 nGyh^{-1} ve 0,04-0,12 mSvy^{-1}) hesaplanmış ve H_{ex} değerinin 0,2 ile 0,6 aralığında değiştiği belirtilmiştir (Mahur ve diğ., 2013).

Libya'nın Bingazi ve Al-Marj bölgelerinde Saad ve çalışma ekibi tarafından 2013'te yapılan pasif ölçümlerde Bingazi için radon ve eşdeğer radyum konsantrasyonlarının sırasıyla 31,1-469,0 Bqm⁻³ ve 1,5-23,0 Bqkg⁻¹ olarak değiştiği, kütle ve yüzey radon eksalasyon oranlarının da sırasıyla 1,16-17,40 mBqkg⁻¹h⁻¹ ve 30,6-460,9 mBqm⁻²h⁻¹ olarak değiştiği rapor edilmiştir.

Ayrıca yıllık efektif doz değerlerinin de 3,61-54,36 µSvy⁻¹ aralığında değiştiği belirtilmiştir. Al-Marj için ise radon ve eşdeğer radyum konsantrasyonlarının değişim aralığının sırasıyla 59,3-515,8 Bqm⁻³ ve 2,9-25,3 Bqkg⁻¹ olduğu belirlenmiştir. Kütle ve yüzey radon yayılım oranlarının ise bu bölgede sırasıyla 2,2-61,0 mBqkg⁻¹h⁻¹ ve 58,3-506,9 mBqm⁻²h⁻¹ değerleri arasında değiştiği gözlenmiştir (Saad ve arkadaşları, 2013). 2014'te Hindistan'ın Pathankot kesiminde Kumar ve Narang tarafından LR-115 dedektörleri kullanılarak yapılan çalışmada kütle ve yüzey eksalasyon oranlarının değişim aralığı sırasıyla 1,62-6,55 mBqkg⁻¹h⁻¹ ve 53,39-216,96 mBqm⁻²h⁻¹ olarak verilmiştir (Kumar ve Narang, 2014). Mehta ve arkadaşlarının, Hindistan'ın Mohali kesiminde LR-115 film dedektörleriyle yaptıkları çalışmada ise kütle ve yüzey radon yayılım oranlarının 7,3-58,2 mBqkg⁻¹h⁻¹ ve 0,32-2,6 mBqm⁻²h⁻¹ aralıklarında değiştiği belirtilmiştir (Mehta ve diğ., 2015). Hindistan'ın Tamil Nadu bölgesinde Menon ve çalışma arkadaşları tarafından 2015'te yapılan çalışmada radon yayılım hızının 0,07-3,44 mBqm⁻²h⁻¹ değerleri arasında değiştiği belirlenmiştir (Menon ve diğ., 2015).

Türkiye'de Kuzey ve Doğu Anadolu Fay Hatları boyunca Baykara ve çalışma arkadaşları tarafından yapılan ölçümlerde (CR-39 dedektörlerini kullanılmış) efektif radyum konsantrasyonu 0,02-0,80 Bqkg⁻¹ değerleri arasında ölçülmüş ve yüzey radon eksalasyon oranı değişiminin ise 13,3-400,7 mBqm⁻²h⁻¹ aralığında olduğu belirlenmiştir (Baykara ve diğ., 2005). Sakarya ilinde Tabar ve çalışma arkadaşları tarafından pasif ölçüm dedektörleri ve kapalı kutu tekniği kullanılarak 2018 yılında yapılan çalışmada da efektif ²²⁶Ra konsantrasyonu, yüzey ve kütle radon eksalasyon hızları (sırasıyla 3,77-26,69 Bqkg⁻¹, 0,73-5,18 Bqkg⁻¹h⁻¹ ve 35,76-253,15 mBqkg⁻¹h⁻¹) belirlenmiştir (Tabar ve diğ., 2018).

Bursa ilinden karelej yöntemiyle belirlenen örnekleme noktalarından toplanan toprak örnekleri (toplam 71 örnek) SAÜ Nükleer Fizik Araştırma Laboratuvarında analiz edilmiştir. Yukarıdaki literatür çalışmalarında da kullanılmış olan Kapalı Kutu (Sealed Can) Tekniği ve Lr-115 film dedektörleri kullanılarak bu çalışma yapılmıştır.

Bu tez çalışması, Bursa'daki Orhaneli termik santrali ve çevresindeki ilçelerden (Keleş ve Osmangazi ilçelerinden) toplanan topraklarda radon yayılım hızları, etkin radyum içerikleri, bina içi radon aktivitesine ilave gelecek katkılar ve yıllık efektif dozlar belirlenmiş olup çalışmada elde edilen sonuçlar UNSCEAR, ICRP ve TAEK verileriyle karşılaştırılmıştır. Tezde elde edilen sonuçlar Türk Fizik Derneğinin düzenlediği 35. TFD Uluslararası Fizik Kongresinde sözlü olarak sunulmuş ve tam metin olarak basılmıştır.

BÖLÜM 2. GENEL BİLGİLER

Tüm canlılar hayatları boyunca çevrelerinden gelen radyasyona maruz kalmaktadırlar. Bu radyasyon iyonlaştırıcı (gama ışınları, X-ışınları, beta radyasyonları, alfa, kozmik ışınlar vb.) ve iyonlaştırıcı olmayan (kızılötesi, ultraviyole, mikrodalgalar, radyo dalgaları vb.) olmak üzere iki ayrı sınıfta incelenebilir. Radyasyon kaynakları ise doğal ve yapay olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Doğal radyasyon kaynakları, yer kabuğunda var olan radyonüklidleri, kozmik ışınlar, bazı gıdalar olup bunlar, insanın ömrü boyunca aldığı radyasyon dozunun yaklaşık % 85'ini teşkil etmektedir. Yapay radyasyon kaynakları ise alınan toplam dozun yaklaşık % 15' i dir (Aközcan, 2002).

Canlıların maruz kaldığı doğal radyasyon içerisinde ise radon payı yaklaşık % 54'dür. Radon gazı topraktan çıkarak atmosfere yayılmaktadır. Atmosfere yayılması esnasında binaların çatlaklarından bina içerisine girebilmektedir. Radon gazı ve bozunum ürünleri, toprak arasında bulunan boşluklardan havayla ve temas halindeki yer altı sularından toprak yüzeyine çıkışı esnasında atmosfere doğru yayılır. Binaların kurulmuş olduğu toprağın veya kayaçların altındaki uranyum içeren toprak veya kayaçlar bina içerisine giren radon gazının temel kaynağıdır. Yerkürenin içerisindeki kayaçlarda ve toprakta farklı konsantrasyonlarda radyum ve uranyum ihtiva etmektedir (Durrani ve Ilıc1997a).Uranyum kaynağının risk teşkil etmesi için uranyum konsantrasyonun belirli bir miktardan (50 ppm) daha fazla olması gerekmektedir (Beretka ve ark.,1985).

Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarına bakıldığında; kozmik ışınlardan gelen radyasyon miktarı 0.39 mSv/yıl, gama radyasyonundan gelen katlı 0.46 mSv/yıl, vücut içi radyasyon ışınlamalarından gelen 0.25 mSv/yıl iken radondan kaynaklanan vücuda alınan radyasyon dozu kişi başına ortalama 1,3 mSv/yıl olmaktadır.

Radyasyon sebebiyle canlı vücudunda oluşan biyolojik etkiler, alınan toplam doza, dozun alınma süresine, radyasyondan etkilenen organa vb. birçok faktöre bağlı olarak değişmektedir (Ichedef ve ark., 2015).

2.1. Radon ve Bozunum Ürünleri Hakkında Genel Bilgiler

18. yüzyılın başında Friedrich Ernst Dorn tarafından keşfedilen radonun havadaki tespiti ilk olarak 1901'de Elsterve Geitel tarafından yapılmıştır. 1923 yılına kadar niton adıyla anılan bu elemente radyumdan sonra keşfedildiği için radon adı verilmiştir (Kumar ve Mahur, 2008). Radon gazı alfa radyoaktif bir gaz olup periyodik tablodaki soygazlar grubunda yer almaktadır.

Radon gazının binaların içerisine giriş mekanizması ise, toprakta var olan radon gazının bina temelinde bulunan çatlaklardan içeriye doğru sızması, radon gazının binaların çevresinde birikip, sıcaklık-basınç farkıyla kapı ve pencerelerden binaya girmesi, binadaki kullanım suyunun içerisinde radon gazı çözünerek binaya girmesi ve binanın yapıldığı malzemelerde bulunan radyoaktif elementlerden bina içerisine girmesi olarak belirtilmektedir (Krieger, 1981). Binaların içerisindeki radon kaynaklarından bir tanesi de binanın yapımı esnasında kullanılan inşaat malzemeleridir. Bu malzemelerin büyük çoğunluğu uranyum barındırmaktadır. Bu uranyum potansiyel olarak radon gazı yayımcısıdır (Durrani ve Ilic 1997b). Bina içerisindeki radon konsantrasyonlarını etkileyen en önemli faktörlerden bir tanesi de, binanın içerisindeki hava dolanım biçimi ile havalandırma sıklığı ve süresidir. Yeterli havalandırmaya sahip olmayan binaların içerisinde biriken radon gazı konsantrasyonunun daha fazla olduğu bazı çalışmalarda bildirilmiştir (Kumar ve Mahur, 2008).

İnsanlar yaşamlarının büyük bölümünü bina içerisinde geçirdiklerinden dolayı, bina içerisindeki radon gazının yoğunluğunun bilinmesi insan sağlığı açısından oldukça önemlidir. Hem işyerlerinde hem de evlerde sağlık bakımından tehlikeli düzeylere ulaşma ihtimali olan bina içi radon konsantrasyonlarının belirlenmesi oldukça önemlidir (Kumar ve Mahur, 2008).

Radonun bozunması sonucunda açığa çıkan ürünler ve radon havada bulunan toz veya diğer parçacıklara tutunarak veya tutunmadan nefes alma sırasında kolaylıkla vücuda girebilmektedir. Vücuda giren bu ürünler kararlı duruma gelinceye kadar bozunmaya devam ederler. Böylelikle burada açığa çıkan enerji akciğer dokusuna zarar verebilir. Akciğer kanserinin oluşmasındaki en önemli nedenlerden bir tanesi de radon gazıdır (Kumar ve Mahur, 2008).

2.2. Radonun Kaynağı

Soy gaz ailesine mensup olan radon gazı, tatsız, kokusuz ve renksizdir. Hidrojen gazından 100 kat, havadan ise 7,5 kat daha ağır olup öz kütlesi 9.73 g/l dir. Donma noktası - 71 °C ve kaynama noktası ise - 61,8 °C olduğu için hem 0°C da hem de oda sıcaklığında gaz halindedir. Radon gazı soğuk suda daha iyi çözünebilmekte olduğundan sıcaklık arttıkça çözünürlüğüde azalmaktadır (Sahin, 2008).



Şekil 2.1. Radon gazının başlıca kaynakları

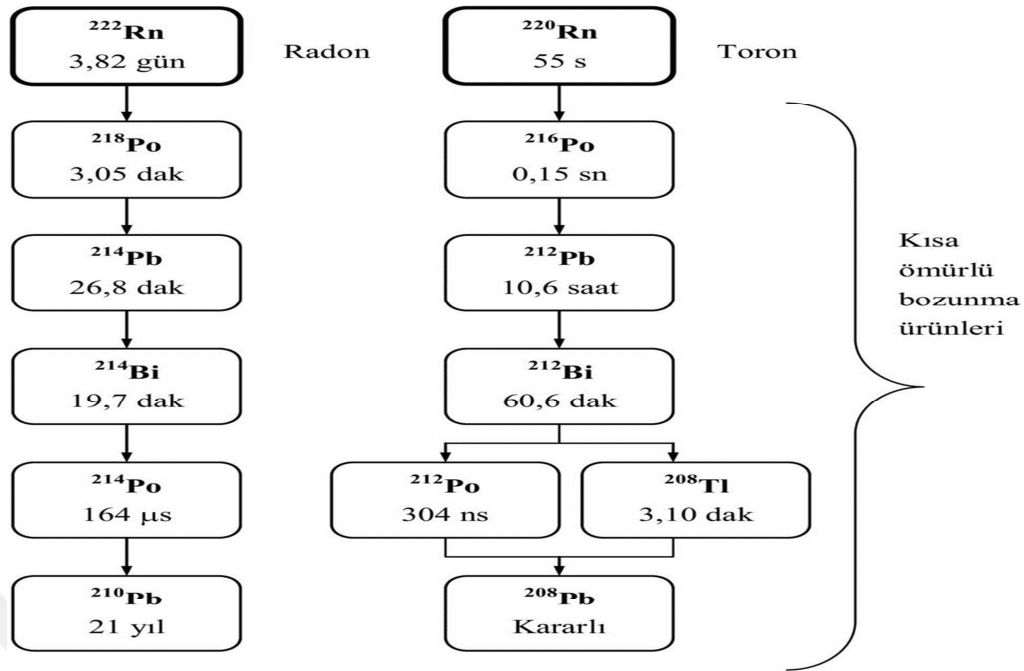
Radon gazının 36 tane radyoaktif izotopu bulunmaktadır. Bunların kütle numaraları ise 193 ile 128 arasında değişmektedir. Şu ana kadar doğada herhangi bir kararlı izotopu bulunamamıştır. Bu 36 izotopu içerisinde üç tanesi doğal bozunma serilerinin içerisinde. Bunlar, ^{222}Rn , ^{220}Rn , ^{219}Rn olup sırasıyla radon, toron ve aktinon isimleriyle anılırlar. Bunlar radyoaktif bozunma serilerinden geldikleri için birçok araştırmaya konu olmuşlardır (Tufan, 2012). ^{219}Rn 'un yer kabuğunda oldukça az miktarda, yaklaşık %0,07 bollukla bulunmaktadır.

^{220}Rn 'nin ise yarı ömrünü 55,5 s ile oldukça kısadır. ^{222}Rn hem doğadaki miktarı oldukça bol olması ve hem yarı ömrünün 3.82 ile diğerlerinden uzun olması sebebiyle radon olarak adlandırılmıştır (Ugur ve ark., 2013).

Atmosferde bulunan radon gazının önemli bir kısmı yer altında bulunan kayalardan ve topraktan meydana gelmiştir. Toprakta bulunan radonun belirli bir bölümü topraktan ayrılarak, toprak arasındaki boşluğa geçebilir. Buna radyoaktif maddelerin ışın yayımı ya da emanasyon katsayısı denmektedir. Emanasyon katsayısı etkileyen üç nemli faktör vardır. Bunlar, nem, sıcaklık ve tanecik boyutu dur. Nemli ortamların emanasyon katsayısı daha fazladır. Sıcaklık arttıkça emanasyon kesri artmaktadır. Tanecik boyutu ve şeklinin emanasyon kesrine etkisi taneciğin yüzey alanı ve taneciğin boyutlarına bağlıdır. Yüzey alanın hacme oranı büyük olan taneciklerin emanasyon kesri daha büyüktür. Radon tanecikler arasındaki boşluğa girdikten sonra atmosfere doğru hareketi radon göçü olarak tanımlanmaktadır. Radon göçünü etkilen faktör ayısı oldukça fazladır (Agar ve ark., 2014).

Dünya genelinde ülkelere göre değişiklik göstermekle birlikte evler, işyerleri, okullar, tüneller, metro istasyonları ve yeraltı maden ocakları gibi kapalı alanlar başta olmak üzere hemen her yerde değişik miktarda radon gazı bulunur. Radon ve bozunum ürünleri nedeniyle maruz kalınan yıllık ortalama etkin dozun 1,3 mSv (toplam etkin dozun %55'i) olduğu tahmin edilmektedir (Majid ve ark., 2012).

Yarılanma ömrü 1600 yıl olan ^{226}Ra 'un radyoaktif bozunumunun sonucunda ortaya çıkan kararsız ^{222}Rn gazı kararlı hale geçene kadar alfa parçacıkları (helyum çekirdeği) ve beta parçacıkları yaymak suretiyle radyoaktif bozunmaya maruz kalır ve kısa yarı ömürlü- gaz olmayan- katı radyoaktif bozunum ürünleri ortaya çıkar (Şekil 2.2.). Bozunum kararlı ^{206}Pb ile son bulur (Aras, 2011).



Şekil 2.2. Radon gazının (Rn-222) bozunum ürünleri ve bozunum süreleri

Radyumun temel kaynağı uranyum ve toryumdur. Bin altı yüz yıllık yarı ömre sahip olan ^{226}Ra alfa yayınlayıcısı olarak bilinir. İnsanların dış ve iç ışınlanmalarına neden olan doğal kaynakların en önemlilerinden biri ^{226}Ra ve ürünleridir. Kimyasal olarak kalsiyuma benzediğinden dolayı kemiklere yerleşerek yüksek miktarlarda zarar verme potansiyeline sahiptir. ^{226}Ra yarı ömrünün uzunluğu sebebiyle ^{222}Rn oluşumunda kaynak görevi görmektedir. ^{226}Ra alfa bozunumuna uğrayarak ^{222}Rn oluşur (Kaynar, 2011). Radyum, uzun yarı ömürlü olması nedeniyle, ^{222}Rn oluşumunda bir üreteç görevi yapar ve genellikle radon, kısa yarı ömürlü bozunma ürünleri ile denge halinde bulunur.

2.3. Radon Bozunum Ürünleri

Radon'un bozunması ile alfa (α) ve beta (β) yayınlayan, kısa yarı ömürlü radon ürünleri olan ^{218}Po (RaA), ^{214}Pb (RaB), ^{214}Bi (RaC), ve ^{214}Po (RaC) meydana gelir. Özellikle radon gazı bozunduğu zaman oluşan ^{218}Po (RaA) atomları, iyonize halde, hava içindeki herhangi bir parçacığa tutunma eğiliminde olduğundan ^{214}Pb , ^{214}Bi ve ^{214}Po atomlarının pek çoğu oluştuklarında bir parçacığa tutunmuş haldedirler. Radon ve bozunum ürünlerinin özellikleri Tablo 2.1.'de verilmektedir (Kovler ve ark., 2006).

Tablo 2.1. Radon ve bozunum ürünlerinin özellikleri

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

Bunun yanında radonun kimyasal reaktivitesi olmadığından solunum yoluyla alındığında dokulara kimyasal olarak bağlanmadığı gibi dokulardaki çözünürlüğü de oldukça düşüktür. Sadece belli bir miktar radon gazı vücutta bulunan sıvının içinde çözünerek kan dolaşımına girip bu miktarda radonun ve vücut içindeki bozunmasıyla oluşan radon ürünlerinin çeşitli organların ışınlanmasına neden olma olasılığı ise ihmal edilebilecek bir değer olarak karşımıza çıkmaktadır (Kovler ve diğ., 2006). Radonun potansiyel olarak sağlığa zararı, radonun gaz olmayan radyoaktif bozunum ürünlerinden kaynaklanmaktadır. Radonun bozunum ürünlerinin bir kısmı atmosfer içinde bulunan herhangi bir parçacığa tutunmak, bazıları ise serbest radyoaktif atomlar olarak kalabilmektedir (Kovler ve ark., 2006). Radonun bozunum ürünlerinden, serbest olarak kalma eğiliminde olan ve bunları taşıyan hava insanlar tarafından solunduğu zaman bunlar üst solunum yollarında, yapışma eğiliminde olanlar ise akciğerlerin derinliklerinde tutulma eğilimi gösterirler.

Ve ciğerlerin normal temizleme mekanizmasından önce bozunmaya başlarlar ve bu bozunum ürünleri kararlı hale gelinceye kadar bozunmaya devam ederler. Bu parçacıkların bozunma süreci devam ettiğinde ortaya çıkan enerji, akciğer dokusunda hasara, dolayısıyla zaman içerisinde kansere neden olur (Jang ve ark., 2005).

2.4. Topraklarda Radon Yayılması ile İlgili Bilgiler

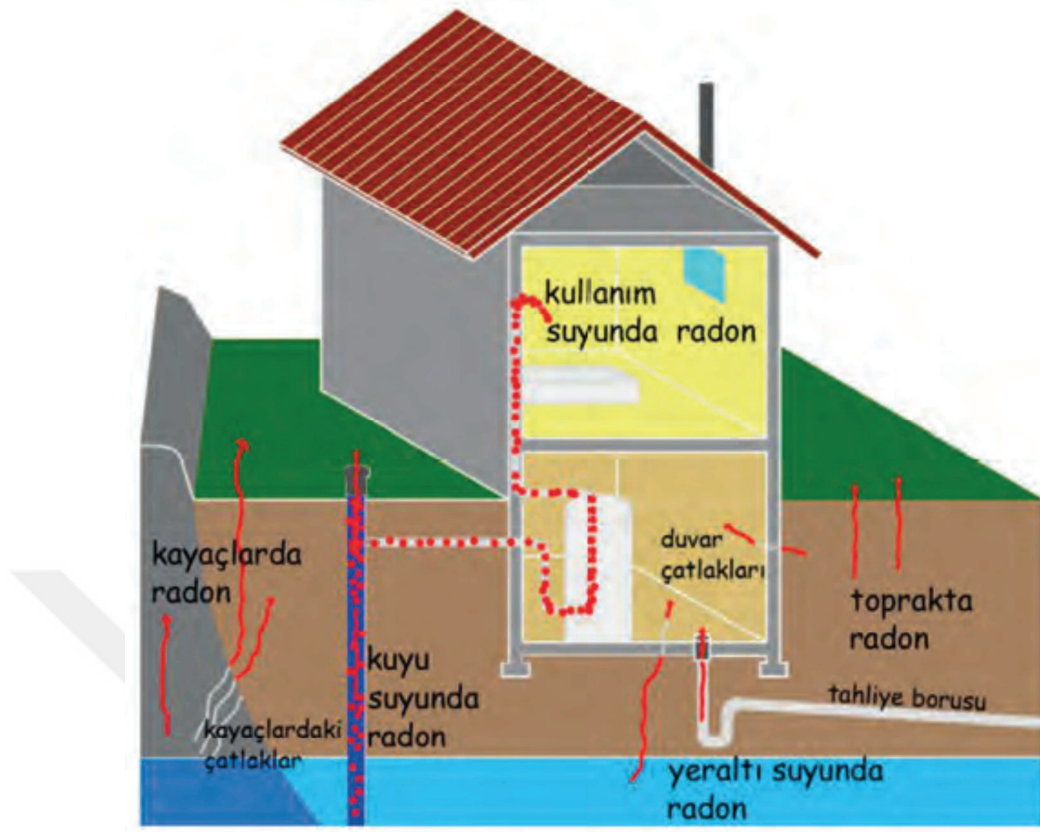
Günlük yaşantıda insanlar zamanlarının büyük bir bölümünü kapalı mekanlarda geçirdiğinden iç alandaki havanın kalitesi çok önemlidir. Bu ortamlarda havayı oluşturan azot, oksijen, hidrojen gibi yararlı gazların yanısıra ortamın havasını kirleten ve sağlık açısından oldukça tehlike arz eden radyoaktif bir madde olan radon gibi zararlı gazlarda bulunmakatadır. Radon gazının hemen her ortamda bulunabileceği, özelliklede kapalı mekanlarda birikerek akciğer kanserine neden olabileceği konusunda 1960'lı yılların ortasından sonra yeni bilgilerin ortaya çıkması ve yaygınlaşmasıyla radyasyona maruz kalma konusuna farklı bir anlayış geliştirilmiştir. Anılan tarihlerden sonra kapalı yerlerde radon gazı düzeylerinin tespit edilmesine ilişkin yapılan çalışmalar hızlanmıştır. Dünyada genelinde birçok ülkede kapalı yerlerdeki radon seviyesinin tespit edilmesine ilişkin olarak haritalar yapılmıştır. Ülkemizde ise 1984 yılında Türkiye Atom Enerjisi Kurumu bu yönde çalışmalar yapmış olsa da radon haritası henüz tamamlanamamıştır. Radon gazının sebep olduğu sağlık problemleri son zamanlarda büyük oranda fazlalaşmıştır. Bunun temel nedeni olarak, kullanılan enerji miktarını almaya ilişkin alınan önlemler, kullanılan yalıtım malzemeleri ve kapalı ortamlarda havalandırmanın yetersiz olması sayılabilir. Bunun sonucunda, radon kapalı mekanlara sızıp birikerek sağlığı önemli oranda tehlikeye sokmaktadır. Amerikada yapılan bir çalışmada, kapalı alanlarda artan radonun yılda 20 binden daha çok sayıda ölümcül vakalara neden olduğu ortaya konmuştur. Bu çalışma, kanser gibi yaşamımızı tehdit eden ve hatta ölümlere sebep olabilecek potansiyele sahip faktörlerden biri olarak düşünülen radon gazının sağlık açısından önemine dikkat çekmek amacıyla yapılmıştır. Bu amaçla, kapalı mekanlarda radon kaynakları belirlenerek sağlık üzerinde olumsuz etkiler oluşturabilecek derişim seviyeleri tespit edilmiştir.

Bunlara ilaveten, radonun zararlı etkilerinden korunmaya yönelik alınabilecek tedbirler belirtilmiştir (Samuelsson, 1990).

2.5. Ortamda Bulunan Radon Kaynakları

Solunum havasıyla akciğerlere alınabilen radon soygazlar arasında erime ve kaynama derecesi en yüksek gaz olup kimyasal tepkimeye girmez. Havaya göre 7.5 kat daha ağır olan radon zeminden yaklaşık 50 cm yukarıda toplandığı için kapalı mekan havasında yerleşmeye meyillidir (Samuelsson, 1990).

ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA) tarafından ülkenin detaylı radon haritası oluşturulmuş ve 1.derecedeki bölgelerde yapılacak binalarda radon gazını düşürmeye yönelik sistemlerin kurulması tavsiye edilmiştir. Diğer taraftan Kanada da hükümet yeni inşa edilecek tüm binalarda radon gazına karşı gerekli tedbirlerin alınmasının önemine dikkat çekmiştir. İsveç, Norveç, Finlandiya ve İngiltere gibi ileri ülkelerde halk sağlığı programları kapsamında radon gazına ilişkin yapılan çalışmalarda ülkedeki alanların haritaları oluşturulup insanların radonun zararları konusunda bilinçlendirme faaliyetleri düzenlenmektedir. Ülkemizde ise 2012 yılında Türkiye Atom Enerjisi Kurumu radon haritası çıkarma planları yapmış ancak sözkonusu harita hala bitirilememiştir. Diğer taraftan, gerek radon gazı ile akciğer kanseri arasındaki ilişkiyi aydınlatmaya yönelik çalışmalar gerekse halkı bu konuda bilinçlendirmek adına yapılan faaliyetler oldukça yetersizdir. Normal şartlarda atmosfere yayılan radonun sağlık üzerine herhangi bir yan etkisi bulunmazken, kapalı alanlarda ise birikim yapması sonucu sağlık açısından risk oluşturur. Radon, zemindeki toprak ve kayalardan salınarak, bina içindeki sulardan ve doğal gazdan ayrılarak veya binada kullanılan araç-gereçlerden yayılarak bina ortam havasına karışır (Samuelsson, 1990).



Şekil 2.3. Radonun binaya sızma yolları.

Radon salınımı bölgelere göre farklılık göstermektedir. Aynı yerleşim biriminde bile zamana bağlı bir farklılık mevcuttur. Radon derişimleri açısından konum oldukça önemlidir. Kutuplarda, toprağın daha az olduğu yaşam yerlerinde radon derişimleri daha azdır. Topraktan radon salınımı yayılma, difüzyon ve konveksiyon olmak üzere başlıca üç farklı yolla oluşur (Nazaroff ve Nero, 1988).

2.5.1. Su kaynaklı radon

Suda bulunan radon, yapılarda kullanılan suyla beraber içeri girer. Bununla birlikte, sudan ayrılarak ortam havasına geçebilmektedir. Sudaki radon içeriği ve suyun derecesi arttıkça yapıdaki radon seviyeside artmaktadır. Su yolu üzerinde bulunan radyum içeriği yüksek toprak ve kayaların etkisiyle de sudaki radon düzeyi artmaktadır. Özellikle yeraltı sularının kullanılması, sudan ortama geçen radon gazı derişimini de yükseltmektedir (Khan ve ark., 1992).

Finlandiya ve ABD'nin Maine eyaletinde kayalık bir yerde açılan kurulardan su örneklerinde radon derişimin yüksek olduğu saptanmıştır. Araştırmaya göre, yüzeysel sularda radon derişimi yaklaşık 0,4 Bq/L bulunurken yeraltı sularında ise 20 Bq/Lolarak tespit edilmiştir. Kullanılan suyun içilmesi durumunda suda bulunan radonun mide kanserine yakalanma olasılığını artırmaktadır (Khan ve ark.,1992).

2.5.2. Doğalgaz kaynaklı radon

Evlerde kullanılan doğal gaz da etkili bir radon kaynağıdır. Evde ısıtma veya mutfakta yemek pişirme amacıyla kullanılan doğalgazda bulunan radon ayrışarak bina içindeki havaya yayılmaktadır. Doğalgazdaki radon seviyesi, doğal gazın kullanma sıklığı ve doğal gazın üretimi ile tüketilmesi arasındaki süre doğal gazdan bina ya salınan radon düzeyini etkileyen başlıca faktörlerdir. Radon gazının bir yapıya sızma hızı ortama göre değışmekle birlikte toprak ve inşaat materyellerinden ortalama 60 kBqg⁻¹, dış havadan 10 kBqg⁻¹, sudan 4 kBqg⁻¹ ve doğalgazdan 3 kBqg⁻¹ dür (Khan ve ark., 1992).

2.5.3. Yapı malzemesi kaynaklı radon

İnşaatda kullanılan malzemeler dışarıdan gelebilecek radyasyona karlı önemli bir bariyer görevi üstlenirken öte yandan yapı içerisinde ise radyasyon yayan bir odak olarak karşımıza çıkabilmektedir. Toprak içeren kum, çimento, taş, beton, tuğla, alçı gibi yapı maddeleri çeşitli miktarlarda radyum ihtiva edebilmektedirler. Bu maddelerdeki radyum derişimleri ülkelere ve bu maddelerin elde edildiği yere göre değışmektedir (Khan ve ark., 1992).

Bu sebeple de aynı maddelerin içerdiği radon miktarı farklılık arz edebilir. İnşaat malzemelerinden yayılan radon seviyesi malzemedeki radon düzeyine, nem oranına, gözenekli olma durumuna, yayılım hızı katsayısına ve kullanma miktarına göre farklılık arz etmektedir (Khan ve ark., 1992).

Kullanılan araç-gereçlerin gözenek sayısı çoğaldıkça radyumun bozunması ile ortaya çıkan radon gözeneklerden daha kolay geçeceği için mekana salımı da artacaktır. Pakistanda 2008 yılında yapılan bir çalışmada, inşaat malzemelerindeki nem oranının radon yayılması üzerine etkisini araştırmak amacıyla değişik nem miktarına sahip kum, tuğla, mermer ve çimentodan radon yayılma oranları belirlenmiştir (Khan ve ark.,1992).

Tablo 2.2. Farklı ülkelerdeki yapı malzemelerinin içerdiği radyum yoğunlukları

Yapı malzemesi	Ülke	Radyum Yoğunluğu (Bq/m ³)	Yapı malzemesi	Ülke	Radyum Yoğunluğu (Bq/m ³)	
Kum (doğal)	Rusya	23,3	Kireçtaşı ve mermer	Almanya	18,3	
Çimento	Rusya	44,4	Granit	Almanya	96,2	
	İngiltere	55,5		İngiltere	88	
	İsveç	44,4		Rusya	111	
Beton	Almanya	66,6	Alçıtaşı	Almanya	18,4	
	Norveç	26		İngiltere	22,2	
Tuğla	Almanya	96,2		Kaya agregası	İsveç	3,1
	İngiltere	51,8	Finlandiya		102	
	İsveç	96,3			İngiltere	51,8
	Norveç	104			İsveç	48,1
	Polonya	18	Almanya		15,5-54,5	
Rusya	55,4	Amerika		1480		
Alçı	Rusya	9,3	Fosfo alçı	İngiltere	777	
				Polonya	580-740	

Tablo 2.3. Yapı malzemelerinin farklı nem oranlarındaki radon salımları

Nem miktarı (%)	Radon salınımı (mBq m ⁻² h ⁻¹)			
	Kum	Çimento	Tuğla	Mermer
0	165	110	209	109
5	212	120	309	127
10	301	212	621	120
15	399	124	453	113
20	327	95	212	95

Çalışma bulgularına göre, yaklaşık % 10-15 nem değerine sahip malzemelerden radon yayılımı artarken, bu rakamlardan sonra salınım düşme eğilimi göstermiştir. Bunun nedeni, nemin %10'dan yüksek olduğunda gözeneklerde artan su miktarı radon salınımını yavaşlatmasıdır (Khan ve ark., 1992).

2.6. Radonun Sağlık Üzerindeki Etkileri

Radonun sağlığı olumsuz etkileyen bir gaz olması nedeniyle devamlı maruziyet hallerinde yapı içinde radon değerlerinin belirlenmesi önem arz etmektedir. Yapı içindeki radon seviyesi başta zemininde bulunan toprak ve kayalardaki radon derişimleri olmak üzere çeşitli etmenlerden etkilenir. Aynı binadaki farklı katlarda bile radon değerleri değişiklik gösterebilir (Matiullah, 2008).

Yapılarda radon derişimini etkileyen en önemli etmenler aşağıda belirtilmiştir.

- Hava durumu,
- İçeride ve dışardaki hava sıcaklık ve basınç farkı,
- Zeminden yüksekliği,
- Yapıda bulunan doğalgaz ve suyun nitelikleri (radon seviyesi, kullanma durumu vb.),
- Yapının zemine oturan alanı, yüzey alanı ve izolasyonu
- Kullanılan toprak ve inşaat malzemelerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri (nem, radon seviyesi vb.),
- Yapının havalandırılma durumu ve kapasitesi.

Yukarıda belirtilen etmenlerin etkisi sonucu ortaya çıkan yapı içindeki radon derişimi, aktif ve pasif metotlarla ölçülebilir. Ölçüm sonucu alınan verilere göre gerekli önlemlerin alınması radon gazının sağlık üzerine olumsuz etkilerinden korunmak açısından çok önemlidir (Matiullah, 2008).

Dünya Sağlık Örgütü ve Amerikan Çevre Koruma Ajansı gibi kurumlar, radonun kapalı alanlarda tehlike sınırlarına ilişkin veriler sunmuşlardır. Aşağıda gösterilen bu değerler, mevcut binalarda iyileştirme ve yeniden yapılacak binalar için sınır değerlerdir (Matiullah, 2008).

Tablo 2.4. Kapalı mekanlardaki radon sınır değerleri

Kurum	Var olan binalarda iyileştirmeye başlamak için sınır değer (Bq/m³)	Yeni binalar için sınır değeri (Bq/m³)
WHO	370	111
ICRP	200	200
IAEA	200	200
ASHRAE	-	37
EPA	148	148

Çok sayıdaki ülkede uygulanan radon programları bu çalışmalar sonunda şekillendirilmiştir. Yapıda artan radon, radyoaktif bir ürüne başkalaşır. Başkalaşım maddeleri gaz değil, katı ürünlerdir. Bu ürünlerin bazıları havada bulunan toz zerreciklerine ve su partiküllerine tutunarak radyoaktif serpintiler meydana getiriler. Teneffüs yoluyla vücuda alınan bu radyoaktif ürünler akciğer borularına yapışarak radyoaktif alfa ışınması oluşturur ve akciğer hücrelerinde DNA yapısına zarar verirler. Vucut, zarar gören hücrelerini onarmakla uğraşırken, artan dozda radon gazına maruziyet durumunda bazı hücreler onarılamayarak tümörlü hücrelere dönüşerek akciğer kanserini oluştururlar. Çeşitli çalışmalar, çocukların metabolizma hızlarıyla paralel olarak solunumun ve fiziki etkinliklerinin daha fazla olmasından dolayı radonun etkilerine büyüklere göre daha duyarlı olduklarını ortaya çıkarmıştır. Radon, asbest, arsenik ve bezen gibi A kategorisinde yer alan kanser yapıcı maddeler arasında gösterilmektedir. Kapalı ortamlarda radonun teneffüs ile akciğerlere alınması, solunum güçlüğü, baş ağrısı, bulantı, kusma, öksürük gibi kısa sürede oluşan belirtilere sebep olmaz, bu nedenle radonun tesiri kısa dönemde anlaşılabilir. Ancak, radona maruziyet süresi ve binada radon derişimi arttıkça akciğer kanserine yakalanma ihtimalide artış göstermektedir (Matiullah, 2008).

Tablo 2.5. Yapı içi radon düzeyi ve etkilenim süresine bağlı olarak akciğer kanseri sebepli ölüm riski

Yapı içi radon düzeyi	Etkilenim süresi	Akciğer Kanseri
Bq/m³	(yıl)	ölümleri (%)
148	70	1-5
740	70	6-21
7400	70	44-77
7400	10	14-42

İngiltere Ulusal Radyasyondan Korunma Komitesi (NRPB), ülkede yılda gözlenen 41.000 akciğer kanseri vakalarının yaklaşık 2500'ünün, Amerikan Halk Sağlığı Servisi bir yılda görülen akciğer kanseri hastalıklarının sigara kaullanmayanlardan 5.000, kullananlardan ise 15.000 kadarının, Uluslararası Radyasyondan Korunma Komisyonu (ICRP) ise tüm akciğer kanserlerinin % 10'unun radonun zararlı etkileri sonucu oluştuğunu bildirmişlerdir. Yapı içindeki havada mevcut olan parçacık miktarının sigaraya bağlı olarak artması sonucunda, bu partiküllere yapışan radon miktarı da artabileceğinden dolayısıyla bu partiküllerin akciğerlere geçme ihtimalini de artırmış olur. Kısaca, sigara kullananlarda radona bağlı kanser görülme ihtimali daha yüksektir (Matiullah, 2008).

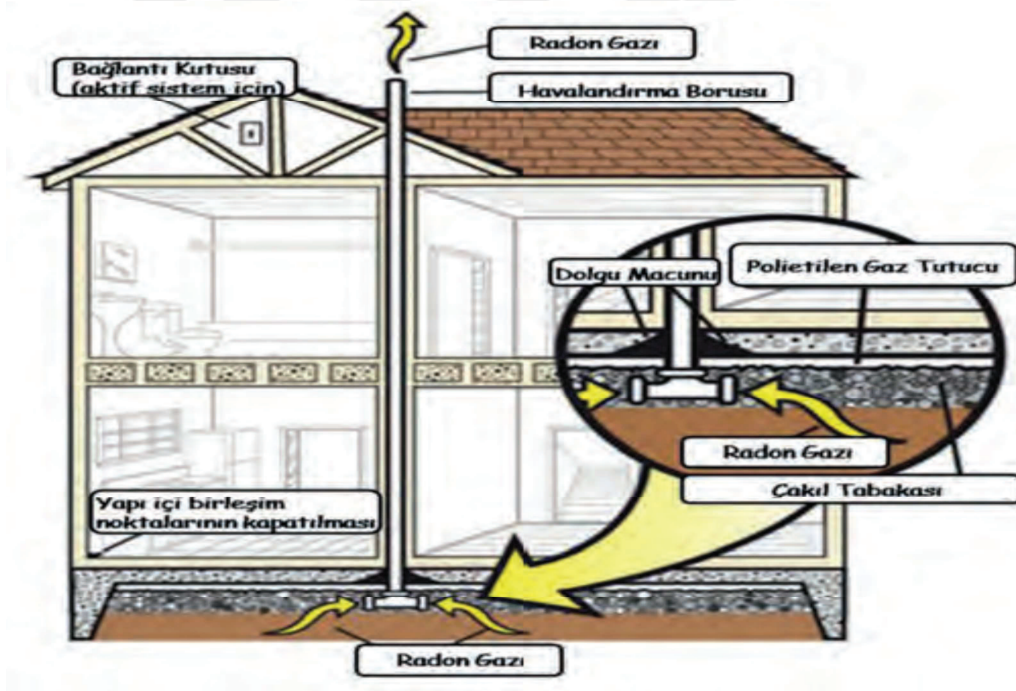
2.7. Yapılarda Radona Karşı Alınacak Tedbiler

Radona karşı alınabilecek en kesin önlemler, radonun yapıya girişini engellemek ve girdikten sonra dışarı atmaktır. Radonun yapıya girişini engellemek için ise öncelikle aşağıdaki işlemler yapılmalıdır:

- Yapı araç-gereçleri belirlenirken radon ihtiva eden maddelere bazı kısıtlamalar uygulanmalıdır. Yapı gereçlerinin radyoaktivite değerleri ölçülerek, önerilen radyoaktivite düzeylerinin üstündeki malzemelerin binada kullanımı önerilmemelidir. Öte yandan, saptanan sınır değerlerin üzerinde radon bulunan firmalardan işlenmemiş madde alımı asla yapılmamalıdır.
- Yapılar toprakla temas etmeyecek şekilde yalıtılmalıdır. Bodrum ve zemine betondan sızmayı engellemek için şap uygulmalıdır. Yapılarda, alttan sızabilecek radona karşı en iyi önlemlerden birisi de temelde su izolasyonu amacıyla uygulanan bohçalamadır. Bohçalama işi, esnek, uzun ömürlü izolasyon maddeleriyle kuralına uygun olarak gerçekleştirilmelidir.
- Yapıların duvarlarında veya binaya giren borularının olduğu yerlerdeki çatlaklar kapatılmalıdır. Gerekirse izolasyon uygulanmalıdır.
- Su ve doğalgaz tesisatları sürekli kontrol edilmelidir.
- Yapıya giren radonun çıkarılması için havalandırmanın sürekli yapılmasına dikkat edilmelidir.

Pencereler havalandırmaya en uygun şekilde yerleştirilmelidir. Tabii havalandırmaya ilaveten gerekirse suni havalandırma devreye sokulmalıdır (Ramli,1997).

Halihazırdaki yapılarda radon düzeyinin limitleri aşması halinde yapıdaki radonu çıkarmak için binanın altındaki radon gazı havalandırma boruları vasıtasıyla dış havaya aktarılabilir. Bina altına yerleştirilen gaz geçiren katmana havalandırma boruları konabilir. Topraktan binaya girebilecek radon gazı, basınç farkı yardımıyla borulara gönderilir. Havalandırma borusu dışarıya verilerek radon emniyetli bir şekilde dış havaya atılır. Şayet radon derişimi fazlaysa fan ilave edilerek dışarı hava iletimi aktifleştirilebilir. Gazın yapıya sızmasını engellemek için çakılla oluşturulan geçirgen katmanın üstüne polietilen gaz yakalayıcı kaplama gereçleri veya beton uygulaması çakıl katmanın tıkanmasını da engeller.



Şekil 2.4. Radon gazının havalandırma borusu ile tahliyesi

Bu tahliye şeması yapıların plan-proje aşamсында da radonun binaya sızmasını engellemek için uygulanabilir.

2.8. Topraklarda Radon Yayılım Hızları Hakkında Genel Bilgiler

Radon, özellikle inşaat yapı malzemesi olarak kullanılan taş, toprak, çimento ve kaynak sularında doğal olarak bulunabilmekte ve sürekli yayılabilmektedir. Radyumun toprakta bozunmasıyla oluşan radon, kayalardaki kırıklardan ve toprak taneciklerinin arasından hava dolu gözeneklere kaçarak bu yolla atmosfere geçebilmektedir.

Radon gazının atmosfere geçmesini kontrol altında tutan en önemli etkenler; toprağın nem oranı, topraktaki gözenek büyüklüğü ve toprağın geçirgenliğidir. Killi toprakların, kumlu ve çakıllı topraklara nazaran radon geçirgenliği daha azdır. Bunun yanı sıra, yapılan araştırmalar, metamorfik ve volkanik kayaların radyoaktif madde içeriğinin tortul kayalardan fazla olduğunu göstermiştir. Uranyum yer kabuğunda 2 ppm ile 4 ppm arasında çok denebilecek miktarda bulunur. Genellikle, Tungsten, Arsenik, Molibden ve Berilyum ile beraber bulunmaktadır. Yüksek oranda silis içeren granit gibi volkanik kayalarda 6 ppm gibi daha yüksek yoğunluklarda bulunur. Silis miktarı az olan ama demir, magnezyum, alüminyum içeriği çok olan kayalar 1 ppm'den de az uranyum içerirler. Yerkabuğunun alkali içeriğinin fazla olduğu bölgelerde bazen uranyum miktarı 100 ppm bile olabilmektedir. Kayalarda bulunan bu uranyumun bozunması sonucunda zincirin bir parçası olan radyum difüzyona uğrayarak daha üst katmanlardaki toprağa karışır. Uzun ömürlü olan radyum da toprak içinde sürekli bozunup ^{222}Rn atomlarının toprak parçacıkları ve mineralleri arasında serbest kalmasını sağlar. Topraktaki ve havaya sızan radon gazı miktarı toprak özelliklerine ve basınca bağlıdır (Ekin, 2013).

Tablo 2.6. Çeşitli ortamlar için radon difüzyon sabitleri

Ortam	Ortalama Mesafe		Difüzyon Sabiti cm ² s ⁻¹
	Rn-222 (cm)	Rn-220 (cm)	
Hava	220	2,85	10 ⁻¹
Toprak gözeneği	155	2,0	5x10 ⁻¹
Su	2,2	0,0285	10 ⁻⁵
Doymuş toprak gözeneği	1,55	0,020	5x10 ⁻⁶

2) Difüzyon: Gaz ya da sıvıya (moleküler difüzyon) radon geçişidir. Radon standart difüzyon kurallarına uyar, bu yüzden akı, konsantrasyon gradyenti ile orantılıdır. Çeşitli ortamlar için radon difüzyon sabitleri Tablo 2.2.'de verilmiştir.

3) Konveksiyon: Konveksiyon, meteorolojik şartlar ve tektonik aktivitenin neden olduğu basınç farklılıkları ile gerçekleşir. Tablo 2.2.'de farklı ortamlardaki radon izotoplarının ortalama difüzyon uzaklıkları verilmiştir. Radon gaz olması sebebiyle kaya ve toprakta bulunan uranyum ve radyumdan daha fazla hareketliliğe sahiptir. Radon, toprak ve kayalardan kayalardaki açıklıklara ve kırıklara ve toprağın tanecikleri arasındaki gözenek boşluklarına kaçarak kolay bir şekilde ayrılır (Kaynar, 2011). Toprak boyunca radon hareketinin yönü ve hızı, gözenek boşluklarındaki mevcut su miktarına (toprak nem içeriği) ve topraktaki gözeneklerin arasındaki boşlukların yüzdesine (gözenekliliğe) bağlıdır. Radon, çamur gibi geçirgen topraklardan ziyade iri taneli kum ve çakıl gibi geçirgen topraklar boyunca daha kolay hareket eder. Toprak ya da kayadaki kırıklar, radonun daha çabuk hareket etmesine izin verir. Kristal katılarda radon için difüzyon sabitleri son derece küçüktür ve radon, kristal boyutuna bakmaksızın herhangi bir uzaklığa erişmeden önce bozunacaktır. Gözenekli alanlardaki suyun varlığı radon göçünü azaltır. Radon suda, havadaki radondan daha yavaş hareket eder. Çünkü sudaki radon difüzyon sabiti, havadaki değer yaklaşık üç katından daha küçüktür. Katılardaki radonun moleküler difüzyon geçişi, radonun kısa yarı ömrü nedeniyle sınırlıdır (Kaynar, 2011). Difüzyon ile göç, çakılda yaklaşık 5 m'den doymuş çamurda ya da kilde yaklaşık 2 cm'ye değişir ve 1 metreden daha büyük mesafeler büyük olasılıkla mümkün değildir.

Su, havaya göre toprak gözenekleri ve kaya kırıkları boyunca daha yavaş bir şekilde akma eğiliminde olduğu için radon, bozunmadan önce kuru topraklardan ziyade ıslak toprakta daha kısa mesafelere gider. Bu nedenlerden dolayı, dağ yamaçları, kanyon ağzı ve kırılan ya da mağara içeren kayalar gibi kuru, yüksek bir şekilde geçirgen toprak ve kayalıklı bölgelerdeki binalar, yüksek seviyeli bina içi radon konsantrasyonuna sahip olabilirler. Topraktaki yada kırıktaki havanın radon içeriği normal aralıkta (200-2000 pCiL⁻¹) olsa bile bu bölgelerin geçirgenliği, radonun bozunmadan hava ile birlikte daha büyük mesafelere taşınmasına izin verir ve böylece yüksek bina içi radonuna katkıda bulunur (Kaynar, 2011).

Topraktan radon salınımı (Kapdan, 2009);

- 1) Topraktaki radyum konsantrasyonuna,
- 2) Toprağın gözenekliliğine, geçirgenliğine ve nem içeriğine,
- 3) Toprağın durumuna (kuruluk, suyla tıkanmış olma, donma, karla örtülü olma),
- 4) Meteorolojik koşullara (toprak ve hava sıcaklığı, hava basıncı, rüzgar hızı, rüzgarın yönü,
- 5) Bölgenin yüksekliğine bağlıdır.

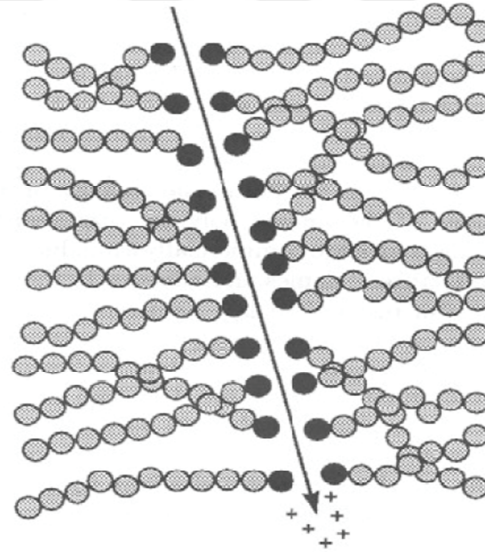
2.9. Kathal Nükleer İz Dedektörleri ve Kapalı Kutu (Sealed Can) Metodu

Nükleer iz kazıma dedektörleri temel olarak mineral, kristal, plastik içeren, elektriksel olarak yalıtılmış katı materyallerdir. Nükleer iz kazıma dedektörlerinden ağır yüklü parçacıkların geçişi, dedektör materyalinde geçtikleri yollar boyunca hasarlara neden olmaktadır. Bu hasarlara gizli iz adı verilir. Gizli izler, dedektörlere kimyasal veya elektrokimyasal iz kazıma yöntemleri uygulandığında optik mikroskop altında görülebilecek boyutlara ulaşmaktadır. Alfa parçacıklarının ölçümü için en uygun dedektör materyali polimerik plastiklerdir. Çünkü polimerik plastikler basit, ucuz, dayanıklı, kararlı, yüksek duyarlılığa sahip ve kolay kullanılabilir yapıdadır. Polimer dedektörler genellikle ²²⁰Rn, ²²²Rn ve ürünlerinin ölçümleri için kullanılmaktadır.

Yaygın olarak kullanılan polimer detektörler selüloz nitrat (LR-115), polyallyl diglycol karbonat (CR-39) ve bisphenol A polikarbonat (makrofol)'dür. LR-115 ve CR-39, Makrofol'e göre daha yüksek duyarlılıktadırlar (Tabar, 2010).

İz oluşumu: İyonize parçacıklar katı materyal boyunca ilerlerken iyonizasyon ve eksitasyon ile enerjilerini ortama aktarırlar. Parçacığın materyal içinde enerji kaybı lineerdir ($\frac{dE}{dx}$). Lineer enerji kaybı parçacık karakteristiklerine (kütle, yük ve enerji) ve kullanılan materyale bağlı bir fonksiyondur. Enerji kaybı kritik değerin üzerine çıktığında detektör materyali üzerinde lokal şekil değişiklikleri oluşmaya başlar.

Bu şekil değiştirmeler polimerlerde moleküler zincirlerin kopması veya parçacık yolu boyunca oldukça reaktif olan yeni kimyasal bileşenlerin oluşması şeklinde açıklanabilir. Oluşan şekil değiştirmeler neticesinde çapı 1–10 nm arasında değişen gizli izler oluşur (Tabar, 2010).



Şekil 2.6. Ağır yüklü parçacıkların içinden geçtikleri polimerin molekül zincirlerini kırması.

Gizli izler, boyutları nedeni ile ancak elektron mikroskopları altında görülebilir. Bunun yanı sıra eğer detektörler uygun sıcaklık ve konsantrasyondaki kazıyıcı çözelti, çoğunlukla basit alkali (örneğin NaOH veya KOH) veya asit (örneğin HF veya HNO₃), ile banyo edilirse gizli izlerin çapları birkaç μm 'ye kadar genişlemekte ve izler optik mikroskop altında görülebilmektedir.

Kimyasal iz kazıma işlemi film dedektörlerin belirli bir sıcaklıktaki çözelti içerisinde belirli süreler boyunca banyo işlemine tabi tutulmasıdır. Kullanılan çözeltinin cinsi, molaritesi, sıcaklığı ve banyo süresi tercih edilen dedektörlerin özelliklerine göre değişmektedir (Tabar, 2010).

Kimyasal iz kazıma, gizli izin kimyasal reaktivitesinin, iz etrafındaki hasar görmemiş dedektör materyalinin reaktivitesinden daha yüksek olması esasına dayanır.

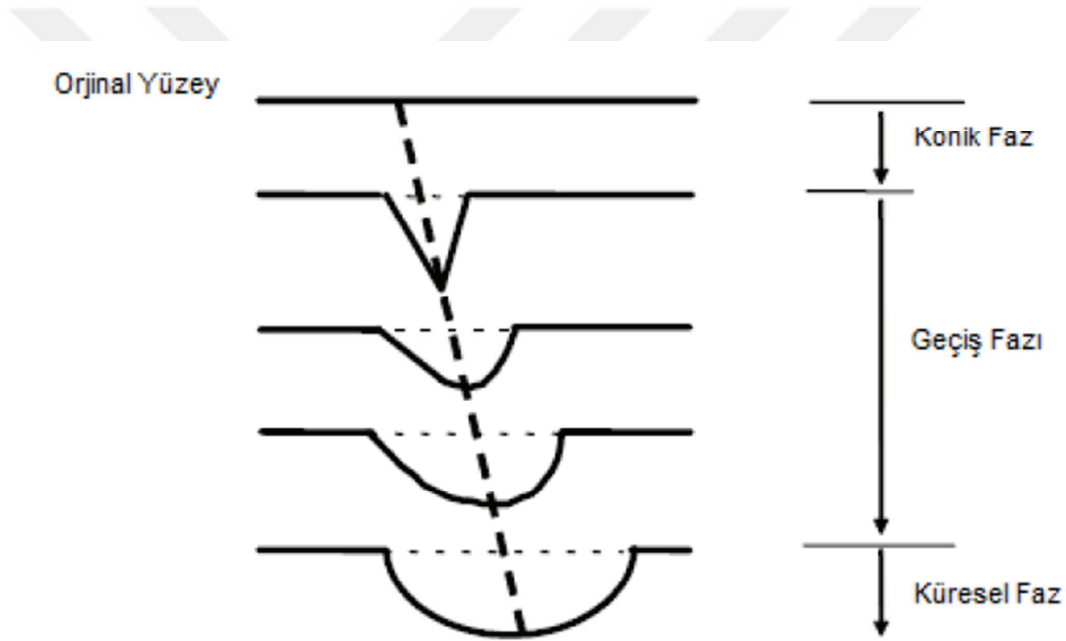
Polimere kazıyıcı çözelti etki ettiğinde, polimer yüzeyi V_B hızı ile kazınırken, gizli iz V_T hızı ile kazınmaktadır. V_B hasara uğramayan dedektör materyalinin kazınma hızıdır ve yalnızca dedektörün yapısı ile kazıma koşullarına (sıcaklık, konsantrasyon ve zaman) bağlıdır. V_T ise iz kazıma hızıdır ve gelen parçacığın karakteristiklerine (yük, kütle, enerji kaybetme oranı) bağlıdır.

Tablo 2.7. Farklı dedektör tipleri için iz kazıma koşulları

Dedektör Tipi	Dedektör Materyali	Kazıma Sıcaklığı	Kazıma Konsantrasyonu	Kazıma Süresi
LR-115 Tip- II	Selüloz Nitrat	60 °C	%10 2,5 N NaOH	2 saat
CR-39 (500 μm)	Polikarbonat	70 °C	%25 6,25 N NaOH	12 saat
CN-85	Selüloz Asetat	60 °C	%10 2,5 N NaOH	20-30 dakika

V_B ve V_T 'nin sabit ve izotropik olduğu kabul edilirse iz oluşumu Huygens kuralının uygulanması ile Şekil 3.6.'da görüldüğü gibi basit bir biçimde açıklanabilir. Bir t kazıma süresinde dedektörün yüzeyini saran kazıma yarı kürelerinin (yarıçapları $V_B t$ olan tüm elemanter yarı küreler) içi dedektörün yeni yüzeyini verirken, seçilen kimyasal kazıyıcı parçacık yolu boyunca konik kazıma profili oluşturacaktır (Tabar, 2010).

Dedektör üzerine gelen bütün yüklü parçacıklar kazınabilecek nitelikte iz oluşturmaz. Ancak belirli bir kritik açıdan daha büyük açılarla gelen yüklü parçacıklar kazınabilen iz oluşturur. İzlerin şekli kazıma işlemi süresince üç fazda değişim göstermektedir (Şekil 2.7.). Bunlar konik faz, geçiş fazı ve küresel fazdır. Kazınan izin aldığı son şekil kimyasal kazımanın bittiği ana bağlıdır. Konik faz, iz kazıma hasarlı yolun bitimine ulaşana kadar sürer. Bu fazda izin şekli koniktir, açık yüzey ise eliptiktir. Konik faz bittiğinde geçiş fazı başlar. Geçiş fazında izin alt tarafı dairesel iken açık yüzeyi hala eliptiktir. Kazıma hızı her doğrultuda materyal kazıma hızına eşittir. İz küresel, açık yüzey dairesel olduğunda küresel faza ulaşılmış olur (Tabar, 2010).



Şekil 2.7. İzlerin banyo süreci boyunca aldığı şekiller.

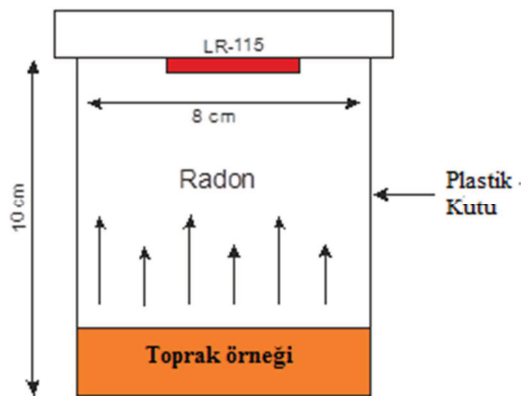
2.10. Kapalı Kutu Metoduyla Radon Yayılım Hızlarının Belirlenmesi

Kapalı kutu tekniği ilk olarak 1980 yılında Falah Abu-Jarad ve arkadaşları tarafından kullanılmıştır. Adından da anlaşılacağı üzere bu teknik kapalı bir kutu (belirli bir yükseklik ve genişliğe sahip) ve katı hal plastik nükleer iz dedektörleri (SSNTD) olarak adlandırılan (LR-115 ve CR-39) film dedektörlerin beraber kullanılmasıyla oluşturulur.

Bu teknikte kapalı kapta oluşturulan hacim içerisindeki radonun ölçümü amaçlanmaktadır (Abu-Jarad ve ark., 1980). Sistemin çalışması şu şekilde olur; kabın tabanına ölçümü yapılmak istenen materyal (toprak, kum, yapı malzemeleri, gübre vb.) konulduktan sonra kabın kapağının alt yüzeyine belirli boyutlarda kesilmiş LR-115 veya CR-39 katı hal nükleer iz dedektörleri yerleştirilip, kabın ağzı hiçbir gaz çıkışı olmayacak şekilde kapatılır ve yalıtılır (Abu-Jarad ve ark., 1980).

Yapılacak ölçüme göre ilgili materyal bu kaplar içerisinde belirli bir süre bekletilir ve materyalden ayrılp kutu içerisinde birikecek olan radon ve ürünlerinden yayılan α parçacıkları kullanılan katı hal nükleer iz dedektörleri aracılığıyla kaydedilir. Daha sonra bu filmler iz kazıma işlemine tabi tutularak gerekli hesaplamalar yapıldıktan sonra materyale ait radyum konsantrasyonu, radon konsantrasyonu, kütle ve yüzey yayılım hızı bulunabilir. Kapalı kutu tekniği oldukça pratik ve ucuzdur bir yöntemdir. Ayrıca kullanımının basit olmasından ve ölçümler için elektronik bir cihaza ihtiyaç duyulmamasından dolayı radon gazı ölçümlerinde sıkça kullanılır (Abu-Jarad ve ark.,1980).

Bu tez çalışmasında, toprak örneklerinin radon yayılma hızı, radon konsantrasyonu ve etkin radyum içeriğinin ölçümü için “Kapalı Kutu Tekniği” kullanılmıştır. Deney düzeneğinin şematik gösterimi Şekil 2.8.’de gösterilmiştir. Böyle bir sistemde radon yayılım hızı, örnek miktarına, kutunun çapına ve geometrisine bağlıdır (Abu-Jarad ve ark.,1980).



Şekil 2.8. Kapalı kutu tekniği şematik gösterimi.

Yukarıdaki şekilde kapalı kutunun kapağına LR-115 Tip-II katı hal plastik iz dedektörleri (1,5x1.5 cm) yerleştirilerek kapların ağzı sıkıca kapatılmıştır. Daha sonra, radon gazı kaçışını önlemek için silikonla sıkıca kaplanmış ve kaplar 3 ay süreyle kapalı tutulmuştur (Abu-Jarad ve ark.,1980).

Kapalı kutuda radyoaktif denge sağlandıktan sonra, radondan yayılan alfa parçacıkları, toprak örneklerinin radyum içeriğini ($Bqkg^{-1}$) belilemek için kullanılmıştır. Kutular kapatıldıktan sonra, aşağıdaki ifadeye göre radon aktivitesi zamanla (T) artar (Khan ve ark., 2011);

$$C_{Rn} = C_{Ra} \cdot (1 - e^{-\lambda_{Rn} \cdot T}) \quad (2.1)$$

Toprak örneklerindeki radyum konsantrasyonu ise;

$$C_{Ra} = \frac{\rho \cdot h \cdot A}{k \cdot T_e \cdot M} \quad (2.2)$$

ifadesi kullanılarak hesaplanır. Burada ρ iz yoğunluğu ($izcm^{-2}$), h toprak örneği ve dedektör arasındaki mesafe (cm), k ($Bqm^{-3}iz^{-1}cm^2h$) kalibrasyon faktörü, A kutunun dik kesitinin yüzey alanı (cm^2), M toprak örneklerinin kütlesi (kg), T_e (h) ise etkin ışınlanma zamanıdır. Kutudaki dedektörler ^{222}Rn konsantrasyonunu sıfır başlangıç aktivitesinden denge aktivitesine kadar kaydetmektedir. Bu nedenle etkin ışınlanma süresini belirlemek gerekir. Etkin ışınlanma süresi T_e aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanır:

$$T_e = [T - \tau(1 - e^{-\lambda_{Rn} \cdot T})] \quad (2.3)$$

Burada λ_{Rn} , ^{222}Rn 'nin bozunma sabiti, τ ortalama ömür ($\tau = \frac{1}{\lambda_{Rn}}$) ve T ise gerçek ışınlanma süresidir.

Şekil 2.8'deki kapalı kutu hacmindeki radon, toron ve onların bozunum ürünlerinin radyoaktif dengede olduğu varsayılır. Havadaki difüzyon için, ilgilenilen tüm kızların (^{216}Po hariç) hava hacminde depolanması beklenir. Ayrıca, ^{220}Rn ve ^{216}Po kısa yarı ömürleri nedeniyle havada homojen olmayan bir şekilde dağılır.

^{216}Po 'nın bozunumuyla oluşan ^{212}Po ve ^{212}Bi ise tercihen kutu duvarında homojen olmayan şekilde dağılırlar. ^{222}Rn 'a ait dedektör üzerindeki iz yoğunluğuna onun biriken kızlarının da katkısı olduğu açıktır. Numune yüzeyinden radon eksalasyonu neticesinde SSNTD ve örnek arasındaki havada radon atomları sayısının $N(t)$ kaynağı mevcuttur. Radonun doğal bozunma sürecini sadece yok olma mekanizması sağlar. $N(t)$ 'nin zamanla değişme hızı bu yüzden aşağıdaki diferansiyelle verilir:

$$\frac{dN(t)}{dt} = EA - \lambda N(t) \quad (2.4)$$

Burada $N(t)$ t anındaki kutudaki toplam radon atomları sayısını, E eksalasyon oranını ($\text{Bqm}^{-2}\text{h}^{-1}$), A kutunun enine kesit alanını (eksalasyonun gerçekleştiği örnek yüzey alanını), λ radonun bozunma sabitini (h^{-1}) ifade eder. $N(0)=0$ eşit alınır (2.4) ifadesinin çözümü;

$$N(t) = \frac{EA}{\lambda} [1 - e^{-\lambda t}] \quad (2.5)$$

olur. Burada $V(\text{m}^3)$ havanın hacmi, $C(t)$ ise kutunun hava hacmindeki zamanın (t) fonksiyonu olarak radon aktivite konsantrasyonudur ve aşağıdaki ifade gibi verilebilir (Morawska, 1989; Chen et al., 1993):

$$C(t) = \frac{EA}{\lambda V} [1 - e^{-\lambda t}] \quad (2.6)$$

Katı hal nükleer iz dedektörü silindirik kutunun birim hacmindeki t sürede alfa bozunumlarının toplam sayısını içindeki alfa parçalanma sayısını ölçer. Bu yüzden SSNTD üzerinde kaydedilen ölçülen iz yoğunluğu oranı radon konsantrasyonu ile orantılıdır ve bu ifade şu ifadeyle verilir:

$$\frac{d\rho(t)}{dt} = KC(t) \quad (2.7)$$

Burada $\rho(t)$ iz yoğunluğu, K kalibrasyon faktörü (α izleri. $\text{cm}^{-2}\text{gün}^{-1}/\text{Bqm}^{-3}$)'tür. (2.6) ve (2.7) ifadeleri kullanılarak iz yoğunluğu için aşağıdaki ifade yazılabilir:

$$\rho = K \int_0^T C(t) dt = \frac{KAE}{\lambda V} \int_0^T (1 - e^{-\lambda t}) dt \quad (2.8)$$

$\rho(0)=0$ başlangıç şartıyla çözüm şu şekilde verilir:

$$\rho = K \frac{AE}{\lambda V} \left[t - \frac{1}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t}) \right] \quad (2.9)$$

Buradaki yüzeye bağlı radon eksalasyon oranı E_S aşağıdaki gibi çekilebilir:

$$E_S = \frac{CV\lambda}{AT_{eff}} \quad (2.10)$$

Burada E_S ($Bqm^{-2}h^{-1}$) yüzey radon eksalasyon oranıdır. C integre radon pozunu temsil eder ($Bq m^{-3}h$), V kutunun efektif hacmidir, t saat (h) cinsinden radona maruz kalma süresi ve A kutunun kesit alanıdır (m^2).

Benzer işlemler yapılarak kütleyle bağlı radon eksalasyon oranında (E_M) ise aşağıdaki gibi bir ifade elde edilebilir;

$$E_M = \frac{CV\lambda}{MT_{eff}} \quad (2.11)$$

E_M kütle radon eksalasyon oranı, M numunenin kütlesi ve (2.10) ve (2.11) denklemlerinin sağ tarafındakiler C(t) hariç olmak üzere biliniyor. C(t) değeri deneysel olarak radon dosimetresinde LR-115 tip II kullanılarak belirlenebilir. C(t)'nin değeri (2.10) ve (2.11) ifadelerinde yazılarak eksalasyon oranları bulunur.

Yüzey radon yayılma hızı, toprak örneklerinden yayılan radon gazını ifade eder. Basit ve düşük maliyetli bir teknik olarak, radon yayılım hızlarının belirlenmesinde kapalı kutu tekniği daima kullanılmıştır. Bununla birlikte, ölçülen yayılım hızının doğruluğunu, kaçaklar ve geri difüzyon mekanizması azaltabilmektedir (Saad ve ark., 2013).

Kapalı ortamdaki radon aktivitesi ile toprak gazı radon arasında pozitif bir ilişki olduğu bilinmektedir. Toprak örneklerindeki radon yayılım hızı kullanılarak, topraktaki radon aktivite konsantrasyonunun bina içi radon konsantrasyonuna katkısı aşağıdaki ifade ile hesaplanabilir.

$$C_{Rn}^{ind} = \frac{E_A \cdot S_r}{V_r \cdot \varphi} \quad (2.12)$$

Burada $\varphi = 0,5 \text{ h}^{-1}$ havanın akış oranı, S_r ve V_r sırasıyla kapalı ortamın alanı ve hacmi olup, söz konusu kapalı ortamın $\frac{S_r}{V_r} = 2,0 \text{ m}^{-1}$ oranına sahip bir boşluk olduğu kabul edilir. Radondan ileri gelen radyolojik etkiler, yıllık efektif dozların hesaplanmasıyla ortaya konulabilir. Bu çalışmada, ^{222}Rn ve bozunum ürünlerinden kaynaklanan efektif doz eşdeğerlerinin hesabı ICRP-1993 raporuna göre yapılmıştır (ICRP,1993).

Burada, ürün konsantrasyonu Bqm^{-3} yerine çalışma seviyesi (WL) biriminde ifade edilir. Aylık çalışma düzeyi (WLM), bir insanın 170 saat (1 ay) boyunca 1 çalışma düzeylik (WL) ürün konsantrasyonuna maruz kalması olarak tanımlanır. Yıl başına WLM'yi hesaplamak için, Nazaroff ve Nero tarafından önerilen bir yöntem kullanılmıştır;

$$(WLM)y^{-1} = \frac{t.n.F.C_{Rn}^{ind}}{(170).(3700)} \quad (2.13)$$

Burada C_{Rn}^{ind} bina içi radon aktivitesine katkı veren toprak gazı radon konsantrasyonu (Bqm^{-3}), $t=8760$ saat, $1/3700$ dönüşüm katsayısı ($\text{WL}/\text{Bqm}^{-3}$) ve 170 saattir. n, kapalı alanda geçirilen zamanı tanımlarken, F radon ve bozunum ürünleri arasındaki kapalı alan denge faktörünü tanımlar. $n=0,8$ ve $F=0,4$ değerleri kullanılmıştır. Radondan kaynaklanan etkin dozu tahmin etmek için, ICRP (1987) tarafından önerilen $6,3 \text{ mSv}/\text{WLM}$ dönüşüm faktörü kullanılmıştır (ICRP,1987).

BÖLÜM 3. TOPRAK ÖRNEKLERİNDE RADON YAYILIM HIZI VE EFEKTİF RADYUM İÇERİĞİNİN BELİRLENMESİ

3.1. Çalışma Alanı ve Jeolojisi

Bursa ili, Anadolu'nun kuzeybatı bölgesinde bulunur. Marmara denizinin güneyinde; batıda 28° 05' (Karacabey Çavuş köyü batısı) ve doğuda 29° 57' (İznik Elmalı köyü doğusu) doğu boylamları ile, güneyde 39° 35' (Büyükorhan Piribeyler istasyonu) ve kuzeyde 40° 37' (Samanlı dağları üzerinde Ayvaşa dağı) kuzey enlemleri arasında yer almıştır. Doğusunda Bilecik, kuzeydoğusunda Sakarya, kuzeyinde Kocaeli ve Yalova illeri, kuzey ve kuzeybatısında Marmara denizi, batı ve güneybatısında Balıkesir ve güneyinde Kütahya illeri ile kuşatılmıştır. Yüz ölçümü 11251 km²'dir. Bu ölçüm değeri iznik ve Ulubat gölü ile İmralı adasını da" kapsamaktadır (URL-1).

Bursa iline bağlı ilçelerinin yüzölçümleriyle bu yüzölçümlerinin il yüzölçümündeki payı ve deniz seviyesinden yaklaşık yükseklik değerleri (rakım) ekli tabloda verilmiştir. Bursanın Marmara Denizi'ne kıyı uzunluğu, kuzeyde Gemlik Narlı köyü batısından, güneyde Karacabey Kurşunlu köyü batısına kadar 115 kilometre civarındadır. Bursa ili ise, batıda Alaattinbey'den itibaren doğuda Cumalıkızık'a kadar 28° 55' ve 29° 10' doğu boylamları ile güneyde Gümüştepe'den başlayarak kuzeyde İhsaniye'ye kadar 40° 10' ve 40° 14' kuzey enlemleri arasında bulunmaktadır (URL-1).

Bursanın yüzeyi, eşiklerle ayrılmış göçük bölgeler ve Uludağ hariç fazla yüksek olmayan dağlarla kaplıdır. Kentin yüzey şekillerinin %35'ini dağlar ve ovalar, %482'ni platolar, %17'sini ise ovalar oluşturur. Göçük bölgeleri İznik ve Uluabat gölleri ile Bursa, Yenişehir ve İnegöl ovalarını içine alır.

Kentin ekseriyeti, yüksekliği 0-500 metre arasında değişen düzlükler şeklindedir. Yer yer 500 - 1 000 metre yüksekliğindeki platolar uzanır. Dağlık kısımların yüksekliği genelde 1000-1500 m civarındadır. Uludağ ise 1500 metreden 2500 metreye kadar yükselir. Bursa ili topraklarını farklı zamanlarda meydana gelmiş külteler oluşturur. Bunları aşağıdaki gibi gruplara ayırmak mümkündür (URL-1).

Toprak Örtüsü: Bursa İlinde başlıca aşınmış tepelik inişli-çıkışlı yerler, kırıklı ve kıvrımlı dağlar ve ovalar büyük bir alana yayılmıştır. İl topraklarının %50 'sinden fazlasını 0-500 m yükeklüğindeki bölgeler oluşturmaktadır. Diğer taraftan, 500-1000 m arasında değişen tepeliklerde önemli bir alanı kaplamaktadır. Bursa topraklarında başlıca yerli (zonal), intrazonal ve azonal (taşınmış) şeklinde üç tip toprak yapısı bulunur (URL-1).

Zonal (yerli) topraklar: Hava koşulları ve bitki örtüsünün etkisiyle derinleşen eski yerli topraklar, genellikle Yenişehir ovası civarında yer almaktadır. Bu topraklar buradaki blokların, daha ziyade şistlerin (başkalaşım bloğu) dağılmasıyla oluşmuştur, rengi açık sarı ve yeşildir. Ayrıca, kireçtaşı ve şistlerin dağılması sonucu oluşan kırmızı, kahverengi ve siyah renkli zonal topraklara ise Yenişehirin doğu yönündeki Hayriye köyü civarında rastlanmaktadır (URL-1).

İntrazonal topraklar: Bölgenin kayda değer bir kısmını, yerli ve taşınmış topraklar arasında bir toprak tipi olan intrazonal topraklar oluşturmaktadır. Bu grubta yer alan kahverengi topraklar İznik civarında, bilhassa tepelik yerlerde gözlenmektedir. Aynı zamanda bunlara Mudanya havzasında tepelik kısımlarda da rastlanır. Bu toprak tipi genellikle 8-15 cm kalınlığında olup meydana geldiği ana kayaç ve meyile göre değişiklikler arz etmektedir (URL-1).

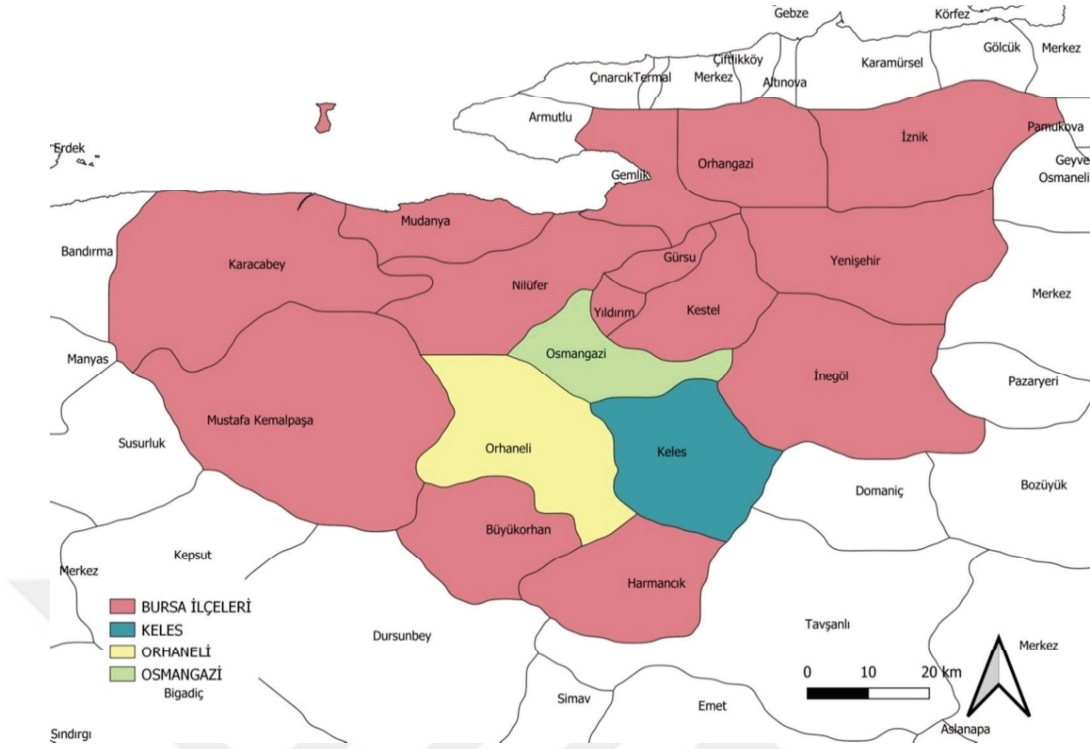
Keleş ilçesinde de sık karşılaşılan kahverengi toprağın içeriğinde oldukça fazla miktarda kireç bulunur. Diğer taraftan kil içeriğinin az olması da, toprağın kullanımını daha kolay hale getirir. Bu bölgedeki topraklar genellikle 50-100 cm kalınlığındadır.

Tarım için elverişli görülmeyen topraklara, Karacabey'in doğus tarafında Uluabat gölü etrafında, koyu grimsi-kahverengi toprak tipi ile aynı renkte killi kireç taşı rendzona toprak tipi şeklinde karşılaşılr (URL-1).

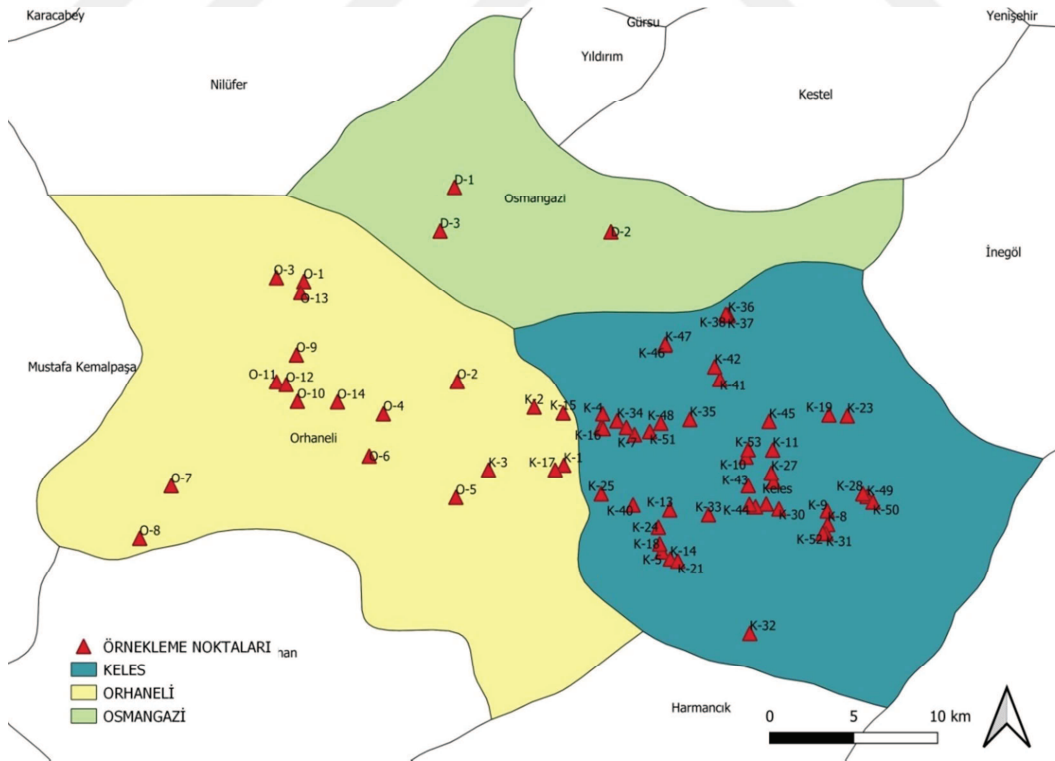
Azonal (taşınmış) topraklar: Bursa kentinde taşınmış topraklar sınıfına dahil alüvyal topraklar geniş yer tutar. Yenişehir ovasında tamamen alüvyonların birikmesiyle meydana gelen bu toprakta killi içeriklerin miktarı çoktur, kalınlığı yer yer 0.50 m'ye ulaşmaktadır. İznik ovasında azonal topraklar göl yakınlarında 2.00-2.50 m iken göl uzağında ise yaklaşık 0.50 m kalınlığındadır (URL-1).

Karacabey ovasında karşılaşılan alüvyonlu topraklar grimsi-kahverenginde ve yaklaşık 20 - 30 cm kalınlığındadır. Bu topraklar kireç içerdiği için kurduğunda çok sert, ıslandığında ise epey yapışkan hale gelir (URL-1). İnegöl ovasında oldukça kalın azonal toprakların alüvyon katmanı, akarsuların ovaya vardığı alana yaklaştıkça biraz daha kalınlaşır. Kocaçay yatağı ve vadi zemininde de karşılaşılan alüvyonlu toprakların derinliği yer yer 800-1000 m arasında olan bu tip topraklar tarım için çok uygundur (URL-1).

İl topraklarının ortalama % 43.2'lik kısmında ekim yapılmaktadır. Toprakların % 42.6'sını ormanlar, % 5.5'ni ise çayır ve meralar yer almaktadır. Bursa ilçelerinden toplanan 71 adet toprak numunesinin 14 adedi Orhaneli, 54 adedi Keleş ve 3 adedi ise DOSAB (Demirtaş organize Sanayi Bölgesi) bölgesinden elde edilmiştir. Toprak örneklerinin alındığı noktaların koordinatları ve ilçelere göre dağılımı Ek-A, Ek-B ve Ek-C'de verilmiştir (URL-1).



Şekil 3.2. Bursa ili ve ilçeleri lokasyon haritası



Şekil 3.3. Bursa ili ilçeleri ve örnekleme noktaları haritası

3.2. Analizler ve Ölçüm Sonuçları

Bursa'nın Orhaneli, Osmangazi ve Keleş ilçelerinden toplamda 71 toprak numunesi koordinatları ve numune bilgileri işaretlenerek toplandı. Öncelikle toprak yüzeyindeki taş ve bitki artıkları temizlendi ve kürekle 'V' şeklinde 15-20 cm derinliğinde açılan çukurun bir tarafından 5 cm civarındaki bir kalınlıkla dilimleme yapıldı. Kütlesi 1,5-2 kg civarında olan örnekler kilitli torbalara yerleştirildi. Nümune poşetlerinin üzerine enlem-boylam koordinatları, tarih ve saat gibi bilgilerin yazılı olduğu etiketler yapıştırıldı. Daha sonra nünuneler SAÜ Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Nükleer Fizik Araştırma laboratuvarına getirildi. Toprak nünuneleri, gölgede, oda sıcaklığında, dışardan karışımlar olamayacak şekilde temiz yüzeyler üzerine konularak kurutuldu. Oda sıcaklığında kısmen kurutulan örnekler 2 mm (10 mesh) giritli elekte elenerek homojenize bir şekilde toz haline getirildi. Nünuneler içerisindeki nem ölçümleri etkilememesi için, 24 saat boyunca 80 °C sıcaklıktaki bir fırında örnekler kurutuldu. Herbirinin kütlesi 120 gr civarında olan örnekler, hacmi 0.5 dm³ (çapı 8 cm ve yüksekliği 10 cm) olan silindir biçimindeki plastik kutulara yerleştirildi. Kutuların kapaklarının alt yüzeylerine hassas tarafı aşağıya bakacak şekilde LR-115 Tip-II dedektörleri (1.5x1.5cm) yerleştirildi ve kapların ağzı sıkıca kapatıldı (kutuların kapak kısımları sızdırmaz bant veya silikonla sıkıca kapatıldı) ve dedektörler yaklaşık 100 gün (3 ay) süreyle ışınımına uğradı (Abu Jarad ve ark.,1980; Khan ve arkadaşları,1992; Gusain ve ark., 2009). Bu süre zarfında, topraklardaki radyumun bozunumu sonucu çıkan radon gazının ve bozunum ürünlerinin yaydığı alfalar dedektör filmler üzerindeki selüloz nitrat kaplı tabakasına çarparak izlerin (deliklerin) oluşmasına neden olur (Saad ve ark., 2013). Ancak bu izler çıplak gözle veya mikroskop altında görülemediğinden film detektörlerdeki izlerin mikroskop altında 100X büyütmeyle izlenebilmesi amacıyla kimyasal iz kazıma işlemine tabi tutulması gereklidir. Kimyasal iz kazıma işleminde dedektörler sabit sıcaklıkta (60±1 °C) yaklaşık 1,5-2 saatlik süre boyunca 2,5 N NaOH çözeltisinde bekletildi ve ardından selüloz nitrat tabakası 5-6 mikron incelen bu filmler 15-20 dakika saf suda bekletilmiştir.

Son olarak LR-115 film dedektörlerin hassas yüzeylerindeki alfa iz yoğunluğu (izcm^{-2}) 100X büyütmeli optik mikroskop ve image-j görüntü işleme programı kullanılarak belirlendi. Kapatılmış kutu metodu kullanılarak LR-115 filmlerindeki belirlenen iz yoğunlukları (izcm^{-2}) ve dedektörün TAEK ÇNAEM’inde belirlenen kalibrasyon faktörü kullanılarak aktivite (Bqm^{-3}) birimlerine geçildi. Efektif ^{226}Ra konsantrasyonu (Bqkg^{-1}), radon eksalasyon oranları (yüzey ve kütle yayılım hızları) sırasıyla (2.2), (2.10) ve (2.11) ifadeleri kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçların analizleri kesim 3.3’de yapılmıştır.

3.3. Orhaneli, Keleş ve Osmangazi İlçelerindeki Sonuçlar

Bursa’nın Orhaneli termik santrali çevresinden, Osmangazi ilçesinin Demirtaş Organize Sanayi Bölgesi (DOSAB) çevresinden ve Keleş ilçesinden toplanan toplamda 71 adet toprak örneğinde Kapalı Kutu Tekniği (Sealed Can Technique) ve pasif film detektörler (LR-115) kullanılarak yapılan analizler sonucu elde edilen kütle ve yüzey radon (^{222}Rn) yayılım oranları ($\text{Bqkg}^{-1}\text{h}^{-1}$ ve $\text{Bqm}^{-2}\text{h}^{-1}$), ^{222}Rn konsantrasyonları (kBqm^{-3}) ve efektif radyum (^{226}Ra) içerikleri (Bqkg^{-1}) Tablo 3.1. ve Tablo 3.2.’de verilmiştir.

Tablo 3.1.’den görüldüğü üzere Bursa’nın Orhaneli ve Osmangazi (DOSAB bölgesi) ilçelerindeki toprak numunelerinde efektif radyum içeriği $0,35\pm 0,30$ - $14,23\pm 1,89$ Bqkg^{-1} aralığında, kütle eksalasyon oranları $28,02\pm 2,65$ - $1132,71\pm 16,83$ $\text{mBqkg}^{-1}\text{h}^{-1}$ aralığında ve yüzey radon yayılım oranları ise $0,67\pm 0,41$ - $22,97\pm 2,40$ $\text{Bqm}^{-2}\text{h}^{-1}$ aralığında değişmektedir. Bu ilçelerde ölçülen en büyük değer O6 nolu örnekte, en küçük değer ise D3 nolu örnekte elde edilmiştir.

Tablo 3.1. Orhaneli (Termik Santral çevresi) ve Osmangazi (DOSAB sanayi bölgesi) ilçelerinden toplanan toprak örneklerinin kütle ve yüzey radon yayılım oranları ve efektif radyum içerikleri

Örnek No	C_{Rn} (kBqm ⁻³)	C_{Ra}^{eff} (Bqkg ⁻¹)	E_M (mBqkg ⁻¹ h ⁻¹)	E_A (Bqm ⁻² h ⁻¹)	$C_{Rn}^{iç}$ (Bqm ⁻³)
O1	2,61	10,74	854,30	17,66	70,65
O2	1,31	5,49	436,86	8,86	35,44
O3	1,80	7,21	573,77	12,21	48,82
O4	2,20	8,79	699,80	14,89	59,55
O5	3,00	11,88	945,44	20,30	81,20
O6	3,40	14,23	1132,71	22,97	91,88
O7	2,88	10,91	868,46	19,51	78,04
O8	0,64	2,48	197,42	4,32	17,27
O9	3,22	13,65	1085,80	21,80	87,21
O10	1,59	6,47	514,85	10,75	42,99
O11	1,28	5,08	404,61	8,69	34,75
O12	1,76	7,10	565,04	11,91	47,63
O13	0,97	3,87	307,70	6,55	26,18
O14	0,24	1,26	100,12	1,63	6,53
D1	2,16	7,70	612,720	14,618	58,47
D2	0,10	0,35	28,021	0,668	2,67
D3	0,30	1,05	83,712	1,997	7,99
Minimum	0,10	0,35	28,02	0,67	2,67
Maksimum	3,40	14,23	1132,71	22,97	91,88
Ortalama	1,73	6,96	553,61	11,72	46,90
Standart Sapma	1,07	4,35	345,91	7,22	28,89

Tablo 3.2. Keleş ilçesinden toplanan toprak örneklerinin kütle ve yüzey radon yayılım oranları ve efektif radyum içerikleri

Örnek No	C_{Rn} (kBqm ⁻³)	C_{Ra}^{eff} (Bqkg ⁻¹)	E_M (mBqkg ⁻¹ h ⁻¹)	E_A (Bqm ⁻² h ⁻¹)	$C_{Rn}^{iç}$ (Bqm ⁻³)
K1	0,34	1,22	97,182	2,280	9,12
K2	0,57	2,17	172,650	3,879	15,51
K3	0,19	0,72	57,270	1,298	5,19
K4	0,32	1,11	88,186	2,174	8,70
K5	0,58	2,17	173,058	3,957	15,83
K6	0,83	3,05	242,786	5,647	22,59
K7	0,79	3,01	239,302	5,328	21,31
K8	0,49	1,84	146,427	3,290	13,16
K9	1,14	4,12	327,878	7,692	30,77
K10	0,50	1,75	139,070	3,373	13,49
K11	0,37	1,31	104,260	2,487	9,95
K12	1,12	3,98	316,984	7,562	30,25
K13	1,78	6,51	518,084	12,051	48,20
K14	0,64	2,40	190,738	4,323	17,29
K15	1,90	6,65	529,121	12,834	51,33
K16	1,37	5,09	404,778	9,254	37,02
K17	0,57	2,00	158,765	3,851	15,40
K18	0,93	3,46	275,517	6,299	25,20
K19	1,20	3,89	309,926	8,133	32,53
K20	1,96	6,97	554,402	13,226	52,91
K21	0,74	2,75	218,805	5,003	20,01
K22	0,60	2,14	170,538	4,035	16,14
K23	0,86	3,15	251,049	5,840	23,36
K24	1,78	6,40	509,141	12,045	48,18
K25	1,12	4,14	329,304	7,594	30,38
K26	1,19	4,86	386,886	8,076	32,30
K27	1,17	4,20	334,071	7,903	31,61
K28	1,23	4,36	346,843	8,344	33,37
K29	0,25	0,89	70,747	1,702	6,81
K30	0,73	2,42	192,290	4,931	19,73
K31	1,68	6,21	493,986	11,392	45,57
K32	0,31	1,12	89,024	2,124	8,50
K33	0,56	2,01	159,893	3,815	15,26
K34	0,60	2,13	169,630	4,081	16,32

Tablo 3.2. (Devamı)

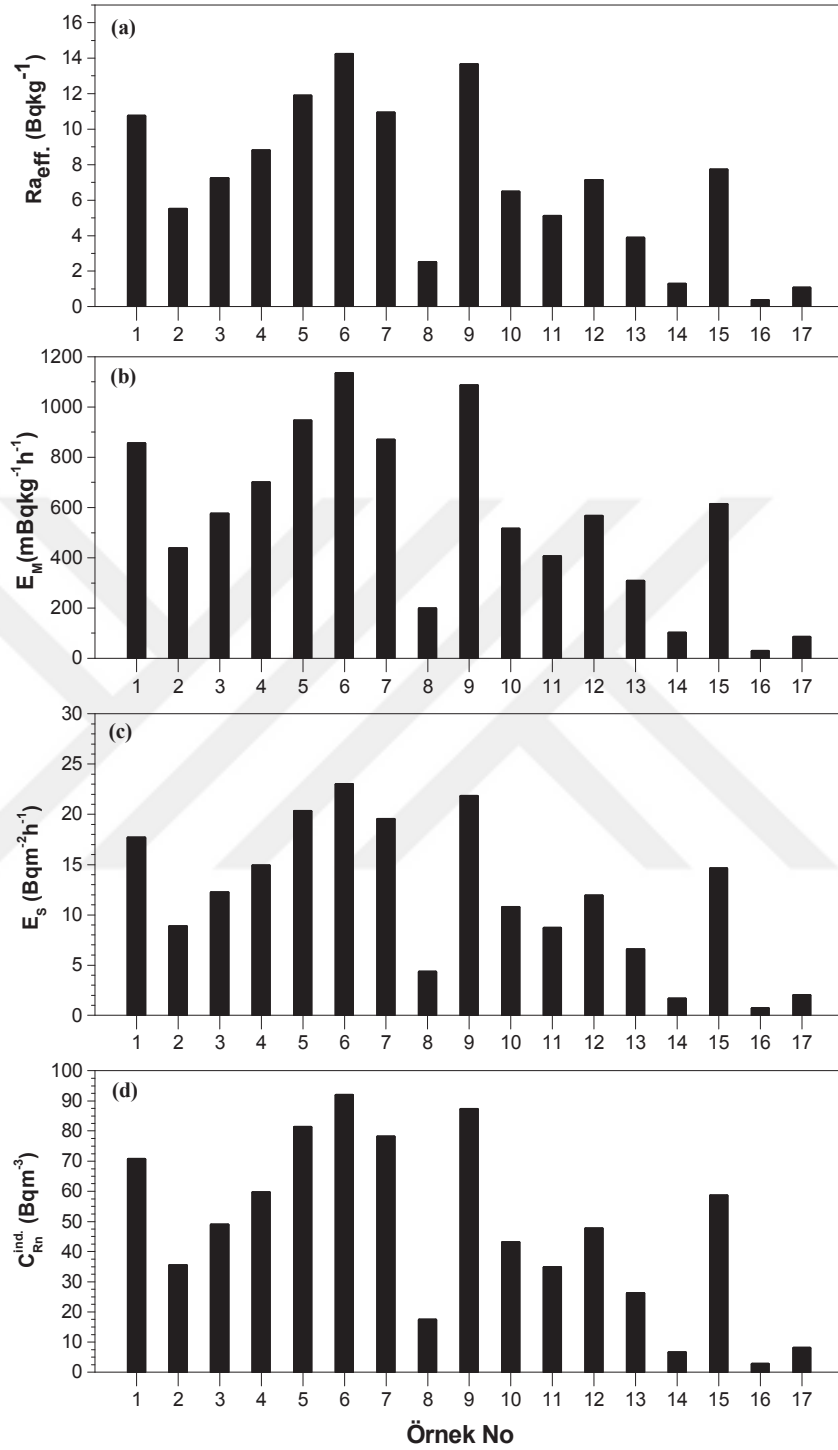
Örnek No	C_{Rn} (Bqm ⁻³)	C_{Ra}^{eff} (Bqkg ⁻¹)	E_M (mBqkg ⁻¹ h ⁻¹)	E_A (Bqm ⁻² h ⁻¹)	C_{Rn}^{ic} (Bqm ⁻³)
K35	0,65	2,29	182,482	4,390	17,56
K36	0,42	1,50	119,320	2,870	11,48
K37	0,39	1,37	109,281	2,607	10,43
K38	0,73	2,57	204,656	4,923	19,69
K39	0,18	0,65	51,757	1,245	4,98
K40	1,65	5,88	467,946	11,164	44,65
K41	0,98	3,49	277,872	6,629	26,52
K42	0,33	1,18	93,962	2,260	9,04
K43	0,42	1,49	118,857	2,859	11,44
K44	0,74	2,62	208,187	5,008	20,03
K45	0,65	2,29	182,077	4,380	17,52
K46	0,65	2,33	185,490	4,388	17,55
K47	0,81	2,92	232,466	5,500	22,00
K48	1,01	3,48	276,705	6,821	27,29
K49	3,59	12,88	1025,111	24,252	97,01
K50	0,39	1,36	108,436	2,608	10,43
K51	0,78	2,74	218,309	5,295	21,18
K52	0,38	1,33	105,533	2,581	10,32
K53	0,28	0,95	75,814	1,869	7,48
K54	0,10	0,34	27,320	0,652	2,61
Minimum	0,10	0,34	27,32	0,65	2,61
Maksimum	3,59	12,88	1025,11	24,25	97,01
Ortalama	0,84	3,03	241,48	5,71	22,82
Standart sapma	0,60	2,18	173,22	4,08	16,33

Bursa'nın Keleş ilçesindeki toprak numunelerinde efektif radyum içeriği $0,34 \pm 0,29 - 12,88 \pm 1,79$ Bqkg⁻¹ aralığında, kütle eksalasyon oranları $27,32 \pm 2,61 - 1025,11 \pm 16,01$ mBqkg⁻¹h⁻¹ aralığında ve yüzey radon yayılım oranları ise $0,65 \pm 0,40 - 24,25 \pm 2,46$ Bqm⁻²h⁻¹ aralığında değişmektedir. Bu ilçedeki ölçülen en büyük değerler K49 nolu örnekte, en küçük değerler ise K54 nolu örnekte elde edilmiştir.

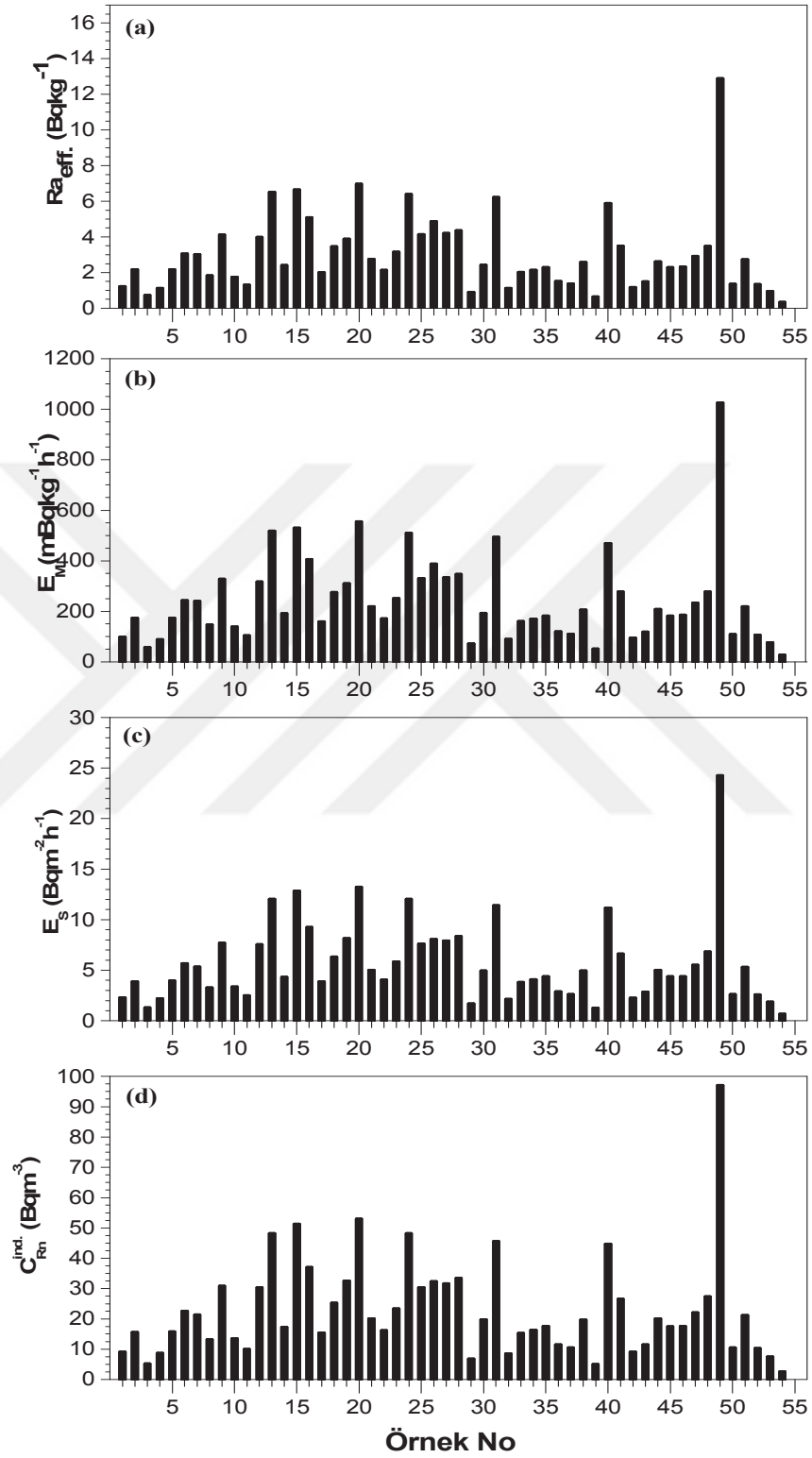
Tablo 3.1. ve 3.2.'deki sonuçlardan görüleceği üzere, çalışılan ilçelerde topraklardaki radon konsantrasyonları da birkaç örnek dışında çok önemli değişiklikler göstermemektedir. Bu durum bölgenin jeolojisiyle ilgili olabilir. Literatürden bilinmektedir ki toprak yapısı ve jeolojik etkenler radon yayılım hızlarında farklılıklara yol açabilmektedir (Wang et al., 2009; Fonollosa et al., 2016). Tablo 3.1. ve Tablo 3.2.'de verilen sonuçlar UNSCEAR (2000) tarafından önerilen limit değerlerden oldukça küçüktür.

Orhaneli, Osmangazi (DOSAB) ve Keleş ilçelerindeki toprak örneklerinde efektif radyum içeriği, kütle ve yüzey eksalasyon oranları dağılımları genel olarak küçük değişimler sergilemektedir. Özellikle, Orhaneli ilçesinden toplanan örneklerde ölçülen etkin radyum içeriği, yüzey ve kütle radon yayılım hızları diğer ilçelerdeki numunelere göre biraz daha yüksek çıkmıştır.

Orhaneli (termik santral çevresi), Osmangazi (DOSAB çevresi) ve Keleş ilçelerinden örneklenen yüzey topraklarının pasif ölçüm detektörleri (LR-115 film detektörleri) ve kapatılmış kutu metodu kullanılarak elde edilen deneysel veriler Şekil 3.3. ve Şekil 3.4.'de de görsel olarak sunulmuştur. Şekil 3.1.'de Orhaneli ve DOSAB örnekleri için (a) figüründe efektif ^{226}Ra içerikleri, (b) ve (c)'de kütle ve yüzey ^{222}Rn eksalasyon oranları, (d)'de ise topraktan bina içi ^{222}Rn konsantrasyonuna gelen katkılar verilmiştir. Şekil 3.4.'de de Keleş ilçesi örnekleri için ölçülen radyasyon nicelikleri gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Orhaneli (1-14) ve DOSAB (15-17) bölgesindeki topraklarda efektif radyum içeriği (a), kütle eksalasyon oranları (b), yüzey eksalasyon oranları (c) ve iç mekan radon aktivitesine katkılar (d).



Şekil 3.5. Keleş (1-56) ilçesindeki topraklarda efektif radyum içeriği (a), kütle eksalasyon oranları (b), yüzey eksalasyon oranları (c) ve iç mekan radon aktivitesine katkıları (d).

Ölçüm verilerinin normal bir dağılım sergileyip sergilemediğinin belirlenmesi için istatistiksel olarak bir normallik testi yapılmalıdır. İstatistiksel testlerin birçoğu örneğin öğrenci t-testi, bir-yönlü ve iki-yönlü varyans analizleri (ANOVA) gibi testler normal dağılmış bir örnek varlığı gerektirir. Normallik tahmini geçerli değilse, testlerin sonuçları güvenilir olmayacaktır. Normallik testine eğrilik (skewness) ve basıklık (kurtosis) ölçümlerinin uygulanabileceği iyi bilinmektedir. Eğiklik, genellikle simetri derecesinin bir ölçüsü olan üçüncü standartize moment olarak tanımlanır ve eğiklik sıfırdan büyükse, dağılım sağa eğiktir yani dağılım eğrisinin sol tarafında daha fazla gözlem mevcuttur. Bunun aksine, eğiklik değeri sıfırdan küçük olduğunda, gözlemler eğrinin sağ tarafına dağılacaktır. Dördüncü standartize moment olan basıklık ifadesi ise, tepe (pik) değerini veya kuyrukların inceliğini ölçmektedir. Standart normal bir dağılım, sıfır basıklığa (kurtosis=0) sahiptir ("aşırı kurtosis" tanım kurallarında). Dolayısıyla, hesaplanmış bir basıklık sıfırdan büyükse (kurtosis>0) ise, dağılım standart bir normal dağılımla karşılaştırıldığında daha ince kuyruklara ve daha yüksek bir pike sahiptir.

Kolmogorov-Smirnov (K-S), Kolmogorov-Smirnov-Lilliefors (K-S-L), Anderson-Darling (A-D) ve Cramer-von Mises (C-M) testleri deneysel dağılım fonksiyonu (EDF) temelli metotlardır. Jarque-Bera ve Skewness-Kurtosis (aka D'Agostino K-Squared) testleri Ki(Chi)-kare dağılımı temellidir. Chen-Shapiro testi, hem güçlü hem de basit olduğu tespit edilen normalize edilmiş bir uzaya dayalı yöntemdir. Shapiro-Wilk (S-W), Ryan-Joiner (R-J) ve Shapiro-Francia (S-F) testleri Chen-Shapiro (C-S) testi gibi regresyon ve korelasyon temelli yöntemlere dayanır. Bu testler ve istatik analizler ile ilgili daha fazla bilgiye uygulamalı istatistik kitaplarından (Baskan, 1993; Serper, 2014...vs) erişilebilir.

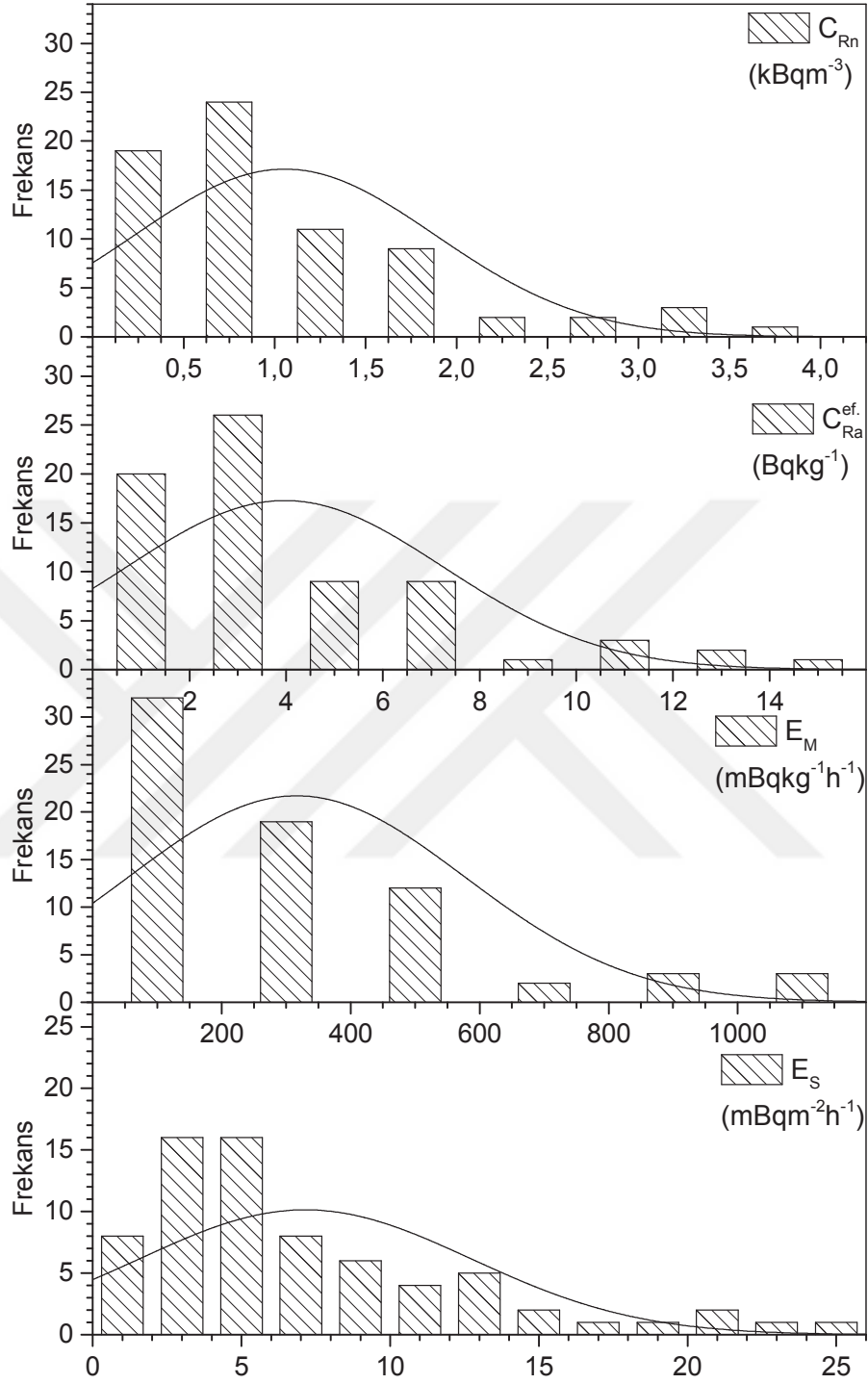
Yukarıda bahsedildiği üzere ölçüm sonuçlarının daha iyi yorumlanabilmesi için gerekli istatistiksel analizlerin yapılması zorunludur. Bu nedenle çalışmamızdaki ilçe topraklarındaki etkin radyum içeriği, kütle ve yüzey radon eksalasyon oranlarının istatistiksel analizleri ile ilgili veriler Tablo 3.3.'te sunulmaktır.

Tablo 3.3. Çalışılan toprak örneklerindeki efektif ^{226}Ra içeriği, kütle ve yüzey radon eksalasyon oranlarının istatistiksel analizi

İstatistikler	C_{Rn} (kBqm^{-3})	$C_{Ra}^{ef.}$ (Bqkg^{-1})	E_M ($\text{mBqkg}^{-1}\text{h}^{-1}$)	E_S ($\text{Bqm}^{-3}\text{h}^{-1}$)
N (örnek sayısı)	71	71	71	71
Minimum	0,10	0,34	27,32	0,65
Maksimum	3,59	14,23	1132,71	24,25
Ortalama	1,06	3,975	316,22	7,15
Varyans	0,68	10,75	68062,62	31,23
Medyan	0,78	2,75	218,81	5,29
Geometrik Ort.	0,78	2,89	229,901	5,31
Standart Sapma	0,83	3,28	260,89	5,59
Skewness	1,38	1,51	1,51	1,38
Kurtosis	1,47	1,89	1,89	1,46
Shapiro-Wilk T. p-değeri	1,1E-6	2,2E-7	2,2E-7	1,1E-6
Kolmogorov-Smirnov T. p-değeri	0,05	0,04	0,04	0,06
Chen-Shapiro T. p-değeri	0,02	0,02	0,02	0,02

Tablo 3.3.'te görüldüğü gibi verimize yapılan testlerden birkaçına (Kolmogorov-Smirnov, Shapiro-Wilk ve Chen-Shapiro Tesleri) ait kritik değerler (p-değeri) verilmiştir. Belirtilen istatistiksel değer % 5 kritik değerden küçük veya ona eşitse, p-değeri 0,05'ten büyük veya ona eşit olmalıdır. Dolayısıyla, alfa=0,05 için boş hipotezi reddetmeyiz. K-S testine göre C_{Rn} ve E_S verilerinin p-değeri kritik değer civarındadır ve bu veriler normal dağılıma sahiptir denilebilir. Diğer C_{Ra} ve E_M verileri kritik değerden uzaklaştığı için normallik testleri reddedilebilir seviyededir.

Çalışmamızda elde edilen tüm verilerin frekans dağılımları ve normal dağılım grafikleri Şekil 3.6.'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Çalışılan ilçelerdeki tüm topraklarda radon aktivitesi (C_{Rn}), efektif radyum içeriği (C_{Ra}), kütle eksalasyon oranları (E_M), yüzey eksalasyon oranları (E_S) değerlerinin frekans dağılımları

Bu tez çalışmasındaki örnekleme bölgelerinden toplanan toprak numunelerinin belirlenen efektif ^{226}Ra içerikleri, yüzey ve kütle ^{222}Rn eksalasyon oranları değerlerinin dünya genelinde yapılan benzer diğer çalışmalarla mukayesesi Tablo 3.4'te sunulmuştur.

Tablo 3.4. Bursa'nın Orhangazi, Keleş ve Osmangazi ilçelerinden toplanan toprak örneklerindeki etkin radyum içeriği, kütle ve yüzey radon yayılım hızı değerlerinin başka ülkelerde elde edilen veriler ile karşılaştırması

$C_{\text{Ra}}^{\text{eff.}}$ (Bqkg ⁻¹)	E_M (mBqkg ⁻¹ h ⁻¹)	E_S (Bqm ⁻² h ⁻¹)	Çalışma (Ref.), Yer
-	0,31-2,31	0.008-0.058	Singh et al. (2019), Hindistan
7,01-55,26	14-112	0,361-2,890	Kumari et al. (2018), Hindistan
45,6-226,1	10,0-50,0	0,27-1,33	Zubair ve Shafiqullah (2018), Hindistan
1,5-44,1	0,26-7,84	0,007-0,207	Thabayneh (2018), Filistin
0,026-0,394	23,45-359,49	0,064-0,973	Kaliprasad et al. (2017), Hindistan
18-33	135-251	4,58-8,40	Farid (2016), Suidi Arabistan
-	90-210	0,44-0,99	Tawfiq ve Jaleel (2015), Irak
1,39-5,31	1,62-6,55	0,053-0,217	Kumar ve Narang (2014), Hindistan
1,5-25,3	1,16-19,13	0,031-0,507	Saad et al. (2013), Libya
10,54-49,67	-	0,502-2,063	Kakati et al. (2013), Hindistan
3,14-39,60	8,31-233,70	0,48-15,37	El-Zaher (2013), Mısır
5,39-34,56	17,08-110	0,059-0,379	Verma et al. (2012), Hindistan
-	-	3,6-493,2	Shiroma et al. (2012), Japonya
-	-	0,171-0,344	Rafique et al. (2011), Pakistan
13,8-298,9	390-8210	-	Prasad et al. (2008), Hindistan
28-51,9	-	1,56-4,66	Rehman et al. (2006), Pakistan
5,70 – 25,45	7,17-31,98	0,246-1,100	Singh et al. (2005), Hindistan
0,02-0,80	-	0,013-0,401	Baykara et al. (2005), Türkiye
3,77 – 26,69	35,76 – 253,15	0,73 – 5,18	Tabar et al. (2018), Sakarya-Turkey
0,34 – 14,23	27,32 -1132,71	0,65 – 24,25	Bu çalışma (2019), Bursa-Turkey

Tablo 3.4.'ten görüldüğü gibi, çalışmalarda toprak örnekleri için belirlenen etkin radyum içeriği, yüzey ve kütle radon yayılım hızı değerleri arasında büyük farklılıklar vardır. Bu çalışmalardaki farklılıkların nedeni olarak toprak örneklerindeki radyum konsantrasyonlarının, örnekleme bölgelerinin jeolojilerinin ve toprak yapılarının farklılıklar göstermesinden kaynaklanabileceği açıktır (Prasad et al, 2008). Bu tabloda farklı ülkelerde toprak örnekleri için yapılan çalışmaların sonuçları ile mevcut çalışmamızda elde edilen yüzey ve kütle radon yayılım hızı değerleri karşılaştırıldığında, en yüksek ölçülen değerler Japonya'daki (Shiroma et al., 2012) ve Hindistan'daki (Prasad et al., 2008) çalışmalar haricinde diğer tüm çalışmalardaki verilerden daha yüksek olup ortalama olarak ta birbirlerine yakın seviyede olduğu görülmüştür. Türkiye'de Kuzey ve Doğu Anadolu Fay Hatları ile Sakarya'da yapılan çalışmalardaki sonuçlarla da karşılaştırılabilir uyumluluk sözkonusudur. Deneysel olarak belirlenen iz yoğunlukları ve kutu (can) tekniği kullanılarak hesaplanan etkin radyum içeriği değerleri ise Hindistan (Kaliprasad et al. 2017; Kumar ve Narang., 2014) ve Türkiye'deki (Baykara et al., 2005) çalışmalar haricinde tüm diğer çalışmalardan oldukça düşüktür. Bununla birlikte, çalışmamızda ortaya konulan etkin radyum içeriği değerleri Libya (Saad et al., 2013), Suudi Arabistan (Farid, 2016), Hindistan (Singh et al., 2005 ve Verma et al., 2012), Mısır'da (El-Zaher, 2013) ve Sakarya'da (Tabar et al., 2018) yapılan çalışmalardaki rapor edilen değerler ile karşılaştırılabilir uyumluluk seviyesindedir.

Gül tarafından 2006'da tamamlanan tez çalışmasında Batı Anadolu'daki termik santraller çevresindeki örnekleme istasyonlarından topladıkları yüzey toprak örneklerinde (64 numunede) gama spektroskopisi sistemi kullanarak radyoaktivite analizleri yapmış ve örneklerdeki ^{226}Ra aktivitesinin $24 \pm 2 \text{ Bqkg}^{-1}$ ortalamayla $2-88 \text{ Bqkg}^{-1}$ aralığında değiştiğini gözlemlemiştir (Gül, 2006). Ayrıca Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) tarafından 2013'te basılan "Türkiye Çevresel Radyoaktivite Atlası" raporunda Bursa ilinde (23 örnekleme üzerinde) yüzey toprak örneklerinde ölçülen radyum aktivitesi ortalaması $23,83 \text{ Bqkg}^{-1}$ olarak verilmiştir (TAEK, 2013).

TAEK'in bu raporunun ekinde Bursa'nın ilçelerindeki radyoaktivite değişimleri de haritalanmış olup, Orhaneli ve Keleş ilçelerindeki topraklarda ölçülen ^{226}Ra aktivitelerinin $50.1-75 \text{ Bqkg}^{-1}$ aralığında değiştii gösterilmiştir. Öte yandan, bu çalışmada gözlemlenen ortalama radyum konsantrasyonu ($3,97\pm 1,0$) değeri dünya ortalaması olan 32 Bqkg^{-1} değerinin oldukça altındadır ve bu nedenle yerel halk için herhangi bir sağlık tehlikesi doğurmayacağı söylenebilir (UNSCEAR, 2000).

Kapalı alan radon seviyeleri ve topraktan radon yayılım hızı arasında güçlü bir ilişki olduğu bilinmektedir. Bursa'nın merkezinde sınırlı sayıdaki konutta yapılan ölçümler yapılmış olup, TAEK'in "Konutlarda Radon Ölçümleri" raporunda ilgili ölçüm sonuçları verilmiştir (TAEK, 2014). TAEK'in bu raporunda Bursa ili merkezinde 72 konutta yapılan radon ölçümlerine göre ölçümlerin, sırasıyla 23 Bqm^{-3} ve 258 Bqm^{-3} minimum ve maksimum değerleri arasında olduğu aritmetik ortalamasının da 110 Bqm^{-3} olduğu rapor edilmiştir.

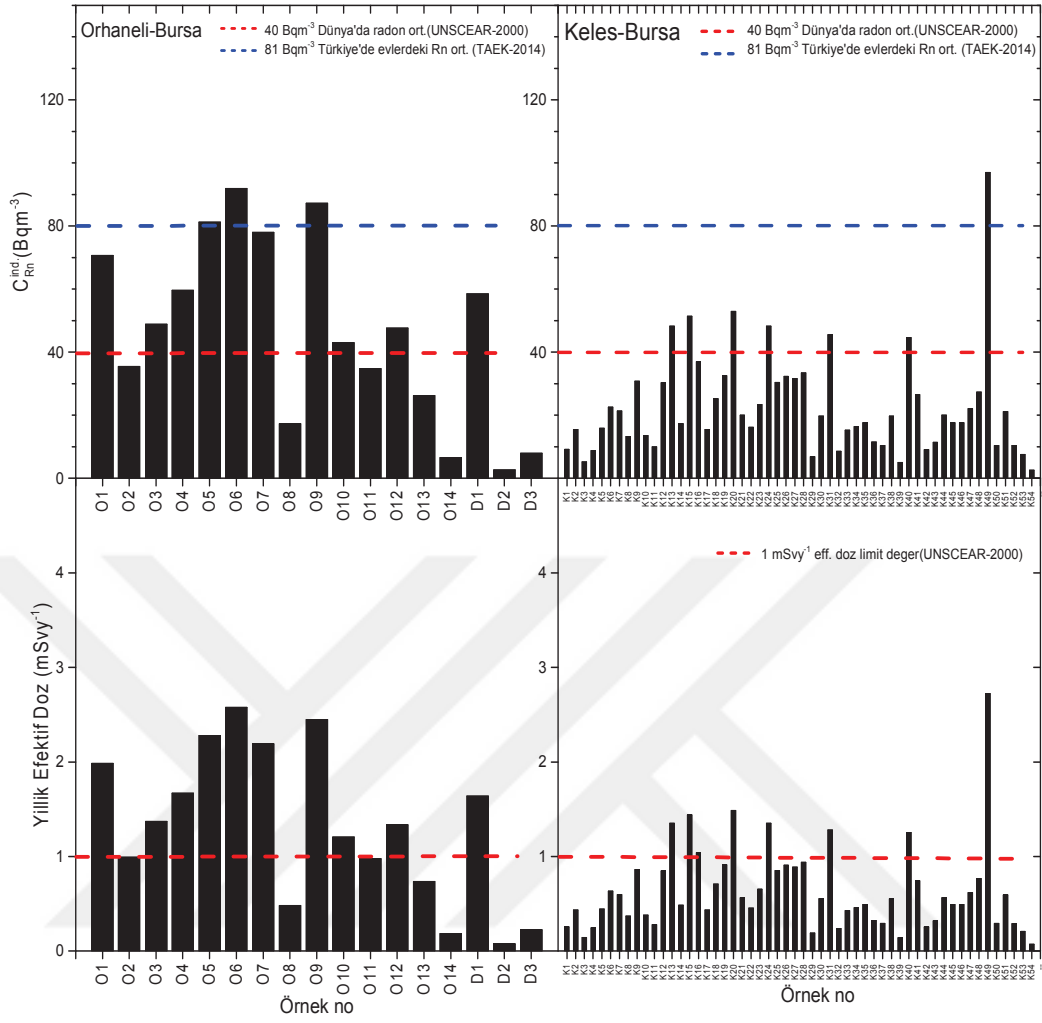
Bununla birlikte, kapalı alandaki yıllık etkin dozların tahmini için, ölçülen yüzey radon yayılım hızları kullanılarak, topraktan kapalı alana radon katkısı da hesaplanabilir (Saad et al., 2013). Bu tez çalışmasındaki radon eksalasyon oranlarından hareketle bulunan bina içi radon aktivitesine ilave gelecek katkılar Orhaneli ve DOSAB bölgesi için $2,67-97,88 \text{ Bqm}^{-3}$ (ortalaması $46,90 \text{ Bqm}^{-3}$) aralığında, Keleş bölgesi örnekleri için ise $2,61-97,01 \text{ Bqm}^{-3}$ aralığında ($22,82 \text{ Bqm}^{-3}$ ortalamasıyla) değişmektedir. Bu ilave radon gazı aktiviteleriyle hesaplanan yıllık efektif doz değerleri ise Orhaneli ve DOSAB bölgesi için $0,08-2,58 \text{ mSvy}^{-1}$ (ortalaması $1,32 \text{ mSvy}^{-1}$) aralığında, Keleş bölgesi örnekleri için ise $0,07-2,72 \text{ mSvy}^{-1}$ aralığında ($0,64 \text{ mSvy}^{-1}$ ortalamasıyla) değişmektedir (bakınız Şekil 3.6.).

Şekil 3.4.'ten görüldüğü üzere bu çalışmada elde edilen radon konsantrasyonuna ilave gelen katkılar Dünya genelindeki radon ortalaması (40 Bqm^{-3}) değeriyle genelde karşılaştırılabilir düzeyde olup, Türkiyedeki konutlardaki radon ortalaması (81 Bqm^{-3}) değeriyle de karşılaştırıldığında beş örnekte (O5, O6, O7, O9 ve K49 nolu örnekler) yaklaşık olarak yakın düzeyde diğerlerinde ise daha düşüktür (UNSCEAR, 2000; TAEK, 2014).

Bunun yanında Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) binalarda belirlediği maksimum radon aktivitesi 100 Bqm^{-3} değerine çok yakın aktiviteler O6 ve K49 örneklerinde belirlenmiş olup, bunlar haricindeki tüm veriler bu limit değerden daha küçüktür.

Çalışma alanındaki, hesaplanan yıllık etkin doz değerlerinin 17 tanesi, UNSCEAR (Atomik radyasyonun etkileri üzerine birleşmiş milletler bilim komitesi) tarafından radon ve bozunum ürünleri için tavsiye edilen Dünyadaki ortalama yıllık etkin doz değerinden (limit değer: 1 mSvy^{-1}) daha büyük olup diğer tüm veriler bu limit değerinin altındadır (UNSCEAR, 2000a). Diğer taraftan UNSCEAR tarafından doğal kaynaklardan ileri gelen dünya çapındaki yıllık efektif doz için belirlenen 2.4 mSvy^{-1} değeriyle neredeyse aynı düzeyde olan beş örneğimiz mevcuttur (UNSCEAR, 2000b) ve konutlar için elde edilen tüm veriler ICRP tarafından önerilen $3-10 \text{ mSvy}^{-1}$ aksiyon aralığının altında çıkmıştır (ICRP, 1993).

Şekilde görüldüğü üzere bu çalışmada elde edilen radon konsantrasyonlarının tamamı Dünya Sağlık Örgütü'nün limit değeri olan 100 Bqm^{-3} 'ün ve TAEK Radyasyon Güvenliği Yönetmeliğinde radon için izin verilen yıllık ortalama konsantrasyon değeri olan 400 Bqm^{-3} değerinin altında kalmıştır (Şekil 3.6.). Hesaplanan yıllık etkin dozların (71 örnekten) %24'ü (17 tanesi) Dünya nüfusunun radon ve bozunum ürünlerinden aldığı yıllık ortalama doz değerinden (1 mSvy^{-1}) büyük olup, örneklerin %7'si (5 tanesi) ise 2.4 mSvy^{-1} değerine çok yakın çıkmıştır.



Şekil 3.7. Çalışma bölgesindeki kapalı alandaki radon seviyesine ilave gelebilecek ²²²Rn katkıları ve buna karşılık hesaplanan yıllık eşdeğer doz değerleri.

3.4. Tartışma ve Öneriler

Tez çalışmasında Orhaneli, Osmangazi ve Keleş ilçelerinden toplanan çok sayıda toprak örneği için kapalı kutu tekniği kullanılarak etkin radyum içeriği, yüzey ve kütle yayılım hızları ve dağılımları belirlenmiştir. Yüzey ve radon yayılım hızları ölçümlerinden doğrudan topraktan kapalı alana radon konsantrasyonu katkısı hesaplanmıştır. Bu çalışmada mevcut verilerin değerlendirilmesinden, şu bilgiler edinilmiştir:

Etkin radyum içeriği, yüzey ve kütle radon yayılım hızları ve kapalı ortama katkı yapan toprak gazı radon aktivitesinin istatistiksel analizleri göstermiştir ki K-S testine göre sadece C_{Rn} ve E_S verilerinde p-değerleri kritik değerde olduğundan normal dağılıma sahip oldukları söylenebilir.

- a) Bu çalışmadaki etkin radyum içeriği, yüzey ve kütle radon yayılım hızlarının ölçülen değerleri, diğer ülkelerdeki çalışmaların bazılarının sonuçları ile kıyaslanabilir düzeydedir.
- b) Tüm incelenen toprak örneklerinden elde edilen etkin doz ICRP (1993) tarafından tavsiye edilen aksiyon aralığından ($3-10 \text{ mSvy}^{-1}$) daha düşük düzeyde bulunmuştur (ICRP, 1993). Diğer taraftan beş toprak örneğimizde hesaplanan yıllık efektif dozlar UNSCEAR tarafından doğal kaynaklardan ileri gelen dünya çapındaki yıllık efektif doz için belirlenen 2.4 mSvy^{-1} değeriyle neredeyse aynı düzeydedir.
- c) Bu çalışmada belirlenen kapalı ortamdaki toprak gazı radon konsantrasyonları (Orhaneli için $6,53-91,88 \text{ Bqm}^{-3}$, Osmangazi için $2,67-58,47 \text{ Bqm}^{-3}$, Keleş için $2,61-97,01 \text{ Bqm}^{-3}$) Dünya Sağlık Örgütü'nün limit değeri olan 100 Bqm^{-3} 'ün ve TAEK Radyasyon Güvenliği Yönetmeliğinde radon için izin verilen konsantrasyon değeri olan 400 Bqm^{-3} değerinin altında kalmıştır. Buna rağmen Şekil 3.7.'den görüldüğü üzere evlerdeki Dünya'daki ve Türkiye'deki ortalama radon aktivitelerinin değerlerinden büyük aktivitede sonuçlarımız da vardır.

- d) Çalışmanın yapıldığı bölgede radyolojik risklerin tam anlamıyla ortaya konulabilmesi için detaylı radyoaktivite analizlerinin (gama spektroskopik analizler) yapılması gerektiği açıktır. Ancak bu taktirde bölgedeki mevcut termik santralin topraklardaki radyoaktiflik düzeyini etkileyip etkilemediğiyle ilgili yorumlar yapılabilir.
- e) Gelecekte bu bölgede yapılacak radyolojik çalışmalar ve benzer çalışmanın tekrardan yapılması elde edilen verilerin ne derece değişeceğini ve bu değişimin hangi etkenlere bağlı olabileceğini gösterebilir.



KAYNAKLAR

- Abadi A.A.M., Rahimi M., Koopaei L.J., The effect of geological structure on radon concentration dissolved in groundwater in nearby Anar fault based on a statistical analysis. *J. Radio. Nucl. Chem.*, 308(3): 801–807, 2016.
- Abdelzaher M., An Overview on Studying ^{222}Rn Exhalation Rates using Passive Technique Solid-State Nuclear Track Detectors, *American Journal of Applied Sciences* 9 (10): 1653-1659, 2012
- Abo-Elmagd M., Radon exhalation rates corrected for leakage and back diffusion evaluation of radon chambers and radon sources with application to ceramic tile. *J. Radiat. Res. Appl. Sci.*, 7: 390–398, 2014.
- Abu-Jarad F., Fremlin J.H., Bull R., A study of radon emitted from construction materials using plastic α -track detectors. *Phys. Med. Biol.*, 25: 483-694, 1980.
- Adem K., Sakarya ili toprak örneklerinde doğal radyasyon düzeyinin belirlenmesi ve radon yayılım hızlarının ölçülmesi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2017.
- Agar O., Boztosun I., Korkmaz M.E., Ozmen S.F., Measurement of radioactivity levels and assessment of radioactivity hazards of soil samples in Karaman, Turkey. *Radiat. Prot. Dosim.*, 162(4): 630-637, 2014.
- A.K Mahur., Rajesh K., Measurement of natural radioactivity and radon exhalation rate from rock samples of Jaduguda uranium mines and its radiological implications, 2008
- Akkurt A., Afyon jeotermal sularında radon (Rn-222) aktivitesi tayini. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2006.
- Aközcan S., Manisa ili yerleşim alanı topraklarında ICP-AES ve gama spektrometresi ile element analizleri. Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2002.
- Aközcan S., Yılmaz M., Külahcı F., Dose rates and seasonal variations of ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{40}K and ^{137}Cs radionuclides in soils along Thrace, Turkey. *J. Radio. Nucl. Chem.*, 299: 95-101, 2014.
- Aras G., Kastamonu merkezindeki okul binalarında havadaki radon aktivitesinin ölçülmesi. Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2011.

- Barış C., İzmir-Çeşme yeraltı-termal suları ve çevresindeki topraklarda radyoaktivite araştırmaları. Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2006.
- Baskan, Ş., Uygulamalı İstatistik I-II, Ege Üniversitesi Fen Fakültesi yayınları, 1993.
- Balakrishnan, A., Nevzorov, V.B., A primer on statistical distributions. John Wiley and Sons Inc. Publication, New Jersey, Canada, 2003.
- Baldık R., Aytekin H., Erer M., Radioactivity measurements and radiation dose assessment due to natural radiation in Karabük (Turkey). J. Radio. Nucl. Chem., 289: 297-302, 2011.
- Baruah D.M.B., Deka P.C., Rahman M., Measurement of radium concentration and radon exhalation rate in soil samples using SSNTDs. The African Rev. Phys., 8: 0032, 2013.
- Baykara O., Doğru M., İnceöz M., Aksoy E., Measurements of radon emanation from soil samples in triple-junction of North and East Anatolian active Faults systems in Turkey., Radiat. Meas., 39: 209-212, 2005.
- Baykara O., Doğru M., Measurements of radon and uranium concentration in water and soil samples from East Anatolian Active Faults systems (Turkey). Radiat. Meas., 41: 362-367, 2006.
- Baykara O., İnceöz M., Külahcı F., Doğru M., Aksoy E., Assessment of ^{222}Rn concentration and terrestrial gamma-radiation dose rates in the seismically active area. J. Radio. Nucl. Chem., 278(1): 59-63, 2008.
- Baykara O., Doğru M., Determination of terrestrial gamma, ^{238}U , ^{232}Th and ^{40}K in soil along fracture zones. Radiat. Meas., 44: 116-121, 2009.
- Beretka J., Matthew P.J., Natural radioactivity of Australian building materials, industrial wastes and by-products. Health. Phys., 48(1): 87-95, 1985.
- Boukhenfouf W., Boucenna A., The radioactivity measurements in soils and fertilizers using gamma spectrometry technique. J. Environ. Radioact., 102: 336-339, 2011.
- Bozkurt A., Yorulmaz N., Kam E., Karahan G., Osmanlioğlu A.E., Assessment of environmental radioactivity for Sanlıurfa region of southeastern Turkey. Radiat. Meas., 42: 1387-1391, 2007.
- Bursa valiliği, Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü. Bursa ili çevre durum raporu, 2019.
- Caner T., Küçük menderes havzası topraklarında radon difüzyon katsayılarının belirlenmesi . Fen Bilimleri Enstitüsü, Nükleer Bilimler Anabilim Dalı, Fizik Bölümü Yüksek Lisans Tezi, 2014.
- Camelo G.L.L., Miguez S.R., Marbán L., Heavy metals input with phosphate fertilizers used in Argentina. Sci. Total. Environ., 204(3): 245-50, 1997.
- Cetiner M.A., Gündüz H., Ilgar A., high background radiation areas at Çanakkale in Turkey. Radiat. Phys. Chem., 80: 704-709, 2011.

- Chauhan R.P., radon exhalation rates from stone and soil samples of Aravali hills in India. *Iran. J. Radiat. Res.*, 9(1): 57-61, 2011.
- Chauhan R.P., Chauhan P., Pundir A., Kamboj S., Bansal V., Sainin R.S., Estimation of dose contribution from ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K and radon exhalation rates in soil samples from Shivalik Foot Hills in India., *Radiat. Prot. Dosim.*, 158(1): 79-86, 2014.
- Chen, C.J., Weng P.S. and Chu T.C., Radon exhalation rate from various building materials, *Health Phys.*, 64: 613-619. PMID: 8491617, 1993
- Değerlier M., Adana ili ve çevresinin çevresel doğal radyoaktivitesinin saptanması ve doğal radyasyonların yıllık etkin doz eşdeğerinin bulunması. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Bölümü, Doktora Tezi, 2007.
- Degerlier M., Karahan G., Ozger G., Radioactivity concentrations and dose assessment for soil samples around Adana, Turkey. *J. Environ. Radioact.*, 99: 1018-1025, 2008.
- Dhawal S.J., Phadataré M.R., Thorat N.D., Kulkarni G.S., Pawar S.H., National radioactivity study in soil samples of south Konkan, Maharashtra, India. *Radiat. Prot. Dosim.*, 1-9, 2013.
- Durrani, S.A., Ilic, R. Radon measurements by etched track detectors: applications in radiation, earth sciences and environment, editors Saeed A. Durrani and Radomir Ilic, World Scientific, Singapore, p. 163, 1997a
- Ekin K., İzmir-Urla ve çevresindeki sismik aktivitenin sürekli radon ölçümlerine olan etkisinin incelenmesi. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2013.
- El-Farrash A.H., Yousef H.A., Hafez A.F., Activity concentrations of ^{238}U and ^{232}Th in some soil and fertilizer samples using passive and active techniques. *Radiat. Meas.*, 47: 644-648, 2012.
- El-Zaher M.A., A comparative study of the indoor radon level with the radon exhalation rate from soil in Alexandria City. *Radiat. Prot. Dosim.*, 154(4): 490-496, 2013.
- Fadıl İ., Alaşehir çevresinde KB-GD ve D-B uzanımlı graben faylarında depremlerle ilişkili radon anomalilerinin tanımlanması. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2010.
- Farid S.M., Indoor radon in dwellings of Jeddah city, Saudi Arabia and its correlations with the radium and radon exhalation rates from soil, *Indoor and Built Environment*, 2016, Vol. 25(1) 269–278.
- Fonollosa E., Penalver A., Borrull F., Aguilar C., Radon in spring waters in the south of Catalonia. *J. Environ. Radioac.*, 151: 275–281, 2016.
- Girault, F., Perrier, F., Measuring effective radium concentration with large numbers of samples. Part I-experimental method and uncertainties. *J. Environ. Radioac.*, 113: 177-188, 2012a.

- Girault, F., Perrier, F., Measuring effective radium concentration with large numbers of samples. Part II-general properties and representativity. *J. Environ. Radioac.*, 113(C): 189-202, 2012b.
- Groeneveld R.A., Meeden, G., Measuring skewness and kurtosis. *The Statistician.*, 33(4): 391-399, 1984.
- Guidotti L., Carini F., Rossi R., Gatti M., Cenci R.M., Beone G.M., Gamma-spectrometric measurement of radioactivity in agricultural soils of the Lombardia region, northern Italy. *J. Environ. Radioac.* 142: 36-44, 2015.
- Güler Ç. ve Çobanoğlu Z., Çevre Sağlığı temel kaynak dizisi, No:44, Radon Kirliliği, ISBN 975-8088-53-X, Aydoğdu Ofset, Ankara, 1997.
- Gür, F., Doktora Tezi, Batı Anadolu Termik Santraller Çevresinde Radyoaktif ve Ağır Metal Kirliliğinin Biyomonitörlerle Saptanması, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Nükleer Bilimler Anabilimdalı, 2006.
- Gusain G.S., Prasad G., Prasad Y., Ramola R.C., Comparison of indoor radon level with radon exhalation rate from soil in Garhwal Himalaya. *Radiat. Meas.*, 44: 1032-1035, 2009.
- Hassan N.M., Radon emanation coefficient and its exhalation rate of wasted petroleum samples associated with petroleum industry in Egypt. *J. Radio. Nucl. Chem.*, 299: 111–117, 2014.
- Ichedef M., Sac M.M., Camgoz B., Bolca M., Demirel N., Oruc O.E., Natural radioactivity levels of great soil groups in Seferihisar geothermal region, Turkey. *Environ. Earth. Sci.*, 74(7): 6283-6292, 2015.
- ICRP, "Protection Against Radon-222 at Home and at Work," *ICRP Publication, Annals of the ICRP Publication*, 65, 23(2), Pergamon Press, Oxford, 1-262, 1993.
- ICRP (International Commission on Radiological Protection). Protection against Radon-222 at home and at work, report no: 65, ICRP Publication, New York, NY, 1993.
- ICRP (International Commission on Radiological Protection). Lung cancer risk from exposures to radon daughters, report no: 50, ICRP Publication, New York, NY, 1987.
- International Atomic Energy Agency; Radiation Safety, IAEA Division of Public Information, 96-00725 IAEA/PI/A47E, 1996.
- Işık Ş., Sakarya'nın tarım coğrafyası. Sakarya Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2007.
- Jang M., Kang C., Hyun S., Moon J., Estimation of ^{222}Rn release from the phosphogypsum board used in housing panels. *Environ. Radioact.*, 80: 153–160, 2005.
- Jankovic M., Todorovic D., Savanovic M., Radioactivity measurements in soil samples collected in the republic of Srpska. *Radiat. Meas.*, 43: 1448-1452, 2008.

- Kakati R.K., Kakati L., Ramachandran T.V., Measurement of uranium, radium and radon exhalation rate of soil samples from Karbi Anglong district of Assam, India using EDXRF and can technique method. *APCBEE Procedia.*, 5: 186–191, 2013.
- Kaliprasad CS, Vinutha PR and Narayana Y., Natural Radionuclides and Radon Exhalation Rate in the Soils of Cauvery River Basin, *Air, Soil and Water Research*, Volume 10: 1–7 (2017).
- Kam E., Bozkurt A., Environmental radioactivity measurements in Kastamonu region of northern Turkey., *Appl. Radiat. Isot.*, 65: 440-444, 2007.
- Kant K., Upadhyay S.B., Sonkawade R.G., Chakarvarti S.K., Radiological risk assessment of use of phosphate fertilizers in soil. *Iran. J. Radiat. Res.*, 4(2): 63-70, 2006.
- Karadeniz Ö., Yaprak G., Activity concentrations of natural radionuclides ^{137}Cs in soils of coniferous forest sites in West Anatolia. *Eur. J. Forest. Res.*, 130: 271-276, 2011.
- Kapdan E., Adapazarı merkezi kış dönemi radon ölçüm ve analizleri. İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Enerji Bilim ve Teknoloji Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2009.
- Kapdan E., Altınsoy A., Karahan G., Taskin H., Determination of the health hazards due to background radiation sources in the city of Adapazarı, Northwestern Turkey. *Isot. Environ. Health Stud.* 47: 93–100, 2011.
- Kaynar S.Ç., Akhisar-Gölmarmara-Gördes-Sındırgı bölgesi doğal radyoaktivitesinin jeolojik yapı ile ilişkisinin incelenmesi. Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Bölümü, Doktora Tezi, 2011.
- Khan, A.J., Prasad, R., Tyagi, R.K., Measurement of radon exhalation rate from some building materials. *Nucl. Tracks. Radiat. Meas.*, 20: 609–610, 1992.
- Khan M.S., Naqvi A.H., Azam A., Srivastava D.S., Radium and radon exhalation studies of soil. *Iran. J. Radiat. Res.*, 8(4): 207-210, 2011
- Khan M.S., Srivastava D.S., Azam A., Study of radium content and radon exhalation rates in soil samples of northern India. *Environ. Earth. Sci.*, DoI. 10.1007/s. 12665-012-1581-7, 2012.
- Kılıçaslan S., Tokat-Sivas bölgeleri için toprak ve traverten örneklerinde radyoaktivite tayini. Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri enstitüsü, Fizik Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2016.
- Krieger R., Radioactivity of construction materials. *Betonw. Fertig. Tech.*, 47: 468-473, 1981.
- Kovler K., Radon exhalation of hardening concrete: monitoring cement hydration and prediction of radon concentration in construction site. *J. Environ. Radioac.*, 86: 354–366, 2006.
- Kumar A., Narang S., Estimation of radon exhalation rate and radium content in soil samples of Pathankot district, Punjab using LR-115 plastic detector. *Inter. J. Educ. Appl. Res.*, 4: 23-25, 2014.

- Kumar G., Kumar A., Walia V., Kumar J., Gupta V., Yang T.F., Singh S., Bajwa B.S., Soil gas thoron-radon monitoring in Dharamsala area of north-west Himalayas, India using solid state nuclear track detectors. *J. Earth. Syst. Sci.*, 122(5): 1295-1301, 2013.
- Kumar R., Mahur A.K., Rao N.S., Sengupta D., Prasad R., Radon exhalation rate from sand samples from the newly discovered high background radiation area at Erasama beach placer deposit of Orissa, India. *Radiat. Meas.*, 43: S508-S511, 2008.
- Kumari P. et al., Radon exhalation rates in the soil samples of Dharamshala region of Himachal Pradesh NW Himalaya, India and their comparison with developing a theoretical model, *AIP Conference Proceedings 2050*, 020016 (2018); <https://doi.org/10.1063/1.5083603>
- Kurnaz A., Küçükömeroğlu B., Keser R., Okumusoglu N.T., Korkmaz F., Karahan G., Çevik U., Determination of radioactivity levels and hazards of soil and sediment samples in Firtına valley (Rize, Turkey). *Appl. Radiat. Isot.*, 65: 1281-1289, 2007.
- Kurnaz A., Background radiation measurements and cancer risk estimates for Şebinkarahisar, Turkey. *Radiat. Prot. Dosim.*, 1-10, 2013.
- Kucukomeroglu B., Yesilbag Y.O., Kurnaz A., Celik N., Cevik U., Celebi N., Radiological characterisation of Artvin and Ardahan provinces of Turkey. *Radiat. Prot. Dosim.*, 145(4): 389-394, 2011.
- Lawrence, C.E., Akber, R.A., Bollhofer, A., Martin, P., Radon-222 exhalation from open ground on and around a uranium mine in the wet-dry tropics. *J. Environ. Radioact.*, 100: 1-8, 2009.
- Mahur A.J., Gupta M., Varshney R., Sonkawade R.G., Verma K.D., Verma R., radon exhalation and gama radioactivity level in soil and radiation hazard assessment in the surrounding area of Nationa Thermal Power Corporation, Dadri (U.P.), India. *Radiat. Meas.*, 50: 130-135, 2013.
- Matiullah, M.F., Radon exhalation and its dependence on moisture content from samples of soil and building materials. *Radiat. Meas.*, 43: 1458-1462, 2008.
- Majid A., Adam A., Ahmed M., Eltayeb H., Multivariate statistical analysis of radioactive variables in two phosphate ores from Sudan. *J. Environ. Radioact.*, 107: 23-43, 2012.
- Mehta V., Singh S.P., Chauhan R.P., Mudahar G.S., Study of indoor radon, thoron, their progeny concentration and radon exhalation rate in the environs of Mohali, Punjab, Northern India. *Aerosol Air Qual. Res.*, 15: 1380-1389, 2015.
- Menon S.R., Sahoo B.K., Balasundar S., Gaware J.J., Jose M.T., Venkatraman B., Mayya Y.S., A comparative study between the dynamic method and passive can technique of radon exhalation measurements from samples. *Appl. Radiat. Isot.*, 99: 172-178, 2015.
- Morawska, L., Two ways of determining the ^{222}Rn emanation coefficient, *Health Phys.*, 57: 481-483. PMID: 2777555, 1989.

- Mutuk H., Bafra kıvırmak deltası toprak örneklerinde doğal gama radyoaktivite ölçümleri. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2012.
- Mutuk H., Gümüş H., Turhan Ş., Measurement of the terrestrial and anthropogenic radionuclide concentrations in Bafra Kıvırmak delta (bird sanctuary) in Turkey. *Radiat. Prot. Dosim.*, 158(3): 350-354, 2014.
- Mujahid S.A., Hussain S., Ramzan M., Measurement of radon exhalation rate and soil gas radon concentration in areas of Southern Punjab, Pakistan. *Radiat. Prot. Dosim.*, 140(3): 300-303, 2010.
- Nazaroff W.W., Nero A.V., Radon and its decay products in indoor air. Wiley-Interscience Publication, New York, NY, 1988.
- Otansev P., Karahan G., Kam E., Barut I., Taskin H., Assessment of natural radioactivity concentrations and gamma dose rate levels in Kayseri, Turkey. *Radiat. Prot. Dosim.*, 148(2): 227-236, 2012.
- Özbeş E., İstanbul'da kullanılan bina materyali örneklerinde radon solunma hızının araştırılması. Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2013.
- Özger A.G., Ceyhan, Yumurtalık ve Pozantı bölgelerinin doğal radyoaktivite düzeylerinin belirlenmesi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2005.
- Özsoylu F.B., İzmir-Seferihisar termal suları ve çevresindeki topraklarda radyoaktivite araştırmaları. Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2006.
- Prasad Y., Prasad G., Gusain G.S., Choubey V.M., Ramola R.C., Radon exhalation rate from soil samples of South Kumaun Lesser Himalayas, India *Radiat. Meas.*, 43: S369-S374, 2008.
- Rahman S.U., Matiullah, Malik F., Rafique M., Anwar J., Ziafat M., Jabbar A., Measurement of naturally occurring/fallout radioactive elements and assessment of annual effective dose in soil samples collected from four districts of the Punjab province, Pakistan. *J. Radio. Nucl. Chem.*, 287: 647-655, 2011.
- Rafique M., Rahman S., Mahmood T., Rahman S., Matiullah, Rehman S., Radon exhalation rate from soil, sand, bricks and sedimentary samples collected from Azad Kashmir, Pakistan. *Russian Geol. Geophys.*, 52: 450-457, 2011.
- Rafique M., S. Ur Rahman, T. Mahmood, S. Rahman, Matiullah, S. Ur Rehman, Radon exhalation rate from soil, sand, bricks, and sedimentary samples collected from Azad Kashmir, Pakistan, *Russian Geology and Geophysics* 52 (2011) 450–457
- Ramli, A.T., Environmental terrestrial gamma radiation dose and its relationship with soil type and underlying geological formations in Pontian district, Malaysia. *Appl. Radiat. Isot.*, 48: 407–412, 1997.

- Ravisankar R., Chandrasekaran A., Vijayagopal P., Venkatraman B., Senthilkumar G., Eswaran P., Rajalakshmi A., Natural radioactivity in soil samples of Yelagiri Hills, Tamil Nadu, India and the associated radiation hazards. *Radiat. Phys. and Chem.*, 81: 1789-1795, 2012.
- Rajeshwari T., Rajesh S., Kerur B.R., Anilkumar S., Krishnan N., Pant A.D., Natural radioactivity studies of Bidar soil samples using gamma spectrometry. *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 300: 61-65, 2014.
- Rehman S. Ur-, Matiullah, S.-ur-Rehman, S. Rahman, Studying ²²²Rn exhalation rate from soil and sand samples using CR-39 detector, *Radiation Measurements* 41 (2006) 708 – 713
- Saad A.F., Abdallah R.M., Hussein N.A., Radon exhalation from Libyan soil samples measured with the SSNTD technique. *Appl. Radiat. Isot.*, 72: 163-168, 2013.
- Sahoo B.K., Mayya Y.S., Two dimensional diffusion theory of trace gas emission into soil chambers for flux measurements. *Agric. Forest. Meteo.*, 150: 1211-1224, 2010.
- Sahin L., Cavas M., Natural radioactivity measurements in soil samples of central Kutahya (Turkey). *Radiat. Prot. Dosim.*, 131(4): 526-530, 2008.
- Saleh H., Shayeb M.A., Natural radioactivity distribution of southern part of Jordan (Ma'an) soil. *Ann. Nucl. Energy.*, 65: 184-189, 2014.
- Samuelsson C., the closed-can exhalation method for measuring radon. *J. Res. Natl. Inst. Stand. Tech.* 95: 167-169, 1990.
- Serper, Ö., *Ugulamalı İstatistik I-II*, Ezgi Kitapevi yayınları, 2014.
- Sharma D.K., Kumar A., Kumar M., Singh S., Study of uranium, radium and radon exhalation rate in soil samples from some areas of Kangra district, Himachal Pradesh, India using solid-state nuclear track detectors. *Radiat. Meas.*, 36: 363-366, 2003.
- Shiroma Y., S. Kina, T. Fujitani, M. Hosoda, A. Sorimachi, T. Ishikawa, S. K. Sahoo, S. Tokonami and M. Furukawa, CHARACTERISTICS OF RADON AND THORON EXHALATION RATES IN OKINAWA, SUBTROPICAL REGION OF JAPAN, *Radiation Protection Dosimetry* (2012), Vol. 152, No. 1–3, pp. 184–188
- Singh S., Kumar M., Mahajan R.M., The study of indoor in dwellings of Bathinda district, Punjab, India and its correlation with uranium and radon exhalation rate in soil. *Radiat. Meas.*, 39: 535-542, 2005.
- Singh S., Kumar M., Mahajan R.M., The study of indoor in dwellings of Bathinda district, Punjab, India and its correlation with uranium and radon exhalation rate in soil. *Radiat. Meas.*, 39: 535-542, 2005
- Singh L.M. et al., Measurement of radon exhalation rate using solid state nuclear track detector, *AIP Conference Proceedings* 2142, 120009 (2019); <https://doi.org/10.1063/1.5122505>

- Singh H., Singh J., Singh S., Bajwa B.S., Radon exhalation rate and uranium estimation study of some soil and rock samples from Tusham ring complex, India using SSNTD technique. *Radiat. Meas.*, 43: S459-S462, 2008.
- Singh J., Singh H., Singh S., Bajwa B.S., Uranium, radium and radon exhalation studies in some soil samples using plastic track detectors. *India J. Phys.*, 83(8): 1147-1153, 2009.
- Sundar B.S., Chitra N., Vijayalakshmi I., Danalakshmi B., Chandrasekaran S., Jose M.T., Venkatraman B., Soil radioactivity measurements and estimation of radon/thoron exhalation rate in soil samples from Kalpakkam residential complex. *Radiat. Prot. Dosim.*, 164(4): 569-574, 2015.
- Şahin S., Sivrice fay zonundaki radon değişimi ve doğal radyoaktivite. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Bölümü, Doktora Tezi, 2009.
- Tabar E., Dikili ve Bergama bölgelerindeki tektonik aktivitenin jeotermal sularda radon ölçümleri ile değerlendirilmesi. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2010.
- Tabar E., Kumru M.N., İç hedef M., Saç M.M., Radioactivity level and the measurements of soil gas radon concentration in Dikili geothermal area, Turkey. *Int. J. Radiat. Res.*, 11(4): 253-261, 2013.
- Tabar E., Yakut H. and Kuş A., Measurement of the radon exhalation rate and effective radium concentration in soil samples of southern Sakarya, Turkey, *INDOOR AND BUILT ENVIRONMENT*, 27, 2, 278–288, FEB 2018 (DOI: 10.1177/1420326X16672510)
- Taskin H., Karavus M., Ay P., Topuzoglu A., Hidiroglu S., Karahan G., Radionuclide concentrations in soil and lifetime cancer risk due to gama radioactivity in Kırklareli, Turkey. *J. Environ. Radioact.*, 100: 49-53, 2009.
- Tawfiq NF, Jaleel J. Radon concentration in soil and radon exhalation rate at Al-Dora refinery and surrounding area in Baghdad. *Detection*. 2015;3:37–44. Published Online in *Sci Res*. <http://www.scirp.org/journal/detection>
- Thabayneh K. M., Determination of radon exhalation rates in soil samples using sealed can technique and CR-39 detectors, *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, <https://doi.org/10.1007/s40201-018-0298-2> (2018).
- Turkish Atomic Energy Authority, Türkiye Çevresel Radyoaktivite Atlası, <http://www.taek.gov.tr/radyasyon-izleme/turkiye-cevresel-radyasyon-atlasi.html> Erişim Tarihi: 19.12.2016.
- Tunçkin, A.B., Demirci (Manisa) ilçesinin çevresel radyoaktivitesinin saptanması Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2014.
- Tufan M.Ç., Bostancı S., Radioactivity concentrations in soil and dose assessment for Samsun city centre, Turkey. *Radiat. Prot. Dosim.*, 151(3): 532-536, 2012.
- Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK), Teknik Rapor: Konutlarda Radon Ölçümleri, 2014.

- Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK), Türkiye Çevresel Radyoaktivite Atlası, 2013.
- Türkiye Atom Enerjisi Kurumu. Radyasyon, İnsan ve Çevre: TAEK, Nisan 2009.
- Ugur F.A., Turhan S., Goren E., Gezer F., Yegingil Z., Sahan H., Sahan M., Tel E., Karahan G., A survey of distribution of terrestrial radionuclides in surface soil samples in and around the Osmaniye province, Turkey. *Radiat. Prot. Dosim.*, 154(4): 483-489, 2013.
- UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation Sources and effects of ionizing radiation). Sources and effects of ionizing radiation. New York, NY: United Nations Publication, 1993.
- UNSCEARa (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation), "Effects and Risks of Ionizing Radiations," *United Nations*, New York, 2000.
- UNSCEARb (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation), "Ionizing Radiation: Exposure due to Natural Radiation Sources," *United Nations*, New York, 2000.
- UNSCEAR Sources and effects of ionizing radiation. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly. United Nations, New York, NY, USA, 2000.
- URL-1: <http://bgc.org.tr/ansiklopedi/bursa-dogal-yap%C4%B1-.html>
Erişim tarihi: 26.07.2019
- URL-2: http://www.mta.gov.tr/v2.0/bolgeler/bursa/bursa/bursa_jeoloji_haritasi.jpg
Erişim Tarihi: 01.05.2016.
- Wang, N., Xiao, L., Li, C., Mei, W., Hang, Y., Liu, D., Level of radon exhalation rate from soil in some sedimentary and granite areas in China. *J. Nucl. Sci. Tech.*, 46(3): 303–309, 2009.
- Verma D., M. S. Khan, M. Zubair, Assessment of effective radium content and radon exhalation rates in soil samples, *J Radioanal Nucl Chem* (2012) 294:267–270
- Yarar Y., Günaydı T., Kam E., A radon survey in some regions of Turkey. *Int. Congr. Ser.*, 1276: 385-386, 2005.
- Yakut H., Tabar E., Zenginerler Z., Demirci N., Ertugral F., Measurement of ²²²Rn concentration in drinking water in Sakarya, Turkey. *Radiat. Prot. Dosim.*, 157(3): 397-406, 2013.
- Zubair M. and Shafiqullah, Radon Exhalation Rate Study of Sand Samples Collected from Sea Coast of Tirur, Kerala, India Using Track Etch Technique, *MAPAN- Journal of Metrology Society of India* (2018) 33(4):441–448, <https://doi.org/10.1007/s12647-018-0268-2>.
- Yalcin P., Taskin H., Kam E., Taskin H., Terzi M., Varinlioglu A., Bozkurt A., Bastug A., Tasdelen B., Investigation of radioactivity level in soil and drinking water samples collected from the city of Erzincan, Turkey. *J. Radioa. Nucl. Chem.*, 292: 999-1006, 2012.

Zubair M., Khan M.S., Verma D., Measurement of radium concentration and radon exhalation rates of soil samples collected from some areas of Bulandshahr district, Uttar Pradesh, India using plastic track detectors. *Iran. J. Radiat. Res.*, 10(2): 83-87, 2012.

Zorlu K., Adapazarı ovası ve aşağı Sakarya platosunda tarımsal değişim. Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2010.



EKLER

EK A: Toprak örnekleme istasyonlarının koordinatları

İstasyon No	ID	Enlem	Boylam	Kütle (kg)	İstasyon No	ID	Enlem	Boylam	Kütle (kg)
1	O1	40,0298	28,8934	0,104	37	K 23	39,9362	29,2709	0,117
2	O 2	39,9601	28,8873	0,102	38	K 24	39,8588	29,1397	0,119
3	O 3	39,8795	28,9991	0,107	39	K 25	39,8819	29,1000	0,116
4	O 4	39,9084	28,9389	0,107	40	K 26	39,8819	29,2817	0,105
5	O 5	39,8876	28,8013	0,108	41	K 27	39,8964	29,2181	0,119
6	O 6	39,8512	28,7794	0,102	42	K 28	39,8715	29,2234	0,121
7	O 7	40,0625	28,9644	0,113	43	K 29	39,8544	29,2562	0,121
8	O 8	39,8256	28,8829	0,11	44	K 30	39,7201	29,1706	0,129
9	O 9	39,9600	28,8745	0,101	45	K 31	39,8674	29,1745	0,116
10	O 10	39,9459	28,9168	0,105	46	K 32	39,9327	29,1110	0,12
11	O 11	39,9373	28,8992	0,108	47	K 33	39,9337	29,1616	0,12
12	O 12	39,9599	28,8794	0,106	48	K 34	40,0064	29,1882	0,121
13	O 13	39,9500	28,8850	0,107	49	K 35	40,0059	29,1878	0,121
14	O 14	39,9257	28,8582	0,082	50	K 36	40,0067	29,1865	0,121
15	K 1	39,9020	29,0740	0,118	51	K 37	39,9101	29,2054	0,12
16	K 2	39,9423	29,0534	0,113	52	K 38	39,9507	29,2174	0,121
17	K 3	39,8987	29,0217	0,114	53	K 39	39,8903	29,2196	0,121
18	K 4	39,9377	29,1010	0,124	54	K 40	39,8742	29,1221	0,12
19	K 5	39,8418	29,1421	0,115	55	K 41	39,9616	29,1824	0,12
20	K 6	39,8749	29,2146	0,117	56	K 42	39,9705	29,1788	0,121
21	K 7	39,9232	29,1231	0,112	57	K 43	39,8876	29,2021	0,121
22	K 8	39,8608	29,2573	0,113	58	K 44	39,8746	29,2029	0,121
23	K 9	39,8701	29,2570	0,118	59	K 45	39,9324	29,2166	0,121
24	K 10	39,9078	29,2006	0,122	60	K 46	39,9855	29,1442	0,119
25	K 11	39,9126	29,2191	0,12	61	K 47	39,9861	29,1445	0,119
26	K 12	39,8729	29,2072	0,12	62	K 48	39,9311	29,1414	0,124
27	K 13	39,8708	29,1476	0,117	63	K 49	39,8800	29,2847	0,119
28	K 14	39,8369	29,1480	0,114	64	K 50	39,8762	29,2888	0,121
29	K 15	39,9382	29,0736	0,122	65	K 51	39,9254	29,1337	0,122
30	K 16	39,9283	29,0998	0,115	66	K 52	39,8545	29,2539	0,123
31	K 17	39,8987	29,0680	0,122	67	K 53	39,9128	29,2021	0,124
32	K 18	39,8473	29,1406	0,115	68	K 54	39,9282	29,1175	0,12
33	K 19	39,9368	29,2582	0,132	69	D 1	40,2971	28,9521	0,12
34	K 20	39,9274	29,1014	0,12	70	D 2	40,2783	28,9197	0,12
35	K 21	39,8354	29,1532	0,115	71	D 3	40,1804	28,9737	0,12
36	K 22	39,9327	29,1110	0,119					

ÖZGEÇMİŞ

Yunus Emre YAŞAR, 12.02.1988'de Siirt/Merkez'de doğdu. İlköğretim ve Ortaöğretimi Gündoğdu İlköğretim Okulunda tamamladı. Liseyi Güngören Teknik Lise ve Endüstri Meslek Lisesi'nde okudu. 2005-2008 yılları arasında Abant İzzet Baysal Üniversitesi-Düzce M.Y.O'da Elektronik Haberleşme Bölümü'nden mezun oldu. 2009-2010 öğrenim yılında Sakarya Üniversitesi Fizik Bölümü'nde başladığı lisans eğitiminden 2014 yılı Haziran ayında mezun olmuştur. 2015 yılında Sakarya Üniversitesi Fizik Bölümü'nde başladığı yüksek lisans eğitimine devam etmektedir.