

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

**BURSA'NIN NİLÜFER, YILDIRIM VE GÜRSU İLÇELERİNDEKİ
TOPRAKLARDA RADON YAYILIM HIZLARI VE EFEKTİF RADYUM
İÇERİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Seval KASAPOĞLU

Fizik Anabilim Dalı

OCAK 2025

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

**BURSA’NIN NİLÜFER, YILDIRIM VE GÜRSU İLÇELERİNDEKİ
TOPRAKLARDA RADON YAYILIM HIZLARI VE EFEKTİF RADYUM
İÇERİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Seval KASAPOĞLU

Fizik Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hakan YAKUT

OCAK 2025

Seval TUNÇAY tarafından hazırlanan “BURSA’NIN NİLÜFER, YILDIRIM VE GÜRSU İLÇELERİNDEKİ TOPRAKLARDA RADON YAYILIM HIZLARI VE EFEKTİF RADYUM İÇERİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI ” adlı tez çalışması 10.01.2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı’nda Yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı : **Prof. Dr. Hakan YAKUT (Danışman)**
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Prof. Dr. Betül USTA**
Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Doç. Dr. Emre TABAR**
Sakarya Üniversitesi



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “BURSA’NIN NİLÜFER, YILDIRIM VE GÜRSU İLÇELERİNDEKİ TOPRAKLARDA RADON YAYILIM HIZLARI VE EFEKTİF RADYUM İÇERİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(10/01/2025).

Seval KASAPOĞLU



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca her konuda değerli bilgi ve deneyimleriyle yanımda olan, tez konusunun belirlenmesinden, bölge seçimine tezin sonuçlanmasına kadar ki süreçte hatta pes edip bıraktığımda bile yine de benden yardımlarını esirgemeyen değerli danışman öğretmenim Prof. Dr. Hakan YAKUT'a teşekkür ediyorum.

Tez çalışması ve tezimin tamamlanması sürecinde bana her konuda destek veren ve hiçbir zaman yardımlarını esirgemeyen Doç. Dr. Emre TABAR'a ve bu yola beraber çıktığım sınıf arkadaşım Ayşe Seda KARTAL'a teşekkürü bir borç bilirim.

Tüm eğitim hayatım boyunca desteklerini üzerimden esirgemeyen canım aileme, maddi ve manevi olarak yanımda olan bu yolda beraber yürüdüğüm eşim Kağan TUNÇAY'a sonsuz teşekkür ederim.

Seval KASAPOĞLU



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SİMGELER	xiii
TABLO LİSTESİ	xv
ŞEKİL LİSTESİ	xvii
ÖZET	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	9
2.1. Radyoaktivite Nedir?	9
2.1.1. Radyoaktivite birimleri	9
2.1.2. Radyoaktif seriler	10
2.1.2.1. Doğal seriler	10
2.1.2.2. Yapay seriler	12
2.2. Radyasyon	13
2.2.1. Alfa, Beta ve Gama ışınların özellikleri	13
2.2.2. Radyasyonun madde üzerindeki etkileri	14
2.2.3. Radyasyon kaynakları	14
2.2.3.1. Doğal radyasyon kaynakları	15
2.2.3.2. Yerküre radyasyon kaynakları	17
2.2.3.3. Yapay radyasyon kaynakları	18
2.3. Radon ve Bozunum Ürünleri Hakkında Genel Bilgiler	19
2.4. Radon Gazının Kaynakları ve Taşınımı	21
2.4.1. Toprak ve kaya kaynaklı radon	22
2.4.2. Su kaynaklı radon	24
2.4.3. Doğal gaz ve kömür kaynaklı radon	24
2.4.4. Yapı malzemeleri kaynaklı radon	25
2.5. Sağlık Üzerindeki Radon Etkisi	26
2.6. Yaşam Alanında Radona Karşı Alınacak Önlemler	28
2.7. Toprakların Fiziksel Karakteristikleri	29
2.7.1. Zonal topraklar	30
2.7.1.1. Laterit topraklar	30
2.7.1.2. Kırmızı topraklar (terra rossa)	30
2.7.1.3. Kahve rengi orman toprakları	30
2.7.1.4. Podzol topraklar	31
2.7.1.5. Tundra toprakları	31
2.7.1.6. Çöl toprakları	31
2.7.1.7. Kahverengi ve kestane renkli bozkır toprakları	31
2.7.1.8. Çernozyom topraklar (kara topraklar)	31

2.7.2. Azonal topraklar (taşınmış topraklar)	31
2.7.2.1. Alüvyal topraklar.....	31
2.7.2.2. Lös topraklar	32
2.7.2.3. Moren	32
2.7.2.4. Regosoller.....	32
2.7.2.5. Kolüvyal topraklar (yamaç döküntüleri)	32
2.7.2.6. Litosoller topraklar	32
2.7.3. İntrazonal topraklar	32
2.7.3.1. Halomorfik topraklar (tuzlu topraklar).....	32
2.7.3.2. Hidromorfik topraklar (bataklık toprakları)	32
2.7.3.3. Kalsimorfik topraklar	33
2.8. Topraklarda Radon Yayılımı ve Radon Yayılım Hızlarının Belirlenmesi.....	34
2.9. Katıhal Nükleer İz Dedektörü ve Kapalı Kutu (Sealed Can) Metodu.....	36
2.10. Kapalı Kutu Metoduyla Radon Yayılım Hızlarının Belirlenmesi	39
3. TOPRAK NUMUNELERİNDEKİ RADON YAYILIM HIZI VE EFEKTİF RADYUM DEĞERLERİNİN BELİRLENMESİ	45
3.1. Bölgenin Jeolojik Özellikleri.....	45
3.2. Çalışma Alanı	46
3.2.1. Nilüfer ilçesi.....	46
3.2.2. Yıldırım ilçesi.....	47
3.2.3. Gürsu ilçesi.....	47
3.3. Analiz Ve Ölçüm Sonuçları.....	48
3.4. Nilüfer, Yıldırım ve Gürsu İlçelerindeki Sonuçlar.....	51
4. TARTIŞMA VE ÖNERİLER	65
KAYNAKLAR.....	69
EKLER.....	81
ÖZGEÇMİŞ	89

KISALTMALAR

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ADE	: Yıllık etkin doz
Amu	: Atomik yığın
Bq	: Bequerel (radyoaktivite birimi)
BPU	: Balkan Physical Union
c	: Işık hızı
C_{Ra}^{eff}	: Etkin radyum konsantrasyonu
Ci	: Curie (radyoaktivite birimi)
cm	: Santimetre
C(t)	: Radon aktivite konsantrasyonu
C_{Rn}^{ind}	: Toprakta salınan radonun kapalı alandaki radona katkısı
C_{Rn}	: Radon aktivite konsantrasyonu
CR-39	: Polikarbonat
CN-85	: Selüloz Asetat
°C	: Santigrad
ÇNAEM	: Çekirdek Araştırma ve Nükleer Enerji Merkezi
DNA	: Deoksiribonükleik Asit
EPA	: Environmental Protection Agency
°F	: Fahrenheit
g	: Gram
Gy	: Gray (soğurulan doz birimi)
h	: Hour (saat)
h(cm)	: Toprak örneği ile dedektör arasındaki mesafe
H_{ex}	: Tehlike indeksi
ICRP	: International Commission on Radiological Protection (Uluslararası Radyolajik Koruma Komitesi)
°K	: Kelvin
kg	: Kilogram
km	:Kilometre
L	: Litre

LR-115	: Selüloz Nitrat
m	: Metre
M	: Toprağın Kütlesi
MeV	: Mega Elektron Volt
mg	:Miligram
ml	: Mililitre
mSv	: Milisievert
n	: Nötron
nm	: Nanometre (10^{-9} metre)
N(t)	: t anındaki kutudaki toplam radon atomlarının sayısı
ppm	:Milyonda bir
Rd	: Rutherford (radyoaktivite birimi)
s	: Saniye
SAÜ	: Sakarya Üniversitesi
SI	: Uluslararası Birim Sistemi
SSNTD	: Polimer yapılı katı hal iz dedektörü
T	: Zaman
T_e(h)	: Etkin ısınma zamanı
TENMAK	: Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu
UNSCEAR	: United Nations Scientific Committte on the Effects of Atom Radiation
W	: Güç (Birimi Watt)
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü
WL	: Çalışma seviyesi
WLM	: Aylık çalışma seviyesi

SİMGELER

A	: Alan
E	: Eksalasyon oranı
E_A	: Yüzey radon yayılım hızı
E_S	: Yüzey radon eksalasyon oranı
E_M	: Kütle radon yayılım hızı
HNO₃	: Nitrik asit
⁴/₂He	: Helyum
k_r(K)	: Kalibrasyon faktörü
KOH	: Potasyum Hidroksit
NaI(Tl)	: Talyum katkılı sodyum iyodür dedektörü
NaOH	: Sodyum Hidroksit
SiO₂	: Silisyum Dioksit
S_r	: Kapalı ortamın alanı
V	: Hacim
V_B	: Hasara uğramamış yüzeyin iz kazıma hızı
V_r	: Kutu hacmi
V_T	: Hasara uğramış yüzeyin iz kazıma hızı
y	: Yıl
Z	: Atom numarası
α	: Alfa ışınması
β⁺	: Beta + ışınması
β⁻	: Beta- ışınması
γ	: Gama ışınması
μ	: Mikro
ν	: Nötrino
ρ	: İz yoğunluğu
λ_{Rn}	: Radonun bozunum sabiti
τ	: Ortalama ömür
φ	: Havanın kalış oranı

²³⁴ Ac	: Actinyum
²⁴¹ Am	: Amerikyum
²¹⁸ At	: Astatin
²¹⁴ Bi	: Bizmut
Ca :	: Kalsiyum
²²³ Fr	: Fransiyum
⁴⁰ K	: Potasyum
²³⁷ Np	: Neptünyum
²³⁴ Pa	: Protaktinyum
²¹⁴ Pb	: Kurşun
²¹⁸ Po	: Polonyum
²⁴¹ Pu	: Plutonyum
²²⁶ Ra	: Radyum
²²² Rn	: Radon
²¹⁰ Ti	: Titanyum
²³⁴ Th	: Toryum
²³⁸ U	: Uranyum

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1. Yapı malzemelerindeki ^{226}Ra aktivite konsantrasyonları ve ^{222}Ra salınım hızları (Kapdan, E.,2009).	26
Tablo 2.2. Farklı ortamlardaki radon difüzyon sabitleri.....	35
Tablo 2.3. Dedektörlerin tiplerine göre iz kazıma şartları.....	38
Tablo 3.1. Nilüfer İlçesinde toplanan numune örneklerinin kütle ve yüzey radon yayılım oranları ve efektrif radyum içeriği.	52
Tablo 3.2. Yıldırım İlçesinden toplanan numune örneklerinin kütle ve yüzey radon yayılım oranları ve efektrif radyum içeriği.	54
Tablo 3.3. Gürsu İlçesinden toplanan numune örneklerinin kütle ve yüzey radon yayılım oranları ve efektrif radyum içeriği	56
Tablo 3.4. Çalışma alanından elde edilen sonuçların karşılaştırması.....	58
Tablo 3.5. Dünya genelinde yapılan çalışmaların değerlendirmesi.	59
Tablo 3.6. Dünya genelinde radon değerinin karşılaştırılması.....	62



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Uranyum Bozunum Şeması (URL-14).	11
Şekil 2.2. Toryum Bozunum Serisi (URL-14).	11
Şekil 2.3. Aktinyum Bozunum Serisi (URL-14).	12
Şekil 2.4. Neptünyum Bozunum serisi (URL-14).	12
Şekil 2.5. Doğal ve Yapay Radyoaktif Serilere Ait Yarı Ömür Bilgileri.	12
Şekil 2.6. Alfa, Beta ve Gamanın Giricilikleri.	13
Şekil 2.7. Dünya genelinde doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından alınan dozların oranları.	15
Şekil 2.8. Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarına maruz kalına radyasyon dozlarının oransal değeri (TENMAK).	17
Şekil 2.9. Toprakta bulunan doğal radyonüklitler.	18
Şekil 2.10. Yapay Radyasyon Kaynakları	19
Şekil 2.11. Radon Bozunum Ürünleri (Güler ve Çobanoğlu,1997).	20
Şekil 2.12. Radon gazının oluşum şeması (URL-14).	20
Şekil 2.13. Radonun Özellikleri (Güler ve Çobanoğlu, 1997).	21
Şekil 2.14. Radon Gazını Başlıca Kaynakları (URL-8).	22
Şekil 2.15. Fay zonu boyunca hidrotermal akışkanlar ve buhar emisyonlar vasıtasıyla oluşmuş bir hidrotermal alterasyon zonu (URL-6).	23
Şekil 2.16. Hidrotermal Alterasyon ve ilişkili cevher zonu (URL-7).	23
Şekil 2.17. Radon bozunum ürünleri tarafından akciğerlerde yapılan ışınlama (EPA, 2001).	27
Şekil 2.18. Bu tahliye şeması yapıların plan-proje adımıda da radon gazının bina içine nüfuz etmesini engellemek için kullanılabilir.	29
Şekil 2.19. Toprak tiplerine ait şema.	30
Şekil 2.20. Türkiye'deki toprak tiplerine ait harita (Talay, 2000).	33
Şekil 2.21. Dünya üzerindeki topraklara ait harita (URL-16).	34
Şekil 2.22. Radon Yayılım Şeması.	35
Şekil 2.23. Polimer zincirin ağır toprakların kırılması.	37
Şekil 2.24. Katı hal izlerinin kimyasal banyo sürecinde sahip olduğu görünüm. .	38
Şekil 2.25. Kapalı Kutu Tekniği şematik gösterimi.	40
Şekil 3.1. Bursa ilçelerine ait görsel.	45
Şekil 3.2. Nilüfer ilçesindeki numunelere ait yer bilgisi.	46
Şekil 3.3. Yıldırım ilçesindeki numunelerin yer bilgisi.	47
Şekil 3.4. Gürsu ilçesindeki numunelere ait yer bilgisi.	48
Şekil 3.5. Fırınlanmış Toprak Numunesine Ait Görsel.	49
Şekil 3.6. Toprak Numunelerinin Kutulanma Aşaması.	49
Şekil 3.7. Kapalı kutu tekniği şeması.	50
Şekil 3.8. İz kazıma işlemine ait bir görsel.	50
Şekil 3.9. İmage-j programı ile alınmış iz görüntüsü.	51
Şekil 3.10. Nilüfer İlçesine ait Radyum, Radon, Kütle Ekselasyonu ve Yüzey Ekselasyon değerlerine ait grafikler.	53

Şekil 3.11. Yıldırım İlçesine ait Radyum, Radon, Kütle Ekselasyonu ve Yüzey Ekselasyon değerlerinin grafikleri.	55
Şekil 3.12. Gürsu İlçesine ait Radyum, Radon, Kütle Ekselasyonu ve Yüzey Ekselasyon değerlerinin grafikleri.	57
Şekil 3.13. Nilüfer, Yıldırım ve Gürsu İlçelerinin ortalama değer grafiği.....	58
Şekil 3.14. Dünya ortalama radon seviyeleri (URL-15).	61
Şekil 3.15. Türkiye Radon Konsantrasyon Haritası. (TAEK-2014).....	61
Şekil 3.16. Ortalama radon değeri ve yıllık efektif doz değeri Dünya Sağlık Örgütü değerleri ile kıyaslanması.....	63



BURSA’NIN MERKEZ İLÇELERİNDE TOPRAK VE SU ÖRNEKLERİNDE RADYOAKTİVİTE ÖLÇÜMLERİ

ÖZET

Bu tez çalışmasında Bursa’nın Nilüfer, Yıldırım ve Gürsu ilçelerinden alınan toprak numunelerinin “kapalı kutu (Sealed Can) tekniği” ve LR-115 (katı hal iz dedektörleri) kullanılarak radon yayılım hızları ve efektif radyum içeriklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Toprakta radon salınımı yoluyla kapalı ortamdaki radon aktivitesine gelen ilave radon aktivitesi de belirlenmiş ve kapalı ortamdaki yıllık efektif doz hesaplanmıştır. Radyoaktivite ölçümleriyle radyolojik risklerin değerlendirilmesi, çevredeki canlılar ve insanlar için oldukça önemlidir. Nilüfer ilçesinde sanayi içi ve sanayi dışından numune alınırken, Gürsu ilçesinde tarım arazilerinden işlenmiş ve işlenmemiş toprak üzerinde çalışma yapılmıştır. Yıldırım ilçesinde ise herhangi bir kriter aranmadan toprak numuneleri alınmıştır. Numuneler üzerinde LR-115 Tip-II katı hal dedektörleri ile çalışma yapılmıştır.

LR-115 Tip-II filmleri; toplanmış toprak numunelerinin bulunduğu kabın plastik kısmına yerleştirilmiş olup ağzı silikonla hava almasın diye kapandıktan sonra 90 gün boyunca bekletilmiştir. Bekleme işleminden sonra filmler çıkartılmış ve kimyasal iz kazıma adımıyla geçilmiştir. Burada amaç gözle görünmeyen izleri mikroskop altında görünür hale getirmektir. Bu adımdan sonra image-j programı ile iz sayımı yapılmış ve elde edilen değerlerin hesaplamaları yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar dünya genelinde yapılmış çalışmalar ile kıyaslanmıştır.

Çalışmada ölçümler sonucunda elde edilen radon konsantrasyonları 15,70 ile 813,78 Bqm⁻³ arasında değişmektedir. Nilüfer ilçesinde kütle eksalasyon değerleri 554,05 ile 1490,04 mBqkg⁻¹h⁻¹, yüzey eksalasyon değerleri 13,77 ile 70,27 Bqm⁻²h⁻¹ bulunmuştur. Yıldırım ilçesinde kütle eksalasyonu 157,94 ile 8186,65 mBqkg⁻¹h⁻¹, yüzey eksalasyon değerleri 3,92 ile 203,45 Bqm⁻²h⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Son olarak Gürsu ilçesinden elde edilen kütle eksalasyon değerleri 360,38 ile 1125,65 mBqkg⁻¹h⁻¹, yüzey eksalasyon değerleri 8,96 ile 26,46 Bqm⁻²h⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar incelendiğinde bir noktanın değeri diğer numunelerin değerinden yüksek çıkmış olduğu fark edilmiştir. Noktanın jeolojik yapısına baktığımızda numune alınan noktanın kayalık bir zemine sahip olduğu fark edilmiştir. Ancak sonuçlar TENMAK (ulusal) ve WHO, IAEA, vs. (uluslararası) kuruluşlar tarafından tavsiye edilen limit değerlerle kıyaslandığında çalışma alanındaki birçok numuneden elde edilen değerlerin radyolojik açıdan bir sorun oluşturmayacağı tespit edilmiştir.



INVESTIGATION OF RADON EMISSION RATES AND EFFECTIVE RADIUM CONTENTS IN SOILS OF NİLÜFER, YILDIRIM AND GÜRSU DISTRICTS OF BURSA

SUMMARY

All living organisms on Earth are incessantly exposed to radiation originating from both natural and anthropogenic sources. Among these, natural radiation constitutes the primary contributor to the background radiation to which all humans are exposed. This type of radiation emerges predominantly from the Earth's crust, where radioactive elements are ubiquitously distributed within rocks, soil, and water. Furthermore, building materials derived from natural resources inherently contain trace amounts of radioactive substances, further contributing to the ambient radiation levels within human habitats. As a consequence, individuals are continually subjected to radiation in their immediate surroundings, including within their homes and workplaces. Even the air we breathe and the water we consume carry radionuclides transferred from the soil, rendering radiation exposure an unavoidable aspect of daily life.

This study focuses on investigating the radon diffusion rates and the effective radium content of soil samples collected from three distinct districts in Bursa, Turkey: Nilüfer, Yıldırım, and Gürsu. The “sealed can technique,” combined with LR-115 solid-state nuclear track detectors, was employed to achieve this objective. The methodological approach began with the excavation of soil samples from depths of 15–20 cm, with each sample weighing approximately 1.5–2 kg. The samples were carefully labeled and transported to the research facility, where they underwent a meticulous preparation process. Stones, plant residues, and other extraneous materials were manually removed, followed by a drying process involving exposure to high temperatures to eliminate residual moisture content. This ensured that the subsequent measurements would not be influenced by environmental humidity.

Once dried, the soil samples were sieved using a 2-mm mesh to achieve homogeneity and subsequently apportioned into sealed containers, each holding precisely 125 grams of soil. LR-115 films, integral to recording the radon tracks, were affixed to the inner surfaces of these containers. To ensure the accuracy of the measurements, the containers were hermetically sealed to prevent any air exchange and were left undisturbed for a duration of 90 days, allowing sufficient time for the accumulation of radon gas within the confined space.

At the conclusion of the exposure period, the containers were opened, and the LR-115 films were retrieved for chemical processing. A 10% solution of 2.5N sodium hydroxide (NaOH) was utilized to etch the films chemically. This process was conducted at a controlled temperature of 60°C over a period of two hours, rendering the latent tracks left by alpha particles visible under microscopic examination. The etched films were subsequently rinsed in pure water to remove any residual chemicals, ensuring clarity for analysis. Using the Image-J software under 100X magnification, the radon tracks were meticulously counted, and the obtained data were subjected to

rigorous mathematical calculations to convert the raw measurements into internationally standardized units.

The results revealed that radon concentrations within the study area ranged from 15,70 to 813.78 Bq/m³. Furthermore, the exhalation rates, both mass-based and surface-based, exhibited significant variability across the sampled districts. Specifically, in Nilüfer, the mass exhalation rates were determined to range between 554,05 and 1490,04 mBqkg⁻¹ h⁻¹, while surface exhalation rates ranged from 13,77 to 70,27 Bqm⁻²h⁻¹. In Yıldırım, the mass exhalation values ranged from 157,94 to 8186,65 mBqkg⁻¹ h⁻¹ with surface exhalation values spanning 3,92 to 203,45 Bqm⁻²h⁻¹. In Gürsu, the mass exhalation rates varied between 360,38 and 1125,65 mBqkg⁻¹ h⁻¹, while surface exhalation rates ranged from 8,96 to 26,46 Bqm⁻²h⁻¹.

One noteworthy finding was an anomalously high radon concentration at a specific location in Nilüfer. Upon closer examination, it was determined that this particular sampling site was characterized by a rocky geological substrate, which likely contributed to the elevated radon levels. Despite this anomaly, when the results were compared with radiological safety thresholds established by national and international organizations such as TENMAK, WHO, and IAEA, the majority of the samples were found to fall well within acceptable limits. This indicates that the overall radiological risk posed by radon in the studied regions is minimal and does not present a significant health concern for the local population.

It is extremely important to understand the potential effects of radon gas on human health and to consider the risks, especially in areas with high concentrations. Radon is a naturally occurring radioactive gas. It results from the decay of radioactive elements such as uranium and thorium and is particularly associated with natural environments such as rocks, soil and groundwater. In the normal respiratory process, radon gas enters the lungs with the air and is expelled again. Under typical conditions, there are no harmful effects because the human body is able to excrete the gas efficiently.

However, the situation is different in areas with high radon concentrations. In such environments, the decay products of radon emit radioactive alpha particles. Alpha radiation is capable of causing high-energy damage to biological tissues. When radon gas is inhaled into the lungs, these particles can settle in the lung tissue and accumulate there, causing DNA damage at the cellular level. The accumulation of DNA damage over time can lead to abnormal cell proliferation and an increased risk of lung cancer. This is particularly pronounced for people living in areas with prolonged exposure to high levels of radon.

Epidemiological studies have clearly demonstrated the association between radon exposure and the development of lung cancer. The World Health Organisation (WHO) and other international health organisations state that radon is the second most important cause of lung cancer after smoking. Poor ventilation conditions, especially indoors, can increase the accumulation of radon gas. Radon concentrations are generally higher in ground floors, basements and underground structures, and individuals living in such areas are considered to be at greater risk.

Effective monitoring and prevention strategies should be developed to reduce health risks from radon. Measures that can be taken include regular concentration measurements with radon measuring devices, improving ventilation systems in case of high levels, or designing buildings to prevent radon migration. These efforts play a critical role in the prevention of radon-related health problems and improve the quality of life of individuals

In this study, the sampling strategy was designed to capture diverse environmental conditions. For instance, in Nilüfer, samples were collected from both industrial and non-industrial zones to assess the potential influence of industrial activity on radon levels. In Gürsu, the focus was on comparing processed and unprocessed agricultural soils, while in Yıldırım, samples were collected without specific selection criteria to provide a more generalized overview of the district.

In conclusion, the findings of this research emphasize the necessity of ongoing surveillance of natural radiation levels, particularly in regions with varying geological and environmental characteristics. While the measured radon concentrations in this study are largely within safe limits, the presence of isolated high-radon zones highlights the need for localized interventions to mitigate potential health risks. Such proactive measures are essential for safeguarding public health and ensuring long-term environmental safety.





1. GİRİŞ

Son zamanlarda kapalı kutu tekniği (Sealed Can Method) ve LR-115 ya da CR-39 katı hal nükleer iz dedektörleri (SSNTD) kullanılarak bir çok ülkede yapılmış çalışmalar vardır. Bunlardan bazıları Bursa'da 2023 yılında Alemy, Bursa'da 2020 yılında Yaşar, Hindistan 2019'da Hindistan'da Singh ve diğerleri, Sakarya'da 2019 yılında Sağlam, 2018'de Filistin'de Thabayneh, 2018 yılında Sakarya'da Tabar ve arkadaşları, Zubair ve Shafiquallah, 2018'de Kumari ve diğerleri, İzmir'de 2017 yılında Pişkin, İzmir'de 2017 yılında Gürleyen, 2017'de Kaliprasad ve diğerleri, Sakarya'da 2017 yılında Kuş, 2015 yılında Menon ve arkadaşları, 2015 yılında Mehta ve arkadaşları, 2015'te Irak'ta Jaleel ve Tawfiq, 2015 yılında Sundar ve arkadaşları, İzmir'de 2014 yılında Taşköprü, Kumar ve Narang 2014 yılında, 2014 yılında Chauhan ve arkadaşları, 2013'de Kakati ve diğerleri, 2013'te Baruah ve arkadaşları, Libya'da 2013'te Saad ve arkadaşları, 2013'te El-Zaher Mısır'da, 2013 senesinde Kumar ve arkadaşları, 2013'te Mahur ve arkadaşları, 2012'de Khan ve arkadaşları, Japonya'da 2012'de Shiroma vd., 2012 yılında Zubair ve arkadaşları, 2012'de Verma ve diğerleri, 2012'de Verma ve ark., Mısır'da 2012'de El-Farrash ve arkadaşları, 2011'de Khan ve arkadaşları, 2011 yılında Pakistan'da Rafique ve arkadaşları, 2011 yılında Chauhan, Pakistan'da 2010 yılında Mujahid ve arkadaşları, 2009 yılında Gusain ve arkadaşları, 2009 yılında J. Singh ve arkadaşları, 2008 yılında H. Singh ve arkadaşları, 2008'de Prasad ve arkadaşları, 2006'da Pakistan'da Rehman ve diğerleri, 2005'te Doğu Anadolu Fay Hattı civarında Baykara ve arkadaşları, 2005 yılında S. Singh ve arkadaşları, Hindistan'da 2003 yılında Sharma ve arkadaşları, tarafından LR-115 (selüloz nitrat kaplı katı hal iz dedektörleri) ile yapılan kapalı kutu tekniği olarak bilinen yöntem ile topraktan alınan numuneler üzerinde radon, efektif radyum, radon yayılım oranları, alfa iz yoğunlukları araştırılmıştır. Kısaca bu çalışmalardan elde edilen sonuçlara değinelim.

2003 yılında Sharma ve arkadaşları; Hindistan'ın Pradesh şehrindeki Kangra yerleşim bölgesine pasif ölçüm yapan LR-115 (Selüloz Nitrat kaplı) dedektörlerini kullanarak ölçümler gerçekleştirdiler. Ölçüm sonuçlarına göre yüzey yayılım hızları 502,12-1162,64 mBqm⁻²h⁻¹ ve kütle yayılım hızları 15,16-35,11 mBqkg⁻¹h⁻¹ aralıklarında

değişkenlik gösterdiği, efektif ^{226}Ra aktivitelerinin ise 11,54-26,71 Bqkg⁻¹ aralığında değerler aldığı belirlenmiştir (Sharma ve diğerleri, 2003).

2005 yılında Singh ve çalışma arkadaşları tarafından Hindistan'ın Bathinda bölgesindeki toprak analizlerinde LR-115 dedektörleri kullanılarak bir deney yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre radon aktivitesi 1997,08-5349,19 Bqm⁻³ aralığında değerlere sahip olduğu gözlenmiştir. Çalışmanın bir diğer sonucu ise yüzey ve kütle yayılım oranlarının 246,3-1100,0 mBqm⁻²h⁻¹ ile 7,17-31,98 mBqkg⁻¹h⁻¹ aralığında değiştiği belirlenmiştir (Singh vd., 2005).

Baykara ve çalışma arkadaşları tarafından Türkiye'de Kuzey ve Doğu Anadolu Fay Zonları üzerinde CR-39 dedektörleri kullanımı ile yapılmış olan çalışmada etkin radyum konsantrasyonu 0,02-0,80 Bqkg⁻¹ ölçüm aralığında değişkenlik gösterdiği ve yüzey radon eksalasyon oranının da 13,3-400,7 mBqm⁻²h⁻¹ aralığında değiştiği belirlenmiştir (Baykara, 2005).

Prasad ve çalışma arkadaşlarının 2008 yılında Hindistan'ın Kumaun Lesser Himalayas eyaletinden toprak numuneleri toplayarak yaptıkları çalışmada LR-115 filmlerini kullanarak kütle eksalasyon hızı, radon konsantrasyonu ve efektif Ra içeriğindeki değişimlerin sırasıyla, (0,39-8,21) x10⁻² mBqkg⁻¹h⁻¹, 0,4- 25,78 kBqm⁻³ ve 13,8-298,9 Bqkg⁻¹ değerlerine sahip olduğunu bulmuşlardır (Prasad vd., 2008).

2008 yılında Singh ve arkadaşları; Hindistan'ın Haryana ve Punjab bölgelerindeki topraklardan alınan numuneler ile LR-115 filmlerini kullanarak ölçümler yapmışlardır. Bu ölçüm sonuçlarına göre Haryana'da Rn kütle ve yüzeysel yayılım hızlarının sırasıyla 3,11-11,54 mBqkg⁻¹h⁻¹ ve 102,91-382,04 mBqm⁻²h⁻¹ aralıklarında değişiklik gösterdiği, Punjab'ta ise bu değerlerin 1,03-8,83 mBqkg⁻¹h⁻¹ ve 34,11-292,20 mBqm⁻²h⁻¹ aralıklarında değiştiği gözlemlenmiştir (Singh vd., 2008).

2009 yılında bu kez Gusain ve arkadaşları; Hindistan'ın Garhwal Himalaya eyaletinden toprak örnekleri alarak çalışma yapmışlardır. Bu deneysel çalışmada LR-115 ve gama spektrometresi tekniği olarak da bilinen NaI (TI) yöntemi kullanılmıştır. Deneysel çalışma sonucunda Th ve Ra aktivitesinin 8,8 Bqkg⁻¹-177,8 Bqkg⁻¹ ile 24,2,

146,0 Bqkg⁻¹ aralığında, radon kütle yayılım oranlarının ise (0,43-20,20) x10⁻² mBqkg⁻¹h⁻¹ değerleri arasında olduğu ölçülmüştür (Gusain ve diğ., 2009).

2009 yılında Singh ve arkadaşları; bu sefer Hinsdistan'ın Kala Amb, Haryana ve Himachal Pradesh bölgelerinden toprak örnekleri olarak LR-115 yani pasif film dedektörü diye de ifade edilen dedektörleri kullanarak bazı ölçümler yaptılar. Bunların sonucunda kütle yayılım hızları 216,87-1298,0 mBqm⁻²h⁻¹ aralığında, yüzey yayılım hızlarının 6,15-36,80 mBqkg⁻¹h⁻¹ aralığında ve etkin Ra aktivitesinin 5,30-31,71 Bqkg⁻¹ aralığında ölçmüşlerdir (Singh vd., 2009).

2010 yılında Mujahid ve diğerleri; Pakistan'ın Güney Punjab bölgesinde CN-85 nükleer iz dedektörü ile yaptıkları deneysel çalışma sonucunda radon aktivitesi 34-260 Bqm⁻³, yüzey radon eksalasyonunun ise 38-288 mBqm⁻²h⁻¹ değer aralığında olduğunu gözlemlemişlerdir (Mujahid vd., 2010).

2011 yılında Chauhan; Hindistan'ın Aravali tepelerinden numuneler olarak LR-115 film dedektörleri kullanılarak bir çalışma yayınlanmıştır. Çalışma sonucunda ²²²Rn konsantrasyonu 806-970 Bqm⁻³ aralığında, kütle eksalasyonunun 23,1-28,6 mBqkg⁻¹h⁻¹ aralığında ve yüzey eksalasyonu ise 493-599 mBqm⁻²h⁻¹ aralığında belirlediklerini rapor etmişlerdir (Chauhan, 2011).

2011 yılında Rafique ve arkadaşları; Pakistan'ın Kemir şehrinde CR-39 (nükleer film dedektörü) kullanarak bir deneysel çalışma yapmıştır. Çalışmanın sonuçları sırasıyla yüzey Rn eksalasyonu 171-344 mBqm⁻²h⁻¹, ²²²Rn konsantrasyonu ise 66-125 Bqm⁻³ değer aralığında olduğu görülmüştür (Rafique vd., 2011).

2011 yılında Khan ve arkadaşları; Hindistan'ın Etah çevresinden aldıkları numune toprakların LR-115 tekniği ile bazı değerlerini ölçümlemişlerdir. Bu çalışmada yüzey ve kütle eksalasyonlarının (0,26-0,42) x10⁻³ mBqm⁻²h⁻¹ ve (0,01-0,16) x10⁻³ mBqkg⁻¹h⁻¹, etkin radyum içeriği ise 27,87-45,14 Bqkg⁻¹ değer aralığına sahip olduğu ölçülmüştür (Khan vd., 2011).

2012 yılında El- Farrash ve arkadaşları Mısır'ın Bahr-El Baqar drenajı olarak bilinen yerden aldıkları toprak numunelerine LR-115 polimerik nükleer iz dedektörlerini ve aktif ölçüm yöntemlerini de kullanarak bir deney yapmışlar ve deney sonucunda uranyumun aktivite konsantrasyonlarını pasif teknik kullanılarak $1,91-13,59 \text{ Bqkg}^{-1}$ aktif teknik kullanarak $1,30-13,77 \text{ Bqkg}^{-1}$ ölçmüşlerdir. Toryum aktivitesinin ise $3,71-10,26 \text{ Bqkg}^{-1}$ aralığında değiştiği bulunmuştur (El-Farrash vd., 2012).

2012 yılında Verma ve diğerleri; Hindistan'ın Uttar Pradesh bölgesinde LR-115 dedektörleri ile kapalı kutu metodunu kullanarak bir deney yapmışlardır. Deneyin gözlemleri şu şekildedir: Efektif R_a konsantrasyonunun $5,59-34,56 \text{ Bqkg}^{-1}$ değerleri arasında, kütle ve yüzey eksalasyon oranlarının $(0,02-0,11) \times 10^{-3} \text{ mBqkg}^{-1}\text{h}^{-1}$ ile $(0,06-0,11) \times 10^{-3} \text{ mBqm}^{-2}\text{h}^{-1}$ aralığında değişim gösterdiği tespit edilmiştir (Verma vd., 2012).

2012 yılında Zubair ve diğerleri; Hindistan'ın Bulandshahr etrafından aldıkları numune topraklar ile kapalı kutu metodu olarak da bilinen ve LR-115 filmlerini kullanılarak bir dizi deney yapmışlardır. Bu deneylerin sonuçları, kütle ve yüzey eksalasyonlarının sırasıyla $394,12-798,34 \text{ mBqkg}^{-1}\text{h}^{-1}$ ile $15,1-30,7 \text{ mBqm}^{-2}\text{h}^{-1}$ olarak değiştiği tespit edilmiştir. Bu çalışmanın diğer bir araştırma noktası da efektif R_a konsantrasyonu olmuştur ve onun da değer aralığı $9,2-18,7 \text{ Bqkg}^{-1}$ ölçülmüştür (Zubair vd., 2012).

2012 yılında yapılan bir diğer çalışma da Khan ve arkadaşları tarafından yürütülmüştür. Bu çalışmanın alanı ise; Kuzey Hindistan toprakları olmuştur. Bu deneysel çalışma sonucunda efektif R_a aktivite değeri $8,11-112,83 \text{ Bqkg}^{-1}$ değer aralığında ölçülmüştür. Yapılan diğer ölçümler ise; kütle ve yüzey eksalasyon değerleri olup sırasıyla $0,8-17,1 \mu\text{Bqm}^{-2}\text{h}^{-1}$ ve $0,03-0,66 \mu\text{Bqkg}^{-1}\text{h}^{-1}$ aralığında değerler almıştır (Khan vd., 2012).

2013 yılında Mahur ve diğerleri Hindistan'ın Dadri Bölgesinden aldıkları toprak numuneleri üzerinde deney yapmışlar ve deney sonuçlarına göre ^{40}K , ^{222}Rn , ^{226}Ra ve ^{232}Th elementlerinin aktiviteleri (sırasıyla $195,4-505,4 \text{ Bqkg}^{-1}$, $177,5-583,4 \text{ Bqm}^{-3}$,

32,2-120,9 Bqkg⁻¹ ,19,3-44,6 Bqkg⁻¹) belirlenmiştir. Ayrıca absorbe edilen doz ve yıllık etkin doz değerleri (sırasıyla 34,6-101,3 nGyh⁻¹ ve 0,04-0,12 mSvy⁻¹) hesaplanmış ve H_{ex} değerinin 0,2-0,6 değer aralığında değiştiği belirlenmiştir. Kütle ve yüzey radon eksalasyon değerlerini tespit etmek için ‘Can Tekniği’ kullanılmış ve sonuçları (sırasıyla 2,5-8,1 mBqkg⁻¹h⁻¹ ve 63,9-210,2 mBqm⁻²h⁻¹) rapor edilmiştir (Mahur vd., 2013).

2013 yılında El-Zaher tarafından Mısır’ın Alexandria şehrinden alınmış topraklarla yapılan deney sonucunda ²²²Rn konsantrasyon değerlerinin 5,72-157,99 Bqkg⁻¹ aralığında olduğu belirlenmiştir. Bu çalışma içerisinde aynı zamanda kütle ve yüzey eksalasyon değerleri de ölçülmüş olup onların ise sırasıyla 0,48-15,37 Bqm⁻²h⁻¹ ve 8,31-233,70 mBqkg⁻¹h⁻¹ değer aralıklarında olduğu tespit edilmiştir (El-Zaher, 2013).

2013 yılında Saad ve arkadaşları Libya’nın Bingazi ve Al-Marj bölgesinden LR-115 film dedektörleri ile çalışma yapmak üzere toprak numuneleri almışlardır. Bu deneyde Bingazi’den alınan numunelerden elde edilen radon ve eş değer radyum konsantrasyonlarının değer aralığı 31,1-469,0 Bqm⁻³ ve 1,5-23,0 Bqkg⁻¹, kütle ve yüzey radon eksalasyon oranlarının ise sırasıyla 1,16-17,40 mBqkg⁻¹h⁻¹ ve 30,6-460,9 mBqm⁻²h⁻¹ aralıklarında olduğu raporlanmıştır. Ayrıca yıllık efektif doz değerlerinin de 3,61-54,56 µSvy⁻¹ aralıklarında değerlere sahip olduğu raporlanmıştır. Deneyin Al-Marj’den alınan toprak numunelerindeki radon ve eş değer radyum konsantrasyon değerleri sırasıyla 59,3-515,8 Bqm⁻³ ve 2,9-25,3 Bqkg⁻¹ olduğu belirlenmiştir. Kütle ve yüzey radon yayılım oranları ise; 2,2-61,0 mBqkg⁻¹h⁻¹ ve 58,3-506,9 mBqm⁻²h⁻¹ değer aralığına sahip olduğu raporlanmıştır (Saad vd., 2013).

2013 yılında Baruah ve çalışma arkadaşları Hindistan’ın Assam şehri ve çevresinden alınan numuneler üzerinde pasif film dedektörleri kullanılarak yaptıkları çalışmalarda kütle eksalasyonunun 1,78-2,73 mBqkg⁻¹h⁻¹, efektif Ra konsantrasyonunun 2,85-4,37 Bqkg⁻¹ ve yüzey radon eksalasyonunun 62,66-96,22 mBqm⁻²h⁻¹ minimum ve maksimum ölçüm değerleri arasında değişim gösterdiği gözlenmiştir (Baruah vd., 2013).

2014 yılında Kumar ve Narang Hindistan'ın Pathankot bölgesinden alınan numuneler üzerinde LR-115 pasif ölçüm yapmaya yarayan film dedektörleri ile bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada yüzey eksalasyon ve kütle oranlarının değişim aralığı sırasıyla 53,39-216,96 mBqm⁻²h⁻¹ ve 1,61-6,55 mBqkg⁻¹h⁻¹ olarak verilmiştir (Kumar ve Narang, 2014).

2014 yılında Taşköprü tarafından Türkiye'nin İzmir bölgesindeki küçük menderes havzasından toplanan toprak numunelerinde LR-115 Tip 2 nükleer iz kazıma dedektörleri ile çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmaların sonucunda topraktaki radon konsantrasyonu 0,17-15,18 kBqm⁻³ aralığında değerlere sahip olduğu raporlanmıştır (Taşköprü, 2014).

2015 yılında Mehta ve diğerleri tarafından Hindistan'ın Mohali bölgesinden alınan numune topraklarında LR-115 pasif film dedektörleri ile ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümlerde yüzey radon yayılım oranları 0,32-2,6 mBqm⁻²h⁻¹ ve kütle oranları 7,3-58,2 mBqkg⁻¹h⁻¹ aralığında değişkenlik gösterdiği belirtilmiştir (Mehta vd., 2015).

2015 yılında Menon ve diğer çalışma arkadaşları Hindistan'ın Tamil Nadu bölgesinden alınan numuneler üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda radon yayılım hızı 0,07-3,44 mBqm⁻²h⁻¹ aralığında değerler almıştır (Menon vd., 2015).

2017 yılında Kuş tarafından Türkiye'nin Sakarya ilinin tüm ilçelerinden kapsamlı şekilde toplanan toprak örnekleri üzerinde yapılan tez çalışmasında NaI (TI) gama dedektörü ve Yalıtılmış kutu tekniği (LR-115 yöntemi) uygulanmıştır. Deney sonuçları ⁴⁰K, ²²⁶Ra, ²³²Th doğal radyonükleidlerin ortalama aktivite konsantrasyonları sırasıyla 371,0 Bqkg⁻¹, 23,2 Bqkg⁻¹, 21,0 Bqkg⁻¹ olarak ölçümlenmiştir. Sakarya ilindeki topraklardan alınan numunelerin değerleri radyoaktif olarak belirlenen sınırlar içerisinde kaldığı belirlenmiştir (Kuş, 2017). Bu çalışmayı takiben 2018 yılında Tabar ve çalışma arkadaşları tarafından yayınlanan çalışmada Sakarya ilinde pasif ölçüm yöntemi olan LR-115 yöntemi ile efektif ²²⁶Ra konsantrasyonu, yüzey ve kütle eksalasyon hızları sırasıyla 3,77-26,69 Bqkg⁻¹, 0,73-5,18 Bqkg⁻¹h⁻¹ ve 35,76-253,15 mBqkg⁻¹h⁻¹ aralıklarında elde edilmiştir (Tabar vd., 2018).

Türkiye'nin İzmir iline bağlı Çine yöresinden 2017 yılında alınan toprak numuneleri incelenmiş ve çalışmalar sonucunda bölgeden alınan topraklarda ortalama radon gazı konsantrasyonunun 46 kBqm^{-3} ve $2\text{-}251 \text{ kBqm}^{-3}$ aralığında değiştiği rapor edilmiştir (Gürleyen, 2017).

2017 yılında yapılan bir çalışmada Türkiye'nin Aydın ili Koçarlı bölgesi ve çevresinden toplanan toprak örnekleri üzerinde LR-115 film dedektörleri ile yapılan çalışma sonuçlarına göre topraktaki radon aktivitelerinin $0,80 - 62,43 \text{ kBqm}^{-3}$ aralığında değiştiği tespit edilmiştir. Ayrıca kapalı ortamdaki radon konsantrasyonunun değerleri $26,32\text{-}526,4 \text{ Bqm}^{-3}$ aralığında olduğu rapor edilmiştir (Pişkin, 2017).

2019 yılında Sakarya ilinin Geyve, Örencik ve Doğançay bölgesinden alınan toprak numuneleri üzerinde kapalı kutu tekniği ile ölçümler yapılmıştır. Ölçümlerin neticesinde ortalama radon konsantrasyon değerleri sırasıyla $463,4 \text{ Bqm}^{-3}$, $587,11 \text{ Bqm}^{-3}$, $447,18 \text{ Bqm}^{-3}$ olduğu tespit edilmiştir (Sağlam, 2019).

2020 yılında yapılmış bir tez çalışmasında, Bursa ilinin Orhaneli, Keles ve Osmangazi ilçelerinden alınan toprak örnekleri kapalı kutu tekniği olarak da bilinen LR-115 film dedektörleri ile incelemiştir. Ölçümler neticesinde kütle radon yayılım oranlarının $27,32\text{-}1132,71 \text{ mBqkg}^{-1}\text{h}^{-1}$, yüzey radon yayılım oranlarının $0,65\text{-}24,25 \text{ Bqm}^{-2}\text{h}^{-1}$ aralığında ve efektif radyum konsantrasyonlarının $0,34\text{-}14,23 \text{ Bqkg}^{-1}$ aralığında değiştiği raporlanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre radyolojik açıdan bir tehlike oluşturmadığı tespitinde bulunulmuştur (Yaşar, 2020).

2023 yılında yapılan bir tez çalışmasında ise Bursa ilindeki Orhaneli ve Keles bölgesinden daha önce toplanmış toprak numuneleri NaI (TI) gama spektrometresi yöntemi ile ölçülmüş ve ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K doğal radyonükleid ortalama aktivite konsantrasyon değerlerine bakılmıştır. Orhaneli ilçesi topraklarında ölçülen ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K ortalama aktiviteleri $37,35 \text{ Bqkg}^{-1}$, $9,19 \text{ Bqkg}^{-1}$ ve $119,76 \text{ Bqkg}^{-1}$ iken, Keles ilçesinde bu değerler sırasıyla $46,02 \text{ Bqkg}^{-1}$, $13,72 \text{ Bqkg}^{-1}$, $148,80 \text{ Bqkg}^{-1}$ olarak rapor edilmiştir. Bu sonuçların ulusal ve uluslararası radyasyondan korunma

kuruluşları tarafından kabul edilen değerler arasında olduğu ifade edilmiştir (Alem, 2023).

Bu tez çalışmasında ise Bursa ilinin Gürsu, Yıldırım ve Nilüfer ilçelerinden belirlenmiş numune noktalarından toplanan toprak örnekleri (toplam 61 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. Radon yayılım hızları, etkin radyum içerikleri, işlenmiş toprak işlenmemiş toprak, sanayi içi ve sanayi dışı toprak ile yaşamın olduğu yerlerden alınan toprak numuneleri üzerinde yapılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar UNSCEAR, ICRP ve TENMAK(TAEK) verileriyle karşılaştırılmıştır. Tezde elde edilen sonuçlar Türk Fizik Derneğinin düzenlediği BPU9 2015 Balkan Physical Union Konferansında sözlü olarak sunulmuştur.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Radyoaktivite Nedir?

Radyoaktivite, kararsız bir çekirdeğe sahip olan atomların zamanla kendiliğinden parçalanarak daha kararlı bir hale gelmesi süreci olarak ifade edilmektedir. Bu süreç dahilinde çekirdek, çeşitli türdeki parçacıklar ve ışınlamalar (alfa, beta, gama ışıını) yayarak enerji salınımı gerçekleştirir. Bu radyoaktif salınımlar aynı zamanda çevreye de radyasyon yayılmasına sebep olmaktadır. Bu olay bütünüyle çekirdekte gerçekleştiği için çekirdek reaksiyonları olarak da bilinmektedir (URL-1).

Tarih içerisinde yapılan deneylerle radyoaktif bozunma zincirinde var olan alfa ışımasının bir kağıtla, beta ışımasının ince bir metal levha ile durdurulabilirken gama ışımasının sadece kurşun blokla durdurulabildiği keşfedilmiştir.

Radyoaktivite doğal kaynaklar (U, Th, K gibi) veya yapay kaynaklar (Nükleer reaktörler, tıbbi uygulamalar gibi) aracılığıyla oluşabilir. Periyodik cetveldeki elementlerin çekirdek yapısı incelendiğinde pek çoğunun kararsız bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Radyoaktif elementlerin en belirgin özelliği kendilerini kararlı bir forma getirmektir. Bunu yapmak için kendine birçok yol seçebilir. Örneğin; atom ve kütle numarasını koruyarak içindeki fazla enerjiyi elektromanyetik dalga (ışınım) yayarak atabilir. Ya da kütle numarasını dört ve atom numarasını iki eksilterek (${}^4_2\text{He}$) alfa ışıması yapar veya sadece nötron-proton arasında dönüşüm yaparak beta ışıması da yapabilir.. Tüm bunların amacı kararsız çekirdeğin kendini yapısal olarak kararlı hale getirmeye çalışmasıdır. İşte bu süreçte açığa çıkan ışımalara da radyoaktif ışıma adı verilmektedir. Doğal radyoaktivitede; çekirdekte biriken fazla enerjiyi gama ışıması yoluyla yani foton yayınlanarak daha kararlı bir hale gelmesi sözkonusudur. Bu esnada atomun kütle ve atom numarası korunur. Bu reaksiyonların oluşmasına bozunum, bozunum sonucunda değişim gösteren çekirdeğe ise radyoaktif çekirdek ismi verilmiştir (Taylor, J. R., Zafaritos, C. D,1996).

2.1.1. Radyoaktivite birimleri

Birim zamandaki parçalanma sayısına aktivite denir. SI (Système international d'unités) birim sisteminde aktivite için Becquerel (Bq) birimi olarak kullanılır.

Curie (Ci): Bir madde veya materyalin saniyede $3,7 \cdot 10^{10}$ radyoaktif dönüşüm yaptığı bir radyoaktif etkinlik birimidir.

Rutherford (Rd): Radyoaktif bir örneğin etkinliğini ölçmek için kullanılan bir birimdir. Bu birim bir saniyede bir milyon radyoaktif dönüşüm anlamına gelmektedir (ARYA, A.P. 1989).

$$1\text{Bq} = 2.703 \cdot 10^{-11} \text{ Ci} = 1 \text{ parçalanma / saniye}$$

$$1\text{Ci} = 3.7 \cdot 10^{10} \text{Bq}$$

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \cdot 10^{10} \text{ parçalanma/saniye}$$

$$1\text{Rd} = 10^6 \text{ parçalanma/ saniye (Yaramış, B. 1985)}$$

Ci birim yaklaşık 1 gram radyum 226'nın aktivitesine eşit olduğu için seçilmiştir (Taylor, J. R., Zafaritos, C. D,1996).

2.1.2. Radyoaktif seriler

Doğada doğal ve yapay olarak sınıflandırılmış dört adet seri bulunmaktadır. Bunlar Uranyum, Toryum ve Aktinyum doğal seri olarak bilinirken, Neptünyum yapay seri sınıfında yer almaktadır.

2.1.2.1. Doğal seriler

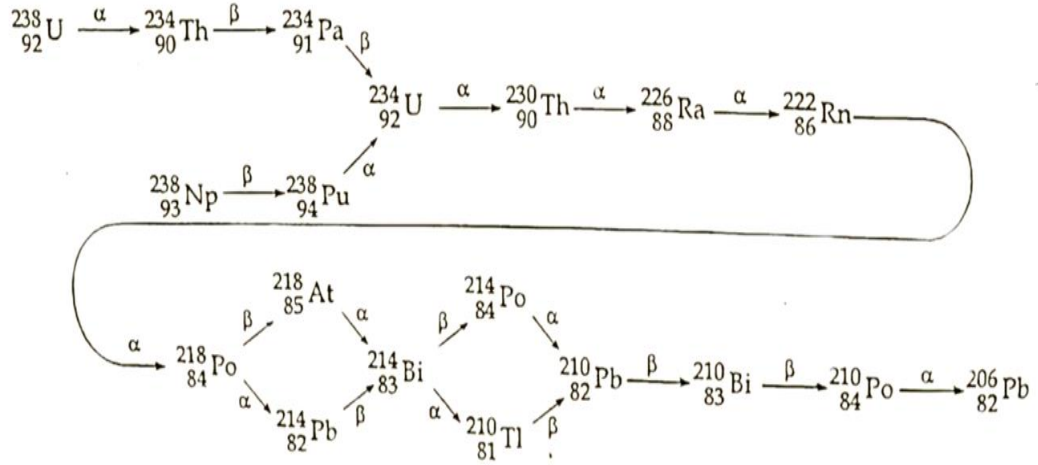
Uranyum serisi, toryum serisi ve aktinyum serileridir. Doğal serilerin özellikleri şu şekildedir.

Seriler yapı olarak, yarı ömrü uzun bir element ile başlamakta ve kurşunun bir izotopu ile son bulmaktadır. Bu elementlerin atom numaraları 81 ile 92 arasında yer almaktadır.

Radon gazı ve izotopları aynı zamanda bu üç serinin içerisinde yer almaktadır. Seride var olan elementler birden fazla bozunma yapabilmektedir.

2.1.2.1.1. Uranyum serisi

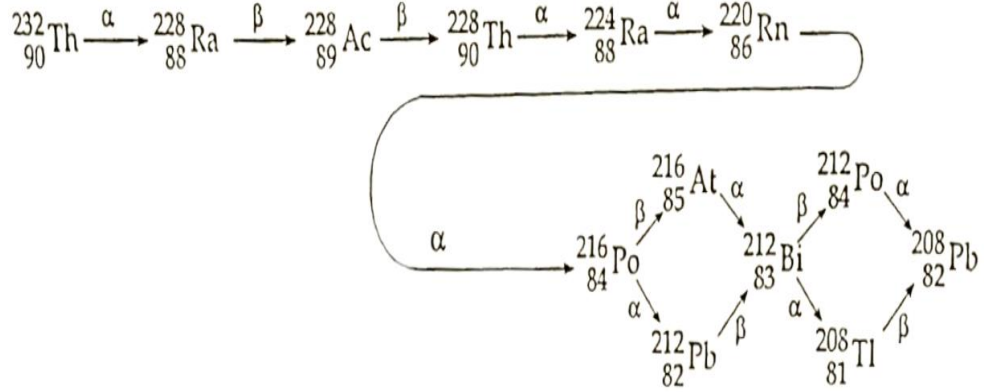
Kütle numarası $(4n+2)$ olan uranyum serisi doğal bir radyoaktif seridir. Seri ${}_{92}\text{U}^{238}$ ile başlamakta ve bazı ışınlar yaparak kararlı bir izotop olan ${}_{82}\text{Pb}^{206}$ 'a dönüşmektedir (n bir tamsayıdır.) (Yaramış, B. 1985).



Şekil 2.1. Uranyum Bozunum Şeması (URL-14).

2.1.3.1.2. Toryum serisi

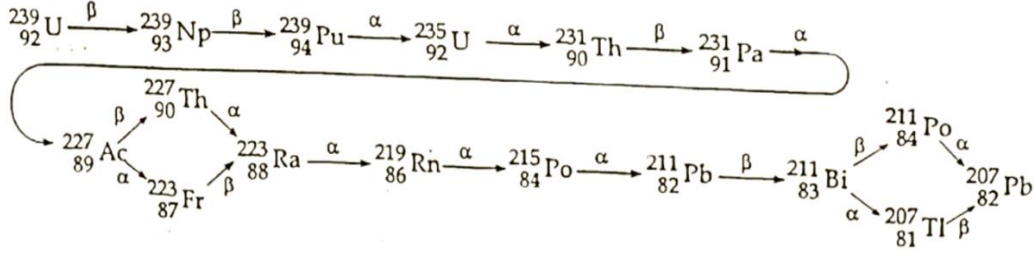
Kütle numarası (4n) olan seri toryum serisidir. Doğal seriler arasında yer alan bu seri $^{232}_{90}\text{Th}$ ile başlayıp çeşitli ışınlar yaparak kurşuna ait bir izotop olan $^{208}_{82}\text{Pb}$ ile son bulur (Yaramış, B. 1985).



Şekil 2.2. Toryum Bozunum Serisi (URL-14).

2.1.2.1.3. Aktinyum serisi

Kütle numarası (4n+3) olarak bilinen aktinyum serisi doğal seriler sınıfında yer almaktadır. Serinin başlama elementi $^{235}_{92}\text{U}$ 'tir. Aktinyum serisi ışınlar yaparak kurşun elementinin bir izotopu olan $^{207}_{82}\text{Pb}$ 'a dönüşür (Yaramış, B. 1985).

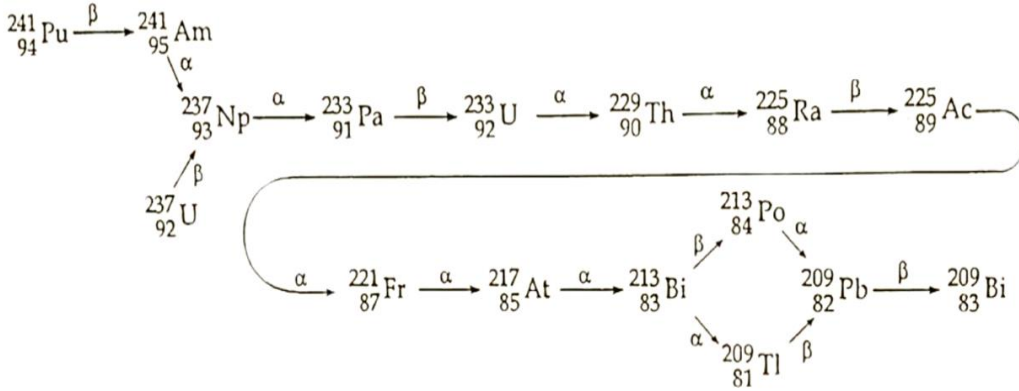


Şekil 2.3. Aktinyum Bozunum Serisi (URL-14).

2.1.2.2. Yapay seriler

2.1.2.1.1. Neptünyum serisi

Kütle numarası $(4n+1)$ olarak bilinen seri, yapay seri sınıfında yer almakta olan Neptünyum serisidir. Seri başlama elementi ${}_{93}\text{Np}^{241}$ olarak bilinir ve seri ${}_{83}\text{Bi}^{209}$ kararlı elementi ile son bulur (Yaramış, B. 1985).



Şekil 2.4. Neptünyum Bozunum serisi (URL-14).

Seri Adı	İlk Çekirdek	Son Çekirdek(Kararlı)	En kısa yarı ömürlü üye	En uzun yarı ömürlü üye
Uranyum Serisi	${}_{92}\text{U}^{238}$	${}_{82}\text{Pb}^{206}$	1.64×10^4 saniye	4.51×10^9 yıl
Toryum Serisi	${}_{90}\text{Th}^{232}$	${}_{82}\text{Pb}^{208}$	3.04×10^{-7} saniye	1.39×10^{10} yıl
Aktinyum Serisi	${}_{92}\text{U}^{235}$	${}_{82}\text{Pb}^{207}$	21 dakika	7.13×10^8 yıl
Neptünyum Serisi	${}_{94}\text{Pu}^{241}$	${}_{83}\text{Bi}^{209}$	4.2×10^{-6} saniye	2.2×10^6 yıl

Şekil 2.5. Doğal ve Yapay Radyoaktif Serilere Ait Yarı Ömür Bilgileri.

2.2. Radyasyon

Radyasyon ortamda taşına bilen, madde içine nüfus edebilen yani giriciliği yüksek olan ışınlar verilen isimdir. Bu ışınlar aslında enerji taşımaktadır.

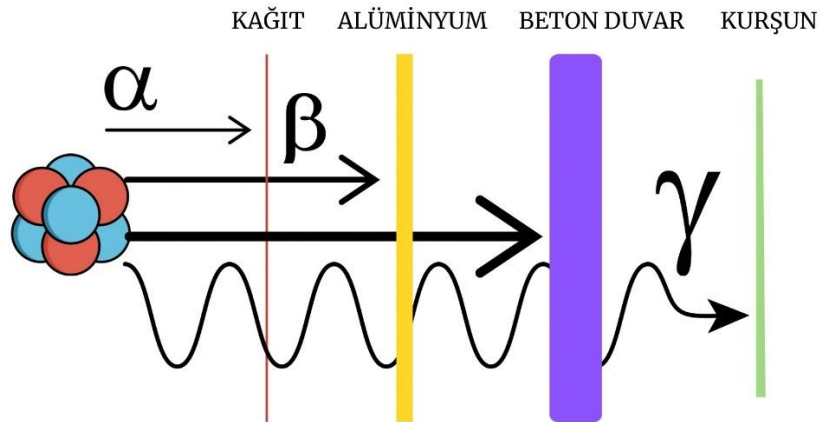
Atom çekirdeğindeki nötron-proton dengesi elementin kararlılık durumunu belirlemektedir. Eğer atom çekirdeği kararsız yapıya sahipse, kararlı bir forma gelebilmek için ışıma yapan maddeye radyoaktif madde diyoruz. Atomun çekirdeği (alfa) α , (beta) β ve (gama) γ gibi ışımlar gerçekleştirebilir ve biz bu olay da radyoaktif bozunma adını veriyoruz (URL-2).

2.2.1. Alfa, Beta ve Gama ışınların özellikleri

Alfa ışıması pozitif yüklü bir ışımadır. Girişi en az olan ışıma olarak da bilinir. Çünkü durdurmak için kâğıt yeterlidir. Fotoğraf filmleri ile etkileşime girer. Yüklü olması sebebi ile elektrik ve manyetik alandan etkilenir. Etkileşime girdiği molekülün iyonlaşmasına sebep olur.

Beta ışıması, gama kadar güçlü değil ama alfa kadar da zayıf bir ışıma değildir. Alfa ışıması durdurulmak için kâğıt yeterli olurken, beta ışıması için metal bir malzeme kullanmak gerekir. Işık hızında olmasına rağmen negatif yük değerine sahip olan beta elektrik ve manyetik alanda sapmaya uğramaktadır.

İşimlar arasında giriciliği en yüksek ve kurşun blokla durdurulabilen ışıma gama ışımasıdır. Yüksüz olması sebebi ile elektrik ve manyetik kuvvet etki etmez bundan dolayı da sapmaya uğramazlar. Kütlesi yoktur, fotoğraf filmi ile etkileşime geçmekteledir. (URL-2).



Şekil 2.6. Alfa, Beta ve Gamanın Giricilikleri.

2.2.2. Radyasyonun madde üzerindeki etkileri

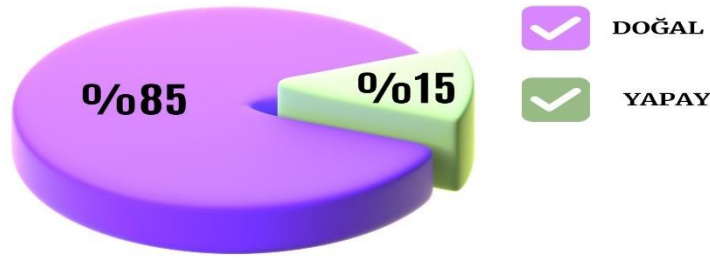
Radyasyonun madde üzerinde meydana getirdiği etkileri iki grup altında inceleyebiliriz:

1. Elektronları Serbest Bırakan Radyasyon
 - a. Alfa tanecikleri
 - b. Beta tanecikleri
 - c. X ışınları, gama ışınları
 - d. Nötronlar
 - e. Kozmik ışınlar
2. Elektronları Serbest Bırakmayan Radyasyon
 - a. Radyo dalgaları
 - b. Baz istasyonları
 - c. Cep telefonları
 - d. Kozmik ışınlar
 - e. Mikrodalga fırınlar
 - f. Radarlar
 - g. Yüksek gerilim hatları
 - h. Kızıl ötesi ışınlar
 - i. Mor ötesi ışınlar

Elektronları serbest bırakan radyasyon demek atom ve moleküllerden elektron koparabilecek radyasyon demektir (URL-2).

2.2.3. Radyasyon kaynakları

Radyasyon kaynakları iki grup şeklinde incelenir. Bunlar doğal ve yapay radyasyon kaynakları olarak adlandırılır (URL-2).



Dünya genelinde doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından alınan dozların oranları

Şekil 2.7. Dünya genelinde doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından alınan dozların oranları.

2.2.3.1. Doğal radyasyon kaynakları

Dünya üzerinde her canlı radyasyonla beraber yaşamaktadır. Çünkü radyasyon doğal ya da yapay halleri ile yaşamımızın bir parçasıdır. Bu radyasyon yaşadığımız yer küreden kaynaklı toprak, su, gıda ya da yapı malzemelerinden tutalım da dış uzaydan gelen güneş ışınları ile yapay birçok kaynaktan ışınlanmaktadır.

Dünya üzerinde yaşayan canlılar, yaşam alanları, yaşam alanlarının fiziki ya da coğrafi koşullarına bağlı olarak belli bir miktar radyasyona maruz kalmaktadır. Bu doz yaklaşık olarak yıllık 2,5 mSv doza karşılık gelmektedir. Bu dozun büyük bir kısmı doğal kaynaklardan oluşurken (%87) bir kısmı zorunda kaldığımız tıbbi uygulamalardan oluşur (%12) kalan yüzdelerik miktarda diğer yapay kaynakların ışımasından kaynaklanmaktadır.

Radyasyon kaynaklarından doğal seriler sınıfında yer alan uranyum serisi; bünyesinde radon gazı ve radonun kısa ömürlü ürünlerini taşımaktadır. Radon gazı topraktaki ve kayalardaki boşluklardan atmosfere doğru yayılım gösterir. TENMAK tarafından yapılan değerlendirmelere göre, radon gazına yıllık yaklaşık olarak 1,3mSv doz maruz kalmaktayız.

Doğal radyasyon kaynakları (TENMAK):

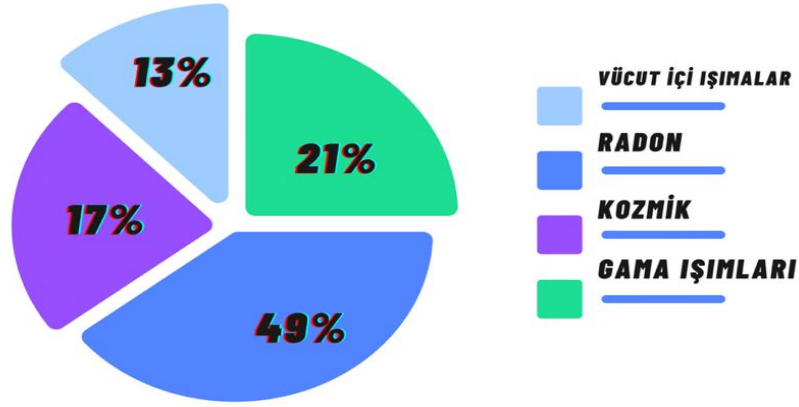
1. Kozmik radyasyon
2. Gama radyasyonu
3. Vücut içi radyasyon
4. Radon.

Kozmik Radyasyon: Doğal radyasyonun birçoğu uzaydan gelen kozmik ışınlarla oluşmaktadır. Ancak gelen kozmik ışınlar atmosfer tabakasında ilerlerken tutulur ve bu sebeple gelen ışınların hepsi yer küreye kadar ulaşamaz. İlk kısımdan geçebilen bir miktar ışın ise; yer kürenin elektromanyetik alanından etkilenir ve bir kısmını daha kaybeder. Atmosferle etkileşimi hala devam etmekte olan kozmik ışınlar yer küreye varana kadar etkisi azalmaktadır. Bu etki en çok kutup bölgesinde kendini gösterirken, ekvator çevresinde daha az olduğu keşfedilmiştir. Ayrıca kozmik ışınlar yer küreye yaklaştıkça etkisi kaybetmesine rağmen günümüzde pilotlar yerden belli bir yükseklikten uçuş yapmaları nedeniyle deniz seviyesinde durmakta olan bir canlıdan yaklaşık 20 kat daha fazla radyasyonun etkisinde kalmaktadır (Davutoğlu, H. 2008).

Gama Radyasyonu: Yaşadığımız yer kürenin taşında, toprağında ya da evlerimizin yapı malzemelerinde olan tüm maddelerde radyonükleidler bulunmaktadır. Bu radyonükleidler sebebi ile tüm canlılar gama ışımasına yani radyasyona maruz kalmaktadır. Buradan da anlıyoruz ki biz sadece dışarıda değil evlerimizin içinde de kullandığımız malzemelerin yapısına bağlı olarak radyasyona maruz kalıyoruz (Davutoğlu, H. 2008).

Vücut İçi Radyasyon: Yaşamakta olduğumuz yer kürenin taşında, toprağında, suyunda ve hatta havasında da radyasyon bulunmaktadır. Bizler nefes alırken soluduğumuz havanın içinde bulunan radyoizotopları vücut içimize almış oluyoruz. Bu izotoplar uranyum ve toryum bozunum zincirinde oluşan radon gazı ve onun ürünleridir. Diğer radyoizotoplar solunum yoluyla vücuda alınsa dahi iç ışımaya katkısı oldukça düşüktür. Topraktaki radon ise yetişen besinler aracılığıyla vücuda alınırken aynı zamanda yiyeceklerin yenme hızları ve besin içindeki radyoaktif elementlerin yoğunluğuna, toprağın hangi iklimde olduğuna ve orada yapılan tarımsal faaliyetlerin durumuna bağlı olarak değişim göstermektedir (Davutoğlu, H. 2008).

Radon: Radium elementinin bozunum aşamasında keşfedilmiş ve bu sebeple radon adı verilmiştir. Radon yapı olarak gaz formunda ve bildiğimiz en ağır gazdır. Rengi ve kokusu olmayan radon kimyasal olarak tepkimeye girmemekte ama radyoaktif özellik göstermektedir. 1900 yılında Friedrich Ernst Dorn tarafından keşfedilmiştir. Atmosfer tabakasında ölçülebilecek kadar radon bulunmaktadır. Radon sağlık alanında da kullanılmaktadır. Bazı hastanelerde radon gazı küçük tüplere doldurulur ve tüplerdeki radon kanserli dokuya nakledilerek tümörlerin yerinde tedavisi gerçekleştirilir (Radon, 2021, June 9).



Şekil 2.8. Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarına maruz kalına radyasyon dozlarının oransal değeri (TENMAK).

2.2.3.2. Yerküre radyasyon kaynakları

Yaşam yerimiz olan dünyanın yapısı incelendiğinde, aslında tam manası ile bir radyasyon kaynağı olduğunu söyleyebiliriz. Çünkü kaya ve mineraller, toprak ve yer küre radyoaktif çekirdekler içermektedir. Bizlerde bu radyasyona dolayısıyla maruz kalıyoruz. Bu radyoaktif ışınları iki grup altında toplaya biliriz:

- Dış ışınlama
- İç ışınlama

Radyasyona maruz kalmamızın en temeline baktığımızda yer kürenin yapısında bulunan U^{238} ve Th^{232} serileri ve bu serilerin radyoizotoplarının yaydığı gama ışınlarıdır.

İnsan vücudu içerisinde bulunan radyoizotoplar gama ışımasının yanında aynı zamanda alfa ve beta ışıması yapmakta bu da iç ışınlamaya sebep olmaktadır.

Dış ışınlama: Dış ışınlamanın temelini incelediğimizde, yer kürenin jeolojik yapısı yani zeminde bulunan kayaç yapısı etkili bir faktördür. Kayaç yapısına bakıldığında granit, volkanik, fosfor kayalarda ya da tortularda radyoaktivitenin yüksek olduğu tespit edilmiştir. İnşa ettiğimiz konutlarda kullanılan yapı malzemelerine baktığımızda ise ana malzemenin toprak ve taş olması sebebi ile az da olsa radyoaktivite ihtiva edebilir. Yani evlerimizin içinde yaşarken de radyoaktiviteye maruz kalmaya devam etmekteyiz. Yapılan deneylerden anladığımız kadarıyla betonarme dediğimiz evlerde ahşap yapıli evlere göre daha çok radyasyona maruz kalıyoruz (URL-3).

Gama yayan U^{238} ve Th^{232} serileri ve K^{40} dış kaynaklı radyasyon alanının belirlenebilir etkilisidir. Uranyum elementi yer küre üzerindeki kaya ve toprak katmanlarına düşük oranlarla dağılmıştır. U^{238} serisinin bozunum ürünlerinden olan Rn^{222} radon gazı

olarak bilinir. Bu gaz kayaçların, toprakların arasından sızarak atmosfer tabakasına dağılır ve bozunmaya devam eder. Uranyum serisi kararlı bir yapıya sahip kurşun elementi ile son bulur. Aynı davranış biçimi toryum serisi içinde geçerlidir. K^{40} 'ın aktivite konsantrasyonu genelde U^{238} ve Th^{232} 'den büyüktür (URL-3).

Toprakta Bulunan Doğal Radyonüklitler (UNSCEAR-2000)				
Radyonüklit Konsantrasyonu (Bq /kg)				
	K-40	U-238	Ra -226	Th -232
Değişim Aralığı	140-850	16-110	17-60	11-64
Ortalama	400	35	35	45

Şekil 2.9. Toprakta bulunan doğal radyonüklitler.

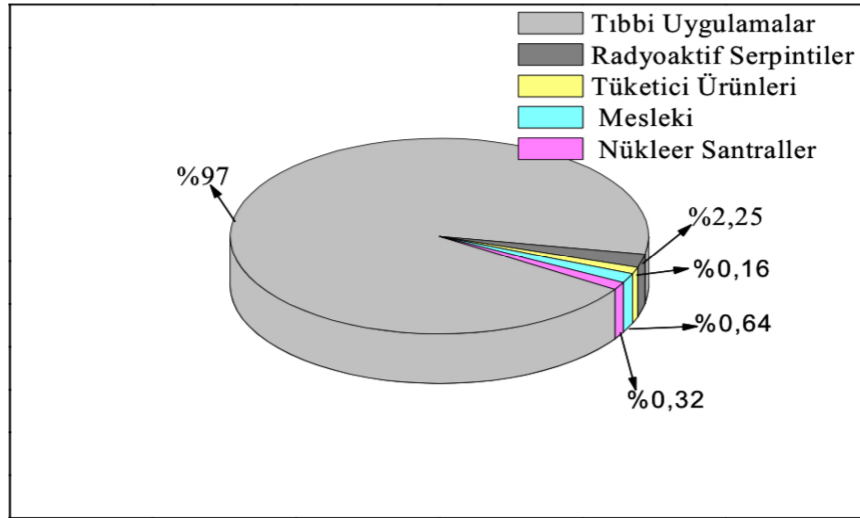
Toprak yapısına ve insanların yaşadıkları bölgeye göre yıllık maruz kaldıkları etkin doz değeri yaklaşık olarak 0,48 mSv olarak ölçülmüştür. Ancak dünya üzerinde bazı bölgeler bu değer kabul edilebilir değerin 20 katına kadar çıkabilmektedir. Örneğin; Fransa, Brezilya veya Hindistan'ın Kerala bölgesi verilebilir (URL-3).

İç Işınlanma: İç ışınlamanın sebepleri araştırıldığında, toprakta yetiştiğimiz besinler ya da soluduğumuz hava ile vücut içine aldığımız radyoizotoplar vasıtasıyla olduğu saptanmıştır. Bunlar içinde en önemli etkeni radon ürünleri oluşturmaktadır (URL-3).

2.2.3.3. Yapay radyasyon kaynakları

Yapay radyasyon kaynakları, doğal radyasyon kaynaklarına nazaran kontrolü bizlerin elinde olan radyasyona maruz kalma biçimidir. Çünkü yer küreden gelen radyasyonu engellememiz mümkün değil ancak hızla ilerleyen bilim ve teknolojiye seçimlerimizle yapay yollarla maruz kalacağımız dozu azaltabiliriz. Yapılan çalışmalar da göstermiştir ki yapay radyasyon kaynakları artsa da değerleri doğal kaynakların oluşturduğu radyoaktif doza göre çok daha düşüktür (TENMAK).

Yapay radyoaktivitenin büyük bir kısmına tıbbi uygulamalar sebebi ile maruz kalıyoruz. Diğerleri sırasıyla radyoaktif serpintiler (nükleer bomba denemeleri), mesleki, nükleer santraller (Nükleer Reaktörlerin çalışması) ve tüketici ürünleri olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 2.10. Yapay Radyasyon Kaynakları

2.3. Radon ve Bozunum Ürünleri Hakkında Genel Bilgiler

Radon, periyodik tablonun 8A sınıfında yer alan asal radyoaktif bir gazdır. Kimyasal olarak ^{86}Rn olarak gösterilmektedir. Ünlü fizikçi Rutherford tarafından 1898 yılında keşfedilmiştir. Uranyum ve toryum gibi radyoaktif elementlerinin bozunumu sırasında açığa çıktığı tespit edilmiştir. Yapı olarak en ağır gaz sınıfında yer alan radon gazı aynı zamanda renksiz, kokusu olmayan, yer kürede ve hava da olan bir gazdır.

Radon aynı zamanda diğer elementlerle kimyasal tepkimeye girmez. Sıcaklık değerlerinde bir değişiklik olduğunda normalde renksiz olan radon gazı sıcaklığı düştüğünde sarı ve parlak bir renk alırken, sıcaklığı artırıldığında turuncu ile kırmızı arası bir renk almaktadır (Güler ve Çobanoğlu, 1997).

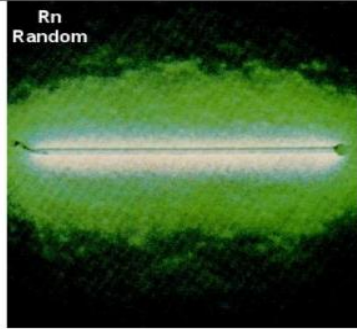
Radonun diğer yapısal özelliklerine bakıldığında, bir soy gaz olması sebebi ile serbest elektronu yoktur ve bu sebeple iletken değildir. Isı iletkenliği noktasında da soy gaz olmasından dolayı atomlar arası etkileşimi düşük yani ısı taşıyıcı olarak da verimli bir madde değildir (Akkurt, 2011).

Bu şema ile Uranyum-238 ile başlayan ve Radon gazının oluşumunu da kapmasayan zinciri görmekteyiz. Radon gazı oluşumunu etkileyen birçok parametre mevcuttur. Bunlar yer kürenin yapısı, sıcaklık, rüzgar ve yağış oranları olarak ifade edebiliriz.

2.4. Radon Gazının Kaynakları ve Taşınımı

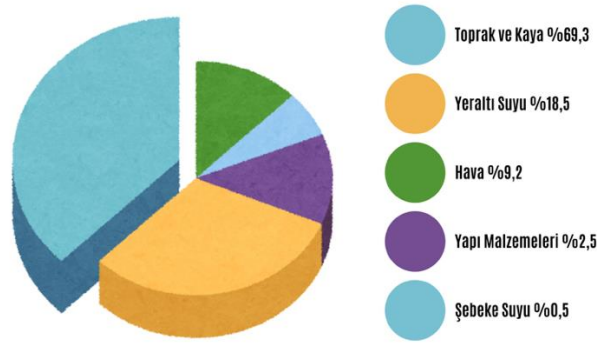
Yaşamakta olduğumu yer küre araştırıldığında kayaçlar, su kaynakları, toprak gibi pek çok materyal bulunmaktadır. Bu materyaller aynı zamanda radon gazı ve bozunum ürünlerinin de kaynağını oluşturmaktadır (kum, çakıl, beton, tuğla, vb.).

Dolayısıyla şehirlerin kurulduğu bölgelerdeki kayaçlar ve toprağın mineraloji ve jeokimyasal bileşimi; kayaçların, toprağın ve kullanılan yapı malzemelerinin radyonüklid içeriği etkili faktörlerdir. Aynı zaman da kayaların tektonik örselenmişliği, özellikle fayların varlığı, yeraltı suyunun varlığı ve seviyesiyle kayaçların, toprağın tipi ve kullanılan malzemenin nem miktarı doğal radyasyon açısından uzun süreçte insan sağlığı üzerinde rol oynayan temel unsurlardır.

Sembol	Rn
Atom Numarası	86
Atomik yığın	(222.0) amu
Erime Noktası	-71.0 °C (202.15 °K, -95.8 °F)
Kaynama Noktası	-61.8 °C (211.35 °K, -79.24 °F)
Proton ve Elektron Sayısı	86
Nötron sayısı	136
Sınıfı	Soygazlar
Kristal Yapısı	Kübik
Yoğunluk	9.73 g/cm ³
Periyodik cetveldeki yeri	O grubu (soy gazlar)
Yarılma süresi	3.8 gün
Elementin resmi	

Şekil 2.13. Radonun Özellikleri (Güler ve Çobanoğlu, 1997).

Buna göre binadaki radon gazının kaynakları şöyledir:



Şekil 2.14. Radon Gazını Başlıca Kaynakları (URL-8).

2.4.1. Toprak ve kaya kaynaklı radon

Radon gazının en önemli temel kaynağı kayalar ve kayalardan türeyen topraktır. Kayalar; Uranyum (U) ve Toryum (Th) miktarı açısından değerlendirildiğinde, asitlik kayaç olarak adlandırılan SiO_2 içeriği %60'tan büyük olan granitik ve volkanik kayaçlar öne çıkmaktadır. Granitik kayaçların ortalama U içeriği 5 ppm, Th içeriği ise 15 ppm'dir (Tzortzis ve Tsertos, 2004). Dolayısıyla bu asitlik granitik ve volkanik kayaçların metaforik eşlenmektedir. Bunlardan türemiş sedimanter kayaçlar ve tüm bu kayalardan oluşmuş toprakların U ve Th içerikleri, bunların dışındaki kayaç ve toprakların içeriklerinden daha yüksek olacaktır. Bu nedenle granitik kayaçların (granit, siyenit, granodiyorit, kuvars diyorit vb.) bunların damar kayaçlarının (pegmatit ve aplit gibi) bulunduğu bölgelerde radon gazı riski çok daha yüksek olacaktır (Örgün ve diğerleri, 2008).

Bu tip kayalarla kaplı bölgelerde kayaçlar tektonik açıdan örselenmişse, fay onu veya onları içeriyorsa, kayaçlar altere olmuşsa (özellikle kimyasal alterasyon) ve bölgede yeraltı su seviyesi de yüksekse, radon gazı riski daha da yükselmektedir (Örgün vd., 2005; Örgün vd., 2007). Radyasyon ve radon açısından bir diğer önemli kayaç ve toprak türü de fosfatlı kayaçlardır. Uranyum atomu, fosfat cevherinde kalsiyum (Ca) atomunun yerini alarak, uranyum cevherleşmesi oluşturacak kadar zenginleşebildiğinden bu alanlarda radyoaktivite, dolayısıyla radon açısından da dikkat edilmesi gereken alanlardır (Misra, 2000). Bu açıdan bir diğer önemli alan da asitlik kayaçlarla ilişkili olarak bu kayalarda gelişmiş hidrotermal alterasyon zorları (Örgün vd., 2005), maden sahaları ve bu kayaçlarla kontak halindeki karbonatlı kayaçlar ve kumtaşları ile kaplı alanlardır. (Şekil 2.12.1)



Şekil 2.15. Fay zonu boyunca hidrotermal akışkanlar ve buhar emisyonlar vasıtasıyla oluşmuş bir hidrotermal alterasyon zonu (URL-6).

Kayaçlar ve toprakta ^{226}Ra 'nın bozulmasıyla oluşan radon, önce kapalı gözeneklerin içine girer ve buralara tutunur (birikir), sonra toprağın hava dolu gözeneklerine iletilir ve bu gözenekler vasıtasıyla atmosfer tabakasına doğru hareket eder. Dolayısıyla Radon gazının atmosfere geçebilmesi, toprak ya da kaya zeminin gözenekleri arasında yayılması ile mümkün olur. Örneğin; killi birim (ya da birimlerde) radon geçirgenliği düşük iken radon geçiş oranı silt, çakıl dolgu ve dolgu zeminlere doğru giderek artar (Şekil 2.15). Yapılan hesaplamalar göstermiştir ki topraktan gelen radyoaktivitenin yalnızca küçük bir miktarı çatlaklı yapısı olmamasına rağmen beton zemine sızar, eğer beton tabakada çatlaklar varsa iletilen aktivitenin %25'i yayılma yolu ile beton tabakaya, oradan da bina içine aktarılmaktadır (UNSCEAR Report, 1982) (Şekil 2.16).



Şekil 2.16. Hidrotermal Alterasyon ve ilişkili cevher zonu (URL-7).

Sonuç olarak doğal zeminden radon salınımı oranı aşağıdaki etkenlere bağlı olarak değişir.

- Zemini oluşturan kayaç ya da radyum (^{226}Ra) miktarı
- Radyum'un bozunma oranı ve radon gazının yayılma gücü
- Toprağın geçirgenliği (porozite, permeabilite, kıvam, vb.)
- Toprağın niteliği (nem miktarı, suya doymun olma, kuruluk, donma, karla örtülü olma durumu, vb.)
- Meteorolojik durum (hava sıcaklığı, basınç, rüzgâr etkisi, toprağın sıcaklık durumu, vb.)
- Bölgenin yüksekliği (rakım)

2.4.2. Su kaynaklı radon

Yeraltı kaynak suları başta olmak üzere bütün sular bir miktarda olsa uranyum içeriğinden, sularda radon gazı bulunur. Buna ek olarak, suyun temas halinde olduğu toprak ve kayaçlarda bulunan radon; gözenek ve çatlaklardan sızarak suya karıştığı için suyun radon içeriğini artırabilir. Bu anlamda yeraltı suları daha uzun süre kaya ve toprakla temas ettiği için radon konsantrasyonu yüzey sularından daha yüksektir. Bu durum içme ve temizlik amaçlı kuyu ve kaynak suyu kullanan bölgelerde mutlaka göz önünde tutulmalı ve suların radon içeriği mutlaka ölçülmelidir. Yapılan çalışmalar bina zemininde ve bina içinde su kaynaklarındaki radon seviyesi yükseldikçe bina içindeki toplam radon seviyesinin de arttığı gözlenmiştir. Kapalı mekanlarda ölçülen radon gazının yaklaşık %0,2'sinin yüzey sularından, %20'sinin ise yeraltı sulardan kaynaklandığı ortaya konulmuştur ya da kaynağı belirlenmiştir (UNSCEAR Report 2006).

Suda bulunan radon, nasıl kullanıldığına bağlı olarak ortamdaki miktarı değişkenlik gösterir. Örneğin; sıcaklığı arttığında, çalkalandığında ya da püskürtme yapıldığında salınan radon miktarının arttığı tespit edilmiştir. Avrupa'da kişi başına ortalama 0,2-0,4 m³/gün su kullanıldığı varsayılarak, ev içindeki havaya musluk suyundan radon gazı salınımının %0,5-0,6 olduğu rapor edilmiştir.

2.4.3. Doğal gaz ve kömür kaynaklı radon

Günümüzde en yaygın ve önemli ısınma kaynakları kömür ve doğal gazdır. Ülkemizde doğal gaz, özellikle büyük şehirlerde daha yaygın kullanılırken, kömür kasabalar, köyler ve alt yapısı tamamlanmamış şehirlerde kullanılmaktadır. Doğal gazın üretimi ve depolanması süresinde radyoaktif bozunmasıyla radon konsantrasyonu azalmakla

birlikte; evlerde ısıtma ve yemek pişirmede kullanıldığı esnada doğal gazdan radon gazı salınımı olmakta ve ev içi radon miktarını da arttırabilmektedir. Eğer evler yeterince ve uygun şekilde havalandırılırsa yanma ürünleri dışarı atılır ve bu takdirde doğal gaz radon kaynağı olarak ihmal edilebilir.

Günümüzde köy ve kasabalarda, ülkemizde ve birçok ülkenin de yerleşim yerinde kömür tek yakacak kaynağı olarak kullanılmaya devam etmektedir. Sedimanter bir kayaç olarak da tanımlayabileceğimiz kömür, oluşum ortamının litolojik özelliklerine bağlı olarak yüksek oranlarda Uranyum elementini ihtiva etmektedir. Dünya çapında bulunan kömürün ortalama U değeri 0,5 mg/kg – 10mg/kg arasında değişmektedir (Swaine vd., 1995). Türkiye kömürlerinin U içeriği 0,32 mg/kg – 140 mg/kg (ortalama 6,9 mg/kg) arasında değişmektedir (Palmer ve diğerleri, 2004). Ülkemizin önemli kömür üretim bölgelerinden biri olan Edirne-Keşan bölgesi kömürlerinde U içeriği 5,2mg/kg – 16 mg/kg arasında değişirken (Eraslan vd., 2014). Geçmişte İstanbul'un kömür ihtiyacını karşılayan Avcıkoru-Şile bölgesi kömürlerinin U içeriği ise 3,1 mg/kg – 20,8 mg/kg arasında değişmektedir (Sungur, 2012). Görüldüğü gibi kömürün U içeriği, radyoaktif elementlerin en fazla zenginleştiği granitik kayaçların ortalama U içeriğinden yüksektir. Bu değerler hem yanma hem de depolanma süresince kömürün önemli bir radon kaynağı olduğunu göstermektedir. Ülkemizde gerek yerli gerekse de yurtdışından ithal edilen kömürlerde yeterli veya hassas radyoaktif inceleme yapılmamaktadır. Oysa ısınma amaçlı satılan kömürlerin mutlaka U, Th, K, ²²⁶Ra ve ²²²Rn içerikleri kontrol edilmeli ve radyoaktif niteliği olan kömürlerin kullanımı yasaklanmalıdır. Bu nedenle kömür ile ısınan evlerde ve binaların bodrum katlarında havalandırmaya özel bir önem verilmeli, bodrum katları düzenli olarak havalandırılmalı ve bu konuda halk bilinçlendirilmelidir.

2.4.4. Yapı malzemeleri kaynaklı radon

Yapı malzemelerinden kaynaklı radonla ilgili günümüzde birçok uygulama yapılmaktadır. Bu uygulamalardan elde ettiğimiz değerlere göre bina içindeki radon konsantrasyonuna en büyük katkı temelinde olan kaya, toprak ve bina yapımında kullanılan malzemelerden gelmektedir. Bina içindeki radonun kaynağına baktığımızda doğal radyoaktif seri olan uranyum ve toryumun yapı malzemelerinde de var olmasından dolayı sürekli bir radon gazı salınımı olmasıdır. Bu sebeple bina içinde artan radon konsantrasyonu iç ve dış radyasyon değerlerine katkı sağlamaktadır (Pişkin, 2016).

Tablo 2.1. Yapı malzemelerindeki ^{226}Ra aktivite konsantrasyonları ve ^{222}Rn salınım hızları (Kapdan, E.,2009).

Yapı Malzemesi	^{226}Ra Konsantrasyonu (Bq kg^{-1})	^{222}Rn salınım hızı ($\mu\text{Bqkg}^{-1}\text{s}^{-1}$)
Tahta	-	0,2
Beton	9-32	2,5-20
Tuğla	45	1,0
Alçı Taşı	12	6,3
Fosfattan elde edilen alçı taşı	580-740	0,13-0,20
Çimento	50	1,0
Kum	10	3,0

Tablodaki değerlerden yola çıkarak bina inşasında kullanılan yapı malzemeleri oldukça gözenekli yapıya sahip olduğu anlaşılmaktadır. Bu yüzden radon gazı bulunduğu çatlak ya da gözeneklerden iç mekân da yayılmaktadır. En hızlı Rn^{222} yayılımı betonda görülürken en yavaş salınım değerinin tahta (ahşap)’da olduğu tespit edilmiştir. Yapı malzemelerinin temelini toprak ve kum oluştururken, onların da içinde uranyumun bozunum ürünü olan radyum ve radonun varlığı kaçınılmazdır (TENMAK(TAEK), 2012).

2.5. Sağlık Üzerindeki Radon Etkisi

Radon yapı olarak çoğunlukla gaz formunda olan radyoaktif bir maddedir. Yapılan çalışmalar göstermiştir ki evler, iş yerleri, kreşler ya da genel kamu binaları dahil olmak üzere insanlar iç mekanlarda dış ortamlara göre daha fazla radona maruz kalmaktadırlar. Bunun temel nedeni ise bina içinde kullanılan su, bina yapısında olan çatlaklar ve yapı malzemelerinin içinde bulunan radyoaktif elementlerdir. Zamanının büyük bir kısmını kapalı mekanlarda geçirmek durumunda olan insanlar radon gazına daha çok maruz kalmaktadır.

Günümüzde enerji tasarrufu sebebi ile birçok binaya yalıtım yapılmaktadır. Bu da bina içi havalandırmayı olumsuz etkilemektedir. Havalandırılmayan mekânda biriken radon gazı insanları sağlık noktasında olumsuz etkilediği tespit edilmiştir.

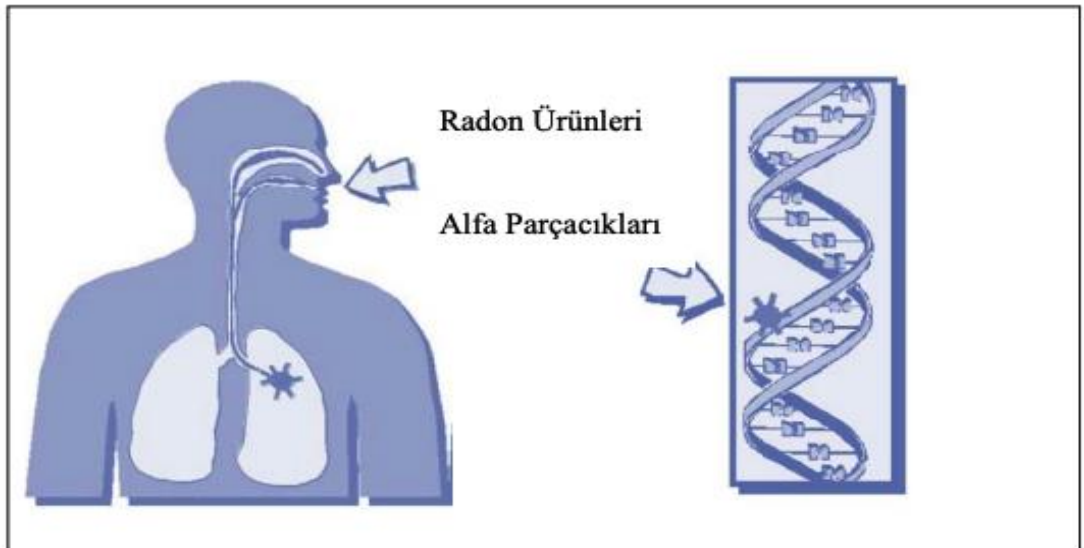
Radon etkisini azaltmak için nasıl ki havalandırma önemli, aynı zamanda yapı malzemeleri üzerinde de durulması gereken detaylar bulunmaktadır. Bu sebeple inşaat yapımında da düzenleme olmalı ancak; şu an böyle bir uygulamanın olmaması, insanların radon gazı ile ilgili bilgi eksikliği, sadece bunlar da değil kapalı alanda

sigara tüketimi ve insanların yaşları da radondan olumsuz etkilenmelerinin nedenleri arasında sayılabilir.

Genel olarak solunum yolu ile akciğerlerimize aldığımız radon gazı yarı ömrü itibari ile aslında insan bedenine zarar vermeden yine nefes yolu ile geri çıkartılmaktadır. Ancak yine radon konsantrasyonun yüksek olduğu bir ortamda uzun süre orada kalmak canlı dokuya zarar vermektedir. Örneğin; Kanada gibi soğuk ülkelerde kapalı alanlarda geçirilen sürenin artmasıyla akciğerlere yapışan radyoaktif parçacıklar DNA mutasyonuna sebep olarak akciğer kanser riskini arttırmakta hatta verilere göre yılda en az 3000 kişinin ölümüne neden olduğu kayıt altına alınmıştır (Kanada İstatistikleri, 2016).

Dikkat çeken diğer bir örnekte madenlerden elde edilmiştir. İsveç ve A.B.D. metal madenleri, Britanya ve Fransa demir madenleri ile Çinli ve Britanyalı kalay madenlerinde çalışan maden işçilerinin maruz kaldıkları radon gazından dolayı akciğer kanseri oldukları tespit edilmiştir (National Research Council, Washington, DC, 1988).

Dünya Sağlık Örgütü, WHO (World Health Organization) ve A.B.D. Çevre Koruma Ajansı, EPA (Environmental Protection Agency) radon gazını “A-Sınıfı kanserojen madde” olarak ifade etmekteledir (EPA,2005; WHO,2009).



Şekil 2.17. Radon bozunum ürünleri tarafından akciğerlerde yapılan ışınlama (EPA, 2001).

Radon gazı farklı tıp alanlarında çeşitli komine tedavisi için uygulanmaktadır. Örneğin; Romatizmal ateş, travma sonrası oluşan durumlar, kas-iskelet sistemi

hastalıkları, lokomotor bozukluklar, koroner kalp hastalıkları, bağırsak sendromları gibi hastalıkların tedavi süreçlerinde alternatif yöntem olarak radon kullanılmaktadır.

Hatta bu amaç için kurulmuş olan Avrupa ve Kuzey Amerika'daki terapi merkezleri 30-160 kBq/m³ konsantrasyonunda radon gazı ihtiva etmektedir. Bu mekanlarda yapılan terapi seansları belirli bir süre radon gazının solunum yolu ile vücuda alınması ile gerçekleşmektedir. Ancak bu tedavi süreci dikkatlice denetlenmeli ve potansiyel sağlık riskleri göz önünde bulundurulmalıdır (Razumov et al., 2015).

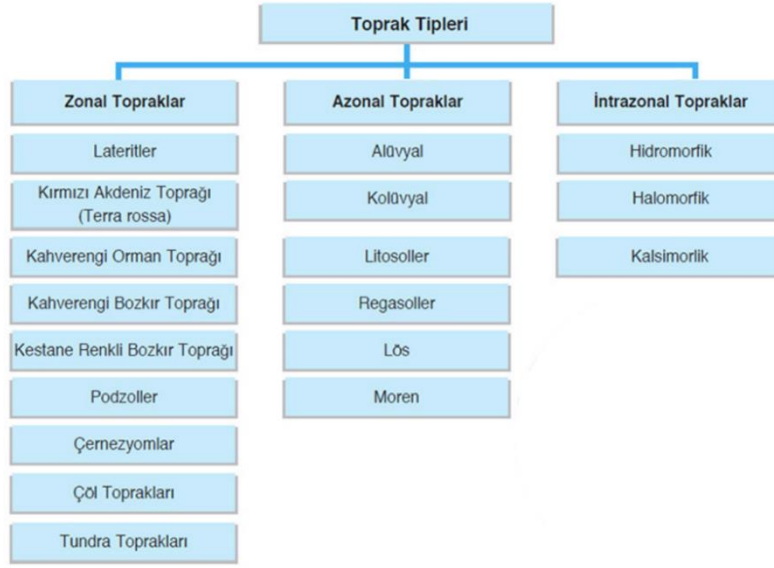
2.6. Yaşam Alanında Radona Karşı Alınacak Önlemler

Yaşam alanında radona karşı alınabilecek en önemli yöntem; radonun yaşam alanlarımıza girişine mâni olmak ve girdikten sonra da dışarı tahliye edilmesini sağlamaktır. Bunun için yapılabilecek bazı önlem önerini şöyle sıralaya biliriz:

- Yaşam alanlarımızı inşa ederken bir takım yapı malzemeleri kullanmaktayız. Ancak bu maddeler toprak menşeli olması sebebi ile radyoaktif ürünler barındırmaktadır. O yüzden seçim yaparken bu değerlere bakarak malzeme seçimi yapmakta her daim yarar vardır (Ramli, 1997).
- Yapı inşa edilmeden kazılan temel alanı izolasyon malzemeleri ile kapatılmalıdır. Bunun amacı toprak içindeki radonun bina içine geçişini engellemektir (TENMAK).
- Yapıların duvarında veya binaya giren borularının olduğu yerlerdeki çatlaklar kapatılmalıdır. Gerekirse izolasyon uygulanmalıdır.
- Su ve doğalgaz sistemleri periyodik olarak kontrol edilmelidir.
- Bina içindeki radon gazının tahliye edilmesi için havalandırmanın sürekli yapılmasına dikkat edilmelidir.
- Pencere havalandırmaya uygun şekilde yerleştirilmelidir. Radon gazı toprak yapısına bağlı olarak konsantrasyon miktarı artan bir gaz olması sebebi ile pencere konumunun doğru olması dışında ek bir havalandırmaya da gerek duyabilmektedir (Ramli,1997).
- Yapımı tamamlanmış, yaşamsal faaliyetlerin olduğu alanlarda radon seviyesi belirlenen değerleri aşması durumunda, bina içerisindeki radonu tahliye etmek

- Temelden binaya nüfuz edebilecek olan radon gazı, basınç farkı oluşturularak havalandırma sistemine yönlendirilebilir. Havalandırma sistemi dışarıya verilerek radon emniyetli bir şekilde dış havaya aktarılır. Şayet radon derişimi fazlaysa fan ilave edilerek dışarı hava iletimi aktifleştirilebilir (Ramli,1997).

2.7. Toprakların Fiziksel Karakteristikleri



Şekil 2.19. Toprak tiplerine ait şema.

2.7.1. Zonal topraklar

Bir bölgede etkisini gösteren iklim ve bitki örtüsüne ya da zeminin düz veya eğimli yapıya sahip olmasına göre yer küredeki kayaların çözünmesi sonucunda oluşan toprak yapısıdır.

2.7.1.1. Laterit topraklar

Sıcak ve nem oranının yüksek olduğu bölgelerde görülen bir toprak çeşididir. Yapı olarak fazla yıkanmış ve bu sebeple mineral bakımında da zayıf topraktır. Humus oranı düşük ve verimsiz bir toprak olan laterit topraklar, oksitlenmeden dolayı da kırmızı renkte görünmektedir. İklim koşullarına bakıldığında ülkemizde bu toprak çeşidine rastlanmamaktadır.

2.7.1.2. Kırmızı topraklar (terra rossa)

Kırmızı topraklara ülkemizde Akdeniz bölgesinin kıyı kesimlerinde rastlanmaktadır. Bu toprak cinsi kalker üstünde oluşmakta ve kireç oranı oldukça fazladır. Organik madde yönünden de zayıftır.

2.7.1.3. Kahve rengi orman toprakları

Ilıman okyanus iklim bölgelerinde görülmekte olan bu toprak çeşidi yapraklarını dökmekte olan orman altlarında oluşmaktadır. Toprak yapı olarak; humus bakımından zengin, kireç oranı düşük ve verimi yüksek topraklar olarak bilinmektedir. İklim koşulları göz önüne alındığında ülkemizde bu toprak cinsine rastlanmamaktadır.

2.7.1.4. Podzol topraklar

Nemli ve soğuk iklim koşullarına sahip, iğne yapraklı ormanların altında oluşmaktadır. Toprak yapı olarak mineral bakımından fakir ve verimsizdir. Podzol topraklar kül rengi bir görünüme sahiptir.

2.7.1.5. Tundra toprakları

Tundra ilkimi yani kutup altı bölge olarak da söyleyebileceğimiz yerde görülmektedir. Toprak yılın yaklaşık 9-10 ayı karlarla kaplıdır bu sebeple kalan 2-3 ay içinde eriyen karlar toprağı bataklık haline getirir. Kısa süreli yeşeren toprak humus bakımından fakir ve tarım için elverişli değildir.

2.7.1.6. Çöl toprakları

Çöllerde görülen toprak çeşididir. Yapı olarak yetersiz yağış alması sebebi ile kireç birikimi çok, fiziksel ayrışma fazla, bitki örtüsü cılız ve humus oranı düşük topraklardır. İklim sebebi ülkemizde rastlanmamaktadır.

2.7.1.7. Kahverengi ve kestane renkli bozkır toprakları

İklim koşullarının etkisi ile bu toprak tipi ılıman karasal (step) iklim bölgelerinde görülür. Bu toprak çeşidinin özelliğı yağışların yetersiz olması sebebi ile yıkanma azdır ve kireç birikimi fazladır. Ülkemizde İç Anadolu ve doğu bölgelerinde görülmektedir. Toprak sahip olduğu yükselti arttıkça düşen sıcaklıkla birlikte kahverenginden kestane rengine doğru geçiş yapmaktadır.

2.7.1.8. Çernozyom topraklar (kara topraklar)

Çernozyom halk arasında kara toprak olarak bilinen bir toprak çeşididir. Sert karasal iklimin görüldüğü bölgelerde bulunur. Toprak yapısı humus oranı yüksek ve verimlidir. Bitki örtüsü çayırlardır. Ülkemizde Kuzeydoğu Anadolu özellikle Kars, Ardahan ve Erzurum çevresinde görülmektedir.

2.7.2. Azonal topraklar (taşınmış topraklar)

Dış kuvvetlerin aşındırması örneğın; rüzgarlar, akarsu ve buzullar tarafından taşınan malzemelerin birikmesi ile oluşan mineral bakımından zengin topraklardır. Bu toprak yapısında bol miktarda organik madde ve humus bulunmaktadır.

2.7.2.1. Alüvyal topraklar

Akarsu taşınması sırasında biriken topraklardır. Mineral bakımından da zengin olan bu toprak çeşidi ülkemizde ovalarda, vadi tabanlarında ve deltalarda rastlanmaktadır.

2.7.2.2. Ls topraklar

Rüzgarların fiziksel parçalanmaya maruz kalan parçacıkları başka bir yere taşıması ile oluşan toprak çeşididir. Bu katman yapı olarak oldukça verimlidir. Mineral bakımından da zengin olduğu bilinmektedir. Ülkemizde az da olsa İç Anadolu bölgesinde rastlanmaktadır.

2.7.2.3. Moren

Morenler, buzullar tarafından taşınan topraklardır. Mineral bakımından fakir, verimsiz ve taşlık alanlardır. Ülkemizde dağların yüksek kesimlerinde rastlanmaktadır.

2.7.2.4. Regosoller

Volkanik arazilerde oluşan kumlu topraklardır. Ülkemizde Nevşehir ve Niğde çevresinde görülmektedir.

2.7.2.5. Kolüvyal topraklar (yamaç döküntüleri)

Dağların yamaçlarında çeşitli doğal olaylar örneğin; yağmur, rüzgâr ya da akarsu taşıması sonucunda biriken toprak çeşididir. Toprak yapı olarak kumlu, akıllıdır. Ülkemizde dağlık bölgelerinde görülmektedir.

2.7.2.6. Litosoller topraklar

Dağların yamaçlarındaki kumlu taşlı malzemenin içinden kum zamanla taşınır ve geriye sadece taşlı topraklar kalır. İşte bu taşlı toprak yapısına litosol denir ve erozyona açık yamaçlarda görülür.

2.7.3. İntrazonal topraklar

Oluşumunda yeryüzü şekilleri ve anakaya gibi faktörler etkili olmuştur. Anakayanın özelliği toprağın yapısını belirleyici etmendir.

2.7.3.1. Halomorfik topraklar (tuzlu topraklar)

Yarı kurak ya da kurak bölgelerde halomorfik toprak tipleri görülmektedir. Bu bölgelerde özellikle yazın buharlaşma hızı yüksektir. Bundan dolayı suda çözünmüş halde olan tuzlar yüzeyde birikmektedir. Ülkemizde grldğu yerler; Erzurum Ovası'nın bazı bölgelerinde Küçük ve Büyük Menderes deltasının denize yakın kesimlerinde görülmektedir.

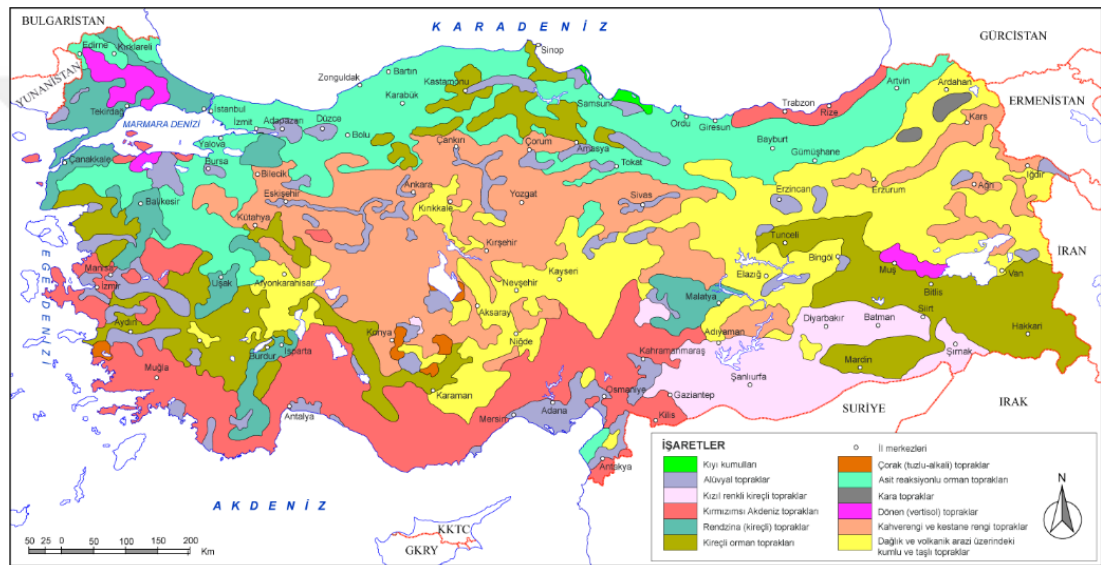
2.7.3.2. Hidromorfik topraklar (bataklık toprakları)

Taban su seviyesinin yüksek olduğu, zeminin daha çok bataklık olduğu yerlerdeki topraklara verilen isimdir. Tarıma elverişli olmayan arazilerdir. Ülkemizde Çukurova, Erzurum Ovası gibi belli yerlerinde rastlanmaktadır.

2.7.3.3. Kalsimorfik topraklar

Anakayanın kalker olduğu alanlarda görülen kireçli topraklardır. İkiye ayrılır:

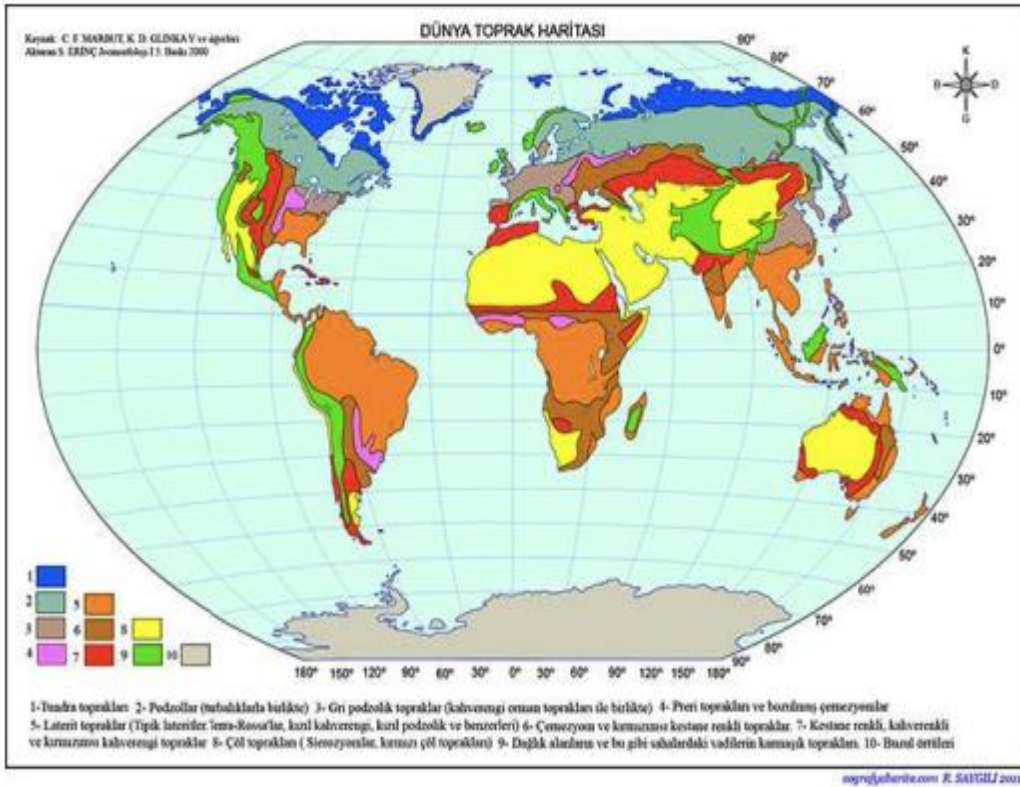
- Rendzinalar: Üst kısmı koyu alt kısmı ise kireç sebebi ile beyaz ve yumuşak kireçtaşı üzerinde oluşan topraktır. Ülkemizde Akdeniz'in batısı, Ege, Güney Marmara ve Trakya bölgesinde görülmektedir.
- Vertisoller: Anakara üzerindeki çatlaklara dolan kum, çakıl, taş gibi malzemelerin yağmurun yağmasıyla su dolan çatlaklardan tekrar yüzeye çıktığı toprak tipine verilen isimdir. Ülkemizde en belirgin olarak Ergene Havzasında rastlanmaktadır.



Kaynak: İ. TALAY Türkiye Coğrafyası-1 (Fiziki) 2000

TÜRKİYE TOPRAK TİPLERİ DAĞILIŞ HARİTASI

Şekil 2.20. Türkiye'deki toprak tiplerine ait harita (Talay, 2000).



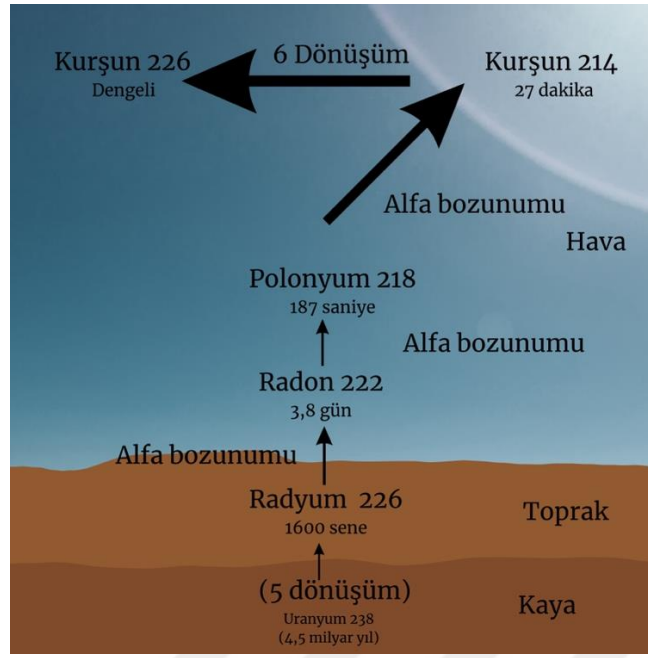
Şekil 2.21. Dünya üzerindeki topraklara ait harita (URL-16).

2.8. Topraklarda Radon Yayılımı ve Radon Yayılım Hızlarının Belirlenmesi

Yerkürede olan kayaçlar, toprak, çakıl kum gibi malzemeler ve hatta su kaynakları bünyesinde radonu taşımaktadır. Bu sebeple sürekli bir radon gazı yayılımı söz konusudur. Radyum elementinin toprakta radyoaktif bozunuma uğraması sonucunda radon gazı oluşmaktadır. Bu gaz toprak yapının kırık ve boşluklu noktalarından sızarak atmosfer tabakasına geçmektedir.

Bu geçişin olması ya da yavaş olması toprağın sahip olduğu nem yoğunluğuna, boşluk miktarına ve yapının geçirgenliğine bağlı olarak değişik göstermektedir. Toprak çeşidi noktasında killi yapıya sahip topraklar çakıllı ya da kumlu yapıya sahip topraklara göre daha az bir geçirgenliğe sahiptir.

Yapılan toprak çalışmalarında toprağın alt katmanlarının da ne kadar önemli olduğu anlaşılmıştır. Çünkü alt tabaka eğer volkanik veya metamorfik yapıya sahipse radon konsantrasyon değerlerinin daha yüksek çıktığı kanıtlanmıştır (Ekin, 2013).



Şekil 2.22. Radon Yayılım Şeması.

Radon yayılım noktasında farklı bölgelerde değişiklik göstermektedir. Bu aynı bölgenin farklı mevsimlerinde bile gözlenebilmektedir. Radon yoğunluğu coğrafi konum dahi önem arz etmektedir. Örneğin; kutup bölgesindeki toprak miktarının azlığı radon yayılım miktarının da az olmasını sağlamaktadır. Toprak içerisinde radon yayılımını üç ayrı yolla gerçekleştirir:

- 1) Yayılma: Toprakta üretilen radonun yalnızca bir bölümü katı tanecikleri terk eder ve toprağın gözeneklerine yerleşir. Toprakta üretilen radon taneciklerinin kaçan kısmına “yayılma katsayısı” yahut alternatif olarak “yayılma kesri” veya “yayılma gücü” denir (Nazaroff, 1992).
- 2) Difüzyon: Radon gazının toprak içindeki göç hareketidir. Ancak radon yarı ömrü kısa olmasından dolayı sadece birkaç metre ile sınırlıdır (Yasin, 2020).

Tablo 2.2. Farklı ortamlardaki radon difüzyon sabitleri.

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

- 3) Konveksiyon: Konveksiyon, tektonik faaliyetler ve meteorolojik koşullarında etkisi ile basınç farkından meydana gelir. Tablodan da görüldüğü üzere farklı ortamlardaki difüzyon uzaklıklarının değişkenlik gösterdiği belirtilmiştir. Değerlere bakıldığında toprak ne kadar gözenekli ise radonun havaya ulaşması o kadar kolay olmaktadır (Kaynar, 2011).

Topraktan radon yayılımı (Kapdan, 2009)

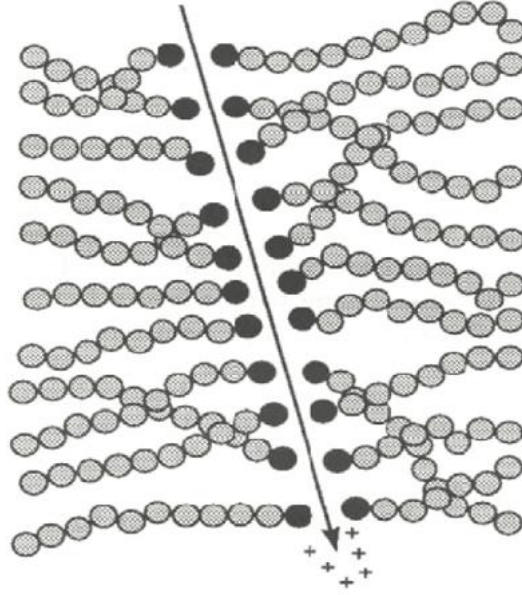
- Topraktaki radyum yoğunluğuna
- Bölgenin rakımına
- Meteorolojik etmenlere (Rüzgar, hava sıcaklığı, topraktaki nem oranı, vb.)
- Toprağın yapısal özelliği (karla kaplı olması, suya doymun olması, kuraklığı vb.)
- Toprak yapısının gözenek miktarına bağlıdır.

2.9. Katıhal Nükleer İz Dedektörü ve Kapalı Kutu (Sealed Can) Metodu

İlk olarak katı hal nükleer iz dedektör yöntemini inceleyelim; bozunuma uğrayan element çeşitli ışımlar yapmaktadır. Bunlar α (alfa), β (beta) ve γ (gama) ışımlarıdır. İçlerinden alfa ışıması plastik filmler ve bazı malzemeler üzerinde etkilidir. Alfa ışımasından etkilenen filmlerin yapısal özellikleri, elektriği iletmez ve doğal yapılıdır. Doğal bir yapıya sahip olan filmler alfa ışımasına maruz kalınca yapısal deformasyona uğrar. Ancak bu deformasyon gözle görülebilir boyutlarda değildir. Bir takım kimyasal yıkama işlemi yani kazıma işlemi yapıldıktan sonra izler mikroskoplar eşliğinde görülebilir bir hale gelmektedir. Filmde meydana gelen izler bize alfa parçacık sayısı hakkında bilgi vermektedir. Filmler diğer ışımalara karşı duyarlı olmaması sebebi ile uygun hesaplama yöntemleri ile iz sayısından yola çıkarak radonun ortamdaki konsantrasyonunu hesaplamak mümkündür (Akar, 2010).

İz oluşum mekanizması: Deneylerde kullanılan filmler (LR115) alfa parçacıklarına karşı duyarlıdır. Alfa parçacıkları ağır yapılı ve yüksek enerji taşıdıklarından dolayı film üzerinde gözle görülmeyen küçük hasarlar meydana getirmektedir (Nikezic ve Yu, 2004; Tommasino ve Furlan, 1980).

Bu enerji kaybı sırasında, filmin polimer zincirinde kopmalar ya da yeni kimyasal bileşenler meydana gelmektedir. Meydana gelen şekil deformasyonlarının ölçüsü 1nm ile 10 nm aralığında değişen gözle görülmeyen izler meydana getirmektedir.



Şekil 2.23. Polimer zincirin ağır toplar taradın kırılması.

Görseldeki yatay çizgiler katı hal iz dedektörünün polimer yapıdaki atom dizilimlerini ifade etmektedir. Yukarıdan aşağı dik inen orta hattaki ayırım ise alfa parçacıklarının izlediği yolu ifade etmektedir. Orta hat boyunca ilerleyen (+) işaretler katı hal filmlerinin alfa parçacıkları tarafından iyonize olup, oluşturduğu hasarı anlatmaktadır. Bu görsel bize film içinde hareket eden yapı olarak yüksek enerjili ve büyük kütleli alfa parçacığının polimer malzeme ile etkileşime girerek nasıl hasar verdiğini izlen oluşma mekanizmasını ifade etmektedir (Durrani ve Bull, 1987).

İz kazıma aşamasında kimyasal çözeltilerden yararlanılmaktadır. Bu çözeltiler örneğin; basit alkali yapısıyla NaOH veya KOH ya da asit yapılı olması sebebi ile HF veya HNO₃'tür. Bu işlem sırasında gözle görülmeyen yani gizli kalmış olan izler µm çaplı hale gelecek biçimde genişletilmektedir. Bu boyuta geldikten sonra izleri mikroskop altına da görebilmek mümkündür.

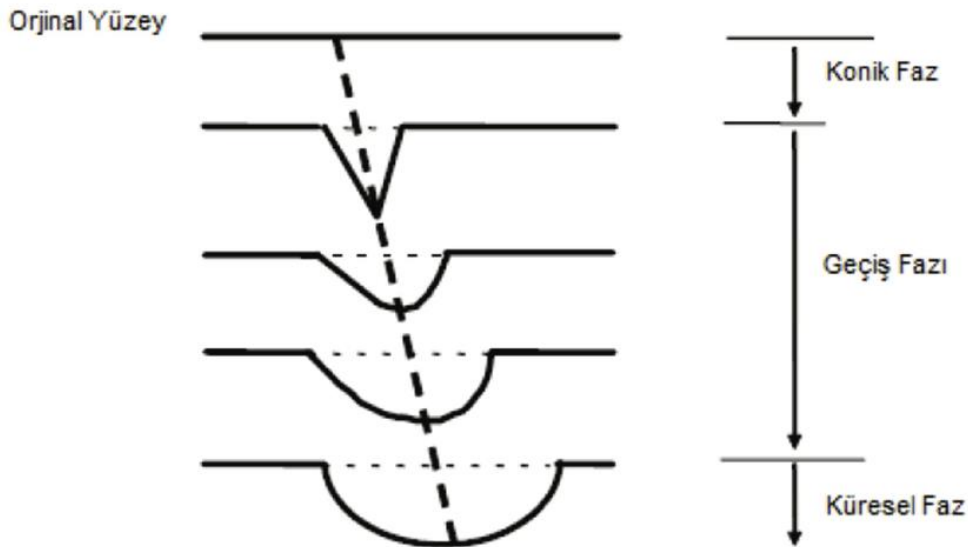
Çözelti oluşturulurken seçilecek olan çözelti seçimi, yapılacak olan deneye göre değişiklik göstermektedir. Örneğin; LR-115 filmi kullanılarak yapılan deneylerde kazıma işlemi %10'luk 2,5N NaOH kullanılarak 60 °C sıcaklık değerinde iki saatlik bir sürede gerçekleştirilmektedir.

Kimyasal olarak gerçekleşen iz kazıma, deformasyona uğramış kısımlar deformasyona uğramamış kısımlara göre daha hızlı tepki vermesine dayanan bir yöntemdir.

Tablo 2.3. Dedektörlerin tiplerine göre iz kazıma şartları.

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

Yapılan iz kazıma aşamasında çözelti içerisine daldırılan polimer yapılı filmlerde, çözeltinin kazıma hızı hasar görmüş ve hasar görmemiş yüzey arasında farklılık göstermektedir. V_B ile ifade edilen hasara uğramamış yüzeyin kazınma hızı olurken, V_T ile ifade edilen hasar görmüş yüzeydeki iz kazıma hızı olarak ifade edilmektedir. V_B hız değerleri ortamın sıcaklığı, konsantrasyon değerleri ve geçen zamana bağlı olarak değişiklik göstermekteyken; V_T gelen parçacığın kütlesi, yükü ya da enerji kaybetme oranına bağlıdır.



Şekil 2.24. Katı hal izlerinin kimyasal banyo sürecinde sahip olduğu görünüm.

İz kazıma aşamasında film üç ayrı fazdan geçer. Bunlar konik faz, geçiş fazı ve küresel faz olarak ifade edilmektedir. İlk olarak konik faza bakacak olursak, bu aşama filmin hasarlı yolun bitişine kadar olan kısımdır ve kimyasal çözelti etkisiyle konik şekilli iz oluşumu burada başlamaktadır. İkinci faz ise izin üst kısmı oval bir yapıya sahipken

alt kısmı giderek küresel bir hal almaya ve kimyasal çözünme oranı iz kenarlarında ve merkezinde farklılık göstermeye başlamasıdır. Son faz olan küresel fazda ise artık çözünme hızı maksimuma ulaşır ve artık konik özelliğini kaybeder böylece üst açık yüzü ile alt kısmı tamamen küreselleşmiş olur (Nikezic ve Yu, 2004).

2.10. Kapalı Kutu Metoduyla Radon Yayılım Hızlarının Belirlenmesi

Falah Abu-Jarad ve arkadaşlarının da katılımı ile 1980 senesinde ilk kez kapalı kutu tekniği kullanılmıştır. Bu teknikte, belirli bir yükseklik ve hacme sahip kutuların içine yerleştirilen LR-115 ya da CR-39 gibi polimer yapılı (SSNTD) katı hal iz dedektörleri ile oluşturulmuş bir mekanizmadır.

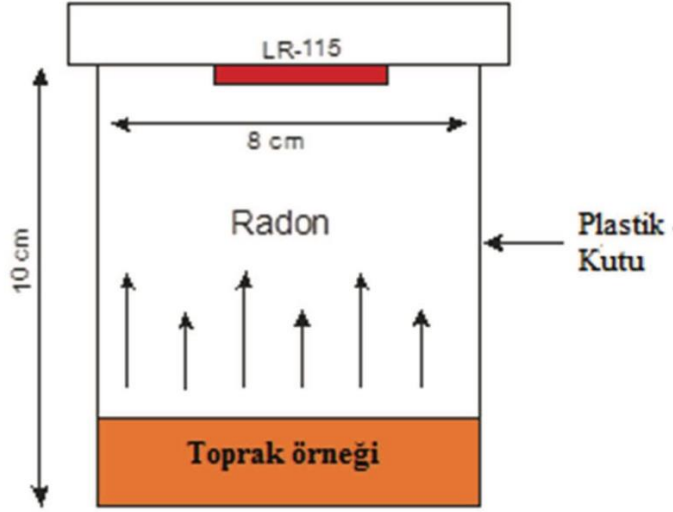
Bu teknikte kapalı kutuda oluşturulan hacim içerisindeki radon ölçümü amaçlanmaktadır (Abu-Jarad vd., 1980).

Sistemin çalışması şu şekildedir: Kabın içine ölçümü yapılacak olan örneğin; kum, toprak ya da yapı malzemeleri belirli bir miktarda alınarak yerleştirilir. Daha sonra deney için uygun görülen ölçülerde LR-115 ya da CR-39 filmleri kutunun hava ile temasını kesecek olan ara bölüm üzerine yerleştirilir. Kutunun tamamen hava ile temasının kesilmesi için kapağın ağız kısmı bant ya da silikon malzeme ile iyice kapatılır (Abu-Jarad ve diğerleri, 1980).

Bu kaplar deney için uygun görülen süre boyunca bir süre bekletilir. Amaç bu süre içerisinde toprak yapısında bulunan radon ve bozunum ürünlerinin yapacağı α (alfa) ışınımını filmler aracılığı ile ölçmektir. Bekleme süresi bittikten sonra yine filmler deneyin içeriğine göre belirli çözeltiler aracılığı ile kazıma işlemine tabi tutulur. Bu kazımanın amacı gözle görünmeyen izleri mikroskop aracılığı ile görünür hale getirmektir. Sayım yapılan izlerden yararlanarak, malzemenin içinde olan bir takım değerlere ulaşabiliyoruz. Örneğin; malzeme içindeki radyum konsantrasyonu, kütle ve yüzeye ait salınım hızları ya da radon konsantrasyon değerleri gibi bir takım değerleri tespit etmiş oluyoruz. Bu yöntemin kullanılma sebebi hem pratik hem de uygun fiyatlı bir yöntem olduğunu söyleyebiliriz. Kullanımın kolay olması sebebiyle de çokça tercih edilen bir yöntemdir (Abu-Jarad vd., 1980).

Bu tez çalışmasında, LR-115 filmleri kullanılarak kapalı kutu yöntemi ile radonun salınım hızı, radon yoğunluğu ve etkin radyum değerlerinin ölçümü yapılmıştır. Deneye ait düzenek şekil 2.21'deki görselde ifade edilmiştir. Bu tarz bir teknik

kullanıldığında; malzeme miktarı, kutunun çapı ve kutu içine konulan miktar radon salınım hızını etkilemektedir (Abu-Jarad vd., 1980).



Şekil 2.25. Kapalı Kutu Tekniği şematik gösterimi.

Yukarıdaki şekilde; hava ile teması kesilmiş kutu kapağına LR-115 katı hal iz dedektörleri (1,5 cm x1,5 cm) ölçülerinde yerleştirilmiş ve radon gazı kaçısını engellemek için silikon ile kapatılmıştır. Deney malzemeleri bu kutuların içerisinde 90 günlük bir bekleme süresine tabi tutulmuştur (Abu-Jarad vd., 1980).

Bekleme süresi boyunca malzeme içindeki radondan salınan α (alfa) ışınları, numune topraklardaki radyum miktarını Bq/kg cinsinden belirlemek amacı ile kullanılmıştır. Kutu kapatıldıktan sonra, verilen (2.1) denklemi incelediğimizde, zaman (T) ile radon aktivitesinin doğru orantılı olduğu görülmektedir.

Kapalı kutu da radyoaktif denge sağlandıktan sonra, radondan yayılan alfa parçacıkları, toprak örneklerinin radyum içeriğini (Bqkg^{-1}) belirlemek için kullanılmıştır. Kutu kapatıldıktan sonra, aşağıdaki ifadeye göre; radon aktivitesi zamanla (T) artmaktadır (Khan vd., 2011).

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

Toprak örneklerindeki radyum konsantrasyonu ise;

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

ile matematiksel olarak değeri hesaplanmaktadır.

Denklemden yer alan ifadeler;

ρ (izcm⁻²) : İz yoğunluğu

h (cm) : Toprak örneği ile dedektör arasındaki uzaklık

A (cm²) : Kutunun dik kesitinin yüzey alanı

k (Bqm⁻³iz⁻¹cm²h) : Kalibrasyon faktörü

T_e (h) : Etkin ışınlama zamanı

M (kg) : Toprak örneklerinin kütlesi

Kutu içine yerleştirilen dedektörler ²²²Rn yoğunluğunu sıfır olan başlangıç aktivite değerinden denge aktivite değerine kadarlık olan bölümü kayıt altına almaktadır. Bu sebeple etkin ışınlama süresini belirlemek gerekir. Etkin ışınlama süresi T_e aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanır:

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

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

Şekil 2.20'deki yapmış olduğumuz kapalı kutu yönteminde kullanılan kutunun hacminde; radon, toron ve bunların bozunum ürünlerinin radyoaktif bir dengeye sahip olduğu varsayılmaktadır. Hava ortamında ²¹⁶Po hariç tüm kızların havanın içinde birikmesi beklenir. Ancak bazı kızlar ²²⁰Rn ve ²¹⁶Po yarı ömürlerinin kısa olması sebebiyle heterojen bir şekilde dağılım göstermektedir.

²¹⁶Po'nun bozunumuyla ortaya çıkan ²¹²Po ve ²¹²Bi ise tercihen kapalı kutunun duvarında heterojen şekilde dağılırlar. ²²²Rn'a ait dedektör üzerindeki iz yoğunluğuna biriken kızlarının da katkısı olduğunu göstermektedir. Toprak numunelerinin yüzeyinden taşınan radon neticesinde SSNTD ve örnek toprak içindeki havada radon atomlarının sayısını belirleyen ($N(t)$) kaynağı bulunmaktadır. Radon, yapı olarak doğal bozunma sırasında yok olma işlevini sağlar. $N(t)$ 'nin zamanla değişme hızı bu yüzden aşağıdaki diferansiyelle verilir:

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

Bu denklemde kullanılan etken faktörler şöyle ifade edebiliriz:

$N(t)$: t anındaki kutudaki toplam radon atomların sayısı

E : Eksalasyon oranı (Bqm⁻²h⁻¹)

A : Kutunun enine kesit alanı (eksalasyonun gerçekleştiği örnek yüzey alanı),

λ : Radonun bozunma sabitini (h^{-1}) ifade etmektedir.

N(t) yerine sıfır alınıp; $N(0)=0$ eşit alınırsa (2.4) ifadesinin çözümü ;

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

olur.

Bu denklemde kullandığımız etkenleri şöyle ifade edebiliriz:

$V(\text{m}^3)$: Havanın hacimi,

$C(t)$: Kutunun hava hacmindeki zamanın (t) fonsiyonu olarak radon aktivite konsantrasyonudur (Chen vd., 1993; Morawska, 1989).

Aşağıdaki ifade gibi verilebilir:

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

Katı hal nükleer iz dedektörü, silindirik kutunun birim hacimdeki t sürede alfa bozunumlarının toplam sayısı içerisindeki α (alfa) ışınlanma miktarını ölçümler. Bu yüzden katı hal iz dedektörlerinde ölçümü yapılan iz yoğunluğu ile radon yoğunluğunun orantılı olduğu şu şekilde ifade edilmiştir:

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

Burada kullanılan ifadeler şöyledir:

$\rho(t)$: İz yoğunluğu,

K : Kalibrasyon faktörü (α izleri. $\text{cm}^{-2}\text{gün}^{-1}/\text{Bqm}^{-3}$)

Bağıntı (2.6) ve (2.7) denklem ifadeleri kullanılarak iz yoğunluğu için aşağıdaki ifade yazılabilir:

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

İz yoğunluğunun başlangıç şartı $\rho(0)=0$ alınıp çözümü yapıldığında, şu şekilde ifade edilir:

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

Buradaki yüzeye bağlı radon eksalasyon oranı E_s aşağıdaki gibi çekilebilir:

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

Bu denklemde yer alan bileşenlere baktığımızda:

E_S ($Bqm^{-2}h^{-1}$) : Yüzey radon eksalasyon oranı

C ($Bqm^{-3}h$) : İntegre radon pozunu

V (m^3): Kutunun efektif hacmi

t (h) : Radona maruz kalma süresi

A (m^2) : Kutunun kesit alanını ifade etmektedir.

Benzer işlemler yapılarak kütleye 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

Bağıntı (2.10) ve (2.11) denklemlerinin sağ tarafındaki $C(t)$ hariç olmak üzere biliniyor. $C(t)$ değeri deneysel olarak radon dosimetresinde Selüloz Nitrat bazlı LR-115 tip II kullanılarak ölçülebilir. $C(t)$ 'nin değeri (2.10) Ve (2.11) İfadelerde yerine konularak eksalasyon oranları bulunmaktadır.

Toprak numunelerinden salınan radon gazı aslında yüzeyden salınan radon hızı ile ifade edilmektedir. Kapalı kutu yöntemi pratik ve uygun fiyatlı olması sebebi ile daima kullanılmıştır. Bununla beraber kaçaklar ve geri difüzyon mekanizması ölçümü yapılan salınım hızının doğruluğunun azalmasına sebep olmaktadır (Saad vd., 2013).

Topraktaki radon gazı ile kapalı bir ortamda ki radon aktivitesi arasında olumlu bir ilişki olduğu bilinmektedir. Toprak numunelerindeki radon salınım hızı değerleri kullanılarak, çıkan sonuçların bina içi radon aktivitesine katkıları aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$C_{Rn}^{ind} = \frac{E_A S_r}{V_r \phi} \quad (2. 12)$$

Burada kullanılan etkenler;

$\phi=0,5 h^{-1}$: Havanın akış oranı

S_r : Kapalı ortamın alanı

V_r : Hacim

Söz konusu olan kapalı ortamın $\frac{S_r}{V_r} = 2,0 \text{ m}^{-1}$ oranına sahip bir boşluk olduğu kabul edilir. Radondan ileri gelen radyolojik etkileri yıllık efektif dozların hesaplanmasıyla ortaya konulabilir. Bu çalışmada, ^{222}Rn ve bozunum ürünlerinden kaynakalanan efektif doz eşdeğerlerinin hesabı ICRP-1993 raporuna göre yapılmıştır (ICRP, 1993).

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

$$(WLY)y^{-1} = \frac{t.n.F.C_{Rn}^{ind}}{170.3700} \quad (2. 13)$$

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

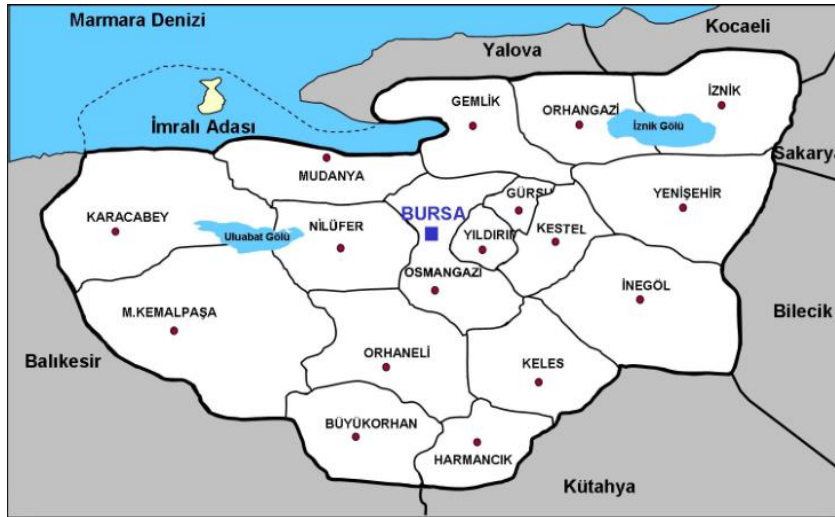
3. TOPRAK NUMUNELERİNDEKİ RADON YAYILIM HIZI VE EFEKTİF RADYUM DEĞERLERİNİN BELİRLENMESİ

3.1. Bölgenin Jeolojik Özellikleri

Bursa, tarih içerisinde Osmanlı Devleti'ne de başkentlik yapmış verimli toprakları ve şifalı kaplıcaları ile dünyaca isim yapmış bir şehrimizdir (Kosifoğlu, 2000).

Marmara Bölgesinin güney kesiminde yer almakta olan Bursa, Bilecik (doğusunda), Balıkesir (güneybatısı ve batısı), Kütahya (güneydoğusunda), Kocaeli (kuzeyinde), Sakarya (kuzeydoğusunda), Yalova (kuzeyinde) ve Marmara Denizi (kuzeyinde) ile çevrelenmiştir. Bursa konum olarak oldukça önemli bir bölgede yer almaktadır. Marmara Bölgesi'ni Ege ve İç Anadolu'ya bağlayan kavşak noktasıdır.

Coğrafi olarak 28° 10' ve 30° 00' kuzey enlemleri ile 40° 40' ve 39° 35' doğu boylamları arasında yer almaktadır. Bursa'nın 17 adet ilçesi bulunmaktadır. Nilüfer, Osmangazi ve Yıldırım olmak üzere üç merkez ilçesi ile Gürsu, Kestel, İnegöl, Yenişehir, İznik, Orhaneli, Orhangazi, Harmancık, Keles, Büyükorhan, Mustafakemalpaşa, Karacabey, Mudanya ve Gemlik ilçeleridir. Bursa ilinin toplam yüz ölçümü 10886 km²'dir (URL-10).



Şekil 3.1. Bursa ilçelerine ait görsel.

Bursa coğrafi olarak dağlık alanları (%35), platoları (%48) ve ovaları (%17) olan bir şehirdir. Toprak yapısı başlıca Zonal, İnzazonal ve Azonal olmak üzere üç tip toprak yapısına sahiptir. Bursa Ovası akarsuların taşıdığı alüvyonlardan meydana gelmiştir. Arazisi volkanik bir yapıya sahiptir. En önemli yükseltisi Uludağ (2543m)'dir. Bursa aynı zamanda kaplıcalarında olduğu bir şehirdir. Bu sıcak su kaynakları yerin iki bin metre derinliğinden yeryüzüne çıkmaktadır.

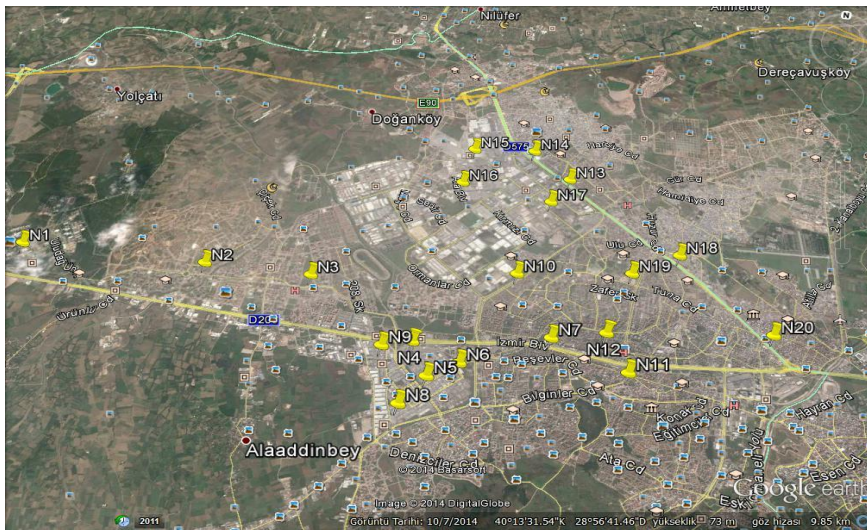
Bursa ilinin jeolojik yapısı Paleo-Tetis okyanusu ve Neo-Tetis okyanusunun birbirine yaklaşması sırasında yaşadığı tektonik faaliyetlerden etkilenmiş, bu dönemde kıvrılma, kırılma ve faylanmaya maruz kalmıştır. Bu tektonik faaliyetler bugün ki hidrotermal sisteme uygun ısınma ve dolaşım ortamının oluşmasına zemin hazırlamıştır (URL-12).

3.2. Çalışma Alanı

3.2.1. Nilüfer ilçesi

Nilüfer ilçesi, kuzeyinde Mudanya, güneyinde Orhaneli, doğusunda Osmangazi ve batısında Mustafakemalpaşa ile Karacabey ilçeleriyle çevrilidir. Ayrıca batısında Uluabat Gölü yer almaktadır. İlçenin toplam yüz ölçümü 423.181 dekadır (URL-12).

Yapmış olduğumuz deneyde Nilüfer bölgesinde iki ayrı çalışma alanı oluşturduk. Bu alanlar sanayi içi ve dışı olmak üzere ayrılmıştır. Belirlenen noktalardan alınan örnekler üzerinde LR-115 yöntemi kullanılarak deneysel bir süreç yürütülmüştür.



Şekil 3.2. Nilüfer ilçesindeki numunelere ait yer bilgisi.

3.2.2. Yıldırım ilçesi

Yıldırım ilçesinin etrafı, güneyinde yüksekliği 2543m'yi bulan Uludağ, Osmangazi, Kestel ve Gürsu ilçeleri ile çevrelenmiştir. Yüz ölçümü 399 km²'dir. Toprak yapısı olarak Alüvyal toprak yapısı hakimdir (URL-13).

Yapmış olduğumuz deneyde Yıldırım bölgesinden herhangi bir ek özellik aramadan genel numune örnekleri alınarak inceleme yapılmıştır. Belirlenen noktalardan alınan örnekler üzerinde LR-115 yöntemi kullanılarak deneysel bir süreç yürütülmüştür.

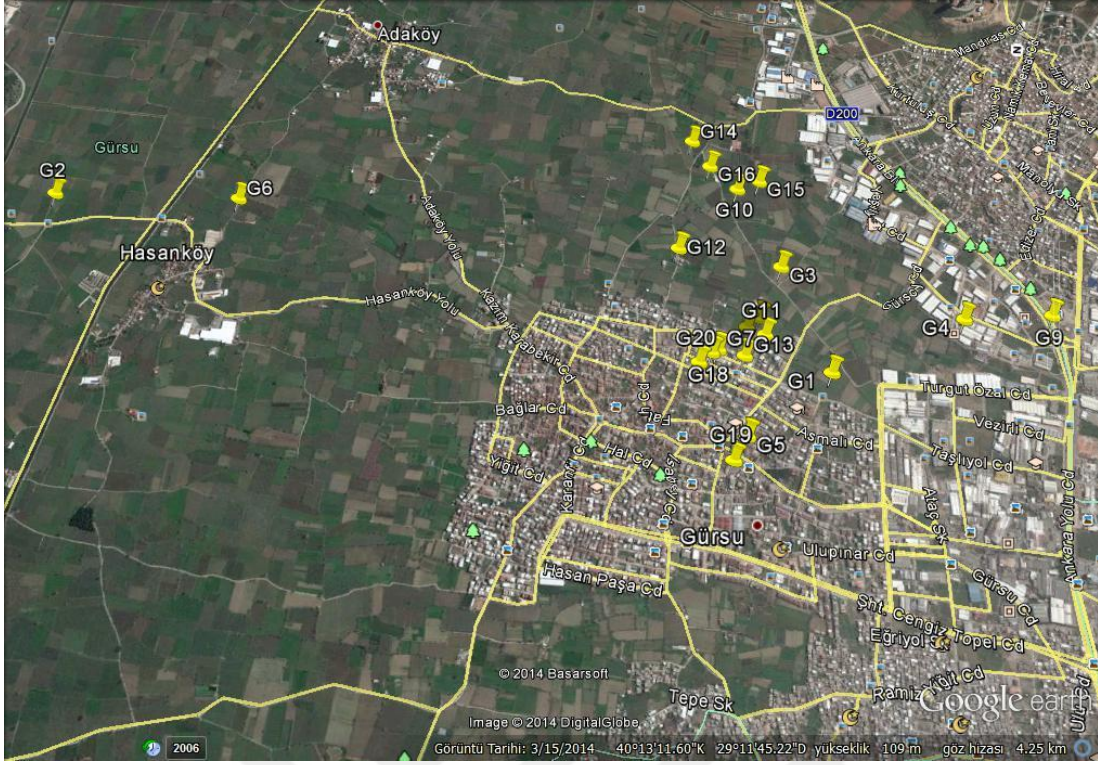


Şekil 3.3. Yıldırım ilçesindeki numunelerin yer bilgisi.

3.2.3. Gürsu ilçesi

Gürsu ilçesinin etrafı, Yıldırım ve Osmangazi ilçeleri batısında, Kestel ilçesi ise doğu ve güneyinde, kuzeyinde ise Gemlik ilçeleri yer almaktadır. Gürsu düz bir ovadır ve 118 km²'lik alanda kurulmuştur. İlçenin genel yüzdesini tarım alanları oluşturmaktadır. Toplam 11300 hektarlık alanı olan ilçenin %42,8'inde tarım yapılmaktadır.

Gürsu'dan alınan numune örnek seçiminde ise yine iki grup yapıldı. Bu gruplar tarım arazisinde nadasa bırakılmış (işlenmemiş) ve nadasa bırakılmamış (işlenmiş) toprak olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.4. Gürsu ilçesindeki numunelere ait yer bilgisi.

3.3. Analiz Ve Ölçüm Sonuçları

Bursa'nın Nilüfer, Yıldırım ve Gürsu ilçelerinden toplanan 61 toprak örneği; nereden alındıklarını da belirten koordinatları, numune bilgileri yazıldı. Öncelikle numune alınacak yerin üst katmanı bitki örtüsü ve taştan arındırıldı daha sonra “V” şeklinde 15-20 cm derinliğinde bir çukur açılarak 1,5-2 kg civarında toprak numunesi alındı, hava ile teması kesilerek ağzı kilitli torbalara yerleştirildi. Toprak numunelerinin alındığı konum, ilçe ve zaman bilgisi gibi veriler yazılarak etiketleme yapıldı. Toplanan numuneler Sakarya Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi bünyesinde olan Nükleer Fizik Araştırma Laboratuvarına götürüldü. Toprak üzerinde deneysel işlemler yapmadan önce alınan örneklerin içindeki taş vb. kalıntılar çıkartıldı 2mm'lik elek ile elendikten sonra toprağın neminden arındırılması için 1 gün boyunca 80°C sıcaklığında fırında kuruldu.



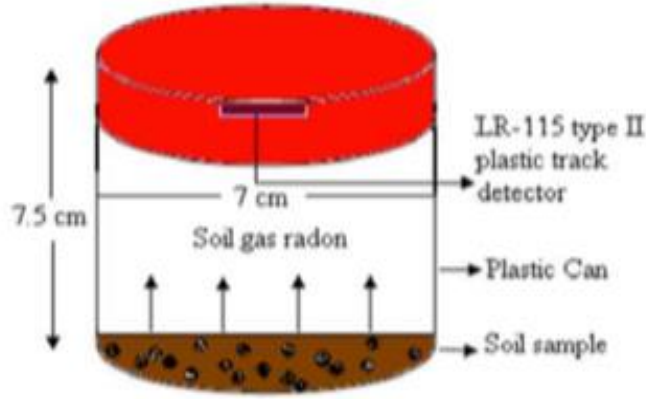
Şekil 3.5. Fırınlanmış Toprak Numunesine Ait Görsel.

Alınan topraklar 125 gram olacak şekilde tartıldı ve bu her numune için yapıldı. 500 ml kaplar içerisine yerleştirildi.



Şekil 3.6. Toprak Numunelerinin Kutulanma Aşaması.

En önemli noktası LR-115 Tip II filmlerinin takılması, bu aşamada dikkat edilecek nokta ise filmler kutuların plastik iç kapağına toprak kısmına bakacak şekilde (1,5cmx1,5cm) ölçülerinde yerleştirildi. Daha sonra üst kapakta kapatıldı ve hava ile olan temasını engellemek için etrafı silikon ile kapatıldı. Kutular bu aşamadan sonra 90 gün boyunca beklemeye bırakıldı.



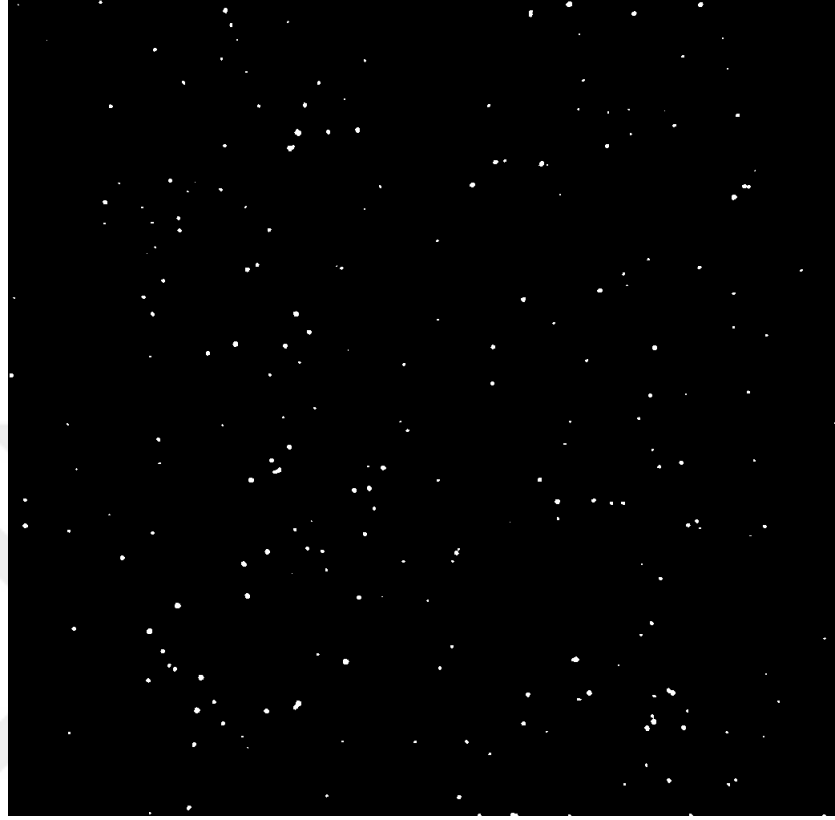
Şekil 3.7. Kapalı kutu tekniği şeması.

Bu bekleme sürecinde, toprağın yapısındaki radyumun bozunumu sonucunda yayılan radon gazının ve bozunum ürünlerinin yaymış olduğu ışınmalar, LR-115 filmleri üzerinde deliklerin oluşmasına sebep oldu. Fakat bu izler gözle görülemeyecek ölçülerde olması sebebi ile mikroskopla görünür hale gelebilmesi için kimyasal bir iz kazıma yöntemi uygulandı. Bu yöntem 1 film için 25 ml %10 çözelti 2,5 gr Sodyumhidroksit (NaOH) içermesi anlamına gelmektedir. Yani 90 gün kutu içerisinde bekletilen LR-115 filmleri, 2,5N NaOH solisyonun içerisinde yaklaşık 60°C sabit sıcaklıkta 90 dk (1,5 saat) boyunca iz kazıma işlemine tabii tutuldu. Daha sonra yıkanan filmler 15-20 dk saf suda bekletildi ve böylece izler mikroskop altında görünür bir hal almış oldu.



Şekil 3.8. İz kazıma işlemine ait bir görsel.

Deneyin son adımı ise; LR-115 Tip II filmleri üzerindeki alfa iz yoğunluğu (izcm^{-2}) 100 kat büyütme özelliği olan optik mikroskop ve image-j görüntü işleme programı kullanılarak belirlendi.



Şekil 3.9. İmage-j programı ile alınmış iz görüntüsü.

Yapmış olduğumuz deneyden elde ettiğimiz iz yoğunluğu değerlerini dünya geneli ile kıyaslayabilmek adına TENMAK ÇNAEM'İN uygun gördüğü kat sayı değerini kullanarak (izcm^{-2})'den (Bqm^{-3}) aktivite birimi ile ifade edilen değerlere dönüştürüldü. Efektif ^{226}Ra konsantrasyonu (Bqkg^{-1}), radon eksalasyon oranları (yüzey ve kütle yayılım hızları) sırasıyla (2.2), (2.10) ve (2.11) denklemleri kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçların analizleri sonuçlar bölümünde değerlendirilmiştir.

3.4. Nilüfer, Yıldırım ve Gürsu İlçelerindeki Sonuçlar

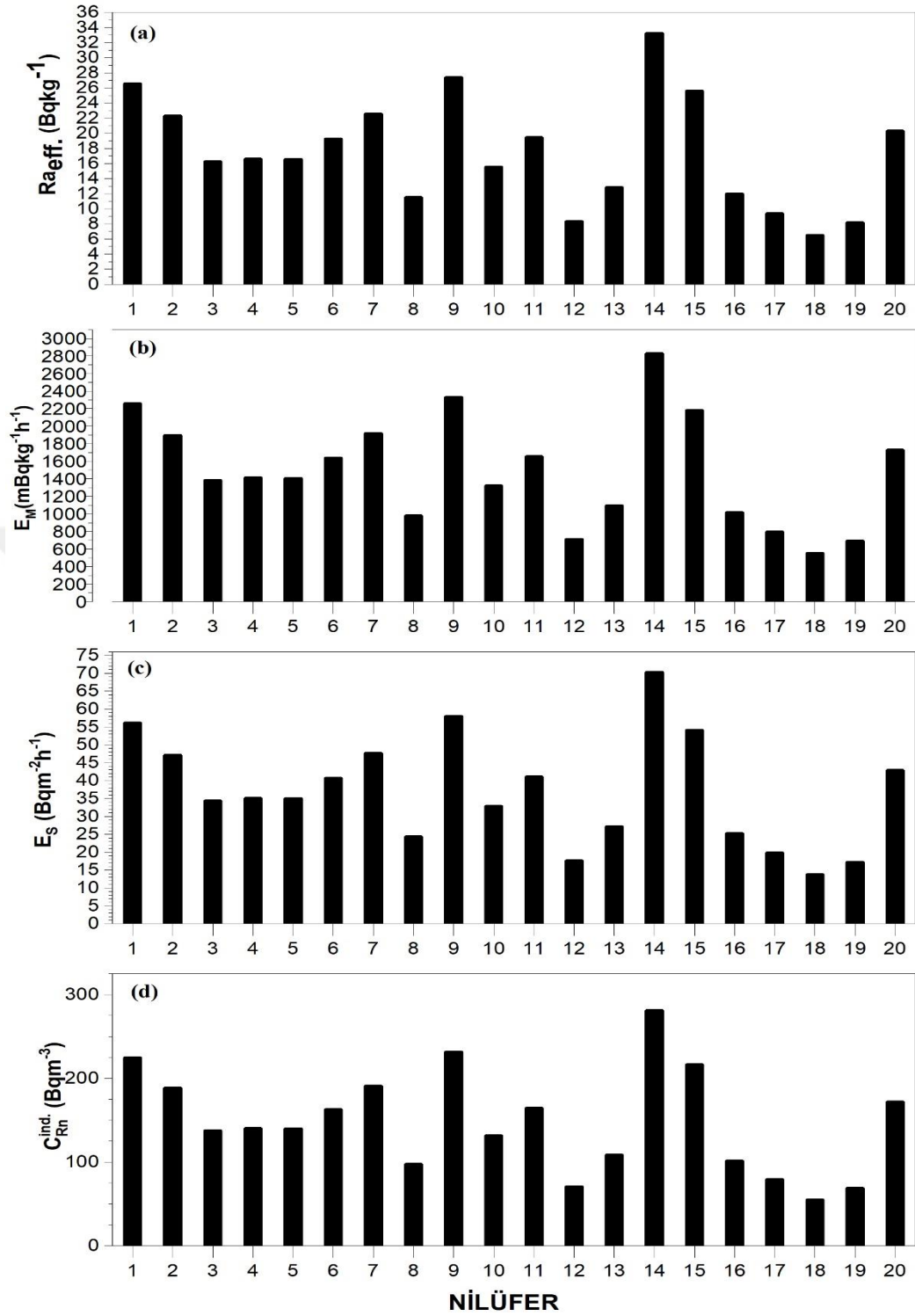
Bursa ilinde belirlediğimiz bölgelerde yaptığımız çalışmalardan elde ettiğimiz sonuçlara göre; Nilüfer ilçesinden alınan numune değerleri sanayi içinde en yüksek değere sahipken, sanayi dışından alınan numunelerde en düşük konsantrasyon değeri hesaplanmıştır.

Çalışma aynı zamanda Yıldırım ilçesinde de yapılmış olup oradan alınan numune değerleri incelendiğinde en yüksek konsantrasyon Bağlaraltı mahallesinde (Y5) en düşük konsantrasyon ise Siteler mahallesinde (Y7) hesaplanmıştır. Ancak ilçenin ortalama değeri WHO tarafından kabul edilen değerler arasında olduğu görülmüştür.

Tablo 3.1. Nilüfer İlçesinde toplanan numune örneklerinin kütle ve yüzey radon yayılım oranları ve efektif radyum içeriği.

Nokta	C_{Rn} (Bqm ⁻³)	C_{Ra} (Bqkg ⁻¹)	E_M (mBqkg ⁻¹ h ⁻¹)	E_s (Bqm ⁻² h ⁻¹)	Contribute indoor Rn (Bqm ⁻³)
N1*	8305,95	26,58	2260,70	56,18	224,72
N2*	6969,22	22,30	1896,87	47,14	188,56
N3*	5076,37	16,24	1381,68	34,34	137,34
N4	5191,51	16,61	1413,02	35,11	140,46
N5	5168,48	16,54	1406,75	34,96	139,84
N6	6012,43	19,24	1636,45	40,67	162,67
N7*	7047,51	22,55	1918,18	47,67	190,67
N8	3603,78	11,53	980,87	24,38	97,50
N9	8562,71	27,40	2330,58	57,92	231,67
N10	4857,61	15,54	1322,14	32,86	131,43
N11*	6076,91	19,45	1654,00	41,10	164,41
N12*	2603,24	8,33	708,54	17,61	70,43
N13	4017,12	12,85	1093,37	27,17	108,69
N14	10388,78	33,24	2827,60	70,27	281,07
N15	8001,99	25,61	2177,97	54,12	216,50
N16	3736,18	11,96	1016,91	25,27	101,08
N17	2934,83	9,39	798,80	19,85	79,40
N18*	2035,62	6,51	554,05	13,77	55,07
N19*	2546,82	8,15	693,19	17,23	68,91
N20*	6353,24	20,33	1729,21	42,97	171,89
Minimum	2035,62	6,51	554,05	13,77	55,07
Maksimum	10388,78	33,24	2330,58	70,27	281,07
Ortalama	5474,52	17,52	1490,04	37,03	148,12
Ortalama Standart Sapma	688,29	2,20	187,34	4,66	-

(*) olan noktalar Nilüfer ilçesi Sanayi Dışı konumlardan alınan toprak numunelerine ait değerlerdir.



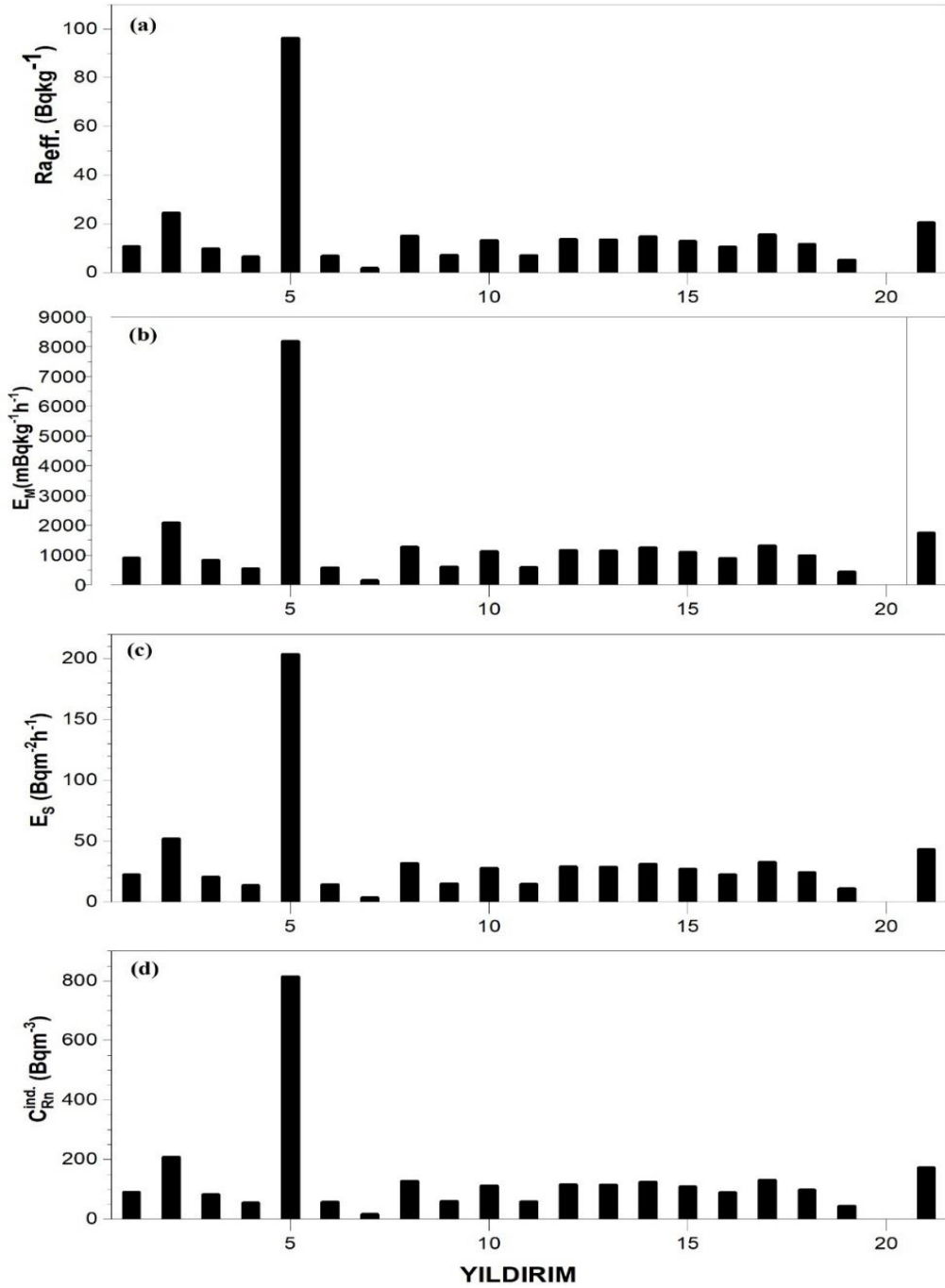
Şekil 3.10. Nilüfer İlçesine ait Radyum, Radon, Kütle Ekselasyonu ve Yüzey Ekselasyon değerlerine ait grafikler.

Deneysel verileri ilçe bazında değerlendirmek gerekirse; grafikler incelendiğinde Nilüfer ilçesindeki sonuçlar sanayi içinden alınan toprak örneklerinde radon konsantrasyonu yüksek çıkarken, sanayi dışından alınan topraklarda radon konsantrasyon değerlerinin düşük olduğu gözlenmiştir. Ancak, elde edilen sonuçlar

55,07 Bqm⁻³ ile 281,07 Bqm⁻³ aralığında çıkmış olup Dünya Sağlık Örgütü tarafından belirlenmiş değerler arasında olduğu görülmüştür.

Tablo 3.2. Yıldırım İlçesinden toplanan numune örneklerinin kütle ve yüzey radon yayılım oranları ve efektif radyum içeriği.

Nokta	C _{Rn} (Bqm ⁻³)	C _{Ra} (Bqkg ⁻¹)	E _M (mBqkg ⁻¹ h ⁻¹)	E _s (Bqm ⁻² h ⁻¹)	Contribute indoor Rn (Bqm ⁻³)
Y1	3338,96	10,68	908,79	22,58	90,34
Y2	7669,25	24,54	2087,40	51,87	207,50
Y3	3045,36	9,75	828,88	20,60	82,39
Y4	2028,71	6,49	552,17	13,72	54,89
Y5	30078,29	96,25	8186,65	203,45	813,78
Y6	2105,85	6,74	573,17	14,24	56,97
Y7	580,29	1,86	157,94	3,92	15,70
Y8	4695,27	15,02	1277,95	31,76	127,03
Y9	2215,23	7,09	602,94	14,98	59,93
Y10	4108,07	13,15	1118,13	27,79	111,15
Y11	2156,51	6,90	586,95	14,59	58,35
Y12	4264,66	13,65	1160,75	28,85	115,38
Y13	4232,42	13,54	1151,97	28,63	114,51
Y14	4581,29	14,66	1246,93	30,99	123,95
Y15	4003,30	12,81	1089,61	27,08	108,31
Y16	3295,21	10,54	896,88	22,29	89,15
Y17	4839,19	15,49	1317,12	32,73	130,93
Y18	3606,08	11,54	981,50	24,39	97,56
Y19	1601,55	5,12	435,91	10,83	43,33
Y20	-	-	-	-	-
Y21	6392,38	20,46	1739,87	43,24	172,95
Minimum	580,29	1,86	157,94	3,92	15,70
Maksimum	30078,29	96,25	8186,65	203,45	813,78
Ortalama	4941,89	15,81	1345,08	33,43	133,71
Ortalama Standart Sapma	437,63	1,40	119,11	2,96	-



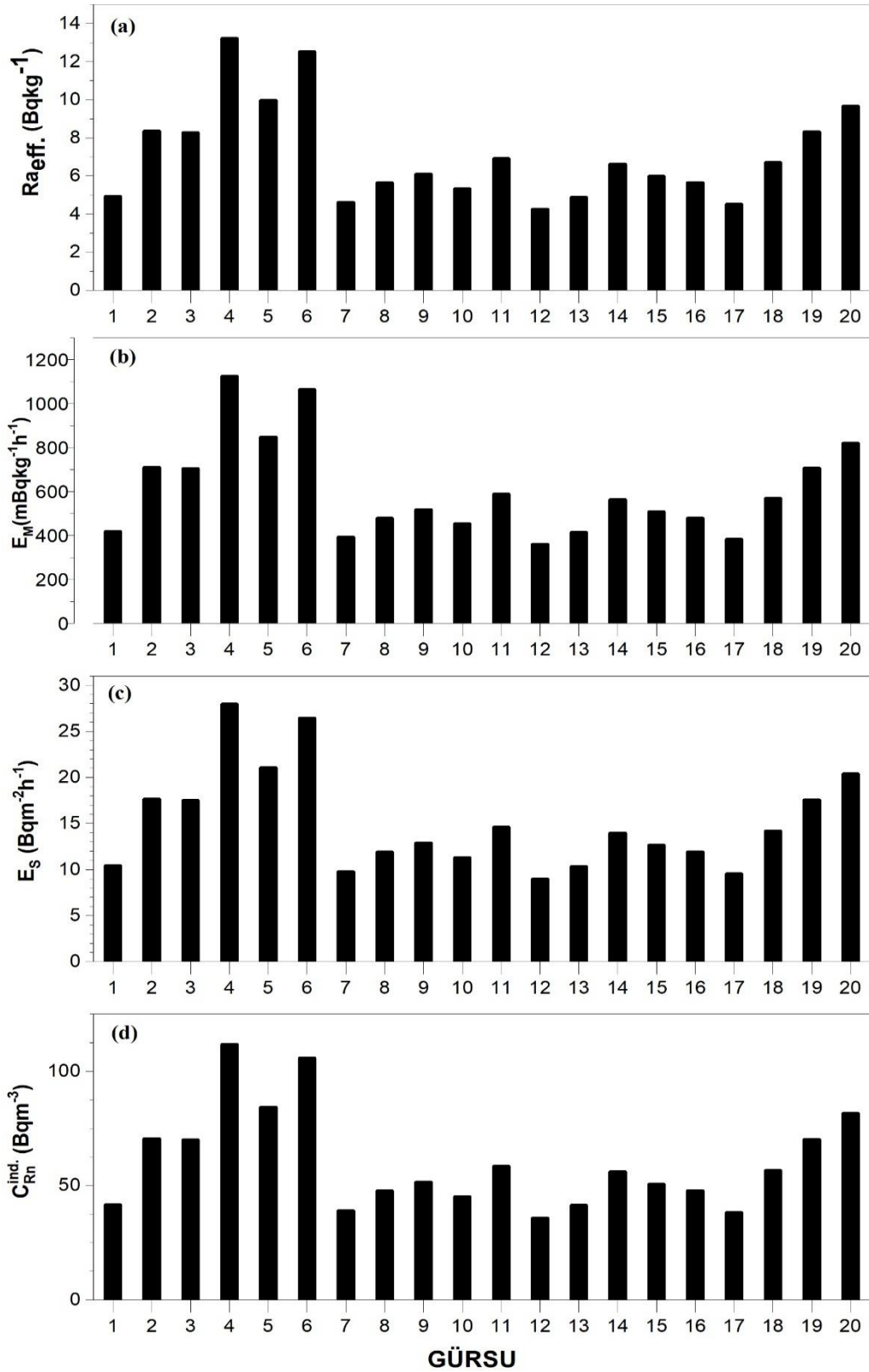
Şekil 3.11. Yıldırım İlçesine ait Radyum, Radon, Kütle Ekselasyonu ve Yüzey Ekselasyon değerlerinin grafikleri.

Yıldırım ilçesinden elde edilen verilere dayanarak çizmiş olduğumuz grafikleri incelediğimizde, genel bir toprak alımı yaptığımız bu bölgede hem en düşük hem en yüksek radon konsantrasyon değerlerini ölçümlemiş olduk. En yüksek değer Bağlaraltı mahallesinden (Y5) 813,78 Bqm⁻³ ile elde ederken yine en düşük değeri Siteler mahallesinden (Y7) 15,70 Bqm⁻³ ile etmiş olduk. Ortalama değer 133,71 Bqm⁻³ ile Dünya Sağlık Örgütünün uygun gördüğü değerler arasında olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 3.3. Gürsu İlçesinden toplanan numune örneklerinin kütle ve yüzey radon yayılım oranları ve efektif radyum içeriği

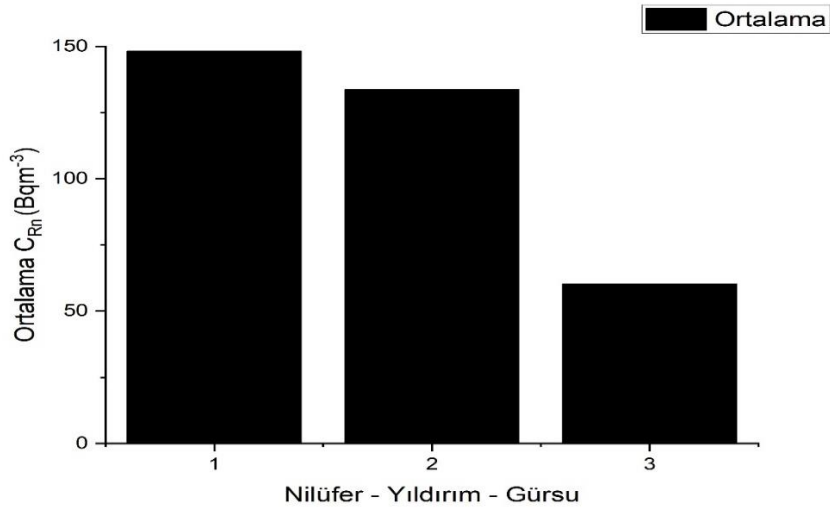
Nokta	C _{Rn} (Bqm ⁻³)	C _{Ra} (Bqkg ⁻¹)	E _M (mBqkg ⁻¹ h ⁻¹)	E _s (Bqm ⁻² h ⁻¹)	Contribute İndoor Rn (Bqm-3)
G1*	1540,53	4,93	419,30	10,42	41,68
G2*	2607,84	8,35	709,80	17,64	70,56
G3*	2587,12	8,28	704,16	17,50	70,00
G4*	4135,71	13,23	1125,65	27,97	111,89
G5*	3114,45	9,97	847,68	21,07	84,26
G6*	3912,34	12,52	1064,85	26,46	105,85
G7*	1441,51	4,61	392,35	9,75	39,00
G8*	1763,89	5,64	480,09	11,93	47,72
G9*	1905,51	6,10	518,64	12,89	51,55
G10*	1667,18	5,33	453,77	11,28	45,11
G11	2163,42	6,92	588,83	14,63	58,53
G12	1324,07	4,24	360,38	8,96	35,82
G13	1527,86	4,89	415,85	10,33	41,34
G14	2069,00	6,62	563,14	13,99	55,98
G15	1869,82	5,98	508,92	12,65	50,59
G16	1763,89	5,64	480,09	11,93	47,72
G17	1411,57	4,52	384,20	9,55	38,19
G18	2094,33	6,70	570,03	14,17	56,66
G19	2596,33	8,31	706,66	17,56	70,24
G20	3017,73	9,66	821,36	20,41	81,65
Minimum	1324,07	4,24	360,38	8,96	35,82
Maksimum	4135,71	13,23	1125,65	26,46	111,89
Ortalama	2225,71	7,12	605,79	15,05	60,22
Ortalama Standart Sapma	261,59	0,84	71,20	1,77	-

(*) Olan noktalar tabloda tarım arazisinde işlenmiş toprakları ifade etmektedir.



Şekil 3.12. Gürsu İlçesine ait Radyum, Radon, Kütle Ekselasyonu ve Yüzey Ekselasyon değerlerinin grafikleri.

Gürsu ilçesinden yapılan çalışmalarda toprak numunelerini tarım yapılan işlenmiş alan ve tarım yapılan işlenmemiş toprak olarak iki gruba ayırarak çalıştık. Elde edilen sonuçları incelediğimiz de tarım alanında işlenmiş toprakta radon konsantrasyon değerleri yüksek çıkarken, işlenmemiş tarım alanında en düşük değerler ölçülmüştür. Bu değerler $35,82 \text{ Bqm}^{-3}$ ile $111,89 \text{ Bqm}^{-3}$ aralığında olduğu ve bu değerlerin Dünya Sağlık Örgütü tarafından kabul gören değer aralığında olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3.13. Nilüfer, Yıldırım ve Gürsu İlçelerinin ortalama değer grafiği.

İlçelerden elde edilen en düşük (min), ortalama ve en yüksek (max) sonuçlara ait veriler karşılaştırıldığında üç bölge içinde en yüksek konsantrasyon Yıldırım ilçesinde çıkarken en düşük konsantrasyonda aynı ilçeye ait olduğu belirlenmiştir.

Tablo 3.4. Çalışma alanından elde edilen sonuçların karşılaştırması.

İlçe Adı	Minimum (Bqm^{-3})	Ortalama (Bqm^{-3})	Maksimum (Bqm^{-3})
Nilüfer	55,07	148,12	281,07
Yıldırım	15,70	133,71	813,78
Gürsu	35,82	60,22	111,89

Nilüfer, Yıldırım ve Gürsu ilçelerinden alınan numunelerden elde edilen sonuçları diğer ülke verilerine göre kıyaslırsak; Mısır'da değer aralıkları $23 \text{ Bqm}^{-3} - 46.8 \text{ Bqm}^{-3}$ aralığında (Kenawy vd., 2002; Hafez vd., 2000), Kanada'da bu değerler üst değer

200 Bqm⁻³ iken bazı evlerde bu değer 600 Bqm⁻³ aşmakta, ABD için kabul edilir değer sınırı 148 Bqm⁻³ olurken %15’lik kısımda daha yüksek değerlerde olduğu gözlemlenmiştir (Evict Radon National Study, 2021).

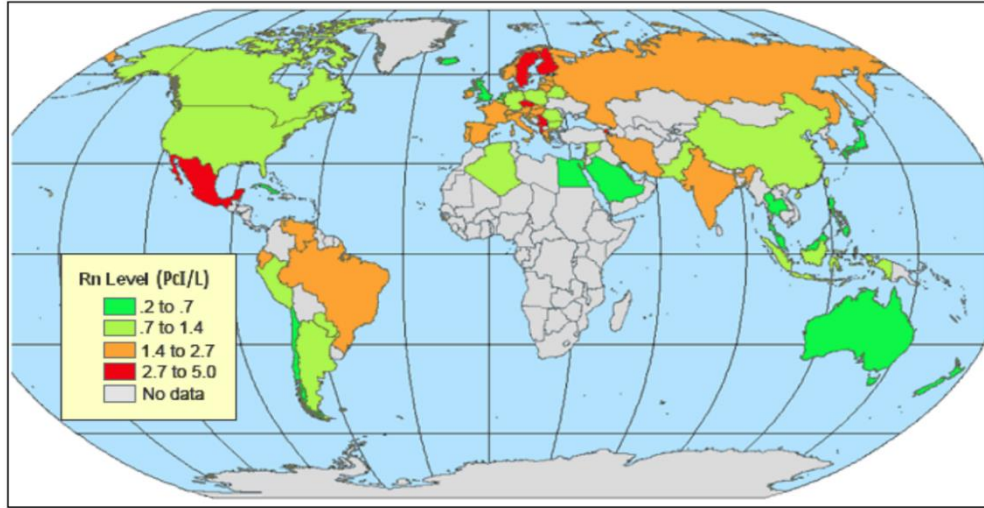
Bursa’nın Nilüfer, Yıldırım ve Gürsu ilçelerinden toplanan örneklerindeki etkin radyum içeriği, kütle ve üzey radon yayılım hızı değerlerinin başka ülkelerde elde edilen veriler ile karşılaştırılması.

Tablo 3.5. Dünya genelinde yapılan çalışmaların değerlendirmesi.

C_{Ra}^{eff} (Bqkg ⁻¹)	E_m (mBqkg ⁻¹ h ⁻¹)	E_s (Bqm ⁻² h ⁻¹)	Çalışma (Ref.), Yer
11,54-26,71	15,16-35,11	0,502-1,162	Sharma vd. (2003), Hindistan
0,02-0,80	-	0,013-0,401	Baykara vd. (2005), Türkiye
5,70-25,45	7,17-31,98	0,246-1,100	Singh vd. (2005), Hindistan
28-51,9	-	1,56-4,66	Rehman vd. (2006), Pakistan
13,8-298,9	(0,39-8,21)10 ⁻²	-	Prasad vd. (2008), Hindistan
-	3,11-11,54	0,102-0,382	Singh vd. (2008), Hindistan
24,2-146,0	0,0043-0,2020	-	Gusain vd. (2009), Hindistan
5,30-31,71	6,15-36,80	0,216-1,298	Singh vd. (2009), Hindistan
-	38-288	-	Mujahid vd. (2010), Pakistan
-	23,1-28,6	0,493-0,599	Chauhan (2011), Hindistan
-	-	0,171-0,344	Rafique vd. (2011), Pakistan
27,87-45,14	(0,01-0,16)10 ⁻³	(0,26-0,42)10 ⁻⁶	Khan vd. (2011), Hindistan
-	-	3,6-493,2	Shirome vd. (2012), Japonya
5,39-34,56	(0,02-0,11)10 ⁻³	(0,06-0,11)10 ⁻⁶	Verma vd. (2012), Hindistan
9,2-18,7	394,12-798,34	(15,1-30,7)10 ⁻³	Zubair vd. (2012), Hindistan
5,72-157,99	8,31-233,70	0,48-15,37	El-Zaher (2013), Mısır
10,54-49,67	-	0,502-2,063	Kakati vd. (2013), Hindistan
1,5-25,3	1,16-19,13	0,031-0,507	Saad vd. (2013), Libya
1,39-5,31	1,62-6,55	0,053-0,217	Kumar ve Narang (2014), Hindistan
16,4-73,0	-	-	Taşköprü (2014), İzmir-Türkiye
-	90-210	0,44-0,99	Tawfiq ve Jaleel (2015), Irak
18-33	135-251	4,58-8,40	Farid (2016), Suidi Arabistan
0,026-0,394	23,45-359,49	0,064-0,973	Kaliprasad vd. (2017), Hindistan
7,69-130,05	-	-	Kuş (2017), Sakarya-Türkiye
72-144	-	-	Pisapak vd. (2017), Thailand
1,5-44,1	0,26-7,84	0,007-0,207	Thabayneh (2018), Filistin
45,6-226,1	10,0-50,0	0,27-1,33	Zubair ve Shafiqullah (2018), Hindistan
-	13.092-44.186	-	Mansour, H. L. vd. (2018), Irak
15,7-1330,8	-	25,3-80	Yang, J. Vd.(2018), Almanya
7,01-55,26	14-112	0,361-2,890	Kumari vd. (2018), Hindistan
3,77-26,69	35,76-253,15	0,73-5,18	Tabar vd. (2018), Sakarya- Türkiye
-	-	138-8426	Chowdhury, S., vd. (2018), Hindistan

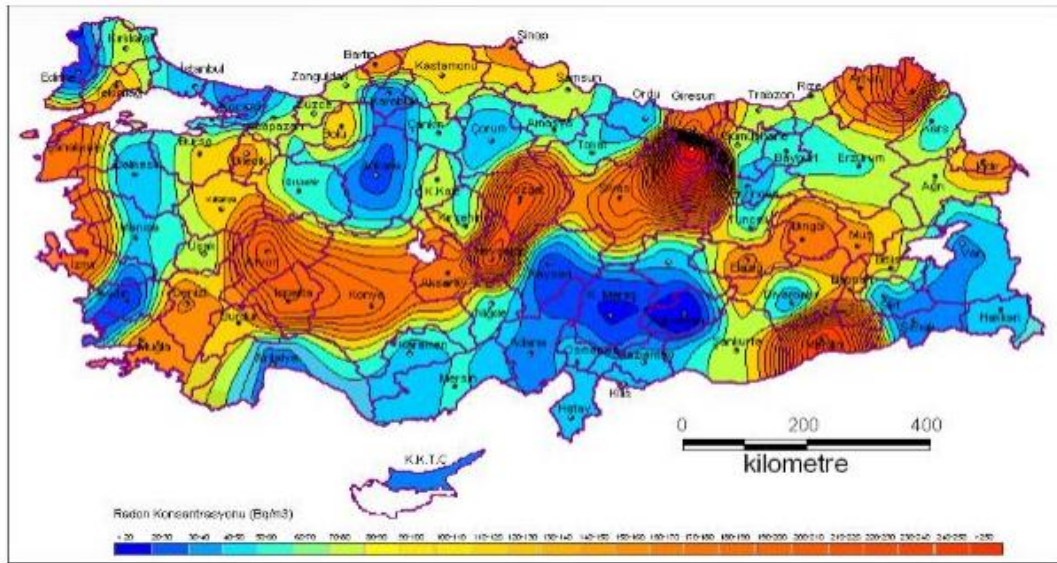
Tablo 3.5.(Devamı). Dünya genelinde yapılan çalışmaların değerlendirmesi.

17,12-63,71	32-139	0,734-3,159	Kumar, G., vd. (2018), Hindistan
7,01-361	-	0,0484-1,258	Kumari, P., vd. (2018), Hindistan
8,55-273,08	0,00198-0,02064	(29,06-32,18)10 ⁻⁶	Nsiah-Akoto, I. Vd. (2019), Ghana
-	0,31-2,31	0,008-0,058	Singh vd. (2019), Hindistan
2,0-9,97	-	-	Sağlam (2019), Sakarya-Türkiye
23-119	6,0-33,0	0,104-0,200	Devi, V., vd. (2019), Hindistan
-	1,25-7,04	0,00516-0,02914	Mehta, V., vd. (2019), Hindistan
13-59	29,88-137,16	-	Kurnaz, A., vd. (2019), Karabük-Türkiye
47-76	16-111	0,00268-0,00489	Anamika, K. vd. (2019), Hindistan
156-395	1-167	0,020-0,502	Alshahri, F.(2019), Suudi Arabistan
1,34-24,1	10,7-86,4	-	Ali, A.M. (2020), Irak
5,6-23,4	5,9-18,2	0,118-0,361	Mahamood, K. N., vd. (2020), Hindistan
-	-	1,08-410,4	Hosoda, M., vd. (2020), Japonya
32-280	-	36-684	Miklyaev, P., vd. (2020), Rusya
-	57-3600	3319-10167	Singh, B., vd. (2020), Hindistan
-	70-288	-	Poojitha, C. G., vd. (2020), Hindistan
-	0,09-0,47	0,0011-0,00231	Abodunrin, O. P., vd. (2020), Nijerya
0,34-14,23	27,32-1132,71	0,65-24,25	Yaşar (2020), Bursa- Türkiye
26,97-2915,06	7,93-17,0	317,31-679,78	Özkablan (2020), Kilis-Türkiye
9,0-29,0	0,001-0,016	14,7-59,5	Alhamdi, W. A., vd. (2021), Irak
-	7,34-17,51	0,0003-0,0013	Atyotha, V., vd. (2022), Thailand
-	27-40	714,6-2166,6	Jamir, S., vd. (2022), Hindistan
44-56	38-62	-	Kumar, M., vd. (2022), Hindistan
7,04-91,97	-	-	Alemy (2023), Bursa-Türkiye
31,9	1,18-5,72	0,00268-0,00489	Mehta, V., vd. (2023), Hindistan
32-106,1	6,9-38,9	0,39-2,15	Hidayath, M., vd. (2023), Hindistan
-	26-103	-	Kumar, P., vd. (2023), Hindistan
-	14-55	2200-7560	Singh, B., vd. (2023), Hindistan
-	11,56-62,03	3090-9560	Singla, A. K., vd. (2023), Hindistan
-	0,14-94,65	46,42-619,88	Rani, S., vd. (2023), Hindistan
27,2-34,6	70-90	2,60-4,94	Alrowaili (2023), Saudi Arabia
13,2-15,6	-	(4,6-9,2)10 ⁻⁴	Asare, E. O., vd. (2024), Ghana
21,2	66,0-87,0	110-757	Yadav, J., vd. (2024), Himalaya
-	-	0,026-0,044	Al-Jubouri, A. ve Al-Hamzawi, A. (2024), Irak
-	3,56-82,08	4608-81684	Kumar, A., vd. (2024), Hindistan
7,09-361	0,87-2,29	0,0226-0,0596	Mahur, A., vd. (2024), Hindistan
1,86-96,25	157,94-8186,65	3,92-203,45	Bu çalışma (2025), Bursa- Türkiye



Şekil 3.14. Dünya ortalama radon seviyeleri (URL-15).

Şekil 3.14 de verilmiş olan harita dünya genelinde yapılan çalışmalar sonucunda elde edilmiştir. Bu harita Birleşmiş Millet Bilim Komitesi 2000 Rapor’unda yer almakta olup, Ortalama Radon Konsantrasyon değerlerini göstermektedir.



Şekil 3.15. Türkiye Radon Konsantrasyon Haritası. (TAEK-2014)

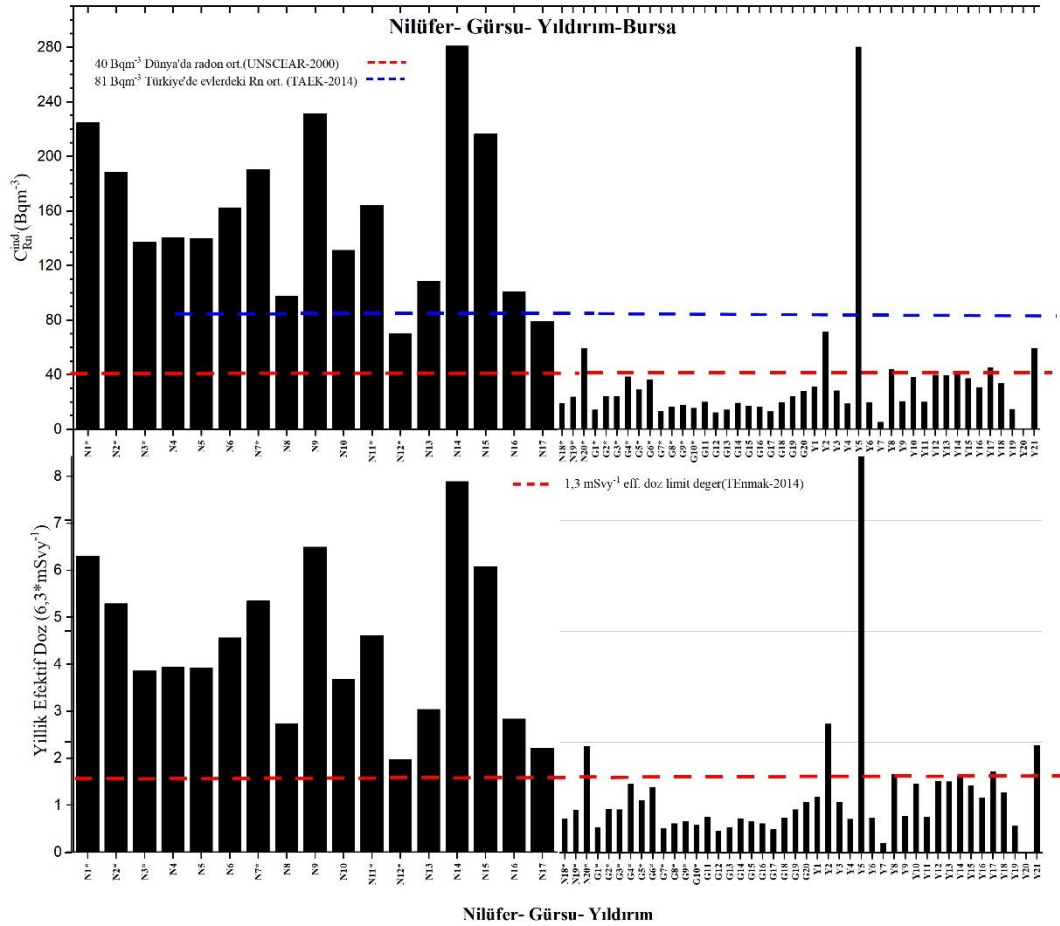
Türkiye’ye ait Radon Konsantrasyon değerleri için oluşturulan harita incelendiğinde çalışma alanımız olan Bursa’nın radon konsantrasyon haritasında baskın olarak sarı renkte olduğu görülmektedir. Bu renk aralığının da olan bölgelerin radon değer aralığı WHO (Dünya Sağlık Örgütü) tarafından kabul gören aralıklarda olduğu bilinmektedir.

Tablo 3.6. Dünya genelinde radon değerinin karşılaştırılması.

Ülke Adı	Ortalama Radon Konsantrasyon (Bqm ⁻³)
ABD	46
Almanya	50
Arjantin	37
Avustralya	11
Belçika	48
Cezayir	30
Çek Cumhuriyeti	140
Çin	24
Danimarka	53
Ermenistan	104
Finlandiya	120
Fransa	62
Hindistan	57
Hollanda	23
İngiltere	20
İran	82
İspanya	86
İsveç	108
İsviçre	70
İtalya	75
Japonya	16
Kanada	34
Macaristan	107
Mısır	9
Norveç	73
Polonya	41
Portekiz	62
Romanya	45
Slovakya	87
Suriye	44
Tayland	23
Türkiye	52
Yunanistan	73

Avrupa’da değerler ülkelere göre değişiklik göstermektedir. Örneğin; Almanya, Polonya ve Birleşik Krallıkta değerler düşükken Avusturya, İsveç ve Çek Cumhuriyeti’nde değerler oldukça yüksektir. Avrupa genelinde 200 Bqm⁻³ – 400 Bqm⁻³ aralığında olduğu bilinmektedir. Norveç dünya genelinde iç mekânda en yüksek değere sahip olup, bu değer %10’dan daha çok bina içindeki radon seviyesi 100 Bqm⁻³ geçmektedir (Airthings, 2021). Fransa’da ise iç mekân radon seviyesi 90 Bqm⁻³ olurken bazı yerlerde bu değer 1000 Bqm⁻³ çıkabilmektedir. Yapı olarak granitten

zengin bölgelerde bu değere rastlanmaktadır (Airthings, 2021; Hafez vd., 2000). Hindistan’da ise bölgesel değer farklılığı görülse de genel olarak ortalama radon seviyeleri düşüktür bazı bölgelerde bu değer 200 Bqm^{-3} aşabilmektedir (URL-15). WHO (Dünya Sağlık Örgütü) limit değeri olarak 100 Bqm^{-3} belirlemiştir. Bu deneyden elde edilen sonuçlarda dünya genelinde elde edilen sonuçlarla örtüşmekte olup, radyolojik olarak bir sorun oluşturmayacağı görülmektedir (Yörük vd., 2021).



Şekil 3.16. Ortalama radon değeri ve yıllık efektif doz değeri Dünya Sağlık Örgütü değerleri ile kıyaslanması.



4. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında Bursa ilinin, Nilüfer, Yıldırım ve Gürsu ilçelerinden çeşitli kriterlere dikkat ederek toprak numuneleri alındı. Bu alınan numune topraklar üzerinde doğal radyoaktivite seviyeleri belirlenerek, canlılar için radyolojik olarak bir risk oluşturup oluşturmadığı yönünde kıyaslamalar yapıldı. Bu yapılan çalışmanın 3.4 bölümünde, Nilüfer, Yıldırım ve Gürsu ilçelerinden alınan toprak numuneleri üzerinde Radium konsantrasyonu, Radon konsantrasyonu, yüzey eksalasyonu, kütle eksalasyonu ve yıllık efektif doz değerleri hesaplandı. Katı hal iz dedektörlerinden LR-115 kullanılarak yapılan bu deneysel çalışmada dikkat edilen birkaç nokta vardı. Bu noktalar Nilüfer ilçesinden seçim yaparken sanayi içi ve sanayi dışı şeklinde ayırım yapıldı, Yıldırım ilçesinden genel toprak alımı yapıldı, Gürsu ilçesinden ise toprak alımı yapılırken tarım arazilerinden işlenmiş ve işlenmemiş topraklar üzerinden seçim yapıldı. Elde edilen değerler Nilüfer ilçesinde ortalama Rn değerleri $55,07 \text{ Bqm}^{-3}$ min değerindeyken $281,07 \text{ Bqm}^{-3}$ ile max değerini almakta, Yıldırım ilçesinde bu değerler $15,70 \text{ Bqm}^{-3}$ ile deneyden elde ettiğimiz en düşük sonuçken yine Yıldırım ilçesinden $813,78 \text{ Bqm}^{-3}$ ile en yüksek radon konsantrasyon değeri elde edilmiştir. Gürsu ilçesinden elde edilen değerler ise $35,82 \text{ Bqm}^{-3}$ ile $111,89 \text{ Bqm}^{-3}$ arasında ölçümlenmiştir. Bu sayısal verilerden yola çıkarak Bursa şehrinde farklı tiplerde toprak çeşidi olduğunu söylenmektedir. Çünkü biliyoruz ki toprak çeşidi radon konsantrasyonu üzerinde etkilidir.

Bu çalışmalara benzer deneysel çalışmalar Türkiye’de yapıldığı gibi dünyanın birçok ülkesinden de yapılmaktadır. Yapılan deneysel çalışmalardan sonra radyolojik olarak ortaya çıkan sonuçlara karşı birtakım önlemler alınmaktadır. Bu önlemler örneğin; Amerika Birleşik Devletleri’nde Alaska ve Iowa gibi bölgelerinde radon konsantrasyon değerlerinin yüksek olduğu bilinmektedir. Bu sebeple, yeni binalarda radon azaltma sistemleri ve konut satışı sırasında radon testinin zorunlu hale getirilmesi tavsiye edilmektedir (EPA,2012).

Kanada’da, New Brunswick ve Manitoba gibi bölgelerde radon konsantrasyon değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir. Kanada Sağlık, bina içlerinde radon

azaltıcı sistemlerin zorunlu hale getirilmesini ve kış mevsiminde mekânın içindeki havanın periyodik olarak test edilmesini önermektedir (Health Canada,2014).

Çek Cumhuriyeti, radon konsantrasyonu bakımından Avrupa'daki en yüksek değere sahip ülkelerden biridir. Bu sebeple eski binaların radon sızıntısını engellemek, yeni bina yapımında temel mantolamasını ve kamu binalarında periyodik olarak radon ölçümlerinin yapılması zorunlu tutulmaktadır (EURATOM, 2013).

İsveç'te, zemininde olan granit kayalardan dolayı radon konsantrasyon değeri oldukça yüksektir. Bu yüksek değerlerden dolayı İsveç hükümeti, tüm evlerde radon ölçümlerinin yapılmasını ve yapı malzemelerinin radona karşı dayanıklı seçilmesi noktasında teşvik etmektedir (Swedish Radiation Safety Authority, 2020).

İngiltere'nin kuzeyi yani Galler ve Devon gibi bölgelerinde radon seviyesi yüksek çıkmıştır. UK Health Security Agency, "Radon Action Levels" olarak adlandırılan 200 Bqm⁻³ eşik değerini aşmamalarını ve gaz bariyerlerinin zorunlu hale getirilmesini önermektedir.

Çin'in Shanxi ve Hebei gibi kuzey bölgelerinde radon seviyelerinde görülen artış miktarından dolayı Çin Sağlık Bakanlığı, büyük şehirlerde radon farkındalık kampanyalarının düzenlenmesini ve yeni binaların yapım aşamasında radon tahliye sistemlerinin uygulanmasını önermektedir (Chinese Ministry Health, 2015).

Japonya'da, Fukushima sonrası radyoaktivite farkındalığı önemli ölçüde artmıştır. Bu sebeple, okul ve kamu binalarında düzenli radon ölçümlerinin yapılması ve yer altı sularındaki radon konsantrasyonunun takip edilmesi sağlanmaktadır (JAEA,2016).

Güney Afrika'da, özellikle madencilik faaliyetlerinin yoğun olduğu bölgelerde radon seviyelerinin yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle, madencilik yapılan alanlarda radon gazı ölçümlerinin zorunlu hale getirilmesi ve yeraltı yapılarında havalandırma sistemlerinin iyileştirilmesi önerilmektedir (SARPA,2018).

Avustralya'nın özellikle Victoria gibi granitik bölgelerinde yüksek radon konsantrasyonları gözlenmiştir. Bu doğrultuda, yeni binalarda radon mantolamanın kullanımı zorunlu hale getirilmiş ve kırsal bölgelerde halka radon farkındalığı eğitimleri verilmiştir (ARPANSA,2017).

Dünya Sağlık Örgütü, iç mekanlarda radon konsantrasyonunun 100 Bqm⁻³ altında tutulmasını önermektedir. Ayrıca, yeni ve mevcut binalarda radon testlerinin

yapılmasını ve mekanik havalandırma sistemlerinin kullanılmasını da tavsiye edilmektedir (WHO, 2009).

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar ulusal ve uluslararası kuruluşlar tarafından önerilen limit değerlerle karşılaştırıldığında, çalışılan bölgelerden elde edilen sonuçlar WHO (Dünya Sağlık Örgü)'nün Türkiye için belirlediği 300 Bqm^{-3} değerinin içinde kalmaktadır. Sadece yıldırım ilçesinde bir nokta da değer $813,78 \text{ Bqm}^{-3}$ ile kabul gören sınırların dışında olsada ilçenin ortalama değeri $133,71 \text{ Bqm}^{-3}$ hesaplanmış ve genel kabul görmüş değer 400 Bqm^{-3} olması sebebiyle sağlık üzerinde radyolojik olarak bir tehlike oluşturmadığı tespit edilmiştir.





KAYNAKLAR

- Abu-Jarad F., Fremlin J.H., Bull R., A study of radon emitted from construction materials using plastic -track detectors. Phys. Med. Biol.,25:483-694,1980
- Abodunrin, O. P., & Akinloye, M. K. (2020). Determination of radon exhalation rates from soil around buildings in Lagos environments using passive measurement technique. Journal of Environmental Health Science and Engineering, 18(1), 129–135. <https://doi.org/10.1007/s40201-020-00446-3>
- Airthings. (2021). *Radon thresholds by country/region*. Airthings Help Center. <https://help.airthings.com>
- Akar, Ü. 2010, Bursa Çekirge Bölgesi Termal Sularında Radon Konsantrasyonunun Tayini, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi
- Akar, Ü. Bursa – Çekirge Bölgesi Termal Sularında Radon Konsantrasyonunun Tayini, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Bursa, 2010. Sf: 31.
- Akkurt A. (2011). *Afyon jeotermal sularında radon (Rn-222) aktivitesi tayini*, [Yüksek Lisans Tezi], Afyon Kocatepe Üniversitesi.
- Alemy, R. (2023). *Bursa İli Orhaneli Ve Keleş İlçelerindeki Toprakların Doğal Radyonüklid Düzeyinin Belirlenmesi* (By Bahadır Saygı, Sakarya Üniversitesi, Ankara Üniversitesi, & Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi).
- Ali, A. M. (2020). Measurement of uranium concentration and radon exhalation rate using can technique method in some soils samples from Rammadi City, Iraq. AIP Conference Proceedings, 2293, 050048. <https://doi.org/10.1063/5.0027449>
- Alhamdi, W. A., & Abdullah, K. M. S. (2021). Determination of radium and radon exhalation rate as a function of soil depth of Duhok Province - Iraq. Journal of Radiation Research and Applied Sciences, 14(1), 486–494. <https://doi.org/10.1080/16878507.2021.1999719>
- Al-Jubouri, A., & Al-Hamzawi, A. (2024). Radon gas concentrations and exhalation rates in soil samples of Al-Muthanna governorate, Iraq. International Journal of Radiation Research, 22(1), 213–217. <https://doi.org/10.61186/ijrr.22.1.213>
- Alrowaili, Z. A. (2023). Nature of radon, radium, exhalation and uranium concentration from construction materials used in Al Jouf city, Saudi Arabia. Journal of Radiation Research and Applied Sciences, 16(3), 100579.
- Alshahri, F. (2019). Effect of grain size on radon emanation coefficient, surface and mass exhalation rates and the correlation coefficient between them in different masses of soil and phosphate fertilizer. Radiochimica Acta, 107(2), 129–139. <https://doi.org/10.1515/ract-2018-3027>

- Anamika, K., Mehra, R., & Malik, P. (2019). Assessment of radiological impacts of natural radionuclides and radon exhalation rate measured in the soil samples of Himalayan foothills of Uttarakhand, India. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 323(1), 263–274. <https://doi.org/10.1007/s10967-019-06876-0>
- ARYA, A.P. 1989. Çekirdek Fiziğinin Esasları. Aktif Yayıncılık, Erzurum. Çeviren: Yusuf Şahin. 407 s.
- Asare, E. O., Otoo, F., Adukpo, O. K., & Opoku-Ntim, I. (2024). Assessment of soil moisture on radon levels, radon exhalation, natural radioactivity, and radiological risks in offices and laboratories in GAEC. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 17(3), 101014. <https://doi.org/10.1016/j.jrras.2024.101014>
- Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency (ARPANSA). (2017). Radon in Australian Homes: Measurement and Mitigation. Government of Australia
- Atyotha, V., Thopan, P., Fungdet, S., & Somtua, J. (2022). Radon Exhalation Rates of Soil Samples from Khon Kaen Province, Thailand. *Mindanao Journal of Science and Technology*, 20(S1). <https://doi.org/10.61310/mndjstmsaty.04.22>
- Baykara, O. (2005). Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu Fay Hatlarının Kesişim Bölgesindeki Doğal Radyoaktivitenin Tayini. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı, Elazığ (Doktora Tezi)
- 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.
- Chen, C.J., Weng P.S. and Chu T.C., Radon exhalation rate from various building materials, *Healty Phys.*, 64: 613-619. PMID: 8491617,1993
- 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.
- Chinese Ministry of Health. (2015). National Radon Action Plan. Ministry of Health, China.
- Chowdhury, S., Barman, C., Deb, A., Raha, S., & Ghose, D. (2018). Study of variation of soil radon exhalation rate with meteorological parameters in Bakreswar–Tantloi geothermal region of West Bengal and Jharkhand, India. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 319(1), 23–32. <https://doi.org/10.1007/s10967-018-6286-2>
- Davutoğlu, H. 2008. Radon Gazının Ölçme Metotları. Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kütahya. 62 s.
- Davutoğlu, H.2008. Radon Gazını Ölçme Metodları. Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Devi, V., Kumar, A., & Chauhan, R. P. (2019). A study on radionuclides content and radon exhalation from soil of Northern India. *Environmental Earth Sciences*, 78(16). <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8512-9>
- Durrani, S. A., & Bull, R. K. (1987). Solid State Nuclear Track Detection: Principles, Methods and Applications.

- 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.
- Eraslan, C. Örgün, Y. Bozkurtoğlu, E. 2014. Geochemistry of trace elements in the Keşan coal and its effect on the physiochemical features of ground-and surface waters in the coal fields, Edirne, Thrace Region, Turkey, *International Journal of Coal Geology*, vol.133 (2014),1-12.
- 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.
- Evict Radon National Study. (2021). *Radon action numbers around the world: Why they differ*. Evict Radon National Study. <https://evictradon.org>
- EPA,2005. Environmental Protection Agency. Citizen's Guide to Radon. U.S. EPA 402-K02-006,11-16.
- Environmental Protection Agency (EPA). (2012). A Citizen's Guide to Radon: The Guide to Protecting Yourself and Your Family from Radon. U.S. Environmental Protection Agency.
- Estimation of exhalation rates of Radon/Thoron in soil in Hanumangarh district of Northern Rajasthan, India. (2023h). *Indian Journal of Pure & Applied Physics*. <https://doi.org/10.56042/ijpap.v61i6.2414>
- EURATOM. (2013). Council Directive 2013/59/EURATOM: Basic Safety Standards for Protection Against Dangers Arising from Ionising Radiation. European Union Publications Office.
- 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.
- Güler, Ç. ve Çobanoğlu, Z., 1997, Radon Kirliliği, 1. Baskı Ankara, 47 s.
- Gürleyen, S. (2017) Farklı Metamorfik Birimlerde Aktif Karbonla Toprak Gazı Radon Ölçümü ve Radon Potansiyelini Etkileyen Parametrelerin İncelenmesi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.
- Health Canada. (2014). Radon: Reduction Guide for Canadians. Government of Canada.
- Hafez, Y., Hussein, M., & Morsy, Z. (2000). *Measurements of radon activity in Egyptian archaeological sites*. OSTI.GOV. <https://www.osti.gov>
- Hidayath, M., Lavanya, B., Naveena, M., & Chandrashekara. (2023). Studies on Radon Exhalation Rate and Activity of Radioactive Elements in Soil Samples and their Radiological Hazards to the Population of Davanagere District, Karnataka, India. *Journal of the Geological Society of India*, 99(4), 525–532. <https://doi.org/10.1007/s12594-023-2340-y>

- Hosoda, M., Tokonami, S., Suzuki, T., & Janik, M. (2020). Machine learning as a tool for analysing the impact of environmental parameters on the radon exhalation rate from soil. *Radiation Measurements*, 138, 106402. <https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2020.106402>
- ICRP (international Commission on Radiological Protection). Lung cancer risk from exposures to radon daughters, report no: 50, ICRP Publication, New York, NY, 1987.
- ICRP (International Commission on Radiological Protection). Protection against Radon-222 at home and at work, report no: 65, ICRP Publication, New York, NY, 1993.
- Jamir, S., Sahoo, B., Mishra, R., & Sinha, D. (2022). Estimation of radon in groundwater and analysis of radon and thoron exhalation rates of the soil in Mokochung district, Nagaland, India. *Groundwater for Sustainable Development*, 20, 100874. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2022.100874>
- Japan Atomic Energy Agency (JAEA). (2016). Radiation and Radon Control in Public Spaces. JAEA Publications.
- 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).
- 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.
- Kanada İstatistikleri. Çevre bilgi formları: Kanada'da radon farkındalığı. 16 Aralık 2016. <https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/16-508-x/16-508-x2016002-eng.htm>
- Kapdan, E. (2009). Adapazarı merkezi kış dönemi radon ölçüm ve analizleri (Master's thesis, Eneji Enstitüsü)
- 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.
- Kenawy, M., & Morsy, Z. (2002). *Radon concentrations in different locations in Egypt*. OSTI.GOV. <https://www.osti.gov>
- 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.
- Kosifoğlu, M.H., Geçmişten Günümüze Bursa Tarihi -Turistlere Rehber- Bursa'da Yunan Mezalimi ve Bursa'nın Manevi Mimarları, 2000. sf.24
- 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, A., Singh, P., Singh, D., Singh, K., Kandari, T., Saklani, C. P., & Deep, A. (2024). Assessment of exhalation rates of radon and thoron in soil from the Jaunsar-Bawar region of the Indian Himalayas. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 333(6), 3147–3158. <https://doi.org/10.1007/s10967-024-09407-8>
- Kumar, G., Kumar, M., Kumari, P., Kumar, A., & Prasher, S. (2018). 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*, 2056, 020009. <https://doi.org/10.1063/1.5083596>
- Kumar, M., Kumar, P., Prajith, R., Agrawal, A., & Sahoo, B. K. (2022). Radon exhalation potential and natural radioactivity in soil collected from the surrounding area of a thermal power plant. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 331(6), 2597–2607. <https://doi.org/10.1007/s10967-022-08298-x>
- Kumar, P., & Kumar, M. (2023b). Radon and Thoron Exhalation Rate Measurements in Soil Samples Collected from the Vicinity of a Thermal Power Plant. *Indian Journal of Pure & Applied Physics*. <https://doi.org/10.56042/ijpap.v61i10.2800>
- Kumari, P., Kumar, M., Kumar, G., & Prasher, S. (2018). Measurement of radon exhalation rate of soil samples from Bharmour - Tisa province of Himachal Pradesh, India using can technique method. *AIP Conference Proceedings*, 2056, 020016. <https://doi.org/10.1063/1.5083603>
- Kurnaz, A., Turhan, Ş., Hançerlioğulları, A., Gören, E., Karataşlı, M., Altıkulaç, A., Erer, A. M., & Metin, O. (2019). Natural radioactivity, radon emanating power and mass exhalation rate of environmental soil samples from Karabük province, Turkey. *Radiochimica Acta*, 108(7), 573–579. <https://doi.org/10.1515/ract-2019-3188>
- Kuş, A. (2017). *Sakarya İli Toprak Örneklerinde Doğal Radyasyon Düzeyinin Belirlenmesi Ve Radon Yayılım Hızlarının Ölçülmesi* (By Yakut, Sakarya Üniversitesi, & Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Mahamood, K. N., Divya, P. V., Vineethkumar, V., & Prakash, V. (2020). Dynamics of radionuclides activity, radon exhalation rate of soil and assessment of radiological parameters in the coastal regions of Kerala, India. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 324(3), 949–961. <https://doi.org/10.1007/s10967-020-07133-5>
- 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 Natiuna Thermal Power Corporation, Dadri (U.P.), India. *Radiat. Meas.*, 50: 130-135, 2013.
- Mahur, A. K., Sharma, R. L., Mehra, R., Chand, S., Singh, H., & Sharma, S. (2024). Correction to: natural radioactivity, radon exhalation rates and radiation doses in soil and cement samples. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. <https://doi.org/10.1007/s10967-024-09573-9>
- Mansour, H. L., Habubi, N. F., Karim, M. S., & Tawfiq, N. F. (2018). Radon Concentrations in Soil Samples and Radon Exhalation Rates in Baghdad Governorate. *Materials Focus*, 7(6), 906–910. <https://doi.org/10.1166/mat.2018.1613>

- 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.
- Mehta, V., Kaur, R., Singh, S. P., & Shikha, D. (2019). Measurement of radon concentration, its exhalation rates in some soil samples of Punjab. *AIP Conference Proceedings*. <https://doi.org/10.1063/1.5122508>
- Mehta, V., Kaur, R., Shikha, D., & Singh, S. P. (2023). A study of radon exhalation rates and activity concentration of ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K in soil samples of Roopnagar district, Punjab, India. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 333(6), 2967–2974. <https://doi.org/10.1007/s10967-023-09050-9>
- 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.
- Miklyaev, P., Petrova, T., Marennyy, A., Shchitov, D., Sidyakin, P., Murzabekov, M., & Lopatin, M. (2020). High seasonal variations of the radon exhalation from soil surface in the fault zones (Baikal and North Caucasus regions). *Journal of Environmental Radioactivity*, 219, 106271. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2020.106271>
- Misra, K.C., 2000; Maden Yataklarını Anlamak “Understanding Mineral Deposits” kitabın Türkçe çevirisi, Bölüm 14; TMMOB Jeolojik Mühendisleri Odası Çeviri Serisi NO:3
- Morawska, L., Two ways of determining the ^{222}Rn emanation coefficient, *Health PHYS.*, 57:481-483. PMID: 2777555, 1989.
- 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.
- National Research Council, Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation, Health Risks of Radon and Other Internally Deposited Alpha-emitters, BEIR IV, National Academy Press, Washington, DC, 1988.
- Nazaroff, W. W. (1992). Radon transports from soil to air. *Reviews of Geophysics*, 30(2), 137–160. <https://doi.org/10.1029/92rg00055>
- Nikezic, D., & Yu, K. N. (2004). “Formation and growth of tracks in nuclear track materials.” *Materials Science and Engineering: R: Reports*.
- Nsiah-Akoto, I., Andam, A. B., Akiti, T. T., & Fletcher, J. J. (2019). Study of radium and radon exhalation rate in soil samples, Offinso municipality. *AIP Conference Proceedings*. <https://doi.org/10.1063/1.5110138>
- Örgün, Y., Altınsoy, N., Gültekin, A.H., Karahan, G., Çelebi, N. (2005), Natural Radioactivity Levels in Granitic Plutons and Groundwaters in Southeast Part of Eskisehir, Turkey, *Applied Radiation and Isotopes*, Vol. 63, pp. 267-275.
- Örgün, Y., Altınsoy, N., Şahin, S.Y., Güngör, Y., Gültekin, A.H., G. Karahan, Karacık, Z., 2007, Natural and anthropogenic radionuclides in rocks and beach sands from Ezine region (Çanakkale), Western Anatolia, Turkey. *Applied radiation Isotope*, Vol. 65, pp. 739-747

- Özdemir, F. B., 2006. Afyon ve Çevresindeki Kuyu Sularında Radon (Rn-222) Aktivitesinin Tayini, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Afyonkarahisar
- Özdemir, F.B. 2006. Afyon ve Çevresindeki Kuyu Sularında Radon (Rn-222) Aktivitesi Tayini. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Afyonkarahisar. 112 s.
- Özkablan, S. 2020. Kilis İli Toprak Örneklerinde Radon Gazı Ölçümü. Kilis 7 Aralık Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kilis.
- Palmer, C.A. Tuncalı, E. Kristen O. Dennen, K.O., Coburn, T.C., Robert B. Finkelman, 2004., Characterization of Turkish coals: a nationwide perspective., *International Journal of Coal Geology* 60, 85-115.
- Pisapak, P., Todorovic, N., & Bhongsuwan, T. (2017). Correlation between radon and radium concentrations in soil and estimation of natural radiation hazards in Namom district, Songkhla province (Southern Thailand). *Environmental Earth Sciences*, 76, 1-11.
- Pişkin, A. (2016). Ofis Çalışanlarının Radon Gazı Maruziyetinin Nükleer İz Dedektör Yöntemine Göre Belirlenmesi Ve Sağlık Üzerindeki Etkileri. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi
- Pişkin, A. (2017). Aydın İli Koçarlı Bölgesi Ve Çevresinde Radon Konsantrasyonlarının Toprak Yapısı Ve Çevresel Parametreler İle Olan İlişkilerinin Belirlenmesi [Phd Dissertation]. In M. M. Saç, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (P. İi).
- Poojitha, C. G., Sahoo, B. K., Ganesh, K. E., Pranesha, T. S., & Sapra, B. K. (2020). ASSESSMENT OF RADON AND THORON EXHALATION FROM SOILS AND DISSOLVED RADON IN GROUND WATER IN THE VICINITY OF ELEVATED GRANITIC HILL, CHIKKABALLAPUR DISTRICT, KARNATAKA, INDIA. *Radiation Protection Dosimetry*, 190(2), 185–192. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncaa099>
- 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.
- Radon. (2021, June 9). Bilim Genc. <https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/periodyik-tablo/radon>
- 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.
- 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.
- Rani, S., Kundu, R. S., Garg, V. K., Singh, B., Panghal, A., & Dilbaghi, N. (2023). Radon and thoron exhalation rate in the soil of Western Haryana, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(4). <https://doi.org/10.1007/s10661-023-11046-7>

- Razumov AN, Puriga AO, Yurova OV. [Hastaların tıbbi rehabilitasyonu için radon tedavisinin modern uygulamaları]. Vopr Kurortol Fizioter Lech Fiz Kult. 2015 Temmuz-Ağustos;92(4):54-60. Rusça. doi: 10.17116/kurort2015454-60. PMID: 26595970.
- Rehman S. Ur-, Matiullah, S.-ur-Rehman, S. Rahman, Studying ^{222}Rn 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.
- Sağlam, Y. (2019). Geyve, Örencik Ve Doğançay Bölgelerinde Radon Aktivitesinin Belirlenmesi. In F. E. Yamaç & Sakarya Üniversitesi, *T.C. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Serway, R.A., Fen ve Mühendislik için Fizik (Serway3), Ankara,1996, Çeviri Editörü: Kemal Çolakoğlu, 295 s.
- 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, B., Kant, K., Garg, M., & Sahoo, B. K. (2020). Quantification of radon/thoron exhalation rates of soil samples collected from district Faridabad of Southern Haryana, India. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 326(1), 831–843. <https://doi.org/10.1007/s10967-020-07365-5>
- Singh, B., & Kant, K. (2023). Estimation of Exhalation Rates of Radon and Thoron in the Soil Samples Collected from Gurugram, Haryana, India. Indian Journal of Pure & Applied Physics. <https://doi.org/10.56042/ijpap.v61i11.2657>
- 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.
- 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.
- South African Radiation Protection Association. (2018). Radon Mitigation in Mining and Residential Areas. SARPA
- Sungur, M. 2012, Avcıkoru (İstanbul) bölgesi kömür ve kil sahalarındaki yeraltı ve yüzey sularının hidrojeokimyasal özellikleri ve çevresel etkilerinin değerlendirilmesi, İTÜ Fen Bilimleri Ens. Yüksek Lisans Tezi.

- Swaine, D.J., Goodarzi, F. (Eds.) 1995. Environmental aspect of trace elements in coal. Kluwer Academic Publishers, the Netherlands. 312 pp.
- Swedish Radiation Safety Authority. (2020). Radon in Homes: A Practical Guide for Property Owners. Swedish Radiation Safety Authority.
- Talay, İ. Türkiye Coğrafyası-1 (Fiziki) 2000
- Tabar E., Yakut H. and Ku 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)
- Taşköprü, C. (2014). Küçük Menderes Havzası Topraklarında Radon Difüzyon Katsayılarının Belirlenmesi. In M. M. Saç, Aysun Uğur Görgün, Coşkun Harmanşah, & Ege Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü* (Pp. İ–Xi) [Thesis; Nükleer Bilimler Anabilim Dalı]. Ege Üniversitesi.
- Taylor, J. R., Zafaritos, C. D., Fizik ve Mühendislikte Modern Fizik, İstanbul, 1996. TENMAK(TAEK), 2012, Kapalı Ortamlarda Radon Gazı, Teknik Rapor, Ankara.
- Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu, TENMAK, <http://www.tenmak.gov.tr>
- TAEK, 2014. Türkiye Radon Konsantrasyon Dağılımı Haritası. TAEK Türkiye 2, 48.
- 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).
- Tommasino, L., & Furlan, G. (1980). “Advances in nuclear track methodology.” Radiation Effects.
- Tzortzis, M., Tsertos, H., 2004, Determination of thorium, uranium, and potassium element concentrations in surface soils in Cyprus. J. Environ. Radioactivity 77, 325–338
- UK Health Security Agency. (2021). Radon: A Guide for Homeowners and Building Professionals. UKHSA.
- UNSCEAR Report 1982, Exposure from natural sources of radiation; Report of the United Nations Scientific Committee on the effects of atomic radiation, Annex B.
- UNSCEAR Report 2006, Report to the General Assembly, Vol 1: Effects of ionizing radiation with scientific annexes A and B
- URL-1 https://www.kimyaegitimi.org/sites/default/files/kontekst_uygulamaları/kimya_egitimi/radyoaktif_bozunma_trleri.pdf
- URL-2 <http://www.kimyadersi.com/index.htm>.
- URL-3 TENMAK, <https://www.tenmak.gov.tr/2016-06-09-00-43-46/1087-dogal-radyasyon-kaynaklari.html>
- URL-4, <http://physics.isu.edu/radinf/natural.html> , 3 Mart 2008.
- URL-5, www.periodictable.com/Isotopes/086.222/index.full.html , 2 Şubat 2008.

- URL -6 Şekil1a: www.indiana.edu
- URL-7 Şekil1b : www.photovolcanica.com
- URL-8: <http://www.radon.com/>
- URL-9 <https://cografyahocasi.com/10-sinif/toprak-tipleri-ve-ozellikleri.html>
- URL-10 <https://bebka.org.tr/bolgemiz/#:~:text=İç%20Anadolu%20 Bölgesi %20 ile% 20Marmara,%2C7'sine%20karşılık%20gelmektedir.>
- URL-11<https://bursa.afad.gov.tr/bursa-ilinin-afet-tehlike-ve-riskleri#:~:text=Bursa%20İlinin%20Tektonik%20Yapısı,metamorfizma%20ve%20granit%20intrizyonu%20oluşmuştur.>
- URL-12 https://www.kalkinmakutuphanesi.gov.tr/assets/upload/dosyalar/nilufer_ilce_raporu.pdf
- URL-13 <http://www.bursa.gov.tr /yildirim #:~:text= Uludağ'ın %20 eteklerine% 20 kurulmuş % 20Yıldırım, güneyinde%20Uludağ%20yükseilir%2C%20 kuzeyi % 20 düzdür>
- URL-14 <https://chemistnotes.com/inorganic/radioactive-series-thorium-uranium-actinium-and-neptunium-series/>
- URL-15 <https://fixradon.com/about-radon/maps/world-average-radon-levels/>
- URL-16 <http://cografyaharita.com/haritalarim/ledunya-toprak-haritasi1.png>
- 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
- Yadav, J., Parkash, R., Khyalia, B., Chauhan, R. P., Singh, P. P., Singh, P., & Dalal, R. (2024). Investigation of radon and thoron exhalation rates in soils: Manali-Leh Highway region of Himalayas. Journal of Environmental Radioactivity, 280, 107552. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2024.107552>
- Yang, J., Busen, H., Scherb, H., Hürkamp, K., Guo, Q., & Tschiersch, J. (2018). Modeling of radon exhalation from soil influenced by environmental parameters. The Science of the Total Environment, 656, 1304–1311. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.464>
- Yaramış, B. 1985 Nükleer Fizik, İ.T.Ü. Fen-Edebiyat Fakültesi, Cilt 1, 259 s.
- Yasin, D. (2020). Toprak İçi Radon ve Karbondioksit Gaz Konsantrasyonlarının Değişiminin Depremler ile İlişkinin İncelenmesi: Karabayır (Eskişehir) Örneği. *Afyon Kocatepe University Journal of Sciences and Engineering*, 20(3), 518–527. <https://doi.org/10.35414/akufemubid.698178>
- Yaşar, Y. E. (2020). *Bursa'nın Orhaneli, Keleşli Ve Osmangazi İlçelerindeki Topraklarda Radon Yayılım Hızlarının Ve Efektif Radyum İçeriklerinin Belirlenmesi* (By H. Yakut & Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü) [Yüksek Lisans Tezi].
- Yörük, E., Çam, F., & Canbaz, B. (2021). Güvenli Çalışma Ortamları İçin Radyasyon Riskinin Değerlendirilmesi. *Deu Muhendislik Fakültesi Fen Ve Muhendislik*, 23(68), 357–367. <https://doi.org/10.21205/deufmd.2021236802>

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.

WHO, 2009. World Health Organization. Handbook on Indoor Radon: A Public Health Perspective, 94p.

World Health Organization (WHO). (2021). *Radon: National radon reference levels*. WHO Global Health Observatory. <https://apps.who.int/gho/data>





EKLER

EK A. Numunelere ait koordinat bilgileri.

EK B. İlçelerin Yıllık Efektif Doz Grafikleri.

.



EK A**Tablo Ek A. 1.** Nilüfer Bölgesi Numune Topraklara Ait Koordinat Tablosu.

Nokta	N	E
1.Nokta	40 ⁰ 13' 16,536"	28 ⁰ 52' 6,3084"
2.Nokta	40 ⁰ 13' 14,3112"	28 ⁰ 54' 8,6328"
3.Nokta	40 ⁰ 13' 12,6264"	28 ⁰ 55' 18,066"
4.Nokta	40 ⁰ 12' 37,7244"	28 ⁰ 56' 29,1552"
5.Nokta	40 ⁰ 12' 19,098"	28 ⁰ 56' 40,8552"
6.Nokta	40 ⁰ 12' 27,9"	28 ⁰ 56' 58,6824"
7.Nokta	40 ⁰ 12' 45,9972"	28 ⁰ 57' 51,0012"
8.Nokta	40 ⁰ 12' 3,1248"	28 ⁰ 56' 27,5136"
9.Nokta	40 ⁰ 12' 34,02"	28 ⁰ 56' 11,4432"
10.Nokta	40 ⁰ 13' 24,4992"	28 ⁰ 57' 27,6372"
11.Nokta	40 ⁰ 12' 30,2904"	28 ⁰ 58' 36,1524"
12.Nokta	40 ⁰ 12' 51,6924"	28 ⁰ 58' 23,4912"
13.Nokta	40 ⁰ 14' 34,9044"	28 ⁰ 57' 58,3236"
14.Nokta	40 ⁰ 14' 55,77"	28 ⁰ 57' 32,4612"
15.Nokta	40 ⁰ 14' 53,844"	28 ⁰ 56' 49,6716"
16.Nokta	40 ⁰ 14' 26,5992"	28 ⁰ 56' 44,7468"
17.Nokta	40 ⁰ 14' 16,872"	28 ⁰ 57' 46,1628"
18.Nokta	40 ⁰ 13' 45,1272"	28 ⁰ 59' 10,0824"
19.Nokta	40 ⁰ 13' 30,18"	28 ⁰ 58' 39,4464"
20.Nokta	40 ⁰ 12' 59,6772"	29 ⁰ 0' 2,6964"

Tablo Ek. A 2. Yıldırım Bölgesi Numune Topraklara Ait Koordinat Tablosu.

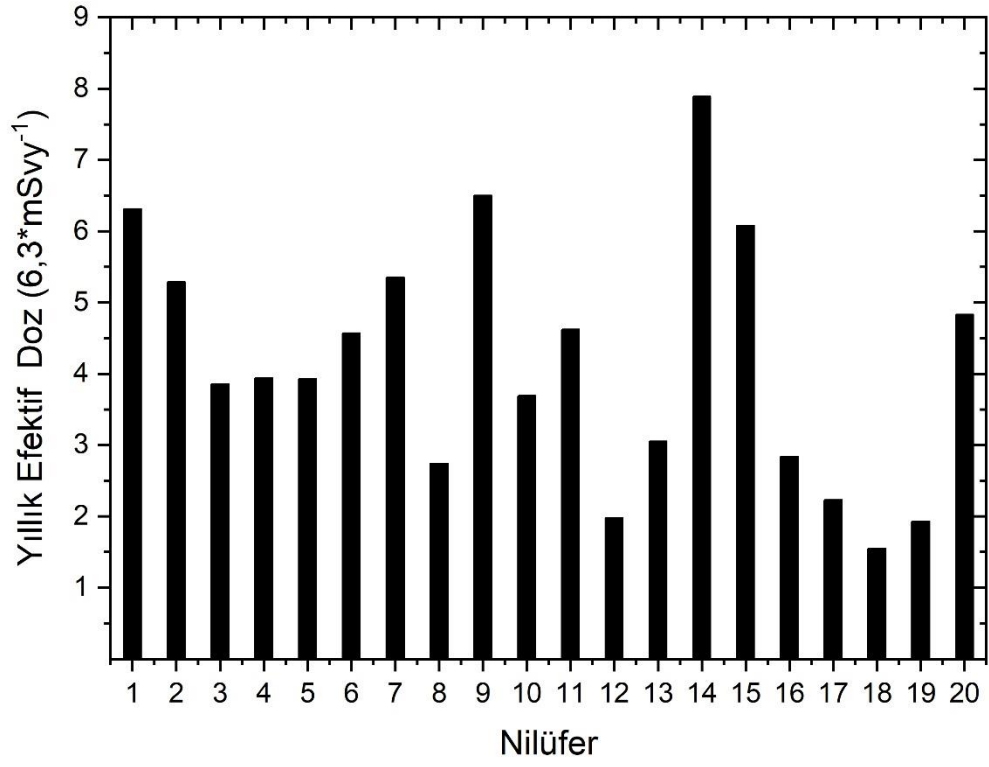
Nokta	N	E
1.Nokta	40 ⁰ 11' 50,3304"	29 ⁰ 5' 26,0412"
2.Nokta	40 ⁰ 11' 33,9072"	29 ⁰ 5' 22,65"
3.Nokta	40 ⁰ 12' 31,0392"	29 ⁰ 5' 52,9152"
4.Nokta	40 ⁰ 12' 46,1052"	29 ⁰ 6' 9,3924"
5.Nokta	40 ⁰ 10' 36,2064"	29 ⁰ 7' 48,8388"
6.Nokta	40 ⁰ 10' 37,4412"	29 ⁰ 8' 14,0676"
7.Nokta	40 ⁰ 10' 35,4504"	29 ⁰ 7' 23,4732"
8.Nokta	40 ⁰ 10' 23,0592"	29 ⁰ 7' 10,038"
9. Nokta	40 ⁰ 10' 27,6348"	29 ⁰ 6' 48,8376"
10. Nokta	40 ⁰ 10' 44,166"	29 ⁰ 6' 26,0388"
11. Nokta	40 ⁰ 10' 55,2828"	29 ⁰ 6' 27,4428"
12. Nokta	40 ⁰ 11' 8,7"	29 ⁰ 6' 22,7988"
13. Nokta	40 ⁰ 11' 10,5792"	29 ⁰ 6' 1,9404"
14. Nokta	40 ⁰ 11' 12,5736"	29 ⁰ 5' 25,0008"
15. Nokta	40 ⁰ 10' 46,7436"	29 ⁰ 4' 15,1068"
16. Nokta	40 ⁰ 10' 47,802"	29 ⁰ 4' 39,5508"
17. Nokta	40 ⁰ 10' 36,2892"	29 ⁰ 5' 13,6104"
18. Nokta	40 ⁰ 11' 6,6948"	29 ⁰ 5' 50,3268"
19. Nokta	40 ⁰ 11' 23,55"	29 ⁰ 5' 25,8216"
20. Nokta	40 ⁰ 10' 34,2948"	29 ⁰ 5' 53,7216"
21. Nokta	40 ⁰ 11' 59,19"	29 ⁰ 5' 27,438"

Tablo Ek.A 3. Gürsu Bölgesi Numune Topraklara Ait Koordinat Tablosu.

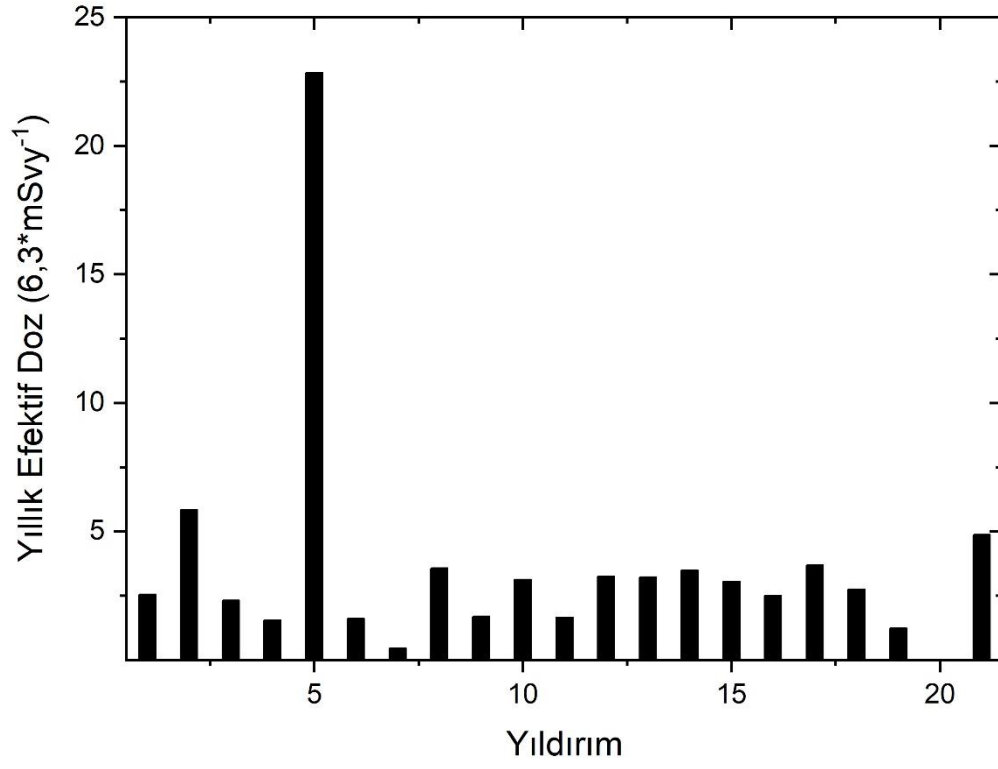
Nokta	N	E
1.Nokta	40 ⁰ 12' 30,6484"	29 ⁰ 11' 47,9076"
2.Nokta	40 ⁰ 12' 35,3196"	29 ⁰ 12' 16,0812"
3. Nokta	40 ⁰ 12' 38,1312"	29 ⁰ 12' 10,5192"
4. Nokta	40 ⁰ 12' 10,3248"	29 ⁰ 12' 1,4904"
5. Nokta	40 ⁰ 12' 43,164"	29 ⁰ 11' 33,4788"
6. Nokta	40 ⁰ 12' 5,4684"	29 ⁰ 12' 17,9172"
7. Nokta	40 ⁰ 12' 47,6891"	29 ⁰ 11' 51,1584"
8. Nokta	40 ⁰ 12' 41,526"	29 ⁰ 11' 58,614"
9.Nokta	40 ⁰ 11' 56,9868"	29 ⁰ 12' 3,5784"
10.Nokta	40 ⁰ 12' 45,116"	29 ⁰ 12' 28,4616"
11.Nokta	40 ⁰ 12' 40,6224"	29 ⁰ 11' 55,05"
12.Nokta	40 ⁰ 12' 54,2268"	29 ⁰ 12' 13,2732"
13.Nokta	40 ⁰ 12' 43,6892"	29 ⁰ 11' 50,1584"
14.Nokta	40 ⁰ 12' 52,6356"	29 ⁰ 12' 39,7936"
15.Nokta	40 ⁰ 12' 41,6196"	29 ⁰ 12' 30,7188"
16.Nokta	40 ⁰ 12' 49,6196"	29 ⁰ 12' 33,7188"
17.Nokta	40 ⁰ 12' 43,3872"	29 ⁰ 11' 56,4108"
18.Nokta	40 ⁰ 12' 48,672"	29 ⁰ 11' 50,3988"
19.Nokta	40 ⁰ 12' 45,1116"	29 ⁰ 11' 28,4616"
20.Nokta	40 ⁰ 12' 50,5524"	29 ⁰ 11' 48,0876"

EK B.

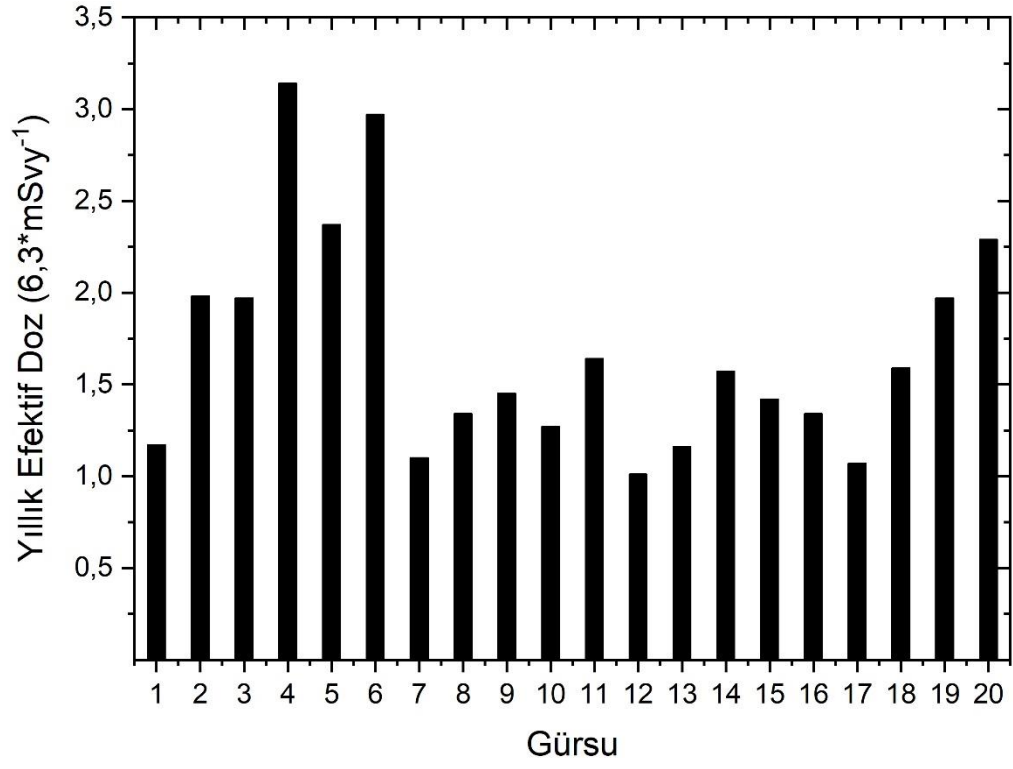
Tablo Ek. B.1. Nilüfer bölgesinin Yılların Efektif Doz grafiği.



Tablo Ek. B.2. Yıldırım bölgesinin Yıllık Efektif Doz grafiği.



Tablo Ek. B.3. Gürsu bölgesinin Yıllık Efektif Doz grafiği.





ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Seval KASAPOĞLU

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2011, Sakarya Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü
- **Pedagojik Formasyon** : 2013,Sakarya Üniversite, Eğitim Fökültesi

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2012-2013 yılları arasında Milli Eğitim Bakanlığı'nda stajyer öğretmen olarak çalıştı.
- 2013 yılından beri Fizik Öğretmeni olarak özel okul ve kurs merkezlerinde aktif çalışmakta.