

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

**BURSA İLİ ORHANELİ VE KELEŞ İLÇELERİNDEKİ
TOPRAKLARIN DOĞAL RADYONÜKLİD DÜZEYİNİN
BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Rohullah ALEMİ

Fizik Anabilim Dalı

TEMMUZ 2023

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

**BURSA İLİ ORHANELİ VE KELEŞ İLÇELERİNDEKİ
TOPRAKLARIN DOĞAL RADYONÜKLİD DÜZEYİNİN
BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Rohullah ALEMİY

Fizik Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hakan YAKUT

Ortak Danışman: Doç. Dr. Bahadır SAYGI

TEMMUZ 2023

Rohullah ALEMİY tarafından hazırlanan ‘‘Bursa İli Orhaneli ve Keleş İlçelerindeki Toprakların Doğal Radyonüklid Düzeyinin Belirlenmesi’’ adlı tez çalışması 19.06.2022 tarihinde aşığıdaki jüri tarafından oy birliğı/oy çokluğu ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı Bir öge seçin. **Bilim Dalı’nda (varsa) Yüksek Lisans tezi**olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı : Unvan Adı SOYADI
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : Unvan Adı SOYADI
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : Unvan Adı SOYADI
Ankara Üniversitesi

Jüri Üyesi : Unvan Adı SOYADI
(Gerekliyse) Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : Unvan Adı SOYADI
(Gerekliyse) Sakarya Uygulamalı Bilimler 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 İli Orhaneli ve Keleş ilçelerindeki toprakların doğal radyonüklid düzeyinin belirlenmesi” 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, etik kurul onay belgesi aldığımı (etik onayı gerekmiyorsa bu cümle metinden çıkartılır), çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(7/06/2023).

Rohullah ALEMİ

Eşime ithafen

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimimde değerli bilgi ve deneyimlerinden faydalandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın konusunun belirlenmesinden tamamlanmasına kadar ki tüm aşamalarında benden yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışmanım Prof. Dr. Hakan YAKUT'a ve değerli tez ortak danışmanım Doç. Dr. Bahadır SAYGI'ya teşekkür ederim.

Tez çalışması ve tezimin tamamlanması sürecinde bana her konuda destek veren, yürütücüsü olduğu Bilimsel Araştırma Projesi kapsamında bursiyer olmamı sağlayan hiçbir zaman yardımlarını esirgemeyen Doç. Dr. Emre TABAR'a ayrıca teşekkür ederim. Tez çalışmalarımda gama spektrometre sisteminin kalibrasyonlarında ve ölçümlerin analizinde desteklerini esirgemeyen Dr. Öğretim Üyesi Nilüfer DEMİRCİ SAYGI'ya minnetlerimi sunuyorum.

Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyon Başkanlığı'na 2020-9-34-67 nolu Genel Araştırma Projesi (GAP-C) kapsamında verdiği desteklerden dolayı teşekkürlerimi sunuyorum.

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

Rohullah ALEMİY

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	v
TEŞEKKÜR	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xiii
SİMGELER	xv
TABLO LİSTESİ	xvii
ŞEKİL LİSTESİ	xix
ÖZET	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Kısa Literatür Özeti.....	2
2. GENEL BİLGİLER	9
2.1. Radyoaktivite.....	9
2.2. Radyoaktivite ve Radyasyon Birimleri.....	10
2.3. Radyasyon Kaynakları.....	11
2.3.1. Doğal radyasyon kaynakları	11
2.4. Doğal Radyoaktif Seriler	13
2.5. Toprakta Bulunan Doğal Radyasyon Kaynakları	15
2.5.1. Uranyum-238 (²³⁸ U)	16
2.5.2. Toryum-232 (²³² Th).....	17
2.5.3. Potasyum-40 (⁴⁰ K).....	17
2.5.4. Radyum-226 (²²⁶ Ra)	18
2.5.5. Radon-222 (²²² Rn)	18
2.6. İyonlaştırıcı Radyasyon	20
2.6.1. Nötron radyasyonu	20
2.6.2. X-ışını radyasyonu.....	20
2.6.3. Alfa radyasyonu.....	20
2.6.4. Beta radyasyonu.....	21
2.6.5. Gama radyasyonu	21
2.7. Radyasyonun Madde ile Etkileşimi	22
2.7.1. Fotoelektrik olay	22
2.7.2. Compton saçılması	23
2.7.3. Çift oluşumu.....	24
3. DENEYSEL YÖNTEM	27
3.1. Arazi Çalışmaları ve Örnek Alımı	27
3.2. NaI (Tl) gama spektrometre sistemi ile doğal radyonüklit analizi.....	30
3.2.1. Enerji çözünürlüğü	31
3.2.2. Enerji kalibrasyonu.....	32
3.2.3. Verim kalibrasyonu	35
3.3. Toryum Kanalı	37

3.4. Uranyum Kanalı	38
3.5. Potasyum Kanalı	39
3.6. Duyarlılık Faktörleri ve Sıyırma Oranları	40
3.7. Yer Kabuğundaki Radyonüklitlerin Konsantrasyon Birimleri ve Dönüşümü	44
3.8. Aktivitelerin Belirlenmesi ve Doz Hesabı	45
4. SONUÇLAR	47
4.1. Doğal Radyonüklidlerin Aktivite Konsantrasyonu Ölçüm Sonuçları	47
5. TARTIŞMA ve ÖNERİLER	55
KAYNAKLAR.....	57
EKLER.....	63
ÖZGEÇMİŞ	67

KISALTMALAR

AED	: Yıllık etkin doz eşdeğeri
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü
ICRP	: Uluslararası Radyolojik Korunma Komitesi
MCA	: Çok kanallı analizör
MDA	: Minimum dedekte edilebilen aktivite
NaI(Tl)	: Talyum katkılı sodyum iyodür dedektörü
TAEK	: Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
UNSCEAR	: Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi
EURATOM	: Avrupa Atom Enerjisi Topluluğu

SİMGELER

Bq	: Becquerel (radyoaktivite birimi)
Ci	: Curie (radyoaktivite birimi)
C_K	: Potasyum aktivite konsantrasyonu
C_{Ra}	: Radyum aktivite konsantrasyonu
C_{Rn}	: Radon aktivite konsantrasyonu
C_{Th}	: Toryum aktivite konsantrasyonu
D	: Dış ortam gama doz oranı
eTh	: Eşdeğer toryum konsantrasyonu
eU	: Eşdeğer uranyum konsantrasyonu
eV	: Elektron-Volt
Gy	: Gray (soğrulan doz birimi)
Hex	: Tehlike indeksi
HV	: Yüksek voltaj
ppm	: Milyonda bir
Ra_{eq}	: Eşdeğer radyum içeriği
SD	: Standart sapma
Sv	: Sievert (eşdeğer doz birimi)
t_{1/2}	: Yarı ömür
µB	: Art-ortam sayım hızı

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1. Dünya genelindeki doğal radyasyon maruziyeti ortalama değerleri	12
Tablo 2.2. Çeşitli kaya tiplerinden gelen gama radyasyonun doz oranları	16
Tablo 2.3. Topraktaki doğal radyoizotopların konsantrasyonları (Bq/kg)	16
Tablo 2.4. Çeşitli kayalardaki ortalama uranyum konsantrasyonu	17
Tablo 3.1. Enerji kalibrasyonu için önerilen radyoaktif nokta kaynaklar	33
Tablo 3.2. RGU-1 referans kaynağına ait sertifika bilgileri	34
Tablo 3.3. RGTh-1 referans kaynağına ait sertifika bilgileri	34
Tablo 3.4. RGK-1 referans kaynağına ait sertifika bilgileri	34
Tablo 3.5. IAEA kaynaklarının izotoplarına karşılık gelen kanal numaraları	35
Tablo 3.6. Verim kalibrasyonu için kullanılan nokta kaynakları	36
Tablo 3.7. Doğal radyonüklit için standart gama ışını enerji pencereleri	37
Tablo 3.8. Duyarlılık faktörleri (IAEA standartlarının 500 gr kaynağına göre)	44
Tablo 3.9. NaI dedektörün enerji penceresi hassasiyetleri ve sıyırma oranları	44
Tablo 3.10. IAEA'nın RGU, RGK ve RGTh referans kaynakları kullanarak belirlenen aktivite seviyelerinin karşılaştırılması	44
Tablo 3.11. K, U ve Th spesifik aktiviteleri	45
Tablo 4.1. Keleş ilçesinin topraklarında ölçülen radyonüklidlerin istatistiksel olarak değerlendirilmesi	51
Tablo 4.2. Orhaneli ilçesinin topraklarında ölçülen doğal radyonüklidlerin istatistiksel olarak değerlendirilmesi	52
Tablo 4.3. Toprak örneklerinde ölçülen ortalama aktivite konsantrasyonları, soğrulan gama doz oranları ve yıllık etkin doz eşdeğerlerinin Türkiye ve Dünya'da yürütülen diğer çalışmalarda elde edilen veriler ile karşılaştırması	53

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Radyasyon kaynakları	11
Şekil 2.2. ^{238}U bozunma serisi	13
Şekil 2.3. ^{235}U bozunma serisi.....	14
Şekil 2.4. ^{232}Th bozunma serisi	15
Şekil 2.5. ^{222}Rn ’nin oluşumu ve bozunma ürünleri	19
Şekil 2.6. Toprakta radon geçirgenliği	19
Şekil 2.7. Fotoelektrik olay	22
Şekil 2.8. Compton olayı	23
Şekil 2.9. Çift oluşumu	24
Şekil 2.10. Gama ışınlarının madde ile etkileşme biçimleri	25
Şekil 3.1. Bursa il haritası.....	27
Şekil 3.2. Çalışılan Bursa ilçeleri lokasyon haritası.	29
Şekil 3.3. Orhaneli ve Keleş ilçelerine ait örnekleme noktalarının yer aldığı harita.	29
Şekil 3.4. (3’’x3’’) NaI (TI) dedektörü.	30
Şekil 3.5. Gama spektroskopi sistemi genel şeması.	31
Şekil 3.6. Gama ışını dedektörünün enerji çözünürlüğünü gösteren diyagram	32
Şekil 3.7. Enerji kalibrasyonunu için kullanılan nokta kaynakların spektrumları.	33
Şekil 3.8. Enerji kalibrasyonunu için kullanılan nokta kaynakların grafiği.	33
Şekil 3.9. Enerji kalibrasyon grafiği (IAEA referans RGU, RGTh ve RGK).	35
Şekil 3.10. Verim kalibrasyon grafiği.	36
Şekil 3.11. U, Th ve K kanallarına diğer kanallardan gelen katkılar	37
Şekil 3.12. ^{232}Th sintilasyon gama spektrumu ve seçilen enerji aralığı	38
Şekil 3.13. ^{238}U sintilasyon gama spektrumu ve seçilen enerji aralığı	39
Şekil 3.14. ^{40}K sintilasyon gama spektrumu ve seçilen enerji aralığı	39
Şekil 4.1. Keleş ilçesi, çalışma bölgesindeki ^{226}Ra spesifik aktivite dağılımı.	48
Şekil 4.2. Keleş ilçesi, çalışma bölgesindeki ^{232}Th spesifik aktivite dağılımı.	48
Şekil 4.3. Keleş ilçesi, çalışma bölgesindeki ^{40}K spesifik aktivite dağılımı.	49
Şekil 4.4. Orhaneli ilçesi, çalışma bölgesindeki ^{226}Ra spesifik aktivite dağılımı.	49
Şekil 4.5. Orhaneli ilçesi, çalışma bölgesindeki ^{232}Th spesifik aktivite dağılımı.	50
Şekil 4.6. Orhaneli ilçesi, çalışma bölgesindeki ^{40}K spesifik aktivite dağılımı.	50

BURSA İLİ ORHANELİ VE KELEŞ İLÇELERİNDEKİ TOPRAKLARIN DOĞAL RADYONÜKLİD DÜZEYİNİN BELİRLENMESİ

ÖZET

Bu tez çalışmasında, Bursa'nın zengin linyit yatakları ile dikkat çeken Orhaneli ve Keleş ilçelerinden toplanan toprak örneklerindeki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K doğal radyonüklid aktivite konsantrasyonları NaI(Tl) gama spektrometresi yöntemiyle ölçülmüş ve radyolojik risk endeksleri hesaplanmıştır. ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K doğal radyonüklidlerin ortalama aktivite konsantrasyonları Keleş ilçesi için sırasıyla $46,02 \text{ Bqkg}^{-1}$, $13,72 \text{ Bqkg}^{-1}$ ve $148,80 \text{ Bqkg}^{-1}$ olarak bulunurken, Orhaneli ilçesi için ise aktivite konsantrasyonları sırasıyla $37,35 \text{ Bqkg}^{-1}$, $9,19 \text{ Bqkg}^{-1}$ ve $119,76 \text{ Bqkg}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar radyolojik risk açısından değerlendirildiğinde soğurulan gama doz oranı (D), yıllık etkin doz eşdeğeri (AED), radyum eşdeğer aktivitesi (R_{eq}) ve dış tehlike indeksi (H_{ex}) için ortalama değerlerin Keleş ilçesi için sırasıyla $35,75 \text{ nGyh}^{-1}$, $0,04 \mu\text{Svy}^{-1}$, $77,11 \text{ Bqkg}^{-1}$ ve $0,20$ olduğu gözlenirken bu ortalama değerler Orhaneli ilçesi için sırasıyla $27,80 \text{ nGyh}^{-1}$, $0,03 \mu\text{Svy}^{-1}$, $59,71 \text{ Bqkg}^{-1}$ ve $0,16$ olarak bulunmuştur. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar ulusal ve uluslararası kuruluşlar tarafından önerilen limit değerlerle karşılaştırıldığında, çalışılan bölge topraklarının radyoaktivite açısından güvenli olduğu ve herhangi bir radyolojik tehlike oluşturmadığı görülmüştür.

Orhanlei ve Keleş ilçelerinin farklı noktalarından toplanan toprak örneklerindeki doğal radyoaktivite düzeylerini belirlemek için, ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklid aktivite konsantrasyonları gama spektrometresi yöntemi kullanılarak ölçülmüştür. Sonuçlar, çalışma alanındaki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklid aktivite konsantrasyonlarının farklı seviyelerde olduğunu ortaya koymaktadır. Farklı jeolojik formasyonların örnekler arasında farklılık gösteren sonuçlara neden olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, bölgede yapılan tarımsal faaliyetlerine gübre kullanım ve bölgede meydana gelen taşkınlar gibi faktörlerin de ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarındaki değişimlerde rol oynayabileceği düşünülmektedir. Sonuçlar ulusal ve uluslararası radyasyondan korunma kuruluşları tarafından önerilen limit değerlerinin altında elde edilmiştir.

DETERMINATION OF NATURAL RADIONUCLIDE LEVELS IN SOIL OF ORHANELI AND KELEŞ DISTRICTS IN BURSA PROVINCE

SUMMARY

Living organisms on Earth, including plants, animals and fungi are continuously exposed to radiation from both natural and artificial sources. Natural radioactivity is the primary source of the radiation to which all living beings are exposed. It originates from the presence of natural radioactive nuclei in the Earth's crust, including water, sand, soil, plants, rocks, and other living organisms, as well as cosmic rays.

Radionuclides with very long half-lives, which have existed since the univers's formation, expose the human body to radiation both internally, through respiration and ingestion, and externally, through cosmic rays and radiation emitted by naturally occurring radionuclides in the air, Earth's crust, and construction materials. This constant exposure to radiation from various sources is a natural and unavoidable aspect of life on Earth.

In the present study, the natural radionuclide activity concentrations of ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K in soil samples collected from Orhaneli and Keleş districts of Bursa, know for their rich lignite deposits, were measured using the NaI (Tl) gamma spectrometry method, and radiological risk indices were calculated. For Keleş district the average activity concentration of ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K natural radionuclides were found to be $46,02 \text{ Bqkg}^{-1}$, $13,72 \text{ Bqkg}^{-1}$ and $148,80 \text{ Bqkg}^{-1}$, respectively. However, the average activity concentration for Orhaneli were found to be $37,35 \text{ Bqkg}^{-1}$, $9,19 \text{ Bqkg}^{-1}$ and $119,76 \text{ Bqkg}^{-1}$, respectively.

When the obtained results are evaluated in terms of radiological risk, it is observed that the average values for absorbed gama dose rate (D), annual effective dose equivalent (AED), radium equivalent activity (Raeq) and external hazard index (Hex) for Keleş district are $35,75 \text{ nGyh}^{-1}$, $0,04 \text{ }\mu\text{Svy}^{-1}$, $77,11 \text{ Bqkg}^{-1}$ and $0,20$, respectively. The corresponding average values for Orhaneli district are found to be $27,80 \text{ nGyh}^{-1}$, $0,03 \text{ }\mu\text{Svy}^{-1}$, $59,71 \text{ Bqkg}^{-1}$, and $0,16$, respectively. When the results obtained in this study are compared with the limit values recommended by national and international organizations, it is observed that the soils in the studied region are safe in terms of radioactivity and do not pose any radiological hazard.

In order to comprehensively assess the level of natural radioactivity present in soil samples collected from various locations within the Orhaneli and Keleş districts, a thorough investigation was undertaken. The study focused on measuring the activity concentrations of three significant radionuclides, namely ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K , using the advanced gamma spectrometry method. This technique enabled precise and reliable measurements of the radioactivity levels within the samples. The results obtained from the gamma spectrometry of the three radionuclides across the study area.

One of the key factors contributing to the observed variations in the activity concentrations of ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K radionuclides was found to be the geological formations in the respective regions. The distinct geological characteristics of the locations played role in influencing the radioactivity levels of the soil samples collected. Additionally, human activities, particularly agricultural practices such as the application of fertilizers and flooding events in the region, were identified as significant contributors to the changes observed in the radionuclide concentrations. These factors potentially influenced the natural radioactivity levels in the soil and contributed to the spatial variations seen in the study.

Moreover, the research findings brought assurance regarding radioation safety. The activity concentrations of ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K radionuclides detected in the soil samples were all found to be below the limit values recommended by national and international radioation protection organizations. This outcome alleviates concerns about potential hazards to human health and the environment due to excessive levels of of natural radioactivity in the studied areas.

The third part of study focused on conducting energy and efficiency calculations for the NaI(Tl) gamma detector system. To ensure accuracy, different reference sources were used for these calculations, specially RGTh, RGU and RGK sources obtained from the International Atomic Energy Agency (IAEA). Stripping ratios and sensitivity factors were carefully determined through meticulous analysis.

Gamma spectroscopy is a valuable technique widely utilized for the discovery of radioactive elements and the determination of radionuclide content in geological samples containing such elements. Although trace amounts of ^{238}U and ^{232}Th are found in all geological structures, they lack unique, directly detectable characteristic gamma rays. To overcome this, the method relies on using characteristic high-energy gamma rays emitted from the decay products of uranium and thorium. Specifically, the 1.76 MeV gamma rays from ^{214}Bi in the ^{238}U series and the 2.6 MeV gamma rays from ^{208}Tl in the ^{232}Th series are employed for this purpose.

Additionally, the concentration of ^{40}K in the samples is directly determined using the specific 1.46 MeV gamma rays associated with this radionuclide. Geological samples usually contain varying concentrations of U, Th and K radionuclides, and the limited resolution of NaI (Tl) gamma spectrometers leads to contributions from other radionuclides within the selected energy intervals (channels) for the chosen gamma energies in the measured spectrum.

The primary objective of this section was to establish a reliable method for accurately determining the activities of standard sources using two distinct measurement methods. The researchers sought to develop a robust framework that would enable precise and consistent assensmnet of the radioactivity levels in the soil samples collected from the Keleş and Orhaneli districts of Bursa, Turkey.

Building upon the outcomes of the energy and efficiency calculations, the fourth part of the study applied the most accurate method of assess the levels of natural radioactivity in a total of 78 soil samples gathered from the Keleş and Orhaneli districts of Bursa, Turkey. With the established methodology, the research team was able to confidently determine the activity concentrations of ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K radionuclides in the soil samples.

The findings from this comprehensive investigation shed light on the distribution and magnitude of natural radioactivity in the study area. The results provide valuable insight into the potential impact of geological formation and human activities on radioactivity levels in the region.

1. GİRİŞ

Doğal ve yapay kaynaklardan gelen radyasyona yeryüzündeki her canlı sürekli maruz kalmaktadırlar. Doğal radyoaktivite, yaşayan tüm canlıların (bitkiler,hayvanlar, mantar türleri vs.) maruz kaldıkları radyasyonun temelini oluşturmaktadır. Yerkabuğunda bulunan doğal radyoaktif çekirdekler (su, kum, toprak, bitkiler ve kayaç diğer canlılar) ve bu radyoaktif çekirdeklerin bozunum ürünleri ile kozmik ışınları doğal radyoaktiviteyi oluşturmaktadırlar [1].

Çok uzun yarı ömre sahip olan ve evrenin oluşumundan bu yana var olan radyonüklidler, insan vücudunu iç (solunum ve ağız yoluyla vücuda girmesi sonucu) ve dış (kozmetik ışınlar, havada doğal olarak bulunan, yerkabuğunda ve inşaat malzemelerinde bulunan radyonüklidlerden yayınlanan dış ışınlamalar) şeklinde ışınlamaya maruz bırakırlar [2].

Toprak ve kayalardan ortaya çıkan gama ışınlarının ana kaynakları uranyum (^{238}U), toryum (^{232}Th) serileri ve potasyum (^{40}K)'dur. Radon gazı doğal radyo aktif çekirdeklerin bozunum elementleri içerisinde yer almaktadır ve çevresel radyoaktivite çalışmalarında dünya genelinde önemli ilgi görmektedir. Alınan radyasyon doz miktarı yaşanan bölge ve ortam şartlarına göre farklılık göstermektedir. Dünya genelinde topraklardaki karasal radyonüklidlerin (^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K) spesifik aktivitelerinin ortalaması sırasıyla; 35, 30 ve 400 Bq/kg' dir [2]. Türkiye için bu ortalama değerler sırasıyla; 28, 32 ve 440 Bq/kg' dir [3].

Topraktaki radon gazının dağılımı ile doğal radyoaktivite konsantrasyonları pek çok faktöre bağlıdır ve esas olarak jeolojik ve coğrafi koşullara göre bölgeden bölgeye farklılıklar göstermektedir. Genellikle radyoaktivite düzeyleri granit gibi magmatik kaya tipinin hakim olduğu yerlerde yüksek düzeydeyken, jeolojik yapısı kireç taşı gibi tortul kayalardan oluşan yerlerde ise düşük seviyede gözlenmektedir [2].

Bir bölgede yaşayan insanların doğal ve yapay kaynaklardan gelen radyasyon ışınlarının etkisinde kaldıkları radyasyonun dozunun tespit edilmesi ve gerekli hallerde

önlemlerin alınabilmesi için tespit edilen o bölgenin radyoaktivite oranını bilinmesi ve bu oranlardaki değişimlerin takip edilmesi oldukça önemlidir [2].

Radyasyon dozlarını belirlemesi ile ilgili çalışmalar; Uluslararası Radyolojik Koruma Komitesi (ICRP), Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi (UNSCEAR), Dünya Sağlık Örgütü (WHO), Avrupa Atom Enerjisi Topluluğu (EURATOM) ve Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) gibi kar amacı gütmeyen uluslararası ve milli kuruluşlar tarafından gerçekleştirilmektedir.

Türkiye ve dünya’da çevresel radyoaktivite araştırmalarına olan ilgi artmakla birlikte Bursa ilindeki Orhaneli termik santrali ve Keleş ilçesinde kurulması planlanan termik santrallerinin çevresinden toplanan toprakların doğal radyoaktivite seviyesini belirlemek bu çalışmanın amacıdır.

1.1. Kısa Literatür Özeti

Dünyada ve Türkiye’de Doğal radionüklideler üzerinde gama spektroskopi yöntemi ile yapılan çalışmaların bazıları aşağıda sıralanmıştır.

Kahramanmaraş il merkezinden toplanan toprak örnekleri üzerinde gerçekleştirilen bir çalışmada ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K radionüklidler için ortalama aktivite konsantrasyonları sırasıyla $11,50 \pm 1,1 \text{ Bq kg}^{-1}$, $4,50 \pm 0,4 \text{ Bq kg}^{-1}$ ve $62,20 \pm 1,6 \text{ Bq kg}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır [4].

Karadeniz bölgesinden toplanan çay, bitki ve toprak örneklerindeki ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs ’lerin doğal ve antropojenik radyoaktivite konsantrasyonlarının belirlenmesi için yapılan bir çalışmada, toplanan örnekler İstanbul Üniversitesi Çevresel Radyoaktivite Ölçüm ve Araştırma Laboratuvarı’nda yüksek çözünürlüklü HPGe dedektörü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonları sırasıyla $24,75 \pm 0,96$ - $125,41 \pm 13,35 \text{ Bq kg}^{-1}$, $16,55 \pm 0,66$ - $39,64 \pm 5,49 \text{ Bq kg}^{-1}$, $340,91 \pm 8,86$ - $663,92 \pm 12,62 \text{ Bq kg}^{-1}$ ve $2,10 \pm 0,79$ – $143,97 \pm 1,47 \text{ Bq kg}^{-1}$ aralığında değiştiği hesaplanmıştır [5].

İstanbul-Çekmeköy’den alınan toprak örnekler üzerinde NaI (Tl) dedektörü ile yapılan bir çalışmanın neticesinde doğal radyoaktivite konsantrasyonu ^{40}K , ^{238}U ve ^{232}Th için ortalama $449 \pm 9 \text{ Bq kg}^{-1}$, $29 \pm 1 \text{ Bq kg}^{-1}$ ve $28 \pm 1 \text{ Bq kg}^{-1}$ olarak belirlenmiştir [6].

Şanlıurfa’da yapılan bir çalışmada, Siverek ilçesindeki 11 adet toprak, 2 adet su ve 7 taş örneğindeki çevresel radyoaktivite ve sağlık tehlikesinin değerlendirilmesi yapılmıştır. Hesaplamalar NaI (Tl) sintilasyon dedektörü ile, 86400s süreyle gerçekleştirilmiştir. Toprak örneklerindeki radyoaktif çekirdekler (^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K) için ortalama aktivite konsantrasyonları $24.63 \pm 6.42 \text{ Bq kg}^{-1}$, $36.25 \pm 10.79 \text{ Bq kg}^{-1}$ ve $267.92 \pm 32.31 \text{ Bq kg}^{-1}$ olarak hesaplanmış ve UNSCEAR’ın 2000 yılındaki raporunda belirtildiği gibi, dünya ortalama toprak aktivitesinin altında olduğu tespit edilmiştir [7].

Tokat ve Sivas’ta toprak ve travertenlerinde doğal radyonüklidlerin seviyelerinin belirlenmesi için yapılan çalışmada, 4 adet örnek toplanmış ve ölçümler gama spektroskopi sistemi ile gerçekleştirilmiştir. Doğal radyonüklid konsantrasyonları ^{232}Th için 9.09 ile 17.04 Bq kg^{-1} aralığında, ^{226}Ra için 36.53 ile 76.95 Bq kg^{-1} aralığında ve ^{40}K için 216.56 ile 576.59 Bq kg^{-1} aralığında hesaplanmıştır. Sonuçlar UNSCEAR (2000) değerlerinden düşük elde edilmiştir [8].

Sakarya’da yapılan bir çalışmada, 85 adet toprak örneğindeki radyoaktif çekirdeklerinin (^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K) doğal radyoaktivite seviyeleri ve ilgili risk değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. Değerlendirmeler ve hesaplamalar, NaI (Tl) c-ray spektrometresi ile yapılmıştır. ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K doğal radyonüklidlerin ortalama aktivite konsantrasyonlarının sırasıyla 23.2 ± 2.5 , 21.0 ± 3.4 ve $371 \pm 25.9 \text{ Bq kg}^{-1}$ olduğu bulunmuştur. Elde edilen değerler dünya ortalama değerlerinin altında olduğu tespit edilmiştir [9].

Kütahya’da 357 toprak örneği ile gerçekleştirilen çalışmada ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K doğal radyonüklidlerinin aktivite konsantrasyonlarının analizi NaI (Tl) gama-ışını dedektörü ile yapılmıştır. Ortalama spesifik aktivite değerleri ^{238}U için 56.4 ± 1.6 , ^{232}Th için 25.9 ± 1.1 ve ^{40}K için $538.4 \pm 6.6 \text{ Bq kg}^{-1}$ olarak hesaplanmış ve yıllık etkin doz miktarı ortalama $78.7 \mu\text{Sv y}^{-1}$ olarak belirlenmiştir [10].

Amasya’da yapılan bir çalışmada, termal SPA alanından toplanan 6 adet farklı toprak örneği NaI (Tl) dedektör sistemi ile ölçülmüştür. Radyoaktivite konsantrasyonları, ^{40}K için 71.85 ile 321.35 Bq kg^{-1} arasında, ^{226}Ra için 14.16 ile 26.74 Bq kg^{-1} arasında ve ^{232}Th için 9.04 ile 16.03 Bq kg^{-1} arasında bulunmuştur. Elde edilen tüm aktivite

konsantrasyonları, önerilen UNSCEAR değerlerinden daha düşük olduğu görülmüştür [11].

Kastamonu’da yapılan bir çalışmada, 12 adet sahil kumu ve 8 adet toprak örneğindeki doğal radyonüklid düzeyleri NaI (Tl) gama ışını spektrometresi ile belirlenmiştir. ^{238}U için 42.34 Bq kg^{-1} , ^{232}Th için 71.24 Bq kg^{-1} ve ^{40}K için $624.18 \text{ Bq kg}^{-1}$ olarak ortalama aktivite konsantrasyonları belirlenmiştir. Kum örneklerinde, ortalama aktivite konsantrasyonları ^{238}U için 20.57 Bq kg^{-1} , ^{232}Th için 45.05 Bq kg^{-1} ve ^{40}K için $411.71 \text{ Bq kg}^{-1}$ olarak bulunmuştur [12].

Edirne’de yapılan bir çalışmada, 90 adet toprak örneği toplanmış ve 3x3 NaI (Tl) dedektörü ile ölçümleri gerçekleştirilerek, Doğal radyoaktivite miktarları (konsantrasyonları) ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs için sırasıyla 39.73 ± 8.45 , 55.85 ± 10.55 , 407.12 ± 35.39 ve $8.76 \pm 0.74 \text{ Bq kg}^{-1}$ olarak tespit edilmiştir [13].

Samsun’da 105 adet toprak numunesi ile yapılan çalışmada, NaI (Tl) gama dedektör sistemi kullanılarak ölçümler gerçekleştirilmiştir. Doğal radyoaktivite konsantrasyonlar, ^{226}Ra için 38.1 ± 1.4 , ^{232}Th için 39.3 ± 0.8 , ^{40}K için 375.3 ± 10.2 ve ^{137}Cs $12.1 \pm 0.7 \text{ Bq kg}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır [14].

Ayrancı ilçesinde yapılan bir çalışmada, 12 adet toprak örneği toplanmış ve ölçümler 3x3 NaI (Tl) dedektörü ile gerçekleştirilmiştir. Doğal radyoaktivite konsantrasyonu toprak örneklerindeki ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K radyoaktif çekirdekler için sırasıyla 25 ± 14 , 50 ± 27 ve $228 \pm 94 \text{ Bq kg}^{-1}$ olarak bulunmuştur [15].

Erçek Gölü Havzasından toplanan 34 toprak örneği, gama ışını spektroskopisi kullanılarak doğal ve yapay radyonüklidlerin aktivite konsantrasyon seviyeleri belirlenmiştir. Topraklardaki radyoaktif çekirdeklerinin (^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K) ve ^{137}Cs ortalama aktivite konsantrasyonları sırasıyla 18.9 ± 1.2 , 27.2 ± 1.7 , 524.0 ± 24.3 ve $10.6 \pm 1.0 \text{ Bq kg}^{-1}$ olarak tespit edilmiştir [16].

Karabük’te doğal radyonüklidlerin düzeylerini değerlendirilmek için yapılan bir çalışmada NaI (Tl) dedektör sistemi kullanılarak, aktivite konsantrasyonlarının ^{226}Ra için $13,0-31,0 \text{ Bqkg}^{-1}$, ^{232}Th için $14,0-34,0 \text{ Bqkg}^{-1}$ ve ^{40}K için $204,0-572,0 \text{ Bqkg}^{-1}$ aralığında değiştiği gözlemlenmiştir. Soğrulan doz $25,3-58,7 \text{ nGyh}^{-1}$ ve yıllık etkin doz ise $31,0-72,0 \mu\text{Svy}^{-1}$ aralığında hesaplanmıştır [17].

İzmir’de Ra, Th ve K konsantrasyonlarının belirlenmesi için yapılan bir çalışmada gama spektrometresi tekniği kullanılarak Ra için 14,0-51,0 Bqkg⁻¹, Th için 17,0-79,0 Bqkg⁻¹, ve K için 308,0-879,0 Bqkg⁻¹ aralığında değiştiği görülmüştür [18].

Şebinkarahisar’da (Giresun), ²³²Th, ²³⁸U ve ⁴⁰K konsantrasyonlarının belirlenmesi için NaI (Tl) dedektör sistemi kullanılarak yapılan çalışmada konsantrasyon değerleri ²³²Th için 11,3-405,2 Bqkg⁻¹, ²³⁸U için 9,5-749,1 Bqkg⁻¹ ve ⁴⁰K için 53,6-2489,9 Bqkg⁻¹ aralığında değiştiği bulunmuştur. Bununla beraber, soğrulan doz 18,8-677,2 nGyh⁻¹ ve yıllık etkin doz değeri ise 23,0-830,0 µSvy⁻¹ arasında değişmektedir [19].

Kırklareli’nde NaI(Tl) gama spektrometresi tekniği kullanılarak yapılan bir çalışmada ²²⁶Ra, ²³⁸U, ²³²Th ve ⁴⁰K konsantrasyonlarının tespit edilmesi için. Aktivite konsantrasyonları ²²⁶Ra için 11,42-90,73 Bqkg⁻¹, ²³⁸U için 12,82-101,7 Bqkg⁻¹, ²³²Th için 5,16-73,34 Bqkg⁻¹ ve ⁴⁰K için 1,85-5,39 Bqkg⁻¹ arasında değiştiği belirtilmiştir [20].

Kızılırmak deltasında (Bafra) yapılan ölçümlerde uranyum, toryum, potasyum konsantrasyonlarını belirlenmesi için NaI(Tl) gama spektrometresi tekniği kullanılmıştır ve aktivite konsantrasyonları ²³⁸U için 2,6-67,3 Bqkg⁻¹, ²³²Th için 2,7-83,8 Bqkg⁻¹ ve ⁴⁰K için 32,6-1247,2 Bqkg⁻¹ aralığında değiştiği bulunmuştur. Bununla birlikte, soğrulan doz 5,1-122,0 nGyh⁻¹ ve yıllık etkin doz 6,3-150,0 µSvy⁻¹ aralığında değiştiği gözlemlenmiştir. Hex değeri 0,13-0,78 arasında bulunmuştur [21].

Kuzey Anadolu Fayı’nın bir parçası olan Ganos Fayı (GF)’nin oldukça aktif yapısı nedeniyle 21 adet toprak örneği toplanarak, doğal radyonüklid konsantrasyonlarının belirlenmesi için yapılan çalışmada, ölçümler NaI (Tl) (Tennelec 3”x3”) sintilasyon gama spektroskopisi ile gerçekleştirilmiştir. Aktivite konsantrasyonları ²²⁶Ra için 24.1 Bq kg⁻¹, ²³²Th için 40.2 Bq kg⁻¹ ve ⁴⁰K için 315.9 ile 748.9 Bq kg⁻¹ aralığında ölçülmüştür. Aktivite konsantrasyonları uluslararası düzeylerde elde edilmiştir [22].

Doğu Anadolu Fay Hattı yakınlarında yapılan çalışmada uranyum aktivitesinin 12,4-138,0 Bqkg⁻¹ aralığında değiştiği görülmüştür. Bu çalışmada NaI(Tl) gama spektrometresi tekniği kullanılmıştır [23].

Kuzey ve Doğu Anadolu Fay Zonu çevresinde, doğal radyonüklid düzeyinin değerlendirilmesi için yapılan bir çalışmada NaI(Tl) gama spektrometresi tekniği kullanılmıştır. Doğu Anadolu Fay Zonu’nda ²³⁸U, ²³²Th ve ⁴⁰K konsantrasyon oranları

^{238}U için 12,4-25,11 Bqkg^{-1} , ^{232}Th için 13,2-195,5 Bqkg^{-1} ve ^{40}K için 140,4-963,1 Bqkg^{-1} aralığında değişirken, Kuzey Anadolu Fay Zonu'nda ise bu değerler ^{238}U için 20,8-179,4 Bqkg^{-1} , ^{232}Th için 3,3-115,6 Bqkg^{-1} ve ^{40}K için 255,4-978,4 Bqkg^{-1} aralığında değiştiği gözlemlenmiştir [24].

Hindistan'ın Kalpakkam bölgesinde yapılan çalışmada ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K konsantrasyonları, NaI(Tl) dedektörü yöntemiyle hesaplanmıştır. Gözlemlenen sonuçlara göre, elde edilen değerler ^{238}U için 14,0-22,0 Bqkg^{-1} , ^{232}Th için 34,0-1093,0 Bqkg^{-1} ve ^{40}K için 37,0-570,0 Bqkg^{-1} aralığında değişmektedir ve eşdeğer radyum içeriği ise 83,0-1574,0 Bqkg^{-1} arasında değerler aldığı görülmüştür. Soğrulan doz 40,0-600,0 nGyh^{-1} , yıllık etkin doz 0,05-0,81 mSvy^{-1} aralığında değiştiği görülmüştür. Hex değeri ise 0,22 ile 4,25 arasında değişmektedir [25].

Garhwal Himalaya (Hindistan) bölgesindeki toprakların üzerinde gerçekleştirilen hesaplamalarda Ra ve Th konsantrasyonlarının tayini için, NaI(Tl) gama spektrometresi tekniği kullanılmıştır ve elde edilen sonuçlar Ra için 24,2-146,0 Bqkg^{-1} Th için 8,8 Bqkg^{-1} -177,8 Bqkg^{-1} aralığında değiştiği gözlemlenmiştir [26].

Güney Hindistan'da yapılan bir çalışmada, Hassan ilçesinden 32 konumdan alınan toprak örneğindeki doğal radyonüklidlerin analizi NaI (Tl) dedektörü ile yapılmıştır. Ortalama aktivite konsantrasyonları ^{232}Th için $56.9 \pm 2.0 \text{ Bq kg}^{-1}$, ^{226}Ra için $41.4 \pm 2.1 \text{ Bq kg}^{-1}$ ve ^{40}K için $388.4 \pm 5.1 \text{ Bq kg}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar ^{226}Ra ve ^{232}Th aktivitesi, sırasıyla 33 Bq kg^{-1} ve 45 Bq kg^{-1} olan dünya ortalama değerinden daha yüksek olduğu görülmüştür [27].

Güneydoğu Nijerya'da yapılan bir çalışmada, Enugu-Abakaliki otoyolundaki toprakların doğal radyonüklidlerinin (^{232}Th , ^{238}U ve ^{40}K) konsantrasyonlarını belirlemek için NaI(Tl) dedektörünü kullanılarak analiz edilmiştir. Aktivite konsantrasyonları ^{232}Th için 3.59 ± 0.22 ile $12.32 \pm 0.72 \text{ Bq kg}^{-1}$ arasında, ^{238}U için 2.06 ± 0.21 ile $32.53 \pm 3.59 \text{ Bq kg}^{-1}$ arasında ve ^{40}K için 26.46 ± 1.44 ile $370.09 \pm 20.05 \text{ Bq kg}^{-1}$ arasında bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar UNSCEAR tarafından bildirilen dünya çapındaki ortalamanın altında bulunmuştur [28].

Mısır'da yapılan bir çalışmada, Wadi El Reddah bölgesinden toplanan 72 toprak örneklerindeki doğal radyonüklid oranları NaI(Tl) gama dedektör sistemi yöntemiyle belirlenmiştir. Aktivite konsantrasyonları ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K için sırasıyla 215 ± 118

Bq kg⁻¹, 131 ± 90 Bq kg⁻¹ ve 822 ± 125 Bq kg⁻¹ olarak bulunmuştur. İncelenen örneklerin çoğu, dünya ortalamasından daha yüksek bir aktivite konsantrasyonuna sahip olduğu görülmüştür [29].

Irak'da yapılan bir çalışmada, Diwaniya şehrinden 10 adet toprak örneği alınarak radyoaktivite seviyeleri, 3x3 NaI (Tl) dedektör sistemi kullanılarak ölçülmüştür. ²³²Th, ²³⁸U ve ⁴⁰K için ortalama aktivite konsantrasyon değerleri sırasıyla 5.334 Bq kg⁻¹, 8.364 Bq kg⁻¹ ve 450.482 Bq kg⁻¹ olarak bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar Uluslararası önerilen sınırların altında olduğu tespit edilmiştir [30].

Bu tezin amacı; Bursa'nın özellikle Linyit yakıtlı Orhaneli Termik Santralinin bulunduğu Orhaneli ilçesi ve termik santral kurulması planlanan (ön lisans almış) "Keleş Termik Santrali" ve çevresinden toplanan toprak örneklerinin doğal radyoaktivite konsantrasyonu, NaI (Tl) gama dedektör sistemi kullanılarak belirlenecektir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Radyoaktivite

1896'da Fransız fizikçi Henri Becquerel tarafından, floresan uranyum tuzlarının yaydığı ışınların, 1895'te Alman fizikçi Wilhelm Röntgen tarafından keşfedilen X-ışınlarıyla aynı olup olmadığını bulmaya çalışırken, Uranyumun, X-ışınlarından farklı olarak, kendiliğinden ve tükenmez bir şekilde görünmez radyasyon yaydığı sonucuna vardı. Keşfettiği fenomene radyoaktivite adı verildi. Henri Becquerel'in çalışmasının ardından, Pierre ve Marie Curie tarafından 1898'de gerçekleştirilen çalışmada, tonlarca radyoaktif cevher içeren radyum ve uranyumlu özenli ve uzun bir kimyasal arıtma sürecinden geçirilerek bu işlem sonucunda polonyum ve radyum elementleri keşfedildi [31].

Hidrojen hariç tabiattaki tüm çekirdekler nötron ve protonların birleşiminden oluşmuştur. Protonlar ve nötronlar atom çekirdeğinde hasas bir dengede bulunurlar. Proton ve nötron sayıları belirli bir oranda olduğu müddetçe atom kararlı halini korur. Bu oran değiştiğinde, atom kararlı hale ulaşmak için ışınlama yapar. Kararsız çekirdekler, alfa (α), beta (β) ve gama (γ) radyasyonlarını yayınlamaya başlar. Kararsız çekirdeklerin dışarıdan herhangi bir uyarı olmadan kararlı hale dönüşmesi doğal radyoaktivite olarak adlandırılır. Ancak, nükleer reaktörler veya parçacık hızlandırıcılar gibi müdahalelerle, nötronlar veya yüklü tanecikler bombardıman edilerek, doğada kararlı olarak bulunan izotoplar, yapay olarak kararsız hale getirilebilirler. Bu süreç, yapay radyoaktivite olarak adlandırılır. Bu gerçekleşen olaya da yapay radyoaktivite adı verilir. Uranyum ve Radyum gibi kararsız elementler radyoaktif çekirdeklere sahip oldukları için ışın yayarlar. Bu tür elementlere doğal radyonüklidler, bunların radyoaktif ışın yaydıkları olayına da doğal radyoaktivite adı verilir [32- 34].

2.2. Radyoaktivite ve Radyasyon Birimleri

Radyoaktif maddenin belirli bir zaman aralığında gösterdiği bozunma miktarını ölçmek için kullanılan aktivite birimi Becquerel (Bq)'dir.

Becquerel, bir maddenin saniyede meydana getirdiği bozunma sayısı veya radyoaktivitesi olarak tanımlanan bir birimdir. 1 Bq, küçük bir değerdir.

Aktivitenin tarihsel birimi Curie (Ci)'dir.

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}; \quad 1 \text{ Bq} = 2,703 \times 10^{-11} \text{ Ci}$$

Radyoaktif kaynakların aktivitesi, bozunma oranının temel yasası olarak,

$$\left. \frac{dN}{dt} \right|_{\text{bozunma}} = -\lambda N \quad (2.1)$$

şeklinde verilir. Burada; N, radyoaktif çekirdeklerin sayısı ve λ , bozunma sabitidir [35].

Radyasyon, radyoaktif kaynaklardan yayılan enerjinin, parçacık veya elektromanyetik şekilde bir noktadan diğer bir noktaya yayılmasıdır. Bu enerji, madde içinden kolayca geçebilir ve çıplak gözle algılanamaz. Radyasyonun etkisi, ışınlama seviyesi ve doz miktarıyla ölçülür.

İşınlama Birimi, röntgen (R)'dir. Birim zaman ve birim hava hacmi başına düşen X veya gama ışınlarının iyonlaştırma etkisine eşit olan miktarı ifade eder. Normal hava şartlarında, bir kilogram havada $2,58 \times 10^{-4}$ Coulomb elektrik yükü değerinde pozitif veya negatif iyonların oluşmasına sebep olan X ve gama radyasyon miktarı olarak tanımlanır [36].

$$1 \text{ R} = 2,58 \times 10^{-4} \text{ C kg}^{-1}; \quad 1 \text{ C kg}^{-1} = 3,876 \times 10^3 \text{ R}$$

Soğurulan doz birimi, radyasyonun canlı dokularda meydana getirdiği hasarı ölçmek için kullanılan birimlere doz birimleri denir. Soğurulan doz birimi, bir ortama maruz kalınan radyasyonun enerjisi ve ortamın biyolojik etkinliği dikkate alarak hesaplanır. Bu birim, Gray (Gy) olarak adlandırılır ve 1 Gy, kilogram kütleyle sahip bir ortamda, 1 joule enerji soğurduğunda ortaya çıkar [37].

$$1 \text{ rad} = 10^{-2} \text{ Gy}$$

Doz Eşdeğer Birimi, soğurulan dozun türüne ve biyolojik etkisine bağlı olarak farklı hesaplama yöntemleri kullanılarak belirlenir. SI birim sisteminde eşdeğer doz birimi sievert (Sv) olarak ifade edilirken, eski birim sisteminde Roentgen equivalent man (rem) kullanılmaktaydı.

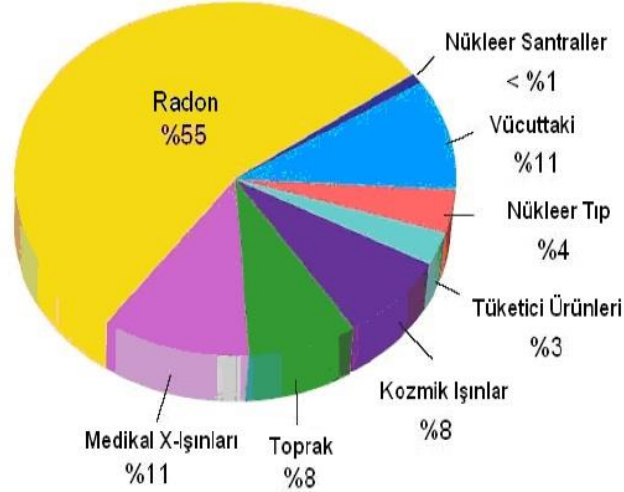
$$1 \text{ Sv} = 1 \text{ J kg}^{-1};$$

$$1 \text{ rem} = 0,01\text{Sv}$$

2.3. Radyasyon Kaynakları

Doğal kaynaklar ve yapay faaliyetler nedeniyle tüm canlılar ve nesnelere, yaşamları boyunca çeşitli radyasyon türlerine maruz kalmaktadırlar [36].

Şekil 2.1’de doğal kaynaklar ve yapay faaliyetler nedeniyle maruz kalınma yüzdeleri verilmektedir.



Şekil 2.1. Radyasyon kaynakları [36].

2.3.1. Doğal radyasyon kaynakları

Çevremizdeki radyoaktivite kaynakları, doğal olarak var olanlar ve insan faaliyetleri sonucu ortaya çıkanlar olarak sürekli bir şekilde etkileşim halindedir. Çeşitli ortamlarda topraklar, sular ve hava gibi doğal olarak radyoaktif olan bazı kimyasal elementler, farklı seviyelerde bulunmaktadır. Ayrıca, Güneş ve uzaydan gelen yüksek enerjili parçacıklar da Dünyayı sürekli olarak etkiler. Birleşmiş Milletler Atom Radyasyonunun Etkileri Bilim Komitesi (UNSCEAR), çevredeki tüm radyasyon kaynaklarından kaynaklanan dozun yılda kişi başına ortalama olarak yaklaşık 3,0 mSv/yıl olduğunu tahmin etmektedir. Bu dozun %80’i doğal kaynaklardan (yaklaşık

2,4 mSv), %19,6'sı tıbbi teşhis amaçlı radyasyon kullanımından (neredeyse 0,6 mSv) ve geri kalan %0,4'ü diğer kaynaklardan (yaklaşık 0,01 mSv) kaynaklanmaktadır [38].

Dünyanın oluşumundan bu yana var olan çekirdekler: ^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th ve ^{40}K 'dir. Karasal ve kozmik kaynaklı radyasyonun etkilerini değerlendirmek için, radyoaktif izotopların dağılımı ve radyasyon seviyelerinin bilgisi önemlidir [39].

Doğal radyoaktivite, yerkürenin içindeki doğal radyoaktif elementlerden kaynaklanan içsel radyasyon ve yerkürenin atmosferindeki kozmik ışınlar ile yerküreye gelen güneş radyasyonundan kaynaklanan harici radyasyon olarak ikiye ayrılabilir [39].

Karasal radyasyon, doğal kaynaklı radyasyonun bir türüdür ve uranyum gibi radyoaktif elementlerin bozunma ürünleri tarafından sağlanır. Radon gazı, bu bozunma serisinin bir parçası olduğu için kayalar, topraklar ve yapı malzemelerinde yaygın olarak bulunur ve karasal radyasyona büyük ölçüde katkı sağlar. İnsanlar, bazı radyoaktif izotoplardan besin zinciri veya solunum yoluyla iç ışınlama yoluyla karasal radyasyona maruz kalırken, kozmik ışınlar dünyaya dış ışınlama sağlarlar ve insanlar bu yolla etkilenirler[40].

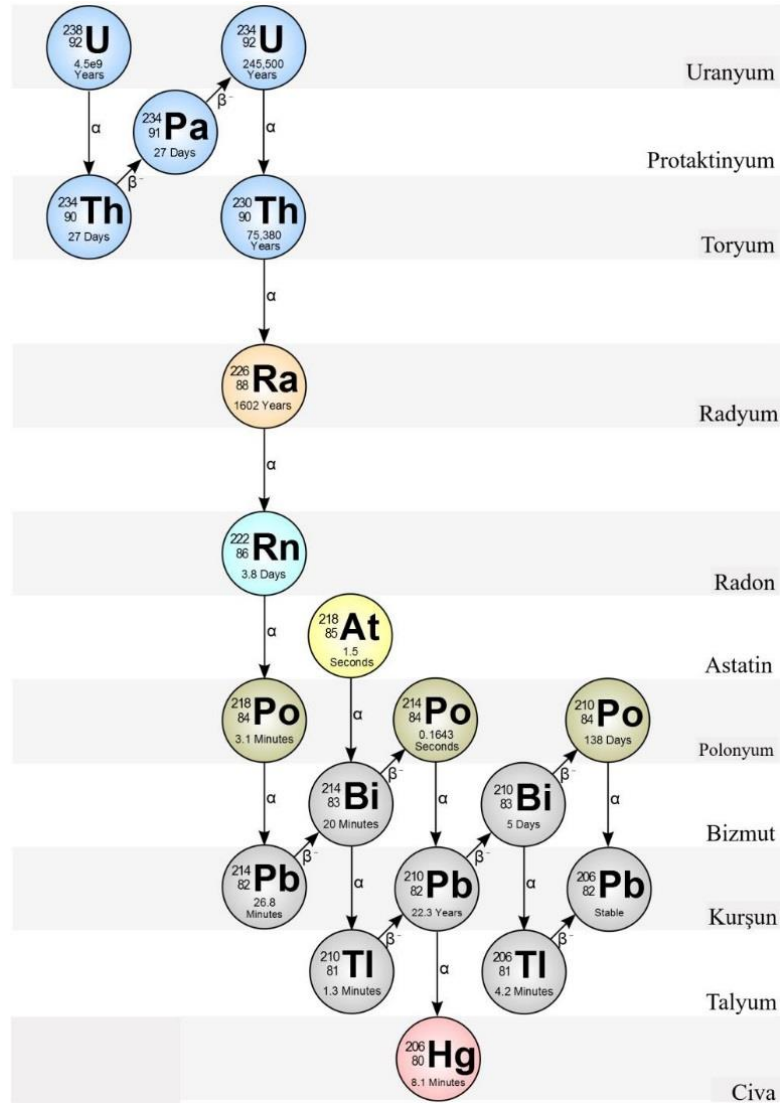
Tablo 2.1. Dünya genelindeki doğal radyasyon maruziyeti ortalama değerleri [41].

Işınlama Kaynağı		Yıllık Etkin Doz Değeri (mSv)	
		Ortalama	Tipik Aralık
Kozmik Radyasyon	İyonlaştırıcı ve foton tarafından doğrudan etkilenme bileşeni	0,28	
	Nötron bileşeni	0,1	
	Kozmojenik Radyoizotoplar	0,01	
	Toplam	0,39	0,3-1,0
Karasal Dış Işınlanma	Açık alan	0,07	
	Kapalı alan	0,41	
	Toplam	0,48	0,3-0,6
Solunum Yolu İle Işınlanma	Uranyum ve Toryum serileri	0,006	
	Radon (Rn-222)	1,15	
	Toron (Rn-220)	0,1	
	Toplam	1,26	0,2-10
Beslenme Yolu İle Işınlanma	Potasyum (K-40)	0,17	
	Uranyum ve Toryum serileri	0,12	
	Toplam	0,29	0,2-0,8
GENEL TOPLAM		2,4	1-10

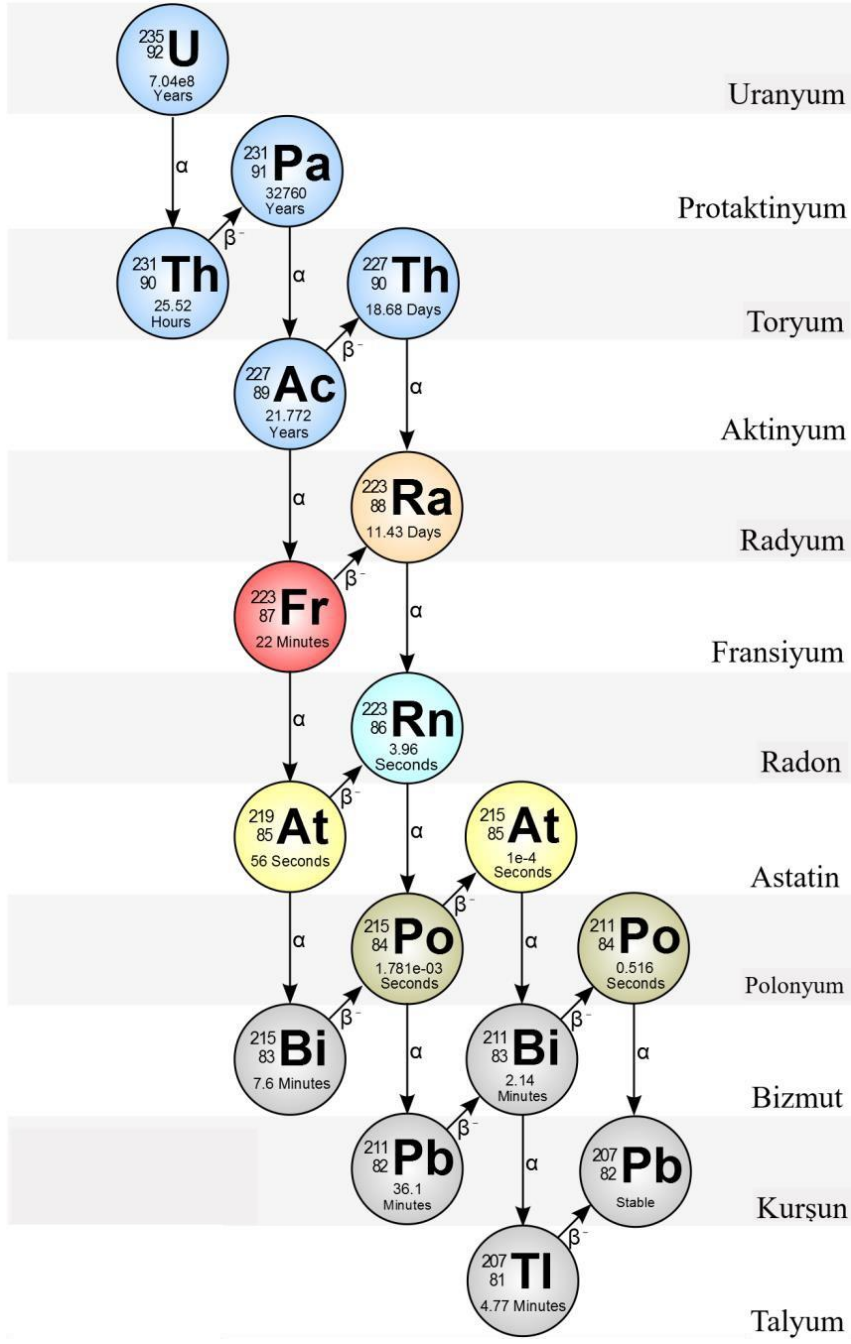
Kozmik ışınlar ve karasal radyasyon, sürekli olarak doğal bir şekilde radyasyon üretirler. Bu üretilen radyasyon, herkesin maruz kaldığı ve her yerde bulunan iyonlaştırıcı radyasyonlardan oluşur. Buna doğal fon radyasyonu denir ve doğal kaynaklar da dahil olmak üzere her türlü radyasyon kaynağından kaynaklanır [42].

2.4. Doğal Radyoaktif Seriler

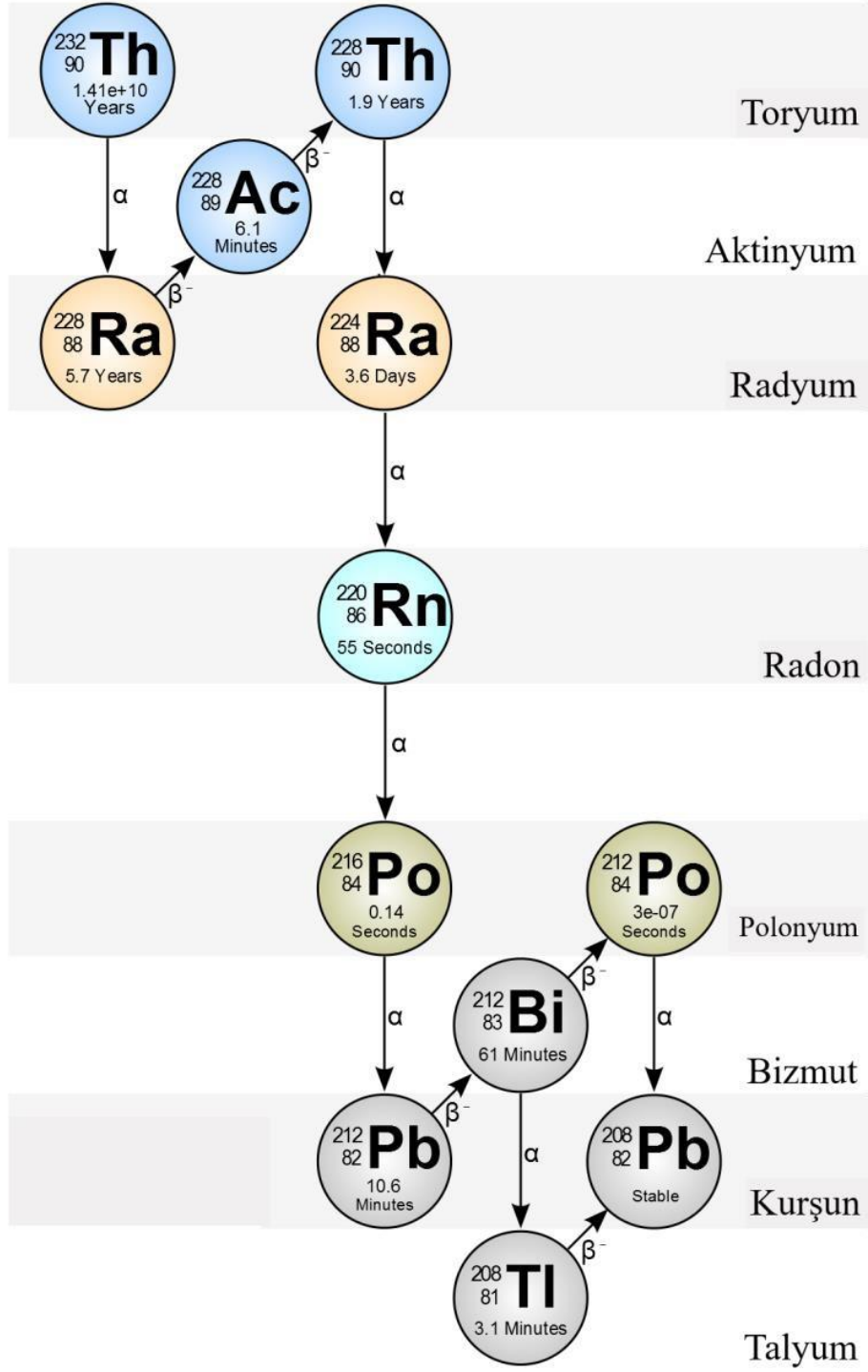
Radyoaktif izotopların varlığı, evrenin oluşumuyla başlamıştır ve uzun yarı ömürlü olmaları sebebiyle günümüze kadar devam etmektedir. Bu radyonüklid elementler; uranyum ve toryum serilerinden ve ^{40}K radyoaktif izotoplarından gelen gama radyasyonu kaynaklıdır [43].



Şekil 2.2. ^{238}U bozunma serisi [44]



Şekil 2.3. ^{235}U bozunma serisi [44]



Şekil 2.4. ^{232}Th bozunma serisi [44]

2.5. Toprakta Bulunan Doğal Radyasyon Kaynakları

Topraktaki radyoaktivitenin en önemli kaynaklarından biri toprak ve kayalardaki doğal radyoaktif izotoplardır. ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra ve ^{40}K izotopları bu radyoaktif

kaynaklardan bazılarıdır. Bu doğal radyoaktivite seviyeleri bölgeden bölgeye değişebilir ve dünya genelinde background radyoaktivite seviyelerini belirleyebilir. Radyoaktif seviyeler ayrıca toprağın jeolojik kökenine, granit yapısına ve volkanik aktiviteye bağlı olarak farklılık gösterir [45]. Volkanik kayaların radyoaktif aktiviteleri tortul kayalara göre daha yüksektir. Bu durum Tablo 2.2.'de görülmektedir [36].

Tablo 2.2. Çeşitli kaya tiplerinden gelen gama radyasyonun doz oranları [36].

Kaya Türleri	Doz oranları ($\mu\text{Sv/yıl}$)			
	^{226}Ra	^{238}U	^{232}Th	^{40}K
Volkanik	240	360	370	350
Kireçtaşı	200	77	310	360
Kumtaşı	130	77	180	150
Kalkerli	77	84	40	40

Toprakta radyoaktivite, jeolojik özellikler ve toprak derinliği gibi faktörlere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu değişkenlik, toprakta bulunan doğal radyoizotopların (^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{226}Ra) farklı oranlarda bulunmasından kaynaklanmaktadır. Bu izotopların varlığı, bölgenin doğal radyasyon seviyesini belirleyerek insanların doğal radyasyona maruz kalma oranını da etkilemektedir. Tablo 2.3.'de topraktaki doğal radyoizotopların konsantrasyonları verilmiştir [36].

Tablo 2.3. Topraktaki doğal radyoizotopların konsantrasyonları (Bq/kg) [41].

Doğal radyoizotoplar	K-40	U-238	Ra-226	Th-232
Değişim Aralığı	140-850	16-110	17-60	11-64
Ortalama	400	35	35	30

2.5.1. Uranyum-238 (^{238}U)

Uranyum doğal olarak üç farklı izotopa sahip olup bunlar ^{234}U , ^{235}U ve ^{238}U 'dur. Bu izotopların %99,2745'i ^{238}U , %0,72'si ^{235}U ve %0,0055'i ise ^{234}U 'dur. ^{238}U izotopunun yarı ömrü $4,47 \times 10^9$ yıldır. Her iki izotop da alfa tanecikleri yayarlar ve ^{226}Pb ve ^{207}Pb 'ye dönüşerek kararlı hale gelmek için bir dizi radyoaktif ürün

oluştururlar. ^{238}U , 14 ana çekirdek arasında yer alır ve tüm kayalar ve topraklarda bulunur [36].

Toprak ve kaya çeşitlerinin karakteristik uranyum radyoaktivite konsantrasyonları Tablo 2.4'te listelenmektedir.

Tablo 2.4. Çeşitli kayalardaki ortalama uranyum konsantrasyonu [36].

Kaya Tipleri	Uranyum Konsantrasyonu (ppm)
Volkanik kayalar	3
Fosfat kayalar (Florida)	120
Fosfat kayalar (kuzey Afrika)	20-30
Granit	4
Kireçtaşı	1,3
Tortul kayalar	1,2

Atmosferdeki uranyum kaynağı, toprağın havada asılı kalabilen toz parçacıklarından kaynaklanmaktadır [36].

2.5.2. Toryum-232 (^{232}Th)

^{232}Th , doğanın en yaygın dört toryum izotopundan biridir. Bu izotop, uzun bir yarı ömre ($1,4 \times 10^{10}$ yıl) sahip olan α parçacıkları yayarak radyoaktif bir elementtir. Toryum, uranyumdan yaklaşık üç kat daha fazla bulunur ve dünya genelinde bilinen 1,3 milyon ton toryum rezervinin yaklaşık 800,000 tonu Türkiye'dedir. Prof. Dr. Engin ARIK, farklı açıklamalarında Türkiye'nin enerji ihtiyacını sonsuza kadar karşılayacak bir hazinenin üzerinde oturduğunu belirtmiştir [36].

2.5.3. Potasyum-40 (^{40}K)

Toprakta doğal olarak bulunan potasyumun %0,012'si ^{40}K izotopudur. Bu izotopun kararsız olması nedeniyle radyoaktif ve doğal gama radyasyonun önemli bir kaynağıdır. Potasyum ayrıca vücut için önemli bir elementtir ve normal bir yetişkin vücudunda yaklaşık 2 gram potasyum bulunmaktadır [36].

2.5.4. Radyum-226 (²²⁶Ra)

²²⁶Ra, 88 proton ve 226,05 atom ağırlığına sahip radyoaktif bir elementtir. Radyum, doğada uranyum ve toryumun radyoaktif bozunması sonucu oluşmaktadır. Radyumun yarı ömrü 1600 yıldır ve bir α yayınlayıcısıdır. Radyum, toprakta, kayalarda, yapı malzemelerinde, su ve gıdalarda bulunmaktadır ve bu nedenle insanların doğal radyasyona maruz kalmalarına neden olmaktadır. Radyum, kemiklerde birikerek omurilği sürekli olarak ışınlayabilmekte ve insanların iç ışınlamalarına neden olabilmektedir. Ayrıca, uzun yarı ömrü nedeniyle, radyum radon (²²²Rn) oluşumundan üreteç görevi görmektedir [36].

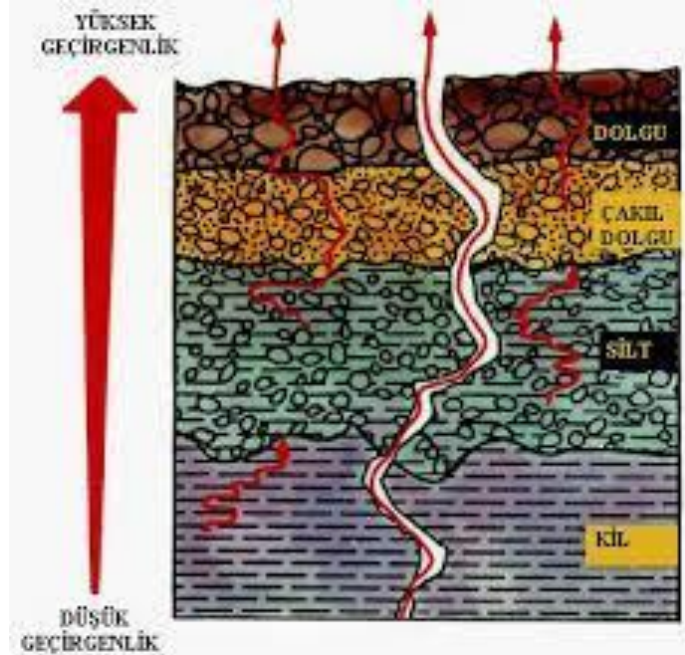
2.5.5. Radon-222 (²²²Rn)

Radon ilk olarak 1900'de Friedrich Ernst Dorn tarafından keşfedilmiş ve havadaki varlığı, 1901'de Elsterve Geitel tarafından bulunmuştur. Bugünkü adıyla radon, parıldayan manasına gelen "niton" adını veren F.E.Dorn tarafından isimlendirilmiştir. 1923 yılından itibaren radon olarak adlandırılan element, önceden "niton" olarak adlandırılmaktaydı ve radyumdan sonra keşfedilmiştir. Radon, 8A grubu olarak bilinen asal gazlar (soygazlar) grubunda, periyodik tabloda 6. periyotta yer alır ve en son keşfedilen asal gazdır. Normal sıcaklık ve atmosfer basıncında tatsız, kokusuz, renksiz ve görülmeyen bir gazdır [46]. Radonun erime noktası -71 °C (202,15 °K, -95,8 °F), kaynama noktası ise -61,8 °C (211,35 °K, -79,24 °F)'dir. Dünya genelinde sadece 100 ton kadar radon bulunmaktadır ve toprakta ortalama olarak 1 pCi/L civarında mevcuttur. Ayrıca, radon donma sıcaklığının altındaki sıcaklıklara kadar soğutulursa, parlak bir sarı renk oluşum ile sıcaklık düşüşü orantılı bir şekilde artmaktadır [47]. Radon gazı, elektrik iletkenliği sıfıra yakın olduğu için akım taşıyıcıları olarak kullanılmazlar. Isı iletkenliği ise yaklaşık $3,64 \times 10^{-5}$ W/cmK'dir. Atomik yarıçapı $1,34 \times 10^{-10}$ m olan radonun atomik kesit alanı $0,72 \times 10^{-24}$ cm²'dir [46]. Ayrıca radon, α parçacığı yayarak polonyuma dönüşür.



Şekil 2.5. ²²²Radon'nin oluşumu ve bozunma ürünleri [48].

Radon, inşaat malzemeleri olan toprak, çimento, taş, ve kaynak sularında doğal olarak bulunur ve sürekli olarak ortama yayılabilir. Radyumun toprakta bozunması sonucu oluşan radon, kayalardaki çatlaklardan ve toprak taneciklerinin arasındaki hava dolu gözeneklere girerek, bu gözenekler arasından atmosfere geçmek için hareket eder. Radon atomlarının hareketi, yayılması veya taşınması, belirli bir yolla gerçekleşir. Şekil 2.7'de gösterildiği gibi killi toprakların radon geçirgenliği, kumlu ve çakıllı topraklara göre daha düşüktür [36].



Şekil 2.6. Toprakta radon geçirgenliği [36].

Bölgedeki radon potansiyeli, çeşitli faktörlere bağlıdır. Örneğin, bölgenin jeolojik ve toprak yapısı, uranyum içeren kayaların varlığı, toprağın geçirgenliği, kurak mevsimlerde toprağın çatlamsı, bölgenin tepelik veya eğimli bir araziye sahip olması, toprak katmanının ince olması ve hemen altındaki kayalıkların varlığı, zemindeki kayaçların kırık olması, kireçtaşı mağaralarının bulunması ve havadaki radon seviyesi gibi faktörler radon potansiyelini artırabilir [36].

2.6. İyonlaştırıcı Radyasyon

Elektromanyetik dalgalar veya parçacıklar tarafından taşınan enerji, çarptıkları atomlarla etkileşime girerek yüklü parçacıklar oluşturarak meydana gelen bir enerji türüne iyonlaştırıcı radyasyon denir. Bu radyasyonlar; nötron, X-ışını, alfa, beta ve gama radyasyonu olmak üzere çeşitli tiplerde olabilirler [49].

2.6.1. Nötron radyasyonu

Nötronlar bütün atomların çekirdeğinde (hidrojen hariç) bulunan parçacıklardır. Elektrik ve manyetik alanlarda yüksüz olduklarından dolyı sapmaya uğramazlar ve buldukları ortamdaki parçacıklarla Coulomb etkileşmesine girmezler. Nükleer santrallerde enerji üretiminde kullanılan önemli bir radyasyon türüdür [50].

2.6.2. X-ışını radyasyonu

1895 yılında fizik profesörü Wilhem Conrad Roentgen, boşlukta elektron transferi amacıyla yürütülen deneyler sırasında X-ışını tesadüfen bulunmuştur. Röntgen keşfettiği ışığın özelliğini bilmediği için x-ışını adını vermiştir. X-ışınları, tıp alanında yaygın olarak kullanılan bir görüntüleme yöntemi olarak kullanılmaktadır ve aynı zamanda malzeme testleri için sıkça tercih edilen bir yöntemdir [50].

2.6.3. Alfa radyasyonu

Alfa parçacığı, 2 proton ve 2 nötron içeren helium (He) atomun çekirdeğidir. Kararsız çekirdeklerin bozunma sırasında çekirdekten yayınlanır. Parçalanma sonucunda çekirdğin kütle numarası 4, atom numarası ise 2 azalmaktadır [50].



2.6.4. Beta radyasyonu

Kararsız çekirdeklerin kararlı duruma geçerken yayınladıkları yüksek enerjili elektronlara beta ışınları denir. Eğer bir çekirdek, belirli bir orandan daha fazla proton içeriyorsa, bu protonlar nötronlara dönüşebilir. Benzer şekilde, eğer çekirdek gereğinden fazla nötron içeriyorsa, nötronlar protonlara dönüşebilir. Bu dönüşümler β^- veya β^+ bozunumuyla gerçekleştirilir [50].

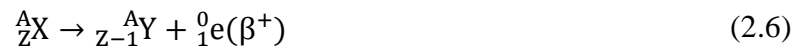
β^- Bozunumu; atom çekirdeğindeki fazla nötron, beta bozunması olarak bilinen bir süreçle, bir proton, bir elektron ve bir antinötrinoya dönüşerek atom numarası bir artar.

Bozunma denklemi;



β^+ Bozunumu; çekirdek protondan kaynaklanan fazla enerjisini β^+ bozunumuyla üzerinden atar.

Bozunma denklemi;



2.6.5. Gama radyasyonu

Kararlı hale geçmek isteyen bir çekirdek, düşük enerji seviyelerine veya temel duruma geçmek için foton yayarak gama bozunmasına uğrar. Gama ışını, enerji

seviyelerindeki değişiklikler sonucu meydana gelen elektromanyetik radyasyon türüdür ve çekirdeklerdeki radyoaktif bozunmalar sonucu ortaya çıkar. Gama radyasyonu, yüksek nüfuz etme gücüne sahip olduğundan, madde tarafından kolaylıkla absorbe edilebilir [51].

2.7. Radyasyonun Madde İle Etkileşimi

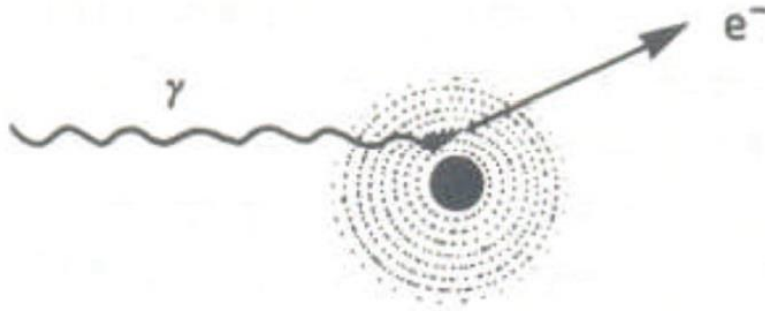
Fotonlar madde ile etkileşime girdiğinde, bu etkileşimler çarpışma yoluyla gerçekleşir. Çarpışmalar, çekirdeklerle elektronlarla veya çekirdeğin alanıyla gerçekleşebilir. Bu çarpışmalar esnek, elastik olmayan veya fotonun tamamen absorbe edilmesi şeklinde olabilir [52].

Gama ışınının madde ile etkileşiminde meydana gelen üç önemli olay vardır:

Bunlar Fotoelektrik olayı, Compton Saçılması ve Çift oluşum'dur.

2.7.1. Fotoelektrik olay

Fotoelektrik etki, yeterli bir frekansa sahip elektromanyetik radyasyonun atomdan bir elektron çıkarması olayıdır. Bu çıkarma işlemi sonucunda bir iyon çifti meydana gelir. Meydana gelen elektrona foto elektron adı verilir.



Şekil 2.7. Fotoelektrik olay [52].

Fotoelektrik olayda aşağıdaki özellikler gözlenmektedir:

Radyasyonun şiddeti ne olursa olsun, metalin karakteristik bir değeri olan belirli bir minimum radyasyon frekansının üstüne çıkılmadığı sürece elektronlar sökülemezler.

Sökülen elektronların kinetik enerjisi, gelen radyasyonun frekansıyla orantılıdır. Fakat radyasyonun şiddetinden bağımsızdır.

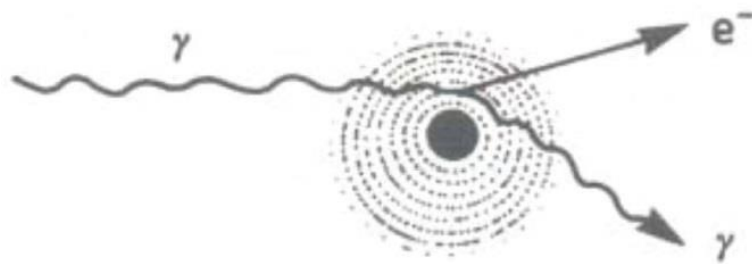
Eğer frekans eşik değerinin üstündeyse, düşük şiddetlerde bile elektronlar sökülebilir. Yeterli enerjiye sahip olan foton elektronla parçacık gibi çarpışma yaparak elektronu metalden söker. Başka bir ifadeyle $h\nu > \Phi$ olmalıdır. Burada Φ bir elektronu metalden koparmak için gerekli olan ve iş fonksiyonu olarak isimlendirilen enerjidir. Parçacık gibi davranan gelen fotonun enerjisi $E = h\nu$ alınarak enerji korunumu için;

$$h\nu = \frac{1}{2} m_e v_{max}^2 + \Phi \quad (2.7)$$

şeklinde yazılabilir. Burada $K_{max} = \frac{1}{2} m_e v_{max}^2$, elektron metal yüzeyden söküldükten sonra kazandığı maksimum kinetik enerjidir. Fotoelektrik olayda fotonun enerjisinin Φ kadarlık kısmı elektronu sökmek için harcanır ve geri kalan kısmı da sökülen elektrona kinetik enerji olarak aktarılır.

2.7.2. Compton saçılması

Compton olayında ortaya çıkan sonuçlar, radyasyon ve elektron arasındaki etkileşmenin iki parçacık arasında enerji ve momentumu korunan bir çarpışma (esnek çarpışma) gibi olduğunu ortaya koymaktadır. Bu olayda Şekil 2.9'de gösterildiği gibi gönderilen elektromanyetik radyasyon (foton) durgun haldeki serbest elektrona çarparak saçılır. Saçılmadan sonra fotonun geliş yönüyle yaptığı açı θ ve elektronun yaptığı açı da ϕ dir.



Şekil 2.8. Compton olayı [52].

Compton saçılması, fotonun enerjisinin fotoelektrik etki eşiğini aştığında meydana gelen bir olaydır.

Gelen fotonun enerjisi E_γ , saçılan fotonun enerjisi $E'\gamma$, elektronlara aktarılan enerji ise;

$$T_e = E_\gamma - E'_\gamma = \frac{E_\gamma^2(1 - \cos\theta)}{m c^2 + E_\gamma(1 - \cos\theta)} \quad (2.8)$$

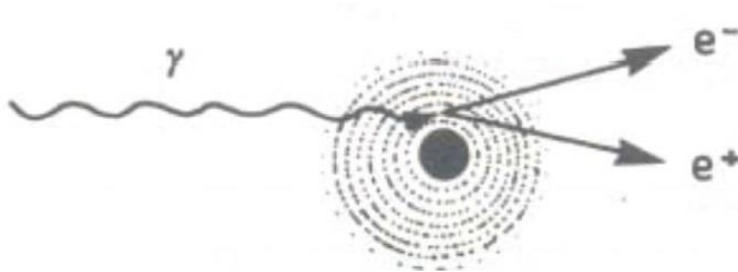
ile hesaplanır. Burada T_e elektrona aktarılan kinetik enerjidir.

2.7.3. Çift oluşumu

Enerjisi yüksek olan bir foton, yakın bir atom çekirdeği ile etkileşime girerek, enerjisini kaybedebilir ve sonuç olarak elektron-pozitron çiftine dönüşebilir. Bu olaya çift oluşumu denir. Gama ışınlarının enerjisi elektronun durgun kütlesi ile pozitronun durgun kütlesi toplamına eşit olduğunda (yaklaşık 1,02 Mev), gama ışını ile atom çekirdeği arasındaki etkileşim sonucu elektron-pozitron çifti oluşur. Eğer olaydaki gama ışını bu değeri aşarsa, fazla enerji elektron-pozitron çifti tarafından paylaşılan kinetik enerji şeklinde ortaya çıkar. Bu durum, enerjinin korunum ilkesine göre:

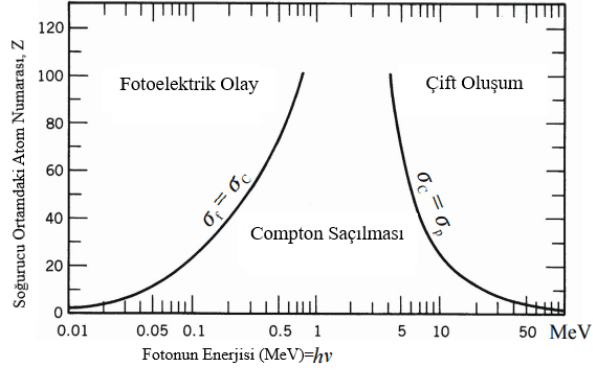
$$E_{e^-} + E_{e^+} = h\nu - 2m_0c^2 \quad (2.9)$$

şeklinde yazılabilir [52].



Şekil 2.9. Çift oluşumu [52].

Gama ışınları, madde ile etkileşime girdiklerinde farklı etkileşme biçimleri gösterirler. Fotonun soğurucu ortamda gösterdiği etkiler, fotonun enerjisi ve soğurucu ortamda bulunan atomların sayısı ile belirlenir. Compton saçılması düşük enerjili fotonlar ve yüksek atomik sayılı soğurucu ortamlar için karakteristik bir etkilşimdir. Yüksek enerjili fotonlar ve yüksek atomik sayılı soğurucu ortamlar için ise çift oluşum etkileşimi daha baskındır. Şekil xx, bu farklı etkileşme biçimlerini enerjiye bağlı olarak göstermektedir [49].



Şekil 2.10. Gama ışınlarının madde ile etkileşme biçimleri [49].

Şekil xx deki σ_f , fotoelektrik olay, σ_c , Compton saçılması ve σ_p , çift oluşum tesir kesitlerini ifade etmektedir. Toplam tesir kesiti ise,

$$\sigma = \sigma_f + \sigma_c + \sigma_p \quad (2.10)$$

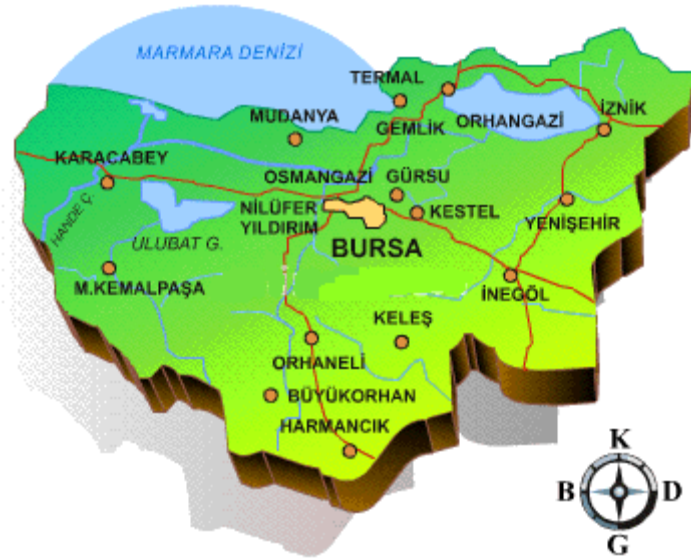
şeklindedir [49].

3. DENEYSEL YÖNTEM

Sakarya Üniversitesi Nükleer Fizik Araştırma Laboratuvarı'nda toplanan numunelerin radyoaktivite analizleri, 3''x3'' NaI (TI) Detektörü kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

3.1. Arazi Çalışmaları ve Örnek Alımı

Bu çalışma, Bursa il merkezine 57 km uzaklıktaki Orhaneli ve merkezden 64 km uzaklıktaki Keleş ilçelerinde yürütülmüştür. Orhaneli ilçesinin bulunduğu koordinatları 39°90'62 enlem ve 28°98'28'' boylama sahiptir. Keleş ilçesi ise 40°20'09 enlem ve 29°21'31 boylama sahiptir [53].



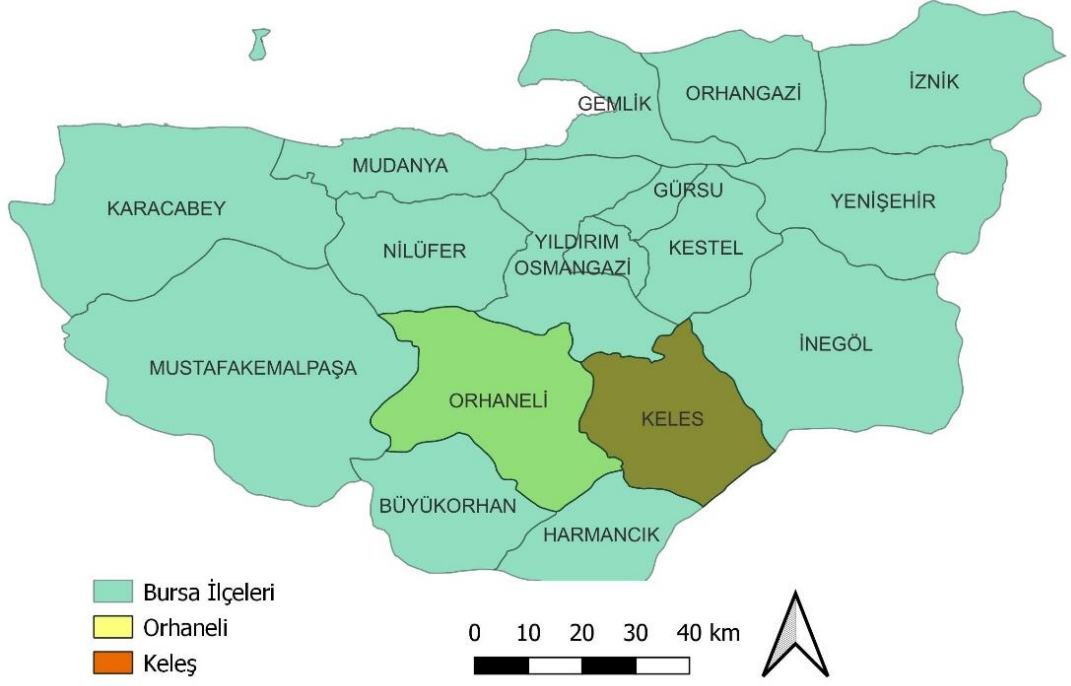
Şekil 3.1. Bursa il haritası [53].

Doğusunda Keleş, batısında Mustafakemalpaşa, kuzeyinde Bursa'nın Osamangi ve Nilüfer ilçeleri ve güneyinde Büyükorhan ve Harmancık ilçeleri yer alan konumuyla Orhaneli ilçesi, çevresindeki bu ilçelerle çevrilidir. Deniz seviyesinden 487 metre yükseklikte bulunan ilçe, krom sıcak su kaynakları, maden suları, linyit, mermer ve orman gibi zengin yer altı ve yer üstü kaynaklarına sahiptir. İlçenin yüz ölçümü 764 km²'dir ve dağları yüksek olmayıp, mevcut alanlar genellikle ormanlık bölgelerle kaplıdır.

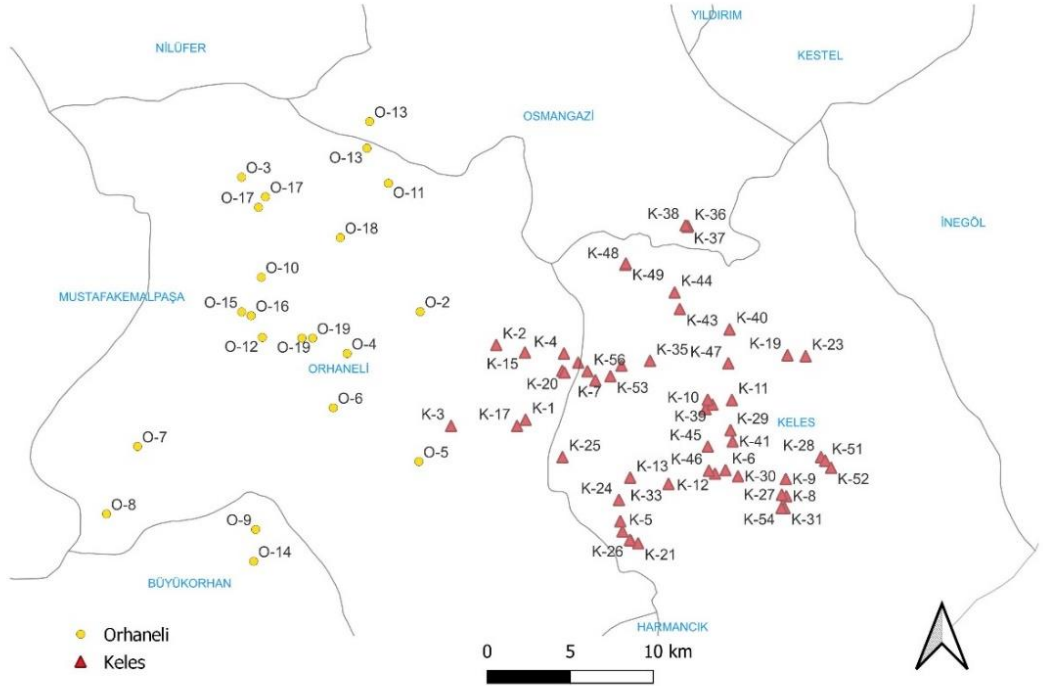
Krom madeni ve linyit kömürü Orhaneli'nin en önemli yer altı zenginlikleridir. Göynükbelen Beldesi ve Topuk köyü civarında çıkarılan krom madeni, ilçenin en büyük çıkarma noktalarıdır. Kömür ise; Dünder, Gümüşpınar, Altıntaş Köylerinden çıkarılır. Orhaneli'de çıkarılan kömürler, hem kış aylarında yakacak olarak kullanılmakta hem de orhaneli Termik Santrali'nde enerji üretiminde kullanılmaktadır [53].

Uludağ'ın güney yamaçlarında yer alan Keleş ilçesi, İç Batı Anadolu bölgesinin en kuzey kısmında konumlanmıştır. 35 köy ve 7 mahalleden oluşan bu ilçenin yüzölçümü 640 km². Keleş ilçesi ve çevresi, zengin yeraltı kaynakları ve endüstriyel hammadde potansiyeline sahip olmasına rağmen, bu kaynakların çoğu ekonomik olmadığı için işletilmemektedir [53].

Bursa ili, Orhaneli ve Keleş ilçelerinde örnekleme noktaları önceden karelej yöntemiyle (3x3km²) belirlenerek her bir örnekleme noktasından en az 3 kg'lık toprak örneği yüzeyden 15-20 cm derinliğe inilerek 78 adet toprak numunesi alındı. Kililti torbalara yerleştirilen örnekler, numune poşetlerine tarih ve saat, enlem-boylam koordinatları gibi bilgileri içeren etiketler yapıştırılarak işaretlendi. Örnek alınan yerlerin konumları GPS cihazı kullanılarak belirlenmiştir ve bu konumlar harita üzerinde işaretlenmiştir (Şekil 3.2). Toprak örneklerinde yer alan taş ve bitki artıkları temizlenerek, Sakarya Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Nükleer Fizik Araştırma Laboratuvarına getirilmiştir. Toprak numuneleri, gölgede, oda sıcaklığında, dışardan karışımlar olmayacak şekilde kurutulmaya bırakıldı. Kurutulmuş örneklerdeki tanecik boyutları farklı olacağından örnekler 2 mm'lik çelik elekten geçirilerek homojenize bir şekilde toz haline getirildi. Örneklerde bulunan nemin ölçümler üzerinde etkili olmaması için, örnekler 80°C sıcaklıktaki bir fırında 24 saat boyunca kurutulmuştur. Örnekler, içlerindeki radyonüklitlerin dengeye gelmesi amacıyla en az 40 gün süreyle bekletildi.



Şekil 3.2. Çalışılan Bursa ilçeleri lokasyon haritası.



Şekil 3.3. Orhaneli ve Keleş ilçelerine ait örnekleme noktalarının yer aldığı harita.

3.2. NaI (Tl) Gama Spektrometre Sistemi İle Doğal Radyonüklit Analizi

Gama spektroskopisi, yaygın şekilde radyoaktif element keşfinde ve içinde radyoaktif element bulunduran jeolojik örneklerin radyonüklid içeriğinin saptanmasında kullanılmaktadır. Jeolojik yapıların tamamında iz miktarda bulunan ^{238}U ve ^{232}Th 'nin kendilerine özgü, doğrudan tespit edilebilecek karakteristik gama ışını yoktur. Bu nedenle, uranyum ve toryum bozunum ürünlerindeki karakteristik yüksek enerjili gama ışınları kullanılarak tespit yapılır. Bu amaçla ^{238}U serisinde ^{214}Bi 'nin 1,76 MeV, ^{232}Th serisinde ise ^{208}Tl 'nin 2,6 MeV'lik yüksek enerjili gamaları kullanılmaktadır [54,55]. Örnek içindeki ^{40}K konsantrasyonu ise direkt olarak bu radyonüklide ait 1.46 MeV enerjili gamalar kullanılarak belirlenir. Jeolojik numunelerde U, Th, ve K radyonüklidleri farklı konsantrasyonlarda bir arada bulunurlar. NaI(Tl) gama spektrometrelerin sınırlı ayırma gücü nedeni ile spektrumda, radyonüklidler için seçilen gama enerjilerine karşılık belirlenen enerji aralıkları (kanallar) diğer radyonüklidlerden gelen katkıları da içermektedir.

NaI (Tl) kristali nem hassasiyeti yüksek olduğundan, tamamı alüminyum levhalarla çevrelenmiştir. Bu levhaların iç kısmı ise magnezyum oksit ile kaplıdır ve ışığı yansıtıcı olarak işlev görür. Kristalde bir fotonun neden olduğu ilk iyonlaşma ile serbest elektronlar oluşur. Bu elektronlar, kristalin atomik bağlanmasında görünür dalga boyundaki ışığı yayarak kristalden yayılır. Bu yayılan ışınlar, yüzeylerden yansıyan ışınlarla birlikte fotoçoğaltıcı tüpün katoduna düşer [52].

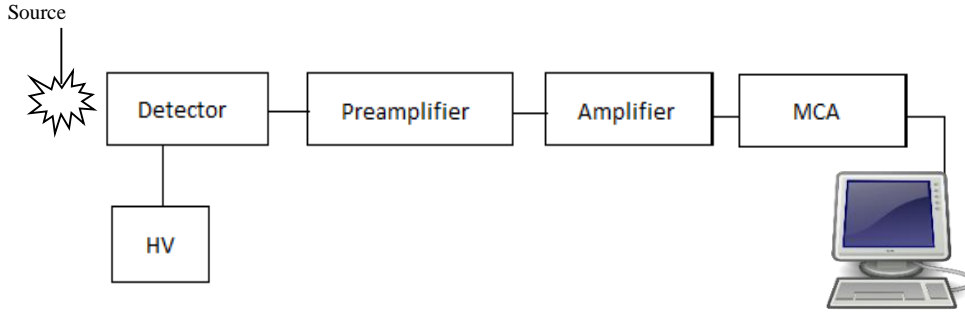
Foto-çoğaltıcı, 800 ile 1500 Volt arasında bir voltajda çalıştırılarak, her bir çoğaltıcıda ardışık voltaj dabeleri üretilir. Bu sayede elektronlar, foto-katottan son çoğaltıcıya kadar ilerlerken sayıları peş peşe artar. Bu elektron çoğalması sonucunda, gelen foton veya parçacığın enerjisi arttıkça, ölçülen darbenin yüksekliği de artacaktır [52].



Şekil 3.4. (3''x3'') NaI (Tl) dedektörü.

Gama spektroskopisi herhangi bir örnekte radyonüklit konsantrasyonunun belirlenmesinde kullanılan radyometrik bir yöntemdir. Bu yöntem radyonüklitlerden yayılan gama ışınlarının enerjilerine bağlı olarak sayılması prensibine dayanır.

Gama spektroskopisi sisteminin basit bir şeması şekil 3.4 'de verilmiştir.

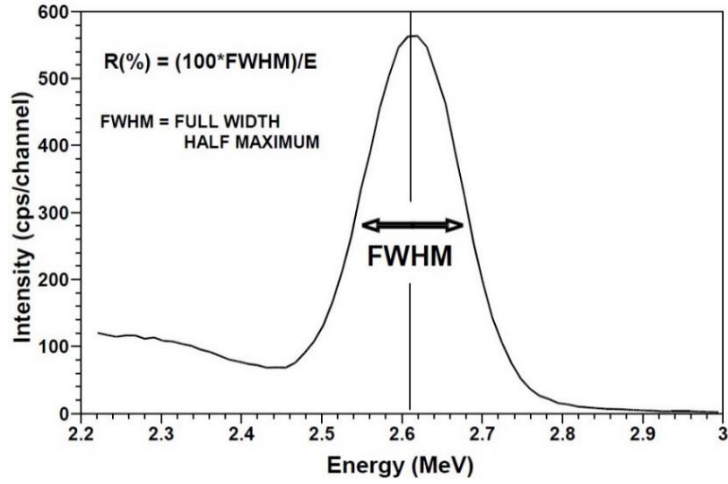


Şekil 3.5. Gama spektroskopisi sistemi genel şeması.

Şekil 3.5.'den görüldüğü gibi kaynaktan çıkan radyasyon ışınının dedektörle etkileşime girme neticesinde absorbe edilen enerjiye bağlı olarak bir akım darbesi oluşturur. Bu darbe amplifikatörler aracılığıyla voltaj sinyaline dönüştürülür, yükseltilir, şekillendirilir ve ardından çok kanallı analizöre (ÇKA) gönderilir. Analizörden sayısal olarak dönüştürülen veriler, ekranda spektrum şeklinde görselleştirilir. Dışarı aktarılan bu spektrum, uygun bir giriş/çıkış (I/O) aygıtı aracılığıyla analizörden çıkarılır ve değerlendirilmek üzere kaydedilir. Bu tür bir sistemin enerji ve verim kalibrasyonu, aktiviteleri ve gama enerjileri yayılımı belirli standart kaynaklar kullanılarak gerçekleştirilir. Bu kaynaklar genellikle ^{137}Cs , ^{60}Co , ^{22}Na ... vb kaynaklardır. Bu tez çalışmasında analiz kısmı için ORTEC MAESTRO-32 programı kullanıldı.

3.2.1. Enerji çözünürlüğü

Enerji ayırımı, kullanılan dedektörlerde göz önünde bulundurulması gereken en önemli özelliklerden biridir. Birbirine yakın enerjide oluşan iki radyasyon pikini ayırabilme özelliğine enerji ayırma gücü denir.



Şekil 3.6. Gama ışını dedektörünün enerji çözünürlüğünü gösteren diyagram [54].

Spektrometre enerji çözünürlüğü, yüzde olarak ifade edilen maksimum genliğin (FWHM) yarısında bir fotopikinin tam genişliği olarak tanımlanır [56].

$$R = \frac{\text{FWHM}}{E} \cdot 100\% \quad (3.1)$$

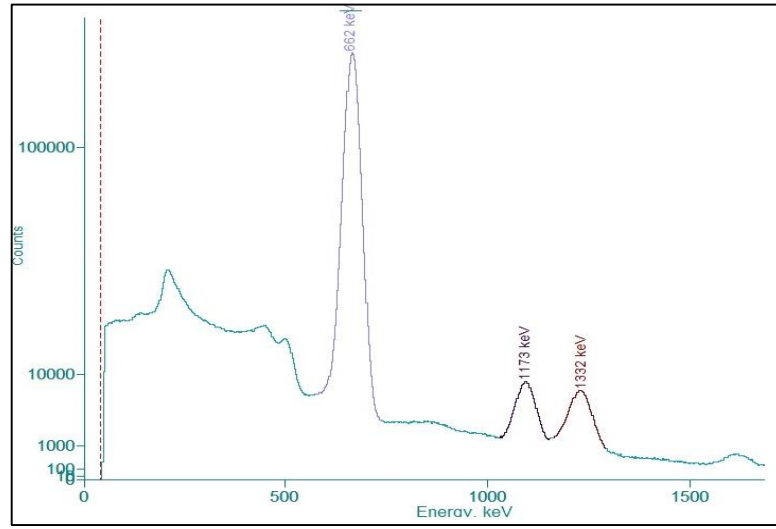
3.2.2. Enerji kalibrasyonu

Enerji kalibrasyonu, ölçülen darbelerin kanal numarası ile gerçek enerji arasındaki ilişkiyi bulmayı sağlar. Bu işlem, kaynakların bilinen enerjilerinin kullanımını gerektirir ve ölçüm doğruluğunu arttırmaya yardımcı olur. Radyoaktif bir örnekten kaynaklanan her bir foton, dedektör kristaliyle etkileşime girerek bir sinyal üretir. Sinyaller, şekil 3.5'te gösterildiği gibi işlenir ve ardından analog dijital dönüştürücüye yönlendirilerek sayısal verilere dönüştürülür. Çok kanallı analizör, her enerji düzeyine karşılık gelen bir kanal atar ve gelen sinyallerin yüksekliğine göre sıralamayı gerçekleştirir. Ancak dedektöre uygulanan yüksek voltaj ve sinyallerin yükseltilmesi, dengesizliğe sebep oluyor. Bu durum, enerji kalibrasyonu yapılarak halledilir. Bu şekilde, doğru enerjinin doğru kanal numarasına atanması sağlanarak, fotonun enerjisi belirlenir.

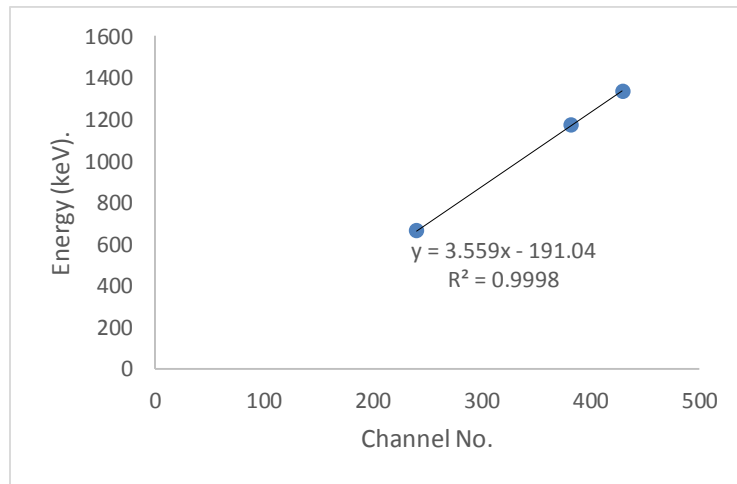
Enerji kalibrasyonu için, önceden bilinen enerjilere sahip izotoplar içeren standart kaynaklar kullanmak gereklidir. Dedektörlerde kullanılan standart kaynaklar, doğru geometride ve yeterli sayıda sayılarak kalibrasyon sağlanmalıdır. Tablo 3.1'de sıklıkla kullanılan standart kalibrasyon kaynakları verilmektedir.

Tablo 3.1. Enerji kalibrasyonu için önerilen radyoaktif nokta kaynaklar.

Kaynak	Yarı-ömür(yıl)	E_γ (keV)	I_γ (%)
Cs-137	30	662	85,1
Co-60	5,3	1173	99,8
Na-22	2,6	511	99,9
Am-241	432	59.6	35,9



Şekil 3.7. Enerji kalibrasyonu için kullanılan nokta kaynakların spektrumları.



Şekil 3.8. Enerji kalibrasyonu için kullanılan nokta kaynakların grafiği.

Bu tez çalışmasında, Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA) ile çalışılmış olan RGU_1, RGTh_1 ve RGK_1 standart kaynakları (Tablo 3.2-3.4), Enerji kalibrasyonu için 43200 saniye sayıldı. Sayım bittikten sonra ORTEC MAESTRO-32 programı kullanılarak analizler yapıldı.

Tablo 3.2. RGU-1 referans kaynağına ait sertifika bilgileri [57].

Radyonüklit	Değer	Birim
²³⁵ U	224	Bq/kg
²³⁸ U	4941	Bq/kg

Tablo 3.3. RGTh-1 referans kaynağına ait sertifika bilgileri [57].

Radyonüklit	Değer	Birim
²³² Th	3250	Bq/kg
²³⁵ U	3,6	Bq/kg
²³⁸ U	78	Bq/kg
⁴⁰ K	6,3	Bq/kg
K	200	mq/kg
Th	800	mq/kg
U	6,3	mq/kg

Tablo 3.4. RGK-1 referans kaynağına ait sertifika bilgileri [57].

Radyonüklit	Değer	Birim
40K	14000	Bq/kg
K	448000	mq/kg
Th	<0,01	mq/kg
U	<0,001	mq/kg

Enerji kalibrasyonu için program, ikinci dereceden bir eğri uygunlaştırma işlemi kullanarak verileri analiz eder.

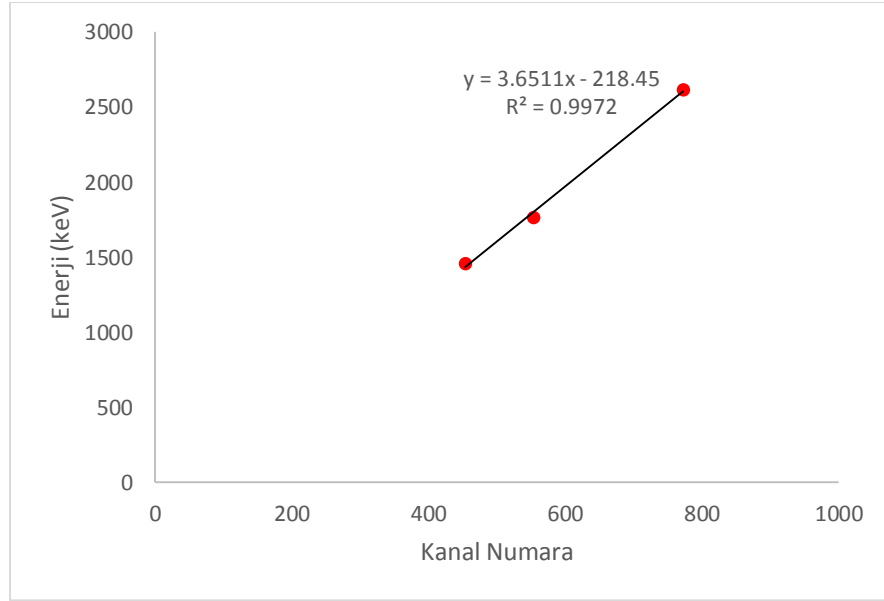
Bu ikinci dereceden denklem,

$$E = a_0 + a_1(KN) + a_2(KN)^2 \quad (3.2)$$

şeklindedir. Burada; E, gama ışını enerjisi (keV cinsinden), KN, kanal numarası, a_0 , a_1 ve a_2 fit etme katsayılarıdır. Fit işlemi tamamlandıktan sonra, Tablo 3.6. ve Tablo 3.7’de verilen her bir izotopun enerjisine karşılık gelen kanal numarası belirlendi.

Tablo 3.5. IAEA kaynaklarına karşılık gelen kanal numaralar.

Radyonüklid	Enerji (keV)	Kanal Numara
^{40}K	1460	453
^{214}Bi	1765	553
^{208}Tl	2615	773



Şekil 3.9. Enerji kalibrasyon grafiği (IAEA referans RGU, RGTh ve RGK).

3.2.3. Verim kalibrasyonu

Dedektör verimi, radyoaktif bir kaynaktan yayınlanan fotonların dedektör tarafından algılanma oranı olarak tanımlanabilir. Gama spektroskopisinde, pikin altında kalan

alan radyoaktivite miktarını belirtir. Verim kalibrasyonu, aktivitesi bilinen standart kaynaklar kullanılarak yapılır. Dedektörün verimi;

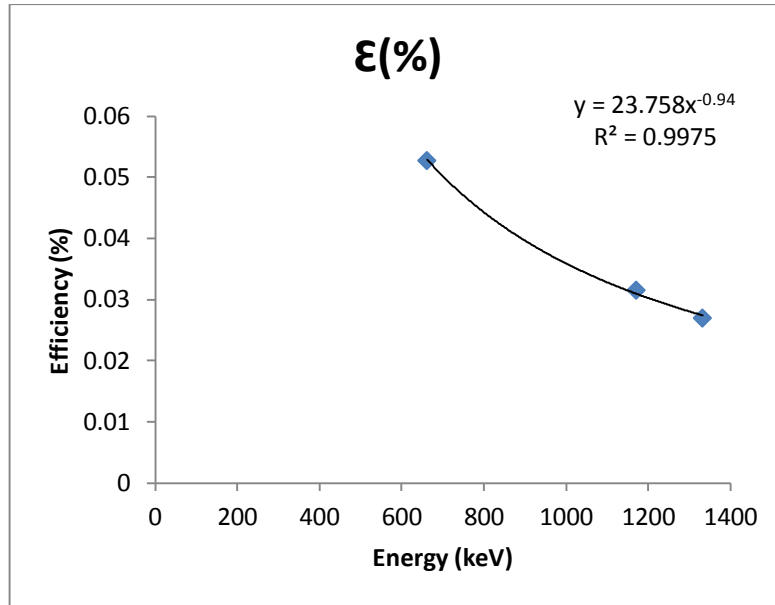
$$\varepsilon_{\gamma} = \frac{N_{\text{net}}}{A I_{\gamma} t} \quad (3.3)$$

formülü ile belirlenir. Burada; ε_{γ} , gama ışını enerjisi için sayım verimidir. N_{net} , dedektörün ölçtüğü pikin net alanıdır. A , aktivite (Bq/kg) ve I_{γ} , gama ışınının yayınlanma olasılığıdır. t , saniye cinsinden standart kaynağın sayım süresidir.

Tablo 3.6. Verim kalibrasyonu için kullanılan nokta kaynakları.

Nuclide	Gamma-ray energy in keV	I (%)	A(Bq)	Efficiency (%)
Cs-137	662	85.05	207655	0.05272
Co-60	1172	99.97	14984	0.03152
Co-60	1333	99.99	14984	0.02698

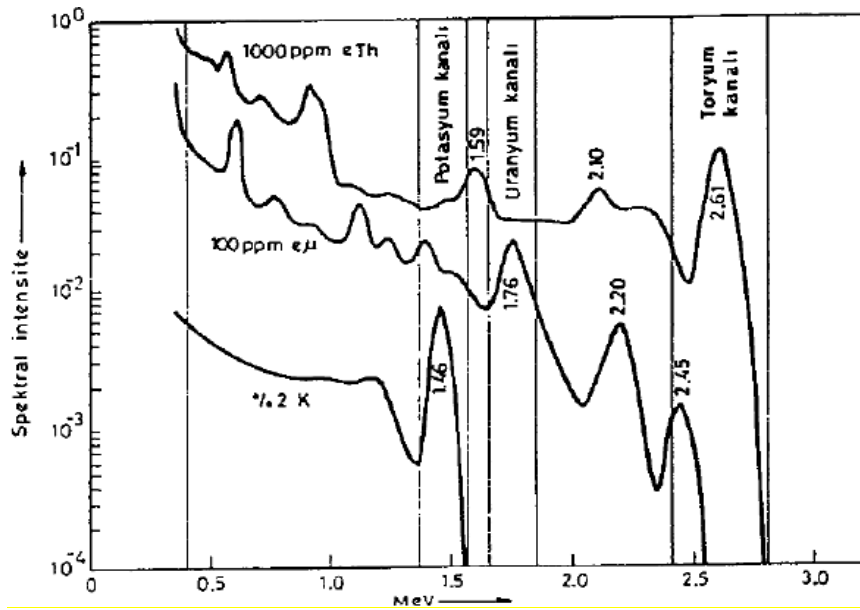
Verim kalibrasyon grafiği şekil 3.10'da verilmiştir.



Şekil 3.10. Verim kalibrasyon grafiği.

Tablo 3.7. Doğal radyonüklit için standart gama ışını enerji pencereleri [56].

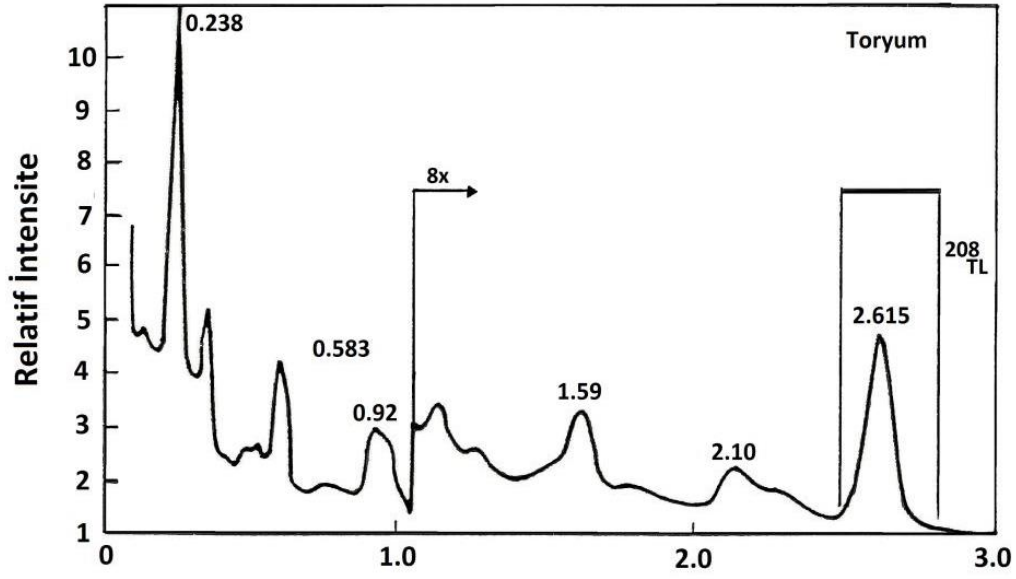
Pencere	Nüklit	Enerji Aralığı (MeV)
Toplam Sayım	-	0,400- 2,810
Potasyum	^{40}K (1,460 MeV)	1,370- 1570
Uranyum	^{214}Bi (1,765 MeV)	1,660- 1,860
Toryum	^{208}Tl (2,614 MeV)	2,410- 2,810



Şekil 3.11. U, Th ve K kanallarına diğer kanallardan gelen katkılar [55].

3.3. Toryum Kanalı

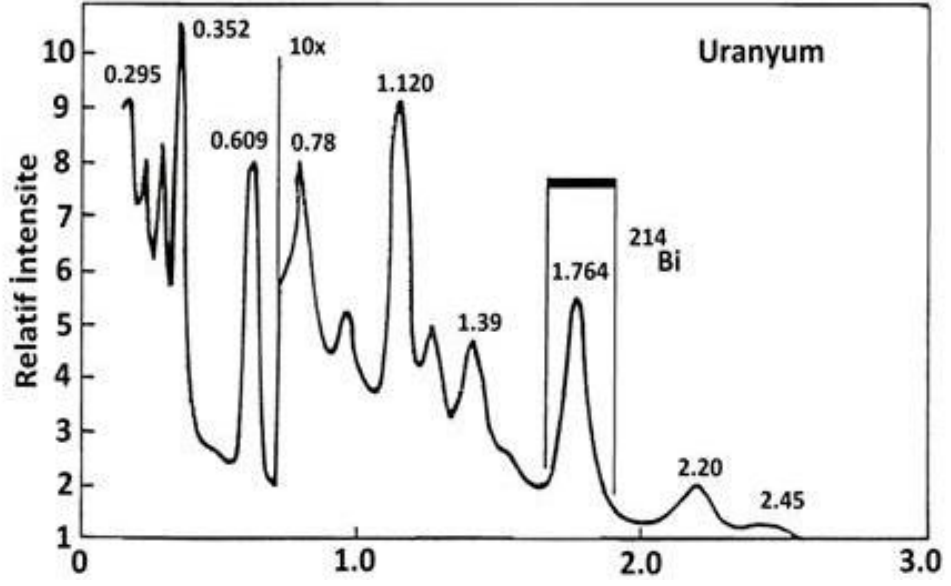
Toryum için belirlenen kanallarda yapılan ölçümlerin %86'sı toryumdan %2'si uranyumdan ve geri kalanı çevresel kaynaklardan kaynaklanmaktadır. Uranyum spektrumunda gözlenen ^{214}Bi izotopunun 2.42 MeV enerjili gama pikinin, bu kanaladaki toplam sayımlar içinde bir katkısı bulunmaktadır [54, 55].



Şekil 3.12. ^{232}Th sintilasyon gama spektrumu ve seçilen enerji aralığı [56].

3.4. Uranyum Kanalı

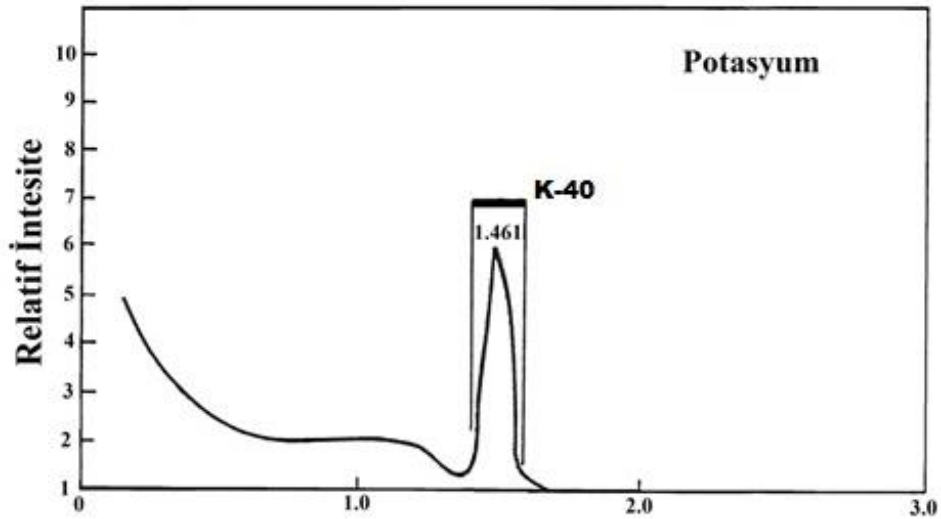
Uranyum için seçilen kanallarda toryumun ihmal edilemeyecek oranda katkısı bulunmaktadır. Uranyumu tespit etmek için kullanılan ^{214}Bi izotopunun 1.76 MeV enerjili gama pikinin, toryum serisinden ^{208}Tl izotopunun 2.61 MeV enerjili gamasının 2.10 MeV tek kaçak piki ve 1.59 MeV çift kaçak piki arasına denk geldiği gözlenir (Şekil 3.14.). Toryum serisinde yer alan ^{228}Ac 'in 1.588 MeV enerjili gama ışını, uranyum kanalındaki sayımlara katkıda bulunur. Bunun yanı sıra, diğer toryum serisi ve radyonüklidlerden kaynaklanan gamalar da uranyum spektrumunda belirgin pikler oluşturabilir. Bu sebeple, uranyum kanallarında gözlemlenen sayımlar doğrudan uranyum konsantrasyonu hesaplamada kullanılamaz [54, 55].



Şekil 3.13. ^{238}U sintilasyon gama spektrumu ve seçilen enerji aralığı [56].

3.5. Potasyum Kanalı

Potasyum kanalında yapılan sayımların çoğunluğu art-ortamdan kaynaklanmaktadır. Potasyum kanalındaki sayımların çoğunluğu, sistem bulunduğu ortamdan gelen katkılardan kaynaklanmaktadır ve bu katkıların yaklaşık %65'i potasyum kanalında kaydedilir. (Şekil 3.15.). Toryum ve uranyum kaynaklı katkılar, potasyum kanalındaki sayımların %15-20'sini oluşturmaktadır. Potasyum kanallarındaki ölçümler de konsantrasyon hesaplamalarında doğrudan kullanılamaz.[54, 55].



Şekil 3.14. ^{40}K sintilasyon gama spektrumu ve seçilen enerji aralığı [56].

Radyonüklid konsantrasyonunu hesaplamak için seçilen enerji aralığındaki net sayımı kullanmak yeterli değildir. Bu nedenle, diğer radyonüklidlere ait katkıların uygun faktörlerle hesaplanarak bu enerji aralığından çıkarılması gerekmektedir. Sıyırma oranları, geometriye ve spektrometrenin farklı ayarlarına bağlı olarak belirlenen faktörlerdir ve diğer radyonüklidlere ait katkıları hesaplamak için kullanılır. Sıyırma oranları ve duyarlılık faktörlerini aşağıdaki deklemlerle elde edebiliriz:

$$n_i = S_{iK}C_K + S_{iU}C_U + S_{iTh}C_{Th} + n_{iBG} \quad (3.4)$$

Burada;

n_i = i'inci enerji penceresindeki sayım ($i = 1, 2, 3$), (c/s);

S_{ij} = i'inci enerji penceresinde j'inci elementin tespiti için spektrometrenin hassasiyeti (j'inci elementin birim konsantrasyonu başına c/s);

C_j = j'inci elementin konsantrasyonu, (%K, ppmU, ppmTh);

n_{iBG} = i'inci penceresindeki araka plan sayım oranı, (c/s).

3.6. Duyarlılık Faktörleri ve Sıyırma Oranları

Diğer radyonüklidlere ait katkıların uygun faktörlerle hesaplanarak bu enerji aralığından çıkarma işlemini yapabiliriz. Grasty (1977) metodunun ifadeleri denklem (3.5)'den başlayarak, denklem (3.19)'da bitmektedir [61]. Yaprak (1995) metodunun ifadeleri ise denklem (3.20)'den başlayarak, denklem (3.28)'de sonlanmaktadır. K, U, ve Th penceresinde ($i = 1, 2, \text{ ve } 3$) “sıyırma oranları” $\alpha, \beta, \gamma, a, b$ ve g duyarlılık oranları ile aşağıdaki gibi tanımlanır [61]. Yaprak metodunun referans [61]'den farkı a, b ve g duyarlılık oranlarının katkısı sıfırdır.

$$K = \varepsilon_{KK}K_C + \varepsilon_{KU}U_C + \varepsilon_{KTh}Th_C + B_K \quad (3.5)$$

$$U = \varepsilon_{UK}K_C + \varepsilon_{UU}U_C + \varepsilon_{UTh}Th_C + B_U \quad (3.6)$$

$$\text{Th} = \varepsilon_{\text{ThK}}K_{\text{C}} + \varepsilon_{\text{ThU}}U_{\text{C}} + \varepsilon_{\text{ThTh}}\text{Th}_{\text{C}} + B_{\text{Th}} \quad (3.7)$$

$$\varepsilon_{\text{KK}} = S_{11}, \varepsilon_{\text{KU}} = \varepsilon_{12}, \varepsilon_{\text{KTh}} = \varepsilon_{13} \quad (3.8)$$

$$\varepsilon_{\text{UK}} = S_{21}, \varepsilon_{\text{UU}} = \varepsilon_{22}, \varepsilon_{\text{UTh}} = \varepsilon_{23} \quad (3.9)$$

$$\varepsilon_{\text{ThK}} = S_{31}, \varepsilon_{\text{ThU}} = \varepsilon_{32}, \varepsilon_{\text{ThTh}} = \varepsilon_{33} \quad (3.10)$$

$$\alpha = \frac{S_{32}^{\text{UTh}}}{S_{33}^{\text{KTh}}}, \beta = \frac{S_{31}^{\text{KTh}}}{S_{33}^{\text{Th}}}, \gamma = \frac{S_{21}^{\text{KU}}}{S_{22}^{\text{U}}} \quad (3.11)$$

$$a = \frac{S_{32}^{\text{ThU}}}{S_{22}^{\text{U}}}, b = \frac{S_{31}^{\text{ThK}}}{S_{11}^{\text{K}}}, g = \frac{S_{21}^{\text{UK}}}{S_{11}^{\text{K}}} \quad (3.12)$$

$$\text{Th} = \text{Th}_{\text{C}} + aU_{\text{C}} + bK_{\text{C}} \quad (3.13)$$

$$U = \alpha\text{Th}_{\text{C}} + U_{\text{C}} + gK_{\text{C}} \quad (3.14)$$

$$K = \beta\text{Th}_{\text{C}} + \gamma U_{\text{C}} + K_{\text{C}} \quad (3.15)$$

$$\text{Th}_{\text{C}} = [\text{Th}(1 - g\gamma) + U(b\gamma - a) + K(ag - b)]/A \quad (3.16)$$

$$U_{\text{C}} = [\text{Th}(g\beta - \alpha) + U(1 - b\beta) + K(b\alpha - g)]/A \quad (3.17)$$

$$K_{\text{C}} = [\text{Th}(\alpha\gamma - \beta) + U(a\beta - \gamma) + K(1 - a\alpha)]/A \quad (3.18)$$

$$A = 1 - g\gamma - a(\alpha - g\beta) - b(\beta - \alpha\gamma) \quad (3.19)$$

Denklem (3.5-3.7)'deki B_K , B_U ve B_{Th} arka plan sayım oranları.

Denklem (3.11)'deki, S_{32}^{UTh} Uranyuma Toryumdan gelen katkı, S_{33}^{KTh} Toryum kanalındaki net sayım, S_{31}^{KTh} Potasyuma Toryumdan gelen katkı, S_{33}^{Th} Toryum kanalindeki net sayım, S_{21}^{KU} Potasyuma Uranyumdan gelen katkı ve S_{22}^U Uranyum kanalindeki net sayım.

Yaprak (1995) metodunda ise ($a=b=g=0$) alınarak aşağıdaki ifadeler elde edilir.

$$Th_c = Th/K_1 \quad (3.20)$$

$$U_c = \frac{[U - \alpha Th]}{K_2} \quad (3.21)$$

$$K_c = \frac{[K - \gamma(U - \alpha Th) - \beta Th]}{K_3} \quad (3.22)$$

α = Uranyuma toryumdan gelen katkı / Toryum pikin net sayımı

β = Potasyuma toryumdan gelen katkı / Toryum pikin net sayımı

γ = Potasyuma uranyumdan gelen katkı / Uranyum pikin net sayımı

Duyarlılık faktörleri, net sayımlardan %K, ppmU veya ppmTh gibi konsantrasyon birimlerine dönüştürme faktörleri olarak adlandırılır. Duyarlılık faktörleri aşağıda gösterildiği gibi bulunur;

$$K_1 = \frac{C(Th)}{Th(ppm)} \quad (3.23)$$

$$K_2 = \frac{C(U)}{U(ppm)} \quad (3.24)$$

$$K_3 = \frac{C(K)}{\%K} \quad (3.25)$$

C (Th) = Toryum kanallarındaki pikin net sayısı

Th (ppm) = Hazırlanan standart kaynağın toryum içeriği ppm biriminde ifade eden bir değerdir.

C (U) = Uranyum kanallarındaki pikin net sayısı

U (ppm) = Hazırlanan standart kaynağın uranyum içeriği ppm biriminde ifade eden bir değerdir.

C (K) = Potasyum kanallarındaki pikin net sayısı

%K = Hazırlanmış olan standardın potasyum içeriği % olarak

Duyarlılık faktörleri ve sıyırma oranları uygun standartlar ile saptadıktan sonra, örneklerdeki eU, eTh ve %K konsantrasyonlarına aşağıdaki gibi hesaplanır [54, 55].

$$eTh \text{ (ppm)} = \frac{C(K)}{K_1} \quad (3.26)$$

$$eU \text{ (ppm)} = \frac{[C(U) - \alpha C(Th)]}{K_2} \quad (3.27)$$

$$\%K = \frac{[C(K) - \gamma[C(U) - \alpha C(Th)] - \beta C(Th)]}{K_3} \quad (3.28)$$

Bu yöntemde, uranyum ve toryumun yerine, ürünlerinin gama ışınları kullanılarak belirlendiği için, elde edilen U ve Th konsantrasyonları eşdeğer uranyum (eU) ve eşdeğer toryum (eTh) olarak ifade edilir. Ayrıca, 40K'nın karakteristik gama ışını kullanılarak elde edilen % K konsantrasyonu, potasyum içeriğini doğrudan vermektedir [54, 55].

Tablo 3.8. Duyarlılık faktörleri (IAEA standartlarının 500 gr kaynağına göre).

Sij	K penceresi	U penceresi	Th penceresi
Sayım/Bq kg ⁻¹ (K)	58,4547711	0,09983453	0,07501379
Sayım/Bq kg ⁻¹ (U)	178,0993975	188,097325	2,21954796
Sayım/Bq kg ⁻¹ (Th)	76,15623137	99,5563506	119,451401

Tablo 3.9. NaI dedektörün enerji penceresi hassasiyetleri ve sıyırma oranları [56].

Stripping terms	Ratio of sensitivities	Stripping ratio
α	S32/ S33	0,42
β	S31/ S33	0,59
γ	S21/ S22	1,11
a	S23/ S22	0,065
b=g		0,009

Tablo 3.10. IAEA'nın RGU, RGK ve RGTh referans kaynakları kullanarak belirlenen aktivite seviyelerinin karşılaştırılması.

Nüklid	Grasty (1977) metodu	Yaprak (1995) metodu	IAEA (Bqkg-1)
Th _c	852	873	839
U _c	1227	1212	1255
K _c	2512	4000	3626

3.7. Yer Kabuğundaki Radyonüklitlerin Konsantrasyon Birimleri ve Dönüşümü

Jeoloji ve nükleer jeofizikte, kaynaklardaki, havadaki ve sudaki radyonüklit konsantrasyonları aşağıdaki birimlerle ifade edilir;

K kütle konsantrasyonu: %K (Yüzde potasyum)

U kütle konsantrasyonu: ppmU (parts per million of uranium, milyon uranyum başına parça)

Th kütle konsantrasyonu: ppmTh (parts per million of thorium, milyon toryum başına parça)

$$1\text{ppm} = 10^{-6} \text{ g/g} = 1\text{g/ton}$$

Tablo 3.11. K, U ve Th spesifik aktiviteleri [56].

	Miktar	Birim	Radyonüklit
1 %K (Kayaç)	313	Bq/kg	⁴⁰ K
1 ppm U (Kayaç)	12,35	Bq/kg	²³⁸ U veya ²²⁶ Ra
1 ppm Th (Kayaç)	4,06	Bq/kg	²³² Th

Yerkabuğunun insan yapımı radyonüklitler tarafından kirlenmesi, ya yüzey aktivitesi (birim alan başına aktivite, Bq/m²) ya da spesifik aktivite (birim kütle başına aktivite, Bq/kg) ile ifade edilir.

Çalışılan laboratuvar koşullarında, sistemin algılayabileceği minimum aktiviteler (MDA), aşağıdaki eşitlik (Denklem 3.8) ile hesaplanmıştır [58].

$$MDA = \frac{2,79 + 4,65\sqrt{\mu B}}{K} \quad (3.29)$$

Denklemde μB , art-ortam sayım hızı ve K kullanılan gama ışını ölçüm sistemi için ppm/Bqkg-1 olarak konsantrasyon faktörleri olan K_{Ra} , K_{Th} ve K_K , 'yi ifade etmektedir. Bu faktörler, sayımları konsantrasyon/aktivite birimlerine dönüştürmek için kullanılır.

Currie (1968) kriterlerine dayalı olarak, sintilasyon gama spektrometre sisteminin 100 ml örnek geometrisi ve 43200 s için ölçebileceği minimum dedekte edilebilen aktiviteler (MDA): ²²⁶Ra için 15,86 Bqkg⁻¹, ²³²Th için 2,9 Bqkg⁻¹ ve ⁴⁰K için 32,78 Bqkg⁻¹'dir [9].

3.8. Aktivitelerin Belirlenmesi ve Doz Hesabı

Topraktaki doğal radyonüklidlerden kaynaklanan gama ışınmalarına bağlı olarak yayılan gama doz oranları (D) (denklem 3.30);

$$D(\text{nGyh}^{-1}) = 0,42C_{Ra} + 0,604C_{Th} + 0,0417C_K \quad (3.30)$$

bağıntısı ile elde edilebilir [38].

Doz dönüşüm faktörleri, ^{226}Ra için $0,462 \text{ nGyh}^{-1}$, ^{232}Th için $0,604 \text{ nGyh}^{-1}$ ve ^{40}K için $0,042 \text{ nGyh}^{-1}$ 'dir. C_{Ra} , ^{226}Ra 'nın, C_{Th} , ^{232}Th 'nin ve C_{K} , ^{40}K 'in, aktivite konsantrasyonlarını tanımlar. Yıllık etkin doz eşdeğeri (AED) ise (Denklem 3.31);

$$\text{AED} = D(\text{nGyh}^{-1}) \times 8760\text{h} \times 0,2 \times 0,7\text{SvGy}^{-1} \times 10^{-3} \quad (3.31)$$

ile elde edilir. Denklemde, D gama doz oranı, (8760 saat) ışınlama zamanı, 0,2 sayısı insanların bir gününün ortalama %20'sini dış ortamda geçirdikleri düşünülerek getirilmiş bir katsayı ve $0,7 \text{ SvGy}^{-1}$ ise doz dönüşüm katsayısıdır [41].

Toprakta ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K dağılımı homojen değildir ve farklı bölgelerde farklı değerlere sahiptir. Bu nedenle, doğal radyonüklidlerin ortalama spesifik aktiviteleri, radyasyon zararının tam göstergesi olmayabilir. Bunun için, 370 Bqkg^{-1} ^{226}Ra 'nın, 259 Bqkg^{-1} ^{232}Th 'nin ve 4810 Bqkg^{-1} ^{40}K 'in eşit ölçüde gama ışını dozu ürettiği kabul edilerek, daha kapsayıcı bir indeks olan radyumun eşdeğer aktivitesi (Ra_{eq}) aşağıdaki bağıntı (denklem 3.32) ile hesaplanır [59].

$$\text{Ra}_{\text{eq}}(\text{Bqkg}^{-1}) = C_{\text{Ra}} + 1,43C_{\text{Th}} + 0,07C_{\text{K}} \quad (3.32)$$

Araştırılan her bir örneğin dış tehlike indeksi, yıllık gama radyasyon dozunun $1,5 \text{ nGyh}^{-1}$ değerinde sınırlandırmak için (denklem 3.33);

$$H_{\text{ex}} = \frac{C_{\text{Ra}}}{370} + \frac{C_{\text{Th}}}{259} + \frac{C_{\text{K}}}{4810} \leq 1 \quad (3.33)$$

ile hesaplanır. Radyasyon riskini kabul edilebilir düzeyde tutmak için bu indeksin 1'den küçük olması gerekmektedir [60].

4. SONUÇLAR

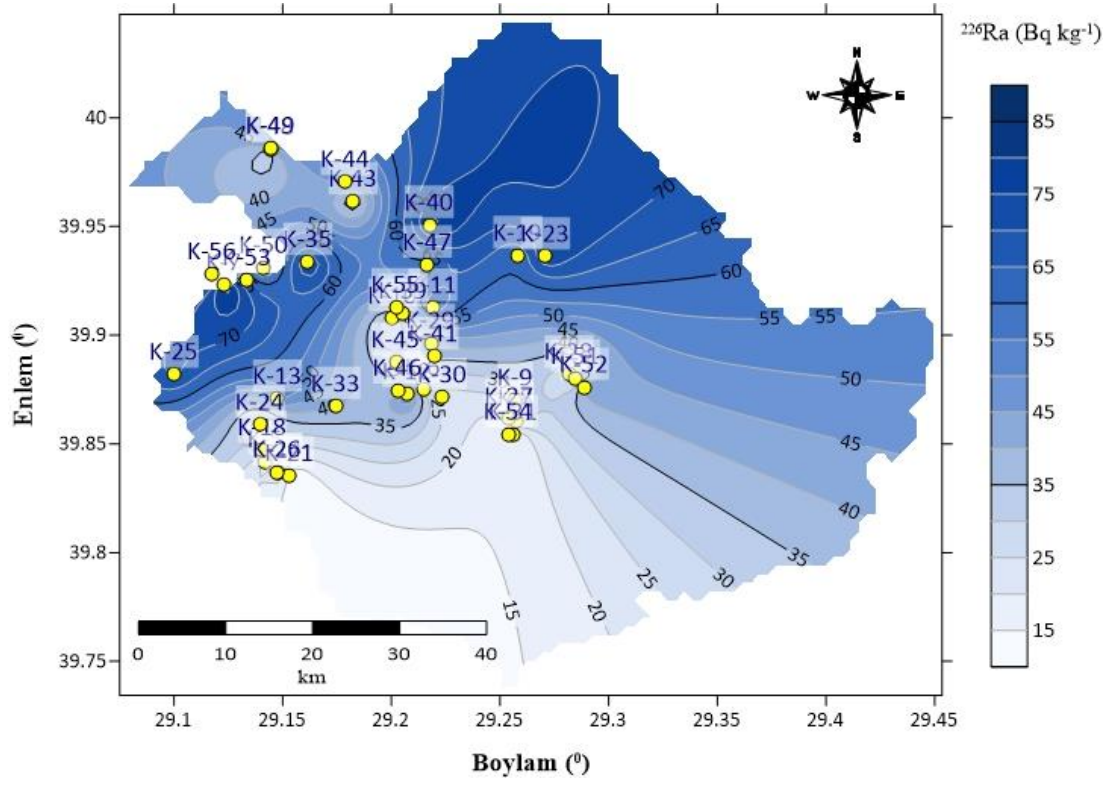
4.1. Doğal Radyonüklidlerin Aktivite Konsantrasyonu Ölçüm Sonuçları

Toprak numunelerinde ölçülen ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları Keleş ilçesi için ortalama olarak sırasıyla $46,023 \text{ Bqkg}^{-1}$, $13,72 \text{ Bqkg}^{-1}$ $148,80 \text{ Bqkg}^{-1}$ olarak tespit edilmiştir. Orhaneli ilçesi için ise ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları sırasıyla $37,35 \text{ Bqkg}^{-1}$, $9,19 \text{ Bqkg}^{-1}$ ve $119,76 \text{ Bqkg}^{-1}$, ortalama değerler arasında değiştiği belirlenmiştir.

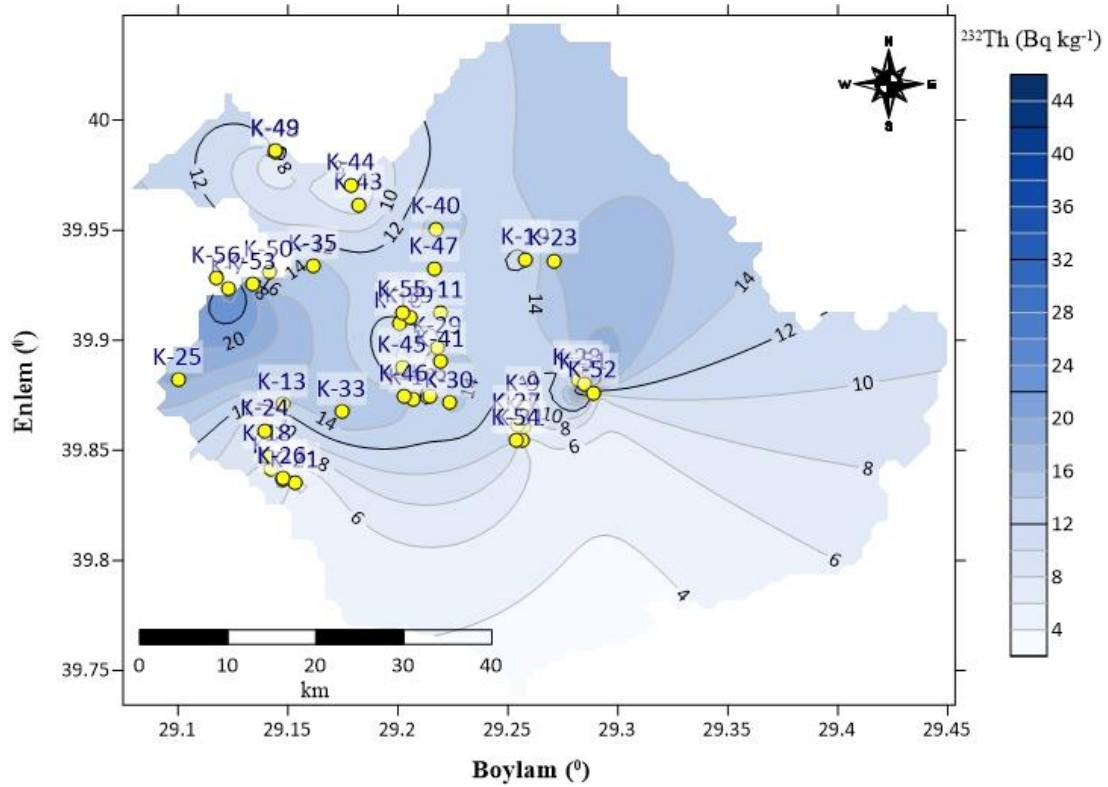
Dünya genelinde topraklardaki karasal radyonüklidlerin (^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K) spesifik aktivitelerinin ortalaması sırasıyla; 35, 30 ve 400 Bq/kg ' dir [41].

Türkiye'de ölçülen ortalama değerlere göre, ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları sırasıyla $27,6 \text{ Bqkg}^{-1}$, $32,7 \text{ Bqkg}^{-1}$ ve $439,9 \text{ Bqkg}^{-1}$ düzeyindedir [3].

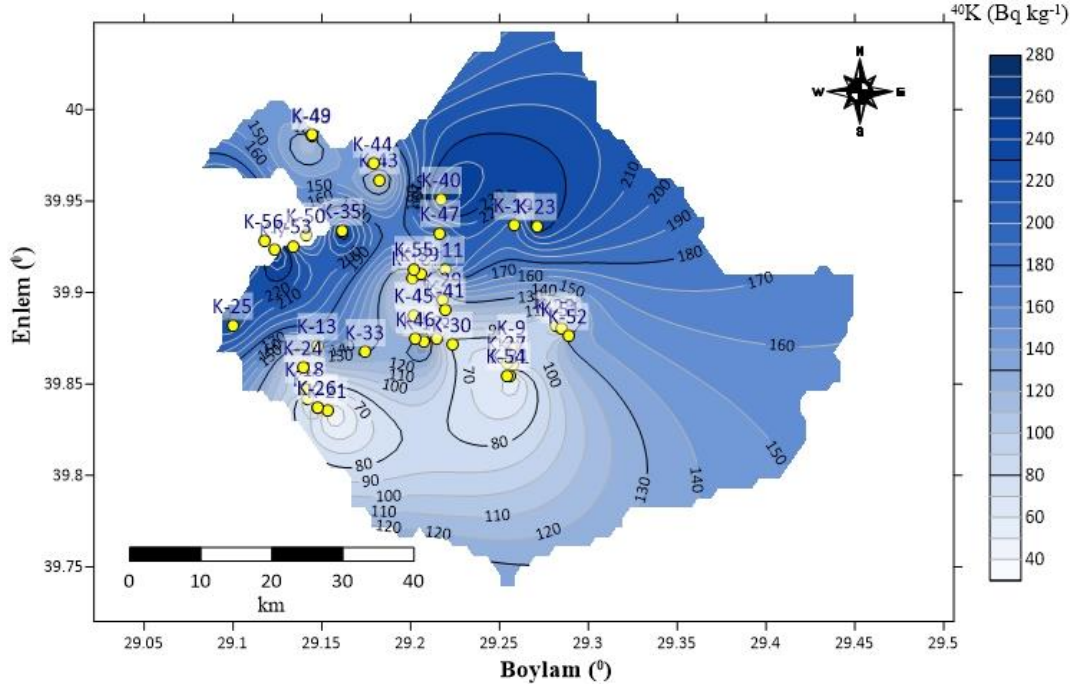
Yapılan çalışmada toprak örneklerinde tespit edilen ortalama ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları, Türkiye ve Dünya genelindeki ortalama değerlerin altında olduğu görülmüştür.



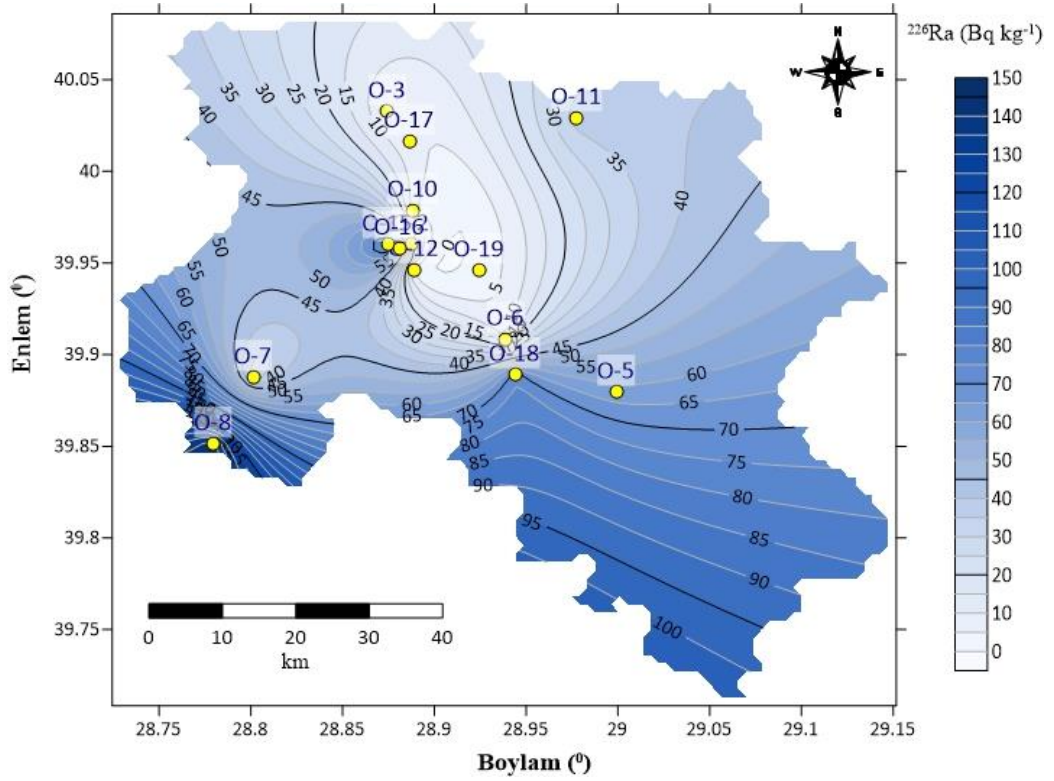
Şekil 4.1. Keleş ilçesi, çalışma bölgesindeki ^{226}Ra spesifik aktivite dağılımı.



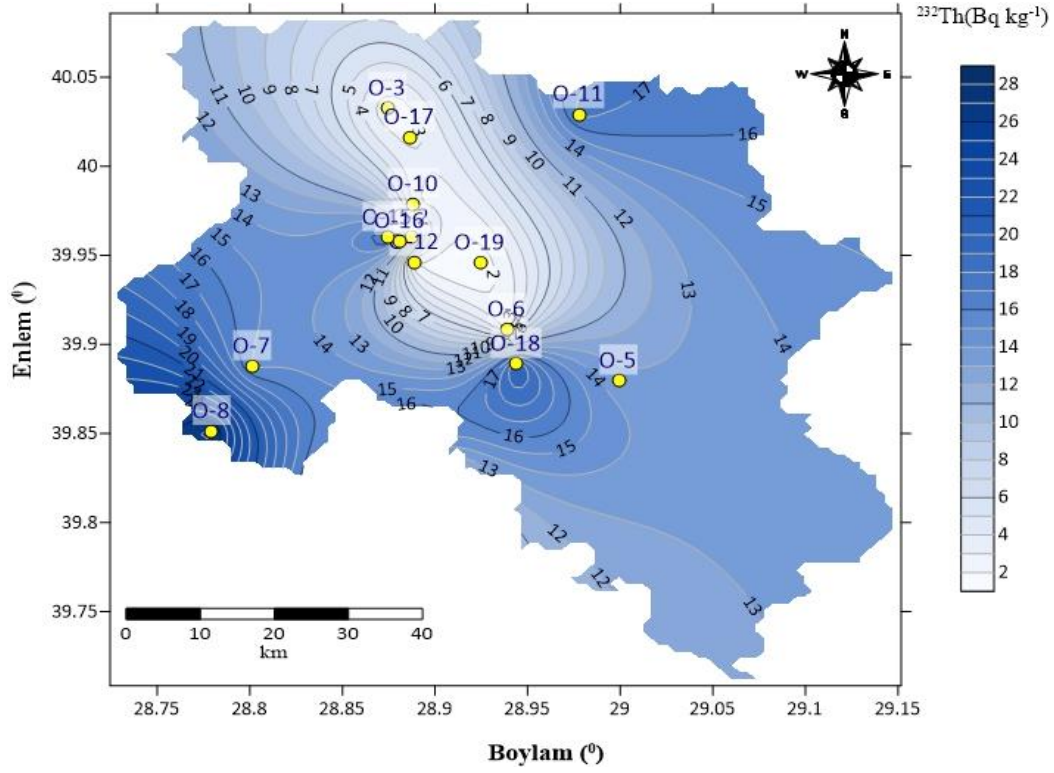
Şekil 4.2. Keleş ilçesi, çalışma bölgesindeki ^{232}Th spesifik aktivite dağılımı.



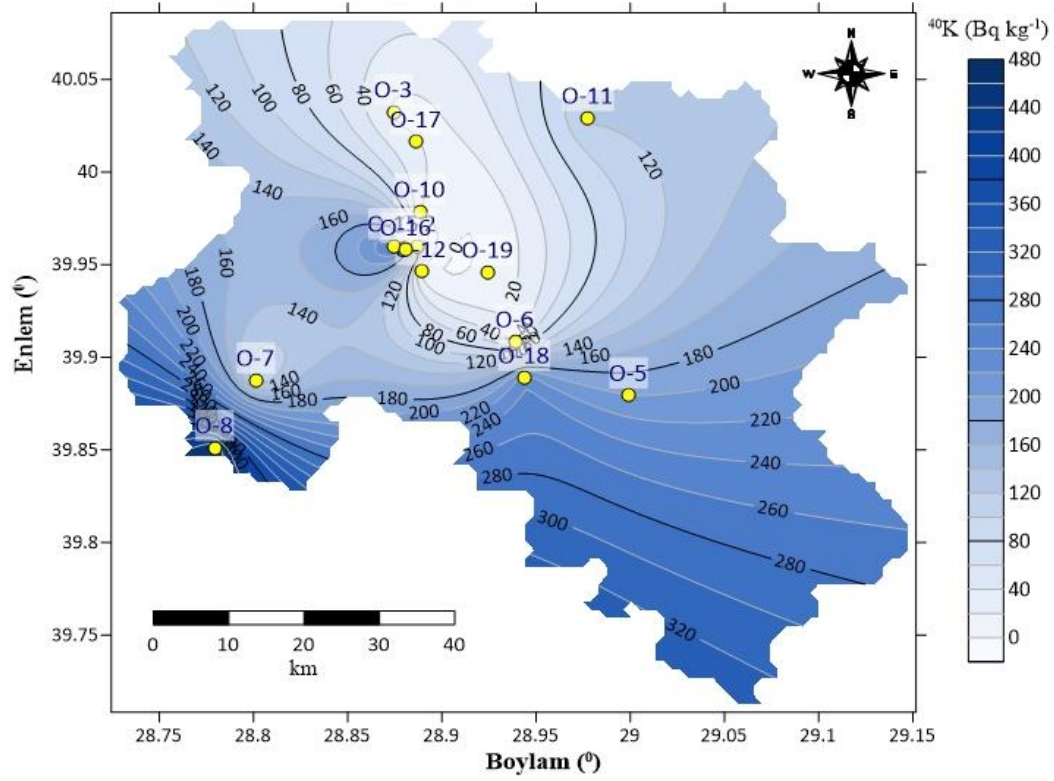
Şekil 4.3. Keleş ilçesi, çalışma bölgesindeki ^{40}K spesifik aktivite dağılımı.



Şekil 4.4. Orhaneli ilçesi, çalışma bölgesindeki ^{226}Ra spesifik aktivite dağılımı.



Şekil 4.5. Orhaneli ilçesi, çalışma bölgesindeki ^{232}Th spesifik aktivite dağılımı.



Şekil 4.6. Orhaneli ilçesi, çalışma bölgesindeki ^{40}K spesifik aktivite dağılımı.

^{232}Th ve onun bozunum ürünlerinin fosfat gübrelerindeki radyoaktivite katkısı çok düşüktür, ancak bu gübreler doğal ^{40}K radyonüklidlerinin büyük miktarlarını içerir. Bu sebeple, fosfat gübreleri kullanılan topraklarda radyoaktivite seviyesinin artabileceği belirtilmektedir [77]. Bu veriler göz önüne alındığında, istasyonlar arasındaki ^{40}K aktivite konsantrasyonlarındaki önemli farklılıkların temel nedeninin gübreleme olduğu söylenebilir [78].

Toprağın doğal radyoaktivite düzeyi birçok faktörden etkilenir, örneğin toprak tipi, jeolojik yapısı ve coğrafyası gibi. Granitler genellikle yüksek radyum içeriğine sahipken, diğer yandan tortul ve metamorfik kayalar orta düzey radyum içeriğine sahiptir. Buna karşılık, bazaltlar ve çoğu kireç taşı düşük radyum içeriğine sahip olma eğilimindedirler [2].

Sonuçların incelenmesi için, Orhaneli ve Keleş ilçelerinin farklı noktalarından toplanan toprak örneklerindeki doğal radyonüklidlerin ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K için ölçülen aktivite konsantrasyonları aşağıdaki tablolarda istatistiksel olarak analiz edilmiştir.

Tablo 4.1. Keleş ilçesinin topraklarında ölçülen radyonüklidlerin istatistiksel olarak değerlendirilmesi.

İstatistikler	Aktivite (Bqkg ⁻¹)			Konsantrasyonları				Radyolojik Tehlike İndeksi			
	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	Ra_{eq} (Bqkg ⁻¹)	D (nGyh ⁻¹)	AED (μSvy^{-1})	H_{ex}				
Minimum	10,03	2,97	32,57	7,04	3,28	0,004	0,01				
Maksimum	85,16	51,44	275,55	71,10	30,36	0,03	0,19				
Ortalama	46,02	13,72	149,06	33,33	15,54	0,01	0,09				
SD	20,7	6,91	67,13	12,27	5,64	0,006	0,03				
GM	40,82	12,42	132,14	30,86	14,39	0,01	0,08				
Medyan	46,48	13,18	151,80	33,11	15,51	0,01	0,08				
Skewness	0,20	3,08	0,20	0,42	0,23	0,23	0,42				
Kurtosis	-0,9	-0,9	-0,93	0,68	0,01	0,01	0,68				

Tablo 4.2. Orhaneli ilçesinin topraklarında ölçülen doğal radyonüklidlerin istatistiksel olarak değerlendirilmesi.

İstatistikler	Aktivite (Bqkg ⁻¹)			Konsantrasyonları				Radyolojik Tehlike İndeksi			
	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K	R _a eq (Bqkg ⁻¹)	D (nGyh ⁻¹)	AED (μSvy ⁻¹)	H _{ex}				
Minimum	2,57	1,30	8,13	-	-	-	-				
Maksimum	143,4	27,44	458	91,97	43,78	0,05	0,24				
Ortalama	37,35	9,18	119,76	25,12	11,82	0,01	0,06				
SD	39,12	7,77	125,15	24,11	11,44	0,01	0,06				
GM	18,26	5,96	58,46	-	-	-	-				
Medyan	22,29	6,81	71,91	16,84	7,84	0,009	0,04				
Skewness	1,16	0,70	1,15	1,18	1,19	1,19	1,18				
Kurtosis	0,89	-0,56	0,86	1,10	1,18	1,18	1,10				

Toprak örneklerinin radyolojik özelliklerinin analizi için, Skewness ve Kurtosis parametreleri de hesaplanmış ve bu sonuçlar Tablo 4.2.'de sunulmuştur. Toplanan örneklerde ²²⁶Ra ve ⁴⁰K aktivite konsantrasyonlarının Kurtosis katsayısı, dağılımların sivri pikli olduğunu göstermektedir. Ek olarak, pozitif Skewness değeri örneklerin dağılımında sağa doğru uzanan bir eğilim olduğunu gösterir [76].

Orhaneli ve Keleş ilçelerinden toplanan toprak örneklerindeki ölçülen aktivite konsantrasyonları, soğrulan gama doz oranları ve yıllık etkin doz değerleri, benzer çalışmalarda rapor edilen verilerle karşılaştırılmak üzere Türkiye ve Dünya'nın farklı bölgelerinden elde edilen verilerle Tablo 4.3'de sunulmuştur.

Tablo 4.3. Toprak örneklerinde ölçülen ortalama aktivite konsantrasyonları, söğrulan gama doz oranları ve yıllık etkin doz eşdeğerlerinin Türkiye ve Dünya’da yürütölen diğör çalışmalarda elde edilen veriler ile karşılaştırması.

Çalışma	Bölge-Ölke	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K	D	AED
		(Bqkg ⁻¹)	(Bqk g ⁻¹)	(Bqkg ⁻¹)	(nGyh ⁻¹)	(µSvy ⁻¹)
Küçükönder ve ark, 2023 [4]	Kahramanmaraş-Türkiye	11,50-1,1	4,50-0,4	62,20-1,6	-	-
Hafizoğlu N., 2023 [5]	Karadeniz Bölgesi-Türkiye	24,75-125,41	16,55-5,49	340,91-663,92	-	-
Akkurt ve ark, 2023 [6]	Çekmeköy-İstanbul-Türkiye	29	28	449	-	-
Tabar ve ark., 2017 [75]	Sakarya-Türkiye	23,2	21,0	371	30,93	37,93
Ağar ve ark., 2014 [69]	Karaman- Türkiye	28,3	21,6	342,4	42,3	51,82
Saleh and Shayeb., 2014 [72]	Ma’An-Ördün	44,9	18,1	138,1	37,2	45,59
Rajeshwari ve ark., 2014 [73]	Bidar-Macaristan	26,1	29,0	142,32	34,5	42,27
Uğur ve ark., 2013 [67]	Osmaniye-Türkiye	10,4	12,2	639,7	22,4	30
Akkaya ve ark, 2012 [81]	Bursa- Türkiye	25,3	26,3	435,44	-	-
Otansev ve ark., 2012 [63]	Kayseri- Türkiye	35,5	37,3	429,7	14,4	140,34
Yalçın ve ark., 2012 [68]	Erzincan- Türkiye	8,93	1,4	281,9	22,8	27,90
Ravisankar ve ark., 2012 [71]	Nadu-Hindistan	19,2	48,6	1146,7	88,6	106
Tufan and Bostancı, 2012 [66]	Samsun- Türkiye	19	22	521	45	55
Rahman ve ark., 2011 [62]	Punjab-Pakistan	55,9	50,9	547	85,5	100
Baldık ve ark., 2011 [70]	Karabük-Türkiye	21	23,5	363,5	39	47,9
Canbaz ve ark, 2010 [79]	Türkiye	94-637	120-601	1074-1527	-	-

Tablo 4.3. (Devamı) Toprak örneklerinde ölçülen ortalama aktivite konsantrasyonları, soğrulan gama doz oranları ve yıllık etkin doz eşdeğerlerinin Türkiye ve Dünya’da yürütölen diğör çalışmalarda elde edilen veriler ile karşılaştırması.

Çalışma	Bölge-Ölke	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K	D	AED
		(Bqkg ⁻¹)	(Bqkg ⁻¹)	(Bqkg ⁻¹)	(nGyh ⁻¹)	(μSvy ⁻¹)
Yaprak ve ark, 2010 [80]	Batı Anadolu	7-84	10-48	100-864	-	-
Taşkın ve ark., 2009 [65]	Kırkıareli-Türkiye	28	40	667	71	87
şahin ve Cavaş, 2008 [64]	Kütahya-Türkiye	33	32	255	46	57
Jankovic ve ark., 2008 [74]	Sırbistan	64	41	536	69	0,85
TAEK [3]	Türkiye Ortalaması	27,56	32,65	439,93	-	-
UNSCEAR [2]	Dünya Ortalaması	35	30	400	59	70
	Keleş İlçesi-Bursa Turkey	46,02	13,72	149,06	15,54	0,01
Mevcut Çalışma	Orhaneli İlçesi-Bursa Turkey	37,35	9,18	119,76	11,82	0,01

5. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması, Bursa ilinin, Orhaneli ve Keleş ilçelerindeki toprakların doğal radyoaktivite düzeylerini belirleyerek, radyolojik risklerin değerlendirilmesine yönelik gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın 3. Bölümünde, Orhaneli ve Keleş ilçelerinin farklı noktalarından toplanan toprak örneklerindeki doğal radyoaktivite düzeylerini belirlemek için, ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklid aktivite konsantrasyonları gama spektrometresi yöntemi kullanılarak ölçülmüştür. NaI(Tl) gama dedektör sisteminin enerji ve verim kalibrasyonlarını gerçekleştirmek için çeşitli referans kaynakları kullandık. IAEA'dan elde edilen RGTh, RGU ve RGK kaynakları için sıyırma oranları ve duyarlılık faktörlerini belirledik. Ayrıca, standart kaynakların aktivitelerini en doğru şekilde belirleyebilmek için iki farklı ölçüm yöntemini kullanarak bir yanıt bulmaya çalıştık. 4. Bölümde, doğru sonuçlar veren yöntemi kullanarak Keleş ve Orhaneli ilçelerinden toplanan 78 adet toprak örneğinde ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklid aktivite konsantrasyonlarının farklı seviyelerde olduğu bulunmuştur. Farklı jeolojik formasyonların örnekler arasında farklılık gösteren sonuçlara neden olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, bölgede yapılan tarımsal faaliyetlerine gübre kullanım ve bölgede meydana gelen taşkınlar gibi faktörlerin de ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarındaki değişimlerde rol oynayabileceği düşünülmektedir. Sonuçlar ulusal ve uluslararası radyasyondan korunma kuruluşları tarafından önerilen limit değerlerinin altında elde edilmiştir.

Bu tez çalışmasında, Bursa'nın zengin linyit yatakları ile dikkat çeken Orhaneli ve Keleş ilçelerinden toplanan toprak örneklerindeki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K doğal radyonüklid aktivite konsantrasyonları NaI(Tl) gama spektrometresi yöntemiyle ölçülmüş ve radyolojik risk endeksleri hesaplanmıştır. ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K doğal radyonüklidlerin ortalama aktivite konsantrasyonları Keleş ilçesi için sırasıyla $2,42 \text{ Bqkg}^{-1}$, $13,58 \text{ Bqkg}^{-1}$ ve $149,00 \text{ Bqkg}^{-1}$ olarak bulunurken, Orhaneli ilçesi için ise aktivite konsantrasyonları sırasıyla $4,10 \text{ Bqkg}^{-1}$, $9,03 \text{ Bqkg}^{-1}$ ve $119,916 \text{ Bqkg}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar radyolojik risk açısından değerlendirildiğinde soğurulan gama doz oranı (D), yıllık etkin doz eşdeğeri (AED), radyum eşdeğer

aktivitesi (R_{eq}) ve dış tehlike indeksi (H_{ex}) için ortalama değerlerin Keleş ilçesi için sırasıyla $15,54 \text{ nGyh}^{-1}$, $0,01 \text{ }\mu\text{Svy}^{-1}$, $33,33 \text{ Bqkg}^{-1}$ ve $0,09$ olduğu gözlenirken bu ortalama değerler Orhaneli ilçesi için sırasıyla $11,82 \text{ nGyh}^{-1}$, $0,01 \text{ }\mu\text{Svy}^{-1}$, $25,12 \text{ Bqkg}^{-1}$ ve $0,06$ olarak bulunmuştur. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar ulusal ve uluslararası kuruluşlar tarafından önerilen limit değerlerle karşılaştırıldığında, çalışılan bölge topraklarının radyoaktivite açısından güvenli olduğu ve herhangi bir radyolojik tehlike oluşturmadığı görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] Binesh A., Arabshahim H. and Pourhabib Z. (2011). Radioactivity and dose assessment of heavy radioactive pollution, radon and radium from water source of northern regions in Iran, *International journal of the Physical Science*, Vol. 6, No. 35, P. 7969-7977.
- [2] UNSCEAR, 2000. *Sources and Effects of Ionizing Radiation, Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly*. United Nations, New York, NY, USA.
- [3] TAEK, 2013. Türkiye Çevresel Radyoaktivite Atlası, *Türkiye Atom Enerjisi Kurumu*, Ankara.
- [4] Küçükönder E., Gümbür S., Söğüt Ö., ve Doğru M. (2023). Natural radioactivity in soil samples taken from Kahramanmaraş provincial center, Turkey. *Environ Geochem Health*. <https://doi.org/10.1007/s10653-023-01577-w>.
- [5] Hafizoğlu N. (2023). Radioactivity transfer factors and distribution of the natural and anthropogenic radionuclides in tea, plant and soil samples from the Black Sea Region in Turkey. *The European Physical Journal Plus*, 138:353.
- [6] Akkurt I., Gunoglu K., Gunay O., ve Sarihan M. (2022). Natural radioactivity and radiological damage parameters for soil samples from Cekmekoy-Istanbul, Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, 15: 53.
- [7] Celik, I. C., & Kosal, M. (2019). Assessment of Environmental Radioactivity and Health Hazard in Soil, Water, and Stone Samples in Siverek Town of Sanliurfa Soil, Water, and Stone Samples in Siverek Town of Sanliurfa Province in Southeastern Turkey Province in Southeastern Turkey. *Procedia Computer Science*, 158, 125–134.
- [8] Yigitoglu, I., Eser, E., Cetin, B., Kilicaslan, S., Oner, F., Akkurt, I., Gursoy, G., Yamcicier, S., & Koç, H. (2018). Determination of natural radioactivity levels in soil and travertine of the region of Tokat and Sivas, Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, 11:128.
- [9] Tabar, E., Yakut, H., Sac, M. M., Taşköprü, C., & Kuş, A. (2017). Natural radioactivity levels and related risk assessment in soil samples from Sakarya , Turkey. *Journal of Radioanalytical Nuclear Chemistry*, 313:249–259, 249–259.
- [10] Sahin, L., Hafizoğlu, N., Çetinkaya, H., Manisa, K., & Biçer, A. (2017). Assessment of radiological hazard parameters due to natural radioactivity in soils from granite- rich regions in Kütahya Province , Turkey. *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 53, 216–217.

- [11] Bolat, B., Öner, F., & Çetin, B. (2017). Assessments of Natural Radioactivity Concentration and Radiological Hazard Indices in Surface Soils from the Gözlek Thermal SPA (Amasya – Turkey). *ACTA PHYSICA POLONICA A*, 132(3), 1200–1202.
- [12] Kurnaz, A., Özcan, M., & Çetiner, M. A. (2017). Distribution of natural radionuclides in soils and beach sands of Abana-Çatalzeytin (Kastamonu) Distribution of Natural Radionuclides in Soils and Beach Sands of Abana-Çatalzeytin (Kastamonu). *AIP Conference Proceedings* 1722, 130002.
- [13] Zaim, N., & Atlas, H. (2016). Assessment of radioactivity levels and radiation hazards using gamma spectrometry in soil samples of Edirne, Turkey. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 310(3), 959–967.
- [14] Altıkulaç, A., Turhan, Ş., & Gümüş, H. (2016). Activity concentration of terrestrial and anthropogenic radionuclides (^{226}Ra , ^{222}Rn , ^{232}Th , ^{40}K , and ^{137}Cs) in soil samples. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 1–8.
- [15] Agar, O., Eke, C., Boztosun, I., & Korkmaz, M. E. (2015). Determination of naturally occurring radionuclides in soil samples of Ayrancı , Turkey Determination of naturally occurring radionuclides in soil samples of Ayrancı , Turkey. *Journal of Physics: Conference Series* 590, 012042, 6–10.
- [16] Yıldız, N., Oto, B., Turhan, Ş., Uğur, F. A., & Gören, E. (2014). Radionuclide determination and radioactivity evaluation of surface soil samples collected along the Erçek Lake basin in eastern Anatolia, Turkey. *Journal of Geochemical Exploration Journal*, 146, 34–39.
- [17] Baldık R., AYTEKİN H., ERER M. (2011). Radioactivity measurements and radiation dose assessment due to natural radiation in Karabük (Turkey). *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 289: 297-302.
- [18] Karadeniz Ö., YAPRAK G. (2011). Activity concentrations of natural radionuclides ^{137}Cs in soils of coniferous forest sites in West Anatolia. *Eur. Journal of Forest Res.*, 130: 271-276.
- [19] Kurnaz A. (2013). Background radiation measurements and cancer risk estimates for Şebinkarahisar, Turkey. *Radiation Protection Dosimetry*, 1-10.
- [20] Aközcan S., Yılmaz M., KÜLAHÇI F. (2014). Dose rates and seasonal variations of ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{40}K and ^{137}Cs radionuclides in soils along Thrace, Turkey. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 299: 95-101.
- [21] Mutuk H., Gümüş H., Turhan Ş. (2014). Measurement of the terrestrial and anthropogenic radionuclide concentrations in Bafra Kızılırmak delta (bird sanctuary) in Turkey. *Radiation Protection Dosimetry*, 158(3): 350-354.
- [22] Günay, O., Saç, M. M., İçhedef, M., & Taşköprü, C. (2019). Natural radioactivity analysis of soil samples from Ganos fault (GF). *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16(9), 5055–5058.
- [23] Baykara O., Doğru M. (2006). Measurements of radon and uranium concentration in water and soil samples from East Anatolian Active Faults systems (Turkey). *Radiation Measurements*, 41: 362-367.

- [24] Baykara O., Doğru M. (2009). Determination of terrestrial gama, ^{238}U , ^{232}Th and ^{40}K in soil along fracture zones. *Radiation Measurements*, 44: 116-121.
- [25] Sundar B.S., Chitra N., Vijayalakshmi I., Danalakshmi B., Chandrasekaran S., Jose M.T., Venkatraman B. (2015). Soil radioactivity measurements and estimation of radon/thoron exhalation rate in soil samples from Kalpakkam residential complex. *Radiation Protection Dosimetry*, 164(4): 569-574.
- [26] Gusain G.S., Prasad G., Prasad Y., Ramola R.C. (2009). Comparison of indoor radon level with radon exhalation rate from soil in Garhwal Himalaya. *Radiation Measurements*, 44: 1032-1035.
- [27] Jagadeesha, B. G., & Narayana, Y. (2018). Natural radionuclide concentration in Hassan district of South India. *Radiation Protection and Environment*, 37–41.
- [28] Ugbede, F.O. & Osahon, O.D. (2021). Gamma spectrometric measurement of natural radionuclides and associated radiation hazards in soil of small - scale paddy farms along Enugu - Abakaliki express way, Southeastern Nigeria. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 328(2), 551–562.
- [29] Tawfic, A.F., Zakaly, H.M.H., Awad, H.A., Tantawy, H.R., & Abbasi, A. (2021). Natural radioactivity levels and radiological implications in the high natural radiation area of Wadi El Reddah, Egypt. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 327(2), 643-652.
- [30] Kadhim, T.M., Alkufi, A.A., Alhous, S.F. (2020). Measurement of the natural radiological activity of soil samples of some general education schools in Al-Qadisiyah Governorate. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 928 (2020) 072026.
- [31] Serway R. A., Beichner R. J. (2011). Radyoaktiflik, Editör: Çolakoğlu K., *Fizik* 3, 5 th ed., Palme Yayıncılık, Ankara, 1450-1451.
- [32] Yülek, G.G. (1992). “Radyasyon Fiziği (İyonlayıcı ve İyonlayıcı olmayan) ve Radyasyondan Koruma”, SEK Yayınları: 14, Ankara.
- [33] Martin, A. and Harbison, S. (2006). An Introduction to Radiation Protection, Hodder Arnold an Hachette UK Company, 5 th ed.
- [34] Nor, M., E. and Maguire JR, G. Q. (2007). *Radiation Protection in The Health Sciences*, 2 nd ed., World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore 596224.
- [35] Knoll G. F. (2010). *Radiation Detection and Measurement*, 4 th edi., John Wiley & Sons, New York.
- [36] Albayrak, N. (2011). *Kırıkkale’de Doğal Radyasyon Kaynaklarının Belirlenmesi ve Gama Doz Oranlarının Değerlendirilmesi*, [Yüksek Lisans Tezi], İstanbul Üniversitesi.
- [37] Tsoulfanidis N. (1995). *Measurement and Detection of Radiation*, 2 nd edi., Taylor & Francis, United States of America, 542-546.
- [38] Özer Y. (2019). *Bursa’daki Orhaneli Termik Santrali Çevresindeki Sularda Radon Seviyesinin ve Yıllık Dozların Belirlenmesi*, [Yüksek Lisans Tezi], Sakarya Üniversitesi.

- [39] Keser R., Korkmaz Görür F., Alp İ., Okunmuşoğlu N. T. (2013). Determination of Radioactivity Levels and Hazards of Sediment and Rock Samples in İkizdere and Kaptanpaşa Valley Turkey, *International Journal of Radiation Research*, **11**(3), 155-165.
- [40] Mason B., Moore C. B. (1982). *Principles of Geochemistry*, 4 th ed., John Wiley&Sons, New York.
- [41] UNSCEAR, Sources and Effects of Ionizing Radiation, *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly with Scientific Annexes*, Volume I: Sources.
- [42] Uosif M. A. M., Issa S. A. M., Abd El-Salam L. M. (2015). Measurement of Natural Radioactivity in Granites and its Quartz-Bearing Gold at El-Fawakhir Area, *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, DOI: 10.1016/j.jrras.
- [43] Akkurt I., Günoğlu K., Natural Radioactivity Measurements and Radiation Dose Estimation in Some Sedimentary Rock Samples in Turkey, *Science and Technology of Natural Installations*, DOI: 10.1155/2014/950978.
- [44] Wikipedia (2023, 21 Şubat). Isotops. <https://en.wikipedia.org/wiki/Thorium-232> adresinden 5 Mayıs 2023 tarihinde alınmıştır.
- [45] Taşköprü C. (2014). *Küçük Menderes havzası topraklarında radon difüzyon katsayılarının belirlenmesi*, [Yüksek Lisans Tezi], Ege Üniversitesi.
- [46] Akkurt A. (2011). *Afyon jeotermal sularında radon (Rn-222) aktivitesi tayini*, [Yüksek Lisans Tezi], Afyon Kocatepe Üniversitesi.
- [47] Aras G. (2011). Kastamonu merkezdeki okul binalarında havadaki radon aktivitesinin ölçülmesi, [Yüksek Lisans Tezi], Kastamonu Üniversitesi.
- [48] [TAEK], (2014). *Konutlarda Radon Ölçümleri, Teknik Rapor*, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu.
- [49] Avcı D. (2019). *Ankara, Çankırı, Çorum, Kastamounu, Kırıkkale, Samsun, Sinop ve Tokat İlerinden Alınan Kayaç Örneklerinin Radyoaktivite Seviyelerinin Belirlenmesi*, [Yüksek Lisans Tezi], Kocaeli Üniversitesi.
- [50] Türkddoğan S. (2017). *Kastamonu- İnebolu ilçesinin doğal radyasyon seviyesinin belirlenmesi*, [Yüksek Lisans Tezi], Kastamonu Üniversitesi.
- [51] AFAD (2022). Radyasyon Dozları ve Etkileri. <https://www.afad.gov.tr/kbrn/radyasyon-dozlari-ve-etkileri> adresinden 25 Haziran 2023 tarihinde alınmıştır.
- [52] Kızılkaya S. (2019). *Sakarya İli Toprak Örneklerinde 238U, 232Th ve 40K Radyoaktivite Konsantrasyonlarının Belirlenmesi*, [Yüksek Lisans Tezi], Sakarya Üniversitesi.
- [53] Özer Y. (2019). *Bursa'daki Orhanlei Termik Santrali Çevresindeki Sularda Radon Seviyesinin ve Yıllık Etkin Dozların Belirlenmesi*, [Yüksek Lisans Tezi], Sakarya Üniversitesi.
- [54] Yaprak G. (2006). Batı Anadolu'daki Termik Santraller Çevresindeki Doğal Radyonüklid Emisyonundan Kaynaklanan Radyoaktif Kirliliğin İncelenmesi ve Radyolojik Risk Tahmini, *TÜBİTAK (Proje No: 103Y057)*.

- [55] Yaprak, G. (1995). *Radyoaktif Mineral İçeren Örneklerin Gama Spektroskopik Analizlerde Matris Etkisi ve Self Aborsorbsiyon için Bir Düzeltme Yönteminin Geliştirilmesi*, [Doktora Tezi], Ege Üniversitesi.
- [56] [TAEK], (2003). *Guidelines for radioelement mapping using gamma ray spectrometry data*, IAEA-TECDOC-1363, Vienna, Austria.
- [57] IAEA (2023). Reference sheets.
<https://nucleus.iaea.org/sites/ReferenceMaterials/Pages/IAEA-RGU-1.aspx>.
adresinden 25 Haziran 2023 tarihinde alınmıştır.
- [58] Fadıl İ. (2010). *Alaşehir çevresinde KB-GD ve D-B uzanlı graben faylarında depremle ilişkili radon anomalilerinin tanımlanması*, [Yüksek Lisans Tezi], Ege Üniversitesi.
- [59] Beretka J., Matthew P.J. (1985). Natural radioactivity of Australian building materials, industrial wastes and by-products. *Health Phys.*, 48(1): 87-95.
- [60] Krieger R. (1981). *Radioactivity of construction materials*. Betonw. Fertig. Tech., 47: 468-473.
- [61] Grasty, R.L. (1977). *A General Calibration Procedure for Gamma-ray Spectrometers*, Project, 720084; in Report of Activities, part C; Geol. Survey of Canada, Paper 77-1C.
- [62] Rahman S.U., Matiullah, Malik F., Rafique M., Anwar J., Ziafat M., Jabbar A. (2011). Measurement of naturally occurring/fallout radioactive elements and assessment of annual effective dose in soil samples collected from four districts of the Punjab province, Pakistan. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 287: 647-655.
- [63] Otansev P., Karahan G., Kam E., Barut I., Taskin H. (2012). Assessment of natural radioactivity concentrations and gamma dose rate levels in Kayseri, Turkey. *Radiation Protection Dosimetry*, 148(2): 227-236.
- [64] Sahin L., Cavas M. (2008). Natural radioactivity measurements in soil samples of central Kutahya (Turkey). *Radiation Protection Dosimetry*, 131(4): 526-530.
- [65] Taskin H., Karavus M., Ay P., Topuzoglu A., Hidiroglu S., Karahan G. (2009). Radionuclide concentrations in soil and lifetime cancer risk due to gama radioactivity in Kırklareli, Turkey. *Journal of Environmental Radioactivity*, 100: 49-53.
- [66] Tufan M.Ç., Bostancı S. (2012). Radioactivity concentrations in soil and dose assessment for Samsun city centre, Turkey. *Radiation Protection Dosimetry*, 151(3): 532-536.
- [67] Ugur F.A., Turhan S., Goren E., Gezer F., Yegingil Z., Sahan H., Sahan M., Tel E., Karahan G. (2013). A survey of distribution of terrestrial radionuclides in surface soil samples in and around the Osmaniye province, Turkey. *Radiation Protection Dosimetry*, 154(4): 483-489.

- [68] Yalcin P., Taskin H., Kam E., Taskin H., Terzi M., Varinlioglu A., Bozkurt A., Bastug A., Tasdelen B. (2012). Investigation of radioactivity level in soil and drinking water samples collected from the city of Erzincan, Turkey. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 292: 999-1006.
- [69] Agar O., Boztosun I., Korkmaz M.E., Ozmen S.F. (2014). Measurement of radioactivity levels and assessment of radioactivity hazards of soil samples in Karaman, Turkey. *Radiation Protection Dosimetry*, 162(4): 630-637.
- [70] Baldık R., Aytakin H., Erer M. (2011). Radioactivity measurements and radiation dose assessment due to natural radiation in Karabük (Turkey). *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 289: 297-302.
- [71] Ravisankar R., Chandrasekaran A., Vijayagopal P., Venkatraman B., Senthilkumar G., Eswaran P., Rajalakshmi A. (2012). Natural radioactivity in soil samples of Yelagiri Hills, Tamil Nadu, India and the associated radiation hazards. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 81: 1789-1795.
- [72] Saleh H., Shayeb M.A. (2014). Natural radioactivity distribution of southern part of Jordan (Ma'an) soil. *Ann. Nucl. Energy*, 65: 184-189.
- [73] Rajeshwari T., Rajesh S., Kerur B.R., Anilkumar S., Krishnan N., Pant A.D. (2014). Natural radioactivity studies of Bidar soil samples using gamma spectrometry. *Journal of Radioanalytical & Nuclear Chemistry*, 300: 61-65.
- [74] Jankovic M., Todorovic D., Savanovic M. (2008). Radioactivity measurements in soil samples collected in the republic of Srpska. *Radiation Measurements*, 43: 1448-1452.
- [75] E. Tabar, H. Yakut, M. M. Saç, C. Taşköprü, M. İçhedef, A. Kuş. (2017). *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 313:249–259.
- [76] Majid A., Adam A., Ahmed M., Eltayeb H. (2012). Multivariate statistical analysis of radioactive variables in two phosphate ores from Sudan. *Journal of Environmental Radioactivity*, 107: 23-43.
- [77] Camelo G.L.L., Miguez S.R., Marbán L. (1997). Heavy metals input with phosphate fertilizers used in Argentina. *Sci. Total. Environ.*, 204(3):245-50.
- [78] Kant K., Upadhyay S.B., Sonkawade R.G., Chakarvarti S.K. (2006). Radiological risk assessment of use of phosphate fertilizers in soils, Iran. *Journal of Radiation Research*, 4(2): 63-70.
- [79] Canbaz B. (2010). Natural Radioactivity (^{226}Ra , ^{232}Th AND ^{40}K) and Assessment of Radiological Hazards in the Kestanbol Granitoid, Turkey. *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 141, No. 2, pp. 192-198.
- [80] G. Yaprak and M. Aslani. (2010). External dose-rates for natural gamma emitters in soils from an agricultural land in West Anatolia, *Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, Vol. 283, No. 2, pp. 279–287.
- [81] G. Akkaya, G. Kaynak, A. Kahraman ve Ö. Gurler. (2012). The Investigation of Radionuclide Distributions in Soil Samples Collected From Bursa, Turkey. *Radiation Protection Dosimetry*, pp. 1–8.

EKLER

Ek A.1. Keleş İlçesinin Sonuçları ve Koordinatları

Kod	Alındığı Mevki	Koordinatlar		Spesifik Aktivite		
		Enlem	Boylam	C(Th) Bq kg ⁻¹	C(U) Bq kg ⁻¹	C(K) Bq kg ⁻¹
K-1	KÜÇÜKDELİLLER KÖYÜ	39.9020	29.0740	20.60	69.40	225.23
K-2	KÜÇÜKDELİLLER KÖYÜ	39.9423	29.0534	10.72	43.59	140.86
K-3	KÜÇÜKDELİLLER KÖYÜ	39.8987	29.0217	16.03	59.21	191.62
K-4	GÖKBUDAKLAR	39.9377	29.1010	16.79	85.10	274.43
K-5	GÖKBUDAKLAR	39.8418	29.1421	5.66	16.05	51.09
K-6	DELİCE KÖYÜ	39.8749	29.2146	11.03	28.83	93.46
K-7	DELİCE KÖYÜ	39.9232	29.1231	25.91	83.36	270.35
K-8	GÖKÖZ	39.8608	29.2573	8.48	35.21	114.19
K-9	GÖKÖZ	39.8701	29.2570	10.97	28.43	82.92
K-10	BIYIKALANI	39.9078	29.2006	9.78	23.27	75.42
K-11	BIYIKALANI	39.9126	29.2191	12.44	70.05	225.89
K-12	BIYIKALANI	39.8729	29.2072	12.57	55.84	181.25
K-13	ŞEHİR MRK YAKINI	39.8708	29.1476	13.70	52.29	168.27
K-14	KİRAZLI MH	39.8369	29.1480	12.17	31.67	102.71
K-15	KİRAZLI MH	39.9382	29.0736	17.41	72.53	234.35
K-16	KİRAZLI MH	39.9283	29.0998	20.49	85.17	275.18
K-17	ALPAGUT	39.8987	29.0680	21.51	72.04	233.76
K-18	ALPAGUT	39.8473	29.1406	10.91	36.76	117.69
K-19	UZUN ÖZ MH	39.9368	29.2582	11.32	60.28	194.71
K-20	UZUN ÖZ MH	39.9274	29.1014	14.44	49.54	160.30
K-22	AŞAĞI 8KM	39.9327	29.1110	17.79	52.19	169.78
K-23	AŞAĞI 8KM	39.9362	29.2709	16.48	74.52	240.70
K-24	AŞAĞI 8KM	39.8588	29.1397	5.78	17.20	55.71
K-25	AŞAĞI 8KM	39.8819	29.1000	18.53	71.05	229.72
K-26	10 KM GİRİŞ	39.8371	29.1474	9.58	23.70	77.03
K-27	10 KM GİRİŞ	39.8616	29.2542	7.38	16.62	50.11
K-28	10 KM GİRİŞ	39.8819	29.2817	12.00	26.43	85.49
K-29	10 KM GİRİŞ	39.8964	29.2181	11.87	32.82	106.50
K-30	SOL 4 KM	39.8715	29.2234	14.88	23.01	75.97

EK A.1. (Devamı) Keleş İlçesinin Sonuçları ve Koordinatları

Kod	Alındığı Mevki	Koordinatlar		Spesifik Aktivite		
		Enlem	Boylam	C(Th) Bq kg ⁻¹	C(U) Bq kg ⁻¹	C(K) Bq kg ⁻¹
K-31	SOL 4 KM	39.8544	29.2562	4.91	10.42	33.67
K-32	SOL 4 KM	39.7201	29.1706	16.51	61.22	197.88
K-33	SOL 4 KM	39.8674	29.1745	16.43	40.84	132.55
K-34	SOL 6 KM	39.9299	29.5057	12.42	49.25	159.45
K-35	SOL 6 KM	39.9337	29.1616	15.04	76.12	245.70
K-36	SOL 6 KM	40.0064	29.1882	13.96	52.61	170.68
K-37	SOL 6 KM	40.0059	29.1878	14.86	66.36	214.72
K-38	FİROZ MEVKİ	40.0067	29.1865	11.20	30.33	97.95
K-39	FİROZ MEVKİ	39.9101	29.2054	13.26	39.02	125.24
K-40	FİROZ MEVKİ	39.9507	29.2174	15.26	82.05	265.24
K-41	KARESİ BÖLGESİ	39.8903	29.2196	15.48	36.76	118.01
K-43	DAĞGÜNEY BÖLGESİ	39.9616	29.1824	6.96	29.02	93.52
K-44	SOL 10 KM	39.9705	29.1788	6.46	47.19	152.30
K-45	SOL 10 KM	39.8876	29.2021	9.28	31.51	101.20
K-46	SOL 10 KM	39.8746	29.2029	16.12	37.62	122.75
K-47	AŞAĞI 6 KM	39.9324	29.2166	13.19	57.53	184.73
K-48	AŞAĞI 6 KM	39.9855	29.1442	6.30	31.06	100.55
K-49	BELENÖREN MEVKİ	39.9861	29.1445	13.82	52.38	169.44
K-50	AŞAĞI 8 KM	39.9311	29.1414	12.12	47.47	153.70
K-51	AŞAĞI 8 KM	39.8800	29.2847	51.44	19.33	71.11
K-52	AŞAĞI 8 KM	39.8762	29.2888	7.93	42.55	137.41
K-53	AŞAĞI 8 KM	39.9254	29.1337	19.19	64.21	208.81
K-54	AŞAĞI 10 KM	39.8545	29.2539	10.52	22.14	71.69
K-55	MENTEŞE	39.9128	29.2021	14.52	46.49	151.58
K-56	KOCAYAYLA	39.9282	29.1175	17.69	51.60	167.34
	Ort.			13.72	46.02	148.80

Ek A.2. Orhaneli İlçesinin Sonuçları ve Koordinatları

Kod	Alındığı Mevki	Koordinatlar		Spesifik Aktivite		
		Enlem	Boylam	C(Th) Bq kg ⁻¹	C(U) Bq kg ⁻¹	C(K) Bq kg ⁻¹
O-2	GÜRÜCÜKLER KÖYÜ	39.9601	28.8873	8.72	24.44	79.55
O-5	AKALAN MEVKİ	39.8795	28.9991	13.30	61.82	199.57
O-7	ÇİVİLİ KÖYÜ	39.8876	28.8013	14.84	31.56	102.07
O-8	GEZİOLUK KÖYÜ	39.8512	28.7794	27.44	143.41	458.00
O-9	ÇAKIR YENİCE KÖYÜ	39.8428	28.8843	17.87	52.63	167.95
O-11	OSMANİYE KÖYÜ	40.0292	28.9776	17.25	37.50	122.47
O-13	DOĞAAKÇA KÖYÜ	40.0481	28.9626	15.42	80.04	250.55
O-14	DURHASAN KÖYÜ	39.8256	28.8829	2.49	100.31	322.73
O-15	SANTRAL ÇEVRESİ	39.9600	28.8745	17.54	78.93	254.96
O-16	SANTRAL ÇEVRESİ	39.9580	28.8811	13.38	61.52	198.67
O-18	SERÇELER KÖYÜ	39.8890	28.9438	20.28	73.49	235.17
	Ort.			9.19	37.35	119,76

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad :Rohullah ALEMY

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2015, Kabil Üniversitesi, Fen Bilimler Fakültesi, Fizik
- **Yükseklisans** : 2023, Sakarya Üniversitesi, Fizik, Tezli

TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER:

- H.Yakut., E. Tabar., B. Saygı., N. Demirci., R. Alemy., (2021, 1-5, Eylül). The Resolution, Energy and Efficiency Calibration for a NaI (Tl) detector. *Turkish Physical Society 37 th International Physics Congress*, Bodrum, Turkey. (Sözlü sunum)
- H.Yakut., E. Tabar., B. Saygı., N. Demirci., R. Alemy., (2022, 28 Haziran). General Calibration Procedures for the NaI (Tl) detector and Their Application to Natural Radioactivity Measurements. *NSP*. (Poster sunum)