

**T.C.**  
**KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**FİZİK ANABİLİM DALI**

**KIRKLARELİ İLİ İĞNEADA BÖLGESİ VE ÇEVRESİNDE RADYOAKTİVİTE**  
**DÜZEYİNİN BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Sema Yaprak AYDIN**

**HAZİRAN - 2020**

**T.C.  
KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
FİZİK ANABİLİM DALI**

**KIRKLARELİ İLİ İĞNEADA BÖLGESİ VE ÇEVRESİNDE RADYOAKTİVİTE  
DÜZEYİNİN BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Sema Yaprak AYDIN**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Serpil AKÖZCAN**

**Haziran – 2020**

## **ETİK BEYAN**

Kırkırelı Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez ve Proje Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında; tez içinde sunduğum bilgileri, verileri ve dokümanları, değişik sonuç verebilecek şekilde araştırma araç gereçleri kullanmadan, işlem veya kayıt sonuçlarını değiştirmeden akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Sema Yaprak AYDIN  
23/06/2020

## ÖZET

# KIRKLARELİ İLİ İĞNEADA BÖLGESİ VE ÇEVRESİNDE RADYOAKTİVİTE DÜZEYİNİN BELİRLENMESİ

Sema Yaprak AYDIN

Yüksek Lisans Tezi

Kırklareli Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Danışman: Doç. Dr. Serpil AKÖZCAN

06/2020, 51 sayfa

Bu çalışmada Kırklareli-İğneada bölgesi topraklarında doğal ( $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ ) ve yapay ( $^{137}\text{Cs}$ ) radyoaktivite seviyelerinin belirlenmesi ve radyolojik açıdan incelenmesi amaçlanmıştır. Bu sebeple Kırklareli-İğneada bölgesinde 30 farklı noktadan yaz ve kış mevsimlerinde alınan toprak örneklerinin gamma spektrometrik analizi HPGe (Yüksek Saflıkta Germanyum) dedektörü kullanılarak yapılmıştır. İncelenen topraklardaki ortalama  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  konsantrasyonları sırasıyla  $19,43 \pm 2,53$ ;  $25,05 \pm 1,26$ ;  $372,69 \pm 12,81$  ve  $6,68 \pm 0,58$  Bq  $\text{kg}^{-1}$  bulunmuştur. Ayrıca, toprak örneklerinde soğurulan gama doz oranı (D), yıllık etkin doz eşdeğeri (AEDE), radyum eşdeğer aktivitesi ( $R_{\text{eq}}$ ), dış tehlike indeksi ( $H_{\text{ex}}$ ) de hesaplanmıştır.

Bu çalışmada elde edilen tüm sonuçlar uluslararası önerilen değerlerle karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, incelenen alandaki tüm toprak örneklerinde radyonüklitlerden kaynaklanan radyasyon tehlikesinin önemli olmadığını göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** toprak, gama, radyonüklid, tehlike indeksi, Kırklareli- İğneada

## ABSTRACT

# DETERMINATION OF RADIOACTIVITY LEVEL IN REGION OF İĞNEADA OF KIRKLARELİ PROVINCE

Sema Yaprak AYDIN

MSc Thesis

Kirklareli University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Supervisor: Assoc. Prof. Serpil AKÖZCAN

06/2020, 51 pages

The aim of this study is to establish and radiologically investigate natural ( $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ ) and artificial ( $^{137}\text{Cs}$ ) radioactivity levels of the region of Kirklareli-İğneada. For this purpose, the gamma spectrometric analysis of soil samples collected from 30 different points in the Kirklareli-İğneada region during summer and winter seasons was made using the HPGe (High-Purity Germanium) detector. The average concentrations of  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  and  $^{137}\text{Cs}$  in the surveyed soils were found to be  $19,43 \pm 2,53$ ;  $25,05 \pm 1,26$ ;  $372,69 \pm 12,81$  and  $6,68 \pm 0,58$  Bq kg<sup>-1</sup>, respectively. The absorbed dose rate (D), the annual effective dose equivalent (AEDE), the radium equivalent activity (Ra<sub>eq</sub>) and the external hazard index (H<sub>ex</sub>) and for soil samples were also evaluated.

The results obtained in this study were compared with the international recommended values. The results indicate that the radiation hazard from radionuclides in all soil samples from the area studied in this work is not significant.

**Anahtar Kelimeler:** soil, gamma, radionuclid, hazard index, Kirklareli-İğneada

## TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan ve her sorunumu çözüme kavuşturan değerli danışman hocam Doç. Dr. Serpil AKÖZCAN' a teşekkür ederim.

Lisansüstü eğitimimiz boyunca değerli bilgileriyle bizlere emek veren sevgili hocalarım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ULAŞ, Sayın Dr. Öğr. Üyesi Burhan COŞKUN, Sayın Dr. Öğr. Üyesi Mümin Mehmet KOÇ, Sayın Arş. Gör. Dr. Hasibe Hale KARAYER, Sayın Arş. Gör. Dr. Berna AKGENÇ' e, destek ve yardımlarından dolayı Dr. Selin Özden'e teşekkür ederim.

Lisansüstü eğitimimiz süresince beraber paylaşım ve çalışmalar yaptığımız sevgili arkadaşlarım Havva UYAR, Serkan UYAR ve Alper ÖZDERE' ye teşekkür ederim.

Tez çalışmamın bütün aşamalarında yanımda olan sevgili dostlarım Merve ORAKÇI ve Yeliz HARI' ye teşekkür ederim. Her sorunuma çözüm üreten sevgili arkadaşım Tülay TOPTAŞ ve eşi Barış TOPTAŞ' a teşekkür ederim.

Eğitim hayatımı daima destekleyen her zaman yanımda olan sevgili annem, babam ve ağabeyime teşekkür ederim.

Bu tez çalışmamı sevgili yeğenim Tuğra AYDIN' a ithaf ediyorum.

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b> .....	<b>İV</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>V</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>VI</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>VII</b>
<b>ÇİZELGELERİN LİSTESİ</b> .....	<b>İX</b>
<b>ŞEKİLLERİN LİSTESİ</b> .....	<b>X</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR</b> .....	<b>XI</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI</b> .....	<b>3</b>
2.1. Literatür Çalışmaları.....	3
2.2. Radyasyonun Tanımı ve Çeşitleri.....	6
2.3. Radyoaktivite.....	6
2.3.1. Doğal radyoaktivite.....	7
2.3.2. Yapay radyoaktivite .....	7
2.4. Radyoaktif Bozunum Çeşitleri .....	8
2.4.1. Alfa ( $\alpha$ ) bozunumu.....	8
2.4.2. Beta ( $\beta$ ) bozunumu.....	9
2.4.3. Gama ( $\gamma$ ) bozunumu.....	10
2.4.4. Nötronlar .....	10
2.4.5. X-ışınları .....	10
2.5. Radyoaktif Seriler.....	11
2.5.1. Doğal seriler.....	12
2.5.2. Yapay seriler .....	15
2.6. Radyasyon Birimleri.....	16
2.6.1. Aktivite birimi.....	17
2.6.2. Işınlama birimi .....	17
2.6.3. Soğurulan doz .....	17
2.6.4. Doz eşdeğeri .....	18
2.6.5. Etkin doz birimi .....	18
2.7. Topraktaki Radyoaktivite .....	18

2.8. Gama Işını Dedektörleri .....	19
2.8.1. Sintilasyon (ışılı) dedektörleri .....	19
2.8.2. Yarı iletken dedektörler .....	20
2.9. HPGe Dedektörlü Gama Spektrometre Sistemi .....	21
<b>3. MATERYAL VE DENEYSEL YÖNTEM.....</b>	<b>23</b>
3.1. Toprak Numunelerinin Sayıma Hazırlanma İşlemi.....	24
<b>4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....</b>	<b>29</b>
4.1. Toprak Örneklerinde Doğal Radyasyondan Kaynaklanan Doz Hesapları .....	39
4.1.1. Karasal gama doz hızı.....	39
4.1.2. Yıllık etkin doz eşdeğeri .....	39
4.1.3. Radyum eşdeğer aktivite.....	40
4.1.4. Dış tehlike indeksi ( $H_{ex}$ ) .....	40
4.1.5. Yaşam boyu kanser riski.....	41
<b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>43</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>45</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>49</b>



## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge 2.1. Radyoaktif seriler .....	12
Çizelge 2.2. Radyasyon birimleri ve dönüşüm faktörleri.....	17
Çizelge 3.1. Toprakta yer alan radyonüklidler ve doz oranları .....	19
Çizelge 3.2. Toprak numunelerinin koordinatları .....	26
Çizelge 4.1. Toprak örneklerinde 226Ra, 232Th, 40K ve 137Cs aktivite konsantrasyonları.....	29
Çizelge 4.2. Türkiye ve Dünyada toprak örneklerindeki ortalama 232Ra, 232Th, 40K ve 137Cs aktivitelerinin çalışmada bulunan değerlerle karşılaştırılması .....	35

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil 2.1. Radyasyon çeşitleri .....	6
Şekil 2.2. Doğal radyasyon kayn. maruz kalınan radyasyon dozlarının oranları .....	7
Şekil 2.3. Yapay radyasyon kayn. maruz kalınan radyasyon dozlarının oranları .....	8
Şekil 2.4. Gama bozunumu .....	10
Şekil 2.5. Radyasyon çeşitlerinin nüfuzu .....	11
Şekil 2.6. $^{238}\text{U}$ bozunumu serisi.....	13
Şekil 2.7. $^{232}\text{Th}$ bozunum serisi .....	14
Şekil 2.8. $^{235}\text{U}$ bozunum serisi.....	15
Şekil 2.9. $^{237}\text{Np}$ bozunum serisi.....	16
Şekil 2.10. Sintilasyon dedektörü .....	19
Şekil 2.11. Yarı iletken dedektörü .....	20
Şekil 2.12. HPGe dedektörlü gama spektrometre sistemi .....	21
Şekil 2.13. Germanyum dedektörlü gama spektrometresi.....	22
Şekil 3.1. Örnekleme bölgesinin Dünya ve Türkiye' deki konumu .....	23
Şekil 3.2. Örneklerin toplandığı lokasyonlar.....	24
Şekil 3.3. Numunelerin toplanması .....	25
Şekil 3.4. Numunelerin sayım için hazırlanması.....	25
Şekil 3.5. Çalışmada kullanılan HPGe dedektörlü gama spektrometre sistemi .....	27
Şekil 4.1. Kış mevsiminde toplanmış toprak örneklerinin $^{226}\text{Ra}$ aktivite sonuçları .....	31
Şekil 4.2. Kış mevsiminde toplanmış toprak örneklerinin $^{232}\text{Th}$ aktivite sonuçları .....	31
Şekil 4.3. Kış mevsiminde toplanmış toprak örneklerinin $^{40}\text{K}$ aktivite sonuçları.....	32
Şekil 4.4. Kış mevsiminde toplanmış toprak örneklerinin $^{137}\text{Cs}$ aktivite sonuçları .....	32
Şekil 4.5. Yaz mevsiminde toplanmış toprak örneklerinin $^{226}\text{Ra}$ aktivite sonuçları .....	33
Şekil 4.6. Yaz mevsiminde toplanmış toprak örneklerinin $^{232}\text{Th}$ aktivite sonuçları .....	33
Şekil 4.7. Yaz mevsiminde toplanmış toprak örneklerinin $^{40}\text{K}$ aktivite sonuçları.....	34
Şekil 4.8. Yaz mevsiminde toplanmış toprak örneklerinin $^{137}\text{Cs}$ aktivite sonuçları .....	34
Şekil 4.9. Çalışmada elde edilen $^{226}\text{Ra}$ konsant. mevsimsel karşılaştırması .....	36
Şekil 4.10. Çalışmada elde edilen $^{232}\text{Th}$ konsant. mevsimsel karşılaştırması .....	37
Şekil 4.11. Çalışmada elde edilen $^{40}\text{K}$ konsant. mevsimsel karşılaştırılması.....	38
Şekil 4.12. Çalışmada elde edilen $^{137}\text{Cs}$ konsant. mevsimsel karşılaştırması.....	38

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklamalar</b>
$\alpha$	Alfa
$\beta$	Beta
$\beta^+$	Pozitif Beta Işıması
$\beta^-$	Negatif Beta Işıması
$\nu$	Nötrino
$\bar{\nu}$	Antinötrino
$\gamma$	Gama
<b>Bq</b>	Becquerel
<b>Ci</b>	Curie
<b>Sv</b>	Sievert
<b>R</b>	Röntgen
<b>J</b>	Joule

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklamalar</b>
<b>ADC</b>	Analoğu Dijitale Dönüştürücü
<b>HPGe</b>	Yüksek Saflıkta Germanyum Dedektörü
<b>HV</b>	Güç Kaynağı
<b>ICP-OES</b>	İndüktif Plazma Atomik Emisyon Spektroskopisi
<b>ICRU</b>	Uluslararası Radyasyon Birim ve Ölçüm Komitesi
<b>MCA</b>	Çok Kanallı Katalizör
<b>Na(I)</b>	Talyum Katkılı Sodyum İyodür
<b>PC</b>	Bilgisayar
<b>SI</b>	Uluslararası Birim Sistemi
<b>TAEK</b>	Türkiye Atom Enerjisi Kurumu

## 1. GİRİŞ

Toprağın ana kaynağını kaya ve taşlar oluşturur. Kaya ve taşların, fiziksel ve kimyasal çözülmeleri sonucu oluşan topraklar buldukları coğrafi yapıya göre farklı özellikler gösterir. Sanayi ve çarpık kentleşmenin artması, suni gübre kullanımı, su kaynaklarının kirlenmesi, nükleer çalışmalar ve atıklar, radyoaktif serpintiler gibi etkiler toprakların kirlenmesine neden olur. Topraktaki radyasyon tayininin amacı, insanların yaşadıkları çevredeki radyasyon dozunun sağlıkları açısından tehlike boyutunun ölçülmesidir (Akkaya, 2011).

Radyasyonun doğada doğal ve yapay olarak bulunmasından dolayı topraklardaki radyasyon ölçümü yapılırken bu faktör dikkate alınır. Doğal radyasyonun temelinde topraklarda, havada ve suda kendiliğinden bulunan radyoaktif elementler, uzaydan gelen kozmik ışınlar vardır. Yapay radyasyonun sebebi ise, insanlar tarafından yapılabildiklerinden dolayı, reaktör kazaları ve nükleer bomba denemeleri gibi sebeplerden kaynaklanan radyoaktif serpintiler, hastalık tanı ve tedavisi için kullanılan tıbbi uygulamalar, radyoaktif salınımına sebep olan nükleer güç santralleridir (Gündoğdu, 2019).

Bu tez çalışmasında, Kırklareli ili il sınırları içinde bulunan İğneada bölgesi ve çevresinden yaz ve kış mevsimlerinde 30 farklı yerden olmak üzere toplamda 60 toprak örneği toplanmış, doğal ve yapay radyoaktivite düzeyleri HPGe dedektörlü gama spektrometre sistemi ile belirlenmiştir. Ayrıca sonuçlardan yola çıkarak havada soğrulan gama doz oranı, yıllık efektif doz eşdeğeri, radyum eşdeğer aktivite değerleri, dış kaynaklı tehlike göstergesi ve kanser etki oranları hesaplanmış ve literatür değerleriyle karşılaştırılmıştır.



## 2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1. Literatür Çalışmaları

Doğal ve yapay radyonüklidlerin toprakta dağılımları, Türkiye’ de ve tüm dünyada yoğun olarak çalışılan konular arasındadır.

Wu ve arkadaşları (1993), Çin’ in Heilongjiang Bölgesindeki topraklarda doğal radyonüklidleri incelemişler ve  $^{238}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  için ortalama aktiviteleri sırasıyla 26,20 Bq kg<sup>-1</sup>; 22,00 Bq kg<sup>-1</sup>; 42,30 Bq kg<sup>-1</sup>; 546,00 Bq kg<sup>-1</sup> olarak bulmuşlardır (Wu ve ark., 1993).

Vera Tomé ve arkadaşları (2002), tarafından İspanya’ da yapılan bir çalışmada, topraklarda  $^{238}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{230}\text{Th}$  ve  $^{226}\text{Ra}$  konsantrasyonları ölçülmüş ve ortalama konsantrasyonlar sırasıyla 10,92 Bg kg<sup>-1</sup>; 10,90 Bg kg<sup>-1</sup>; 10,07 Bg kg<sup>-1</sup>; 5,29 Bg kg<sup>-1</sup> olarak bulunmuştur (Vera Tomé ve ark, 2002).

Özger (2005), tarafından Ceyhan, Yumurtalık, Pozantı köylerinden toplanan 13 toprak örneğinde radyonüklid aktivite konsantrasyonları, HPGe dedektörlü gama spektrometresi ile ölçülmüş, topraktaki  $^{238}\text{U}$  radyoaktivite konsantrasyonları 3,546 Bq kg<sup>-1</sup>, den 25,91 Bq kg<sup>-1</sup> a,  $^{40}\text{K}$  radyoaktivite konsantrasyonları 66,81 Bq kg<sup>-1</sup>, den 403,58 Bg kg<sup>-1</sup>, a ve  $^{137}\text{Cs}$  radyoaktivite konsantrasyonları 0,33 Bq kg<sup>-1</sup>, den 14,08 Bq kg<sup>-1</sup> a kadar değişim gösterdiği bulunmuştur (Özger, 2005).

Aközcan (2009), tarafından Didim ve İzmir Körfezinden her ay toplanmış olan sediment, deniz suyu, çeşitli balık türleri ve kara midyelerde bulunan  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{210}\text{Po}$ ,  $^{210}\text{Pb}$  radyonüklidleri gama ve alfa spektrometresi ile ölçülmüş ve ayrıca Cr, Pb, Ni, Zn, Cu, Fe, Cd, Mn gibi ağır metallerin miktarı ICP-OES ile tespit edilmiştir. Yapılan ölçümler sonucunda ağır metal ve radyonüklid konsantrasyonlarının aylara ve bölgelere göre değişimler gösterdiği belirlenmiş, sonuç olarak Didim ve İzmir Körfezi bölgesindeki sediment, deniz suyu, çeşitli balık türleri ve kara midyelerinden alınan örneklerde ekolojik ve biyolojik dengeyi tehdit edici bir riskin bulunmadığı tespit edilmiştir (Aközcan, 2009).

Bostancı (2011), Ondokuz Mayıs Üniversitesi Kurupelit Kampüsü ve Samsun il merkezinden alınan toplam 38 adet toprak numunesindeki doğal gama radyonüklid seviyelerini NaI(Tl) ve HPGe dedektörlerinden oluşan iki farklı gama spektrometre sistemi ile ölçmüş, NaI(Tl) dedektörlü sistem kullanılarak elde edilen değerler,  $^{40}\text{K}$  konsantrasyonu için ortalama  $364,65 \pm 22,25 \text{ Bq kg}^{-1}$ ,  $^{232}\text{Th}$  konsantrasyonu için ortalama  $40,68 \pm 2,77 \text{ Bq kg}^{-1}$ ,  $^{238}\text{U}$  konsantrasyonu için  $14,79 \pm 1,9 \text{ Bq kg}^{-1}$ , HPGe dedektörlü sistem kullanılarak elde edilen değerler ise,  $^{40}\text{K}$  konsantrasyonu için ortalama  $525,07 \pm 22,81 \text{ Bq kg}^{-1}$ ,  $^{232}\text{Th}$  konsantrasyonu için ortalama  $22,06 \pm 4,18 \text{ Bq kg}^{-1}$ ,  $^{238}\text{U}$  konsantrasyonu için ortalama  $18,64 \pm 1,96 \text{ Bq kg}^{-1}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  konsantrasyonu için ortalama  $14,85 \pm 1,32 \text{ Bq kg}^{-1}$  olarak bulunmuştur (Bostancı, 2011).

Özken (2011), Aliğa – İzmir çevresinde 60 adet toprak numunesindeki doğal radyonüklid konsantrasyonlarını gama spektrometresi ile tayin etmiş ve  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$ 'nin ortalama aktivite konsantrasyonlarını sırasıyla  $38 \pm 18 \text{ Bq kg}^{-1}$ ,  $63 \pm 19 \text{ Bq kg}^{-1}$   $686 \pm 276 \text{ Bq kg}^{-1}$  olarak bulmuştur (Özken, 2011).

Karadeniz (2013), tarafından Ordu, Giresun ve Trabzon illeri sahillerinden toplanan toplam 101 adet sahil kumu örneklerindeki radyoaktivite analizleri HPGe spektrometresi kullanılarak ölçülmüş, hesaplanan  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ 'un ortalama konsantrasyonları sırasıyla, Ordu için  $25,04 \pm 2,95 \text{ Bq kg}^{-1}$ ;  $10,83 \pm 2,92 \text{ Bq kg}^{-1}$ ;  $673,31 \pm 45,31 \text{ Bq kg}^{-1}$ ;  $9,71 \pm 1,16 \text{ Bq kg}^{-1}$ , Giresun için  $21,28 \pm 3,22 \text{ Bq kg}^{-1}$ ;  $13,72 \pm 3,23 \text{ Bq kg}^{-1}$ ;  $530,88 \pm 36,64 \text{ Bq kg}^{-1}$ ;  $6,42 \pm 1,06 \text{ Bq kg}^{-1}$ , Trabzon için  $15,96 \pm 1,81 \text{ Bq kg}^{-1}$ ;  $7,99 \pm 2,39 \text{ Bq kg}^{-1}$ ;  $230,94 \pm 10,67 \text{ Bq kg}^{-1}$  ve  $3,25 \pm 0,72 \text{ Bq kg}^{-1}$  olarak ölçülmüştür (Karadeniz, 2013).

Santawamaitre ve arkadaşları (2014), tarafından Tayland' da yapılan bir çalışmada Chao Phraya nehir havzası boyunca nehir kıyısı toprağında  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  konsantrasyonları ölçülmüş ve konsantrasyonların sırasıyla 13,9 ile 76,8  $\text{Bg kg}^{-1}$ ; 12,9 ile 142,9  $\text{Bg kg}^{-1}$  ve 178,4 ile 810,7  $\text{Bg kg}^{-1}$  arasında değiştiği bulunmuştur (Santawamaite ve ark., 2014).

Kılıçaslan (2016), Tokat–Sivas bölgeleri için topraktaki  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  gibi doğal radyonüklid konsantrasyonlarını gama spektrometresi ile tayin etmiş, ortalama aktivite konsantrasyonlarını sırasıyla  $^{226}\text{Ra}$  için  $36,53 \text{ Bq kg}^{-1}$  ile  $76,95 \text{ Bq kg}^{-1}$ ,  $^{232}\text{Th}$  için  $9,09 \text{ Bq kg}^{-1}$  ile  $17,04 \text{ Bq kg}^{-1}$ ,  $^{40}\text{K}$  için  $216,56 \text{ Bq kg}^{-1}$  ile  $576,59 \text{ Bq kg}^{-1}$  aralığında değiştiğini bulmuştur (Kılıçaslan, 2016).

Nguelem ve arkadaşları (2016), tarafından Kamerun' un batısındaki Menoua bölgesinde boksit cevheri birikintisinde farklı noktalardan toplanan 25 toprak örneğinde  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{235}\text{U}$  ve  $^{238}\text{U}$  aktivite konsantrasyonlarını ölçmüşler ve ortalama olarak sırasıyla  $671 \pm 272 \text{ Bq kg}^{-1}$ ;  $125 \pm 58 \text{ Bq kg}^{-1}$ ;  $157 \pm 67 \text{ Bq kg}^{-1}$ ;  $6 \pm 3 \text{ Bq kg}^{-1}$ ;  $99 \pm 69 \text{ Bq kg}^{-1}$  olarak bulmuşlardır (Nguelem ve ark., 2016).

Saç ve Ekin (2016), İzmir – Urla bölgesinde tarım yapılan topraklarda doğal radyonüklid ölçümü yapılmıştır. Toplanan toprak örneklerindeki gama radyonüklidleri NaI(Tl) dedektörü ile ölçülmüş ve  $^{226}\text{Ra}$  için  $12,00 \text{ Bq kg}^{-1}$ , den  $34,80 \text{ Bq kg}^{-1}$ , a,  $^{232}\text{Th}$  için  $16,00 \text{ Bq kg}^{-1}$ , den  $373,30 \text{ Bq kg}^{-1}$ , a,  $^{40}\text{K}$  için ise  $251,30 \text{ Bq kg}^{-1}$ , den  $767,20 \text{ Bq kg}^{-1}$ , a kadar değişim gösterdiği bulunmuştur (Saç ve Ekin, 2016).

Yılmaz (2017), tarafından Sinop ve Akkuyu bölgelerinden kurulum aşamasında bulunan nükleer güç santrali etrafındaki radyoaktivite seviyesinin belirlenmesi amacı ile toprak örneği alınmıştır. Tekrarlı bir şekilde ve farklı noktalardan alınan Akkuyu bölgesinden 42 adet, Sinop bölgesinden 44 adet toprak numunesinin gama spektrometresi ile radyoaktivite konsantrasyonları ölçülmüştür. Bu ölçümler sonucunda Akkuyu bölgesi için aktivite konsantrasyon değerlerinin  $^{238}\text{U}$  için  $7,60 \text{ Bq kg}^{-1}$ , dan  $91,27 \text{ Bq kg}^{-1}$ , a,  $^{232}\text{Th}$  için  $9,41 \text{ Bq kg}^{-1}$ , dan  $52,36 \text{ Bq kg}^{-1}$ , a,  $^{40}\text{K}$  için  $183,83 \text{ Bq kg}^{-1}$ , dan  $849,93 \text{ Bq kg}^{-1}$ , a ve  $^{137}\text{Cs}$  için  $0,21 \text{ Bq kg}^{-1}$ , dan  $17,85 \text{ Bq kg}^{-1}$ , a kadar değişim gösterdiği, Sinop bölgesi için aktivite konsantrasyon değerlerinin  $^{238}\text{U}$  için  $12,28 \text{ Bq kg}^{-1}$ , dan  $48,94 \text{ Bq kg}^{-1}$ , a,  $^{232}\text{Th}$  için  $8,78 \text{ Bq kg}^{-1}$ , dan  $27,22 \text{ Bq kg}^{-1}$ , a,  $^{40}\text{K}$  için  $79,21 \text{ Bq kg}^{-1}$ , dan  $239,97 \text{ Bq kg}^{-1}$ , a ve  $^{137}\text{Cs}$  için  $0,94 \text{ Bq kg}^{-1}$ , dan  $20,26 \text{ Bq kg}^{-1}$ , a kadar değişim gösterdiği bulunmuştur (Yılmaz, 2017).

Mouandza ve arkadaşları (2018), Gabon' un güneydoğusunda bulunan Mounana' dan toplanan topraklarda  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  konsantrasyonlarını HPGe dedektörle incelemişler, ortalama konsantrasyonları sırasıyla  $2811 \pm 198 \text{ Bq kg}^{-1}$ ;  $63 \pm 14 \text{ Bq kg}^{-1}$  ve  $355 \pm 93 \text{ Bq kg}^{-1}$  olarak tayin etmişlerdir (Mouanza ve ark., 2018).

Alomari ve arkadaşları (2019), tarafından yapılan bir çalışmada Ürdün' de topraklarda doğal ve yapay radyonüklid konsantrasyonları HPGe dedektörü ile ölçülmüştür. Çalışmada ortalama  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  konsantrasyonları sırasıyla,  $42 \pm 3 \text{ Bq kg}^{-1}$ ;  $23 \pm 3 \text{ Bq kg}^{-1}$ ;  $309 \pm 21 \text{ Bq kg}^{-1}$  ve  $3,7 \pm 0,9 \text{ Bq kg}^{-1}$  olarak tayin edilmiştir (Alomari ve ark., 2019).



El-Gamal ve arkadaşları (2019), tarafından Yemen’ de yapılmış olan çalışmada tarım yapılan topraklarda ve çeşitli gıda maddelerinde doğal radyoaktivite düzeyleri incelenmiş ve toprak ile bitki arasındaki transfer faktörleri hesaplanmıştır. Çalışmada tarım arazilerindeki topraklarda ortalama  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  konsantrasyonları sırasıyla  $33,15 \text{ Bg kg}^{-1}$ ;  $77,25 \text{ Bg kg}^{-1}$ ;  $1220,59 \text{ Bg kg}^{-1}$  olarak ölçülmüştür (El-Gamal ve ark., 2019).

## 2.2. Radyasyonun Tanımı ve Çeşitleri

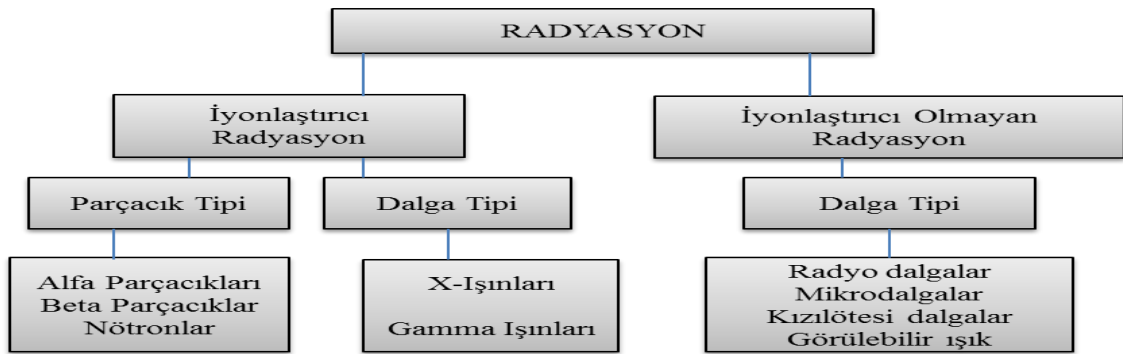
Radyasyon, radyoaktif çekirdeklerin kararlı yapıya geçebilmek için fazla enerjilerini, hızlı parçacıklar veya elektromanyetik dalgalar şeklinde dışarı aktarması ya da yayılımı olayına denir (Berker, 2014).

Radyasyonu enerjisine göre düşük ve yüksek enerjili olarak, kaynağına göre yapay ve doğal olarak, türüne göre ise parçacık ve elektromanyetik radyasyon olarak ayırabiliriz.

İyonize radyasyon yüksek enerjilidir ve etkileştiği atomdan elektron kopararak atomu iyonize eder. Bu şekilde etkileşilen maddeye iyon adı verilir ve bu olay sonucunda yüklü parçacıklar ortaya çıkar. Bu radyasyon alfa parçacığı, beta parçacığı, nötronlar, X-ışınları ve gamma ışınlarıdır.

İyonize olmayan radyasyon ise düşük enerjilidir ve etkileştiği atomu sadece uyarır. Etkileştiği maddeyi iyonize edemediği için yüklü parçacık oluşturamaz. Radyo dalgaları, mikro dalgalar, kızılötesi dalgalar, görülebilir ışık iyonize olmayan radyasyonlardır (Özavcı, 2017).

Radyasyon çeşitleri özet olarak şekil 2.1’ de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Radyasyon çeşitleri

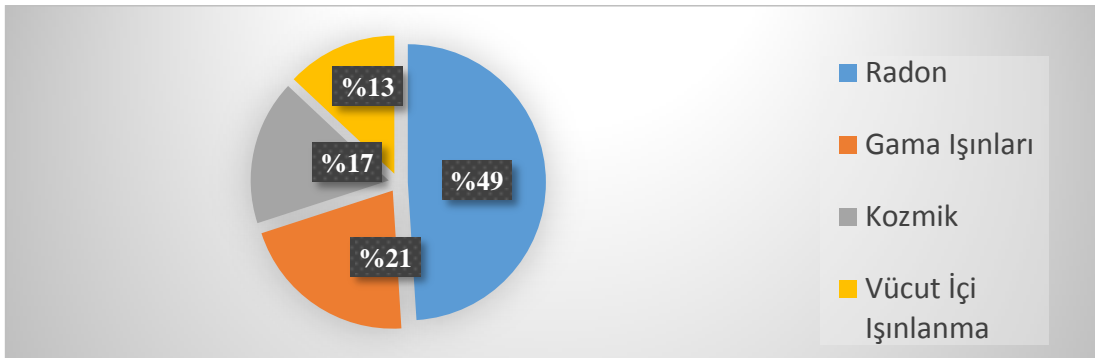
## 2.3. Radyoaktivite

Kararsız çekirdeklerin kararlı duruma geçebilmek için çeşitli ışınlar yayınlaması ile başka çekirdeğe dönüşmesi olayına “ **radyoaktivite** ” denir. Bozunuma uğrayan bu çekirdek doğada kendiliğinden var oluyorsa ya da doğada bulunan başka bir çekirdeğin bozunmasından oluşuyorsa buna “ doğal radyoaktiflik ” eğer insanlar tarafından yapay yollardan hızlandırıcılar ya da reaktörlerden üretiliyorsa bunlara da “ yapay radyoaktiflik ” denilmektedir (Aközcan, 2009).

### 2.3.1. Doğal radyoaktivite

İnsanlar hayatları boyunca hiç bilmeseler de sindirim, hava, su, güneş, solunum gibi faktörlerden, kozmik ışın ve doğada bulunan radyoaktif maddelerden sürekli olarak radyasyona maruz kalırlar (Şekil 2.2). Doğal radyoaktivitenin büyük kısmını kozmik ışınlar ve primordial radyoizotoplar oluşturur (Kılıçaslan, 2016).

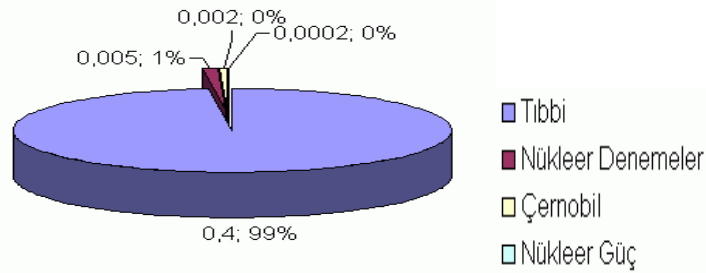
Kozmik ışınlar yüksek enerjilidir ve  $10^{10}$  ile  $10^{20}$  eV arasında değişen enerjilere sahip olup yüksek girişkenliktedirler. Doğal radyoaktivite, bölgenin coğrafi konumu ve jeolojik özelliklerine bağlı olarak değişiklik gösterir. Alçak basınç, yüksek basınç, kar, yağmur, deniz seviyesinden yükseklik gibi etkenler doğal radyasyon seviyesinin büyüklüğünü belirler.  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{232}\text{Th}$ , dünyamızda gözlenen en yaygın radyasyon kaynaklarıdır (Aközcan, 2009). Topraktaki radyoaktivitenin oluşmasındaki en önemli etkenler kayalardaki radyonüklidlerdir. Kayalardan ufalanarak radyonüklidler yağmur ve yeraltı suları aracılığı ile topraklara karışırlar ve topraklardaki aktivitenin artmasına sebep olurlar (Kılıçaslan, 2016).



Şekil 2.2. Doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozlarının oranları (TAEK 2019)

### 2.3.2. Yapay radyoaktivite

İnsanlar hızla ilerleyen teknoloji ile zamandan, paradan, iş gücünden daha iyi yararlanabilmek adına bazı radyasyon kaynaklarını yapay yollarla üretme ihtiyacı duymuşlardır. Kararlı bir atom çekirdeğinin uygun bir parçacıkla bombardıman edilmesi ile kararsız bir çekirdek elde edilir. Kararsız hale gelen bu çekirdek tekrar kararlı hale gelmek ister ve nötron-proton, proton-nötron dönüşümü yaparak ya da elektron yakalayarak kararlı hale gelir.(Çağlar, 2014). Yapay radyasyon kaynakları sebebi ile insanların maruz kaldığı doz miktarı doğal radyasyon kaynaklarına oranla oldukça düşüktür. Bu özellikleri ile genellikle endüstriyel uygulamalarda, zirai ürünlerde, bilimsel araştırmalarda, tıp alanında ve tüketici ürünlerinde kullanılırlar (Kılıçaslan, 2016). Şekil 2.3’ de insanların yapay radyasyon kaynakları sebebiyle ile maruz oldukları doz dağılımları gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozlarının oranları (TAEK 2019)

### 2.4. Radyoaktif Bozunum Çeşitleri

Kararsız çekirdekler alfa parçacıkları, beta parçacıkları, nötron, X-ışınları ya da gamma ışınları yayınlamaya çalışırlar. Bu 5 temel ışın aşağıda ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

#### 2.4.1. Alfa ( $\alpha$ ) bozunumu

Alfa parçacığı dört kütle numarası ve iki protondan oluşan bir helyum çekirdeğidir. Atom numaraları büyük olan kararsız çekirdeklerin parçalanması sırasında gerçekleşen bir ışımadır. Elektrik yükleri fazladır ve yoğun bir iyonlaşma meydana getirirler. Bunun sonucunda enerjilerini çok çabuk kaybederler. İnce bir kağıt tabaka ile bile durdurulmaları mümkündür (Karadeniz, 2013).

Bozunum denklemi,



şeklindedir.

#### 2.4.2. Beta ( $\beta$ ) bozunumu

Kararsız çekirdekler, fazla proton veya nötronlarından 3 farklı yolla kurtulabilirler.

##### $\beta^-$ bozunumu

Kararsız çekirdeğin nötron fazlalığı varsa bu fazlalığından kurtulmak için nötronlarını elektron ve protona dönüştürür. Oluşan elektron ise çekirdekten saçılarak uzaklaşır.

Bozunum denklemi,



şeklindedir. Denklemden de anlaşılacağı üzere kütle numarası değişmemiş, bir nötron bozunmuş ve bir proton, bir elektron, bir anti nötrino oluşmuştur (Çağlar, 2014).

##### $\beta^+$ bozunumu

Kararsız çekirdekteki nötron azlığı ya da proton fazlalığı olması durumunda çekirdekteki bir proton bozunmuş ve bu olay sonunda bir nötron, bir pozitron ve bir nötrino oluşmuştur.

Bozunum denklemi,



şeklindedir (Çağlar, 2014).

##### Elektron yakalaması

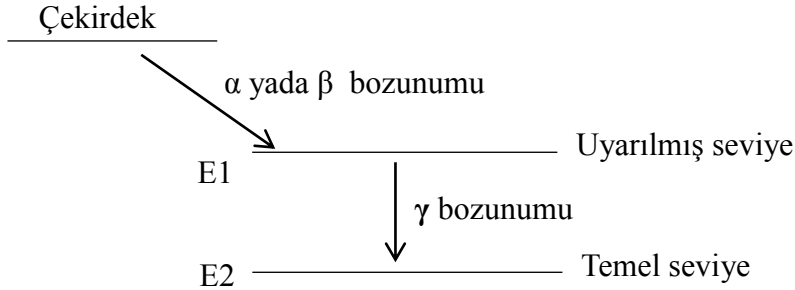
Proton fazlalığından kaynaklanan kararsızlık için, çekirdeğe yakın yörüngelerdeki elektronlardan birinin çekirdek tarafından yakalanması olayıdır. Çekirdek tarafından yakalanan elektronun yerine üst yörüngelerdeki başka bir elektron geçer ve X ışınları yayınlanır.

Bozunum denklemi,



şeklindedir (Karadeniz, 2013).

### 2.4.3. Gama ( $\gamma$ ) bozunumu



Şekil 2.4. Gama bozunumu

Atom çekirdeğinin farklı enerji seviyelerinde olmasından kaynaklı kararsız çekirdekler, alfa ya da beta ışınması yapmaları ile kararlı duruma geçemez ve kararlı duruma geçebilmek için bu geçiş sırasında foton yayınlırlar yani gama ışınması yaparlar (Şekil 2.4). Bir atom çekirdeğinden daha küçük dalga boyları olduğu için geçirgenlikleri fazladır ve çok yüksek enerjileri vardır (Çavaş, 2006). Gama ışınması yapan çekirdeğin kütle ve atom numarası değişmez ve dolayısı ile çekirdeğin başka bir çekirdeğe dönüşmediği görülür. Bozunma denklemi ise,



şeklindedir (Çağlar, 2014).

### 2.4.4. Nötronlar

Nötronlar, protonlar gibi atom çekirdeğinde bulunurlar. Yaklaşık olarak protonlarla aynı kütleyle sahip olmalarına rağmen nötronlar yüksüz parçacıklardır. Çarpışma ya da fisyon ile açığa çıkarlar. Madde ile etkileşmeleri zayıftır bu yüzden doğrudan iyonlaşmaya sebep olmazlar ve madde içinde kolaylıkla ilerleyebilirler.

Atomlarla etkileşmeleri ile alfa, beta, x-ışınları gibi iyonlaştırıcı radyasyonlar ortaya çıkar. Yüksüz parçacıklar olduklarından dolayı uzun yollar alabilirler. Kalın beton veya hidrojen açısından zengin malzemelerle durdurulabilirler (Berker, 2014).

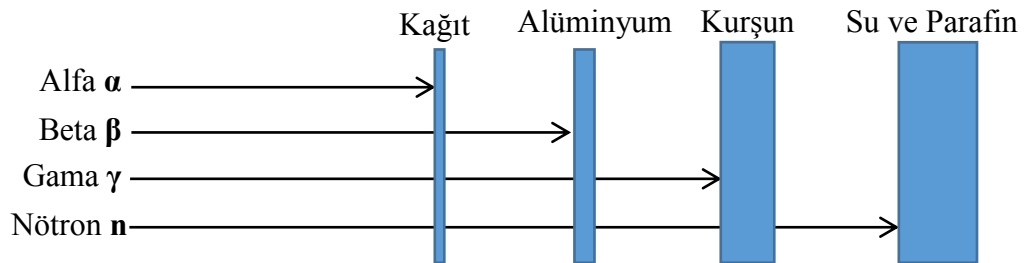
### 2.4.5. X-ışınları

Yüksek atom numaralı bir atoma dışarıdan gönderilen ya da gelen yüksek enerjili elektronların yaklaştırılması ile o atomun ilk halkalarından elektron kopması ve üst halkalardaki elektronların kopan elektron yerindeki boşluğu doldurmasından kaynaklı ortaya enerji fazlalığı çıkar ve bu çıkan enerji X ışını şeklinde salınır (Altinkaya, 2010).

Gama ışınları ve X-ışınlarının madde ile etkileşimleri aynıdır. Gama ışınlarından farkı, gama ışınlarının atomun çekirdeğinden yayınlanmasıdır. Elektrik yükleri olmadıkları için yolları üzerindeki parçacıklar ile çarpışmalar (Özavcı, 2017).

X-ışını, röntgen tüpleri yapay olarak da elde edilebilir. Bir tüp içinde ısıtılan katottan yayılan elektronlar yüksek voltluk gerilimlerle hızlandırılarak anoda çarptırılır ve bu çarpışma sonunda elektronlar durdurulur, elektronların kaybettiği enerji X-ışınları olarak yayılır. Bu olaya frenleme radyasyonu (bremmstrahlung olayı) denir (Altinkaya, 2010).

Parçacık ve dalga şeklinde olan radyasyon çeşitlerinin giricilikleri şekil 2.5’de gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Radyasyon çeşitlerinin nüfuzu

### 2.5. Radyoaktif Seriler

Radyoaktif madde çok sayıda kararsız atomdan oluşur ve kararlı bir izotop oluşana kadar devamlı parçalanır. Ürünleri de kendisi gibi radyoaktif olan bir dizi kararsız atomdan oluşan, bir atomun diğerine dönüştüğü gruba “**radyoaktif seri**” denir (Gündoğdu, 2019).

Atom numaraları 81-92 arasında olan çekirdekler radyoaktiftir ve bu çekirdekler radyoaktif seri oluştururlar. Toplamda 4 radyoaktif seri vardır ve bunlardan üçü doğal biri yapay radyoaktif seridir. Uranyum, Toryum ve Aktinyum doğal serilerdir, Neptünyum ise yapay seridir (Gündoğdu, 2019). Çizelge 2.1’ de radyoaktif seriler özetlenmiştir.

Çizelge 2.1. Radyoaktif seriler (Gündoğdu, 2019)

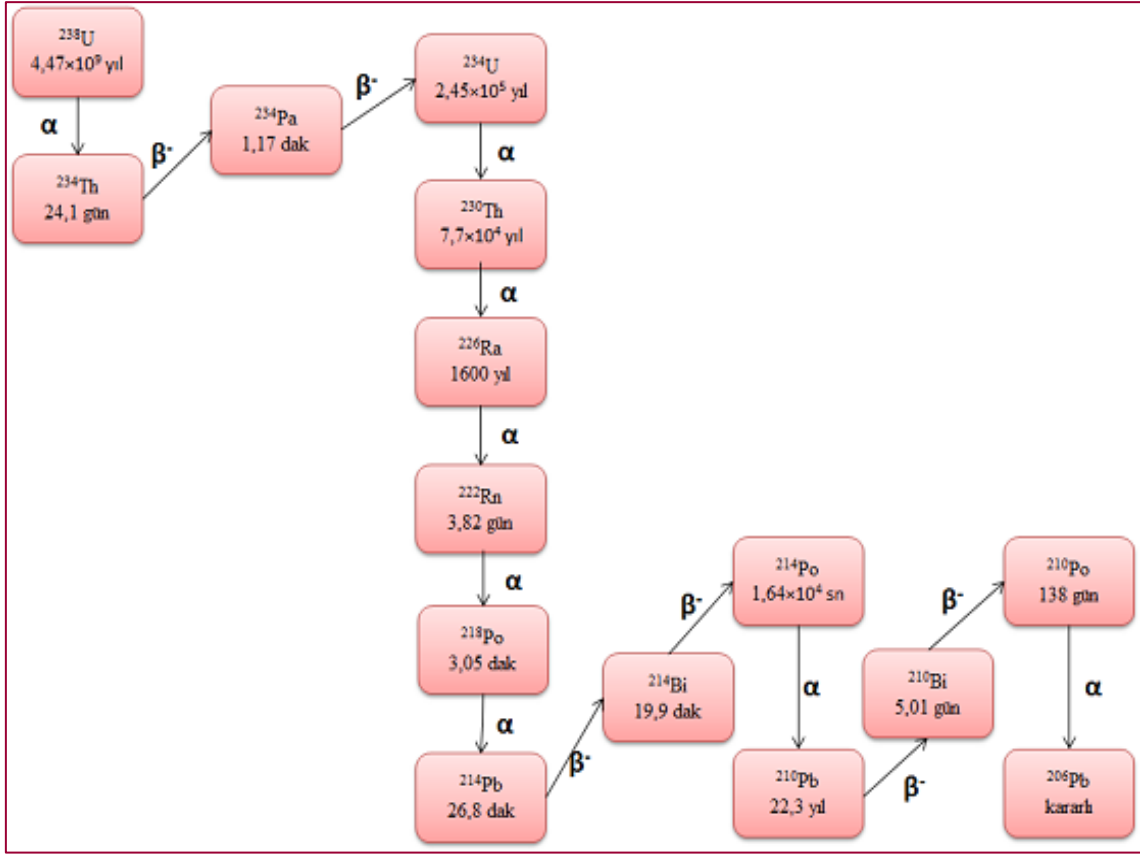
		En Uzun Ömürlü Üyesi	
Seri Adı	Son Çekirdek (Kararlı)	Çekirdek	Yarı-Ömür (yıl)
Toryum	$^{208}\text{Pb}$	$^{232}\text{Th}$	$1,41 \times 10^{10}$
Neptünyum	$^{209}\text{Bi}$	$^{237}\text{Np}$	$2,14 \times 10^6$
Uranyum	$^{206}\text{Pb}$	$^{238}\text{U}$	$4,47 \times 10^9$
Aktinyum	$^{207}\text{Pb}$	$^{235}\text{U}$	$7,04 \times 10^8$

### 2.5.1. Doğal seriler

Atom numarası 83’ ten büyük olan tüm ağır elementler radyoaktiftir. Bu radyoaktif elementler alfa ve beta bozunumlarıyla, kararlı bir çekirdeğe dönüşünceye kadar, bir seri bozunum yaparlar. Doğal olarak oluşan bu radyoaktif çekirdeklerin hepsinin Uranyum (U), Toryum (Th) ve Aktinyum (Ac) serilerinden birine ait olduğu bulunmuştur (Gündoğdu, 2019).

#### Uranyum serisi

$^{238}\text{U}$  serisinin ana izotopu olan Uranyum atomu doğada kendiliğinden bulunmakta olup, atom numarası 92 atom ağırlığı ise 238,09’dur.  $^{238}\text{U}$ ’ in yarılanma ömrü  $4,46 \times 10^9$  yıldır. Şekil 2.6’ da ki gibi  $^{238}\text{U}$ , 8 alfa, 6 beta bozunumu yaparak Toryum, Protaktinyum, Radyum, Radon, Polonyum, Kurşun, Bizmut, Talyum ve Astatin radyoaktif çekirdeklerine dönüşür ve  $^{206}\text{Pb}$  elementinde kararlı hale gelir (Gündoğdu, 2019).

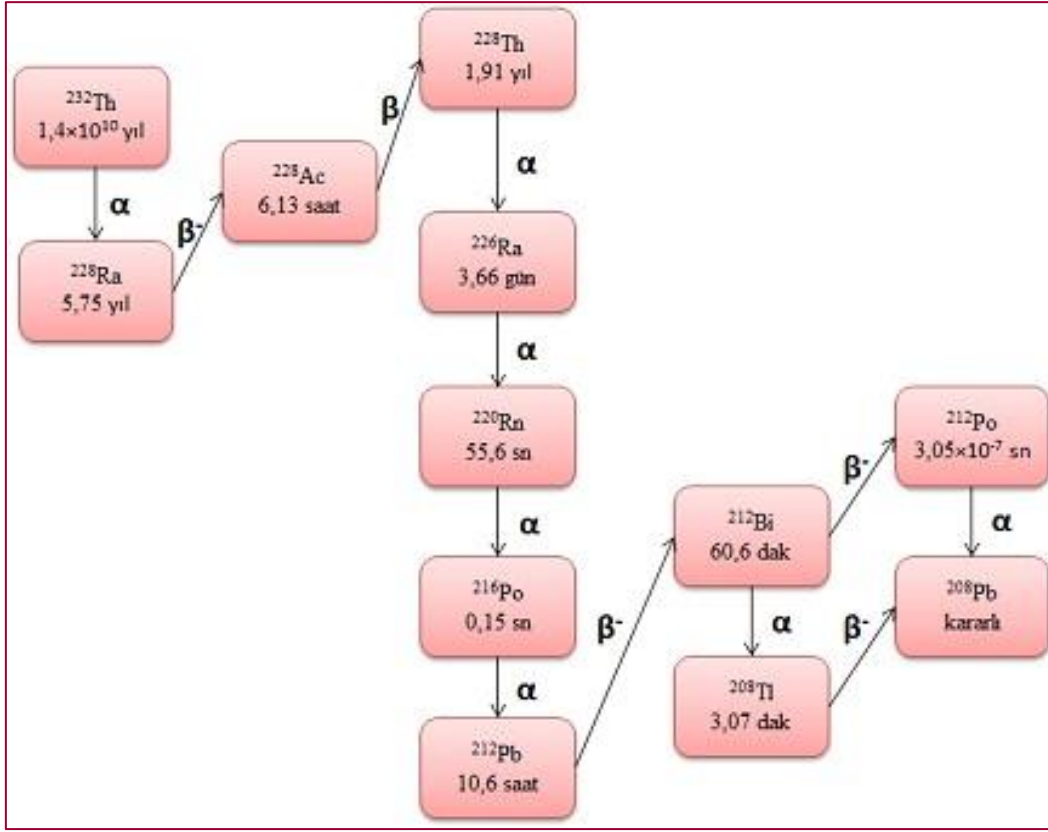


Şekil 2.6.  $^{238}\text{U}$  bozunumu serisi

### Toryum serisi

Radyoaktif element olan Toryumun atom numarası 90, atom ağırlığı 232'dir. Yarılma ömrü  $1,4 \times 10^{10}$  yıldır. Doğada kendiliğinden bulunur ancak serbest halde bulunmaz. Şekil 2.7'de gösterildiği gibi  $^{232}\text{Th}$ , 7 alfa, 5 beta bozunumu yaparak Radyum, Aktinyum, Radon, Polonyum, Bizmut ve Kurşun radyoaktif çekirdeklerine dönüşür ve  $^{208}\text{Pb}$  elementinde kararlı hale gelir (Gündoğdu, 2019).

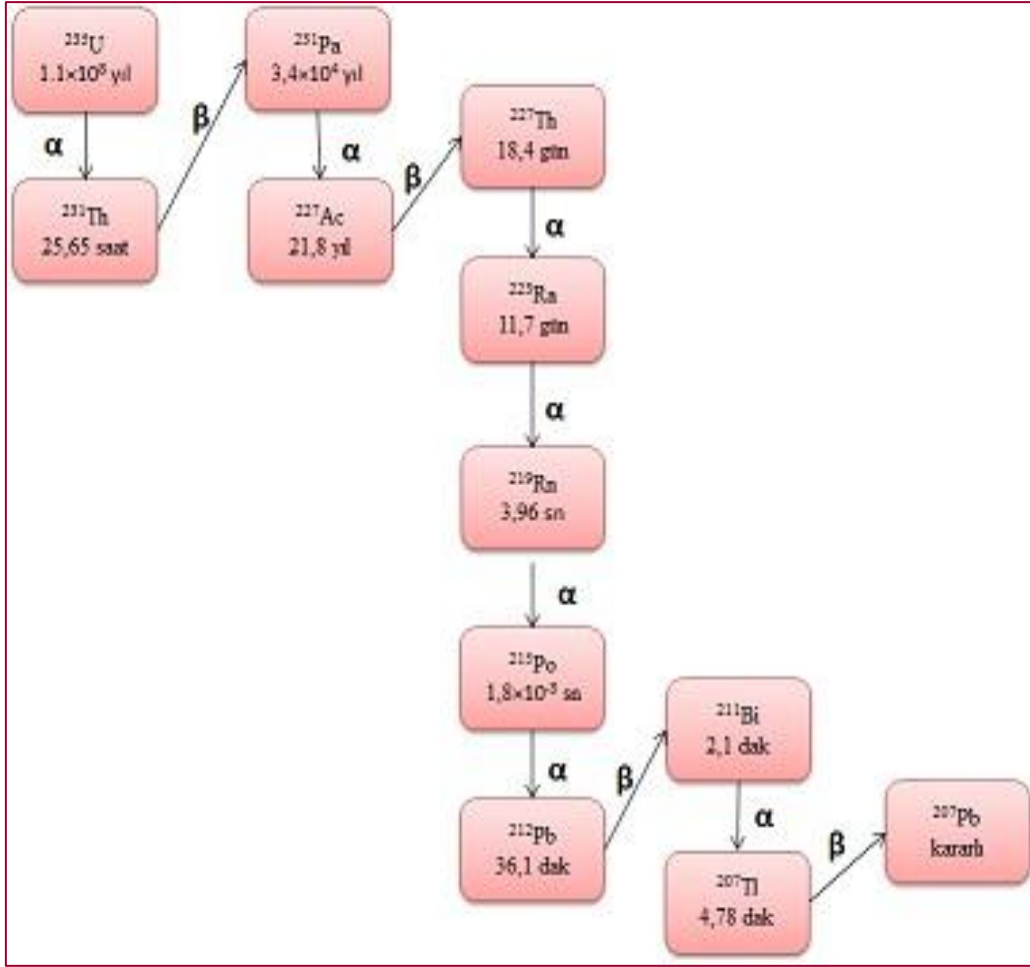




Şekil 2.7.  $^{232}\text{Th}$  bozunum serisi

### Aktinyum serisi

Radyoaktif element olan Aktinyumun atom numarası 89, atom ağırlığı 227'dir. Yarılanma ömrü 21,7 yıldır. Doğada kendiliğinden bulunur.  $^{235}\text{U}$ , 7 alfa, 4 beta bozunumu yaparak Radyum, Aktinyum, Astatin, Toryum, Talyum, Fransiyum, Kurşun, Polonyum, Bizmut ve Kurşun radyoaktif çekirdeklerine dönüşür ve  $^{207}\text{Pb}$  elementinde kararlı hale gelir (Şekil 2.8) (Gündoğdu, 2019).



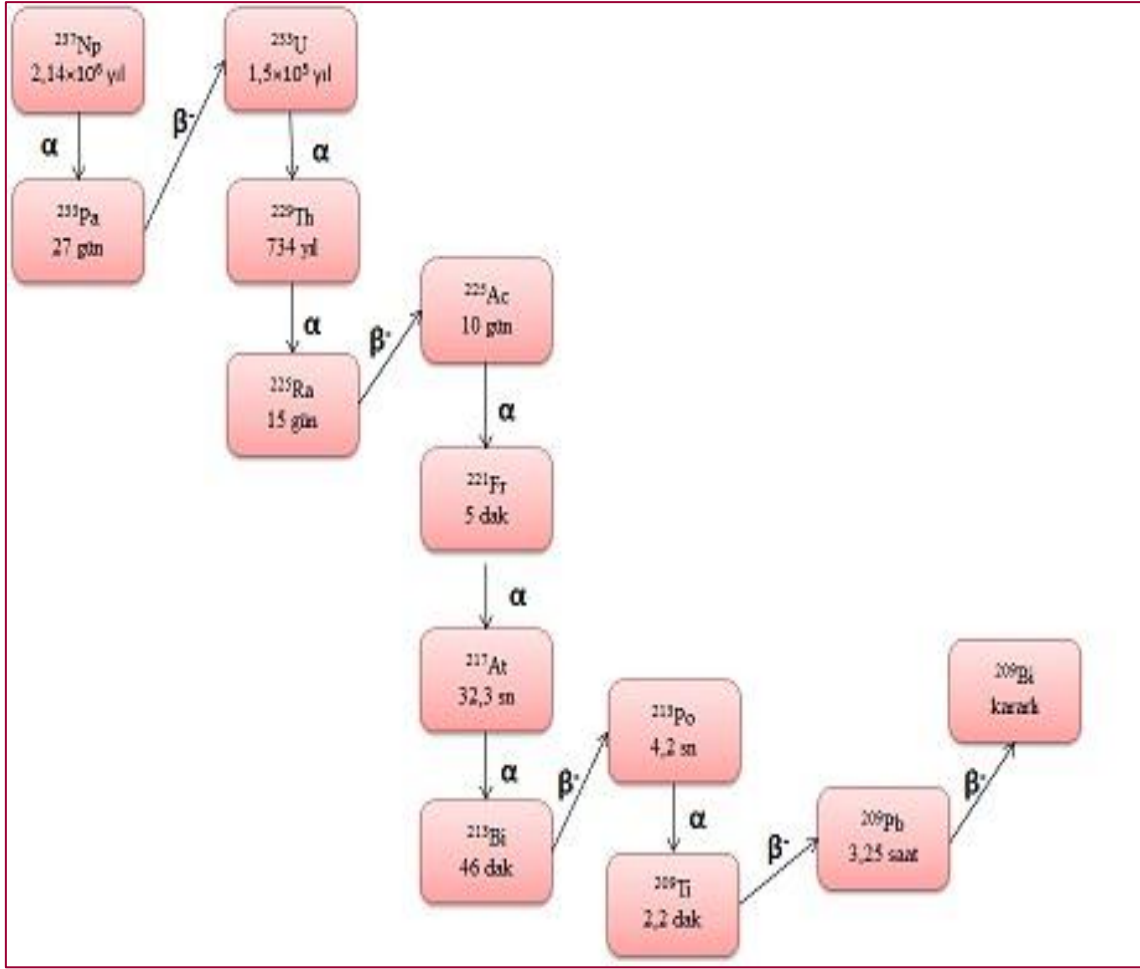
Şekil 2.8.  $^{235}\text{U}$  bozunum serisi

### 2.5.2. Yapay seriler

Yapay yollarla elde edilir ve doğada kendiliğinden bulunmazlar. Neptünyum ve bozunumuyla oluşan radyoaktif ürünlerden oluşmaktadır. Doğal serilerde gaz halinde ürün olmasına rağmen Neptünyum serisinde gaz halinde ürün yoktur (Gündoğdu, 2019).

#### Neptünyum serisi

Radyoaktif element olan Neptünyumun atom numarası 93, atom ağırlığı 239'dur. Yarılanma ömrü  $2,1 \times 10^6$  yıldır.  $^{237}\text{Np}$  ile başlayan seride sadece Talyum ve Bizmut doğada bulunabilir. Şekil 2.9' da gösterildiği gibi  $^{237}\text{Np}$ , 7 alfa, 5 beta bozunumu yaparak Radyum, Aktinyum, Astatin, Toryum, Bizmut, Protaktinyum, Talyum, Fransiyum, Kurşun, Uranyum radyoaktif çekirdeklerine dönüşür ve  $^{209}\text{Bi}$  elementinde kararlı hale gelir (Gündoğdu, 2019).



Şekil 2.9.  $^{237}\text{Np}$  bozunum serisi

## 2.6. Radyasyon Birimleri

İyonlaştırıcı radyasyon madde üzerinde ne kadar çok iyonizasyon gerçekleştirirse o madde üzerindeki etkisi o kadar çok olur. Etki ise radyasyonun enerjisi ve tipi ile ilgilidir. Radyasyon aktivitesi ve etkisinin belirlenmesi için çeşitli birimler kullanılır (Gezer, 2011).

Radyasyon birimlerinin en önemlileri ışınlama, aktivite, absorblanan doz ve eş değer dozdur. Uluslararası Radyasyon Birimleri Komitesi (ICRU), bu birimler için özel tanımlamalar getirmiştir. Daha sonra MKS (metrik sistem) sistemini esas alan Uluslararası Birimler Sisteminin (SI) kabulü ile ICRU, SI birimlerine geçmiştir (Özger, 2005). Radyasyon birimleri ve dönüşüm faktörleri Çizelge 2.2' de gösterilmiştir.

Çizelge 2.2. Radyasyon birimleri ve dönüşüm faktörleri (Özger, 2005)

Büyüklik	SI Birimi ve Sembolü	Eski Birimler ve Sembolü	Dönüşüm Faktörü
Aktivite	Becquerel (Bq)	Curie (Ci)	1 Ci = $3,7 \times 10^{10}$ Bq
Işınlama	Röntgen (C/kg)	Röntgen (R)	1 C/kg = 3876 R
Absorblanan Doz	Gray (Gy)	Rad (rad)	1 Gy = 100 rad
Eşdeğer Doz	Sievert (Sv)	Rem (rem)	1 Sv = 100 rem

### 2.6.1. Aktivite birimi

Birim zamanda bozunuma uğrayan çekirdeklerin sayısına “**aktivite**” denir. Eskiden Curie, radyumun saniyede  $3,7 \times 10^{10}$  bozunum miktarı olarak tanımlanmıştır. SI birim sistemine geçildikten sonra aktivite birimi Becquerel olmuştur (Özger, 2005). Becquerel ile Curie arasındaki bağlantı şöyledir;

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ bozunma/s} \quad (2.6)$$

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ bozunma/s} \quad (2.7)$$

$$1 \text{ Bq} = 2,7 \times 10^{-11} \text{ Ci} = 27 \text{ pCi} \quad (2.8)$$

### 2.6.2. Işınlama birimi

0°C ve 1 atm basınç altında, havanın 1 kilogramında  $2,58 \times 10^{-4}$  Coulomb'luk elektrik yükü değerinde artı ve eksi iyonlar meydana getiren X-ışını veya gama ışını radyasyon miktarıdır. Işınlama eski birimi Röntgen' dir. SI sisteminde birimi Coulomb/kg' dır (Karadeniz, 2013).

$$1 \text{ R} = 2,58 \times 10^{-4} \text{ C/kg} \quad (2.9)$$

$$1 \text{ C/kg} = 3876 \text{ R} \quad (2.10)$$

### 2.6.3. Soğurulan doz

Radyasyondan etkilenmiş bir maddenin birim miktarından soğurulan enerjiye denir. Başka bir deyişle, bir maddenin 1 kg'lık kısmına 1 Joule (J)'lük enerji verebilen radyasyon dozudur. Soğurulan doz birimi SI sisteminde Gray (Gy) ile gösterilir (Keser, 2009).

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg} \quad (2.11)$$

$$1 \text{ rad} = 10^{-2} \text{ J/kg} = 100 \text{ erg/g} \quad (2.12)$$

$$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad} \quad (2.13)$$

#### 2.6.4. Doz eşdeğeri

İyonlaştırıcı radyasyonlardan kaynaklı iyonizasyon yoğunluğu ve bu iyonlaştırıcı radyasyonların tiplerine bağlı olarak soğurulan doz tarafından meydana gelen biyolojik etkilerin ölçüsü doz eşdeğeridir. Eski birim sistemindeki birimi rem, SI birim sisteminde birimi Joule/kg olup, Sievert (Sv) adı verilmiştir (Özger, 2005).

$$1 \text{ Sv} = 1 \text{ J/kg} \quad (2.14)$$

$$1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem} \quad (2.15)$$

#### 2.6.5. Etkin doz birimi

Etkin doz birimi, eşdeğer dozların toplamını ifade eder. Vücudumuzdaki organ ve dokuların radyasyona duyarlılığı farklılık göstermektedir. Bunların karşılaştırılması ve vücudun etkilendiği dozun belirlenmesinde kullanılmaktadır. Birimi Sievert' tır (Çağlar, 2014).

$$E = \sum_T W_T H_T \quad (2.16)$$

(2.16) ile gösterilir.

$W_T$  : organın ya da T dokusunun ağırlık faktörü

$H_T$  : organın ya da T dokusunun eş değer dozu

#### 2.7. Topraktaki Radyoaktivite

Topraklarda bulunan doğal radyasyon kaynaklarının yarılanma ömürleri çok uzun olup birkaç milyar yılın üzerinde yerkürede bulunmaktadır. Topraklarda bulunan  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{40}\text{K}$  gibi doğal radyoaktif elementler toprakların radyoaktif olmasını sağlarlar. Bu radyoaktif elementlerin yüksek konsantrasyonlarda bulunduğu yerler genellikle fosfat, granit, volkanik ve tuz kayalarıdır. Yaşanan doğa olayları ile ufalanan bu kayalar çeşitli yollarla topraklara ulaşır ve topraklardaki radyoaktivitenin artmasına sebep olurlar. İnsanlarda farkında olmadan topraklardaki radyoaktivitenin artmasına sebep olabilirler mesela çiftçilerin topraktaki verimi arttırabilmek adına suni tohum ve gübre kullanması da radyoaktiviteyi arttırır çünkü suni gübreler  $^{32}\text{P}$  içerir (Özger, 2005).

Türkiye'de Karadeniz ve Trakya bölgeleri Çernobil kazasının yaşanması ile radyoaktif kirlenmeye en çok uğrayan bölgeler olmuşlardır. Reaktör kazaları ve nükleer denemeler ile ortaya çıkan ve doğada doğal olarak bulunmayan  $^{137}\text{Cs}$ , Çernobil kazasından sonra serpintiler şeklinde toprağa ulaşmıştır. Yapılan araştırmalarda toprağa ulaşan  $^{137}\text{Cs}$ 'nin

çıplak arazilerden çok, çalılık olan bölgelerde daha fazla biriktiği şeklindedir. Bunun sebebinin rüzgar ve yağmurlar gibi meteorolojik olaylar olduğu düşünülmektedir. Çernobil kazasından sonra  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{134}\text{Cs}$ ' ün topraktaki dikey ilerleme hızının 0,2-0,3 cm/saat olduğu saptanmıştır (Gönen, 2012). Toprakta yer alan radyonüklidler ve doz oranları Çizelge 2.3' te gösterilmiştir.

Çizelge 2.3. Toprakta yer alan radyonüklidler ve doz oranları (Gönen, 2012)

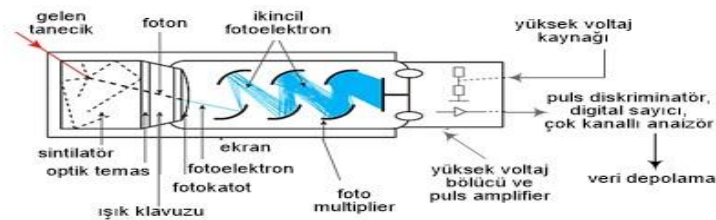
Radyonüklit	Doz oranı %
$^{40}\text{K}$	35
$^{232}\text{Th}$	50
$^{238}\text{U}$	15

## 2.8. Gama Işını Dedektörleri

Gama ışını dedektörlerinin kullanımları birbirine benzer. Öncelikle dedektörün içine giren ve onunla etkileşen gama fotonu, enerjisinin bir kısmını ya da tamamını detektöre aktarır ve bu olay sonunda ortaya çıkan (+) ve (-) iyonlar elektrik sinyaline çevrilerek yükselteçlerde sinyalleri yükseltilir. En son olarak çok kanallı analizörlere gelerek burada sayısal değerlere dönüştürülür ve bilgisayara aktarılır (Çubukçu, 2018).

### 2.8.1. Sintilasyon (ışılmalı) dedektörleri

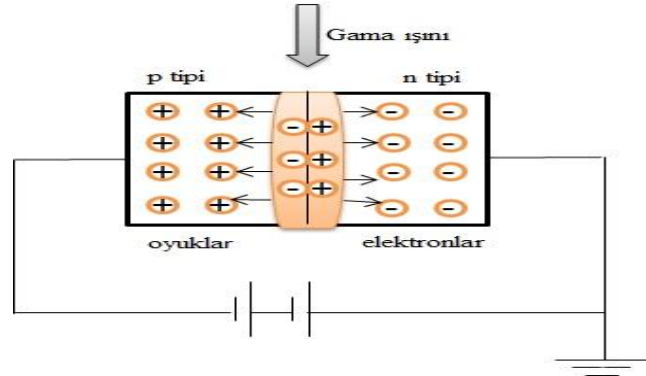
Kendilerine gama ya da X-ışını çarptığında ışıltı oluşturan maddelere sintilatör denir. Sintilatör ile çarpışan ışınların oluşturduğu ışıltı pulslarının elektrik pulslarına dönüşmesi ve burada yükseltilerek sayılması işlemlerinin yapılmasını sağlayan dedektörlere “sintilasyon dedektörü” denir. (Hatipoğlu, 2017). Bir sintilasyon dedektörü Şekil 2.10' da gösterildiği gibidir. En çok tercih edilen sintilasyon dedektörleri NaI(Tl) dedektörleridir. Tercih edilme sebebi, daha ekonomik daha kullanışlı ve gama çözünürlüğünün yüksek olmasıdır (Topçuoğlu, 2011).



Şekil 2.10. Sintilasyon dedektörü

## 2.8.2. Yarı iletken dedektörler

Yarı iletkenlerin son yörüngelerinde dört elektron vardır ve iletkenliğin kontrol edilebilmesi için katkı maddesi eklenmektedir. Bu katkı maddesi beş valans elektronuna sahip bir element ile yapılmışsa, yarı iletkenin son yörüngesinde bulunan dört elektron ile katkı maddesinin dört elektronu kovalent bağ yapar ve bir elektronu dışarıda kalır. Bu şekilde katkılanan birleşme ile madde negatiflik özelliği kazanır ve bir gerilim kaynağına bağlandığında serbest elektron negatif kutuptan pozitif kutba doğru hareket eder. Yük taşıyıcılar elektronlar olduğundan buna n tipi yarı iletken denir. Eğer katkı maddesinin üç valans elektronu varsa ve bu elektronlar yarı iletkenin son yörüngesindeki üç elektronla kovalent bağ yaparsa, bir boşluk kalır. Bu boşluğa hol ya da deşik denir. Bu şekilde katkılanan madde pozitiflik kazanır ve bir gerilim kaynağına bağlandığında elektronlar bu deşikleri doldurarak pozitif kutba doğru ilerler, elektronlar pozitif kutba ilerlerken deşikler negatif kutba doğru ilerlemiş olur ve kaynağın pozitif kutbundan negatif kutbuna doğru deşik hareketi olur. Bura da yük taşıyıcı deşiklerdir ve bu yüzden buna da p tipi yarı iletken denir (Şekil 2.11) (Kahveci, 2019).



Şekil 2.11. Yarı iletken dedektör

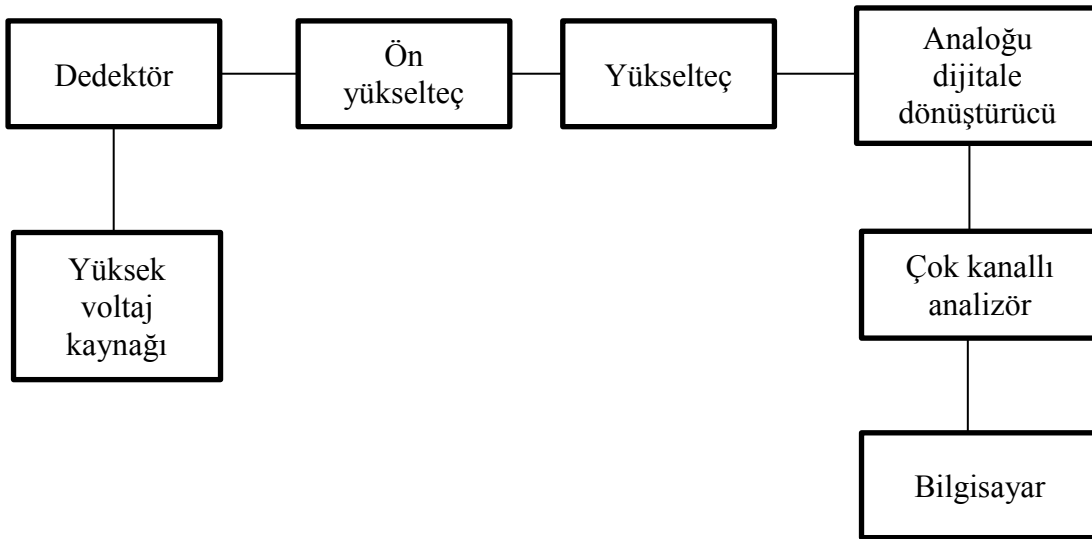
Gama ışınının nötr bölgeye düşürülmesi ile elektron ve deşikler ayrı ayrı elektrotlarda toplanırlar. Bu elektrotlarda toplanan yükler, bir ön yükselteç ile büyütülüp çoğaltılır ve pulslara dönüştürülürler (Topçuoğlu, 2011). En çok kullanılan yarıiletkenler Germanyum (Ge) ve Silikon (Si)' dur. Bunların dışında Civa İyodür (HgI), Kadmiyum Çinko Tellur (CdZnTe), Kadmiyum Tellur (CdTe) önemli yarı iletkenlerdendir (Olçay, 2007).

Germanyum ve Silikondan yapılmış dedektörler oda sıcaklığında çalıştırılmak için uygun değildirler. Dedektörlerin verimsizleşmesini sağlar. Dedektörlerin iyi ve verimli

çalışması için soğuk tutmak gerekir ve bunun için de genelde sıvı azot kullanılmaktadır. Teknolojik gelişmelerle beraber alternatif soğutma sistemleri geliştirilmiş olup, elektronik soğutma sistemleri birçok dedektör için alternatif olmuştur (Topçuoğlu, 2011).

## 2.9. HPGe Dedektörlü Gama Spektrometre Sistemi

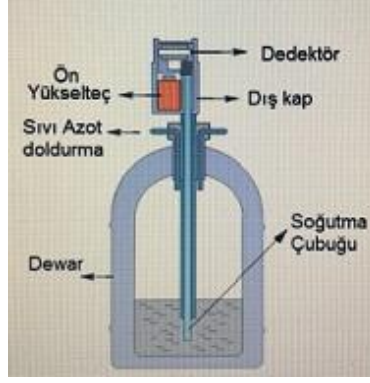
Canlıların maruz kaldığı gama ışını yayan radyonüklidlerin tanımlanması ve doz miktarlarının belirlenebilmesi için Gama Spektrometresi kullanılmaktadır. Gama spektrometresinin diğer yöntemlere göre daha çok tercih edilmesinin sebebi, daha çabuk ve birçok işleme tabi tutulmadan analiz sonucu vermesidir. Bu sistem Ge(Li) ve HpGe gibi yarı iletken dedektör ya da NaI(Tl) gibi sintilasyon dedektör sisteminden ve yüksek voltaj filtresi, güç kaynağı (HV), yükselteç, analogu dijitale dönüştürücü (ADC), çok kanallı analizör (MCA) ve bilgisayar (PC)' dan oluşmaktadır (Altıkulaç, 2014).



Şekil 2.12. HPGe dedektörlü gama spektrometre sistemi

Şekil 2.12' de bir HPGe dedektörlü gama spektrometre sistemi gösterilmiştir. Ön yükselteç, detektörden gelen sinyalin büyütülmesi ya da sinyalin biçim ve şeklinin ayarlanması amacıyla kullanılır. Yükselteç, ön yükselteçten gelen sinyalin büyütülmesi, yeniden şekillendirilmesi ya da sinyal bilgilerinin kaydedilip saklanması için kullanılır. Analogu dijitale dönüştürücü (ADC); analog olarak gelen elektrik sinyallerini sayısal sinyallere dönüştürücüdür. Çok kanallı analizör (MCA); spektrum çözümü için kullanılır. Buraya gelen sinyaller saklanır ve işlenirler (Altıkulaç, 2014).





Şekil 2.13. Germanyum dedektörlü gama spektrometresi

Dedektörün verimini düşürmemek adına soğutulması gerekmektedir. Soğutma işlemi içinde sıvı azot bulunan dewar denilen yere bir bakır çubuk daldırılması ile olur (Şekil 2.13). Dışarıdan gelebilecek dış radyasyonu engellemek için ise kurşundan yapılmış zırh kullanılmıştır. Zırhın iç kısmı ise kalay ve bakırla kaplıdır (Çubukçu, 2018).

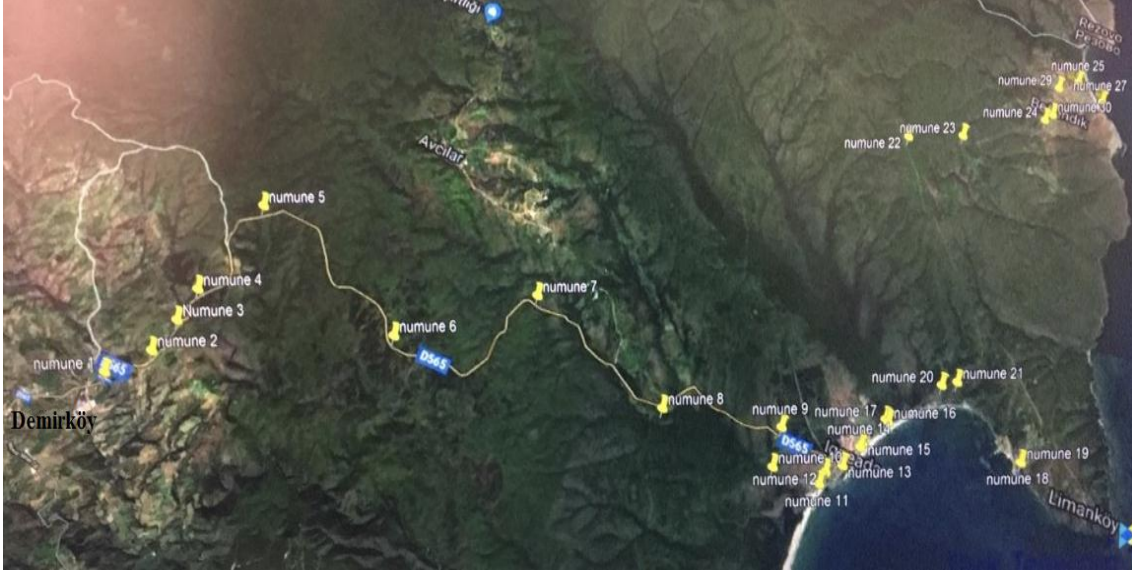
HPGe dedektörleri yarı ömürlerin ölçülmesi, enerji seviyelerinin belirlenmesi ve çevresel radyasyonun belirlenmesi gibi birçok alanda en çok tercih edilen ölçüm sistemidir. Birçok alanda tercih edilmesinin en önemli sebebi yüksek ayırma gücüne sahip olması ve verimlerinin yüksek olmasıdır ( Ağar, 2016).

### 3. MATERYAL VE DENEYSEL YÖNTEM

Bu tez çalışmasında Türkiye, Marmara Bölgesinin kuzeyinde bulunan Kırklareli iline bağlı Demirköy ilçesi çıkışı, İğneada Beldesi ve çevresi, ayrıca Beğendik köyünden alınan toprak örneklerinin radyoaktivite miktarının tespit edilmesi amaçlanmıştır (Şekil 3.1). Bu amaçla İğneada ve çevresinden toplanan toprak numuneleri analiz edilmiştir. Bu çalışmada alınan numunelerin analiz işlemleri Kırklareli Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında yapılmıştır.



Şekil 3.1. Örnekleme bölgesinin Dünya ve Türkiye’deki konumu (<http://www.maphill.com/turkey/kirklareli/igneada/location-map/satellite-map/>)



Şekil 3.2. Örneklerin toplandığı lokasyonlar

İğneada, Marmara Bölgesinin kuzeyinde bulunan Kırklareli ili, Demirköy ilçesine bağlı ve İstıranca (Yıldız) dağları eteklerinde bulunan bir beldedir. Kırklareli il merkezine 100 km uzaklıkta bulunmakta ve 22 km'lik bir sahile sahiptir. İğneada ve İstıranca dağlarının bulunduğu bölge, çeşitli bitki ve hayvan türlerine ev sahipliği yapmaktadır. Birçok kuş türünün göç yolları üzerinde bulunmaktadır. İğneada tatlı ve tuzlu su gölleri, dereleri, kıyı kumulları, bataklıkları ve mevsimsel subar ormanları ile bugüne kadar korunmuş en önemli doğal alanlardan biridir. Longoz tipi ormanlık alan ilkbahar ve kış aylarında yüksek yağıştan dolayı tabanın sularla kaplı olduğu ormanlık alana verilen addır. Türkiye’de 3155 hektarlık alana sahip İğneada Longoz Ormanları, 2007 yılında Resmi Gazetede yayınlanan Bakanlar Kurulu kararı ile Türkiye’nin 39. Milli Parkı ünvanını almıştır (Özyavuz, 2008).

### 3.1. Toprak Numunelerinin Sayıma Hazırlanma İşlemi

Şekil 3.2’ de toprak numunelerinin alındığı bölgeler kırmızı şerit halinde gösterilmiştir. Toprak örnekleri, 0-10 cm derinliğe kadar inebilen bir kürek yardımıyla alınmıştır. Toplanan örnekler üzerlerine kaç numaralı numune olduğu ve koordinatları yazılarak, ortalama 1,5 kg’lık iki farklı poşet içine alınarak muhafaza edilmiştir (Şekil 3.3). Toprak numuneleri içlerindeki taş, ot, çöp benzeri parçalar temizlenmiş, ağzı açık poşetlerde 24 saat bekletilmiş, daha sonra 105 °C’de etüvde 48 saat boyunca



kurutulmuştur. Kurutulma işleminden sonra porselen havanda öğütülen numuneler, 2 mm gözenekli elek kullanılarak elenmiş ve darası önceden alınan 250 ml'lik şeffaf saklama kaplarına konulmuştur. Tüm kaplar parafin bandı ile sıkıca sarılmış, kapaklarına numune numaraları ve kapatılma tarihleri yazılmıştır. Kapatılan her bir örnek, toprak içinde bulunan radon ve toron gibi bozunma ürünlerinin,  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  ile radyoaktif dengeye gelmeleri için yaklaşık 4-5 hafta (40 gün) bekletilerek sayıma hazır hale getirilmiştir (Şekil 3.4).



Şekil 3.3. Numunelerin toplanması



Şekil 3.4. Numunelerin sayım için hazırlanması

Çizelge 3.1. Toprak numunelerinin koordinatları

1 Nolu Numune	41° 50' 9" K	27° 47' 43" D
2 Nolu Numune	41° 50' 31" K	27° 48' 16" D
3 Nolu Numune	41° 50' 54" K	27° 48' 24" D
4 Nolu Numune	41° 51' 17" K	27° 48' 27" D
5 Nolu Numune	41° 52' 24" K	27° 48' 46" D
6 Nolu Numune	41° 51' 40" K	27° 51' 40" D
7 Nolu Numune	41° 52' 46" K	27° 53' 33" D
8 Nolu Numune	41° 52' 11" K	27° 56' 7" D
9 Nolu Numune	41° 52' 31" K	27° 58' 2" D
10 Nolu Numune	41° 52' 5" K	27° 58' 4" D
11 Nolu Numune	41° 52' 7" K	27° 58' 50" D
12 Nolu Numune	41° 52' 16" K	27° 58' 53" D
13 Nolu Numune	41° 52' 24" K	27° 59' 7" D
14 Nolu Numune	41° 52' 40" K	27° 59' 19" D
15 Nolu Numune	41° 52' 43" K	27° 59' 20" D
16 Nolu Numune	41° 53' 3" K	27° 59' 39" D
17 Nolu Numune	41° 53' 4" K	27° 59' 36" D
18 Nolu Numune	41° 53' 13" K	28° 1' 49" D
19 Nolu Numune	41° 53' 3" K	28° 1' 50" D
20 Nolu Numune	41° 53' 4" K	28° 0' 21" D
21 Nolu Numune	41° 53' 47" K	28° 0' 35" D
22 Nolu Numune	41° 56' 26" K	27° 58' 47" D
23 Nolu Numune	41° 56' 44" K	27° 59' 43" D
24 Nolu Numune	41° 57' 25" K	28° 1' 6" D
25 Nolu Numune	41° 58' 9" K	28° 1' 34" D
26 Nolu Numune	41° 58' 5" K	28° 1' 59" D
27 Nolu Numune	41° 57' 60" K	28° 2' 4" D
28 Nolu Numune	41° 58' 11" K	28° 1' 25" D
29 Nolu Numune	41° 57' 57" K	28° 1' 14" D
30 Nolu Numune	41° 57' 32" K	28° 1' 13" D

### Gama Spektrometre Sistemi

Çalışmada toprak örneklerindeki radyonüklidlerin analizleri Kırklareli Üniversitesi İleri Teknolojiler Araştırma Merkezi Nükleer Spektroskopi Laboratuvarında yapılmıştır. Çalışmada kullanılan gamma spektrometre sistemi %70 relatif verime sahip Ortec Model GEM 70P4-95 HPGe koaksiyel detektörden ( $^{60}\text{Co}$ ' ın 1332 keV gamma enerjisi için FWHM: 2,0 keV ve pik/compton oranı 75:1), dijital sinyal üreten entegre gama spektrometresi (DSPEC jr. 2.0), Gamma Vision-32 spektrum analiz yazılımı ve bilgisayardan oluşmaktadır (Öztürk, 2016). Çalışmada kullanılan gama spektrometre sistemi Şekil 3.5' de gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Çalışmada kullanılan HPGe dedektörlü gama spektrometre sistemi (Özden, 2020)



#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada Kırklareli ili İğneada bölgesi topraklarında doğal ve yapay radyasyon seviyesinin belirlenmesi ve sağlık açısından radyolojik doz değerlendirilmelerinin yapılabilmesi amacı ile yaz ve kış mevsimlerinde olmak üzere 30 farklı noktadan toprak örneği toplanmıştır.

Toplanan toprak örneklerindeki  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  radyonüklidlerin aktivite konsantrasyonları HPGe dedektörlü gama spektrometre sistemi ile analiz edilmiştir.

30 farklı örnekleme noktasından yaz ve kış mevsimlerinde toplanan örneklerin gama spektrometrik analiz sonuçları Çizelge 4.1’ de gösterilmiştir.

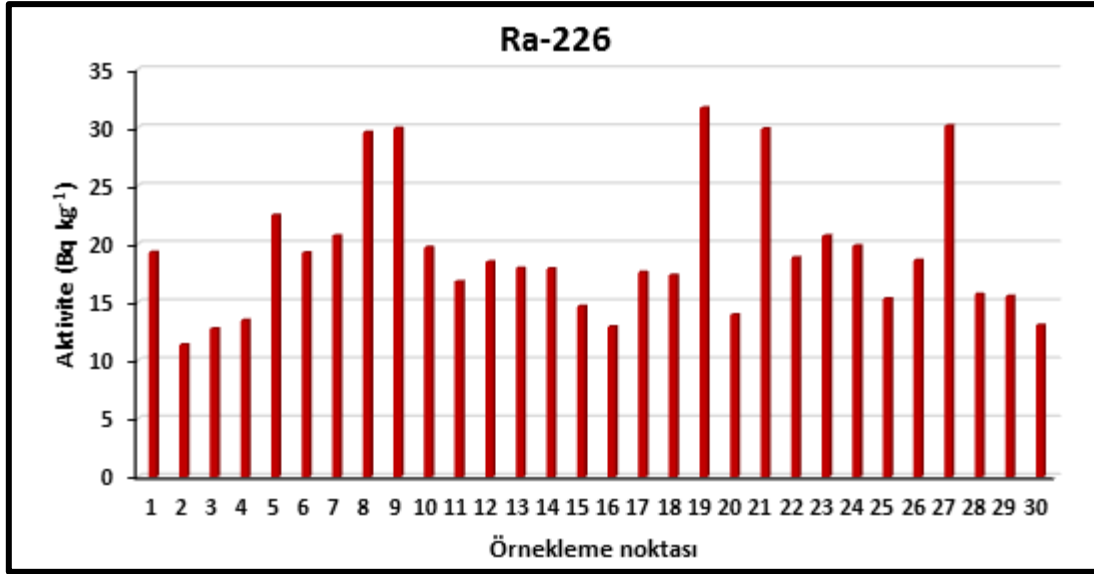
Çizelge 4.1. Toprak örneklerinde  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  aktivite konsantrasyonları

Örnek No	Aktivite Konsantrasyonları (Bq kg <sup>-1</sup> )							
	Yaz				Kış			
	$^{226}\text{Ra}$	$^{232}\text{Th}$	$^{40}\text{K}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{226}\text{Ra}$	$^{232}\text{Th}$	$^{40}\text{K}$	$^{137}\text{Cs}$
1	15,33	16,93	455,89	0,53	19,31	29,64	175,34	0,91
2	17,36	14,68	178,81	3,60	11,35	12,09	111,84	4,97
3	11,07	23,29	474,22	3,11	12,72	33,69	158,16	2,92
4	14,04	19,89	431,56	0,62	13,45	23,38	109,46	1,80
5	21,04	43,92	289,87	2,37	22,49	48,63	672,59	1,84
6	17,65	28,62	737,50	1,26	19,24	32,11	801,91	2,16
7	10,69	14,42	457,30	21,78	20,73	22,91	476,82	7,83
8	19,77	18,46	561,08	7,34	29,61	31,27	604,14	17,33
9	24,23	31,80	246,07	11,45	29,96	38,92	228,53	10,82



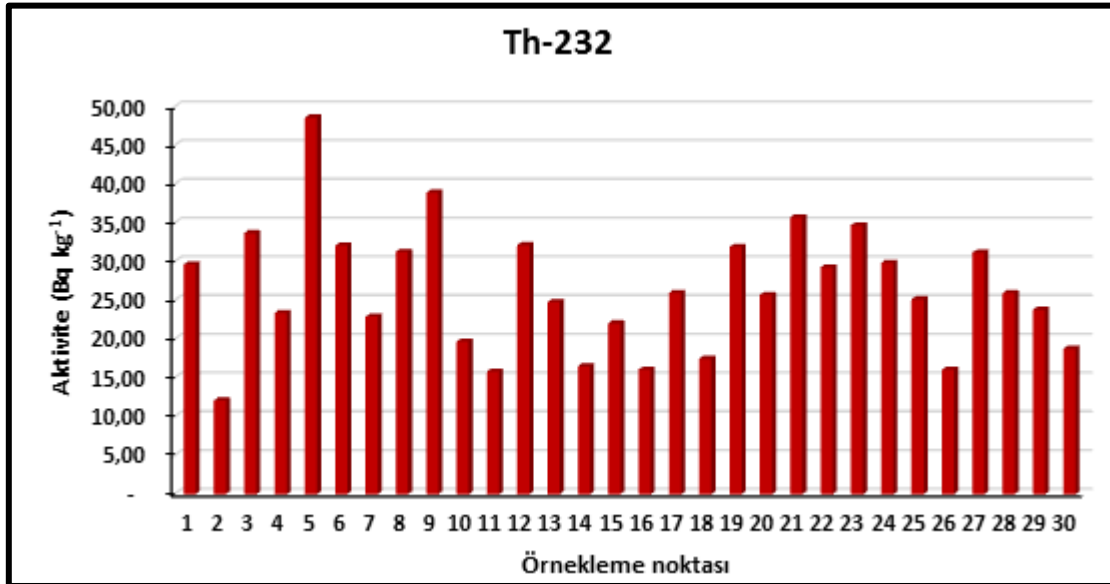
<b>10</b>	1703	17,15	274,23	4,09	19,73	19,68	327,09	3,78
<b>11</b>	14,62	19,23	257,85	1,98	16,76	15,83	197,68	1,85
<b>12</b>	20,43	23,36	435,44	4,04	18,47	32,13	359,38	1,69
<b>13</b>	15,81	19,99	464,8	1,32	17,94	24,80	376,36	4,60
<b>14</b>	18,81	14,87	159,81	1,60	17,89	16,50	151,29	2,30
<b>15</b>	18,17	25,44	461,31	3,30	14,66	22,05	368,54	3,10
<b>16</b>	16,96	16,58	147,73	1,71	12,90	16,05	140,03	1,82
<b>17</b>	16,94	24,98	517,75	0,57	17,57	25,96	583,99	0,71
<b>18</b>	18,00	17,95	238,07	2,10	17,32	17,47	280,03	3,25
<b>19</b>	25,61	25,37	503,98	1,68	31,69	31,91	672,96	0,67
<b>20</b>	21,04	31,25	271,04	1,82	13,92	25,72	162,39	3,68
<b>21</b>	45,95	28,87	343,02	103,4	29,89	35,74	460,05	82,88
<b>22</b>	29,43	29,61	253,56	1,52	18,83	29,26	238,63	2,95
<b>23</b>	26,82	35,67	408,82	3,93	20,73	34,70	412,75	3,62
<b>24</b>	22,83	35,05	312,58	1,64	19,84	29,85	223,39	1,53
<b>25</b>	19,13	24,62	387,84	5,72	15,31	25,16	309,68	5,60
<b>26</b>	14,97	16,10	234,16	1,29	18,63	16,07	212,77	1,22
<b>27</b>	25,59	30,69	670,01	1,49	30,16	31,17	725,68	2,63
<b>28</b>	19,50	23,65	361,64	1,47	15,70	25,95	381,99	3,33
<b>29</b>	21,45	21,66	420,00	5,37	15,52	23,79	414,79	4,33
<b>30</b>	10,17	17,67	529,10	7,01	13,03	18,75	538,32	5,69

Kış mevsiminde toplanan toprak örneklerindeki <sup>226</sup>Ra aktivite konsantrasyonları şekil 4.1’ de gösterilmiştir. Kış mevsiminde toplanan örneklerdeki <sup>226</sup>Ra aktivite konsantrasyon değerleri 11,35 ile 31,69 Bg kg<sup>-1</sup> arasında değişmekte olup, ortalama 19,18 Bg kg<sup>-1</sup> olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.1. Kış mevsiminde toplanmış toprak örneklerinin <sup>226</sup>Ra aktivite sonuçları

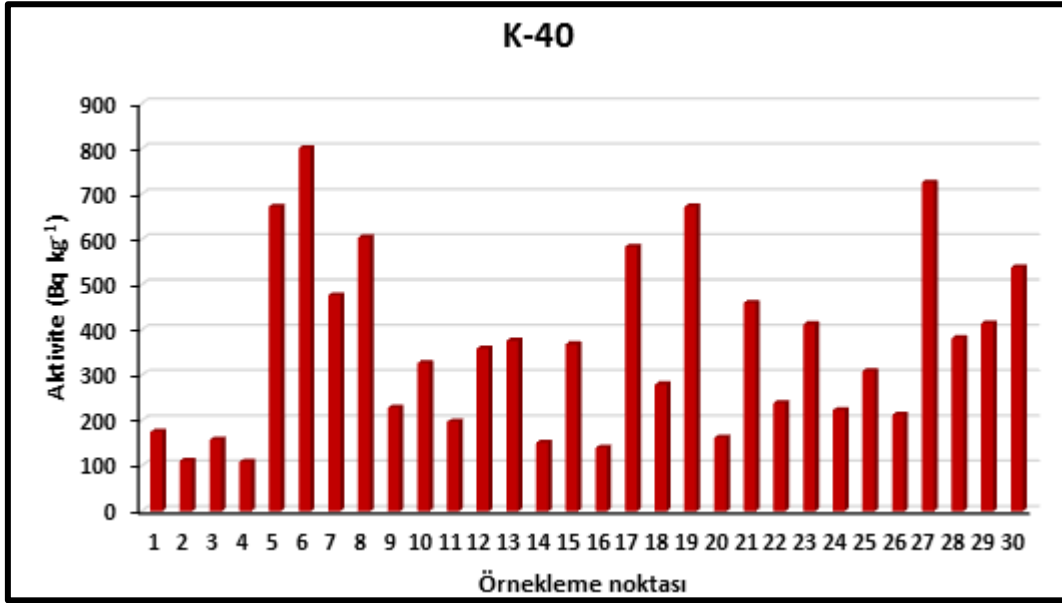
Kış mevsiminde toplanan toprak örneklerindeki <sup>232</sup>Th aktivite konsantrasyonları şekil 4.2’ de gösterilmiştir. Kış mevsiminde toplanan örneklerdeki <sup>232</sup>Th aktivite konsantrasyon değerleri 12,09 ile 48,63 Bq kg<sup>-1</sup> arasında değişmekte olup, ortalama 26,37 Bq kg<sup>-1</sup> olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.2. Kış mevsiminde toplanmış toprak örneklerinin <sup>232</sup>Th aktivite sonuçları

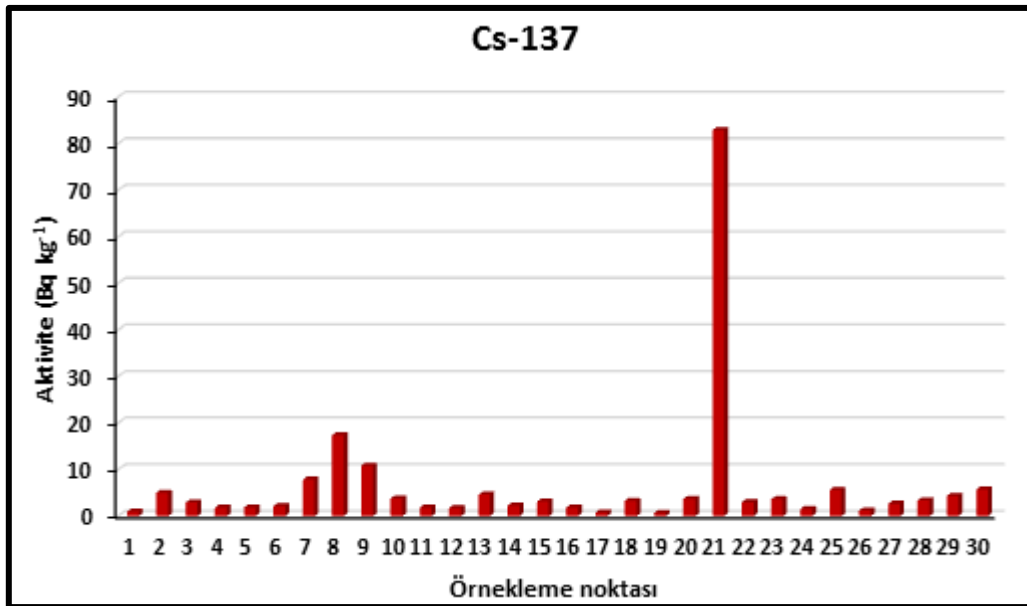
Kış mevsiminde toplanan toprak örneklerindeki <sup>40</sup>K aktivite konsantrasyonları şekil 5.3’ de gösterilmiştir. Kış mevsiminde toplanan örneklerdeki <sup>40</sup>K aktivite konsantrasyon

değerleri 109,46 ile 801,91 Bq kg<sup>-1</sup> arasında değişmekte olup, ortalama 362,55 Bq kg<sup>-1</sup> olarak ölçülmüştür.



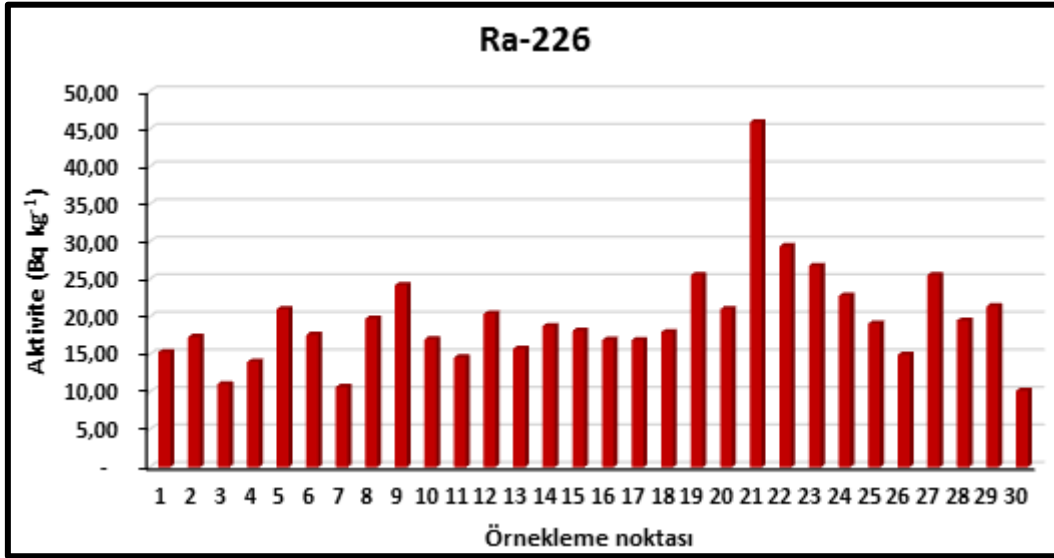
Şekil 4.3. Kış mevsiminde toplanmış toprak örneklerinin <sup>40</sup>K aktivite sonuçları

Kış mevsiminde toplanan toprak örneklerindeki <sup>137</sup>Cs aktivite konsantrasyonları Şekil 4.4’ de gösterilmiştir. Kış mevsiminde toplanan örneklerdeki <sup>137</sup>Cs aktivite konsantrasyon değerleri 0,67 ile 82,88 Bq kg<sup>-1</sup> arasında değişmekte olup, ortalama 6,39 Bq kg<sup>-1</sup> olarak ölçülmüştür.



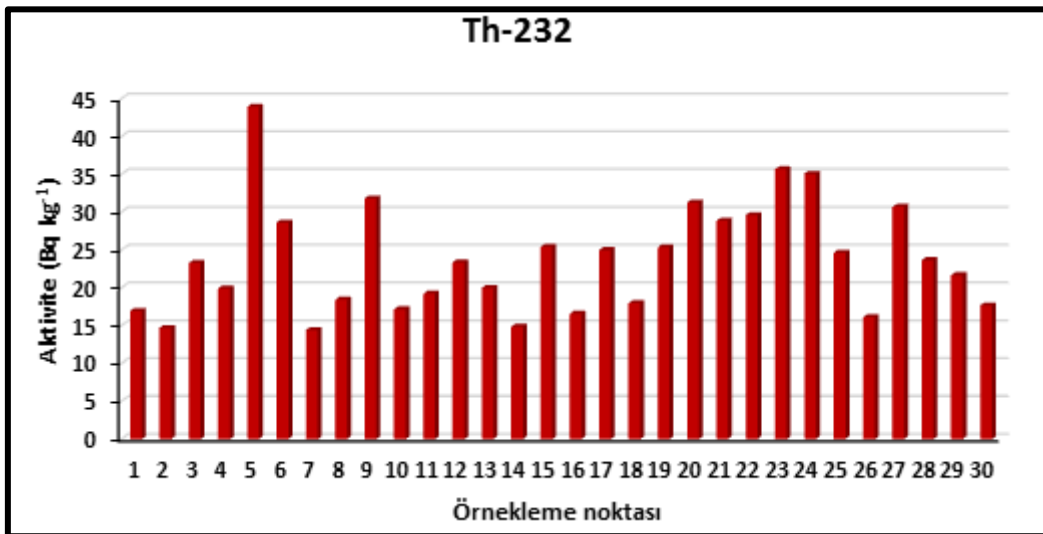
Şekil 4.4. Kış mevsiminde toplanmış toprak örneklerinin <sup>137</sup>Cs aktivite sonuçları

Yaz mevsiminde toplanan toprak örneklerindeki  $^{226}\text{Ra}$  aktivite konsantrasyonları şekil 4.5’ de gösterilmiştir. Yaz mevsiminde toplanan örneklerdeki  $^{226}\text{Ra}$  aktivite konsantrasyon değerleri 10,17 ile 45,95 Bq kg<sup>-1</sup> arasında değişmekte olup, ortalama 19,68 Bq kg<sup>-1</sup> olarak ölçülmüştür.



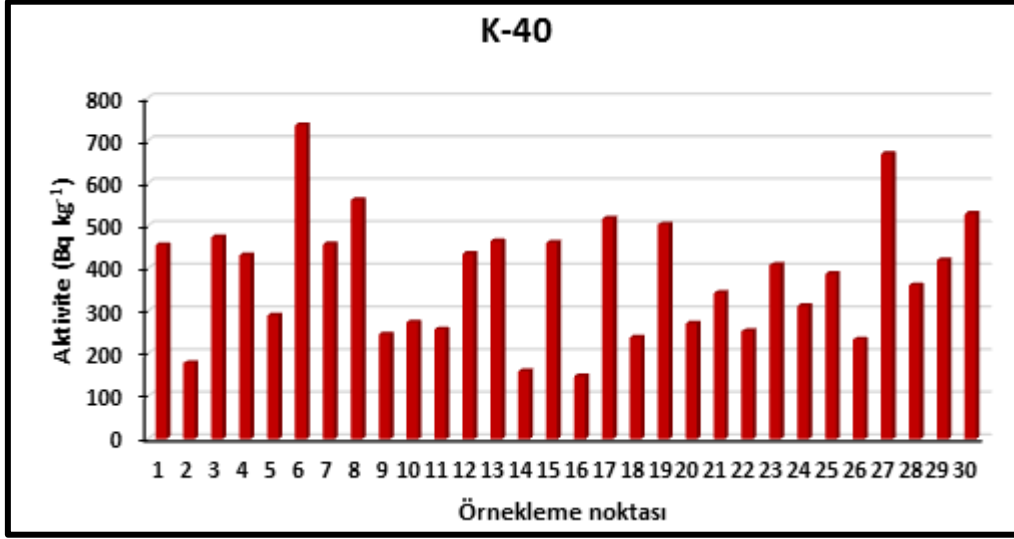
Şekil 4.5. Yaz mevsiminde toplanmış toprak örneklerinin  $^{226}\text{Ra}$  aktivite sonuçları

Yaz mevsiminde toplanan toprak örneklerindeki  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonları şekil 4.6’ da gösterilmiştir. Yaz mevsiminde toplanan örneklerdeki  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyon değerleri 14,42 ile 43,92 Bq kg<sup>-1</sup> arasında değişmekte olup, ortalama 23,73 Bq kg<sup>-1</sup> olarak ölçülmüştür.



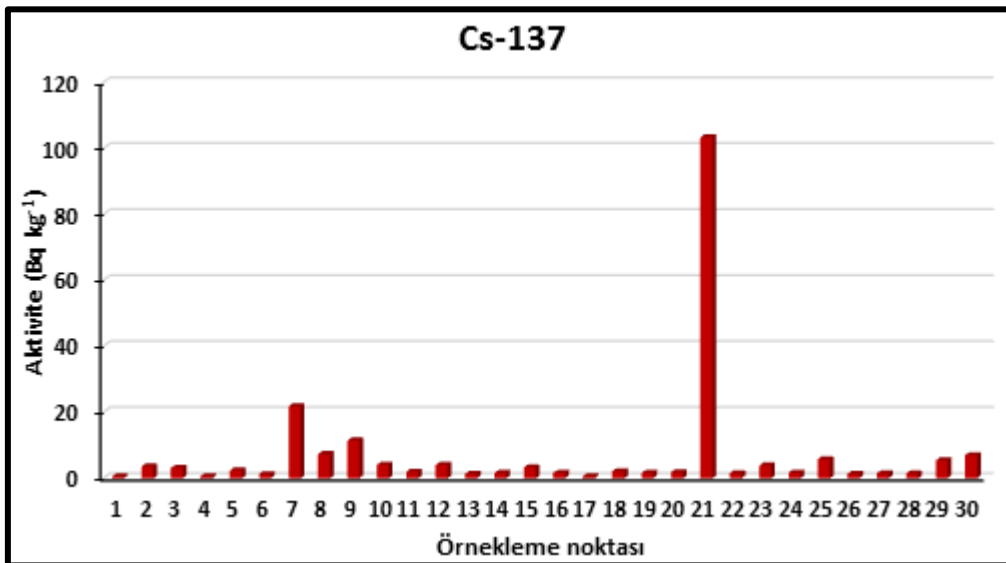
Şekil 4.6. Yaz mevsiminde toplanmış toprak örneklerinin  $^{232}\text{Th}$  aktivite sonuçları

Yaz mevsiminde toplanan toprak örneklerindeki  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonları şekil 4.7’ de gösterilmiştir. Yaz mevsiminde toplanan örneklerdeki  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyon değerleri 147,73 ile 737,50  $\text{Bq kg}^{-1}$  arasında değişmektedir.  $^{40}\text{K}$  ortalama konsantrasyonu 382,83  $\text{Bq kg}^{-1}$  dir.



Şekil 4.7. Yaz mevsiminde toplanmış toprak örneklerinin  $^{40}\text{K}$  aktivite sonuçları

Yaz mevsiminde toplanan toprak örneklerindeki  $^{137}\text{Cs}$  aktivite konsantrasyonları şekil 4.8’ de gösterilmiştir. Yaz mevsiminde toplanan örneklerdeki  $^{137}\text{Cs}$  aktivite konsantrasyon değerleri 0,53 ile 103,41  $\text{Bq kg}^{-1}$  arasında değişmektedir. Ortalama  $^{137}\text{Cs}$  konsantrasyonu ise 6,97  $\text{Bq kg}^{-1}$  olarak ölçülmüştür.



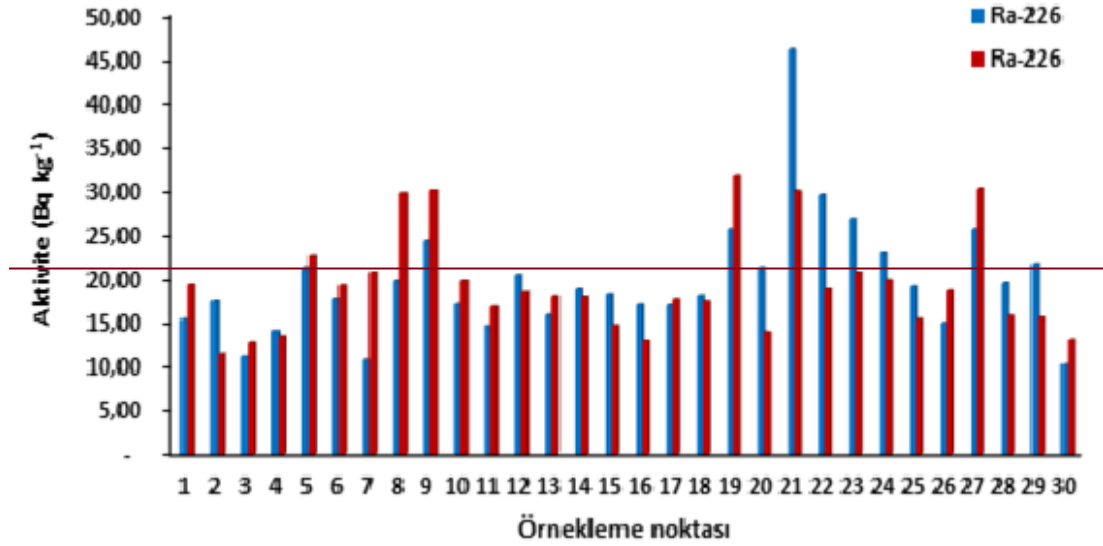
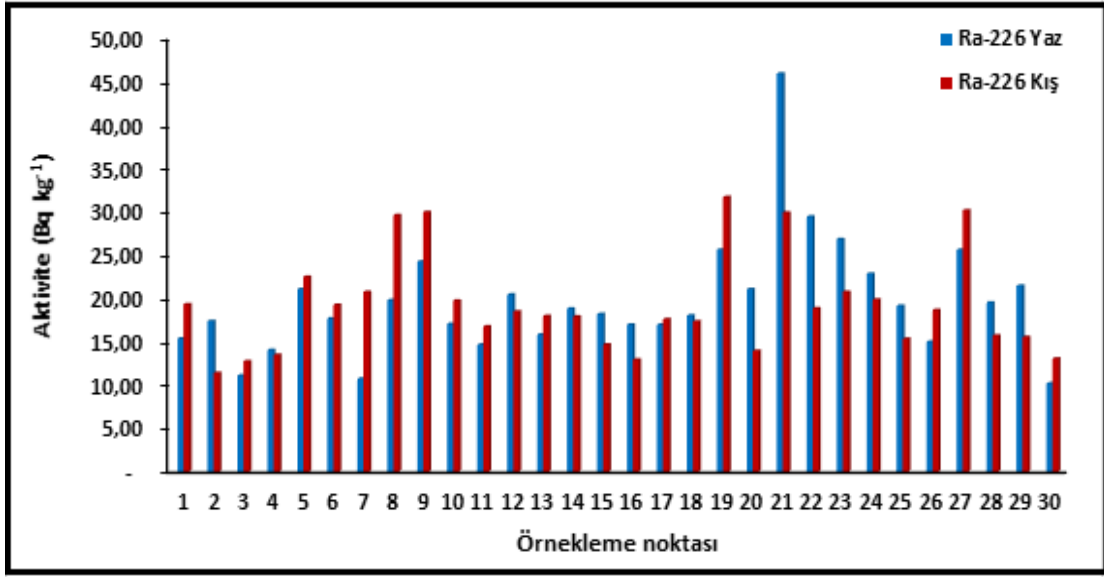
Şekil 4.8. Yaz mevsiminde toplanmış toprak örneklerinin  $^{137}\text{Cs}$  aktivite sonuçları

Çalışmada yaz ve kış periyotlarında toplanan toprak örneklerinde bulunan  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  radyonüklidlerinin ortalama aktivite konsantrasyon değerleri ile Dünya’ da ve Türkiye’ de farklı yerlerde yapılmış literatürdeki diğer çalışmalarda verilen değerler ile karşılaştırılmış ve çizelge 4.2’ de verilmiştir. Toprak örneklerinde elde edilen  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  ortalama aktivite konsantrasyonlarının Dünya ortalaması değerlerinden daha düşük olduğu tespit edilmiştir (UNSCEAR, 2000). Türkiye’ de yapılan çalışmalarla bu çalışmada elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında birbirine yakın değerler elde edildiği görülmüştür.

Çizelge 4.2. Türkiye ve Dünyada toprak örneklerindeki ortalama  $^{232}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  aktivitelerinin çalışmada bulunan değerlerle karşılaştırılması

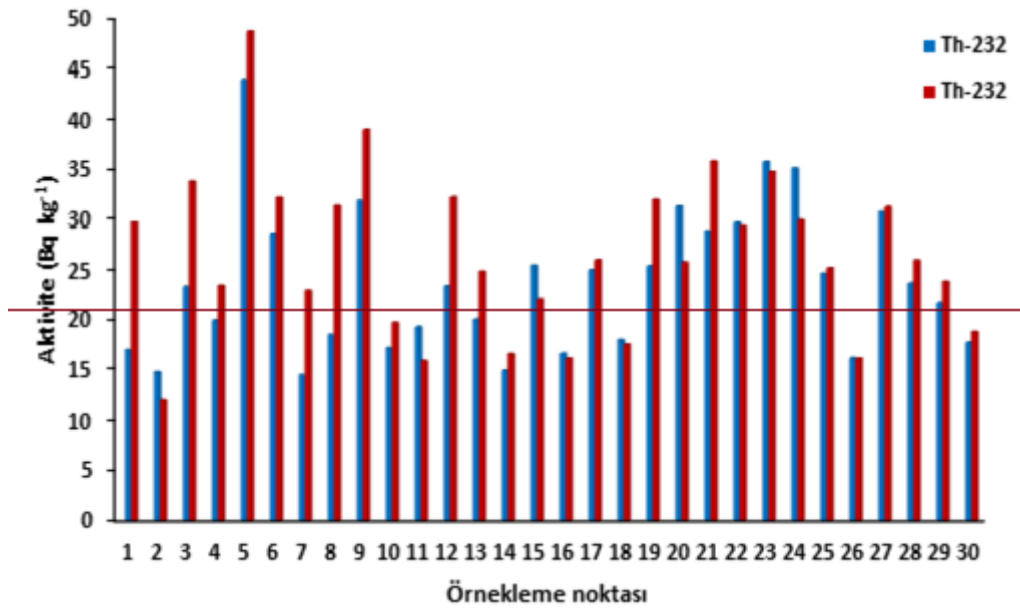
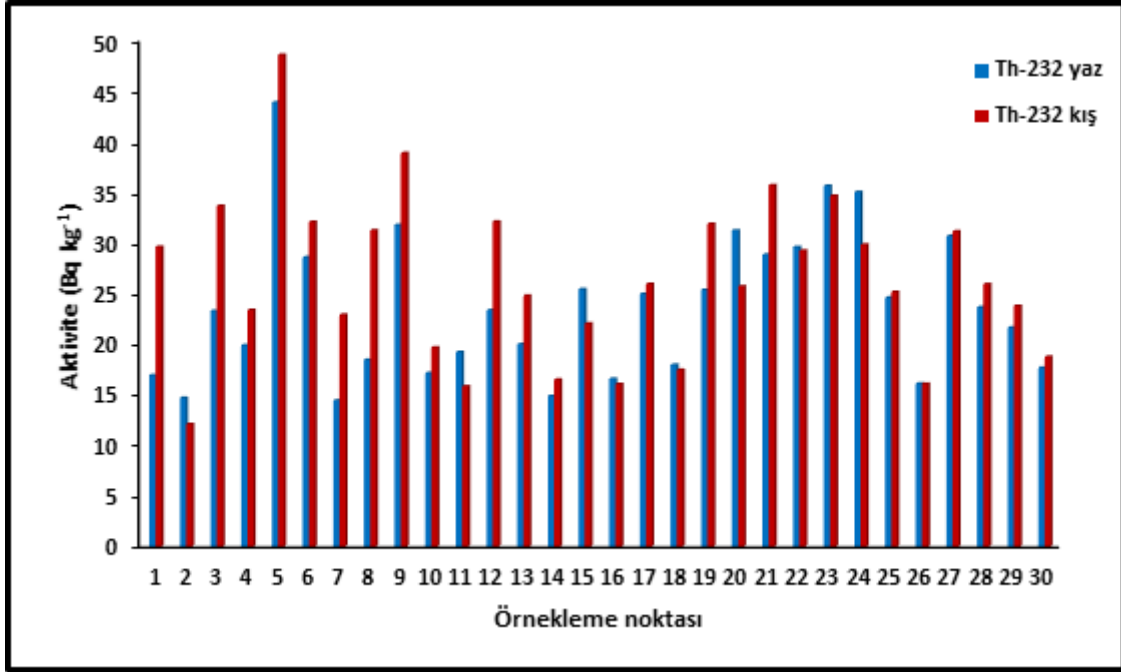
<b>Bölge</b>	$^{226}\text{Ra}$ (Bq kg <sup>-1</sup> )	$^{232}\text{Th}$ (Bq kg <sup>-1</sup> )	$^{40}\text{K}$ (Bq kg <sup>-1</sup> )	$^{137}\text{Cs}$ (Bq kg <sup>-1</sup> )	<b>Referans</b>
<b>Tekirdağ</b>	-	39	579	5	Yarar ve Kam, 2005
<b>Suriye</b>	26	2	336	30	Al-Marsi ve diğerleri.,2006
<b>Kastamonu</b>	37,40	27,17	431,43	8,02	Kam ve Bozkurt, 2007
<b>Kırklareli</b>	37	40	667	8	Taşkın ve diğerleri., 2009
<b>Hindistan</b>	22,60	92,80	434,10	-	Sowmya, 2010
<b>Yalova</b>	22,36	26,87	419,32	2,53	Kapdan ve diğerleri., 2011
<b>Küçük Menderes</b>	48,40	20,50	744,80	3,30	Aközcan, 2014
<b>Gümüşhane</b>	26,10	23,90	519,90	18,60	Kaya ve diğerleri., 2015
<b>Rize</b>	85,75	51,08	771,57	236,38	Dizman ve diğerleri., 2016
<b>Cameroon</b>	125	157	671	-	Nguelem ve diğerleri., 2016
<b>Ardahan</b>	-	36,7	435,1	15,5	Bilgici Cengiz, 2017

<b>Ürdün</b>	42	23	309	3,70	Alomari ve diğerleri., 2019
<b>Suudi Arabistan</b>	23,20	7,73	278	1,42	Alshahri ve El-Taher, 2019
<b>Worldwide</b>	35	45	420	-	UNSCEAR, 2000
<b>Kırkklareli-İğneada</b>	19,43	25,05	372,69	6,68	Bu Çalışma



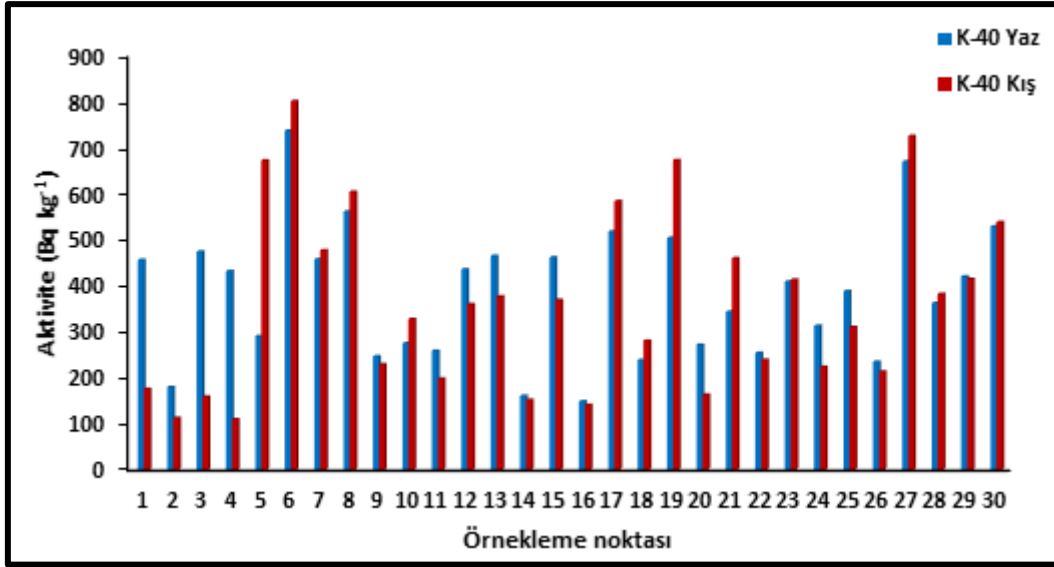
Şekil 4.9. Çalışmada elde edilen <sup>226</sup>Ra konsantrasyonlarının mevsimsel karşılaştırması

Çalışmada toprak örneklerinde elde edilen  $^{226}\text{Ra}$  ve  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonları yaz ve kış mevsimi olmak üzere karşılaştırılmış olup her iki radyonüklid için birbirine yakın değerler olduğu görülmüştür (Şekil 4.9 – 4.10).



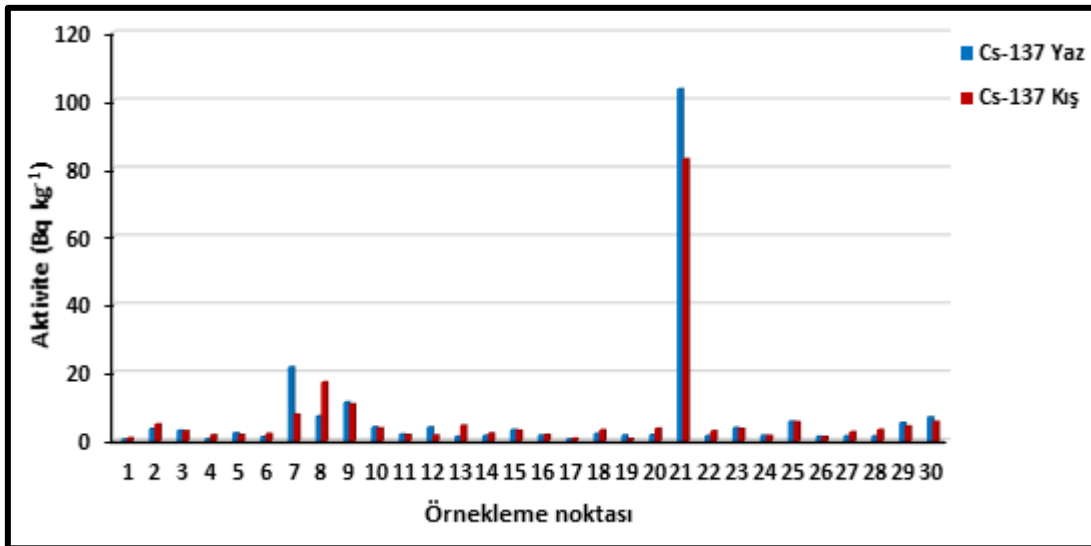
Şekil 4.10. Çalışmada elde edilen  $^{232}\text{Th}$  konsantrasyonlarının mevsimsel karşılaştırması





Şekil 4.11. Çalışmada elde edilen <sup>40</sup>K konsantrasyonlarının mevsimsel karşılaştırılması

Şekil 4.11’ deki çalışmada yaz ve kış mevsiminde toplanan toprak örneklerinden elde edilen <sup>40</sup>K konsantrasyonlarının mevsimsel karşılaştırılması verilmiştir. Karşılaştırmada genellikle her iki mevsimde de konsantrasyonların birbirine yakın değerler olduğu görülürken, özellikle ilk üç örnekleme noktasında kış mevsiminde elde edilen <sup>40</sup>K konsantrasyonları yaz mevsimine göre oldukça düşüktür.



Şekil 4.12. Çalışmada elde edilen <sup>137</sup>Cs konsantrasyonlarının mevsimsel karşılaştırılması

Çalışmada toprak örneklerinde elde edilen <sup>137</sup>Cs aktivite konsantrasyonları yaz ve kış mevsimi olmak üzere karşılaştırılmış olup, çoğunlukla her iki mevsim için birbirine

yakın değerler olduğu görülmüştür (şekil 4.12.). Fakat özellikle 21 numaralı örnekleme noktasında  $^{137}\text{Cs}$  aktivite konsantrasyonları hem kış hem de yaz mevsiminde belirgin bir artış göstermektedir. Bu noktada  $^{137}\text{Cs}$  aktivite konsantrasyonları diğer örnekleme noktalarına göre oldukça yüksektir.

#### 4.1. Toprak rneklerinde Doğal Radyasyondan Kaynaklanan Doz Hesapları

##### 4.1.1. Karasal gama doz hızı

Çalışmada Kırklareli ili İğneada bölgesinden toplanan toprak örneklerinde doğal radyasyondan kaynaklanan karasal gama doz hızları hesaplanmıştır. Gama doz hızı hesabı için yüzey topraklarında ölçülen  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonları aşağıdaki eşitlikte yerleştirilmiştir.

$$D(\text{nGy h}^{-1}) = 0,462 A_{\text{Ra}} + 0,604 A_{\text{Th}} + 0,0417 A_{\text{K}} \quad (4.1)$$

Burada  $A_{\text{Ra}}$ ,  $A_{\text{Th}}$ ,  $A_{\text{K}}$  sırası ile topraklarda ölçülen  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonlarıdır ve birimi  $\text{Bq kg}^{-1}$  dir (UNSCEAR, 2000).

Çalışmada elde edilen ortalama karasal gama doz hızı  $39,4 \text{ nGy h}^{-1}$  olup, bu sonucun dünya için müsaade edilen  $59 \text{ nGy h}^{-1}$  değerinin altında olduğu görülmüştür (UNSCEAR, 2000).

##### 4.1.2. Yıllık etkin doz eşdeğeri

Yıllık etkin doz eşdeğeri (AEDE) insanların farklı radyasyon kaynaklarından i ve dış ışınlanmaları sebebi ile 1 yıl süresince maruz oldukları radyasyon dozu olarak tanımlanır ve şu şekilde hesaplanır;

$$\text{AEDE} (\mu\text{Sv y}^{-1}) = [D(\text{nGy h}^{-1}) \times 0,7 \text{ Sv Gy}^{-1} \times 8760 \text{ h/y} \times 0,2] \times 10^{-3} \quad (4.2)$$

Yıllık etkin doz eşdeğeri hesaplanırken dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta insanların bu ışınlara ne kadar sürelerle maruz kaldıklarıdır. Buna meşguliyet faktörü denir ve insanın bir gün içinde vaktinin ne kadarını i ya da dış mekanlarda geçirdiği anlamına gelir. Burada dönüşüm katsayısı olarak  $0,7 \text{ Sv Gy}^{-1}$ , dış mekan kullanımı katsayısı ise  $0,2$  olarak alınmaktadır (UNSCEAR, 2000).

Çalışmada AEDE değerleri  $21,11$  ile  $83,16 \mu\text{Sv y}^{-1}$  arasında değişmektedir. Ortalama  $77,33 \mu\text{Sv y}^{-1}$  olarak hesaplanan dış gama radyasyonundan kaynaklanan yıllık etkin doz

eşdeğer için dünya ortalaması ise  $70 \mu\text{Sv y}^{-1}$  olarak verilmiştir (UNSCEAR, 2000). Buna göre çalışmada hesaplanan ortalama yıllık etkin doz değeri dünya için müsaade edilen değer üzerinde bulunmuştur.

#### 4.1.3. Radyum eşdeğer aktivite

$^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  radyonüklidlerin çevredeki dağılımları farklı miktarlardadır. Bu radyonüklidlerin spesifik aktivitelerini karşılaştırmak ve bu aktivitelerden dolayı maruz kalınan dozu standartlaştırmak için uluslararası ortak bir indeks tanımlanmış ve buna da radyum eşdeğer aktivitesi ( $R_{\text{eq}}$ ) denilmiştir (Çıyrak,2010; Dizman, 2016). Radyum eşdeğer aktivitesi ( $R_{\text{eq}}$ ) aşağıdaki ifade ile hesaplanır:

$$R_{\text{eq}} (\text{Bq kg}^{-1}) = A_{\text{Ra}} + 1,43 A_{\text{Th}} + 0,07 A_{\text{K}} \quad (4.3)$$

Burada,  $A_{\text{Ra}}$ ,  $A_{\text{Th}}$  ve  $A_{\text{K}}$  sırası ile topraklarda ölçülen  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  spesifik aktiviteleridir ve birimi  $\text{Bq kg}^{-1}$  dir.

Çalışmamızda tüm toprak örneklerinde elde edilen  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktiviteleri kullanılarak hesaplanmış, ortalama  $R_{\text{eq}}$  değeri  $83,95 \text{ Bg kg}^{-1}$  olarak bulunmuştur. Dünya’ da radyum eşdeğer aktivitesi için tavsiye edilen maksimum değer  $370 \text{ Bg kg}^{-1}$  olarak belirlenmiş olup çalışmamızda elde edilen sonuçların bu değer altında olduğu görülmüştür (UNSCEAR, 2000).

#### 4.1.4. Dış tehlike indeksi ( $H_{\text{ex}}$ )

Dış kaynaklı bir tehlikeyi ifade etmek için dış tehlike indeksi ( $H_{\text{ex}}$ ) ifadesi kullanılır. Radyasyon zararının önemsiz olabilmesi için  $H_{\text{ex}}$ ’ in 1’ den küçük olması gerekmektedir. Dış tehlike indeksi şu şekilde tanımlanır:

$$H_{\text{ex}} = A_{\text{Ra}} / 370 + A_{\text{Th}} / 259 + A_{\text{K}} / 4810 \leq 1 \quad (4.4)$$

Burada  $A_{\text{Ra}}$ ,  $A_{\text{Th}}$  ve  $A_{\text{K}}$  sırası ile topraklarda ölçülen  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  spesifik aktiviteleridir ve birimi  $\text{Bg kg}^{-1}$  dir (Aközcan, 2014).

Çalışmada toprak örneklerinden elde edilen aktivite konsantrasyonları kullanılarak hesaplanan  $H_{\text{ex}}$  değerleri 0,10 ile 0,39 arasında değişmekte olup tüm değerlerimiz 1’ in altında bulunmuştur.

#### 4.1.5. Yaşam boyu kanser riski

Bir insanın yaşam süresince aldığı radyasyon dozlarından kaynaklanabilecek potansiyel kanserojen etkiler ile kanser olma olasılığı tahmin edilebilir. Bu sebeple yaşam boyu kanser riski terimi kullanılır ve aşağıdaki ifade ile hesaplanır (Başaran, 2019).

$$ELRC = AEDE \times DL \times RF \quad (4.5)$$

Burada AEDE yıllık etkin doz eşdeğeri, DL yaşam süresi (ortalama 70 yıl olarak alınmaktadır) ve RF ise risk faktörünü ( $Sv^{-1}$ ) ifade etmektedir. Risk faktörü için ICRP tarafından toplum için önerilen değer 0,05' dir (ICRP, 2007).

Çalışmada elde edilen yaşam boyu kanser riski ortalama değeri  $0,17 \times 10^{-3}$  ( $0,07 \times 10^{-3}$  ile  $0,29 \times 10^{-3}$ ) olarak bulunmuş olup, dünya ortalaması olan  $0,290 \times 10^{-3}$  değerinin altındadır.



## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Kırklareli-İğneada bölgesine otuz (30) farklı noktadan yaz ve kış mevsimlerinde toplanan toprak örneklerinde doğal ( $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$ ) ve yapay ( $^{137}\text{Cs}$ ) radyonüklidlerin aktivite konsantrasyonları gama ışını spektroskopisi kullanılarak incelenmiştir. Ayrıca elde edilen değerler kullanılarak radyolojik tehlike indeksleri de hesaplanmıştır ve Türkiye’ de ve Dünya’ da farklı bölgelerde yapılmış olan çalışmalarla karşılaştırılmıştır.

İnceleme alanı Türkiye açısından önemli bir konumda yer almaktadır. İğneada hem turizm açısından Dünya’ da nadir bulunan Longoz Ormanları açısından turistik bir öneme sahipken, Bulgaristan sınırında ve Karadeniz’ e kıyısının bulunması nedeniyle de coğrafi olarak önemlidir.

Çalışmada doğal radyonüklidlerin dünya ortalama değerleriyle kıyaslandığında normal seviyelerde olduğu görülürken bazı örnekleme noktalarında  $^{137}\text{Cs}$  konsantrasyonları yüksek çıkmıştır.

$^{137}\text{Cs}$  nükleer denemeler ya da nükleer santrallerde meydana gelen kazalar sonucu atmosfere yayılan yapay bir radyonükliddir. Herhangi bir nedenle atmosfere yayılan  $^{137}\text{Cs}$  aktivitesinin büyük bir kısmı serpinti (fallout) olarak havadan gelerek toprakta birikir. Bilindiği gibi 1986 yılında Çernobil nükleer reaktör kazası sonucu birçok ülke gibi Türkiye’ de radyoaktif açıdan etkilenmiştir. Türkiye’de özellikle Karadeniz ve Marmara bölgesi daha çok etkilenmiştir. Türkiye’ de özellikle sınır bölgelerinin radyoaktivite açısından incelenmesi bu sebeple önem arz etmektedir. Bu açıdan bakıldığı zaman şimdiye kadar İğneada bölgesi radyoaktivite açısından hiç incelenmemiştir. Bu çalışma ile bir veri elde edilecek ve daha sonra yapılan çalışmalara ışık tutulacaktır.



## KAYNAKLAR

- Ağar, O.** (2016). *Bazı toprak numunelerinde ağır metal konsantrasyonlarının fotoaktivasyon analizi ile belirlenmesi* (Doktora tezi). Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya.
- Akkaya, G.** (2011). *Bursa ili toprak numunelerinde radyonüklid dağılımının incelenmesi* (Doktora Tezi) . Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa
- Aközcan, S.** (2009). *Didim ve İzmir körfezi sediment, deniz suyu ve farklı deniz organizmalarında bazı radyonüklid ve ağır metal düzeylerinin izlenmesi* (Doktora tezi). Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir
- Aközcan, S.** (2014). Natural and artificial radioactivity levels and hazard of soil in the Küçük Menderes Basın, Turkey. *Environ Earth Sci*, 71, 4611-4614.
- Al-Masri, M. S., Amin, Y., Hassan, M., Ibrahim, S.** (2006). External gamma-radiation dose to Syrian population based on the measurement of gamma-emitter in soils. *J Radioanal Nucl Chem.* 267(2):337-343. *Doi:10.1007/s10967-006-0052-6.*
- Alomari, A. H., Saleh M. A., Hashim S., Alsayaheen A., Abukashabeh A.** (2019). Statistical relationship between activity concentrations of radionuclides <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th, <sup>40</sup>K and <sup>137</sup>Cs and geological formations in surface soil of Jordan. *Isotopes in environmental and health studies volume 55, 2019-Issue 2.*
- Alshahri, F., El-Taher, A.** (2019). Investigation of natural radioactivity levels and evaluation of radiation hazards in residential-area soil near a Ras Tanura Refinery, Saudi Arabia, *Pol. J. Environ. Stud: Vol. 28, No. 1, 25-34.*
- Altinkaya, E.** (2010). *Beyşehir Gölü çevresindeki doğal radyasyon doz düzeylerinin araştırılması* (Yüksek lisans tezi). Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Altıkulaç, A.** (2014). *Samsun ve ilçelerine ait çevresel örneklerdeki (yüzey toprağı, su, mantar ve karalahana) doğal radyoaktivitenin ölçülmesi ve bu radyoaktiviteden kaynaklanan yıllık etkin dozun belirlenmesi* (Yüksek lisans tezi). Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Başaran, H.** (2019). *Nevşehir ilinde kanser yoğunluğu gözlenen yerleşim birimlerinin yüzey topraklarının radyolojik açıdan incelenerek yıllık etkin doz eşdeğerlerinin bulunması* (Yüksek lisans tezi). Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Nevşehir.



- Berker, S.** (2014). *Merin Akkuyu sahillerinden alınan kum örneklerindeki doğal radyoaktivite düzeyinin belirlenmesi* (Yüksek lisans tezi). Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin.
- Bilgici Cengiz, G.** (2017). *Natural radioactivity analysis in soil samples of Ardahan province, Turkey for the assessment of the average effective dose*, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 21 (6), 1583~1590, 2017.
- Bostancı, S.** (2011). *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Kurupelit Kampüsü ve Samsun il merkezinin doğal radyoaktivite seviyesinin belirlenmesi* (Yüksek lisans tezi). Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Çağlar, İ.** (2014). *Akyaka Arpaçay ve Susuz ilçelerinde doğal radyoaktivite seviyelerinin belirlenmesi* (Yüksek lisans tezi). Kafkas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kars.
- Çavaş, M.** (2006). *NaI(Tl) dedektörleri ile topraktaki radyasyonun ölçümü ve maruz kalınan dozların hesabı* (Yüksek lisans tezi). Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- Çıyrak, N.** (2010). *Bergama Kozak granit alanının doğal radyasyon seviyesinin belirlenmesi ve karasal doz hızının tayin edilmesi* (Yüksek lisans tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Çubukçu, M.** (2018). *Kocaeli Karadeniz sahilleri toprak numunelerindeki radyasyon seviyelerinin ölçülmesi* (Yüksek lisans tezi). Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Dizman, S.** (2016). Natural radioactivity levels in pileki stone and soil samples taken from Pileki Cave in Rize province, *Adıyaman University journal of science*, 6 (2) 217-232
- Dizman, S., Görür, F. K., Keser, R.** (2016). Determination of radioactivity levels of soil samples and the excess of lifetime cancer risk in Rize province, Turkey, *International journal of radiation research*, volume 14, no:3.
- El-Gamal, H., Hussien, M. T., Saleh, E. E.** (2019). *Evaluation of natural radioactivity levels in soil and various foodstuffs from Delta Abyan, Yemen*. Journal of Radiation Research and Applied Sciences 12(1), 226-233.
- Gezer, F.** (2011). *Fosfojips' in doğal radyoaktifliğinin belirlenmesi* (Yüksek lisans tezi). Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Gönen, E.** (2012). *Edirne ilinin çevresel radyoaktivitesinin belirlenmesi* (Doktora tezi). Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Gündoğdu, B.** (2019). *Türkiye'de yetiştirilen farklı gıda ürünlerindeki radyoaktivite seviyelerinin gama spektroskopisi ile ölçülmesi*

(Yüksek lisans tezi). İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

**Hatipoğlu, D.** (2017). *Kalker tozu, Kırklareli mermerleri ve alüminyum için gama zayıflatma katsayısının hesaplanması* (Yüksek lisans tezi). Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.

**ICRP** (2007). *Recommendations of the ICRP: Annals of the ICRP (International commission on radiological protection)* Volume 37, 2-4.

**Kahveci, Ö.** (2019). *Ergene nehri havzasının radyoaktivite düzeyinin belirlenmesi* (Yüksek lisans tezi). Kırklareli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırklareli.

**Kam, E., Bozkurt A.** (2007). Environmental radioactivity measurements in Kastamonu region of northern Turkey. *Appl Radiat Isot*, 65: 440-444.

**Kapdan, E., Varinlioglu, A., Karahan, G.** (2011). Radioactivity levels and health risks due to radionuclides in the soil of Yalova, Northwestern Turkey, *Int. J. Environ. Res*, 5(4): 837-846.

**Karadeniz, A.** (2013). *Ordu, Giresun ve Trabzon illeri sahil kumlarında doğal gama radyoaktivitesinin belirlenmesi* (Yüksek lisans tezi). Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

**Kaya, S., Karabıdak S. M., Çevik, U.** (2015). Gümüşhane ili çevresinde toplanan toprak ve karayosunu örneklerinde doğal ( $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$ ) ve yapay ( $^{137}\text{Cs}$ ) radyoaktivite konsantrasyonlarının belirlenmesi. *Güfbed/Gustij* 5 (1) 24-33.

**Keser, R.** (2009). *Rize ili sahil kumlarında ve bazı kayalarda doğal gama radyoaktivite seviyelerinin belirlenmesi* (Doktora tezi). Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

**Kılıçaslan, S.** (2016). *Tokat-Sivas bölgeleri için toprak ve traverten örneklerinde radyoaktivite tayini* (Yüksek lisans tezi). Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat.

**Mouandza, S. Y. L., Moubissi, A. B., Abiama, P. E., Ekogo, T. B., Ben-Bolie, G. H.** (2018). *Study of natural radioactivity to Assess of radiation hazards from soil samples collected from Mounana in south-east of Gabon*. International Journal of Radiation Research 16(4).

**Nguelem, E. J. M., Ndontchueng, M. M., Motapon, O.** (2016). *Determination of  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{235}\text{U}$  and  $^{238}\text{U}$  activity concentration and public dose assessment in soil samples from bauxite core deposits in Western Cameroon*, Springerplus; 5(1): 1253.

- Olçay, İ.** (2007). *Radyasyon dedeksiyonunda kullanılan yarı-iletken dedektör tipleri, özellikleri ve kullanım alanları* (Yüksek lisans tezi). Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.
- Özavcı, S.** (2017). *Farklı katkılanmış betonların radyasyon zırhlama üzerine etkileri* (Yüksek lisans tezi). Amasya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Amasya.
- Özden, S.** (2020). *Kırklareli ve çevresinde radyoaktivite düzeyinin belirlenmesi ve insan sağlığı ile çevre kirliliği açısından değerlendirilmesi* (Doktora tezi). Kırklareli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırklareli.
- Özger, A. G.** (2005). *Ceyhan, Yumurtalık ve Pozantı bölgelerinin doğal radyoaktivite düzeylerinin belirlenmesi* (Yüksek lisans tezi). Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Özken, İ.** (2011). *Aliğa-İzmir çevresinde doğal radyoaktivite düzeyinin belirlenmesi* (Yüksek lisans tezi). Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Öztürk, M. B.** (2016). *Dereköy, Hamzabeyli ve Pazarkule sınır kapılarından alınan topraklarda radyonüklid miktarının ölçülmesi ve doz hesaplanması* (Yüksek lisans tezi). Kırklareli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırklareli.
- Özyavuz, M.** (2008). *Yıldız Dağlarının İğneada Demirköy arasında yer alan bölümünün biyosfer rezervi olarak planlanması* (Doktora tezi). Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Saç, M. M., Ekin, K.** (2016). *İzmir-Urla bölgesi tarım topraklarında doğal radyoaktivitenin belirlenmesi*. Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi, cilt 53, sayı 2, sayfalar 189-193.
- Santawamaitre, T., Malain, D., Al-Sulaiti, H. A., Bradley, D. A., Matthews, M. C., Regan, P. H.** (2014). *Determination of  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  and  $^{40}\text{K}$  activity concentrations in riverbank soil along the Chao Phraya river basin in Thailand*, Journal of Environmental Radioactivity, 138, Pages 80-86.
- Sowmya, M., Senthilkumar, B., Seshan, B. R. R., Hariharan, G., Purvaja, R., Ramkumar, S., Ramesh, R.** (2010). Natural radioactivity and associated dose rates in soil samples from Kalpakkam, South India, *Volume 141, Issue 3, October 2010, Pages 239-247*.
- Topçuoğlu, S.** (2011). *Geiger Müller sayıcı sistem tasarımı* (Yüksek lisans tezi). Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- TAEK** (2013). *Türkiye çevresel radyoaktivite atlası*, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu.
- Taskin, H., Karavus, M., Ay, P., Topuzoğlu, A., Hidiroğlu, S., Karahan, G.** (2009). Radionuclide concentrations in soil and life me cancer risk due to gamma radioactivity in Kırklareli, Turkey. *J Environ Radioac.v*, 100:49-53.

- UNSCEAR** (2000). Radiation sources and effects of ionizing radiation. *Report to General Assembly, with Scientific Annexes*. United Nations, New York.
- Url-1** <<http://www.maphill.com/turkey/kirklareli/igneada/location-maps/satellite-map/>>, erişim tarihi 20.04.2020.
- Vera Tomé, F., Blanco Rodríguez, P., Lozano, J.C.** (2002). *Distribution and mobilization of U, Th and <sup>226</sup>Ra in the plant-soil compartments of a mineralized uranium area in South-west Spain*, Journal of Environmental Radioactivity 59(1):41-60.
- Wu, C., Dong, S., Zhao, D.** (1993). *Investigation of natural radionuclide contents in soil in Heilongjiang province*, Radialization Protection, 4.
- Yarar, Y., Kam, E.** (2005). *Environmental radioactivity concentrations of Tekirdağ*, Int Congr Ser 1276:387-389.
- Yılmaz, F. V.** (2017). *Sinop ve Akkuyu' da kurulacak Nükleer Santral alanı çevresinde doğal radyoaktivite seviyesinin belirlenmesi* (Yüksek lisans tezi). Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.



## ÖZGEÇMİŞ

<b>Kişisel Bilgiler</b>	
Adı Soyadı	Sema Yaprak AYDIN
Doğum Yeri	Sivas
Doğum Tarihi	09/09/1983
Uyruğu	T.C.
Telefon	0 545 859 58 85
E-Posta Adresi	Yaprak_666@hotmail.com
Web Adresi	

<b>Eğitim Bilgileri</b>	
<b>Lisans</b>	
Üniversite	Uludağ Üniversitesi
Fakülte	Fen-Edebiyat
Bölümü	Fizik
Mezuniyet Yılı	2009

<b>Yüksek Lisans</b>	
Üniversite	Kırklareli Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Fizik Anabilim Dalı
Programı	Fizik

<b>Doktora</b>	
Üniversite	
Enstitü Adı	
Anabilim Dalı	
Program Adı	

<b>Makale ve Bildiriler</b>	