

T.C.
KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ERGENE NEHRİ HAVZASININ
RADYOAKTİVİTE DÜZEYİNİN BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Özkan KAHVECİ

FİZİK ANABİLİM DALI

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Serpil AKÖZCAN

Mayıs 2019

T.C.
KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ERGENE NEHRİ HAVZASININ
RADYOAKTİVİTE DÜZEYİNİN BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Özkan KAHVECİ

1148201102

FİZİK ANABİLİM DALI

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Serpil AKÖZCAN

Mayıs 2019

Kırklareli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 1148201102 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Özkan KAHVECİ**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**ERGENE NEHRİ HAVZASININ RADYOAKTİVİTE DÜZEYİNİN BELİRLENMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Serpil AKÖZCAN
Kırklareli Üniversitesi

Jüri Üyeleri : Dr. Öğretim Üyesi Burhan COŞKUN
Kırklareli Üniversitesi

Dr. Öğretim Üyesi Osman GÜNAY
İstanbul Okan Üniversitesi

Teslim Tarihi : 9 Mayıs 2019
Savunma Tarihi : 29 Mayıs 2019

Babam, Eşim ve Çocuklarıma,

ÖNSÖZ

Ergene nehri ve havzasının çevresel radyoaktivitesinin belirlenmesi amaçlanan bu çalışma, Kırklareli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlandı.

Yüksek lisans tez çalışmasına başladığım ilk günden itibaren, karşılaştığım tüm güçlüklerin aşılmasında beni yönlendiren, her türlü desteği sağlayan, zaman ve bilgisini esirgemeyen çok değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Serpil AKÖZCAN' a en içten teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Arazi çalışmasında toplamış olduğum toprak ve sediment numunelerinin gama spektrometrik analizleri “Kırklareli Üniversitesi İleri Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezi”nde yapıldı. İleri Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezi’nde yapmış olduğum çalışmalardan dolayı başta Kırklareli Üniversitesi Yönetimi olmak üzere tüm kurum çalışanlarına teşekkür ederim.

Yüksek Lisans Eğitimi almama büyük katkıda bulunan öğretmen arkadaşım Sevinç TATLIPINAR' a teşekkürlerimi sunarım.

Akademik çalışmalarım süresince bana hertürlü desteği veren ve beni yalnız bırakmayan arkadaşım sayın Tuğrul YAVUZ' a saygı ve sevgilerimi sunarım.

Çalışmamın her aşamasında yanımda olan, manevi desteğini her zaman hissettiğim eşim Özden ÖZCAN KAHVECİ' ye saygı ve sevgilerimi sunarım.

Mayıs 2019

Özkan KAHVECİ
Fizik Öğretmeni

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde bizzat elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada özgün olmayan tüm kaynaklara eksiksiz atıf yapıldığını, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ediyorum.

Özkan KAHVECİ

09/05/2019

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	ix
KISALTMALAR.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
SEMBOL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xix
ABSTRACT.....	xxi
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	7
2.1.Radyoaktivite	7
2.2.Radyasyon ve Radyasyon Çeşitleri	8
2.2.1. Alfa parçacıkları	9
2.2.2. Beta parçacıkları.....	9
2.2.3. Gama ışınları	10
2.2.4. X-ışınları	10
2.2.5. Nötronlar	10
2.3. Radyasyon Birimleri.....	11
2.3.1. Aktivite birimi	11
2.3.2. Işınlanma doz birimi.....	12
2.3.3. Soğrulma doz birimi	12
2.3.4. Eşdeğer doz birimi.....	13
2.4. Radyasyon Kaynakları	14
2.4.1. Doğal radyasyon kaynakları	15
2.4.1.1. Kozmik radyasyon	17
2.4.1.2. Karasal radyasyon.....	19
2.4.1.2.1. Topraktaki doğal radyoaktivite.....	24
2.4.1.2.2. Sulardaki doğal radyoaktivite.....	26
2.4.1.2.3 Yiyeceklerdeki doğal radyoaktivite.....	27
2.4.1.2.4. İnsan vücudunda bulunan doğal radyoaktivite.....	28
2.4.2. Yapay radyasyon kaynakları.....	29
2.4.3. Gama şını dedektörleri.....	31
2.4.3.1. Sintilasyon dedektörleri	31
2.4.3.2. Yarı iletken dedektörler (HPGe Detektörler).....	33
3. MATERYAL VE METOT	35
3.1. Ergene Havzası	36
3.2. Ergene Nehri	37
3.3. Örneklerin Toplanması ve Sayıma Hazırlanması	38
3.4. Araştırmada Kullanılan Ölçüm Sistemi.....	41
3.5. Hesaplanan Radyasyon Parametreleri	44
3.5.1.Karasal soğurulan gama doz hızı (D).....	45
3.5.2. Yıllık etkin doz eşdeğeri (AEDE)	45

3.5.3. Radyum eşdeğer aktivitesi (Ra_{eq})	45
3.5.4. Dış tehlike indeksi (Hex).....	46
3.5.5. Yıllık gonadal doz eşdeğeri (AGDE)	46
3.5.6. Yaşam boyu kanser riski (ELCR).....	47
4.SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	49
4.1. Toprak Örneklerindeki ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs 'nin Aktivite Konsantrasyonları.....	49
4.2.Sediment Örneklerindeki ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs 'nin Aktivite Konsantrasyonları.....	54
4.3. Gama Radyasyon Doz Oranları.....	60
KAYNAKLAR.....	63
ÖZGEÇMİŞ.....	71

KISALTMALAR

AEDE	: Annual Effective Dose Equivalent
AGDE	: Annual Gonadal Dose Equivalent
ELCR	: Excess Lifetime Cancer Risk
EPA	: United States Environmental Protection Agency
Hex	: Dış Tehlike İndeksi
HPGe	: High-Purity Germanium Detector
IAEA	: International Atomic Energy Agency
ICRP	: International Commission on Radiological Protection
ICRU	: International Commission on Radiation Units and Measurements
İSKİ	: İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi
LHC	: Large Hadron Collider
NCRP	: National Council on Radiation Protection and Measurements
SI	: Uluslararası Birim Sistemi
TAEK	: Türkiye Atom Enerji Kurumu
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
UNSCEAR	: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
WHO	: World Health Organisation
YEDE	: Yıllık Etkin Doz Eşdeğer

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1: Radyasyon birimleri ve dönüşüm faktörleri.....	11
Çizelge 2.2: Farklı radyasyon türleri için kalite faktörleri.....	13
Çizelge 2.3: Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan ortalama radyasyon doz değerleri.....	16
Çizelge 2.4: Temel kozmojenik radyonüklitler.....	19
Çizelge 2.5: Doğal radyoaktif seriler.....	20
Çizelge 2.6: Toprakta bulunan önemli doğal radyasyon kaynakları ve yarı ömrüleri	24
Çizelge 2.7: Çeşitli kaya tiplerinden gelen gama radyasyonu doz oranları.....	25
Çizelge 2.8: Toprakta bulunan doğal radyoizotop konsantrasyonları.....	25
Çizelge 2.9: İçme sularında toplam alfa ve beta aktivitesi için kullanılan limitler	27
Çizelge 2.10: Bazı yiyeceklerdeki ⁴⁰ K ve ²²⁶ Ra değerleri.....	28
Çizelge 2.11: İnsanın vücudundaki doğal radyoaktivite	29
Çizelge 2.12: Yapay radyasyon kaynaklarında üretilen radyoaktif çekirdekler.....	30
Çizelge 3.1: Ergene havzası numune toplanan yerlerin koordinatları.....	36
Çizelge 3.2: Standart kaynağın özellikleri.....	44
Çizelge 4.1: Çalışmada toprak örneklerinde bulunan değerler ile Türkiye ve Dünya ortalamalarının karşılaştırması.....	53
Çizelge 4.2: Çalışmada toprak örneklerinde bulunan değerler ile Türkiye ve Dünya ortalamalarının karşılaştırması.....	59
Çizelge 4.3: Çalışmada toprak örneklerinde bulunan değerler ile Türkiye ve Dünya ortalamalarının karşılaştırması.....	60

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Radyasyon türleri.....	8
Şekil 2.2: Elektromanyetik spektrum	9
Şekil 2.3:Doğal ve yapay radyasyon kaynaklarının küresel radyasyon dozuna oransal katkıları.....	14
Şekil 2.4: Doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan küresel radyasyon doz ..	15
Şekil 2.5: Kozmik radyasyon	17
Şekil 2.6: Radyum (Uranyum) serisinin bozunma şeması	21
Şekil 2.7: Aktinyum serisinin bozunma şeması	21
Şekil 2.8: Toryum serisinin bozunma şeması	22
Şekil 2.9: Neptinyum serisinin bozunma şeması	23
Şekil 2.10: Yapay radyasyon kaynaklarının ve bu kaynaklardan yayınlanan radyasyonların oransal değerleri	30
Şekil 2.11: NaI Sintilasyon dedektör şeması.....	32
Şekil 2.12: NaI Sintilasyon dedektör şeması	33
Şekil 2.13: Yarı iletken dedektör şeması	34
Şekil 3.1: Toprak ve sediment örneklerinin toplandığı noktalar.....	35
Şekil 3.2: Örneklerin toplandığı yerler (Ergene Nehri).....	38
Şekil 3.3: Sediment ve toprak örneklerinin toplanması.....	39
Şekil 3.4: Laboratuvara getirilen örnekler	39
Şekil 3.5: Örneklerin kurutulma işlemleri.	40
Şekil 3.6 : Sayıma hazır hale gelmiş örnekler.....	41
Şekil 3.7: Gama spektrometresinin şematik şekli.....	42
Şekil 3.8: Kırklareli Üniversitesi Merkezi Araştırma Labaratuvarında bulunan HPGe Gama ışını dedektörü.....	43
Şekil 4.1: Toprak örneklerine ait ²²⁶ Ra aktivite konsantrasyon değişimi.....	50
Şekil 4.2: Toprak örneklerine ait ²³² Th aktivite konsantrasyon değişimi.....	50
Şekil 4.3: Toprak örneklerine ait ⁴⁰ K aktivite konsantrasyon değişimi.....	51
Şekil 4.4: Toprak örneklerine ait ¹³⁷ Cs aktivite konsantrasyon değişimi	52
Şekil 4.5: Sediment örneklerine ait ²²⁶ Ra aktivite konsantrasyon değişimi	52
Şekil 4.6: Sediment örneklerine ait ²³² Th aktivite konsantrasyon değişimi	54

Şekil 4.7: Sediment örneklerine ait ^{40}K aktivite konsantrasyon değişimi	55
Şekil 4.8: Sediment örneklerine ait ^{137}Cs aktivite konsantrasyon değişimi.	56
Şekil 4.9: Sediment ve toprak örneklerine ait ^{226}Ra konsantrasyon karşılaştırması.....	57
Şekil 4.10: Sediment ve toprak örneklerine ait ^{232}Th konsantrasyon karşılaştırması.....	57
Şekil 4.11: Sediment ve toprak örneklerine ait ^{40}K konsantrasyon karşılaştırması	58
Şekil 4.12: Sediment ve toprak örneklerine ait ^{137}Cs konsantrasyon karşılaştırması.....	58
Şekil 4.13: Kanser riski % lik dağılımı.....	61

SEMBOL LİSTESİ

α	: Alfa Parçacığı
β	: Beta Parçacığı
β^-	: Beta Eksi Bozunması
β^+	: Beta Artı Bozunması
Bq	: Becquerel, Radyoaktivite Birimi
Ci	: Curie, Radyoaktivite Birimi
D	: Havadaki Soğrulan Doz Hızı
E	: Enerji (keV, MeV)
γ	: Gama Parçacığı
Gy	: Gray, Absorblanmış Doz Birimi
H_{ex}	: Dış Tehlike İndeksi
I	: Gama Işının Şiddeti
μ	: Mikro, Alt Birim (10^{-6})
n	: Nano, Alt Birim (10^{-9})
p	: Piko, Alt Birim (10^{-12})
R	: Röntgen, Radyasyon Şiddet Birimi
Ra_{eq}	: Radyum Eşdeğer Aktivitesi
Sv	: Sievert, Eşdeğer Doz Birimi

ERGENE NEHRİ HAVZASININ RADYOAKTİVİTE DÜZEYİNİN BELİRLENMESİ

ÖZET

Çevredeki radyasyon doğal ve yapay kaynaklara sahiptir. ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K gibi doğal ve ^{137}Cs gibi yapay radyoaktif elementler toprakta ve sedimentte değişik konsantrasyonlarda bulunur.

Bu tez çalışmasında Ergene Nehri ve Havzası'ndan alınan sediment ve toprak örneklerindeki radyoaktivite seviyesinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Örneklerdeki ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ^{137}Cs radyoaktivite konsantrasyonları gama spektrometresi kullanılarak ölçülmüştür.

Toprak örneklerinde radyoaktivite konsantrasyon ortalamaları ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs için sırasıyla; 27.42 ± 1.43 , 35.24 ± 0.93 , 687.59 ± 6.16 ve 2.77 ± 0.32 Bq/kg, sediment örneklerinde radyoaktivite konsantrasyon ortalamaları ise ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs için sırasıyla; 26.06 ± 1.09 , 24.21 ± 1.21 , 632.28 ± 5.85 ve 1.17 ± 0.18 Bq/kg'dir.

Çalışmada ayrıca radyum eşdeğer aktivitesi (Ra_{eq}), soğurulan doz hızı (D), yıllık etkin doz eşdeğeri (AEDE), dış tehlike indeksi, yıllık gonadal doz eşdeğeri (AGDE) ve yaşam boyu kanser riski (ELCR) hesaplanmıştır.

Absorbe edilen doz oranı (D), yıllık efektif doz eşdeğeri (AEDE), Ra eşdeğeri aktivite (Ra_{eq}) ve dış tehlike indeksi (Hex) toprak için ortalama değeri sırasıyla, 62.6 nGy h^{-1} , $76.8 \text{ } \mu\text{Sv y}^{-1}$, 130.8 Bq kg^{-1} ve 0.35 olarak bulunmuştur. Aynı parametreler sediment için ise sırasıyla ortalama olarak 53.0 nGy h^{-1} , $65.0 \text{ } \mu\text{Sv y}^{-1}$, 109.4 Bq kg^{-1} ve 0.30 olarak bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Radyoaktivite, Sediment, Toprak, Gama, Doz, Ergene Havzası

DETERMINATION OF RADIOACTIVITY LEVEL OF ERGENE RIVER BASIN

ABSTRACT

Radiation in the environment have natural and man-made sources. A number of natural radioactive elements like ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K and artificial radioactive elements ^{137}Cs are present in soil and sediment in varied concentrations.

In this thesis, it is aimed to determine the radioactivity in soil and sediment samples of Ergene River and Basin. In samples, radioactivity concentrations of ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{137}Cs were measured by means of gamma spectrometry.

Radioactivity concentration averages of soil samples for ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K and ^{137}Cs are 27.42 ± 1.43 , 35.24 ± 0.93 , 687.59 ± 6.16 and 2.77 ± 0.32 Bq/kg Bq kg⁻¹, radioactivity concentration avareges of sediment samples for ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K and ^{137}Cs are 26.06 ± 1.09 , 24.21 ± 1.21 , 632.28 ± 5.85 and 1.17 ± 0.18 Bq kg⁻¹, respectively.

The radium equivalent activity (R_{aeq}), absorbed dose rate (D), annual effective dōşe (AEDE), the external hazard index (H_{ex}), the annual gonadal dose equivalent (AGDE), and the lifetime risk of cancer (ELCR) are also calculated for the assessment of radiological risk.

The mean value of the absorbed dose rate (D), annual effective dose equivalent (AEDE), Ra equivalent activity (R_{aeq}), and the external hazard index (H_{ex}) for soil were calculated as 62.6 nGy h^{-1} , $76.8 \text{ } \mu\text{Sv y}^{-1}$, 130.8 Bq kg^{-1} , and 0.35, respectively. The same parameters were found to be 53.0 nGy h^{-1} , $65.0 \text{ } \mu\text{Sv y}^{-1}$, 109.4 Bq kg^{-1} and 0.30, respectively for sediment.

Keywords: Radioactivity, Sediment, Soil, Gamma, Dose, Ergene Basin

1. GİRİŞ

Dünyada yaşamın var olduğu ilk günden itibaren doğada bulunan canlılar radyasyona maruz kalmaktadır. Çağımızda birçok insan teknolojinin gelişmesi ile birlikte üretilen elektronik cihazlardan yayılan radyasyonun kendilerine zarar verdiğini düşünmektedir. Oysaki yapay radyasyondan etkilenme düzeyi, doğal radyasyondan etkilenme düzeyinden daha düşüktür. Doğal radyasyon kaynakları olarak bildiğimiz dış uzaydan gelen kozmik ışınlar, toprağın yapısında bulunan uzun yarı ömürlü radyoaktif maddeler canlı organizmaları sürekli olarak etkilemektedir. İnsanlar; radyoaktif kozmik ışınlardan, topraktan, teknolojik araç ve gereçlerden salınan radyasyondan direk olarak etkilenirken, insan yaşamının vazgeçilmez unsuru olan sudaki radyasyondan da etkilenmektedir.

Yaşamın bir gerçekliği olan radyasyonla birlikte yaşamaktayız. Doğal radyasyonu engellemek elbette mümkün değildir. Yapay radyasyon kaynaklarının günlük yaşamımızda kapladığı alan arttıkça çevresel radyoaktivite çalışmaları önemini daha da artırmaktadır. Yapılan çalışmalar doğrultusunda, çevresel radyoaktiviteyi ve radyoaktivitenin bölgede yaşayan canlılar üzerindeki etkileri bilinmekte, radyoaktivitenin olumsuz etkileri azaltılmakta, yeni teknolojik araçların daha düşük seviyede radyoaktif salınım yapmaları sağlanmaktadır.

26 Nisan 1986 günü Ukrayna' nın Kiev kentinde bulunan Çernobil nükleer santralinde meydana gelen kaza sonrasında atmosfere yayılan radyoaktif maddeler Avrupa' nın bir çok bölgesine yayılmıştır. Özellikle ülkemizin Trakya bölümünde Yunanistan ve Bulgaristan sınırı ile Doğu Karadeniz Bölgesinin bir kısmı radyoaktif bulutun geçişi esnasında radyasyon dozuna maruz kalmıştır. Yetişkin insanların, 0.6 mSv iye 0-1 yaş arası bebeklerin ise 0.350 mSv ortalama radyasyon dozuna maruz kaldıkları belirlenmiştir (Gönen, 2012)

Tüm bu nedenlerden dolayı çevresel radyoaktivite ölçümü çalışmaları ülkemizde ve dünyada son dönemde hızla artmaktadır. Çevresel radyoaktivite çalışmaları ileriye

dönük radyasyon risklerinin karşılaştırılmasına, bölge radyasyon verilerinin elde edilmesine, bölge radyasyon haritalarının oluşumuna büyük katkı vermektedir.

Literatürde, çevresel radyoaktivite kapsamında ülkemizde ve dünyada yapılmış çalışmalardan bazıları şunlardır:

Malanka ve ark., Brezilya Rio Grande do Norte topraklarında ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K konsantrasyonlarını gama spektrometresi ile ölçmüşler ve ortalama konsantrasyonları sırasıyla 29.2, 47.8 ve 704 Bq/kg olarak hesaplamışlardır (Malanka ve ark., 1996)

S.Selvasekarapandian ve arkadaşları, Hindistan'da topraktaki doğal radyonüklid konsantrasyonlarını incelemişler ve ortalama radyonüklid konsantrasyonlarını ^{40}K için 195.2 Bq/kg, ^{238}U için 37.7 Bq/kg ve ^{232}Th için 75.3 Bq/kg olarak bulmuşlardır (Selvasecarapanian ve diğerleri, 2000).

Yeboah ve arkadaşları, Gana'da Büyük Accra bölgesindeki toprak ve kayalardaki ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarını HPGe gama spektrometresi kullanılarak tayin etmişler ve toprak örneklerinde aktivite konsantrasyonlarının ^{40}K için 91.1- 1395.9 Bq/kg; ^{238}U için 2.4- 62.7 Bq/kg ve ^{232}Th için 3.2- 145.7 Bq/kg arasında değiştiğini bulmuşlardır (Yeboah ve diğerleri, 2001).

Hindistan'da S. Saravanan ve arkadaşları, tarafından Tamilnadu bölgesi topraklarının doğal radyonüklid seviyeleri ölçülmüş ve topraklardaki ortalama ^{40}K konsantrasyonu 96.0 Bq/kg, ortalama ^{232}Th konsantrasyonu 43.9 Bq/kg, ortalama ^{226}Ra konsantrasyonu ise 42.9 Bq/kg olarak bulunmuştur. Radiumun eşdeğer aktivitesini hesaplamışlar ve ortalama olarak 113 Bq/kg olarak belirtmişlerdir (Saravanan ve diğerleri, 2003).

Taşkın tarafından Kırklareli'nin farklı ilçelerinden toplanan toprak örneklerinde bulunan ortalama radyonüklid konsantrasyonları sırası ile ^{226}Ra için 36.504 Bq/kg, ^{238}U için 25.428 Bq/kg, ^{232}Th için 39.864 Bq/kg, ^{40}K için 666.98 Bq/kg ve ^{137}Cs için 7.954 Bq/kg olarak bulunmuştur (Taşkın, 2006).

Bozkurt ve arkadaşları tarafından Şanlıurfa'da yapılan çalışmada 45 adet toprak örneğinde bulunan radyonüklidler gama ışını spektrometresi ile ölçülmüştür. Yapılan ölçümler sonucunda radyonüklid aktivite konsantrasyonu ortalama değerleri ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K için sırasıyla 20.8 Bq/kg, 24.95 Bq/kg ve 298.6 Bq/kg olarak belirlenmiştir. Ayrıca yapay bir radyonüklid olan ^{137}Cs için 9,08 Bq/kg olarak tayin edilmiştir. Çalışmada ölçümler sonucunda radyonüklid aktivite konsantrasyonu ortalama değerleri için toplam ortalama yıllık etkin doz değeri ise 46.9 μSv olarak bulunmuştur (Bozkurt ve diğerleri, 2007).

Baykara ve Doğru, doğu ve kuzey Anadolu fay hattı boyunca topladıkları 72 adet yüzey toprağında ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K konsantrasyonlarını NaI (TI) gama spektrometresiyle belirlemişler farklı ülkelerin çalışmalarıyla kıyaslamışlardır. Ayrıca elde ettikleri sonuçlardan ortalama gama doz oranlarını 57 nGyh-1 daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir (Baykara ve Doğru, 2009).

Kam ve arkadaşları tarafından Tekirdağ'da il genelinde toplanmış toprak örneklerinde için gama spektrometresi kullanılarak yapılan ölçümler sonucunda ortalama ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs konsantrasyonlarının sırasıyla 29 Bq/kg, 39 Bq/kg, 580 Bq/kg ve 5.2 Bq/kg olduğu görülmüştür. Çalışmada ayrıca ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K için toplam ortalama yıllık etkin doz değeri 75 μSv olarak bulunmuştur (Kam ve diğerleri, 2010).

Kam ve arkadaşları tarafından yapılan bir başka çalışmada Çanakkale il genelinde toplanan toprak örneklerinde gama spektrometresi ile radyonüklid ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümler sonucunda ortalama aktivite konsantrasyon değerleri ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs için sırasıyla 94.55 Bq/kg, 110.4 Bq/kg, 1273 Bq/kg ve 19.8 Bq/kg olarak bulunmuştur. Ayrıca ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K için toplam ortalama yıllık etkin doz değeri 184 μSv olarak belirlenmiştir (Kam ve diğerleri, 2010).

James ve arkadaşları, Hindistan'ın Kaiga bölgesinde topraklarda ^{40}K , ^{226}Ra , ^{137}Cs ve ^{90}Sr radyonüklid konsantrasyonlarını incelemişler ve radyoaktif kirliliğin çevre

üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada ^{226}Ra konsantrasyonlarının 4-51.6 Bq/kg, ^{40}K konsantrasyonlarının 48-727 Bq/kg arasında değiştiğini, ^{137}Cs konsantrasyonlarının ise maksimum 28.5 Bq/kg olduğunu bulmuşlardır (James ve ark., 2011).

Gönen tarafından Edirne’de yapılan bir çalışmada gama spektrometresi kullanarak ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{137}Cs , ^{40}K aktivite konsantrasyonlarını belirlemiştir. Bu ölçümler sonucunda ortalama aktivite konsantrasyon değerlerini ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs için sırasıyla 18.9 Bq/kg, 30.2 Bq/kg, 558.8 Bq/kg, ve 4.2 Bq/kg olarak bulmuştur (Gönen, 2012).

Saleh ve arkadaşları, Malezya Johor bölgesinde topladıkları farklı türden toprak örneklerinde ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K konsantrasyonlarını HPGe dedektörü ile tayin etmişlerdir. Bu çalışmada elde ettikleri sonuçlara göre ^{226}Ra konsantrasyonlarının 12-968 Bq/kg, ^{232}Th konsantrasyonlarının 11-1210 Bq/kg ve ^{40}K konsantrasyonlarının ise 12-2450 Bq/kg arasında değiştiğini bulmuşlardır. Elde ettikleri sonuçlarda radyum eşdeğer aktivitesini hesapladıkları zaman dünya ortalamasından 6 kat daha yüksek sonuç elde ettiklerini görmüşlerdir (Saleh ve ark., 2013)

Tunçkin, tarafından Manisa Demirci’ de yapılan bir çalışmada gama spektrometresi yöntemi ile ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K konsantrasyonlarını belirlemiştir. Ölçümler sonucunda aktivite konsantrasyon değerlerini; ^{238}U konsantrasyonu: 26.67-121.01 Bq/kg aralığında ve ortalama 80.9 Bq/kg, ^{232}Th konsantrasyonu: 2.02-60 Bq/kg aralığında ve ortalama 35.7 Bq/kg olarak, ^{40}K konsantrasyonu 23.6-658.93 Bq/kg aralığında ve ortalama 310.9 Bq/kg olarak bulmuştur (Tunçkin, 2014).

Santawamaitre ve arkadaşları, Tayland’da bulunan Chao Phraya nehri havzasında yaptıkları bir çalışmada topraklarda bulunan ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklidlerini gama spektrometre sistemi ile incelemiştir. Buna göre ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K konsantrasyonlarının sırası ile 13.9-76.8, 12.9-142.9 ve 178.4-810.7 Bq/kg arasında değiştiğini bulmuşlardır. Çalışmada ayrıca ^{137}Cs konsantrasyonlarına da bakmışlar ve

önemsenmeyecek derecede düşük konsantrasyonda görmüşlerdir (Santawamaitre ve ark., 2014).

Apaydın tarafından Samsun-Artvin arası yapılan bir çalışmada gama spektrometre yöntemi ile toprak ve sediment için ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{137}Cs , ^{40}K aktivitelerini Bq/kg olarak hesaplamıştır. ^{232}Th miktarı 8-31 Bq/kg arasında, ^{226}Ra miktarı 6-23 Bq/kg arasında, ^{137}Cs miktarı 6-74 Bq/kg arasında ve ^{40}K miktarı ise 231-642 Bq/kg arasında bulunmuştur (Apaydın, 2015).

Usluer tarafından Tekirdağ Çorlu ilçesinde yapılan bir çalışmada gama ışını spektrometre yöntemi ile toprak için ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K aktiviteleri ölçülmüştür. ^{238}U aktivitesi 9.1 – 24.7 Bq/kg arasında, ^{232}Th aktivitesi 8.3 – 13.5 Bq/kg arasında ve ^{40}K aktivitesi ise 518.9 – 879.6 Bq/kg arasında bulunmuştur (Usluer, 2018).

Bangotra ve arkadaşları, Hindistan'da farklı bölgelerde topraklarda ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K konsantrasyonlarını NaI gama dedektörü kullanarak incelemiştir. Çalışmada ^{226}Ra konsantrasyonlarının 25 Bq/kg ile 48 Bq/kg, ^{40}K konsantrasyonlarının 356 Bq/kg ile 598 Bq/kg, ve ^{232}Th konsantrasyonlarının ise 28 Bq/kg ile 47 Bq/kg arasında değişim gösterdiğini tayin etmişlerdir (Bangotra ve ark., 2018).

2. GENEL BİLGİLER

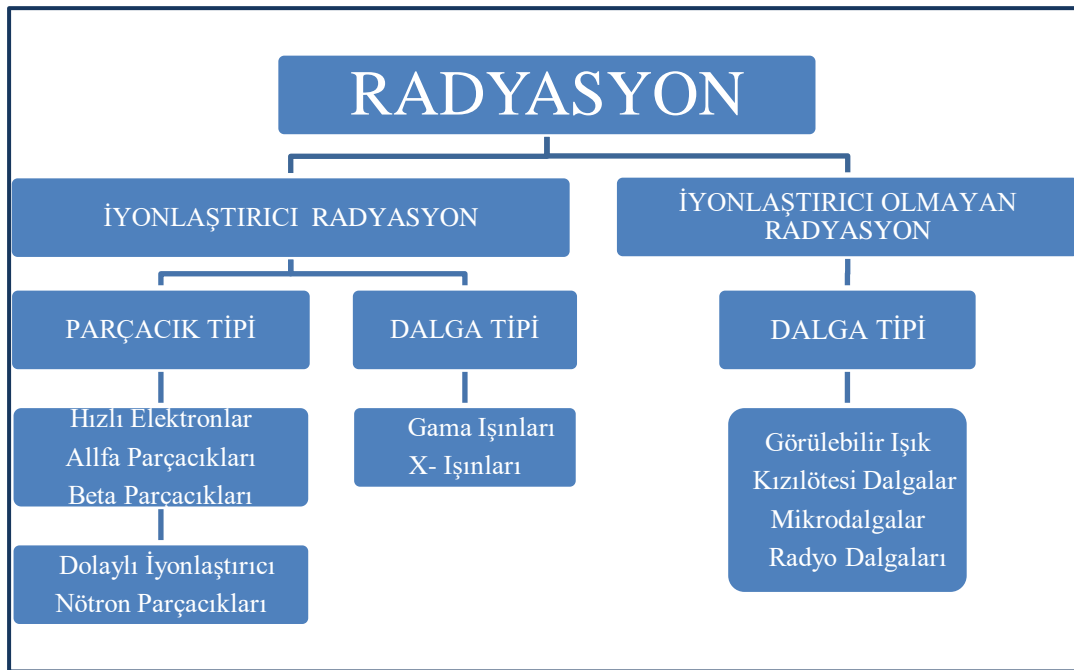
2.1. Radyoaktivite

Radyoaktivite, ilk kez Fransız fizikçi olan Henri Becquerel tarafından 1896 yılında yapmış olduğu çalışmalar sırasında uranyum tuzlarının fotoğraf filmlerini karartmasıyla keşfedilmiştir. Becquerel yapmış olduğu deneysel çalışmalarda, fotoğraf filmleri kağıtla örtülü olduğu halde (kullandığı kağıtlar ışık geçirmez özellikte) etkilenmekteydi. Çalışma sonuçları, tıpkı görünür ışıkta olduğu gibi, fotoğraf filmi üzerindeki atomları iyonlaştırabilen bir ışımaya türü olması gerektiğini göstermekteydi. Fakat bu ışımaya türü görünür ışıktan farklı olarak kağıtdan da geçebiliyordu. İlk kez keşfedilen bu tür ışımaya radyoaktivite adı verildi. Bu keşiften iki yıl sonra Fransız fizikçiler, Marie ve Pierre Curie üç radyoaktif elementin daha (Toryum, Polonyum ve Radyum) varlığını keşfettiler. Radyoaktivite üzerine yapmış oldukları bu çalışmalardan dolayı Becquerel ve Curie'ler 1903 yılında Nobel ödülünü almaya hak kazanmışlardır. Henri Becquerel'in atom çekirdeğinin yapısının anlaşılmasından 15 yıl önceki keşfi çekirdek fiziğinin başlangıcı olarak kabul edilmektedir (Taylor, 1996).

Atom çekirdeğinin bir dış etki olmaksızın kendiliğinden α , β , γ ışınları yayınlarken, başka bir çekirdeğe dönüşmesine “**radyoaktivite**” denir. Bozunuma uğrayan çekirdek doğada kendiliğinden bulunuyor veya doğada bulunan başka radyoizotopların bozunumundan ortaya çıkıyorsa “**doğal radyoaktivite**”, yapay olarak reaktörlerde veya hızlandırıcılarda üretiliyorsa “**yapay radyoaktivite**” olarak adlandırılır. Kararlı olmayan radyoaktif çekirdeklerin bozunum ve parçalanmaları sonucu açığa çıkan enerji “**radyasyon**” olarak adlandırılmaktadır (Özger, 2005).

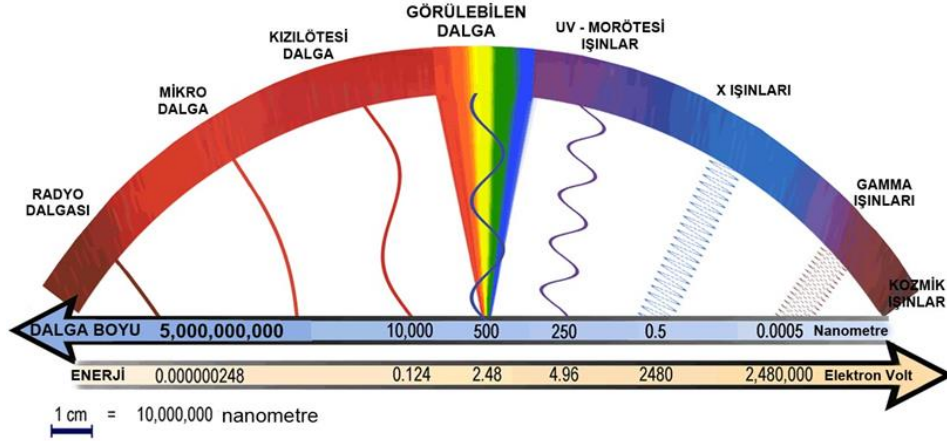
2.2. Radyasyon ve Radyasyon Çeşitleri

Radyasyon temel olarak ortamda taşınan enerji olarak tanımlanabilir. Radyasyon, yükü ve kütlesi olmayan foton (enerji paketçikleri) aracılığı ile taşınır. Bir atoma enerji aktararak, atomdan elektron koparılması şeklinde meydana gelen olaya iyonlaşma denir. Burada atom çekirdeğine aktarılan enerji, atomlarda iyonlaşmaya sebep oluyor ise “iyonlaştırıcı radyasyon” adını alır. Alfa parçacığı, beta parçacığı ve nötron parçacık radyasyonuna, gama ışını ve X-ışınları ise elektromanyetik radyasyona örnektir (Şekil 2.1).



Eğer radyasyon, atomlarda iyonlaşmaya sebep olmuyorsa “iyonlaştırıcı olmayan radyasyon” olarak adlandırılır. Radyasyon ile taşınan enerji, atomdan elektron koparmak için yeterli olmadığı için iyonlaşmaya ve dolayısı ile organizma üzerinde büyük bir hasara sebep olmaz. İyonlaştırıcı olmayan tüm radyasyon türleri elektromanyetik radyasyondur. İletişimde kullanılan radyo dalgaları, mikrodalgalar ve görünür ışık iyonlaştırıcı olmayan bir diğer adı ile elektromanyetik radyasyona örnek olarak verilebilir (Şekil 2.2).

ELEKTROMANYETİK SPEKTRUM



Şekil 2.2: Elektromanyetik Spektrum.

2.2.1. Alfa Parçacıkları

Alfa parçacığı iki proton ve iki nötrondan meydana gelen He çekirdeğidir ve ${}^4_2\text{He}$ olarak sembolize edilir. Atom numarası 83' ten büyük olan çoğunluğu Toryum, Radyum, Polonyum gibi doğal radyoaktif elementlerden yayımlanır. Doğal radyoaktif izotopların yanı sıra yapay radyoaktif maddeler de alfa parçacığı yayınlamaktadır. Diğer radyasyon türlerine nispeten elektrik yükleri oldukça fazladır. Yüksek elektrik yüküne sahip olduklarından dolayı madde içinde yoğun iyonlaştırma etkisine sahiptir. Enerjilerini çabuk kaybederler ve bu nedenle madde içinde fazla ilerleyemezler. İnce bir kağıt parçası, tüm kıyafetler ve insan derisi alfa parçacıklarını durdurmada yeterlidir. Giricilikleri az olduğundan dış radyasyon tehlikesi yaratmazlar. Alfa parçacıklarının herhangi bir yolla sindirim veya solunum sistemi içerisine girmesi canlı sağlığı açısından oldukça tehlikelidir (Reşitoğlu, 2011).

2.2.2. Beta Parçacıkları

Atom çekirdeğindeki nötron fazlalığından dolayı bir bozunma gerçekleşir. Bu bozunma sonucu dışarıya bir beta ışını yayımlanır. Bu ışınlar pozitif ya da negatif yüklü elektronlardır. Pozitif yüklü elektronlara pozitron denir ve " β^+ " ile, negatif yüklü iyonlara ise negatron denir ve " β^- " sembolü ile gösterilir. Çekirdekteki enerji fazlalığı proton fazlalığından meydana geliyorsa β^+ , nötron fazlalığından meydana

geliyorsa β^- çıkar. Beta parçacıkları da alfa parçacıkları gibi belli bir yük ve kütleyle sahiptirler ve madde içerisinden geçerken yolları üzerinde alfa parçacıklarının oluşturduğu iyonlaşmadan daha az iyonlaşmaya sebep olurlar. Çünkü bu parçacıklar alfa parçacıklarına göre daha hafif ve yüz kere daha giricidirler. Beta parçacıklarından korunmak için ince Alüminyum levhadan yapılmış bir zırh yeterli olur (Url-1).

2.2.3. Gama Işınları

Atom çekirdeğinden kaynaklanan ışınlardır. Gama ışınları, atom çekirdeğinde gerçekleşen bozunumlar sonrasında çekirdeğin enerji seviyeleri arasındaki geçişler sırasında yayımlanır. Atom çekirdeği bir alfa veya bir beta ışınımı yaptıktan sonra çoğu zaman kararlı durumda kalmaz ve kararlı hale gelmek için fazla kalan enerjisini elektromanyetik dalga şeklinde salar. Gama ışınlarının enerji aralığı 0.1 - 10 MeV'dir. Girişkenlikleri oldukça fazladır bu nedenle havada çok uzun mesafeler kat edebilirler. Kurşun gibi ağır metaller veya beton bloklarla durdurulabilirler (Bakkal, 2012).

2.2.4. X-Işınları

X-Işınları elektromanyetik dalgalardır ve gama ışınları ile aynı özelliğe sahiptirler. Sadece meydana geliş bakımından gama ışınlarından ayrılırlar. X- ışınları hızlandırılmış elektronların ani durdurulması biçiminde ya da atomun yörünge elektronları arasındaki seviye farkından oluşur. X-ışınları yapay olarak röntgen tüplerinden elde edilir. Röntgen tüpünde bir elektron demeti oluşturulur ve yüksek potansiyel altında hızlandırılarak anot denilen bir metal üzerine çarptırılır. Hızla anot atomlarına çarpan elektronlar, anti katot metalinin çekirdeğinin yakınından geçerken hızlarını kaybetmelerinden dolayı frenleme (bremsstrahlung) radyasyonu yayımlar. Bunlar X ışınlarını oluşturur. Özellikle tıpta bu yöntem oldukça fazla kullanılmaktadır (Gönen, 2012).

2.2.5. Nötronlar

Nötronlar gama ışınları gibi yüksüzdürler. Bu nedenle elektronlarla değil de çekirdekle etkileşirler. Giricilikleri çok yüksek olduğundan Kurşun gibi ağır

metallerle bile durdurulamazlar. Nötron için kalın beton, parafin ve su zırh olarak kullanılabilir (Galy, 2005).

2.3. Radyasyon Birimleri

Radyasyon birimlerinin temel olarak en çok kullanılanları; aktivite, ışınlama, soğrulan doz ve eşdeğer doz'dur. Uluslararası Radyasyon Birimleri Komisyonu (ICRU) yaptığı çalışmalar sonucunda, aktivite için Curie, ışınlama için Röntgen, absorblanan doz için Rad ve eşdeğer doz için Rem'i yeni birim olarak tanımlamıştır. MKS sistemini temel alan Uluslararası Birimler Sistemi (International System of Unit) SI'nın kabul edilmesiyle birlikte, ICRU 1971 yılında SI birimlerini tanımlamıştır (Gollnick, 1988). Bu kabule göre eski birimlerin yerine yenilerinin kullanılması önerilmiştir. Çizelge 2.1'de dönüşüm birimleri ve dönüşüm faktörleri verilmiştir.

Çizelge 2.1: Radyasyon birimleri ve dönüşüm faktörleri.

Büyüklik	SI Birimi Ve Sembolü	Eski Birimler Ve Sembolü	Dönüşüm Faktörü
Aktivite	Becquerel(Bq)	Curie (Ci)	$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$
İşnlama	Röntgen(C/kg)	Röntgen (R)	$1 \text{ C/kg} = 3876 \text{ R}$
Soğrulan Doz	Gray (Gy)	Rad (rad)	$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$
Eşdeğer Doz	Sievert (Sv)	Rem (rem)	$1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$

2.3.1. Aktivite Birimi

Aktivite, radyoaktif bir kaynakta birim zamanda bozunum sayısı olarak tanımlanır. Eski aktivite birimi 1 gram ^{226}Ra 'nın aktivitesi olarak tanımlanmış Curie (Ci)'dir. 1 Ci, saniyede 3.7×10^{10} bozunma olarak tanımlanır. Günümüzde kullanılan aktivite birimi ise Becquerel (Bq) olarak adlandırılmıştır. Becquerel ve Curie arasındaki dönüşüm katsayısı şu şekildedir:

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ bozunma/s}$$

$$1 \text{ Bq} = 2.7 \times 10^{-11} \text{ Ci} = 27 \text{ pCi}$$

Aktivite tek başına radyoaktif bir çekirdeğin verdiği zararının ölçüsü değildir. Zarar, bozunma sırasında yayınlanan radyasyonun türüne, maruz kalınan süreye ve uzaklığa bağlı olarak değişir. Örneğin, 100 Ci'lik ^{60}Co kaynağından 1 metre uzakta bir mesafede 8 saat süreyle çalışan bir insanın alacağı tüm vücut dozu 1050 rem'dir ve bu ölümcül bir dozdur. Aynı koşullar altında 100 Ci'lik ^3H kaynağıyla çalışan bir insan neredeyse hiç zarar görmez (Özger, 2005).

2.3.2. Işınlama Doz Birimi

Işınlama Doz Birimi; Gama veya X-ışınlarının havayı iyonlaştırma kabiliyetinin bir ölçüsüdür.

Normal hava şartlarında (0°C ve 760 mmHg basıncı) havanın 1 kg'ında 2.58×10^{-4} Coulomb'luk elektrik yükü değerinde + ve - iyonlar oluşturan X ve γ radyasyon miktarına "Röntgen" denir.

Bu ifade 3 MeV'e kadar olan X ve γ ışınları için geçerlidir. SI birim sisteminde ışınlama birimi olarak Röntgen'e karşılık olarak, Coulomb / kg kullanılmaktadır (Değerliler, 2007).

$$1 \text{ C / kg} = 3,876 \times 10^3 \text{ R}$$

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

şeklinde ifade edilir.

2.3.3. Soğrulma Doz Birimi

Röntgen, χ ve γ ışınları için tanımlandığı için diğer radyasyon türleri için kullanılamamış ve radyasyonun cinsinden, enerjisinden, soğurucu ortamın özelliğinden bağımsız yeni bir birime ihtiyaç duyulmuştur.

Soğurulan doz için kullanılan eski birim rad (radiation absorbed dose) olup, 1 rad, 1 gram madde tarafından 100 erg'lik enerji soğurulması şeklinde tanımlanır. Soğurulan doz için kullanılan SI birimi gray (Gy)'dir. 1 gray kilogram basına herhangi bir madde tarafından 1 joule'lük enerji soğurulması olarak tanımlanır.

$$1 \text{ Gy} = 100 \text{ Rad'ır.}$$

Soğurulan doz sonucunda meydana gelen biyolojik etkiler, iyonlaştırıcı radyasyonların tiplerine ve oluşan iyonizasyonun yoğunluğuna bağlıdır. Biyolojik etkiler, iyonlaştırıcı radyasyonların geçtikleri ortamın birim uzunluktaki yolu boyunca kaybettikleri enerji miktarına bağlıdır. Bu değer arttıkça biyolojik etki de fazlalaşmaktadır. Bu nedenle, eşdeğer doz birimi, iyonlaştırıcı radyasyonun oluşturduğu zararlı biyolojik etkilerin bir ölçüsü olmaktadır (Merdanoğlu, 2004).

2.3.4. Eşdeğer Doz Birimi

Eşdeğer doz, tüm vücudun maruz kaldığı radyasyonun biyolojik ölçüsü olarak tanımlanır. Eski birimi Rem ve yeni birimi (Joule/kg) Sievert'tir. Soğurulmuş doz değeri Q kalite faktörü ile çarpılırsa eşdeğer doza ulaşılır. Q kalite faktörü Çizelge 2.2'de verilmiştir (Noz ve Maquire, 2007).

Sievert ile rem arasındaki ilişki şöyledir:

$$1 \text{ Sv} = 1 \text{ J/kg}$$

$$1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$$

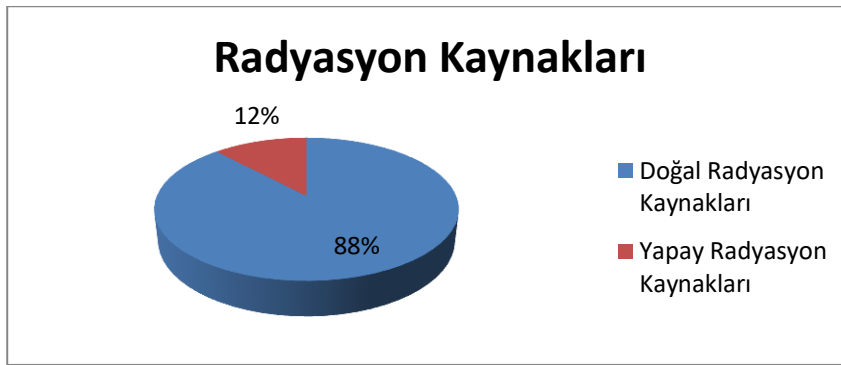
Çizelge 2.2: Farklı radyasyon türleri için kalite faktörleri (Noz ve Maquire, 2007).

Radyasyon Türü	Kalite Faktörü
X ve Gama Işımları	1
Elektronlar ve Beta Parçacıkları	1
Nötronlar;enerjileri < 10 keV	3
Nötronlar;enerjileri > 10 keV	10
Alfa Parçacıkları	20

2.4. Radyasyon Kaynakları

İnsanoğlu var oluşundan beri sürekli olarak radyasyonla birlikte yaşamak zorunda kalmıştır. Dünyanın oluşumuyla birlikte doğada bulunan çok uzun yarı ömürlü radyoaktif elementler çevremizde normal ve kaçınılmaz olarak kabul edilen doğal bir radyasyon düzeyi oluşturmuşlardır. 1900'li yıllardan itibaren, nükleer silah ve bomba denemeleri ve birtakım teknolojik ürünlerin kullanımı ile birlikte doğal radyasyon düzeyinde oldukça yüksek bir artış gözlenmiştir. İnsanların etkilendiği doğal radyasyon düzeylerinin büyüklüğünü belirleyen birçok neden vardır. Yaşanılan bölge, toprağın yapısı, binalarda kullanılan yapı malzemeleri, mevsim değişimleri ve iklim şartları bu nedenlerden bazıları arasında sayılabilir. Yağmur, kar, basınç ve rüzgar gibi meteorolojik etkenler de doğal radyasyon düzeylerinin büyüklüğünü belirlemektedir.

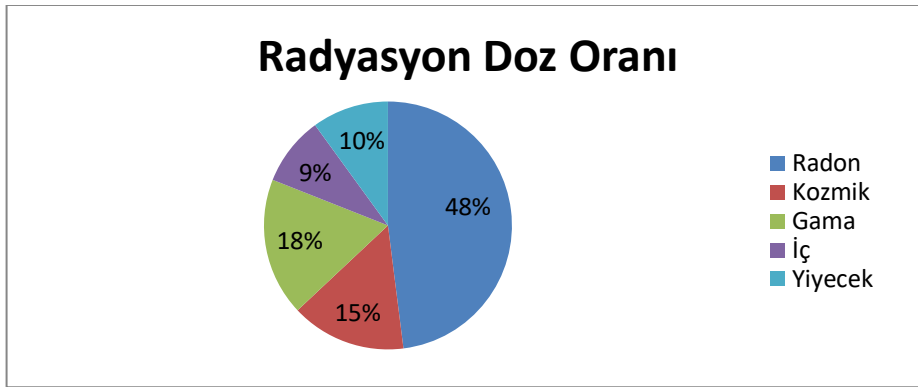
Radyasyon kaynakları, doğada kendiliğinden var olan Doğal Radyasyon Kaynakları ve sonradan bir takım olaylar sonucu ortaya çıkan Yapay Radyasyon Kaynakları olmak üzere ikiye ayrılır. Doğal ve yapay radyasyon kaynaklarının oranı şekil 2.3.' te verilmiştir (Url-2).



Şekil 2.3: Doğal ve yapay radyasyon kaynaklarının küresel radyasyon dozuna oransal katkıları (Url-2).

2.4.1. Doğal Radyasyon Kaynakları

Çevremizde bulunan doğal radyasyon kaynaklarını; büyük kısmı atmosfer tarafından absorbe edilen bir kısmı da dünyaya ulaşan kozmik ışınlar, fosil yakıtların barındırdığı uzun yarı ömürlü radyoaktif elementler ile doğada var olan kısa süreli radyoaktif elementler tarafından salınan gama ışınları, vücudumuzda bulunan radyoaktif ^{40}K elementinden kaynaklı iç ışınlanma, yiyecek ve içecek ile soluduğumuz havadan kaynaklanan radyasyon dozu ile yer kabuğunun yapısında bulunan radyoaktif ^{226}Ra elementinin bozunumu sırasında salınan radon gazı (Rn) olarak gruplandırabiliriz. Doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan küresel radyasyon dozlarının oransal dağılımı Şekil 2.4' de (IAEA, 1996), Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından üretilen radyasyon doz değerleri Çizelge 2.3' de verilmiştir (Url-3).



Şekil 2.4: Doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan küresel radyasyon doz oranı.

Çizelge 2.3: Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan ortalama radyasyon doz değerleri .

Işınlanma Kaynağı	Yıllık Etkin Doz Değeri (mSv)	
	Ortalama Aralığı	
Kozmik Radyasyon • Foton bileşeni • Nötron bileşeni • Kozmojenik Radyoizotoplar Toplam	0,28 0,10 0,01 0,39	0,3 – 1,0 (a)
Yeryüzü Kaynaklı Dış Işınlanma • Bina Dışı • Bina İçi • Toplam	0,07 0,41 0,48	0,3 – 0,6 (b)
Solunum Yolu İle Işınlanma • Uranyum ve Toryum serileri • Radon (Rn -222) • Toron (Rn-220) • Toplam	0,006 1,15 0,10 1,26	0,2 – 10 (c)
Beslenme Yolu İle Işınlanma • K-40 • Uranyum ve Toryum Serileri Toplam	0,17 0,12 0,29	0,2 – 0,8 (d)
GENEL TOPLAM	2,4	1 – 10

(a) Deniz seviyesinden yüksekliğe bağlı

(b) Toprak ve yapı malzemelerinin karışımlarına bağlı

(c) Radon gazı konsantrasyonuna bağlı

(d) Yiyecek ve içme sularındaki radyoizotopların konsantrasyonlarına bağlı

2.4.1.1. Kozmik Radyasyon

Kozmik ışınlar, kütlesi olan ve yüksek enerjili tanecikler içeren madde demetlerinden oluşur. Çoğunlukla Güneş Sistemi'nin dışından gelen kozmik ışınların kökeninin ne olduğu konusunda tam bir bilgi yoktur fakat büyük çoğunluğunun büyük yıldızların süpernova patlamalarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Şekil 2.5.'te kozmik ışınlar gösterilmektedir.



Şekil 2.5:Kozmik radyasyon (Url-4).

Kozmik ışınlar genellikle yaklaşık %99 oranında atom çekirdeklerinden, %1 oranında serbest elektronlar ve çok az miktarda antimadde parçacıklarından (antiproton ve pozitron gibi) oluşurlar. Kozmik ışınlardaki atom çekirdeklerinin büyük kısmı hafif elementlerdir. Ortalama olarak %90 oranında Hidrojen çekirdekleri (proton), %9 oranında Helyum çekirdekleri (alfa parçacığı) ve %1 oranında daha ağır atomların çekirdekleri bulunur.

Kozmik ışınlardaki bazı parçacıkların enerjisinin 3×10^{20} eV'a kadar çıktığı görülmüştür ki bu enerji yaklaşık olarak saatte 90 kilometre hızla giden bir beyzbol topunun enerjisine eşittir ve Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda (Large Hadron Collider, LHC) ulaşılabilen en yüksek enerjilerden bile milyonlarca kat daha büyüktür. Kozmik ışınlardaki tüm parçacıklar bu kadar yüksek enerjiye sahip olmasa da, kozmik ışınlar genel olarak maddeye hasar verme kapasitesine sahiptir. Fakat Dünya'nın atmosferi ve manyetik alanı kozmik ışınlardaki yüksek enerjili parçacıkların büyük çoğunluğunun yer yüzeyine ulaşmasına engel olur. Kozmik ışınların atmosferle etkileşmesi sırasında ışınlardaki parçacıkların bozunması sonucunda nötronlar, pionlar, pozitronlar ya da müonlar oluşabilir (Url-5).

Kozmik radyasyonlar birincil ve ikincil olmak üzere ikiye ayrılır:

Birincil Kozmik Radyasyonlar: Birincil kozmik radyasyonlar, çok yüksek enerjili parçacıklardan (10^{18} eV'a kadar) ve genellikle protonlarla beraber büyük parçacıklardan oluşur. Bunların büyük bir bölümü bizim güneş sistemimizden uzaktan, uzaydan gelmektedir. Bazıları da güneşteki patlamalardan açığa çıkmaktadır. Fakat birincil kozmik ışınların çok büyük bölümü atmosferde takılır ve yeryüzüne ulaşamazlar.

İkincil Kozmik Radyasyonlar: Birincil kozmik ışınlar yeryüzüne ulaşmadan önce atmosferle etkileşmeye girer ve bu etkileşim sonucu ikincil kozmik radyasyon açığa çıkar. Bunun sonucunda, yüksek enerjili nötronlar, protonlar, pionlar, kaonlar ve dozimetrik açıdan çok önemli olan farklı reaksiyon ürünü ^3H , ^7Be , ^{14}C , ^{10}Be , ^{22}Na ve ^{24}Na gibi ikincil radyasyonlar olarak tanımlanan kozmojenik radyonüklitler üretilir (Gönen, 2012).

Bazı temel kozmolojik radyonüklidler Çizelge 2.4.'te verilmiştir (Kathern R. , 1984).

Çizelge 2.4: Temel Kozmojonik Radyonüklidler.

Radyonüklid	Yarı Ömür	Üretim Hızı (atom/cm ² s)	Global Kütle (kg)	Havadaki Aktivitesi (Bq/m ³)
³ He	12.26 yıl	0.25	3.5	0.167
⁷ Be	53 gün	0.08	0.0032	0.017
¹⁰ Be	2.7x10 ⁶ yıl	0.05	3.9x10 ⁵	10 ⁻⁷
¹⁴ C	5760 yıl	2.5	6.8x10 ⁴	0.067
²² Na	2.6 yıl	8.6x10 ⁻⁵	0.0019	1.7x10 ⁻⁶
²⁵ Al	7.4x10 ⁵ yıl	1.4x10 ⁻⁵	1000	-
³² Si	280 yıl	1.6x10 ⁻⁴	1.4	3.3x10 ⁻⁸
³² P	14.3 gün	8.1x10 ⁻⁴	0.0004	0.00033
³³ P	24.4 gün	5.8x10 ⁻⁴	0.0006	0.00025
³⁵ S	87.5 gün	0.0014	0.0045	0.00025
³⁶ Cl	3.8x10 ³ yıl	0.0011	1.4x10 ⁴	5x10 ⁻¹⁰
³⁹ Ar	270 yıl	0.0056	23	-
⁸¹ Kr	2.3x10 ⁵ yıl	10 ⁻⁶	-	-

2.4.1.2 Karasal Radyasyon

Dünya yüzeyi üzerinde bulunan doğal olarak meydana gelen radyoaktivitenin çoğunluğu karasal ya da içsel kaynaklardan gelir.

Dünyanın ve yıldızların oluşumunda olduğu gibi güneşin ve dünyanın büzülme dönemlerinde de yüksek enerjili nükleer reaksiyonlar oluşturan temel fiziksel olaylardır. Bu reaksiyonların içinde ve sonucunda birçok radyoaktif ağır elementlerin oluştuğu kuşkusuzdur. Ancak yarı ömürleri kısa olması nedeniyle bunların büyük bir bölümü zamanımıza kadar kalmamıştır. Dünyanın yaşı yaklaşık olarak 4.5x10⁹ yıldır. Bu yaşa göre dünyanın oluşumundan bu yana kalmış ve bugün dünyada var olabilecek radyoaktif elementler için en kısa yarı ömür sınırı 10⁸ yıl olarak düşünülebilir. Doğada bulunan doğal uranyum miktarının % 0.715 kadarı ²³⁵U (yarı ömrü 7.13x10⁸ yıl) tir. Öte yandan ²³⁸U (yarı ömrü 4.49x10⁹ yıl) bolluğu ise % 99.28' dir. Dünyanın oluşumunda bu izotopların eşit miktarda olduğu var sayılarak ²³⁵U' in doğada neden az bulunduğu yorumlanabilir. Böyle nüklidler radyoaktivite özelliklerinin azalması sonucunda zincir şeklinde ya da serilerin bir bölümü olarak ya da tek başına meydana gelebilir. Diğer karasal radyonüklidler kısa ömürlüdür ve dünya oluştuğu zaman mevcut değıllerdir; bunlar serilerin uzun ömürlü üyelerinin bozunmasından meydana gelir. Doğada rastlanan radyoaktif elementlerin büyük kısmının atom numarası 81 ile 92 olan bölgede bulunur (Aközcan, 2002)

Radyoaktif elementleri, seriler halinde gruplandırmak mümkündür;

- 1- Uranyum Serisi (Seri başı ^{238}U)
- 2- Toryum Serisi (Seri başı ^{232}Th)
- 3- Aktinyum Serisi (Seri başı ^{235}U)
- 4- Neptinyum Serisi (Seri başı ^{241}Pu)

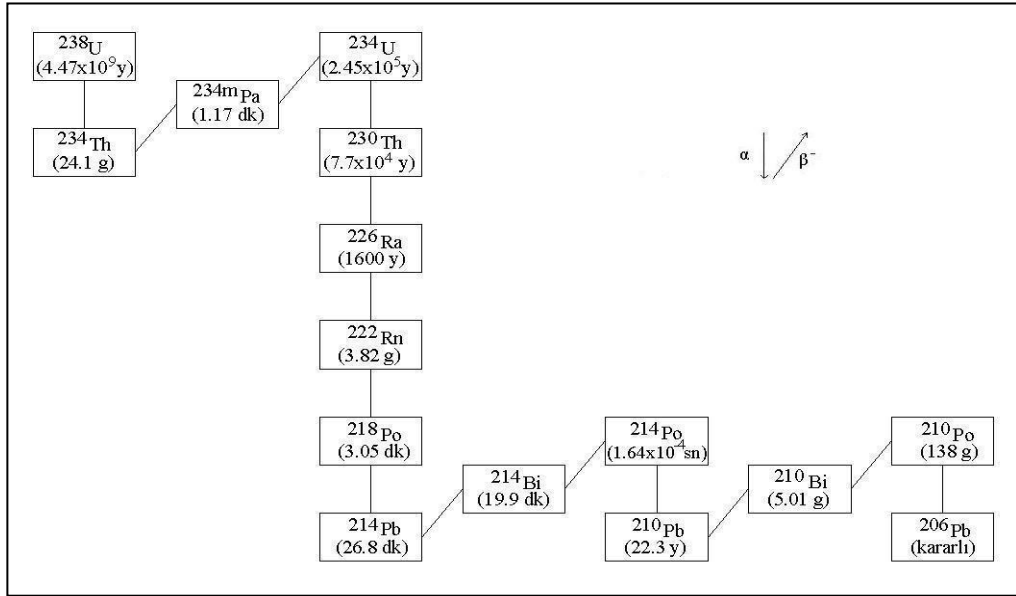
Doğada bütünü ile bulunabilen seriler ^{238}U ve ^{232}Th ana elementleriyle başlayan serilerdir. Sonuç olarak; insanların maruz kalacağı karasal radyasyon doz eşdeğer oranını oluşturan ağır elementler ^{238}U ile ^{232}Th ve bunların bozunma serilerindeki radyoaktif elementlerdir. ^{238}U ve ^{232}Th dünya yüzeyinde 10 km derinliğe kadar giden bir katmanda bulunur. Dünya kabuğunun 2900 km derinliğine kadar uzanan bölgede ortalama ^{238}U yoğunluğu yaklaşık 0,76 mikrogram/gram toprak düzeyindedir (Kathern, 1986).

Radyoaktif seriler, bu serinin en uzun yarı ömürlü üyesi Çizelge 2.5.'te gösterilmiştir (Dizman, 2006).

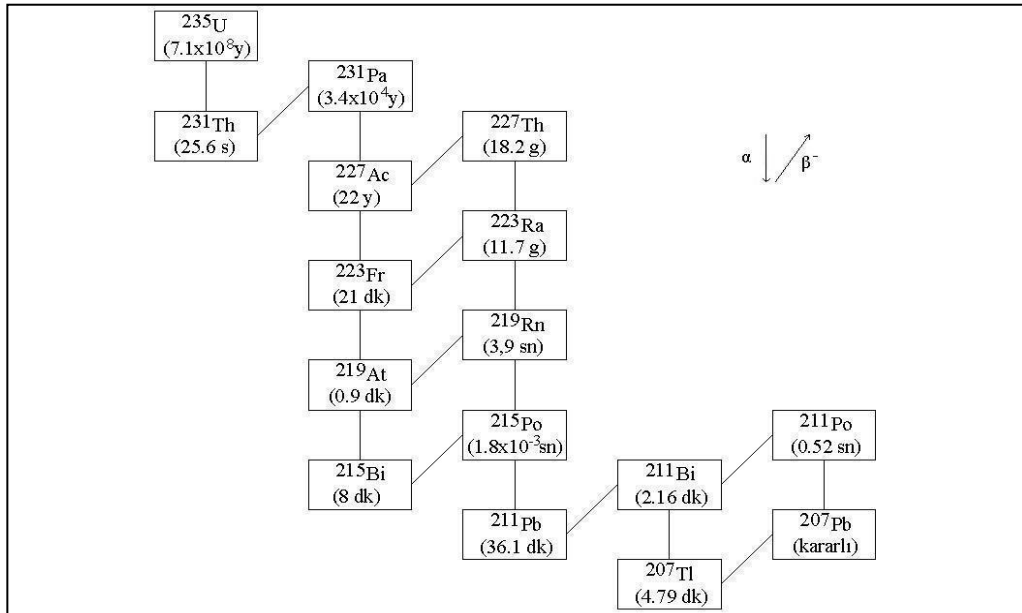
Çizelge 2.5: Doğal Radyoaktif Seriler.

Seri Adı	Son Çekirdek (Kararlı)	En Uzun Ömürlü Üyesi	
		Çekirdek	Yarı Ömür (yıl)
Uranyum	^{206}Pb	^{238}U	4.47×10^9
Toryum	^{208}Pb	^{232}Th	1.41×10^{10}
Aktinyum	^{207}Pb	^{235}U	7.04×10^8
Neptinyum	^{209}Bi	^{237}Np	2.14×10^6

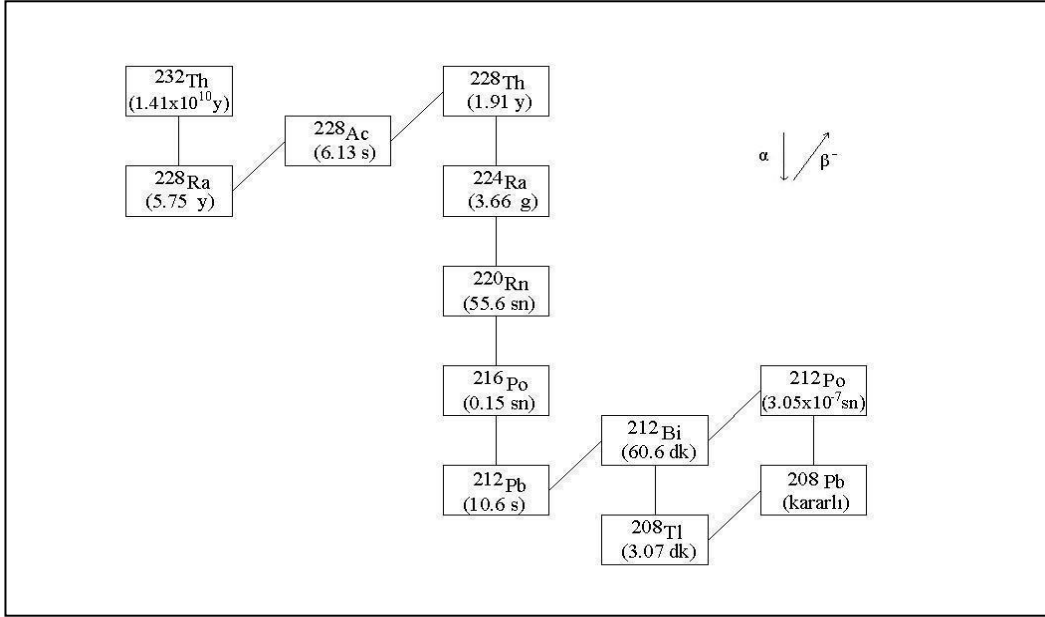
Şekil 2. (6-7-8-9)'da sırasıyla Uranyum (^{238}U), Aktinyum (^{235}U), Toryum (^{232}Th) ve Neptinyum (^{237}Np) serisine ait yarı ömürler, bozunma çeşitleri ve maksimum bozunma enerjileri göstermektedir.



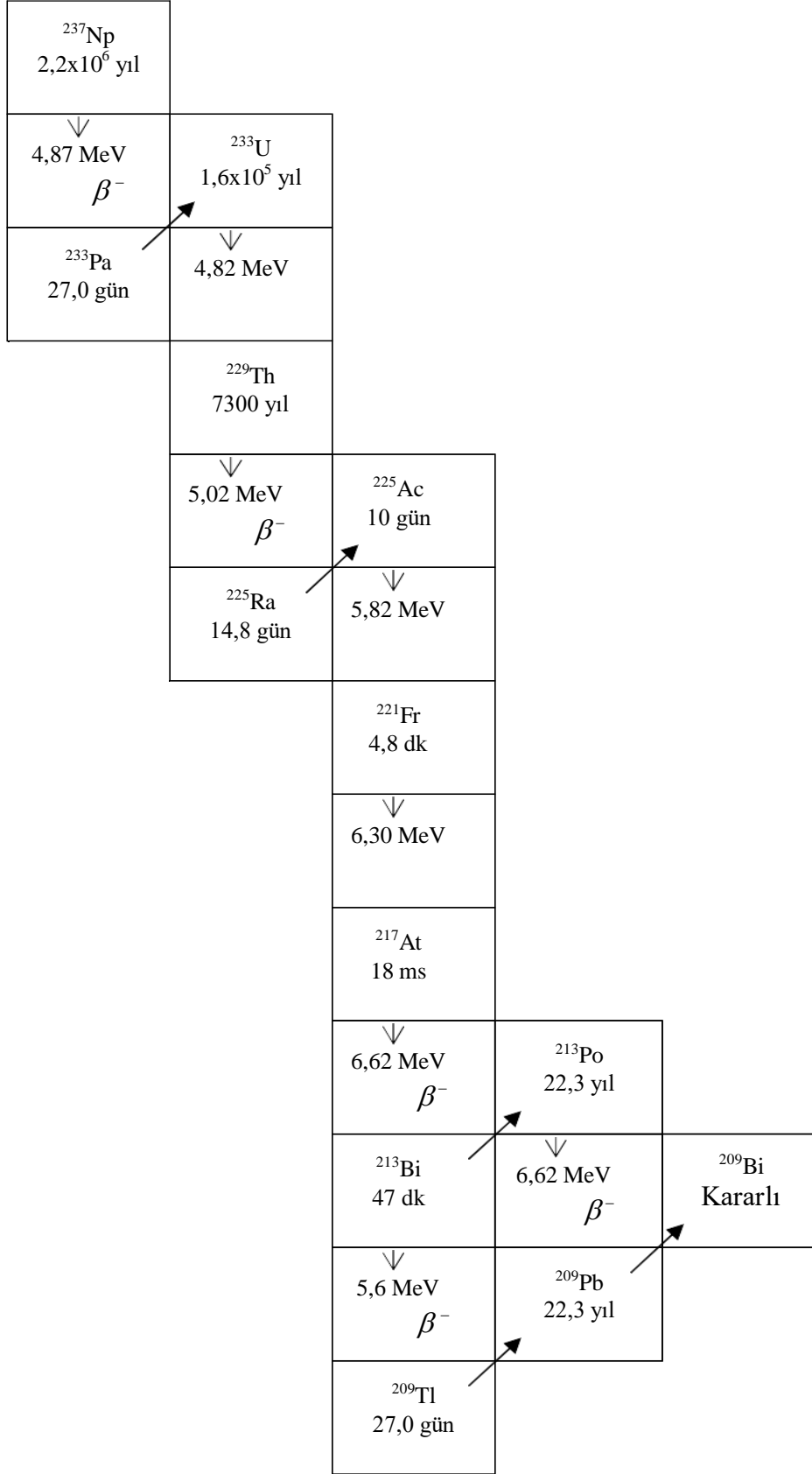
Şekil 2.6: Radyum (Uranyum) serisinin bozunma şeması (NCRP 97, 1988).



Şekil 2.7: Aktinyum serisinin bozunma şeması (NCRP 97, 1988).



Şekil 2.8: Toryum serisinin bozunma şeması (NCRP 97, 1988).



Şekil 2.9: Neptinyum serisinin bozunma şeması (Kurnaz, 2009).

2.4.1.2.1. Topraktaki Doğal Radyoaktivite

Dünyanın oluşumundan beri toprakta var olan radyasyon kaynakları, çok uzun yarı ömürlü olup, toprağın radyoaktif olmasına neden olmaktadır. Toprakta bulunan bu doğal radyasyon kaynaklarının en önemlileri, yarı ömürleri ile birlikte çizelge 2.6' da verilmektedir.

Çizelge 2.6: Toprakta bulunan önemli doğal radyasyon kaynakları ve yarı ömürleri.

Radyoaktif Kaynak	Yarı Ömür (Yıl)
⁸⁷ Rb (Rubidyum)	4.70x10 ¹⁰
²³² Th (Toryum)	1.41x10 ¹⁰
²³⁸ U (Uranyum)	4.47x10 ⁹
⁴⁰ K (Potasyum)	1.28x10 ⁹

Bu doğal radyoizotoplardan ⁴⁰K, β ve γ radyasyonu yayan önemli bir dış ve iç radyasyon kaynağıdır. Toprakta bol bulunduğu için doğal radyasyon dozunun önemli bir kısmını ⁴⁰K oluşturmaktadır. ⁸⁷Rb ise sadece β radyasyonu yayan önemli bir iç radyasyon kaynağıdır (Choppin ve Liljenzin, 2002).

Havada, suda, kayalarda, gıdalarda ve insan vücudunda ²³⁸U ve ²³²Th radyoizotopları ve bozunma ürünleri iç ve dış radyasyon dozlarını oluşturmaktadır (Çelebi, 1995).

Topraktaki doğal radyoizotoplar daha çok volkanik, tortul, fosfat, granit ve tuz kayalarında yüksek konsantrasyonlarda bulunmaktadır. Volkanik kayaların aktiviteleri, tortul kayalarinkinden daha fazladır (Eisenbud, 1987). Bu durum Çizelge 2.7'de görülmektedir (Eisenbud, 1987).

Çizelge 2.7: Çeşitli kaya tiplerinden gelen gama radyasyonu doz oranları.

Kaya Tipleri	Yıllık Doz Eşdeğerleri (μ Sv)			
	^{226}Ra	^{238}U	^{232}Th	^{40}K
Volkanik Kayalar	240	260	370	350
Tortul Kayalar				
Kumtaşı	130	77	180	150
Kireç Taşı	200	77	310	360
Kalkerli	77	84	40	40

Toprak içindeki doğal radyoizotoplar (^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{238}U), toprakta bulunma oranlarına bağlı olarak (Çizelge 2.8), ortamın veya çevrenin doğal radyasyon temel seviyesini belirlemekte ve o oranlarda insanların doğal radyasyonlara maruz kalmalarına sebep olmaktadır (Bingöldağ, 2007).

Çizelge 2.8: Toprakta bulunan doğal radyoizotop konsantrasyonları (UNSCEAR 2000).

	Toprakta Bulunan Doğal Radyoizotop Konsantrasyonları (Bq/kg)			
	^{40}K	^{238}U	^{226}Ra	^{232}Th
Değişim Aralığı	140-850	16-110	17-60	11-64
Ortalama	400	35	35	30

2.4.1.2.2. Sulardaki Doğal Radyoaktivite

Su hayattır. İnsanlar, canlı yaşamının varlığını devam ettirebilmesi için gerekli olan suyu öncelikle yerüstü kaynaklarından karşılamışlardır. Yerüstü su kaynaklarının; verimli kullanılamaması, çeşitli nedenlerle kirlenmesi, gün geçtikçe su miktarının azalması sonucunda insan ihtiyacını karşılayamaz duruma gelmiştir. Bu nedenle ihtiyacın karşılanması için yeraltı su kaynaklarından yararlanılmaya başlanmıştır.

Dolaylı olarak da olsa yeraltı sularının kaynağı yerüstü sularıdır. Yerüstünden, yeraltına geçen sular zaman içinde çeşitli jeolojik oluşumlarla temas halinde bulunur. Bu jeolojik oluşumlarda çeşitli kimyasal çözücüler bulunduğu gibi, yapılarında radyoaktif maddeler de bulundurmaktadır. Suyun yapısına karışan bu radyoaktif maddelerin insan sağlığını ne derece etkilediği yönünde radyoaktivite ölçüm çalışmaları yapılmaktadır. Bu ölçüm çalışmaları ilk yıllarda sadece kaplıca suları üzerine yapılırken sonraki yıllarda içme suları içinde yapılır duruma gelmiştir. Yapılan çalışmalarda içme sularında bazı doğal radyonüklidlerin var olduğu ortaya çıkarılmıştır. Sularda bulunan radyoaktivite düzeyi genel olarak insan sağlığını olumsuz etkileyecek miktarda olmasa da bazen sağlık açısından tehlike oluşturabilecek seviyeye gelmektedir.

Yeraltı suları yapısında radyoaktif madde barındıran jeolojik yapılarla etkileşmesi nedeni ile yüzey sularına göre daha çok radyoaktiftir. Sularda Uranyum bozunum serisi elemanlarından Radium ve Radon diğerlerine göre daha fazla bulunmaktadır. ^{226}Ra 'nın bozunum ürünü olan ^{222}Rn , bazı yeraltı sularında oldukça yüksek konsantrasyonlarda bulunur. Yeraltı sularında bulunan aktinyum serisi elemanlarını tespit etmek oldukça zordur. Bazı sularda ^{232}Th ve ^{226}Ra 'nın tayin edilebilecek konsantrasyonlarda olmasına rağmen, ^{220}Rn 'in, çok kısa yarı ömre sahip olması su ve kayalarda birikmesini engellemektedir (Özger, 2005) .

Dünya Sağlık Örgütü, (WHO) ve ABD Çevre Korunma Ajansı'nın (EPA) içme suları için belirlediği standart sınır değer, sular içinde bulunan tüm radyonüklitlerin yayınladığı toplam alfa aktivitesi için 0.1 Bq/L ve toplam beta aktivitesi için 1 Bq/L olarak kabul edilmiştir. İçme suları için WHO'nun tavsiyeleri Türk Standartlar

Enstitüsü (TSE)'nin 1984 yılında yayınladığı TS-226 raporunda aynen kabul edilmiştir(TSE, 1979). Aynı limit değerler İSKİ'nin 1984 yılında yayınlanan içme suyu standardına da uygulanmıştır (Çizelge 2.9). Dünya Sağlık Örgütü'nün içme suları için tavsiye ettiği sınır değerler suyun, yaşam boyu tüketilmesi durumunda insanın maruz kalacağı radyasyon dozunun sağlık yönünden herhangi bir soruna neden olmayacağı göz önünde bulundurularak belirlenmiştir (Taşkın, 2006).

Çizelge 2.9: İçme Sularında Toplam Alfa ve Beta Aktivitesi İçin Kullanılan Limitler.

Radyoaktivite	Dünya Sağlık Örgütü (WHO)			TSE	İSKİ
	TEÜL 1984	TEÜL 1971	MEÜL 1971	MEÜL1984	MEÜL1984
Toplam Alfa	0.1 Bq/l	0.11 Bq/l	0.37 Bq/l	0.1Bq/l	0.1Bq/l
Toplam Beta	1.0 Bq/l	1.10 Bq/l	3.70 Bq/l	1.0 Bq/l	1.0 Bq/l

TEÜL* : Tavsiye Edilen Üst Limit

MEÜL** : Müsaade Edilen Üst Limit

2.4.1.2.3. Yiyeceklerdeki Doğal Radyoaktivite

Tüm yiyecekler bir miktar radyoaktiviteye sahiptir. Yiyeceklerde bulunan temel radyonüklitler ^{40}K (potasyum), ^{238}U (uranyum) ve ^{226}Ra (radyum)'dur. Birçok besinde bulunan radyoaktif maddelerin insan vücudundaki düzeyleri yaşanan bölgeye ve beslenme alışkanlıklarına göre değişim göstermektedir. Özellikle kabuklu yiyecekler diğer yiyeceklere nazaran daha fazla radyonüklit içerirler. Kabuklu yiyecekleri fazla miktarda tüketen insanlar ortalamanın üzerinde radyasyon dozu alırlar (Değerliler, 2007).

Çizelge 2.10.' da bazı yiyeceklerde bulunan ^{40}K ve ^{226}Ra miktarları verilmiştir (ICRP, 1991).

Çizelge 2.10: Bazı Yiyeceklerdeki ^{40}K ve ^{226}Ra Değerleri (ICRP, 1991).

Yiyeceklerdeki Doğal Radyasyon		
Yiyecek	^{40}K (pCi/kg)	^{226}Ra (pCi/kg)
Bira	390	----
Fındık	5.600	1000-7000
Havuç	3.400	0.6-2
Kırmızı Et	3000	0-5
Kırmızı Fasulye	4640	2-5
Muz	3520	1
Patates	3.400	1-2.5
Su	----	0-0.17

2.4.1.2.4. İnsan Vücudunda Bulunan Doğal Radyoaktivite

İnsan vücudu kimyasal bir yapıdır ve günlük olarak su ve yiyeceklerle alınan bazı radyonüklitlerin insan vücudunda bulunması normaldir. Buna ek olarak vücudumuzda bulunan radyonüklitlerden (özellikle ^{40}K) dolayı da belli miktarda radyasyon dozuna maruz kalırız. Çizelge 2.11.'de insan vücudunda bulunan bazı radyonüklitler ve bu radyonüklitlerin günlük alım miktarları verilmiştir. Burada 30 ICRP verisi kullanılmış ve 70 kg kütleli bir yetişkin için hesaplanmış radyonüklid konsantrasyonları tahmin edilmiştir (Değerliler, 2007).

Çizelge 2.11: İnsan Vücudundaki Doğal Radyoaktivite .

Vücuttaki Doğal Radyoaktivite			
Çekirdek	Vücuttaki Toplam Miktar	Vücuttaki Toplam Çekirdek Aktivitesi	Günlük Çekirdek Alımı
Uranyum	90 µg	30 pCi (1.1 Bq)	1.9 µg
Toryum	30 µg	3 pCi (0.11 Bq)	3 µg
Potasyum 40	17 mg	120 nCi (4.4 kBq)	0.39 mg
Radyum	31 pg	30 pCi (1.1 Bq)	2.3 pg
Karbon 14	95 µg	0.4 µCi (15 kBq)	1.8 µg
Tritiyum	0.06 pg	0.6 nCi (23 Bq)	0.003 pg
Polonyum	0.2 µg	1 nCi (37 kBq)	~0.6 µg

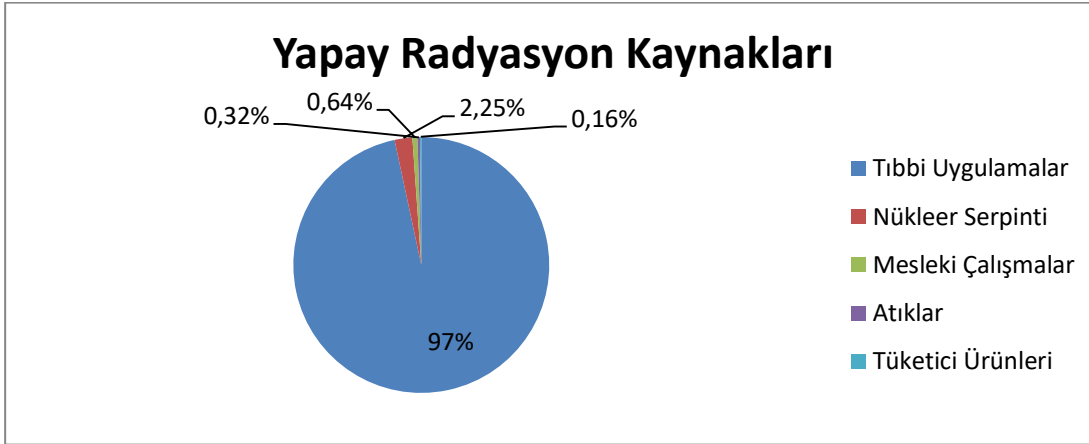
2.4.2. Yapay Radyasyon Kaynakları

İnsanlar, teknolojinin gelişmesi ile birlikte tıbbi uygulamalarda ve özellikle enerji ihtiyacını karşılamak için çeşitli yöntemlerle radyasyon kaynağı elde etmeye ihtiyaç duymuştur. Bu yöntemle elde edilen radyasyon kaynakları yapay radyasyon kaynakları olarak adlandırılır.

Yapay radyasyon kaynakları, doğal radyasyon kaynakları gibi radyasyon yayılımına neden olmaktadır. Fakat yayımlanan bu radyasyon miktarı hem oldukça az hem de kontrol altında tutulabilme özelliğine sahip olduğundan, doğal radyasyon kaynaklarının verdiği zarara görece oldukça düşüktür (Şekil 2.4.1).

Tıbbi, zirai ve endüstriyel amaçla kullanılan X-ışınları ve yapay radyoaktif maddeler, nükleer silah ve bomba denemeleri sonucu meydana gelen nükleer serpintiler, nükleer reaktörlerde meydana gelen kazalar sonucu çevreye yayılan radyoaktif maddeler ile bazı tüketici ürünlerinde kullanılan radyoaktif maddeler, bilinen başlıca yapay radyasyon kaynaklarıdır (Akkurt, 2006).

Yapay radyasyon kaynaklarının ve bu kaynaklardan yayınlanan radyasyonların oransal değerleri şekil 2.10.' da verilmiştir (Url-2).



Şekil 2.10: Yapay radyasyon kaynaklarının ve bu kaynaklardan yayınlanan radyasyonların oransal değerleri.

Çizelge 2.12.' de yapay radyasyon kaynaklarında üretilen bazı radyoaktif çekirdekler, yarı ömürleri ve kullanım alanları gösterilmiştir (Gönen, 2012).

Çizelge 2.12: Yapay radyasyon kaynaklarında üretilen radyoaktif çekirdekler.

Yapay Radyasyon Kaynakları			
Çekirdek	Sembol	Yarı Ömür	Kaynak
Tritiyum	^3H	12.3 yıl	Silah testi ve fisyon reaktörlerinden oluşan fisyon ürünleri, nükleer silah yapımı sonucu oluşmaktadır.
İyot 131	^{131}I	8.04 gün	Silah testi ve fisyon reaktörlerinden oluşan fisyon ürünleri ve tıpta, tiroid problemlerinde kullanılmaktadır.
İyot 129	^{129}I	1.57×10^7 yıl	Silah testi ve fisyon reaktörlerinden oluşan fisyon ürünleri sonucu oluşur.
Sezyum 137	^{137}Cs	30.17 yıl	Nükleer denemeler ve fisyon reaktörlerinden oluşan fisyon ürünleri sonucu oluşur.
Stronsiyum 90	^{90}Sr	28.78 yıl	Nükleer denemeler ve fisyon reaktörlerinden oluşan fisyon ürünleri sonucu oluşur.
Teknesyum 99	^{99}Tc	2.11×10^5 yıl	^{99}Mo bozunumunda oluşur, tıpta kullanılmaktadır.
Plutonyum 239	^{239}Pu	2.41×10^4 yıl	^{238}U 'in nötron bombardımanı sonucu oluşur. ($^{238}\text{U} + n \rightarrow ^{239}\text{U} \rightarrow ^{239}\text{Np} + \beta \rightarrow ^{239}\text{Pu} + \beta$)

2.4.3. Gama Işını Dedektörleri

Nükleer radyasyon miktarını belirlemek için kullanılan tüm dedektörler benzer çalışma prensiplerine sahiptirler. Radyasyon dedektöre girer, dedektör materyalinin atomlarıyla etkileşir, enerjisinin bir kısmını veya tamamını dedektör atomlarına aktarır, böylece atom yörüngelerinden daha düşük enerjili elektronların salınmasına neden olur. Bu elektronlar, uygulanan bir yüksek voltajın oluşturduğu elektrik alan etkisiyle toplanır ve analiz edilmek için elektronik devre tarafından ya akım pulsu ya da voltaj şekline dönüştürülür. Dedektör materyalinin özellikleri, ölçülecek radyasyonun tipine bağlıdır (Mızrak, 2010). Gama ışınlarının ölçümünde yaygın olarak kullanılan dedektörler şöyledir;

1) Sintilasyon Dedektörleri

2) Yarıiletken Dedektörler

Bu dedektörlerin çalışması, gama ışınlarının, kullanılan dedektör materyali içinde iyonlaşarak enerji kaybetmesi ilkesine dayanır (Krane, 2001; Akkoyun, 2007).

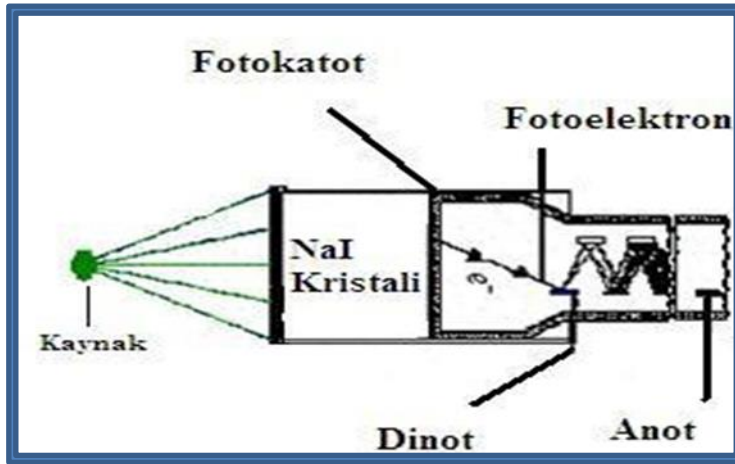
2.4.3.1. Sintilasyon dedektörleri

Gama ışınlarının algılanması için yaygın olarak kullanılan bir yöntem olan kristal sintilatörler kullanılmaktadır. Genel anlamda sintilatörler, yüksek enerjili yüklü parçacıklar kendilerine çarptığında, düşük enerjili, (gözle görülebilir dalga boylarında) fotonlar yayınlayan kristaller olarak bilinirler.

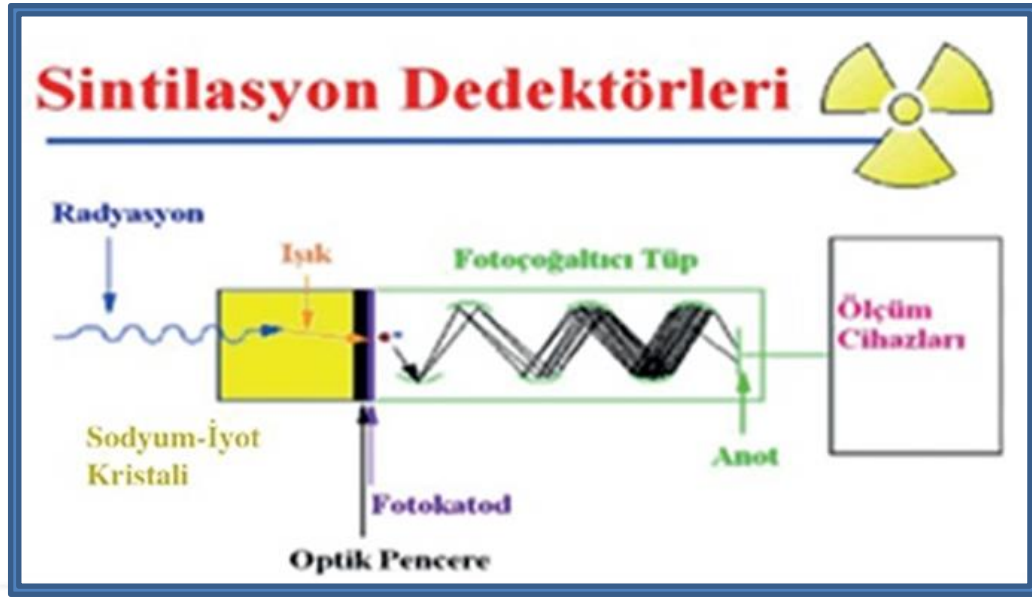
Sintilasyon dedektörü kristaline gelen gama ışınları, kristalde bulunan atomlar ile çok sayıda etkileşime girer. Kristal atomları taban enerji seviyelerinden daha üst seviyelere uyarılırlar. Uyarılmış durumdaki atom hızla, görünür dalga boyunda veya görünür dalga boyuna yakın ışık yayınlayarak taban hale geri döner. Işık, yüzeye (fotokatoda) çarparak fotoelektrik olay yolu ile foton başına bir fotoelektron salınmasına neden olur. Bu durumdaki ikincil elektronlar fotoçoğaltıcı tüpte çoğaltılarak, hızlandırılır ve çıkış pulsları haline dönüştürülür (Krane, 2001).

Fotoelektrik olay sonrası oluşan fotoelektronlar, elektrik alan içinde Dinot (dynode) adı verilen metal bir plakaya doğru hızlandırılır. Dinot'a ulaşan elektronlar, birçok yeni elektronun serbest bırakılmasını sağlar. İlk dinottan fırlatılan elektronlar, elektrik alan etkisiyle ikinci dinota doğru hareket eder ve bu böylece devam eder. Her dinot, bir öncekinden daha yüksek bir potansiyele sahiptir. Ortalama bir fotoçoğaltıcı tüpte 10- 12 dinot bulunur. Yani elektronlar, 10- 12 kez bir dinottan diğerine doğru hareket eder. Elektronlar, dinotlara her çarpışta çoğaltılır ve hızlandırılır. Son dinotta oluşan yük miktarı, tüpe giren foton sayısı ile orantılıdır. Foton sayısı ile kristale gelen gama ışınlarının sayısı da orantılı olduğundan dolayı, çıkış voltajı direk olarak gelen gama ışını ile orantılıdır (Akkoyun, 2007).

Sintilatörler organik olabildiği gibi inorganik de olabilirler. Ölçme amacına uygun olarak farklı türde sintilatörler kullanılır. Alfa sayımları için gümüşle aktive edilmiş ZnS kristali, Beta sayımları için naftalin, stilben olabileceği gibi en fazla antresen, gamalar için inorganik madde olan NaI veya CsI kristalleri kullanılır (Yülek, 2001). Foton yayınlanma olasılığını arttırabilmek ve ışığın soğrulmasını azaltabilmek için aktivatör kullanılır. En çok kullanılan aktivatör Tl ve Na' dur. Aktivatörler yeni enerji durumları oluştururlar ve aktivatör durumları arasında ışık yayını meydana gelir. Genel olarak gamalar için, NaI(Tl) yani talyum aktifleyici ile sodyum iyodid kristali kullanılmaktadır (Krane, 2001). Şekil 2.11 ve 2.12' de NaI sintilasyon dedektör şemaları verilmiştir



Şekil 2.11: NaI Sintilasyon Dedektör Şeması.



Şekil 2.12: NaI Sintilasyon Dedektör Şeması.

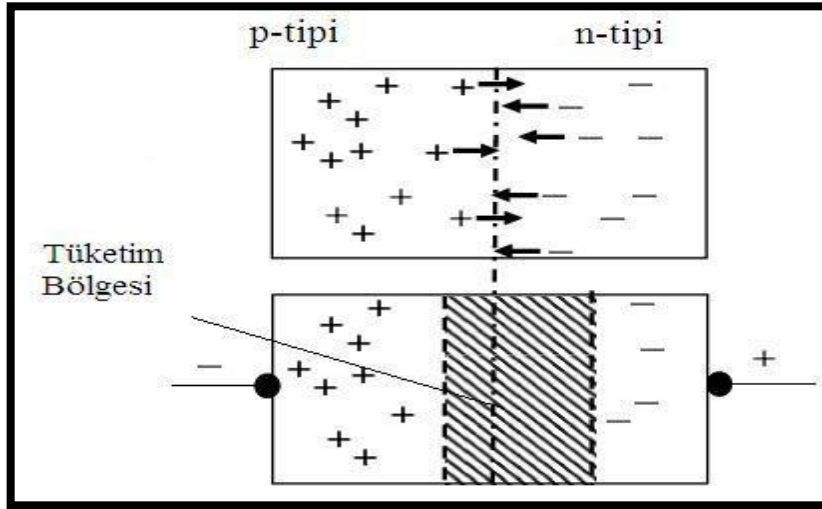
2.4.3.2. Yarı iletken dedektörler (HPGe Detektörler)

Yarı iletken dedektörler, yük taşıyıcı türlerine göre ikiye ayrılır. Yük taşıyıcıları elektron olan iletkenler n tipi, yük taşıyıcıları boşluklar (deşikler) ise p tipi yarı iletken olarak adlandırılırlar. Bir yalıtkanda yasak enerji aralığı 5 eV iken bir yarı iletkende yasak enerji aralığı 1 eV' tur. Az sayıda elektron, değerlik bandında boşluk bırakarak iletim bandına geçer. Bu boşluklar komşu elektronlar tarafından doldurulur. Yeni bir boşluk oluşur böylece boşluklar kristal içinde hareket ediyormuş gibi görünür. Yarı iletkende iletimi kontrol etmek amacıyla az miktarda katkı ilave edilir. Bu katkı üç veya beş değerliklidir. Katkı beş değerlikli ise, dört elektron kovalent bağ yapar, beşinci elektron örgü içinde hareket eder. Bu n tipi yarı iletkenidir. Katkı üç değerlikli ise, üç elektron kovalent bağ yapar ve bir boşluk kalır. Buna da p tipi yarıiletken denir.

p-tipi ve n-tipi materyallerin birbiriyle temas ettirilmesi halinde, n-tipi elemandan çıkan elektronlar p-tipi elemanda eklem boyunca yayılırlar ve buradaki boşluklarla birleşirler. Yük taşıyıcılarının nötr duruma geldikleri bölgeye "tükenme bölgesi" denir. Radyasyon, tükenme bölgesine girerek burada elektron-boşluk çiftleri meydana getirir. Dışarıdan uygulanan voltaj, bu elektron-boşluk çiftlerinin

sürüklenmesine neden olur. Elektronlar bir yönde hareket ederken, boşluklar ise diğer yönde hareket eder ve biriken elektronların toplam sayısı, sayıcı ile sayılabilen bir elektronik puls meydana getirir. Bu puls'un genliği radyasyonun enerjisiyle orantılıdır. Yarıiletken dedektör türlerinden en yaygın kullanılanları, Ge (Li), Si (Li) dedektörleridir (Mızrak, 2010).

Dedektör veriminin yüksek olabilmesi için, derin tükenme bölgesi gerekir. Derin tükenme bölgesi elde etmek için de saflığı yüksek maddeler kullanılmalıdır. Çok saf Germanyum (Hyper-pure Germanium) dedektörleri buna güzel bir örnektir. Bu türde safsızlık az, direnç yüksek olduğundan çözme gücü çok yüksektir. Başka bir avantajı ise saf Germanyum dedektörlerinin besleme gerilimi uygulanmadığı zaman oda sıcaklığında tutulabilir olmasıdır. Çalışma esnasında sıvı azot sıcaklığında tutma gereği ve düşük verime sahip olması bu tipteki dedektörlerin dezavantajlarıdır (Mızrak, 2010).



Şekil 2.13: Yarı İletken Dedektör Şeması.

3. MATERYAL VE METOT

Bu tez çalışmasında, Ergene Nehri boyunca alınan toprak ve sediment örneklerinin radyoaktivite miktarının tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla Ergene Nehri boyunca 22 farklı bölgede, nehir içinden 22 sediment örneği ile nehir bölgesinin 5 m çevresinden 22 toprak örneği analiz edilmiştir (Şekil 3.1). Bu çalışmada alınan numunelerin analiz işlemleri, Kırklareli Üniversitesi İleri Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde bulunan Nükleer Spektroskopi Laboratuvarında yapılmıştır.



Şekil 3.1: Toprak ve sediment örneklerinin toplandığı noktalar (Ur1-6).

Çizelge 3.1: Ergene Havzası Numune Toplanan Yerlerin Koordinatları.

NUMUNE NO	YER	LAT	LON
1	ÇAKILI MEVKİİ-KAYNAK	41.5254	27.9185
2	SARAY KAVACIK	41.4655	27.9217
3	SARAY ERGENE DERESİ	41.4463	27.9392
4	ÇUKURYURT KÖYÜ	41.4305	27.8894
5	ÇAYLAKÖY-ERGENE DERESİ	41.4022	27.8854
6	UZUNHACI KÖYÜ	41.3460	27.8309
7	KARAMEHMET KÖYÜ	41.3045	27.4444
8	BAKIRCA KÖYÜ	41.3091	27.7872
9	ULAŞ-D100 KARAYOLU	41.2434	27.6942
10	ESENLER KÖYÜ	41.2308	27.6551
11	AŞAĞI YUKARI SEVİNDİKLİ	41.2264	27.5591
12	İNANLI KÖYÜ	41.2021	27.4766
13	SEYİTLER KÖYÜ	41.2534	27.4524
14	KARAMUSUL KÖYÜ	41.3045	27.4446
15	ESKİBEDİR KÖYÜ	41.3475	27.3928
16	DURAK L.BURGAZ GİRİŞ	41.3456	27.3265
17	ALPULLU	41.3613	27.1366
18	KATRANCA	41.3527	27.0784
19	PEHLİVANKÖY YOLU	41.3348	26.9225
20	UZUNKÖPRÜ	41.2782	26.6754
21	SAATAĞACI KÖYÜ	41.1626	26.5137
22	İPSALA YOLU	41.0656	26.3623

3.1. Ergene Havzası

Ergene havzası Tekirdağ, Kırklareli ve Edirne illerinin büyük bir kısmını kapsayan Türkiye'deki en kirli havzalardan birisidir. Ayrıca havza Türkiye sınırları dışına da çıkması sebebi ile ayrı bir öneme sahiptir.

Türkiye'nin Trakya bölümünde yer alan Ergene Havzası, kuzeyde Bulgaristan ve Istranca Dağları, doğuda Vize, Saray, Çerkezköy ilçelerini içine almakta, güneyde Tekirdağ'ın Çorlu ilçesinden geçerek Yunanistan ve Bulgaristan sınırlarına kadar uzanmaktadır. Istranca Dağları'ndan doğan Ergene Nehri, Meriç Nehri ile birleşerek Saroz Körfezi'nden denize dökülmektedir (Gök, 2015).

3.2. Ergene Nehri

Ergene Nehrinin uzunluğu 281 km, havza alanı 12.438 m² dir. Istranca (Yıldız) Dağlarının güneydoğu doğru bölümünü oluşturan Tekirdağ İli, Saray İlçesinin kuzeydoğu kesiminde bulunan Karatepe mevkiinden (rakım 473m)doğar. Ergene Nehri kuzeydoğu-güneybatı doğrultusunda aktıktan sonra yön değiştirerek batı yönünde büyük bir yay çizdikten sonra güneydoğu-kuzeybatı doğrultusunda akmaya başlar. En büyük kollarından olan Çorlu Deresi ile Muratlı yakınlarında birleşir. Güneyden (soldan) Beşiktepe ve Hayrabolu dereleri nehre birleşirken, Kuzey ve kuzeydoğudan (sağdan) ise Istrancalar'dan inen Poyralı Deresi, Şeytan Deresi, Kocadere ve Süloğlu Deresi ile birleşir. Lüleburgaz'ın güneyine geldiğinde yön değiştirerek batıya doğru tabanını genişleterek ilerler. Pehlivanköy'ün içinden geçerek en geniş alana sahip olduğu Uzunköprü'ye ulaşır.

Uzunköprü'nün yanından geçerken kente adını veren 174 kemerli ve 1.400 m uzunluğundaki dünyanın en uzun taş köprüsün altından akar. Son olarak İpsala'nın kuzeyinde, geniş bir alüvyonlu ovanın batısında Meriç Nehri ile birleşir. Böylelikle Ergene Nehri ülkemizin Trakya Bölümünün büyük bir kısmından geçerek Ege Denizi'ne dökülmüş olur. Rejimi düzensiz olan Ergene Nehri'nin suları kışın ve ilkbaharda artar; yaz sonunda ise oldukça azalır (Url-7).



Şekil 3.2: Örneklerin Toplandığı Yerler (Ergene Nehri).

3.3. Örneklerin Toplanması ve Sayıma Hazırlanması

Belirlenen koordinatlarda nehir içinden 22 sediment örneği ile nehir bölgesinin 5 m çevresinden 15-20 cm derinlikten 22 toprak numunesi radyoaktif ölçümlere yetecek miktarda (1-1.5 kg) alınarak plastik poşetlere konulmuştur (Şekil 3.2-3.3).

Plastik poşetler numaralandırılmış ve numunelerin alındığı bölgelerin enlem ve boylamları kayıt altına alınmıştır (Çizelge 3.1). Toplanan toprak ve sediment numuneleri analiz işlemi için Kırklareli Üniversitesi İleri Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezi'ne getirilmiştir.



Şekil 3.3: Sediment ve Toprak Örneklerinin Toplanması.

Laboratuvara getirilen toprak ve sediment örnekleri, oda sıcaklığında kurutulmuş ve daha sonra içlerinde bulunan taş, ot, odun parçası gibi yabancı maddeler temizlenmiştir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4: Laboratuvara getirilen örnekler.

Her bir örnek 105 °C sıcaklıktaki etüvlerde içlerindeki nemin giderilmesi için kurutulmuştur. Kurutulan örnekler sonrasında öğütülmüş ve 2 mm (10 mesh)

gözenekli eleklerden geçirilerek darası alınmış sayım kaplarına konularak her bir örneğin ağırlığı tartılıp kaydedilmiştir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5: Örneklerin kurutulma işlemleri.

Bu işlemden sonra her kabın ağzı hava geçirmeyecek şekilde sıkıca kapatılarak toprak içinde bulunan ^{226}Ra ve ^{222}Rn arasındaki bozunma denkleğinin sağlanması için yaklaşık 4-5 hafta süreyle bekletilmiştir (Şekil 3.6). Bu süre sonunda örneklerin analizleri gama spektrometre cihazında yapılmıştır (Şekil 3.8). Her bir örneğin sayım zamanı en az 48 saat (~ 160.000 s) olacak şekilde ayarlanmıştır.



Şekil 3.6 : Sayıma hazır hale gelmiş örnekler.

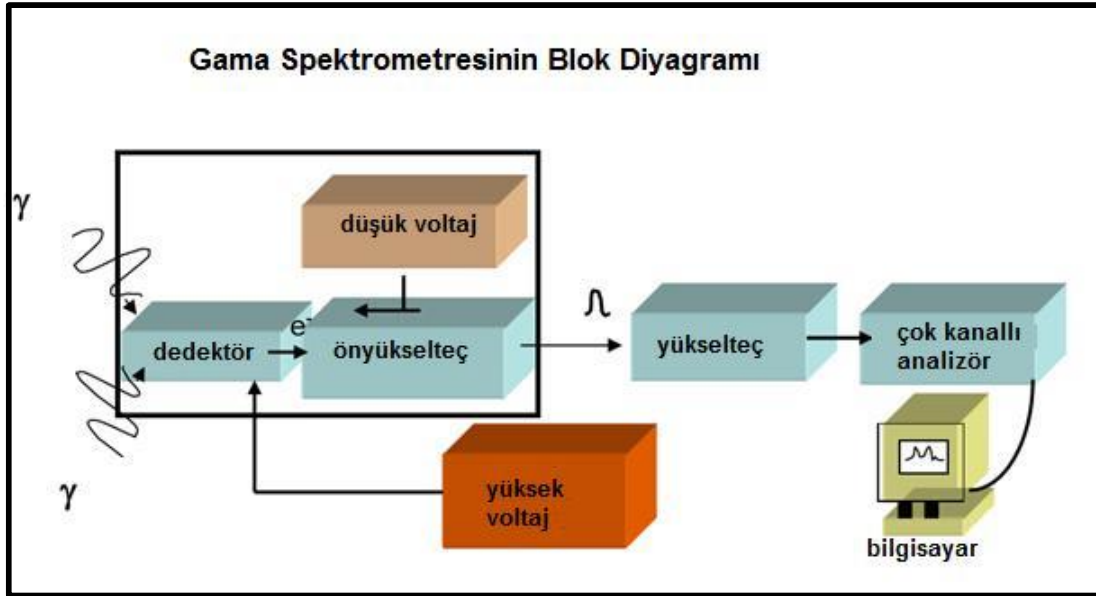
Sayım sonucunda elde edilen gama spektrumlarından radyonüklidlere ait pik alanları belirlenmiş ve her bir örneğe ait pik alan değeri, sayım süresi, örnek ağırlığı ve dedektörün verimi dikkate alınarak aktivite değerleri hesaplanmıştır.

3.4. Araştırmada Kullanılan Ölçüm Sistemi

Çalışmada örneklerin gama spektrometrik analizleri, Kırklareli Üniversitesi İleri Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde mevcut bulunan yüksek saflıkta germanyum dedektörü HpGe (Hyper Pure Germanium Detector) kullanılarak yapılmıştır. Kullanılan sistem % 70' lik relatif verime sahip olan ORTEC, GEM70P4-95 model (1.33 MeV'de FWHM:2.0 keV, relatif verim % 70 ve pik/compton = 75/1'dir) dir (şekil 3.8). Gama Spektroskopi sistemi kurşun zırh içindeki p-tipi, dikey kriyostatlı, koaksiyel saf germanyum gama dedektörü, dijital sinyal üreten entegre gama spektrometresi (DSPEC jr. 2.0), Gamma Vision-32 spektrum analiz yazılımı ve bilgisayardan oluşmaktadır (Öztürk, 2016).

Dedektör, önyükselteç, spektroskopi yükselteci, analog sayımları elektronik sinyallere dönüştüren ADC sistemi, çok kanallı analizörden (MCA) oluşmaktadır (Şekil3.7), (Url-8).

Gama spektrometrisi sayımlardan önce kalibre edilmiştir. Sonrasında gerçekleştirilen tüm ölçüm sonuçlarından elde edilen aktivite konsantrasyonları kullanılarak, örneklerin radyoaktivite miktarlarının insan sağlığı üzerindeki etkisini uluslararası standart değerlerle karşılaştırarak bulmak amacıyla bazı parametreler hesaplanmıştır. Bu parametreler: radyum eşdeğer aktivite indeksi, gama indeksi, absorblanan gama doz hızı ve yıllık etkin doz eşdeğeridir.



Şekil 3.7: Gama spektrometresinin şematik şekli.



Şekil 3.8: Kırklareli Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında bulunan HPGe Gama Işını Dedektörü.

Gama spektrometrisi sayımlardan önce kalibre edilmiştir. Sonrasında gerçekleştirilen tüm ölçüm sonuçlarından elde edilen aktivite konsantrasyonları kullanılarak, örneklerin radyoaktivite miktarlarının insan sağlığı üzerindeki etkisini uluslararası standart değerlerle karşılaştırarak bulmak amacıyla bazı parametreler hesaplanmıştır. Bu parametreler: radyum eşdeğer aktivite indeksi, gama indeksi, absorblanan gama doz hızı ve yıllık etkin doz eşdeğeridir.

Enerji kalibrasyonunun yapılabilmesi için önceden enerjileri bilinen radyonüklidlerden oluşmuş standart kaynaklara ihtiyaç vardır. Enerji ve verim kalibrasyonu enerjileri 47–1836 keV arasında olan ^{210}Pb , ^{241}Am , ^{109}Cd , ^{57}Co , ^{139}Ce , ^{203}Hg , ^{113}Sn , ^{85}Sr , ^{137}Cs , ^{88}Y ve ^{60}Co radyonüklid karışımlarının bulunduğu standart kaynaklar (Eckert & Ziegler Isotope Products Laboratories) kullanılarak yapılmıştır. Çizelge 3.2’ de kalibrasyon için kullanılan standart kaynağa ait bilgiler verilmektedir.

Çizelge 3.2: Standart kaynağın özellikleri.

Gama Işım Enerjisi (keV)	Radyonüklid Adı	Yarı Ömür	Gama Işım Şiddeti (%)	Aktivite (µCi)
47	²¹⁰ Pb	22.3 yıl	4.18	0.3053
60	²⁴¹ Am	432.17 yıl	36.0	0.03073
88	¹⁰⁹ Cd	462.6 gün	3.63	0.4411
122	⁵⁷ Co	271.79 gün	85.6	0.01587
166	¹³⁹ Ce	137.640 gün	79.9	0.02006
279	²⁰³ Hg	46.595 gün	81.5	0.06015
392	¹¹³ Sn	115.09 gün	64.9	0.08151
514	⁸⁵ Sr	64.849 gün	98.4	0.09832
662	¹³⁷ Cs	30.17 yıl	85.1	0.06853
898	⁸⁸ Y	106.630 gün	94.0	0.1589
1173	⁶⁰ Co	5.272 yıl	99.86	0.08395
1333	⁶⁰ Co	5.272 yıl	99.98	0.08395
1836	⁸⁸ Y	106.630 gün	99.4	0.1589

3.4.1. Aktivite Konsantrasyonlarının Hesaplanması

Sediment ve toprak örneklerindeki aktivite konsantrasyon değerleri Bq kg⁻¹ (kuru ağırlık) biriminden aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$A = \frac{N_{net}}{\varepsilon.t.I.m} \quad (3.1)$$

Burada,

A , hesaplanan aktivite (Bq/kg);

N_{net} , net pik alanı;

ε , ilgilenilen pik içindedektör verimi;

t , sayım süresi;

m , numunenin kütlesi (kg) ;

I , gama enerjisinin yayınlanma olasılığıdır (Bostancı, 2011).

3.5. Hesaplanan Radyasyon Parametreleri

3.5.1. Karasal Soğurulan Gama Doz Hızı (D)

Toprakta olan ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K 'nin doğal spesifik aktivite konsantrasyonlarının bilinmesiyle yüzeyden 1 metre yüksekte maruz kalınan havadaki soğurulan gama doz hızı UNSCEAR (2000) tarafından ortaya konulan bağıntı ile hesaplanabilir (UNSCEAR, 2000).

$$D \text{ (nGy/h)} = 0.462 A_{\text{Ra}} + 0.604 A_{\text{Th}} + 0.0417 A_{\text{K}} \quad (3.2)$$

Burada A_{Ra} , A_{Th} ve A_{K} sırasıyla ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K 'nin Bq/kg biriminde aktivite konsantrasyonlarıdır ve D ise yerden 1 metre yukarıda soğurulan doz hızıdır. ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları kullanılarak ve eşitlik (3.2)'deki katsayılar kullanılarak her bir örnek için soğurulan gama doz hızı nGy/saat cinsinden hesaplanmıştır.

3.5.2. Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri (AEDE)

Yıllık etkin dozun hesaplanabilmesi için, havada soğurulan dozun etkin doza dönüştürülmesi için gerekli olan dönüşüm katsayısı ve dış ortamda geçirilen süre ile ilgili faktör dikkate alınarak hesaplama yapılmıştır (UNSCEAR, 2000).

Burada, 0.7 yetişkinler için havadan soğurulan doz miktarının efektif doza dönüşüm katsayısı, 0.2 dış ortamda geçirilen süre ile ilgili faktördür.

$$\text{AEDE } (\mu\text{Sv/yıl}) = \text{Doz Hızı (nGy/h)} \times 8760 \text{ h} \times 0.2 \times 0.7 \text{ Sv/Gy} \times 10^{-3} \quad (3.3)$$

3.5.3. Radium Eşdeğer Aktivitesi (Ra_{eq})

Risk indeksinde radium eşdeğer aktivitesi adı verilen ortak bir indeks kullanılmaktadır. Ra_{eq} , Ra, Th ve K içeren örneklerin spesifik aktivitelerini karşılaştırmak için tanımlanmış ve yaygın olarak kullanılan bir radyoaktif tehlike indeksidir.

Radyum eşdeğer aktivitesi (R_{eq}), aşağıda verilen bağıntı ile hesaplanmaktadır (Beretka ve Mathew, 1985).

$$R_{eq} = A_{Ra} + 1.43 A_{Th} + 0.077 A_K \quad (3.4)$$

Bu ifade de, A_{Ra} , A_{Th} ve A_K sırasıyla, ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K 'nın Bq/kg türünden aktivite konsantrasyon değeridir. Radyum eşdeğer aktivite derişimi için izin verilen maksimum değer 370 Bq/kg olarak belirlenmiştir (OECD, 1979). ^{232}Th 'nin 259 Bq/kg ve ^{40}K 'nın 4810 Bq/kg'lık aktivitelerinin ise aynı gama doz hızını ürettiği kabul edilir (Kurnaz ve Arkadaşları, 2017).

3.5.4. Dış Tehlike İndeksi (Hex)

Beretka ve Mathew'in (1985) tanımladığı indeks değeri aşağıdaki ifade kullanılarak hesaplanır (Beretka ve Mathew, 1985).

$$Hex = A_{Ra}/370 + A_{Th}/259 + A_K/4810 \quad (3.5)$$

Bu ifade de, A_{Ra} , A_{Th} ve A_K sırasıyla, ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K 'nin Bq/kg cinsinden spesifik aktivite değerleridir. Hex'in değeri 1'e eşit veya 1'den küçük olursa radyasyonun zararı önemsizdir diyebiliriz.

3.5.5. Yıllık Gonadal Doz Eşdeğeri (AGDE)

Kemik iliği ve kemik yüzey hücreleri aktiviteleri, UNSCEAR (1988) tarafından ilgilenilen organlar olarak kabul edilmektedir. A_{Ra} , A_{Th} ve A_K 'nin spesifik aktiviteleri kullanılarak eşitlik (3.6)'daki gibi hesaplanabilir (Mamont-Ciesla et al., 1982).

$$AGDE (\mu Sv/ yıl) = 3.09 A_{Ra} + 4.18 A_{Th} + 0.314 A_K \quad (3.6)$$

3.5.6. Yaşam Boyu Kanser Riski (ELCR)

Yaşam boyu kanser riski yıllık etkin doz eşdeğeri kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$KR= AEDE \times DL \times RF \times 10^{-3} \quad (3.7)$$

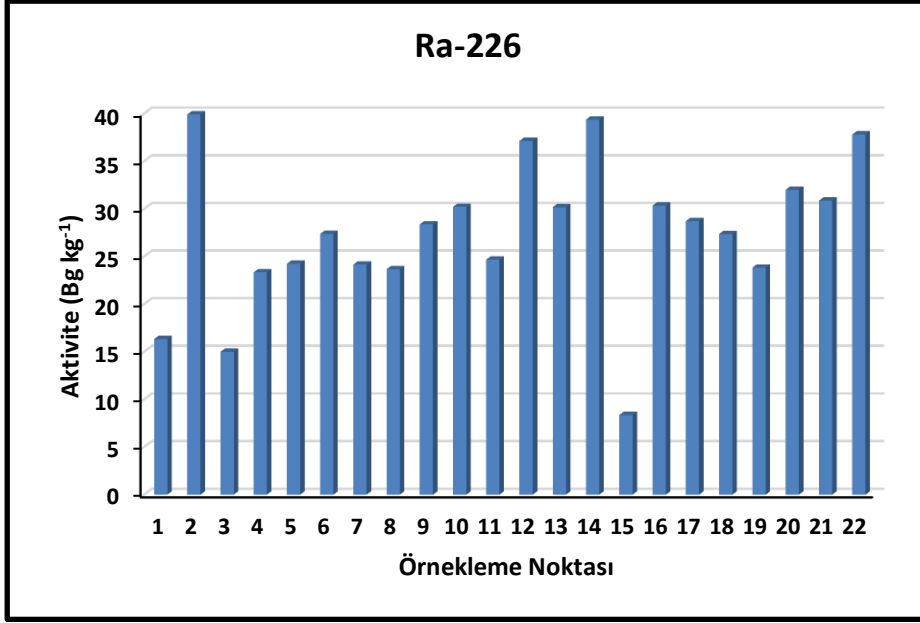
Burada AEDE, çalışmada hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğeri; DL, ortalama yaşam süresi (ortalama 70 yıl) ve RF risk faktörü ise $0.057 \mu\text{Sv}^{-1}$ olarak alınmıştır (Atlas, 2015; Karataşlı, 2019).

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında Ergene Nehri boyunca alınan toprak ve sediment örneklerinde bulunan bazı doğal ve yapay radyonüklid (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs) konsantrasyonları belirlenmiştir. Örneklerde bulunan ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K doğal radyoaktif izotopların aktivite konsantrasyonları, havadan absorbe edilen doz oranı (D) ve yıllık etkin doz eşdeğeri (AEDE) ile radyasyon tehlike parametreleri hesaplanmıştır.

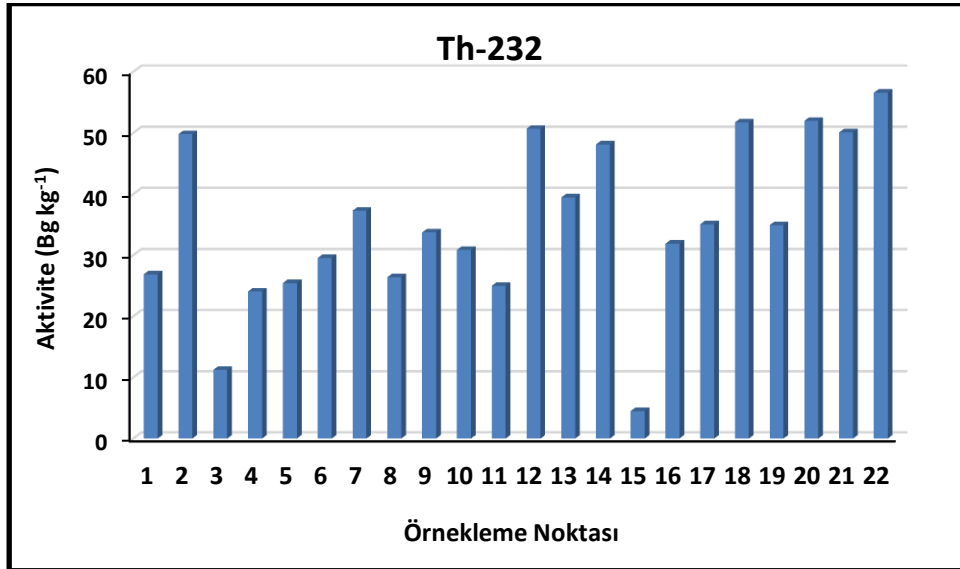
4.1. Toprak Örneklerindeki ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs 'nin Aktivite Konsantrasyonları

Ergene Havzası'ndan 22 farklı noktadan alınan toprak örneklerine ait ^{226}Ra aktivite konsantrasyonları 8.4 ± 1.4 ile 39.9 ± 1.5 Bq kg⁻¹ arasında bulunmuştur (Şekil 4.1). Toprak örneklerine ait ortalama ^{226}Ra aktivite konsantrasyonu 27.4 Bq kg⁻¹ dir. En yüksek ^{226}Ra aktivite konsantrasyonu Saray Kavacık bölgesinden (2 numaralı örnekleme noktası) alınan örnekte ölçülürken en düşük konsantrasyon ise Eskibedir'den (15 numaralı örnekleme noktası) alınan toprak örneğinde tayin edilmiştir.



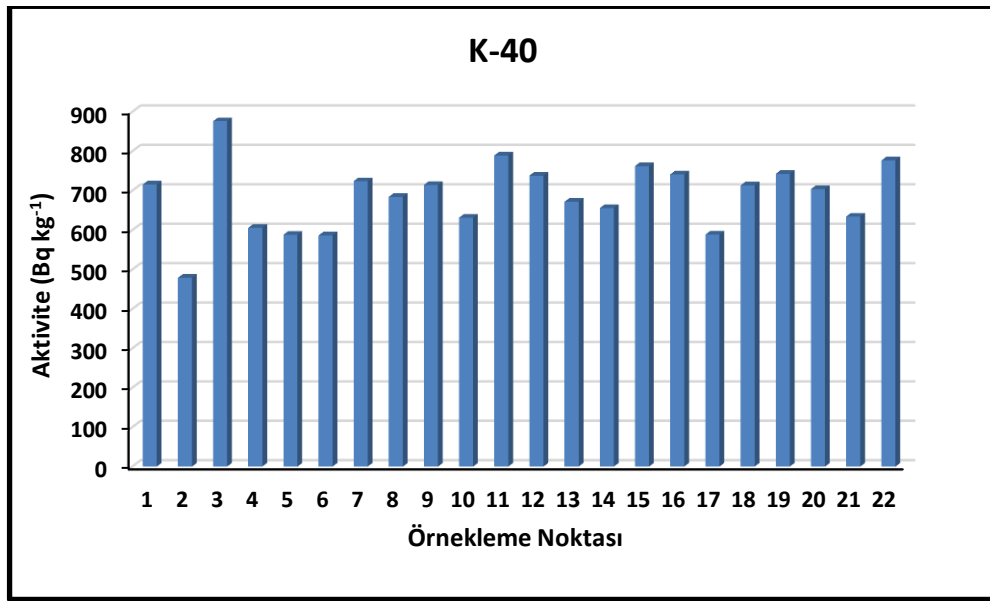
Şekil 4.1: Toprak örneklerine ait ²²⁶Ra aktivite konsantrasyon değişimi

Ergene Havzası'ndan 22 farklı noktadan alınan toprak örneklerine ait ²³²Th aktivite konsantrasyonları 4.5 ± 0.8 ile 56.6 ± 0.7 Bq kg⁻¹ arasında bulunmuştur (Şekil 4.2). Toprak örneklerine ait ortalama ²³²Th aktivite konsantrasyonu 35.2 Bq kg⁻¹ dır. En yüksek ²³²Th aktivite konsantrasyonu İpsala (22 numaralı örnekleme noktası) bölgesinden alınan örnekte ölçülürken en düşük konsantrasyon ise Eskibedir'den (15 numaralı örnekleme noktası) alınan toprak örneğinde tayin edilmiştir.



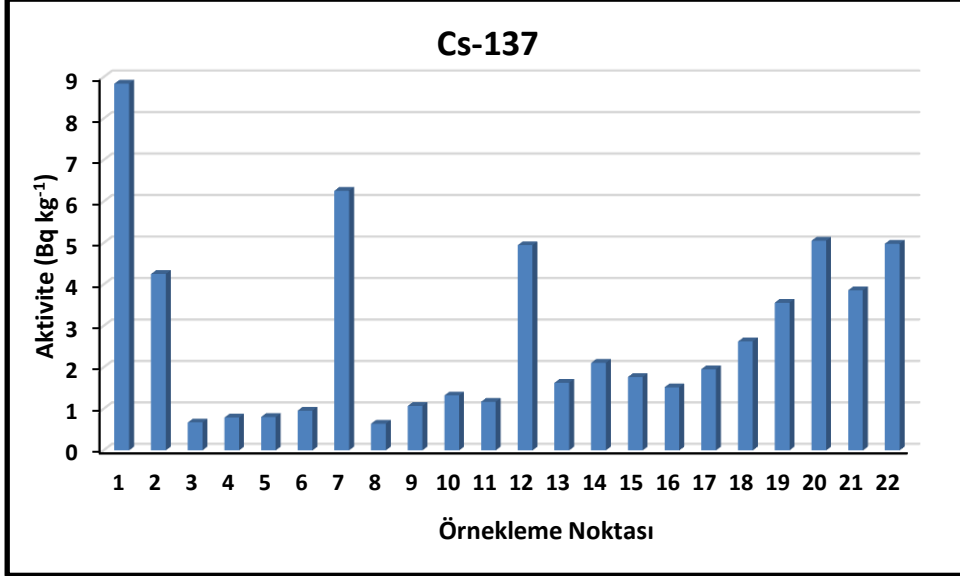
Şekil 4.2: Toprak örneklerine ait ²³²Th aktivite konsantrasyon değişimi.

Ergene Havzası'ndan 22 farklı noktadan alınan toprak örneklerine ait ^{40}K aktivite konsantrasyonları 479.2 ± 11.0 ile 876.3 ± 5.1 Bq kg^{-1} arasında bulunmuştur (Şekil 4.3). Toprak örneklerine ait ortalama ^{40}K aktivite konsantrasyonu 687.6 Bq kg^{-1} dir. En yüksek ^{40}K aktivite konsantrasyonu Saray Ergene Deresi (3 numaralı örnekleme noktası) bölgesinden alınan örnekte ölçülürken en düşük konsantrasyon ise Saray Kavacık (2 numaralı örnekleme noktası) bölgesinden alınan toprak örneğinde tayin edilmiştir.



Şekil 4.3: Toprak örneklerine ait ^{40}K aktivite konsantrasyon değişimi.

Ergene Havzası'ndan 22 farklı noktadan alınan toprak örneklerine ait ^{137}Cs , aktivite konsantrasyonları 0.64 ± 0.2 ile 8.5 ± 0.5 Bq kg^{-1} arasında bulunmuştur (Şekil 4.4). Toprak örneklerine ait ortalama ^{137}Cs aktivite konsantrasyonu 2.8 Bq kg^{-1} dir. En yüksek ^{137}Cs aktivite konsantrasyonu Çakıllı Kaynak (1 numaralı örnekleme noktası) bölgesinden alınan örnekte ölçülürken en düşük konsantrasyon ise Bakırca Köyü'nden (8 numaralı örnekleme noktası) alınan toprak örneğinde tayin edilmiştir.



Şekil 4.4: Toprak örneklerine ait ¹³⁷Cs aktivite konsantrasyon değişimi.

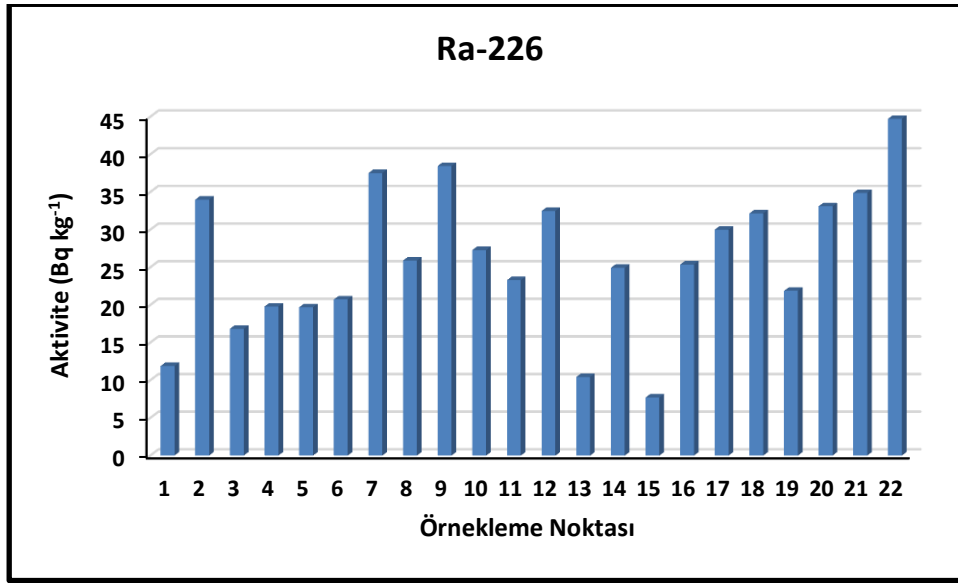
Çizelge 4.1' de Türkiye' deki ve Dünya'daki bazı bölgelerde topraklarda yapılmış çalışmalardan elde edilmiş ²²⁶Ra, ²³²Th ve ⁴⁰K ve ¹³⁷Cs radyoizotoplarının aktiviteleri karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.1: Çalışmada toprak örneklerinde bulunan değerler ile Türkiye ve Dünya ortalamalarının karşılaştırması.

	²²⁶ Ra (Bq kg ⁻¹)	²³² Th (Bq kg ⁻¹)	⁴⁰ K (Bq kg ⁻¹)	¹³⁷ Cs (Bq kg ⁻¹)	Referans
Rize		42	643	85	Kurnaz ve ark., 2007
Kastamonu	37.4	27.17	431.43	8.02	Kam ve Bozkurt, 2007
Adana	22.35	21.69	305.53	7	Değerler, 2007
Kırklareli	37	40	667	8	Taşkın ve ark., 2008
Tekirdağ	-	39	580	5.2	Kam ve ark., 2010
Bursa	24	30	433	5.66	Akkaya, 2011
Samsun		22.06	525	14.85	Bostancı, 2011
Musandam Yarımadası	14	10	158		Saleh, 2012
Hindistan	20	26	329	-	Yadav ve ark., 2014
Kirkuk	28.4	16.9	311.5	-	Taşı ve ark., 2016
Rize	24.5	51.8	344.9	26.3	Durusoy ve Yıldırım, 2017
Ardahan	-	36.7	435.1	15.5	Bilici Cengiz, 2017
Suudi Arabistan	23.2	7.73	278	1.42	Alshahri ve El-Taher, 2019
Dünya	35	30	400	-	UNSCEAR, 2000
Ergene Havzası	27.42	35.24	687.59	2.77	Bu Çalışma

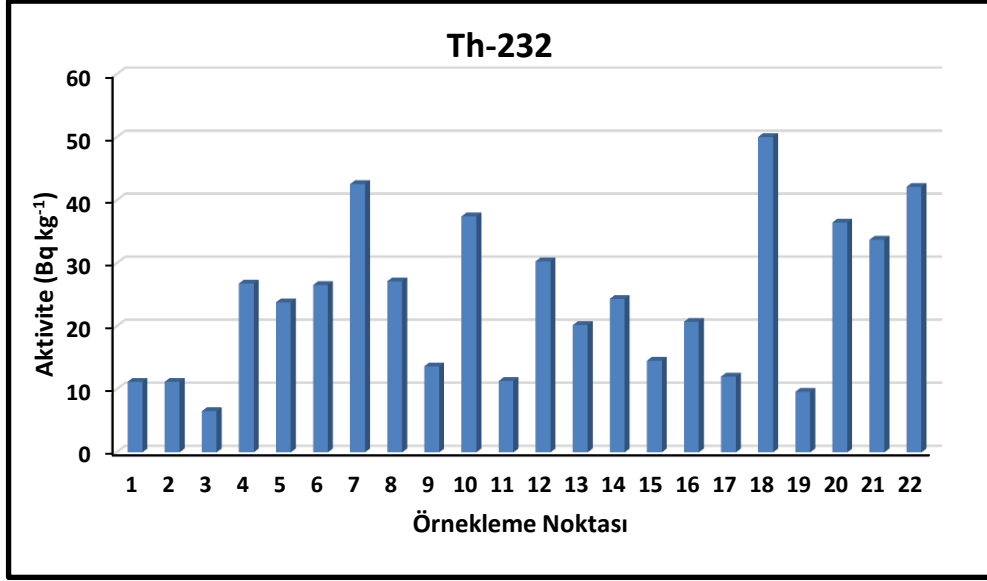
4.2. Sediment Örneklerindeki ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs 'nin Aktivite Konsantrasyonları

Ergene Havzası'ndan 22 farklı noktadan alınan sediment örneklerine ait ^{226}Ra aktivite konsantrasyonları 7.7 ± 1.4 ile 44.7 ± 1.2 Bq kg^{-1} arasında bulunmuştur (Şekil 4.5). Sediment örneklerine ait ortalama ^{226}Ra aktivite konsantrasyonu 26.0 Bq kg^{-1} dir. En yüksek ^{226}Ra aktivite konsantrasyonu İpsala bölgesinden alınan örnekte ölçülürken en düşük konsantrasyon ise Eskibedir'den alınan sediment örneğinde tayin edilmiştir.



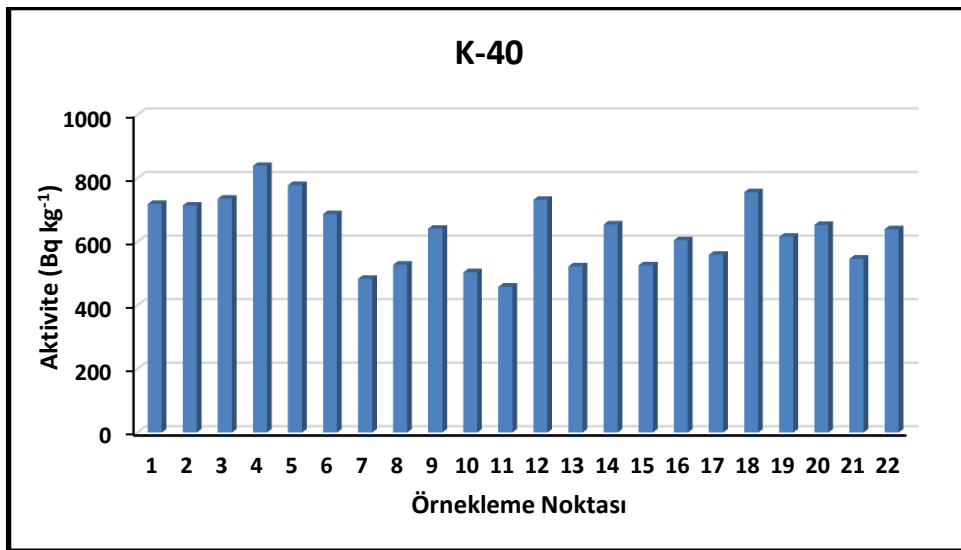
Şekil 4.5: Sediment örneklerine ait ^{226}Ra aktivite konsantrasyon değişimi.

Ergene Havzası'ndan 22 farklı noktadan alınan sediment örneklerine ait ^{232}Th aktivite konsantrasyonları 6.5 ± 1.3 ile 50.1 ± 0.3 Bq kg^{-1} arasında bulunmuştur (Şekil 4.6). Sediment örneklerine ait ortalama ^{232}Th aktivite konsantrasyonu 24.2 Bq kg^{-1} dir. En yüksek ^{232}Th aktivite konsantrasyonu Katranca (18 numaralı örnekleme noktası) bölgesinden alınan örnekte ölçülürken en düşük konsantrasyon ise Saray Ergene Deresi (3 numaralı örnekleme noktası) bölgesinden alınan sediment örneğinde tayin edilmiştir.



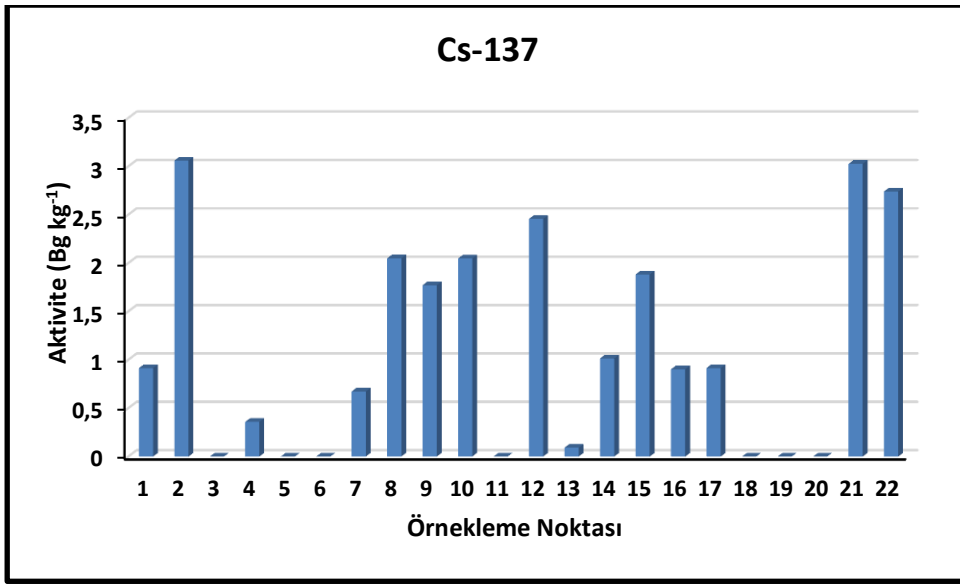
Şekil 4.6: Sediment örneklerine ait ²³²Th aktivite konsantrasyon değişimi

Ergene Havzası'ndan 22 farklı noktadan alınan sediment örneklerine ait ⁴⁰K aktivite konsantrasyonları 458.8 ± 5.3 ile 839.5 ± 3.2 Bq kg⁻¹ arasında bulunmuştur (Şekil 4.7). Sediment örneklerine ait ortalama ⁴⁰K aktivite konsantrasyonu 632.3 Bq kg⁻¹ dir. En yüksek ⁴⁰K aktivite konsantrasyonu Çukuryurt Köyü'nden (4 numaralı örnekleme noktası) alınan örnekte ölçülürken en düşük konsantrasyon ise Aşağı - Yukarı Sevindikli (11 numaralı örnekleme noktası) bölgesinden alınan sediment örneğinde tayin edilmiştir.



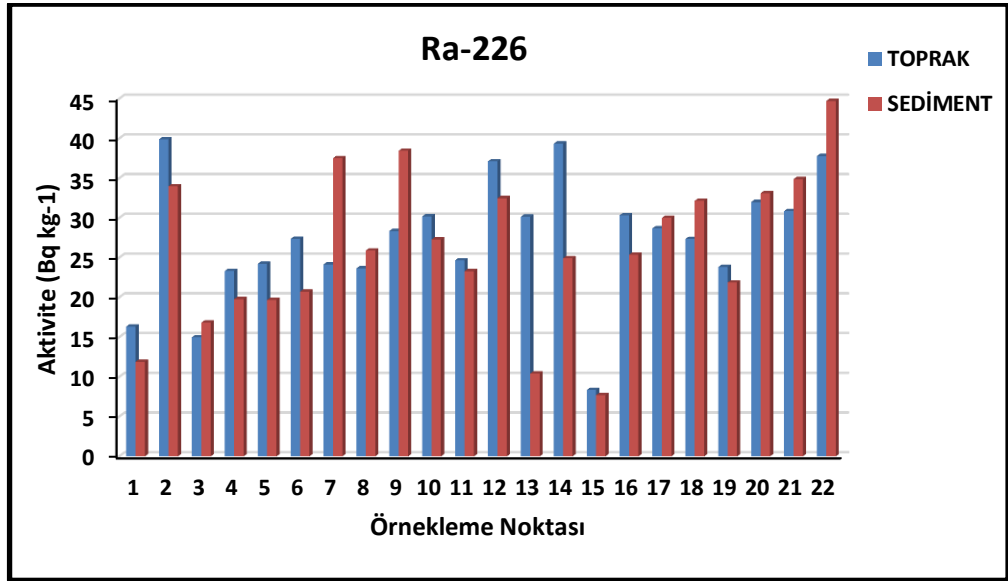
Şekil 4.7: Sediment örneklerine ait ⁴⁰K aktivite konsantrasyon değişimi.

Ergene Havzası'ndan 22 farklı noktadan alınan sediment örneklerine ait ^{137}Cs aktivite konsantrasyonları 0.64 ± 0.2 ile 3.06 ± 0.5 Bq kg $^{-1}$ arasında bulunmuştur (Şekil 4.8). Sediment örneklerine ait ortalama ^{137}Cs aktivite konsantrasyonu 1.6 Bq kg $^{-1}$ dir. En yüksek ^{137}Cs aktivite konsantrasyonu Saray Kavacık (2 numaralı örnekleme noktası) bölgesinden alınan örnekte ölçülürken en düşük konsantrasyon ise Seyitler Köyü'nden (13 numaralı örnekleme noktası) alınan sediment örneğinde tayin edilmiştir.



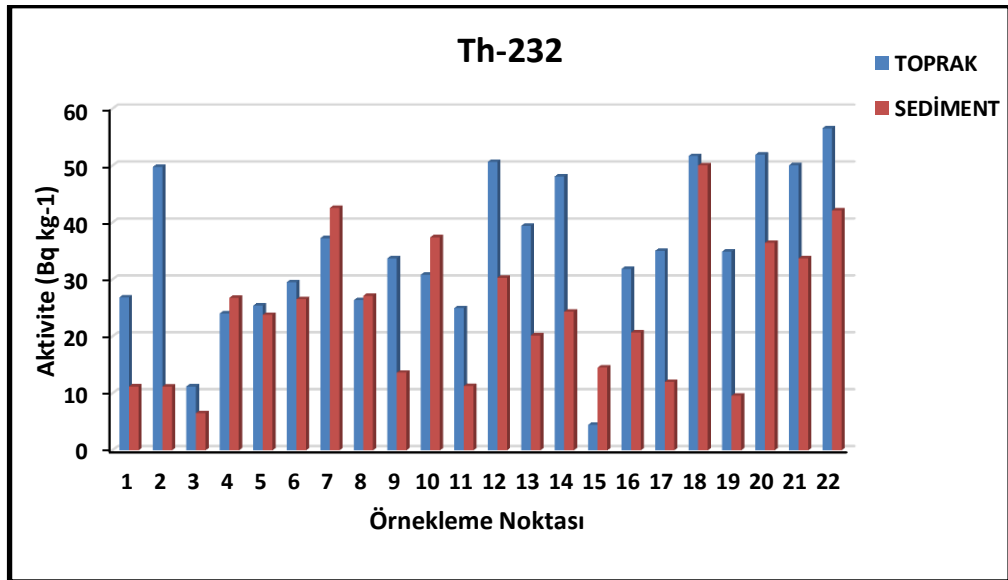
Şekil 4.8: Sediment örneklerine ait ^{137}Cs aktivite konsantrasyon değişimi.

Sediment ve toprak örneklerindeki ^{226}Ra aktivite konsantrasyonları karşılaştırılmış ve ortalama değerler toprak için 27.42 Bq kg $^{-1}$, sediment için 26.06 Bq kg $^{-1}$ olduğu görülmüştür. Ayrıca örnekleme noktalarına göre konsantrasyon karşılaştırmalarına bakıldığında zaman çoğu bölgede birbirine yakın değerler elde edildiği görülmüştür (Şekil 4.9).



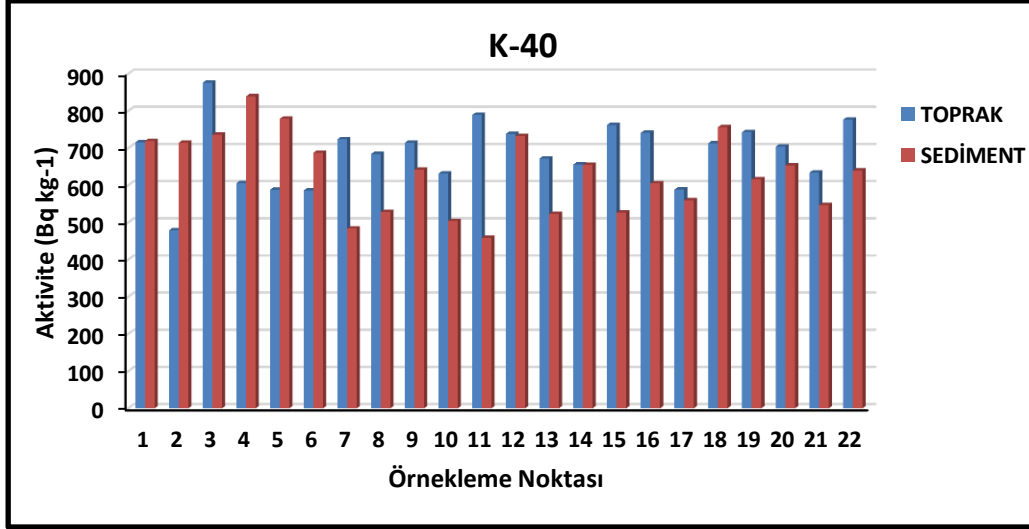
Şekil 4.9: Sediment ve toprak örneklerine ait ²²⁶Ra konsantrasyon karşılaştırması.

Sediment ve toprak örneklerindeki ²³²Th aktivite konsantrasyonları karşılaştırılmış ve ortalama değerin toprak için 35.24 Bq kg⁻¹, sediment için 24.21 Bq kg⁻¹ olduğu görülmüştür (Şekil 4.10).



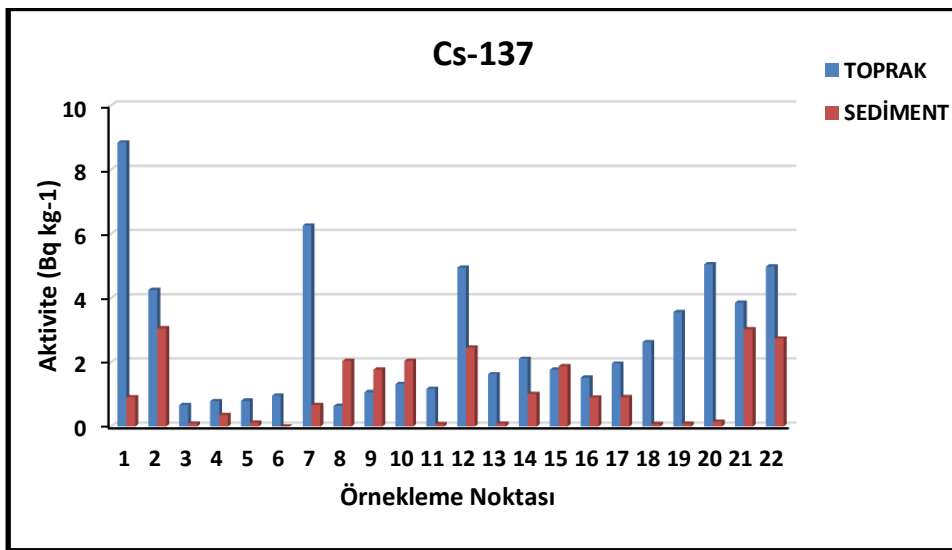
Şekil 4.10: Sediment ve toprak örneklerine ait ²³²Th konsantrasyon karşılaştırması.

Sediment ve toprak örneklerindeki ^{40}K aktivite konsantrasyonları karşılaştırıldığı zaman ortalama değerin toprak için $687.59 \text{ Bq kg}^{-1}$, sediment için $632.28 \text{ Bq kg}^{-1}$ olduğu ve topraktaki ^{40}K konsantrasyonlarının sedimente göre daha yüksek olduğu görülmüştür (Şekil 4.11).



Şekil 4.11: Sediment ve toprak örneklerine ait ^{40}K konsantrasyon karşılaştırması.

Sediment ve toprak örneklerindeki ^{137}Cs aktivite konsantrasyonları karşılaştırıldığı zaman ortalama değerin yine beklenildiği gibi toprak için 2.77 Bq kg^{-1} , sediment için ise 1.17 Bq kg^{-1} olduğu ve topraktaki ^{137}Cs konsantrasyonlarının sedimente göre daha yüksek olduğu görülmüştür (Şekil 4.12).



Şekil 4.12: Sediment ve toprak örneklerine ait ^{137}Cs konsantrasyon karşılaştırması.

Çizelge 4.2’ de Türkiye’ deki ve Dünya’daki bazı bölgelerde sedimentlerde yapılmış çalışmalardan elde edilmiş ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K ve ^{137}Cs radyoizotoplarının aktiviteleri karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.2: Çalışmada toprak örneklerinde bulunan değerler ile Türkiye ve Dünya ortalamalarının karşılaştırması.

Bölge	^{226}Ra (Bq kg ⁻¹)	^{232}Th (Bq kg ⁻¹)	^{40}K (Bq kg ⁻¹)	^{137}Cs (Bq kg ⁻¹)	Referans
Mısır	24.6	31.4	427.5	-	El Mamoney and Khater (2004)
Nijerya	10.4	10.1	76.3	-	Ademola ve Ehiedu, 2010
Baita Plai, Romanya	80	21	383	2	Bagy ve ark., 2013
Amvrakikos Körfezi, Yunanistan	20.9	28.8	742	16.4	Papaefthymiou ve ark., 2013
Tejo Nehri, Portekiz	43	-	890	1.7	Madruga ve ark., 2014
Oman Denizi	14.96	17.61	361.6	0.79	Golestan ve ark., 2017
Suudi Arabistan	26.4	16.3	351	-	Alshahri, 2017
Bafa Gölü	49.54	47.63	702.53	2.32	Aközcan ve ark., 2018
Suhoe Körfezi	6.5	14.2	416	3.5	Kriauciunas ve ark., 2018
Gana, Afrika	14	30	320	1.5	Botwe, 2018
Ergene Nehri	26.06	24.21	632.28	1.17	Bu çalışma

4.3. Gama Radyasyon Doz Oranları

Yerden 1 m yukarıda havada soğurulan doz oranı (D) karasal ve kozmik gama bileşenleri her bir bölge için hesaplanmış ve tüm bölgeyi kapsayan toprak için ortalama 62.6 nGy h^{-1} olarak bulunmuştur. Toprak için karasal gama doz hızı değerlerinin 26.6 ile 89.2 nGy h^{-1} arasında değişmekte olduğu görülmüştür.

Havada soğurulan dozun etkin doza dönüştürülmesi yapılarak toprak için yıllık etkin doz eşdeğerinin 32.6 ile $109.3 \text{ } \mu\text{Sv/yıl}$ arasında değiştiği ve ortalama olarak $76.8 \text{ } \mu\text{Sv/yıl}$ olduğu hesaplanmıştır. Çizelge 4.3'den de görülebileceği gibi çalışmamızda tüm bölgeyi kapsayacak şekilde bulunan ortalama yıllık etkin doz eşdeğeri dünya ortalamasından büyüktür.

Çizelge 4.3: Çalışmada toprak örneklerinde bulunan değerler ile Türkiye ve Dünya ortalamalarının karşılaştırması.

Bölge	D (nGy h ⁻¹)	AEDE (μSv/yıl)	Referans
İstanbul	65	79.7	Karahan ve Bayulken, 2000
Kırklareli	118	144.7	Taşkın ve ark., 2009
Çanakkale	66.4	81.4	Kam ve ark., 2010
Tekirdağ	43.85	53.77	Kam ve Bozkurt, 2010
Rize	50.85	62.37	Keser ve ark., 2013
Suudi Arabistan	37.2	45.6	Alshahri, 2017
Rize	56.9	69.8	Durusoy ve Yıldırım, 2018
Brezilya	67	82.2	Riberio ve ark., 2018
Karnataka, Hindistan	72.22	83.3	Rajesh ve Kerur, 2018
Kahramanmaraş	64.8	79.5	Karataşlı, 2019
Dünya	60	70	UNSCEAR, 2000
Ergene Havzası	62.6	76.8	Bu çalışma

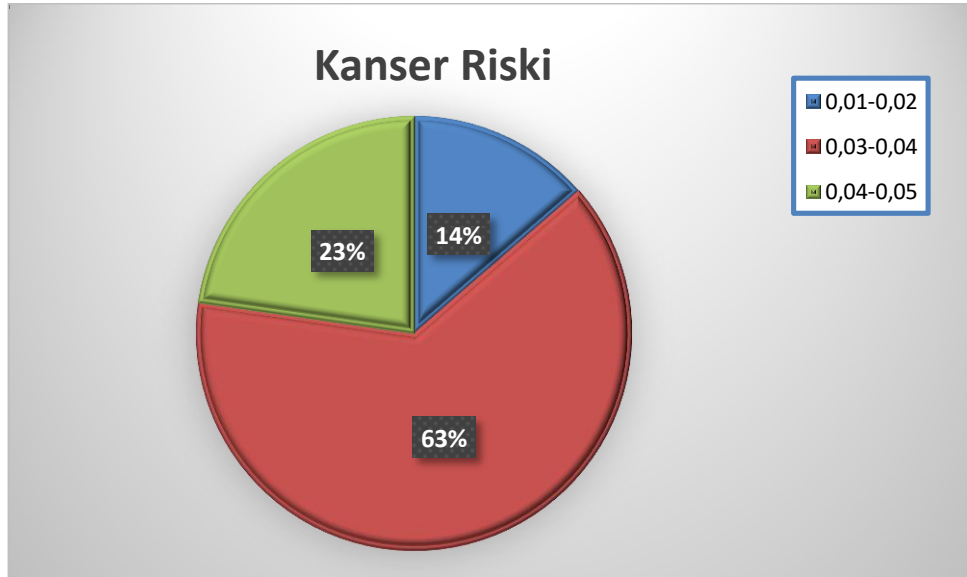
Bu konuda literatürde yapılmış çalışmalar incelendiği zaman Kırklareli' de Taşkın ve arkadaşları tarafından 2009 yılında yapılan çalışmada bulunan değer Ergene Havzası'nda yaptığımız çalışmada elde edilen değerden daha yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca özellikle Marmara Bölgesi'nde daha önce yapılmış benzer çalışmalarla da bulunan değerler karşılaştırılmış ve İstanbul, Çanakkale ve Tekirdağ

ile yakın sonuçlar elde edildiği görülmüştür (Karahan ve Bayulken, 2000; Taskin et al, 2009; Kam ve ark., 2010; Kam ve Bozkurt, 2010).

Çalışmada ayrıca Radyum eşdeğer aktivitesi hem toprak hem de sediment örnekleri için hesaplanmıştır. Toprak örnekleri için ortalama radyum eşdeğer aktivitesi $130.76 \text{ Bq kg}^{-1}$, sediment örnekleri için ise $109.36 \text{ Bq kg}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Dünya çapında radyum eşdeğer aktivitesi için kabul edilen ortalama sınır değer 370 Bq kg^{-1} 'dir (Beretka ve Mathew, 1985). Bu sonuca göre çalışma alanı olan Ergene Havzası dünya çapında ortalama sınır değerden daha düşüktür.

Çalışma alanını kapsayan toprak ve sediment örnekleri için dış tehlike indeksinin (H_{ex}) hesaplanan değerleri toprak için 0.20-0.48, sediment için 0.19-0.44 aralığındadır ve istenildiği gibi 1'den daha küçüktür.

Çalışmada toprakta elde edilen sonuçlardan yola çıkarak yıllık gonadal doz eşdeğeri ve yaşam boyu kanser riski hesaplanmıştır. Yıllık gonadal doz eşdeğerinin 284.06 ile $597.25 \mu \text{ Sv/ yıl}$ arasında değiştiği ve ortalama $447.93 \mu \text{ Sv/ yıl}$ olduğu hesaplanmıştır.



Şekil 4.13: Kanser riski % lik dağılımı.

Ergene Havzası'nda yaşayan kişilerin sadece ölçülen doğal radyonüklidlerden kaynaklı yaşam boyu kanser riski ortalama 0.31×10^{-3} olarak hesaplanmıştır. 0.31×10^{-3} ortalama değerinin ise dünya ortalama değerinden (0.29×10^{-3}) azda olsa yüksek olduğu görülmüş ve Ergene Havzası'nı kapsayan bölgelerde yaşayan kişilerin topraktaki radyonüklidlerden kaynaklı kanser riskinin az olduğu fikrine varılmıştır (UNSCEAR 2000).

Hesaplanan riskin yüzdelik oranına bakıldığında Şekil 4.13'de görüldüğü gibi %2-%3 arasında olan sayı fazlalıktadır. Buradan da sadece doğal radyonüklidlerin sebep olabileceği risk yüzde olarak ortalama %3 dür.

Bu tez çalışmasında Ergene Havzası'ndan alınan toprak ve sediment örneklerinde bulunan bazı doğal ve yapay radyonüklid (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs) konsantrasyonları belirlenmiş ve sediment ve topraklarda bulunan ^{226}Ra ve ^{232}Th konsantrasyonları dünya ortalamasında bulunmuştur. Sediment ve toprak örneklerindeki ^{40}K radyoaktivite konsantrasyon değerleri ise toprak için 687.6 Bq kg^{-1} , sediment için 632.3 Bq kg^{-1} olarak bulunmuş ve dünya ortalamasından (400 Bq kg^{-1}) daha yüksek olduğu görülmüştür. Çalışılan bölgede yaşayan halk için background radyasyon seviyelerinin sağlık açısından etkilerini belirlemek amacıyla karasal soğurulan gama doz oranı, radyum eşdeğer aktivitesi, yıllık etkin doz eşdeğeri, dış tehlike indeksi, yıllık gonadal doz eşdeğeri ve yaşam boyu kanser riski hesaplanmıştır. Özellikle İpsala Bölgesi'nde elde edilen radyolojik tehlike risk parametrelerinin UNSCEAR (2000) tarafından belirtilen limit değerlerinden daha yüksek olduğu görülmüş ve bu bölgenin'de Yunanistan'a açılan sınır kapısı olması sebebiyle de ayrıca bir öneme sahip olduğu düşünülmüştür. Bu çalışma, Ergene Havzası'nın çevresel radyonüklid konsantrasyonlarının ve radyonüklid dağılımlarıyla ilgili gelecekte yapılacak çalışmalar için bir yol gösterici ve veri tabanı niteliğindedir.

KAYNAKLAR

- Ademola, J. A., Ehiedu, S. I., (2010), "Radiological Analysis of ^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th in Fish, Crustacean and Sediment Samples from Fresh and Marine Water in Oil Exploration Area of Ondo State, Nigeria"., Afr. J. Biomed. Res. 13, 99 – 106.
- Akkaya, G. (2011). "Bursa İli Toprak Numunelerinde Radyonüklid Dağılımının İncelenmesi"., Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Ens., Fizik ABD., Doktora Tezi.
- Akkoyun, S. (2007). "Gama Yön Tayini"., Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik ABD, Yüksek Lisans Tezi.
- Akkurt, A. (2006). "Afyon Jeotermal Sularında Radon (Rn-222) Aktivitesi Tayini"., Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik ABD, Yüksek Lisans Tezi.
- Aközcan, S. (2002). "Manisa İli Yerleşim Yeri Topraklarında ICP-AES ve Gama Spektrometresi ile Element Analizleri"., Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik ABD, Yüksek Lisans Tezi.
- Aközcan, S. (2009). "Didim ve İzmir Körfezi Sediment, Deniz Suyu ve Farklı Deniz Organizmalarında Bazı Radyonüklid ve Ağır Metal Düzeylerinin İzlenmesi"., Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Ens., Nükleer Bilimler ABD, Doktora Tezi.
- Alshahri, F. (2017). "Radioactivity of ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K and ^{137}Cs in beach sand and sediment near to desalination plant in eastern Saudi Arabia: Assessment of radiological impacts"., Journal of King Saud University – Science 29, 174–181.
- 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.
- Apaydın, A. (2015). "Samsun-Artvin Arası Farklı Noktalardan Alınan Sediment Örneklerinde Element ve Radyoaktivite Analizleri"., Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Ens., Fizik ABD., Yüksek Lisans Tezi.
- Atlas, H. (2015). "Edirne İli ve İlçelerindeki Topraklarda Doğal Radyoaktivite Düzeylerinin Belirlenmesi"., Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Ens., Fizik ABD., Yüksek Lisans Tezi.

- Bakkal, S. (2012). “Kilis İli Toprak Örneklerinde ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs Radyoaktivite Konsantrasyonlarının Belirlenmesi”., Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik ABD, Yüksek Lisans Tezi.
- Bangotra et al. (2018). Pargin Bangotra, Rohit Mehra, Rajan Jakhu, Kirandeep Kaur, Pragya Pandit, Sandeep Kanse, “Estimation of ^{222}Rn exhalation rate and assessment of radiological risk from activity concentration of ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K ”., Journal of Geochemical Exploration 184 .
- Baykara ve Doğru. (2009). Oktay Baykara, Mahmut Doğru, “Determination of terrestrial gamma, ^{238}U , ^{232}Th and ^{40}K in soil along fracture zones”., Radiation Measurements 44 (2009) 116–121.
- Begy, R- C.S., Simon, H., Cosma, C., (2012), “Radiological Assesment of Stream Sediments Between Baita Plai and Beiuş”., Rom. Journ. Phys., Vol. 58, 22–28.
- Beretka ve Mathew, B. j. (1985). “Natural radioactivity of Australian building materials, industrial wastes and by-product”., Health. Phys. 48, 87-95 .
- Bilici Cengiz, G., (2017), “ Natural radioactivity analysis in soil samples of Ardahan province, Turkey for the assessment of the average effective dose”., Sakarya Üniversitesi Fen Bil. Enstitüsü Dergisi 21 (6), 1583-1590.
- Bingöldağ, N. (2007). “Nevşehir İlinin Toprak, Su ve Tarım Ürünlerinde Doğal Radyoaktivitenin ve Ağır Metallerin Belirlenmesi”., İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik ABD., Doktora Tezi.
- Bostancı, S. (2011). “Ondokuz Mayıs Üniversitesi Kurupelit Kampüsü ve Samsun İl Merkezinin Doğal Radyoaktivite Seviyesinin Belirlenmesi”., Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Ens., Fizik ABD, Y.Lisans Tezi.
- Botwe, B. O., (2018), “Sediments in the Tema Harbour (Ghana): Chemical Pollution and Sedimentation Rates”., Taylor and Francis , Netherlands.
- Bozkurt ve diğerleri. (2007). Bozkurt, A., Yorulmaz, N., Kam, E., Karahan, G., Osmanlioğlu, A. E., 2007, “Assessment of environmental radioactivity for Sanliurfa region of southeastern Turkey.Radiation Measurements ”.,Vol.42, pp. 1387– 1391.
- Choppin ve Liljenzin. (2002). , J., 2002, “Radiochemistry and Nuclear Chemistry”., Butterworth-Heinemann,USA.

- Çam Kaynar, S. (2011). “Akhisar-Gölmarmara-Gördes-Sındırgı Bölgesi Doğal Radyoaktivitesinin Jeolojik Yapı ile İlişkisinin İncelenmesi”. ,Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik ABD., Doktora Tezi.
- Çelebi, N. (1995). “Çevresel Örneklerde Uranyum, Radyum ve Radon Ölçüm Tekniklerinin Geliştirilmesi ”., İ.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Doktora Tezi.
- Değerliler, M., (2007). “Adana İli ve Çevresinin Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Saptanması ve Doğal Radyasyonlarının Yıllık Etkin Doz Eşdeğerinin Bulunması ”., Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik ABD, Doktora Tezi.
- Dizman, S. (2006). “Rize İli ve İlçelerindeki Doğal Gamma Radyoaktivite Seviyesinin Belirlenmesi”., Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik ABD., Yüksek Lisans Tezi.
- Durusoy, A., Yıldırım, M., (2017), “Determination of Radioactivity Concentrations in Soil Samples and Dose Assessment For Rize Province, Turkey”., Journal of Radiation Research and Applied Sciences 10, 348-352.
- Eisenbud, M. (1987). , “Environmental Radioactivity: from Natural, Industrial, and Military Sources”., Academic Pres, San Diego.
- El-Mamoney, M.H. and Khater, A.E.M., “Environmental Characterization and of Radioecological Impacts of Non-Nuclear Industries on the Red Sea Coast”., Journal Environmental Radioactivity, 73, 151–168, 2004.
- Galy, M. v. (2005). Magill J., Gally J., “Radyoaktivite Radyonuclides Radiation ”.
- Golestan, F. D., Hezarkhani, A., Zare, M.R. (2017). “ Assessment of ^{226}Ra , ^{238}U , ^{232}Th , ^{137}Cs and ^{40}K activities from the northern coastline of Oman Sea (water and sediments) ”., Marine Pollution Bulletin 118, 197–205.
- Gollnick. (1988). Gollnick, D. A., 1988, “Basic radiation protection technology, Pacific Radiation ”.
- Gök, C. (2015). “Havza Sürdürülebilirlik İndeksinin Türkiye' de Uygulanması: Ergene Havzası Örneği”., Hacettepe Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Gönen, E. (2012). “Edirne İlinin Çevresel Radyoaktivitesinin Belirlenmesi”. ,Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Ens., Fizik ABD, Yüksek Lisans Tezi.

- IAEA. (1996). International atomic energy agency (IAEA), 1996.,“Radiation Safety”., IAEA Division of Public İnformation, 96-00725.
- ICRP. (1991). ICRP Publication 60 1990 Recommendations of the International.
- James et al. (2011). Joshy P. James, B.N. Dileep, P.M. Ravi, R.M. Joshi, T.L. Ajith, A.G. Hegde, P.K. Sarkar, “Soil to leaf transfer factor for the radionuclides ^{226}Ra , ^{40}K , ^{137}Cs and ^{90}Sr at Kaiga region, India”., Journal of Environmental Radioactivity 102 (2011) 1070-1077.
- Kam, E., Bozkurt, A., 2007. “Environmental radioactivity measurements in Kastamonu region of northern Turkey”., Appl. Radiat. İ sot. 65, 440-444
- Kam ve diğerleri. (2010). Kam E, Bozkurt A, Ilgar R (2010),“A Study of Background Radioactivity Level For Çanakkale ”.,Turk Environ Monit Assess 168:685–690.
- Kam ve diğerleri. (2010). Kam E, Yazar Y, Bozkurt A (2010),“ A study of background radioactivity level for Tekirdag ”. Turk Radiat Prot Dosim 138:40–44.
- Karahan, G.,Bayulken, A., (2000), “Assesment of Gamma Dose Rates Around Istanbul”., Journal of Envrionmental Radioactivity, 47-2 213-221.
- Karataşlı, M., (2019), “ Determination of Outdoor Absorbed Gamma Dose Rates of Kahramanmaraş Province, Turkey”., Cumhuriyet Sci. J., Vol.40-1, 102-107.
- Kathern, R. (1984). “Radioactivity in the Environment”, Sources, Distribution and Surveillance Harwood Academic publishers, OPA, Amsterdam.
- Kathern, R. (1986). “Radioaktivite in the Environment: Sources, Distribution, and Surveillance”.,Harwood Academic Publishers, New York,1986.
- Keser, R., Korkmaz Görür, F., Alp, İ., Okumusoglu, N.T., (2013), “ Determination of radioactivity levels and hazards of sediment and rock samples in İkizdere and Kaptanpasa Valley”.,Turkey, International Journal of Radiation Research, 11:3, 155-165.
- Kılıçaslan, S. (2016). “Tokat-Sivas Bölgeleri İçin Toprak ve Traverten Örneklerinde Radyoaktivite Tayini”., Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Ens.Fizik ABD, Yüksek Lisans Tezi.
- Krane, K. (2001). “Nükleer Fizik”.,1.Cilt, Palme Yayıncılık,Ankara, 160-230,2001.

- Kriauciunas, V. V., Iglovsky, S. A., Bazhenov, A. V., Kuznetsova, I. A., Shakhova, E. V., Druzhinin, S. V., (2018), “ ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{40}K , ^{232}Th , ^{226}Ra in bottom sediments of the Dvina Bay on the White Sea (the Suhoe Sea Gulf) ”., Arctic Environmental Research 18(4): 148–154.
- Kurnaz ve Arkadaşları, 2. (2007). Küçükömeroğlu, B., Keser, R., Okumusoglu, N. T., Korkmaz, F., Karahan, G. ve Çevik, U., “Determination of Radioactivity Levels and Hazards of Soil and sediment samples in Fırtına Valley (Rize,Turkey)”., Applied Radiation and Isotopes, 65, 1281-1289.
- Kurnaz, A. (2009). “Trabzon İlinin ve Şebinkarahisar İlçesinin Doğal Radyoaktivite Düzeylerinin Belirlenmesi ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri”.,Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik ABD., Doktora Tezi.
- Madruga, M.J., Silva, L., Gomes, A.R., Libânio, A., Reis, M., (2014), “ The influence of particle size on radionuclide activity concentrations in Tejo River sediments”., Journal of Environmental Radioactivity 132, 65-72.
- Malanka ve ark. (1996). Albert0 Malanca, Laura Gaidolfi, Valerio Pessina & Giuseppe Dallara, “Distribution of ^{226}Ra , ^{232}Th , and ^{40}K in Soils of Rio Grande do Norte (Brazil)”., J. Environ. Radioactivity, Vol. 30 No. 1, pp. 55-67, 1996.
- Mamont-Ciesla, K., Gwiazdowski, B., Biernacka, M. and Zak, A.,(1982), “Radioactivity of Building Materials in Poland”., Natural Radiation Environment (Vohra, G., Pillai, K.C., Sadavisan, S., Eds.). Halsted Press, New York, p. 551.
- Merdanoğlu. (2004). “Kestambul (Çanakkale) Civarındaki Su, Toprak ve Granit Örneklerinde Doğal Radyoaktivitenin Belirlenmesi ”., Yüksek Lisans Tezi, İstanbul,70s.
- Mızrak, E. (2010). “Çevresel Radyoaktivite Ölçüm Amaçlı Gama Spektrokopi Sisteminin Kalibrasyonu ve Test Ölçümlerinin Yapılması”., Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik ABD, Yüksek Lisans Tezi.
- NCRP 97. (1988). , National Council on Radiation Protection and Measurements: Measurements of Radon and Radon Daughters in Air, NCRP Report No:97. .

- Noz ve Maquire. (2007). Noz, M. E., and Maguire, Jr. G. Q., (2007)., “ Radiation Protection in The Health Sciences, and, Edition ”., World Scientific Publishing Co, Pte. Ltd., Singapore 596224.
- Özcan, M. (2018). “Abana-Çatalzeytin/Kastamonu Bölgesi Doğal Radyoaktivitesinin Belirlenmesi”. ,Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,Fizik ABD., Yüksek Lisans Tezi.
- Özger. (2005). Özger, A. G., 2005,“ Ceyhan, Yumurtalık ve Pozantı bölgelerinin doğal radyoaktivite seviyelerinin belirlenmesi ”., Çukurova Ün., Fen Bil. Ens., Fizik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Öztürk, M. B. (2016). “Dereköy, Hamzabeyli ve Pazarkule Sınır Kapılarından Alınan Topraklarda Radyonüklid Miktarının Ölçülmesi ve Doz Hesaplanması”. ,Kırklareli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Papaefthymiou, H., Athanasopoulos, D., Papatheodorou, G., Iatrou, M., Geraga, M. Christodoulou, D., Kordella, S., Fakiris, E., Tsikouras, B., (2013), “ Uranium and other natural radionuclides in the sediments of a Mediterranean fjord-like embayment, Amvrakikos Gulf (Ionian Sea), Greece”., Journal of Environmental Radioactivity 122, 43-54.
- Rajesh, S., Kerur, B. R., (2018), “ Assessment of natural radioactivity levels due to ^{238}U , ^{232}Th , and ^{40}K in the soil samples of Raichur district”., Karnataka, India, Radiation Protection and Environment, 41:51-4.
- Reşitoğlu, S. (2011). “Kars-İl Merkezi Topraklarında Doğal Radyoaktivite Seviyelerinin Belirlenmesi”., Kafkas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik ABD, Yüksek Lisans Tezi.
- Ribeiro, F.C.A., Silva, J.I.R., Lima, E.S.A., Amaral Sobrinho, N.M.B., Perez, D.V., Lauria, D.C., (2018), “ Natural radioactivity in soils of the state of Rio de Janeiro (Brazil): Radiological characterization and relationships to geological formation, soil types and soil properties”., Journal of Environmental Radioactivity 182, 34–43.
- Saleh, I.H. (2012). “ Radioactivity of ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K , and ^{137}Cs and assessment of depleted uranium in soil of the Musandam Peninsula, Sultanate of Oman”., J. Eng. En Turkish v. Sci. 36 (2012) , 236 – 248.

- Saleh ve ark. (2013). Muneer Aziz Saleh, Ahmad Termizi Ramli, Yasser Alajerami, Abubakar Sadiq Aliyu, “Assessment of environmental ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K concentrations in the region of elevated radiation background in Segamat District, Johor, Malaysia”., Journal of Environmenta.
- Santawamaitre et al. (2014). T. Santawamaitre, D. Malain, H.A. Al-Sulaiti, D.A. Bradley, M.C. Matthews, P.H. Regan, “Determination of ^{238}U , ^{232}Th and ^{40}K activity concentrations in riverbank soil along the Chao Phraya river basin in Thailand”., Journal of Environmental Radioactivity 1.
- Saravanan ve diğeri, S. (2003). Saravanan S, Jodha A.S, Gopalani D, Bhatti S.S, Kumar S (2003)., “ Preliminary. measurements of natural radioactivity at Madurai district of Tamilnadu ”., India, Radiation, Measurements, Vol 36, Pages 397-389.
- Selvasecarapanian ve diğeri. (2000). Selvasekarapandian, S., Sivakumar, R., Manikandan, N.M., Meenakshisundaram, V., Raghunath, V.M., Gajendran, V., (2000)., “ Natural radionuclide distrubition in soils of Gudalore”., India. Applied Radiation And Isotopes, Vol.52, pp. 299-306.
- Taqi, A.H., Al-Ani, L.A.A., Ali, A.M., (2016), “Assessment of the natural radioactivity levels in Kirkuk oil field”., Journal of Radiation Research and Applied Sciences 9, 337 -344.
- Taşkın, H. (2006). “İnsan Sağlığı ve Çevre Kirliliği Açısından Kırklareli İlinin Fon Radyasyonunun Belirlenmesi ve Haritalandırılması ”., Marmara Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Ens., Halk Sağlığı ABD., Yüksek Lisans Tezi.
- Taşkın, H., Karavus, M., Ay, P., Topuzoğlu, A., Hıdıroğlu, S., Karahan, G., (2009). “ Radionuclide concentrations in soil and lifetime cancer risk due to gamma radioactivity in Kırklareli”., Turkey, Journal of Environmental Radioactivity 100, 49- 53.
- Taylor. (1996). Taylor J. R, Zafaritos C. D (1996), “ Fizik ve Mühendislikte Modern Fizik”., İstanbul.
- TSE. (1979). Türk Standartlar Enstitüsü, İçme Suları. TS 226/1965, UDK 663-7:543, III. Baskı, 1979 .
- Tunçkin, A. B. (2014). “Demirci İlçesinin Radyoaktivitesinin Saptanması”., Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Ens., Fizik ABD, Yüksek Lisans Tezi.
- UNSCEAR (1988). “United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic

Radiation Annex B Exposure from natural radiation sources”

- UNSCEAR (2000). “United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation to the General Assembly, Sources, Effects and Risk of Ionizing Radiation”., United Nations, New York, USA.
- Usluer, A. (2018). “Tekirdağ' in Çorlu Bölgesindeki Toprak ve İçme Sularındaki Doğal Radyoaktivitenin Belirlenmesi”., Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Ens., Fizik ABD, Yüksek Lisans Tezi.
- Yadav, M., Rawat, M., Dangwal, A., Prasad, M., Gusain, G. S., Ramola, R. C. (2014). “Levels and effects of natural radionuclides in soil samples of Garhwal Himalaya”., Journal of Nuclear Chemistry, 302:869–873.
- Yeboah ve diğerleri. (2001). Yeboah, J., Boadu, M., Darko, E.O., 2001. “Natural radioactivity in soils and rocks within the greater accra region of Ghana. Journal of Radioanalytical And Nuclear Chemistry”., Vol. 249,pp.629-632.
- Yülek, G. (2001). ,“Radyasyon Fiziği ve Radyasyondan Korunma”., 1.Cilt, Sek yayımları, Ankara, 107-120, (2001).

URL.1 > <http://www.taek.gov.tr/ogrenci/r02.htm> (10.01.2019)

URL.2 > <http://www.taek.gov.tr/ogrenci/r05.htm> (20.02.2019)

URL.3 > <http://www.taek.gov.tr/tr/2016-06-09-00-43-46/1087-dogal-radyasyon-kaynaklari.html> (25.02.2019)

URL.4>https://3.bp.blogspot.com/-Ec162VkceGY/U71EHeW7-YI/AAAAAAAAAR6o/EOAX2oslkGQ/s1600/kozmik_isinlar.jpg (22.02.2019)

URL.5 > <http://www.bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/kozmik-isinlar-nedir-kozmik-isinlardan-neler-ogreniyoruz#sthash.HPMZgWhr.dpuf> (05.01.2019)

URL.6 > http://www.cem.gov.tr/erozyon/AnaSayfa/resimliHaber/12-10-19/Ergene_Havzas%C4%B1.aspx?sflang=tr (17.02.2019)

URL.7 > <https://www.msxlab.org/forum/turkiye-cografyasi/377001-turkiyenin-akarsulari-ergene-nehri.html#ixzz5e53s7sC8> (18.01.2019)

URL.8 > <https://docplayer.biz.tr/50331701-Biyoloji-bolumu-cevresel-radyoaktivite-izleme-yontemleri-ders-notlari.html> (18.02.2019)

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Özkan Kahveci
Doğum Yeri ve Tarihi : Zonguldak-16.04.1976
Ev Adresi : Devlet Mah.Gül Sk. Behçet Aydın Apt.39/14
Vize/Kırklareli
Tel : 0 533 642 3079
Mail : ozkan16041976@hotmail.com

EĞİTİM

Lise : Zonguldak, Mehmet Çelikel Lisesi-1993
Lisans : Gazi Üniversitesi, Gazi Eğitim Fakültesi,
Fizik Eğitimi Bölümü, Fizik Öğretmenliği-1999

İŞ TECRÜBESİ

: 2000-2005 İstanbul Sabri Akın İ.Ö.O.-Öğretmen
2005-2007 İstanbul 50. Yıl İ.Ö.O.-Öğretmen
2007-2011 Kırklareli-Vize Anadolu Lisesi-Öğretmen
2011- Halen Kırklareli-Vize Mesleki ve Teknik
Anadolu Lisesi-Öğretmen