

**EDİRNE İLİNİN ÇEVRESEL
RADYOAKTİVİTESİNİN BELİRLENMESİ**
Elif GÖNEN
Yüksek Lisans Tezi
Fizik Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. İskender Atilla REYHANCAN
2012

T.C.
NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EDİRNE İLİNİN ÇEVRESEL RADYOAKTİVİTESİNİN BELİRLENMESİ

Elif GÖNEN

FİZİK ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: Doç. Dr. İskender Atilla REYHANCAN

TEKİRDAĞ-2012

Her hakkı saklıdır

Doç. Dr. İskender Atilla REYHANCAN danışmanlığında, Elif GÖNEN tarafından hazırlanan bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından Fizik Anabilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı : Doç. Dr. Ayşe DURUSOY

İmza :

Üye : Doç. Dr. İskender Atilla REYHANCAN

İmza :

Üye : Doç. Dr.Serbülent YILDIRIM

İmza :

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu adına

Prof. Dr. Fatih KONUKCU
Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

EDİRNE İLİNİN ÇEVRESEL RADYOAKTİVİTESİNİN BELİRLENMESİ

Elif GÖNEN

Namık Kemal Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. İskender Atilla REYHANCAN

Bu çalışmada genel olarak Edirne İli ve çevresindeki doğal kaynaklarda bulunan doğal radyoaktivite değerlerinin veya radyonüklit konsantrasyonlarının tayin edilmesi ve bu kaynaklardan yayılan farklı tipteki radyasyonların ölçülmesi ile Edirne İlini kapsayan bölgenin doğal temel radyasyon seviyelerinin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, yüzeye yakın atmosferde portatif gama dedektörü ile havada soğurulmuş gama doz oranları; gama spektrometrik analiz sistemi ile ölçüm alınan noktalardaki toprakta bulunan nüklitlerin radyoaktivite konsantrasyonları; alfa ve beta sayım sistemi ile içme sularındaki (şebeke) toplam alfa ve beta radyoaktivite konsantrasyonları ölçülmüştür. Edirne il sınırları içerisinde bulunan 9 farklı ilçeye ait çeşitli toprak ve su numuneleri analiz edilmiştir. Bu analizde direkt gama ölçümleri yapılmış ve toprak örnekleri için de alan örnekleme yöntemi kullanılmıştır. Toplam alfa ve beta aktifliklerinin belirlenmesinde, LB770-PC 10 kanallı düşük seviyeli alfa-beta sayım sistemi kullanılmıştır. Toplanan musluk suyu örneklerinde doğal aktiflik konsantrasyonlarının WHO ve TSE'nin limit değerlerinin birkaçının aştığı gözlemlendi. Topraktaki ²²⁶Ra radyoaktivite konsantrasyonları 11.3±0.4 Bq/kg 'den 37.5±1.4 Bq/kg 'e kadar, ²³²Th radyoaktivite konsantrasyonları 17.7±0.6Bq/kg 'den 56.1±1.7Bq/kg 'e kadar, ¹³⁷Cs radyoaktivite konsantrasyonları 0.9±0.05 Bq/kg 'den 22.0±0.4 Bq/kg 'e kadar, ⁴⁰K radyoaktivite konsantrasyonları 293.8±11.6 Bq/kg 'den 822.2±27.7 Bq/kg 'e kadar değişim gösterdi. Bu çalışmada elde edilen tüm sonuçlar uluslararası önerilen değerlerle karşılaştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Doğal Radyoaktivite, Toplam Alfa Aktiviteleri, Beta Aktiviteleri, Gama Doz Hızı

2012 , 68 sayfa

ABSTRACT

MSc. Thesis

DETERMINATION OF ENVIROMENTAL NATURAL RADIOACTIVITY IN THE CITY OF EDIRNE
Elif GÖNEN

Namık Kemal University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Physics

Supervisor: Doç. Dr. İskender Atilla REYHANCAN

Natural radioactivity originates from extraterrestrial sources as well as from radioactive elements in the earth crust. The radioactivity of the earth includes the primordial radionuclides such as ^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th and ^{40}K . The main objective of this study is to evaluate Edirne region from the point of natural radiological view. For this purpose, it was determined natural concentration of radionuclides in soil samples taking from different areas of the Edirne region and like water around Edirne region, water which supply drinking water to the city and villages, the atmosphere near to the surface of the region. In this research, soil and water samples obtained from 9 towns located in the city of Edirne have been analyzed. In this analysis, the direct gamma measurements were done; for the soil samples, the area sampling method was used. In order to clarify the measurements of the total alpha and the beta activities in environmental samples, the low background natural alpha/beta proportional counting system (The Berthold LB770-PC 10-Channel Low-Level Planchet Counter) has been used. Some of the gross alpha and gross beta radioactivity levels in drinking water samples were found above limits determined by the international organizations ICRP and WHO. ^{226}Ra radioactivity concentrations in soil ranged from 11.3 ± 0.4 Bq/kg to 37.5 ± 1.4 Bq/kg, ^{232}Th radioactivity concentrations ranged from 17.7 ± 0.6 Bq/kg to 56.1 ± 1.7 Bq/kg, ^{137}Cs radioactivity concentrations ranged from 0.9 ± 0.05 Bq/kg to 22.0 ± 0.4 Bq/kg and ^{40}K radioactivity concentrations ranged from 293.8 ± 11.6 Bq/kg to 822.2 ± 27.7 Bq/kg. The results obtained in this study were compared with the international recommended values.

Keywords : Natural radioactivity, Gross Alpha and Beta Activities, Gamma Dose Rate

2012 , 68 pages

ÖNSÖZ

“Edirne İlinin Çevresel Radyoaktivitesinin Belirlenmesi” adlı bu tezin, sayım işlemi Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezinde gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmanın hazırlanmasında danışmanlığımı üstlenen, her konuda bana yol gösteren ve yardımcı olan, Doç. Dr. İskender Atilla REYHANCAN’a içtenlikle teşekkür ederim. Ayrıca bu çalışmanın her aşamasında değerli bilgilerini esirgemeyen;

ÇNAEM Radyoaktivite Ölçme ve Analiz Birimi Uzmanı Halim TAŞKIN’a

ÇNAEM Radyoaktivite Ölçme ve Analiz Birimi Uzmanı Dr. Ahmet VARİNLİOĞLU’na

ÇNAEM Sağlık Fiziği Birimi Radyasyon Korunma Uzmanı Enis KAPDAN’a

ÇNAEM Araştırma ve Geliştirme Bölümü Yüksek Fizikçisi Erol KAM’a

ve çalışmaların tüm aşamasında bana bizzat yardımcı olan aileme ve sevgili nişanlıma sonsuz teşekkür ederim.

Elif GÖNEN
Şubat 2012

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
SUMMARY	ii
ÖNSÖZ	iii
KISALTMALAR	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
1.GİRİŞ	1
2.ÇEVRESEL RADYASYON KAYNAKLARI	2
2.1.Radyoaktivite ve Radyasyon	2
2.1.1.Alfa Parçacıkları	3
2.1.2.Beta Parçacıkları	4
2.1.3.Nötronlar	4
2.1.4.Gama Işınları	4
2.1.5.X Işınları	5
2.2.Radyasyon Birimleri	5
2.2.1.Radyasyondan Korunmanın Temel İlkeleri	7
2.3.Doğal ve Yapay Radyasyon Kaynakları	8
2.3.1.Doğal Radyasyon Kaynakları	9
2.3.1.1.Karasal Radyasyon	10
2.3.1.2.Kozmik Işınlr	15
2.3.2.Yapay Radyasyon Kaynakları	17
2.4.Doğal Radyoaktivitenin Diğer Kaynakları	18
2.4.1.Topraktaki Doğal Radyoaktivite	18

2.4.2.Sulardaki Doğal Radyoaktivite	21
2.4.2.1. Sularda Belirlenen Radyoaktivite Limitleri	23
2.4.3.Yüzeğe Yakın Atmosferdeki Doğal Radyoaktivite	25
2.4.4. Yiyeceklerdeki Doğal Radyoaktivite	26
2.4.5.İnsan Vücudundaki Doğal Radyoaktivite	27
2.4.6.Yapı Malzemelerindeki Doğal Radyoaktivite	27
2.4.7.Çevresel Gama Radyasyonu	29
2.5.Radon	29
3.DENEYSEL ÇALIŞMALAR	33
3.1.Bölgenin Tanıtılması	33
3.2.Araştırmada Kullanılan Ölçüm Sistemleri.....	36
3.2.1.Alfa ve Beta Sayım Sistemleri.....	36
3.2.2.Gama Spektrometrik Analiz Sistemi	40
3.2.2.1.Çok Kanallı Analizör Sistemi	43
3.2.3.Gama Sintilasyon Dedektörü.....	44
3.2.4.Örneklerin Toplanması ve Sayıma Hazırlanması	48
3.2.4.1.Toprak Örneklerinin Toplanması ve Hazırlanması	48
3.2.4.2. Su Örneklerinin Toplanması ve Hazırlanması.....	49
4.BULGULAR ve TARTIŞMA	51
4.1.Toprak Örneklerinden Alınan Deney Sonuçları	51
4.1.1.Edirne İli Topraklarında Radium (²²⁶ Ra) Dağılımı.....	51
4.1.2.Edirne İli Topraklarında Toryum (²³² Th) Dağılımı	53
4.1.3.Edirne İli Topraklarında Sezyum (¹³⁷ Cs) Dağılımı	55
4.1.4.Edirne İli Topraklarında Potasyum (⁴⁰ K) Dağılımı	57
4.2. Su Örneklerine İlişkin Alınan Deney Sonuçları	61

5.SONUÇ ve ÖNERİLER.....	65
6.KAYNAKLAR.....	67
7.ÖZGEÇMİŞ	69

KISALTMALAR

BSS	: Basic Safety Standards
ÇNAEM	: Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi
DSÖ	: Dünya Sağlık Örgütü
EPA	: United States Environmental Protection Agency
EEC	: Equilibrium Equivalent Concentration
IAEA	: International Atomic Energy Agency
ICRU	: International Commission on Radiation Units and Measurements
ICRP	: International Commission on Radiological Protection
KF	: Kalite faktörü
NCRP	:National Council on Radiation Protection and Measurements
OSB	:Organize Sanayi Bölgesi
PAEC	:Potential Alpha Energy Concentration
RBE	:Bağlı Biyolojik Etki
TAEK	:Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
TSE	:Türk Standartlar Enstitüsü
UNSCEAR	:United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
WHO	:World Health Organization
WL	:Working Level
Y.E.D.E	:Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri
GP	:Global Positioning System

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1: İyonlaştırıcı Radyasyon Birimleri ve Dönüşüm Faktörleri	5
Çizelge 2.2: Soğurulan Radyasyonlar İçin Kalite	7
Çizelge 2.3: İzin Verilen Yıllık Doz Sınırları	7
Çizelge 2.4: Türkiye ve Dünyada değişik bölgelerde yıllık radyasyon dozları	10
Çizelge 2.5: Bazı kozmojenik radyonüklitler	16
Çizelge 2.6 : Yapay Radyasyon Kaynakları	18
Çizelge 2.7 : Kayalardaki radyoaktif çekirdeklerin yıllık radyasyon dozu şiddetleri..	19
Çizelge 2.8: ^{40}K , ^{238}U ve ^{232}Th 'ın ortalama aktivite kütle konsantrasyonu ve buna karşılık havada soğurulan doz şiddetleri	20
Çizelge 2.9 : Okyanuslarda Çekirdeklerin Aktiviteleri.....	22
Çizelge 2.10 : İçme Sularında Toplam Alfa ve Beta Aktivitesi için Kullanılan Limitler	23
Çizelge 2.11 : Bazı Yiyeceklerdeki ^{40}K ve ^{226}Ra Değerleri	26
Çizelge 2.12: İnsan Vücudundaki Doğal Radyoaktivite	27
Çizelge 2.13 : Yapı materyallerindeki uranyum, toryum ve potasyumun konsantrasyonları	28
Çizelge 2.14 : Evlerde ve işyerlerinde radon ve ürünleri için önerilen seviyeleri	31
Çizelge 2.15 : Çeşitli ülkeler için radon konsantrasyon limitleri.....	32
Çizelge 3.1: Araştırmanın Akış Diyagramı.....	35
Çizelge 3.2: Edirne İli Dış Gama Ölçüm Sonuçları.....	44
Çizelge 4.1: Toprak Örneklerindeki Radyum Konsantrasyonun İlçelere Göre Dağılımı	50
Çizelge 4.2: Toprak Örneklerindeki Toryum Konsantrasyonun İlçelere Göre Dağılımı	53
Çizelge 4.3: Toprak Örneklerindeki Sezyum Konsantrasyonun İlçelere Göre Dağılımı	56

Çizelge 4.4: Toprak Örneklerindeki ⁴⁰ K Konsantrasyonun İlçelere Göre Dağılımı	59
Çizelge 4.5: Edirne İli Toprak Örnekleri Gama Spektrometrik Analiz Sonuçları (Bq/kg)	62
Çizelge 4.6: Su Örneklerinin Toplam Alfa ve Beta Radyoaktivite Konsantrasyonları	64
Çizelge 4.7: Edirne İli Su Örnekleri Eser Element Sonuçları	67

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1: Çevresel radyasyon kaynakları	8
Şekil 2.2: Doğal radyasyon kaynaklarından radyasyon dozlarının oransal değeri	9
Şekil 2.3: Uranyum serisinin bozunum şeması.....	11
Şekil 2.4: Toryum serisinin bozunum şeması	12
Şekil 2.5: Aktinyum serisinin bozunum şeması	12
Şekil 2.6: Toprakta bulunan radyonüklit konsantrasyonu	13
Şekil 2.7: Kozmik ışıklardan alınan radyasyonun yüksekliğe göre değişimi	17
Şekil 2.8: İçme sularının radyoaktivite konsantrasyonlarının belirlenmesinde izlenen akış diyagramı	24
Şekil 2.9: Radon ve radon harici kaynaklardan maruz kalınan radyasyon dozları	30
Şekil 2.10: Radonun binalara giriş yolları	31
Şekil 3.1: Edirne ili ve ilçeleri	34
Şekil 3.2: Gaz Akışlı Orantılı Alfa ve Beta Sayım Cihazı.....	37
Şekil 3.3: Gaz akışlı orantılı bir sayıcıya ait düzenek.....	38
Şekil 3.4: Saf Germanyum dedektörlü gama spektrometrik cihazının çalışma düzeneği	40
Şekil 3.5: HpGe Dedektörü Deney Düzeneği	41
Şekil 3.6: Gama Işıklarına Karşılık Gelen Pikler.....	43
Şekil 3.7: ESP-2	43
Şekil 3.8: SPA-6.....	43
Şekil 3.9: Edirne il geneli gama doz hızı histogramı	46
Şekil 3.10: Marinelli Kabı.....	48
Şekil 3.11: Beher kaplarındaki su örneklerinin buharlaştırma işlemi	49
Şekil 4.1 Analiz Edilen Toprak Örneklerinin Radium Aktivitesinin Histogramı	51

Şekil 4.2 Toprak Örneklerindeki Ra-226 Aktivitesinin İlçelere Göre Dağılımı	52
Şekil 4.3 Analiz Edilen Toprak Örneklerinin Toryum Aktivitesinin Histogramı.....	54
Şekil 4.4 Toprak Örneklerindeki Th-232 Aktivitesinin İlçelere Göre Dağılımı	55
Şekil 4.5 Analiz Edilen Toprak Örneklerinin Sezyum Aktivitesinin Histogramı.....	57
Şekil 4.6 Toprak Örneklerindeki Cs-137 Aktivitesinin İlçelere Göre Dağılımı	58
Şekil 4.7 Analiz Edilen Toprak Örneklerinin Potasyum Aktivitesinin Histogramı	60
Şekil 4.8 Toprak Örneklerindeki K-40 Aktivitesinin İlçelere Göre Dağılımı.....	61
Şekil 4.9 Edirne Sularına ait Alfa Aktivitesi Histogramı.....	65
Şekil 4.10 Edirne Sularına ait Beta Aktivitesi Histogramı.....	66

1. GİRİŞ

Çevresel radyasyon ölçümlerinin temel amacı, insanların çevresel kaynaklardan aldıkları radyasyon dozunun tayini ve oluşturabileceği sağlık riskinin değerlendirilmesidir. Bunun yapılabilmesi için de doğal radyasyon kaynaklarını oluşturan radyonüklidlerin çevresel ortamdaki konsantrasyonları ve insanların maruz kaldıkları toplam radyasyon dozuna bunların katkıları ayrı ayrı belirlenmelidir. Ayrıca çevresel ortamda bulunan radyonüklidler ile insanların bu kaynaklardan aldıkları radyasyon dozu arasındaki ilişkinin belirlenmesi gerekir. Bu tür sistematik araştırmalar sonucu bir bölgenin doğal radyasyonunun çevre yönünden sağlıklı yaşama uygun olup olmadığına karar verilebilir. İnsanoğlu ve diğer canlılar, milyonlarca yıldan beri evrenden gelen kozmik ışınlar ve yerkürede bulunan doğal radyoaktif maddelerden yayılan radyasyonla ışınlanmakta olup; tüm canlılar varoluşlarından bu yana sürekli olarak doğal radyasyonla iç içe yaşamaktadırlar. İnsan vücuduna solunum ve sindirim yollarıyla, hava, su, tüm bitkisel ve hayvansal besinlerle az da olsa radyoaktif maddeler alınmaktadır. Buna ek olarak kozmik ışınlardan ve yerkürede bulunan doğal radyoaktif maddelerden aldığımızda düşünüldüğünde, insan vücudu hem iç hem de dış radyasyon ışınlanmasına doğal olarak maruz kalmaktadır (**Durrani ve Iliç 1997**). Doğal radyasyonların temel seviyeleri, bölgenin jeolojik ve coğrafik yapısına bağlı olarak değişiklik gösterir. Toprak ve kayaların mineralojik yapıları ile coğrafi yükseklik, bölgenin temel radyasyon seviyesini etkilemektedir. Bir bölgenin veya bir yerin doğal temel radyasyonunun belirlenmesi demek, o yerin radyolojik açıdan incelenmesi, başka bir deyişle, o yer toprağında, suyunda ve havasında bulunan doğal radyoaktifliğinin belirlenmesi demektir (**Karahan 1997**). 1986 yılında Çernobil nükleer reaktöründe meydana gelen kazada radyoaktif maddeler bütün Avrupa'ya yayılmıştır. Trakya bölgesinde Yunanistan ile Bulgaristan sınırı boyunca ve Doğu Karadeniz Bölgesinin bazı kesimleri radyoaktif bulutun geçişi sırasında radyasyon dozuna maruz kalmışlardır. Yetişkinlerin 0.6 mSv ve 0-1 yaş arası bebeklerin 0.350 mSv ortalama radyasyon dozuna maruz kaldıkları tespit edilmiştir (**TAEK 1998**). Edirne ili coğrafi konumu ve Çernobil nükleer santral kazasından sonra kontamine olan ilerimizden biri olması nedeniyle incelemeye alınmıştır. Bu nedenle doğal fon radyasyon düzeylerinin belirlenmesi halkımız ve bütün canlılar açısından büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada fon radyasyon düzeyinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. ÇEVRESEL RADYASYON KAYNAKLARI

2.1 Radyoaktivite ve Radyasyon

Çekirdekte bulunan proton nötronların sayıları belli bir oranda olduğu sürece atom kararlı yapısını sürdürür. Bu oran aşıldığında, atom ışınlar yaparak kararlı duruma gelmeye çalışır. Yani transformasyona uğrar. Kararsız bu atomlar “radyoaktif ” olarak isimlendirilir. Bu süreçte tamamen başka bir atoma dönüşür. Radyoaktivite, kararsız olan bazı atom çekirdeklerinin, bazı parçacıklar ve/veya enerji yayınlamakla kendiliğinden bozunmasıdır. Bir çekirdeğin kararlılığını, nötron (N) ve proton (Z) sayıları, düzenlenişleri ve birbirleri üzerine uyguladıkları kuvvetler belirler. N/Z oranı hafif izotoplarda 1 iken, periyodik çizelgenin sonundaki ağır elementlere doğru gidildikçe bu oran artmaktadır. En ağır kararlı çekirdek ${}_{83}\text{Bi}^{207}$ dur. Daha ağır çekirdekler sahip oldukları fazla enerjiden dolayı kararsızdırlar. Böyle çekirdeklere radyoaktif çekirdek adı verilir. Bunlar fazla enerjilerinden radyasyon yayınlamakla kurtulmaya ve kararlı duruma geçmeye çalışırlar. Radyoaktivite kontrol edilemeyen bir olaydır. Yavaşlatılamaz veya durdurulamaz. Üstel olarak zayıflayan bir tempo ile kendiliğinden tükeninceye kadar devam eder. Ayrıca o andaki mevcut atom sayısı ile orantılıdır. Başka bir deyişle bir izotopun kütlesi iki kat artarsa radyoaktivitesi de iki kat artar. Radyoaktif bozunum tamamen istatistiksel bir olaydır. Bir atomun ne zaman bozunmaya uğrayacağını kestiremeyiz, ancak bozunma olasılığını bilebiliriz.

Bozunuma uğrayan radyoizotop doğada bulunuyor veya doğada bulunan diğer radyoizotopların bozunmasından ortaya çıkıyorsa buna doğal radyoaktivite denir. Çekirdek yapısının açıklanmasında, yaş hesaplarında, sediment oluşum oranlarının tespiti gibi farklı alanlarda doğal radyoaktiviteden faydalanılır. Çevrenin doğal radyoaktivite seviyesinin bilinmesi, nükleer kaza esnasında o bölgenin hangi oranlarda kontamine olduğunun tespiti açısından önemlidir. Nükleer reaktör veya hızlandırıcılarda üretilen bir radyoizotopun bozunuma uğraması olayına yapay radyoaktivite adı verilir (Murray 2001).

Radyasyon; parçacık veya elektromagnetik dalgalar yoluyla enerji transferidir. En geniş tanımıyla her türlü ışımaya demektir. Buna gözle görülmeyen mikrodalga, cep telefonu, televizyon ekranı gibi elektronik eşyalardan yayılan dalgalar ve hatta güneşten bize ulaşan ışınlar da dâhildir.

Radyasyonlar madde ile etkileşmelerine göre iki grupta toplanırlar (**Murray 2001**).

Bunlar:

- 1) İyonlaştırıcı Radyasyonlar
- 2) İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyonlardır.

Radyasyonla, bir atomun elektronlarından bir veya bir kaçının yörüngelerinden koparılarak serbest hale gelmesi olayına iyonizasyon, madde ile etkileşmesi durumunda iyonlaşma meydana getiren radyasyonlara ise iyonlaştırıcı radyasyonlar denir. İyonlaştırıcı radyasyon örnekleri:

- Alfa parçacıkları: Uranyum atomunun parçalanması sonucu
- Beta parçacıkları: Nükleer tıpta kullanılan İyot-131
- Nötronlar: Toprakta yoğunluk ölçen cihazlar
- Gama ışınları: Kanser tedavisinde kullanılan Kobalt-60
- X ışınları: Akciğer filmi

İyonlaştırıcı olmayan radyasyon örnekleri:

- Mikro dalgalar
- Görünür ışık
- Radyo dalgaları
- Cep telefonu ve baz istasyonundan yayılan dalgalar
- MR, metal dedektörünün kullandığı dalgalar

Çekirdekte oluşan radyoaktif bozunmalar sırasında beş çeşit radyasyon gözlemleyebiliriz. Bunlar, alfa parçacıkları, beta parçacıkları, nötronlar, gama ışınları ve X ışınlarıdır.

2.1.1 Alfa Parçacıkları

Alfa parçacıkları, iki proton iki nötrondan oluşan bir helyum çekirdeğidir. Elektronları olmadığından pozitif yüklüdür. Atom numarası 83'ten büyük olan yüksek atom numaralı elementlerde çok görünen bir bozunma olayıdır. Alfa yayınlamış olan bir atom kendisinden daha küçük bir elemente dönüşür. Alfa parçacıkları yolları üzerinde yoğun bir iyonlaştırma oluşturarak enerjilerini hemen kaybederler. Alfa parçacıklarını çok küçük kalınlıklı maddelerle bile durdurmak mümkündür. Ancak sindirim, solunum veya yara ile vücuda alındığında çok tehlikeli olabilirler.

2.1.2 Beta Parçacıkları

Beta ışınları, kararsız atom çekirdeğinden yayınlanan yüksek enerjili elektronlardır. Bir çekirdekte nötron sayısı çok fazla olduğunda bir nötron elektron yayınlayarak protona dönüşebilir. Yayınlanan bu elektron beta parçacığı olarak isimlendirilir. Bunlar pozitif veya negatif yüklü elektronlardır. Pozitif yüklü elektronlar “ β^+ ” ile negatif yüklü iyonlar ise “ β^- ” işaretleriyle sembolize edilir. Beta parçacıkları da alfa parçacıkları gibi belli bir kütle ve yüke sahip olduklarından madde içerisinde geçerken yolları üzerinde iyonlaşmaya sebep olurlar. Bu parçacıklar alfa parçalarına göre daha hafif ve daha giricidir. Bunlardan korunmak için ince alüminyum levhadan yapılmış bir zırh malzemesi veya plastik yeterlidir.

2.1.3 Nötronlar

Nükleer reaksiyonlar sonucunda oluşurlar. Özellikle üretilmediği sürece bir nükleer reaktör dışında sık karşılaşılan bir radyasyon türü değildir. Nötronlar yüksüz parçacıklardır. Bu yüzden elektronlarla değil çekirdekle etkileşirler. Girişkenliği çok yüksektir. Kurşun gibi ağır metaller nötronları durdurmak için kullanılmaz. Su, parafin, polietilen veya kalın beton nötron zırhlaması için en uygun malzemedir.

2.1.4 Gama Işınları

Genelde çekirdekteki diğer bozunmaları takip eden elektromanyetik dalgalardır. Mikro dalga ya da görünür ışık dalgalarıyla aynı türdendir ancak yüksek enerjileri yönünden farklılık gösterirler. Radyoaktif bir çekirdek alfa veya beta yayınlanmasından sonra çoğu zaman kararlı durumda kalmayabilir. Başka bir deyişle, radyoaktif parçalanmadan sonra geride kalan çekirdek uyarılmış halde kalabilir. Bu çekirdek, oluştuğundan çok kısa bir zaman sonra bir veya birkaç gama ışını yayınlayarak üzerindeki fazla enerjiyi atar ve kararlı hale gelir. Girişkenlikleri çok fazladır, havada kilometrelerce yol kat edebilirler. Kurşun gibi ağır metaller ya da yoğun beton kullanılarak durdurulurlar.

2.1.5 X-Işınları

Gama ışınları gibi elektromagnetik dalgalardır ve aynı özelliğe sahiptirler. Oluşum bakımından gama ışınlarından ayrılırlar. X- ışınları ya hızlandırılmış elektronların ani durdurulması şeklinde ya da bir atomun yörünge elektronları arasındaki seviye farkından oluşurlar. Yapay olarak X-ışınları röntgen tüplerinden elde edilir. Röntgen tüpünde bir elektron demeti oluşturulur ve yüksek potansiyel altında hızlandırılarak anot denilen bir metal üzerine çarptırılır. Hızla anoda atomlarına çarpan elektronlar anti katot metalinin çekirdeğinin yakınından geçerken hızlarının azalmasından ötürü frenleme (bremsstrahlung) radyasyonu yayınlanır. Bunlar X ışınlarını oluşturur. Tıpta bu yöntem sıklıkla kullanılmaktadır.

2.2.Radyasyon Birimleri

Radyasyon dozunun hedef kütlede meydana getireceği etki radyasyonun türüne, doz hızına ve bu doza maruz kalış süresine bağlıdır. İyonlaştırıcı radyasyonlarla yapılan çalışmalarda sonuca ulaşabilmek ve zararlı biyolojik etkileri belirleyebilmek için radyasyon dozunun bilinmesi gerekir. Bu amaçla geliştirilecek ölçüm yöntemleri için her şeyden önce radyasyon dozunu ölçecek bir takım birimlerin tanımlarının yapılması zorunludur. Uluslararası Radyasyon Birimleri Komitesi (ICRU), radyoaktivite, ışınlama, soğurulan doz ve doz eşdeğeri için sırasıyla Curie (Ci), Röntgen (R), Rad ve Rem birimlerini tanımlamıştır (**Gollnick 1988**). Uluslararası Birimler Sisteminin (International System of Unit, SI) kabul edilmesiyle ICRU 1971 yılında SI birimlerini tanımlamıştır. Eski birimler ve SI birim sistemindeki radyasyon birimleri dönüşüm faktörleri ile birlikte Çizelge 2.1’ de verilmektedir.

Çizelge 2.1: İyonlaştırıcı Radyasyon Birimleri ve Dönüşüm Faktörleri

Büyüklik	SI Birimleri	Eski Birimler	Dönüşüm Faktörleri
Aktivite	Becquerel (Bq)	Curie (Ci)	$1\text{Bq} = 2.7 \times 10^{-11} \text{ Ci}$
Işınlama	Röntgen (C/Kg)	Röntgen	$1 \text{ C/Kg} = 3876 \text{ R}$
Soğurulan Doz	Gray (Gy)	Rad (rad)	$1\text{Gy}=100 \text{ rad}$
Eşdeğer Doz	Sievert (Sv)	Rem (rem)	$1\text{Sv}=100 \text{ rem}$

Radyoaktivite birimi Curie olup, herhangi bir radyoaktif madde miktarı eğer saniyede 3.7×10^{10} parçalanma hızına sahipse aktivitesi 1 Curie olarak tanımlanır. Saniyedeki her bir parçalanma ise Becquerel ile ifade edilir. Işınlama birimi Röntgen (R), normal hava şartlarında (0°C ve 760 mm Hg basıncı) havanın 1 kg'ında 2.58×10^{-4} Coulomb'luk elektrik yükü değerinde + ve - iyonlar oluşturan X ve γ radyasyon miktarı olarak tanımlanır. Işınlama, X ve γ ışınlarının havayı iyonlaştırmalarının bir ölçüsüdür. SI birim sisteminde ışınlama biriminin özel bir adı yoktur. Soğurulan doz her ortam ve her türdeki iyonlayıcı radyasyonlar için tanımlanmıştır. Bu birim, radyasyon demeti ile birlikte soğurucu maddenin de özelliğini belirtir. SI birim sisteminde soğurulan doz birimi gray (Gy) olup, gray; 1 kg'lık bir maddeye 1 Joule'luk enerji veren herhangi bir iyonlayıcı radyasyon dozudur. Eski birim rad (radiation absorbed dose) olup, 1 rad, herhangi bir maddenin gramı başına 100 erg'lik enerji soğurumuna eşdeğerdir. Radyasyona maruz kalan bir insanda meydana gelebilecek zararlı biyolojik etkileri ölçebilen bir birime de ihtiyaç bulunmaktadır. Vücudun kilogramı başına soğurduğu enerjinin meydana getirdiği biyolojik etki, maruz kalınan radyasyonun cinsine ve enerjisine göre farklılıklar gösterir. Bunun için “radyasyon ağırlık faktörü ” kullanılmaktadır. Örneğin alfa parçacıkları beta parçacıklarına göre daha ağır ve yüksek enerjili olduğundan vücut içinde geçtikleri birim yol başına daha fazla enerji bırakırlar, bu nedenle geçtikleri bölgede daha fazla hasar meydana getirirler. Ayrıca bazı organların diğer organlara nazaran radyasyona karşı hassasiyeti farklı olduğundan, aynı doza karşın oluşan biyolojik etkide farklıdır. İşte bütün bu faktörleri içine alan radyasyon dozuna eşdeğer doz birimi olarak Sievert (Sv) eski birim ise rem (roentgen equivalent man); 1Gy'lik X ve γ ışını ile aynı biyolojik etkiyi meydana getiren herhangi bir radyasyon miktarıdır (**Gollnick 1988**).

Radyasyon doku üzerindeki biyolojik etkisini hesaplamak için her radyasyon türü için “Kalite Faktörü” (KF) tanımlanmıştır. Daha önceleri, KF yerine bağıl biyolojik etki (RBE) kullanılmaktaydı. Soğurulan radyasyonlar için kalite faktörü Çizelge 2.2 de gösterilmiştir. Yıllık etkin doz eşdeğeri (Y.E.D.E), insanın farklı radyasyon kaynaklarından yayınlanan ışınlarla gerek dışarıdan maruz kalmak suretiyle, gerekse yediği ve içtiği gıdalar veya teneffüs ettiği havada bulunan değişik radyonüklidlerden yayınlanan ışınlarla içerden maruz kalmak suretiyle bir yıl süresince alacağı radyasyon dozu olarak tanımlanır.

Çizelge 2.2:Soğurulan radyasyonlar için kalite faktörü

Radyasyon Türü	Kalite Faktörü
X ve gama ışınları	1
Elektronlar ve beta parçacıkları	1
Nötronlar, enerjileri<10KeV	3
Nötronlar, enerjileri>10KeV	10
Alfa parçacıkları	20

2.1.3 Radyasyondan Korunmanın Temel İlkeleri

Radyasyon dozlarını belirlenmiş limitlerin altında tutarak, kişilerde erken olumsuz etkilerin meydana gelmesini önlemek veya ilerde ortaya çıkabilecek gecikmiş olumsuz etkilerin görülmesini en aza indirmek için alınabilecek bütün önlemleri ifade eder. Alınan önlemlere karşın, bazı çalışmalarda kaçınılmaz olarak bir miktar radyasyon dozuna maruz kalınmaktadır. ALARA (As Low As Reasonable Achievable) prensibine göre, çalışan kişiler tarafından alınan tüm radyasyon dozları, ekonomik ve sosyal koşullar da göz önüne alınarak, mümkün olduğu kadar düşük tutulmalıdır. Bireylerin normal ışınlamaları, izin verilen tüm ışınlamaların neden olduğu organ ya da dokudaki eşdeğer doz ile etkin doz aşağıda belirtilen yıllık doz sınırlarını aşamaz.

Çizelge 2.3:İzin Verilen Yıllık Doz Sınırları

		Radyasyon Görevlileri	Halk
Etkin Doz	Yıllık Ortalama	20mSv/yıl	1 mSv/yıl
	Tek Yıl	50mSv/yıl	5 mSv/yıl
Eşdeğer Doz	Göz	150mSv/yıl	15 mSv/yıl
	Cilt	500mSv/yıl	50 mSv/yıl
	El-Ayak	500mSv/yıl	50 mSv/yıl

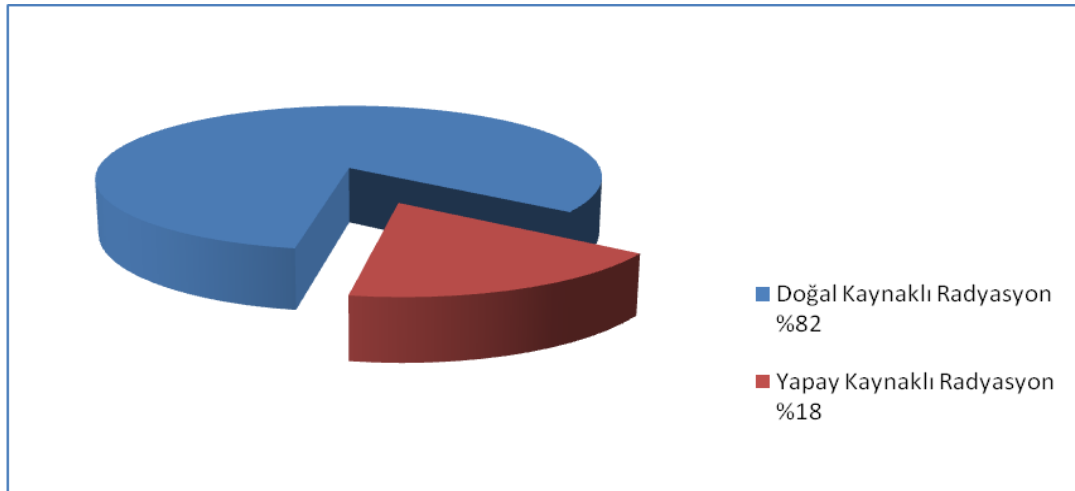
Uluslararası Radyolojik Korunma Komisyonu (ICRP) tarafından müsaade edilebilir maksimum doz; bir insanda ömür boyunca hiçbir önemli rahatsızlık ve aşırı bir genetik etki meydana getirmesi beklenmeyen iyonlaştırıcı radyasyon dozu olarak tarif edilmiştir. Bu dozlar, kontrol altındaki radyasyon çalışanları ile kontrol altında olmayan toplum üyeleri için farklı değerlerde kabul edilmiştir (ICRP 1993). ICRP'nin önerilerine göre, radyasyon çalışanları için müsaade edilen doz sınırı; birbirini takip eden beş yılın ortalaması 20 mSv'i geçmeyecek şekilde yıllık en fazla 50 mSv'i, toplum üyesi diğer kişiler için ise 1 mSv'i geçmemelidir. Bu dozlara doğal radyasyonlardan ve tıbbi uygulamalardan gelen ilave dozlar dahil değildir (Kam 2004).

2.2 Doğal ve Yapay Radyasyon Kaynakları

Yeryüzü yaratıldığından beri radyoaktiftir. Doğada 60' tan fazla radyoaktif element bulunmaktadır. Radyoaktif elementler doğal olarak havada, suda ve toprakta bulunurlar, hatta insan vücudunda da mevcuttur. Her gün soluduğumuz hava, yediğimiz yemek ve içtiğimiz sudan vücudumuza radyoaktivite girer. Doğal radyoaktivite yeryüzünü oluşturan kayalarda, toprakta, suda ve okyanuslarda ve dolayısıyla yapı malzemelerinde ve evlerimizde bulunmaktadır. Dünyada doğal radyoaktivitenin bulunmadığı bir yer yoktur.

Çevresel radyasyon kaynakları Şekil 2.1'de de görüldüğü gibi,

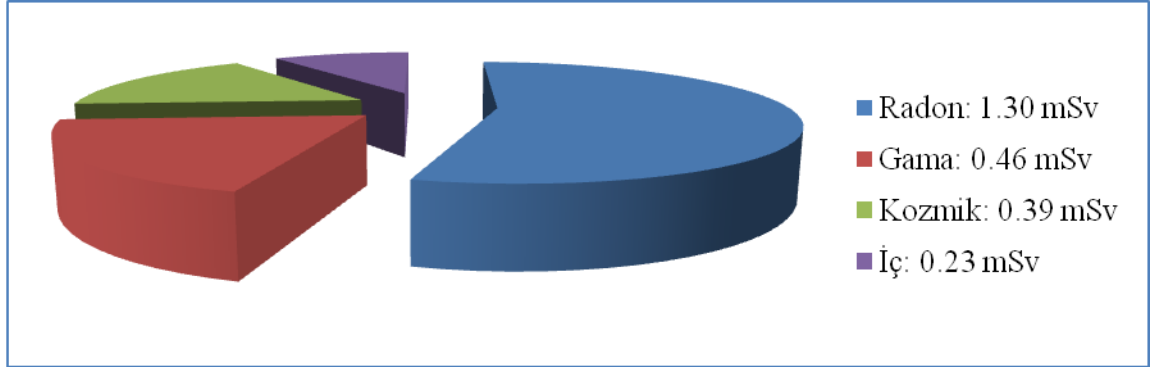
- Doğal Radyasyon Kaynakları
- Yapay (İnsan Yapımı) Radyasyon Kaynakları olarak iki grupta toplanmaktadır.



Şekil 2.1 : Çevresel radyasyon kaynakları

2.3.1 Doğal Radyasyon Kaynakları

Dünyanın oluşumuyla birlikte tabiatta yerini alan çok uzun ömürlü radyoaktif elementler yaşadığımız çevrede normal ve kaçınılmaz olarak kabul edilen bir radyasyon düzeyi oluşturmuşlardır. İnsanlar ve yeryüzünde yaşayan diğer tüm canlıların maruz kaldıkları çeşitli radyasyon ışınlanmalarının önemli bir bölümü çevresel doğal kaynaklardan gelmektedir. Şekil 2.2’de farklı doğal radyasyon kaynaklarından alınan dozlar görülmektedir.



Şekil 2.2: Doğal radyasyon kaynaklarından alınan radyasyon dozlarının oransal değeri

Şekilde belirtildiği gibi doğal radyasyon kaynaklarından alınan dozun büyük bir kısmı radondan kaynaklanmaktadır. Dünyanın oluşumuyla birlikte tabiatta var olan çok uzun ömürlü (milyarlarca yıl) radyoaktif elementler yaşadığımız çevrede doğal bir radyasyon düzeyi oluşturmuşlardır. Kâinatın henüz yeni oluşmaya başladığı zamanlarda birçok izotopun radyoaktif olduğu tahmin edilmektedir. Bu durumun birkaç milyon yıl sürdüğü ve kısa yarı ömre sahip olan radyonüklidlerin bu süre içinde ömürlerini tamamladıkları, geriye kalan ve halen mevcut olan radyonüklidlerin yarı ömürleri kâinatın ömrüyle mukayese edilecek kadar büyük olduğu (en az 10^{10} yıllık yarı ömre sahip oldukları) için bozunmalarının halen devam ettiği bilinmektedir (UNSCEAR 1993).

Geçtiğimiz yüzyılda bu doğal radyasyon düzeyi, nükleer bomba denemeleri ve bazı teknolojik ürünlerin kullanımı ile bir hayli artış göstermiştir. Maruz kalınan doğal radyasyon seviyesinin büyüklüğünü belirleyen birçok neden vardır. Yaşanılan yer, bu yerin toprak yapısı, binalarda kullanılan malzemeler, kutuplara olan uzaklık ve hava şartları bunlardan bazılarıdır. Yağmur, kar, alçak basınç, yüksek basınç, rüzgâr yönü gibi etkenler doğal radyasyon seviyesinin

büyükliğini belirler. İnsanlar, yaşam standartları, yaşadıkları ortamların fiziksel özellikleri ve coğrafi şartlara bağlı olarak değişiklik göstermekle birlikte, yaklaşık 2,5 mSv yıllık doza maruz kalmaktadır (UNSCEAR 1988).

Toprak, su ve bitkilerde biriken radyoaktif maddeler yerel ve bölgesel radyoaktiviteyi önemli oranda değiştirmektedir. Çevresel ışımalara maruz kalma bölgeden bölgeye değişmekte, hatta birbirlerine yakın yerler arasında bile farklılıklar gözlenebilmektedir. Doğal radyasyonların temel seviyeleri, bölgenin jeolojik ve coğrafi konumuna bağlı olarak değişiklik gösterir. Çizelge 2.4’de Türkiye ve Dünyada değişik bölgeler için yıllık radyasyon dozları görülmektedir (IAEA 1996).

Çizelge 2.4: Türkiye ve Dünyada değişik bölgelerde yıllık radyasyon dozları (Karahan 1997)

Bölge	Yıllık Doz (mSv/yıl)
Mersin (Akkuyu)	0.53
Ankara	0.44
Iğdır (Alican)	0.88
Çanakkale	1.23
Kars (Digor)	1.58
Hindistan (Kerela)	15.80
İran(Ramsar)	148.92
Brezilya (Guarapari kumsalları)	788.40

Doğal radyasyondan kaynaklanan ışınlanma, karasal radyasyondan ve uzaydan dünyamıza gelen yüksek enerjili kozmik ışınlarla ait paracıklardan kaynaklanmaktadır.

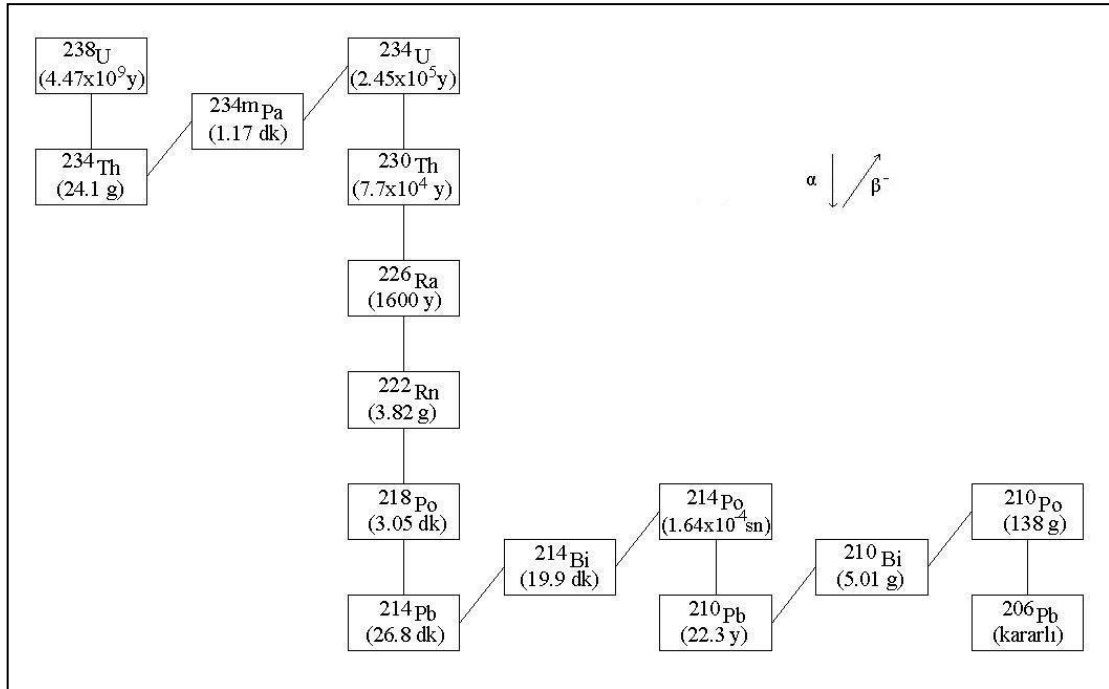
2.2.3.1 Karasal Radyasyon

Karasal radyasyonlar dünyamıza, evrenin varoluşundan kalma radyoaktivitelerdir. Karasal radyoizotopların yarı ömürleri çok uzundur. Doğal radyoaktif elementler 4.6×10^9 yıl önce Dünyanın oluşumundan beri vardır. Karasal radyasyonların kaynaklarını oluşturan radyoaktif elementler iki grupta toplanırlar. Bunlar; doğal radyoaktif bozunum serisi içinde var olanlar ve doğada tek başına bulunanlardır. Topraktaki radyoaktiviteye sebep olan üç önemli doğal radyoizotop vardır, bunlar ; ^{235}U , ^{238}U ve ^{232}Th dır. Aslında ^{40}K hariç bütün doğal radyoaktif

izotoplar, ^{235}U , ^{238}U ve ^{232}Th doğal radyoaktif bozunum serilerinden birinin elemanlarıdır. Her üç doğal bozunum ailesinde ortak olarak birçok uzun ömürlü üye, bir gaz üye bulunmakta ve her üç aile de bir kararlı kurşun izotopu ile sona ermektedir. Bunlar:

- Uranyum serisi (U-238 kaynaklı)
- Toryum serisi (Th-232 kaynaklı)
- Aktinyum serisi (U-235 kaynaklı) dir..

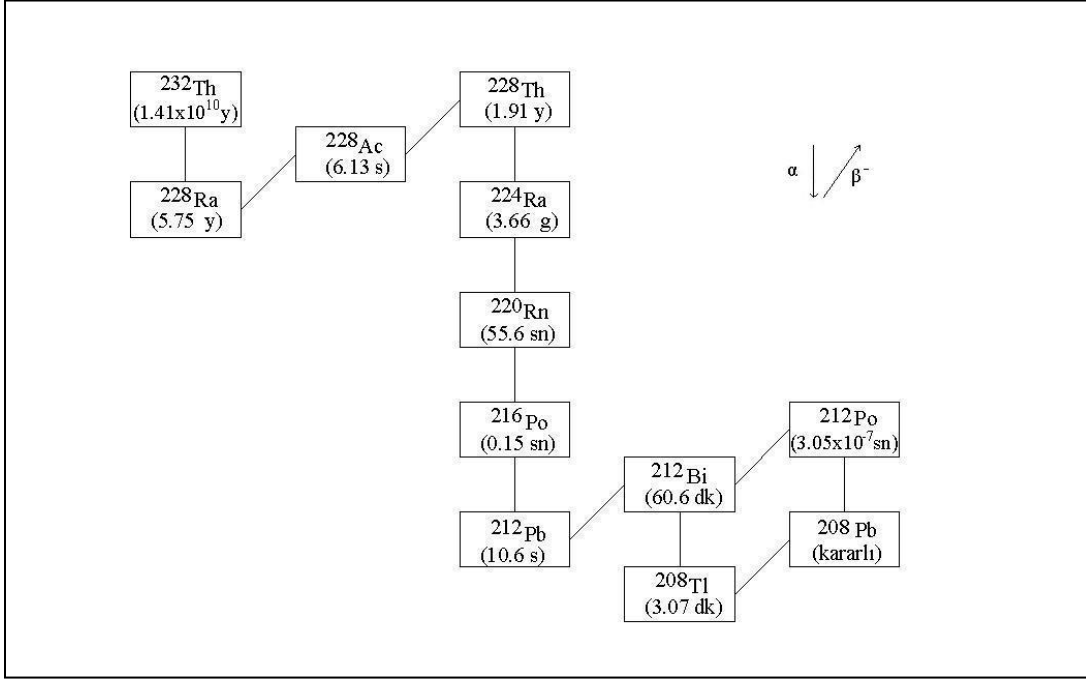
Bu seriler ve bunların bozunum ürünleri olan radyoizotoplar Şekil 2.3, 2.4 ve 2.5’de verilmektedir.



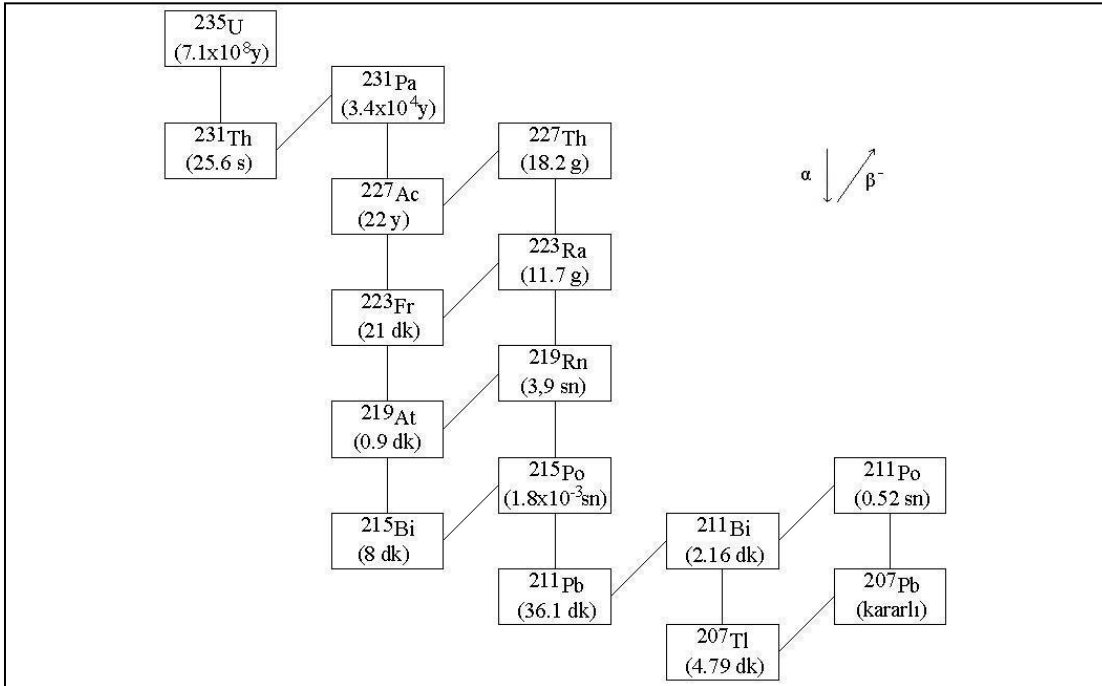
Şekil 2.3 Uranyum serisinin bozunum şeması

Uranyum, kaya ve toprak katmanları boyunca düşük konsantrasyonlarda dağılmıştır. Doğal olarak oluşan uranyum üç farklı izotopa sahiptir. Bunlar: ^{234}U , ^{235}U , ^{238}U ’dir ve ağırlığının %99,2745’ini ^{238}U , %0,7200’ini ^{235}U ve % 0,055’ini ^{234}U oluşturur. Çok uzun yarı ömre sahip olan ve doğada en çok bolluğa sahip olan ^{238}U , uranyumun her bir birim kütlesinde çok düşük bozunma oranına sahiptir. ^{238}U birçok elementin uzun radyoizotop bozunma serisinin başlangıç kaynağı olup, kararlı ^{206}Pb haline gelinceye kadar bozunur. Oluşan ilk ürünler arasında yer alan ve radyoaktif gaz olan radon radyoizotopu (^{222}Rn) atmosfere dağılır ve bozunmaya devam eder. Toryum da benzer şekilde yeryüzüne dağılmıştır ve ^{232}Th , başka bir radyoaktif serinin başlangıç

kaynağıdır. ^{235}U ve bozunma ürünlerinin katkıları ihmal edilecek düzeyde olduğu için genellikle dikkate alınmamaktadır.



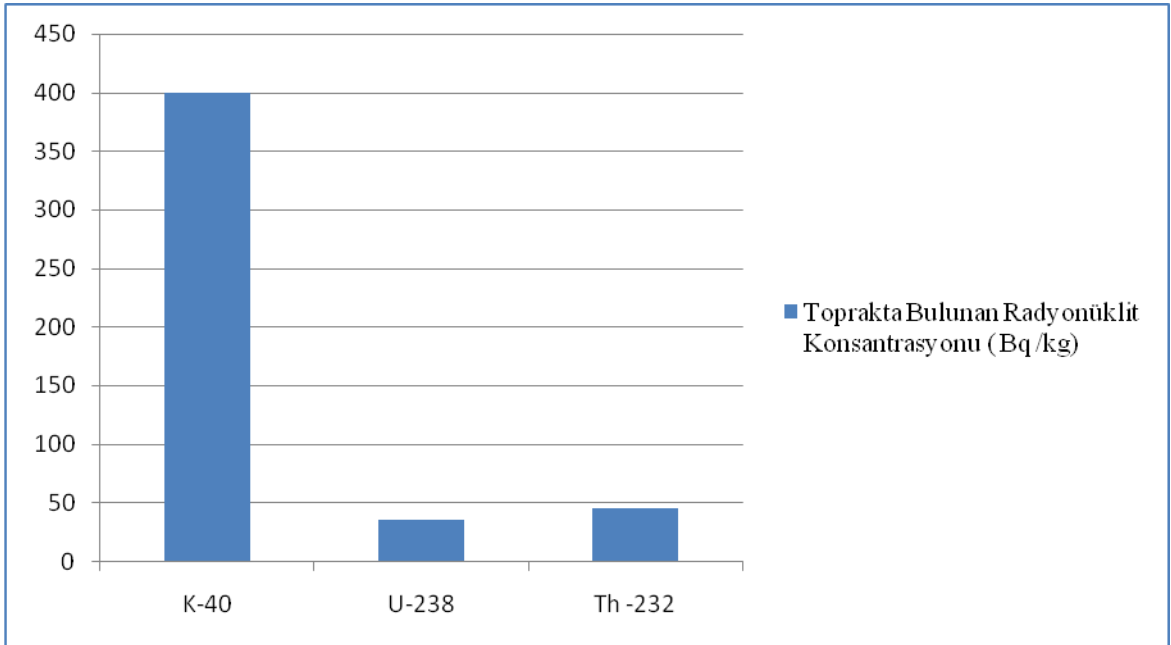
Şekil 2.4 Toryum serisinin bozunum şeması



Şekil 2.5 Aktinyum serisinin bozunum şeması

Ayrıca, dördüncü bir aile olan Neptünyum serisinin ^{241}Pu orijinli olduğu ve bir zamanlar doğada var olduğu zannedilmektedir. ^{241}Pu yarı ömrü 14 yıldır. Bu seride bulunan diğer elementlerin yarı ömürleri çok kısa olduğu biliniyor. Neptünyum ailesinin halen bilinen tek elementi ^{209}Bi dur.

Doğada tek başına bulunan karasal kökenli bazı radyoizotoplar da vardır. Vücuda sindirim yoluyla alınan radyoizotopların başında ^{40}K , ^{226}Ra , ^{238}U 'nin bozunma ürünleri ve çok az oranlarda ^{14}C ve ^3H gelir. İnsan, vücudunda bulunan radyoaktif elementlerden, özellikle ^{40}K elementinden dolayı belli bir radyasyon dozuna maruz kalır. Potasyum, doğada diğer radyoizotoplardan daha fazla oranda bulunmaktadır. Doğadaki potasyumun %0.01'ini ^{40}K oluşturmaktadır. Yerkabuğunun ağırlık olarak % 2,4' ünü oluşturan ^{40}K 'ın aktivite konsantrasyonu genelde, ^{238}U ve ^{232}Th 'den daha büyüktür.



Şekil 2.6: Toprakta bulunan radyonüklit konsantrasyonu (Bq/kg)

Taş ve topraktan üretilen yapı malzemeleri düşük oranda radyoaktivite içerebilirler. Özellikle gama radyasyonlarının önemli bir kısmının 0-25 cm derinlikteki yüzey tabakalarından kaynaklandığı bilinmektedir. Böylece insanlar yaşam alanları dışında olduğu gibi bina içinde de radyasyona maruz kalmaktadırlar. Alınan radyasyon dozu yaşanan bölgenin jeolojik

özelliklerine, binada kullanılan yapı malzemelerine bağlı olarak değişmektedir. Betonarme binalardaki radyasyon dozu, ahşap yapılara oranla daha fazladır. Ev içi gama radyasyonu ölçümlerinde duvar kalınlıkları, oda veya ev büyüklükleri, kapı ve pencere boyutları ve kullanılan malzemenin neden yapıldığı da ev içi ortamda ölçülen soğurulmuş dozu etkilemektedir. UNSCEAR 1993 raporunda insanların alacakları ortalama yıllık ev içi gama ışınlamalarının üst sınırını maksimum 1,2 mSv olarak belirtmiştir (**UNSCEAR 1993**).

İnsanlar ve diğer tüm canlılar radyasyonlara dış ışınlarla maruz kaldığı gibi solunum ve sindirim yoluyla vücutlarına iç ışınlarla maruz kalırlar. İç radyasyon radyoaktif maddelerin solunum, sindirim, mukozalar ya da cilt bütünlüğünün bozulması yoluyla vücuda girmesi ile oluşmaktadır. Vücuda giren bir radyoaktif madde, vücutta bulunduğu süre boyunca ışınlama yapar. Solunum yolu ile iç ışınlanmanın en önemli bileşenini radon ürünleri oluşturmaktadır. Yiyecek ve içeceklerde bulunan ^{40}K , ^{238}U ve ^{232}Th serileri, sindirim yolu ile alınan dozun temel nedenini oluşturmaktadır. Doğal radyoizotopların sindirim yolu ile vücuda alınması yiyecek ve içeceklerin tüketim hızına ve radyoizotop konsantrasyonuna bağlı olarak değişmektedir. Besin maddelerinde doğal olarak bulunan radyoizotop konsantrasyonu ise bölgenin doğal fon seviyelerine, iklimine ve tarım uygulamalarına bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir. Aynı şekilde beslenme alışkanlıkları da bölgeden bölgeye, ülkeden ülkeye değişebilmektedir. Sindirim yolu ile iç ışınlama kaynaklarından alınan yıllık ortalama etkin doz miktarının 0,3 mSv olduğu ve bunun yarısının ^{40}K 'dan kaynaklandığı tahmin edilmektedir (**TAEK**). Genellikle gıdalarla vücuda alınan ^{40}K 'ın yayınladığı gama ışınlarının %50'si ve beta ışınlarının tamamı vücutta absorbe edilmektedir. Bu nedenle, iç radyasyon tehlikesinden korunmak için ortamın, giysilerin ve cildin radyoaktif madde ile bulaşmasını, radyoaktif maddenin yiyecek ve solunum yoluyla vücuda girmesini önleyici önlemler alınması gereklidir. Bu önlemler arasında özel solunum cihazlarının kullanılması, maske ve filtrelerinin kullanılması, koruyucu elbiseler giyinmesi ve kirlenen bölgedeki gıda ve suların tüketilmemesi sayılabilir.

Dış ışınlamalarda, alfa ve beta parçacıklarına göre menzili ve giriciliği daha fazla olan gama ışınları ön plana çıkmaktadır. Yeryüzündeki radyoizotopların yaydığı gama ışınları nedeniyle tüm vücudumuz dış kaynaklı radyasyona maruz kalır. Özellikle granit gibi volkanik kayalarda, fosfat kayalarda, tortularda yüksek radyoaktivite bulunabilmektedir. Yapı malzemeleri taş ve topraktan üretildikleri için düşük oranda da olsa radyoaktivite içerebilirler. Böylece

insanlar konutları dışında olduğu gibi, bina içinde de kullanılan yapı malzemelerinden dolayı radyasyona maruz kalmaktadırlar.

2.3.1.2 Kozmik ışınlar

Dünya, uzaydan gelen yüksek enerjili tanecikler tarafından devamlı bombardıman edilmektedir. Bu çekirdeklerin çoğu güneşten, bir kısmı da uzayın derinliklerinden ve hatta galaksilerin ötesinden gelmektedir. Yüksek enerjili parçacıkların büyük bir çoğunluğu atmosfere ulaşan protonlardır. Güneşin aktif durumuna, yerin manyetik alanına ve yerküreden yüksekliğe bağlı olarak kozmik ışınların yoğunluğu değişir. Protonlar elektrik yüklü parçacıklar olduklarından atmosfere ulaştıklarında dünyanın manyetik alanının etkisine girerler. Bu nedenle kozmik ışın yoğunluğu ekvatorun kutuplara gidildikçe artar. Böylece, insanların aldığı radyasyon enlem arttıkça artar. Bu ışınların büyük bir kısmı dünya atmosferinden geçmeye çalışırken tutulurlar. Yani atmosferimiz kısmi olarak radyasyonu zırlar. Bu nedenle, deniz seviyesine yaklaştıkça kozmik ışınların yoğunluğu, dolayısıyla da doz miktarı azalır. UNSCEAR tarafından yapılan hesaplamalara göre, kozmik ışınlardan kaynaklanan yer seviyesindeki yıllık etkin doz enlem ve yükseklikle değişse de 0,4 mSv civarındadır (**UNSCEAR 1982**). Kozmik radyasyonlar birincil ve ikincil olmak üzere ikiye ayrılır:

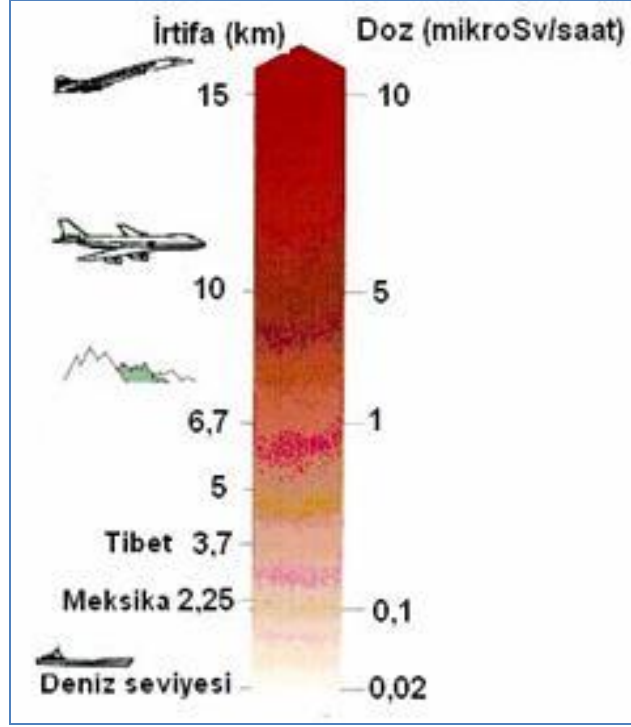
Birincil Kozmik Radyasyonlar: Birincil kozmik radyasyonlar, çok yüksek enerjili parçacıklardan (10^{18} eV'a kadar) ve genellikle protonlarla beraber büyük parçacıklardan oluşur. Bunların büyük bir bölümü bizim güneş sistemimizden uzaktan, uzaydan gelmektedir. Bazıları da güneşteki patlamalardan açığa 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. Bu reaksiyonlar 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 kozmojenik radyonüklitler üretilir. Bu kozmojenik radyonüklitler ikincil radyasyonlar olarak tanımlanır. En önemli kozmojenik radyonüklitler aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 2.5: Bazı kozmojenik radyonüklitler

Kozmojenik radyonüklitler				
Çekirdek	Sembol	Yarı Ömür	Kaynak	Doğal Aktivite
Karbon 14	^{14}C	5730 yıl	Kozmik ışın etkileşmeleri, $^{14}\text{N}(n,p) ^{14}\text{C}$	Organik maddelerde 6 pCi/g (0.22 Bq/g)
Tritiyum 3	^3H	12.3 yıl	N ve O ile kozmik ışın etkileşmeleri; saçılmaları $^6\text{Li}(n,\text{alfa})^3\text{H}$	0.032 pCi/kg (1.2×10^{-3} Bq/kg)
Berilyum 7	^7Be	53.28 gün	N ve O ile kozmik ışın etkileşmeleri	0.27 pCi/kg (0.01Bq/kg)

İnsanların büyük çoğunluğu rakımı düşük bölgelerde yaşadıkları için kozmik radyasyon nedeni ile maruz kaldıkları dozlarda fazla farklılıklar gözlenmez. Bununla birlikte dünyada önemli sayılabilecek yoğunlukta nüfus barındıran yerleşim bölgelerinde yaşayan insanların aldıkları yıllık dozlar (Örneğin And Dağlarındaki Quito ve La Paz, Himalayalardaki Lhasa) deniz seviyesinde yaşayan insanlara oranla birkaç kat daha fazladır. Örneğin La Paz'da bu rakam küresel ortalamanın 5 katıdır. Uçuş yüksekliğindeki kozmik ışın yoğunluğu yer seviyesine oranla daha fazla olduğundan, uçakla yapılan seyahatlerde yer seviyelerine göre daha fazla kozmik ışına maruz kalınır. Kozmik ışınlardan alınan radyasyon dozunun yüksekliğe göre değişimi Şekil 2.7 'de görülmektedir. Uçuşlarda alınan radyasyon dozu uçuş süresine, uçuş rotasına ve irtifaya bağlı olarak değişmekle birlikte, yıllık dozun üzerine 0,01 mSv lik ek doz alınmasına neden olur (TAEK http://www.taek.gov.tr/bilgi/bilgi_maddeler/dogalrad.html).



Şekil 2.7: Kozmik ışınlardan alınan radyasyonun yüksekliğe göre değişimi

2.3.1 Yapay Radyasyon Kaynakları

Yapay radyasyon kaynakları genel olarak radyoaktif serpinti, tıbbi uygulamalar ve endüstriyel uygulamalardan oluşmaktadır. Yüzyıllardır insanlar radyoaktiviteyi yaşamın birçok alanında kullanmaktadır. Kullanım miktarı, doğal yollarla yayılan doza nispeten çok düşük de olsa gözardı edilememektedir. Yapay radyasyon kaynaklarının %90' ını tıbbi uygulamalar oluşturmaktadır. Radyoaktivite tıpta teşhis ve tedavi amaçlı olarak kullanılmaktadır. Teşhis için kullanılan yöntemler arasında, x ışını makineleri, radyografi, floroskopi, fotofloroskopi, mamografi, tomografi, radyofarmostik uygulamaları sayılabilir. Tedavi için kullanılan yöntemler ise kanser hücrelerinin ışınlanması ve çeşitli radyofarmostik uygulamalara yöneliktir. Yapay radyasyon kaynaklarının %3 gibi bir kısmını endüstriyel uygulamalar oluşturmaktadır. Tüketicinin kullanımına sunulan ürünler ve endüstriyel amaçlı yapılmış aletler bu radyasyonun kaynağını oluşturmaktadır. Tüketici ürünleri olarak renkli televizyonlar, video, sigara ürünleri, yakıtlar saymak mümkündür. Endüstriyel amaçlı aletlere örnek olarak ise hava alanı bagaj

kontrol sistemleri, elektron mikroskobu örnek olarak gösterilebilir. Aşağıdaki çizelgede yapay radyasyon kaynaklarına bazı örnekler verilmektedir.

Çizelge 2.6: Yapay Radyasyon Kaynakları

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. Doğal Radyoaktivitenin Diğer Kaynakları

2.4.1. Topraktaki Doğal Radyoaktivite

Dünyanın jeolojik yapısı incelendiğinde toprak tabakasının hemen altında kaya tabakasının bulunduğu görülür. Bu kaya tabakasının karasal radyoaktiviteye sebep olduğu tahmin edilmektedir. Toprakta bulunan ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K gibi doğal radyoaktif çekirdekler toprağın radyoaktif olmasına sebep olmaktadır. Doğal radyoaktif çekirdekler daha çok volkanik, fosfat, granit ve tuz kayalarında yüksek konsantrasyonlarda bulunurlar. Bu kayalar doğa şartlarına bağlı olarak zamanla ufalanarak çok küçük parçalar halinde yağmur ve akıntı sularıyla toprağa karışırlar. Böylece topraktaki doğal radyoaktivitenin artmasına neden olurlar. Bazı zamanlarda yapılan tarımsal çalışmalar ve topraktaki verimi artırmak için kullanılan suni gübreler ^{32}P içermesi nedeni ile topraktaki radyoaktivite seviyesini arttırmaktadır.

Çizelge 2.7: Kayalardaki radyoaktif çekirdeklerin yıllık radyasyon dozu şiddetleri (NCRP Report 45, 1977)

Kaya Tipi		Çekirdek	Doz Şiddeti(mSv/saat)
Volkanik Kayalar		²²⁶ Ra	2.4
		²³⁸ U	2.6
		²³² Th	3.7
		⁴⁰ K	3.5
Tortul Kayalar	Kumtaşı	²²⁶ Ra	1.3
		²³⁸ U	0.7
		²³² Th	1.8
		⁴⁰ K	1.5
	Tabakalı	²²⁶ Ra	2.0
		²³⁸ U	0.7
		²³² Th	3.1
		⁴⁰ K	3.6
	Kalkerli	²²⁶ Ra	0.7
		²³⁸ U	0.8
		²³² Th	0.4
		⁴⁰ K	0.4

Bazı bölgelerde çok geniş alanlara yayılmış olan granit kayaları önemli miktarda toryum içermektedir. Yapılan radyometrik araştırmalar göstermiştir ki, bu tip kayaların bulunduğu alanlarda ölçülen gama radyasyonu oldukça yüksektir. Toprakta bulunan radyoaktivite biyokimyasal işlemlerle bir miktar değişir. Topraktaki organik maddelerin ayrışması, toprağın alt tabakalarındaki oksidasyonlar ile başlar. Bu oksidasyonlar ile alt tabakalarda mevcut olan uranyum zamanla azalır. Ortalama gama ışınlarının yerden 1 m yükseklikte ölçülen doz hızı $4,4 \times 10^{-8}$ Gy/h ve buna bağlı olarak be değere ⁴⁰K, ²³⁸U ve ²³²Th aktiviteleri dolayısıyla yapılan katkı oranları sırasıyla yaklaşık olarak, %35, % 25 ve %40 olarak tahmin edilmektedir. Karasal ölçümlerde, yeryüzünden 1 m yükseklikte ⁴⁰K, ²³⁸U ve ²³²Th'un ortalama aktivite kütle

konsantrasyonlarına karşılık gelen soğurulmuş doz şiddetleri Çizelge 2.10'da verilmiştir (UNSCEAR 1988).

Çizelge 2.8: ^{40}K , ^{238}U ve ^{232}Th 'in ortalama aktivite kütle konsantrasyonu ve buna karşılık havada soğurulan doz şiddetleri (Alkan ve ark. 1987)

Radyonüklit	Ortalama Aktivite Kütle Konsantrasyonu (Bq.kg⁻¹)	Havada Soğurulan doz Şiddeti (nGy h⁻¹)
^{40}K	370 (100-700)	16 (4-30)
^{238}U	25 (10-50)	11 (4-21)
^{232}Th	25 (7-50)	17 (5-33)

Çernobil kazasından sonra serpinti ile toprağa ulaşan radyoaktivite ölçümlerinde Türkiye'nin Trakya ve Karadeniz bölgesinin radyoaktif kirlenmeye maruz kaldığı gözlenmiştir. Trakya bölgesinde yapılan toprak analizlerinde, topraktaki ^{137}Cs aktivite konsantrasyonu Edirne'de 324 Bq/kg ve Tekirdağ ili Saray ilçesinde ise 45 Bq/kg olarak saptanmıştır (Alkan ve ark. 1987). ^{137}Cs , fisyon ürünü olduğu için doğada doğal olarak bulunmamaktadır. Nükleer denemeler ya da reaktör kazaları sonucu ortaya çıkmaktadır. ^{137}Cs yarı ömrü 30,2 yıldır. 661 keV'lik enerjide % 85 bolluكتadır (Taşkın 2006). Radyoaktivitenin topraktaki taşınımında arazi üzerindeki bitki örtüsünün rolünü araştıran çalışmalar, Çernobil kazasından sonra serpinti ile toprağa ulaşan radyoaktivitenin, çalılık arazide çıplak araziden daha fazla biriktiğini göstermiştir. Fisyon ürünlerinin birbirine yakın bölgelerde farklılık göstermesinin sebebini meteorolojik şartlara bağlı olduğu tahmin edilmektedir. Bugüne kadar açıkta yapılan nükleer silah denemelerinde fallout ile Kuzey Yarımkürede m²'ye 70.000 mCi kadar ^{137}Cs düştüğü saptanmıştır. Almanya'da yapılan araştıradada, 1984 yılına kadar nükleer silah denemelerinden serpinti ile toprağa ulaşan ^{137}Cs 'nin ormanlık arazideki birikiminin meralardan dokuz kat daha fazla olduğu gözlenmiştir. (Farber 1990) Çernobil'den sonra ^{134}Cs ve ^{137}Cs 'nin topraktaki dikey ilerleme hızlarının 0,2-0,3 cm/saat olduğu saptanmıştır (Bunz, Kracke and Environment 1988)

2.4.2. Sulardaki Doğal Radyoaktivite

Su, canlıların hayatını sürdürebilmeleri için vazgeçilmez bir unsurdur. İnsanlar başta içme olmak üzere çeşitli amaçlar için kullandıkları suyu yüzey ve yeraltı suları gibi çeşitli kaynaklardan sağlamaktadır. Günümüzde birçok etken yüzey sularının kirlenmesine neden olmakta ve gittikçe kullanım alanlarını sınırlandırmaktadır. Yüzey sularından yeterince faydalanamamak insanları yer altı sularını daha fazla kullanmaya yöneltmiştir. Yeraltı suları hidrolojik döngü ile yağmur sularının yeraltına süzülmesiyle oluşmaktadır. İnsanların çeşitli amaçlar için (içme, kullanma vb.) doğrudan veya dolaylı olarak kullandıkları ve bu şekilde temas halinde olduğu yeraltı suları, kimyasal ve radyoaktivite özelliklerine bağlı olarak insan sağlığı üzerinde çeşitli etkiler yaratmaktadır. Bu nedenle yeraltı sularının özellikle radyoaktivite seviyesinin belirlenmesi insan sağlığı açısından oldukça önemlidir. Suyun kullanımını denetleyen önemli özelliklerden biri de radyoaktivite özelliğidir. Bu nedenle, öncelikle toplam alfa ve beta radyoaktivitesi analiz edilerek, içme ve kullanma suyu standartlarından yüksek olanlarda radyoaktivitenin hangi elementten kaynaklandığı araştırılmaktadır.

Yeraltı suları, içerisinden geçtikleri kayalardan radyoaktif maddeleri çözündürerek radyoaktif özellik kazanmaktadırlar. Yeraltı sularında en çok rastlanan radyoaktif elementler ^{40}K , ^{87}Rb , ^{235}Th , ^{235}U ve ^{238}U 'dir. Ayrıca, ^{238}U 'in bozunumu sonucunda ortaya çıkan ^{222}Rn (radon), ^{226}Ra ile beraber kozmik ışınların etkisiyle radyoaktif özellik kazanan ^{14}N , ^{16}O ve ^{40}Ar ' da yer altı sularında bulunabilmektedir. ^{226}Ra 'nın bozunma ürünü olan radyoaktif radon bazı yeraltı sularında oldukça yüksek konsantrasyonlarda bulunur. Finlandiya'nın Helsinki bölgesinde bulunan bazı sondaj kuyularının ^{222}Rn konsantrasyonları 0.22kBq/L ile 44.4 kBq/L arasında ölçülmüştür (**International Commission of Radiological Protection 1977**). Doğal radyoaktivite olan alfa radyoaktivitesi, suların uranyum ve toryum elementini içeren ortamlarla teması sonucu yüksek seviyelere ulaşmaktadır. Uranyum, toryum, radyum ve radonun zengin olarak bulunduğu kayaç grupları ise metamorfik kayaçlar, granit turu kayaçlar, organik madde içeren tortullar, kum taşları ve karbonatlı tortul kayaçlardır. Sulardaki radyoaktif maddelerin miktarı, büyük oranda ana kaya tipine bağlıdır. Granit tipi kayalardaki doğal radyoaktif maddelerin radyoaktivitesi diğer kaya çeşitlerine kıyasla daha yüksektir (**Kumru ve ark. 2002**).

İnsan vücudunda ^{226}Ra izotopunun birikimi içme ve kullanım sularından kaynaklanmaktadır. Yer yüzü sularında ^{226}Ra konsantrasyonu düşüktür ve 4-18 Bq/m³ (0.1-0.5pCi) civarındadır. Genel bir yaklaşım olarak, şehir dağıtım şebekesine gelen sular yeraltından

kaynaklanıyorsa, ^{226}Ra konsantrasyonu 0,0037 Bq/L'dir. Sularda ^{226}Ra ve ^{225}Ra miktarı su içerisindeki uranyum ve toryum dağılımına, radyoizotopların yarı ömrüne ve suyun bulunduğu ortamın jeokimyasal yapısına bağlıdır. Sularda bulunan radyum, insanın içsel kontaminasyonunda oldukça önemli yer tutar. Radyum kimyasal bakımdan kalsiyuma benzer. İnsan vücudu kalsiyumun %99'unu kemiklere dağıtır. Dolayısıyla radyum kalsiyumun metabolizmasını izleyerek kemik ve kemik iliğinde toplanır. Sindirim yoluyla alınan radyumun % 70-90 'ı kemiklerde, geriye kalanı ise yumuşak dokuda toplanır (**UNSCEAR 1993**).

Çizelge 2.11'deki okyanus hacimleri 1990 World Almanac'dan hesaplanmıştır.

$$\text{Pasifik}=6,549 \times 10^{17} \text{ m}^3$$

$$\text{Atlantik}=3,095 \times 10^{17} \text{ m}^3$$

$$\text{Toplam}= 1,3 \times 10^{18} \text{ m}^3$$

Burada kullanılan aktiviteler, Amerika Birleşik Devletleri doğal bilimler akademisinin denizle ilgili çevresel radyoaktivite 1971 değerlerinden elde edilmiştir. Aşağıdaki çizelgede bu okyanuslarda bazı radyoizotopların hesaplanan radyoaktiviteleri verilmektedir (www.nukeworker.com/ **Radioactivity in the Marine Environment**).

Çizelge 2.9: Okyanuslarda Çekirdeklerin Aktiviteleri

Çekirdek	Hesaplamada Kullanılan Aktivite	Okyanuslardaki Çekirdeklerin Aktivitesi		
		Pasifik	Atlantik	Tüm Okyanuslar
Uranyum	0.9 pCi/L (33 mBq/L)	6×10^8 Ci (22 EBq)	3×10^8 Ci (11 EBq)	1.1×10^9 Ci (41 EBq)
Potasyum 40	300 pCi/L (11 Bq/L)	2×10^{11} Ci (7400 EBq)	9×10^{10} Ci (3300 EBq)	3.8×10^{11} Ci (14000 EBq)
Tritiyum	0.016 pCi/L (0.6 mBq/L)	1×10^7 Ci (370 PBq)	5×10^6 Ci (190 PBq)	2×10^7 Ci (740 PBq)
Karbon 14	0.135 pCi/L (5 mBq/L)	8×10^7 Ci (3 EBq)	4×10^7 Ci (1.5 EBq)	1.8×10^8 Ci (6.7 EBq)
Rubidyum 87	28 pCi/L (1.1 Bq/L)	1.9×10^{10} Ci (700 EBq)	9×10^9 Ci (330 EBq)	3.6×10^{10} Ci (1300 EBq)

Bu tabloda kullanılan aktivite değerleri 1971 Radioactivity in the Marine Environment, National Academy of Science 'dan alınmıştır.

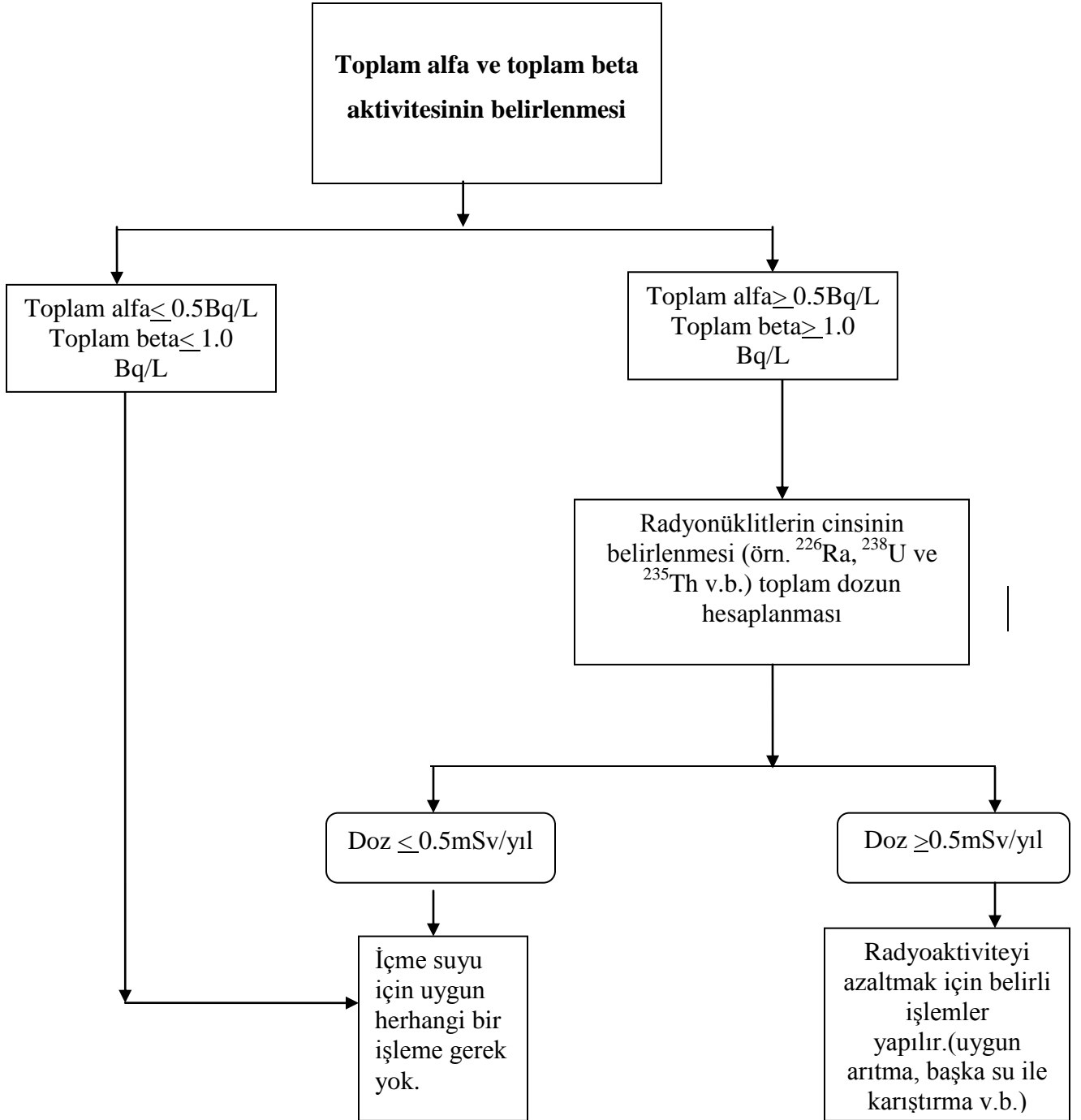
2.4.2.1. Sularda Belirlenen Radyoaktivite Limitleri

Radyoaktivite ölçümleri önceleri, sınırlı sayıda insanların yararlandığı kaplıca sularında yapılmıştır. Radyasyonun canlılar üzerindeki biyolojik etkileri alanında yapılan çalışmalardan elde edilen yeni bilgiler ışığında Uluslararası Radyasyon Korunma Komitesi, ICRP tarafından radyasyondan korunma konusuna yeni boyutlar getirilmiştir (**International Commission of Radiological Protection 1977**). Bu doğrultuda, radyasyonun stokastik etkileri için bir eşik dozu bulunmadığı ve büyük halk kitlelerinin, küçük de olsa sürekli olarak radyasyona maruz kalmasının, toplum sağlığının olumsuz yönde etkileyebileceği görüşü kabul edilmiştir. Dolayısıyla insanların maruz kalabileceği küçük dozların bilinmesi amacıyla yönelik olarak içme sularındaki radyoaktivite ölçümü çalışmaları da yoğunluk kazanmıştır (**OECD Nuclear Energy 1979**). Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve ABD Çevre Korunma Ajansı (EPA) tarafından tavsiye edilen içme suları için radyoaktivite sınırları, toplam alfa aktivitesi için 0.5Bq/L, toplam beta aktivitesi için ise 1.0Bq/L olarak kabul edilmiştir (**WHO 2011**). İçme suları için WHO'nun tavsiyeleri Türk Standartları Enstitüsü (TSE)'nin 1984 yılında yayınladığı TS-226 raporunda aynen kabul edilmiştir. Aynı limit değerler İSKİ'nin 1984 yılında yayınlanan içme suyu standartlarına uygulanmıştır.

Çizelge 2.10 İçme Sularında Toplam Alfa ve Beta Aktivitesi için Kullanılan Limitler
(**Taşkın 2006**)

TEÜL: Tavsiye Edilen Üst Limit **MEÜL:** Müsaade Edilen Üst Limit

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



Şekil 2.8: İçme sularının radyoaktivite konsantrasyonlarının belirlenmesinde izlenen akış diyagramı

Elde edilen sonuçlar WHO (2011)'nin belirlemiş olduğu izin verilen maksimum değerler ile karşılaştırıldıktan sonra, eğer örnekteki toplam alfa ve toplam beta konsantrasyonları bu değerden küçükse numunenin içme suyu için uygun olduğu kabul edilmektedir. İzin verilen maksimum konsantrasyonun aşılması durumunda örneklerin içerisindeki radyonüklit cinslerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bir başka deyişle radyoaktivitenin hangi radyoaktif maddeden geldiği belirlenmelidir. Bu radyonüklitlerin belirlenen doz miktarları WHO (2006)'nin belirlemiş olduğu bir yıllık kullanım sonunda alınabilecek efektif doz miktarı (0,1mSv/yıl) ile karşılaştırılır. Doz miktarları limit değeri aşmamışsa numune radyoaktivite yönünden içme suyu kriterlerine uygun olmaktadır. Aşan durumlarda radyoaktivitenin azaltılması için çeşitli işlemlerin yapılması gerekmektedir. Sulardaki radyoaktivite konsantrasyonları, özellikle içme suları ve kaynak sularında mevsimlik değişim gösterebilmektedir. Dolayısıyla bir yıl boyunca izlenmeli ve ortalama alınmalıdır. Yine limit değerleri geçme durumunda suyun uygun filtreden geçirilmesi ya da başka sularla karıştırılarak radyoaktif konsantrasyonunun düşürülmesi işlemleri yapılmalıdır **(Dilaver ve ark. 2002)**.

2.4.3. Yüze Yakın Atmosferdeki Doğal Radyoaktivite

Doğal kaynaklardan çıkan radyoaktif toz ve parçacıklar, kozmik etkileşimler, nükleer kazalar ve nükleer denemeler, yüze yakın atmosferdeki radyoaktiviteyi oluşturmaktadır. Nükleer patlamalar sonucunda fisyon ürünleri, kalıntı fisil malzeme ve aktivasyon ürünleri yüksek sıcaklıkta atmosfere karışırlar. Yeryüzüne yakın patlamalarda bu karışıma toprak ve kaya parçaları da katılır. Karışım havada yükselirken soğuma nedeniyle katılarak çok çeşitli boyutta radyoaktif parçacıklar oluşur. Bu parçacıklar geniş çapta olanları birkaç yüz metre uzaklığa kadar olan alan içerisine yağarak bölgesel serpinti meydana getirirler. Küçük çaptaki parçacıklar aşağı troposfer tabakasına girerek yeryüzünde geniş çapta radyoaktif kirlenmeye neden olurlar. Nükleer denemeler özellikle atmosferde, 30 km den daha yüksek tabakalarda aşırı derecede radyoaktif kirlenmeye neden olmaktadır. Atmosferde oluşan bu radyoaktif kirlilik bazı atmosferik şartlarda yere çok yakınlaşmakta ve insanlar tarafından tenneffüs edilmeleriyle bu insanların radyasyona maruz kalmalarına neden olmaktadır. Yere düşen bu radyoaktif kirlilik bitkilerin de kirlenmesine yol açmaktadır. Ayrıca kömürün yanmasıyla havaya karışan kül ve dumanda da radyoaktif maddelerin olduğu bilinmektedir. Bu maddelerde hem atmosferin kirlenmesine neden olmakta hem de radyasyon açısından risk taşımaktadır. **(Kapdan 2009)**

Volkanik patlamalarla yer kabuğunun derinliklerinden atmosfere atılan toz ve küller, rüzgâr ve fırtınalarla toprak yüzeyinden havaya kaldırılan tozlar ve termik santrallerde yakıt olarak kullanılan kömürün yanmasıyla havaya atılan kül ve dumanda da radyoaktif maddelerin olduğu bilinmektedir. Nükleer denemelerle atmosfere atılan radyoaktif maddeler, atmosferde bulunan kozmojenik radyonüklit konsantrasyonlarının artmasına neden olmaktadır. Bunlar yüzeye yakın atmosferdeki en önemli iyonizasyon kaynaklarını oluşturmaktadır.

2.4.4. Yiyeceklerdeki Doğal Radyoaktivite

Her yiyecek bir miktar radyoaktiviteye sahiptir. Yiyeceklerdeki temel radyoaktivite kaynakları potasyum-40 (^{40}K), radyum-226 (^{226}Ra) ve uranyum-238 (^{238}U) 'dir. Özellikle kabuklu yiyecekler daha fazla radyoaktif madde içerirler ve bu ürünleri fazla miktarda tüketen insanlar ortalamanın üzerinde bir radyasyon dozu alırlar. Aşağıdaki tabloda belirli yiyeceklerdeki ^{40}K ve ^{226}Ra oranları görülmektedir.

Çizelge 2.11 Bazı Yiyeceklerdeki ^{40}K ve ^{226}Ra Değerleri (CLS 1999)

Yiyeceklerdeki Doğal Radyasyon		
Yiyecek	^{40}K (pCi/kg)	^{226}Ra (pCi/kg)
Muz	3,520	1
Fındık	5,600	1,000-7,000
Havuç	3,400	0.6-2
Patates	3,400	1-2.5
Bira	390	---
Kırmızı et	3,000	0.5
Kuru fasulye	4,640	2-5
İçme suyu	---	0-0.17

2.4.5 İnsan Vücudundaki Doğal Radyoaktivite

İnsan vücudu kimyasal bir yapıdır. Bu yapıda radyoizotopların bulunması şaşırtıcı değildir. Burada 30 ICRP verisi esas alınarak 70 kg ağırlığındaki bir yetişkin için hesaplanmış radyonüklid konsantrasyonları tahmin edilmiştir. Vücudumuzda bulunan radyoaktif elementlerden (özelikle Potasyum-40 radyoaktif elementinden) dolayı da belli bir radyasyon dozuna maruz kalırız. Çizelge 2.12’de insan vücudunda bulunan bazı radyonüklitler ve bu nüklitlerin günlük alım miktarları verilmiştir.

Çizelge 2.12 İnsan Vücudundaki Doğal Radyoaktivite (CLS 1999)

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 pg	1 nCi (37 Bq)	~0.6 µg

2.4.6. Yapı Malzemelerindeki Doğal Radyoaktivite

Her noktada radyoaktivite olduğu gibi modern yapılarda, bina içinde de bir radyoaktivite vardır. Bu malzemeler içerisinde en çok uranyum, toryum ve potasyum bulunmaktadır. Çizelge 2.13’te çeşitli yapı malzemelerindeki uranyum, toryum ve potasyumun tahmini değerleri verilmiştir.

Çizelge 2.13 Yapı materyallerindeki uranyum, toryum ve potasyumun konsantrasyonları
(www.nukeworker.com/ National Academy of Sciences)

Malzeme	Uranyum		Toryum		Potasyum	
	ppm	mBq/g (pCi/g)	ppm	mBq/g (pCi/g)	ppm	mBq/g (pCi/g)
Granit	4.7	63 (1.7)	2	8 (0.22)	4.0	1184 (32)
Kumtaşı	0.45	6 (0.2)	1.7	7 (0.19)	1.4	414 (11.2)
Çimento	3.4	46 (1.2)	5.1	21 (0.57)	0.8	237 (6.4)
Beton (kireçli)	2.3	31 (0.8)	2.1	8.5 (0.23)	0.3	89 (2.4)
Beton (kumlu)	0.8	11 (0.3)	2.1	8.5 (0.23)	1.3	385 (10.4)
Alçıpan	1.0	14 (0.4)	3	12 (0.32)	0.3	89 (2.4)
İşlenmiş Alçı	13.7	186 (5.0)	16.1	66 (1.78)	0.02	5.9 (0.2)
Doğal Alçı	1.1	15 (0.4)	1.8	7.4 (0.2)	0.5	148 (4)
Ahşap	-	-	-	-	11.3	3330 (90)
Kil Tuğla	8.2	111 (3)	10.8	44 (1.2)	2.3	666 (18)

Yapı malzemeleri yeryüzünden çıkarıldığı için radyoaktifirler ve kişiler evin içinde de dışarıda olduğu gibi ışınlanırlar. Bu radyasyon doz seviyeleri bölgenin yüzey jeolojisi ve binanın yapısına göre değişir. Birçok kişi zamanının büyük bir kısmını bina içerisinde geçirdiği için, binalardaki radyasyon seviye bilgisi, maruz kalınan dozun belirlenmesi açısından önemlidir. Bina içerisi için yapılan araştırmalarda, bina dışında görülen miktarlara kıyasla nispeten küçük olduğu için, bina içindeki havada ortalama soğurulmuş doz oranlarının, özellikle binanın yapıldığı yer ve kullanılan inşaat materyallerinin cinsine bağlı olduğu bulunmuştur. Ağaç ve prefabrik evlerdeki kaynak etkisi ihmal edilebilir ve genellikle soğurulan doz oranı, ev dışına göre ev içinde daha düşük olmasını gerektirir. Bu tür evlerde duvarlar, ev dışı radyasyon kaynakları ile ilgili olarak yetersiz bir zırh görevi görür.

İnsanların solunum yoluyla aldığı radyasyon dozunun büyük bir kısmı yapı malzemelerinden ve hava ortamında bulunan radyoaktif çekirdeklerden çıkan ^{222}Rn 'den kaynaklanır. Radon, birkaç günlük yarı ömre sahip olmakla birlikte gaz olması nedeniyle geniş bir alana dağılır. Yapı malzemelerinde doğal olarak bulunan radon vücudun içerisinde alfa parçacığı ışımasına maruz bırakır. Alfa parçacıklarının iyonlaşma yapabilme kabiliyeti yüksek

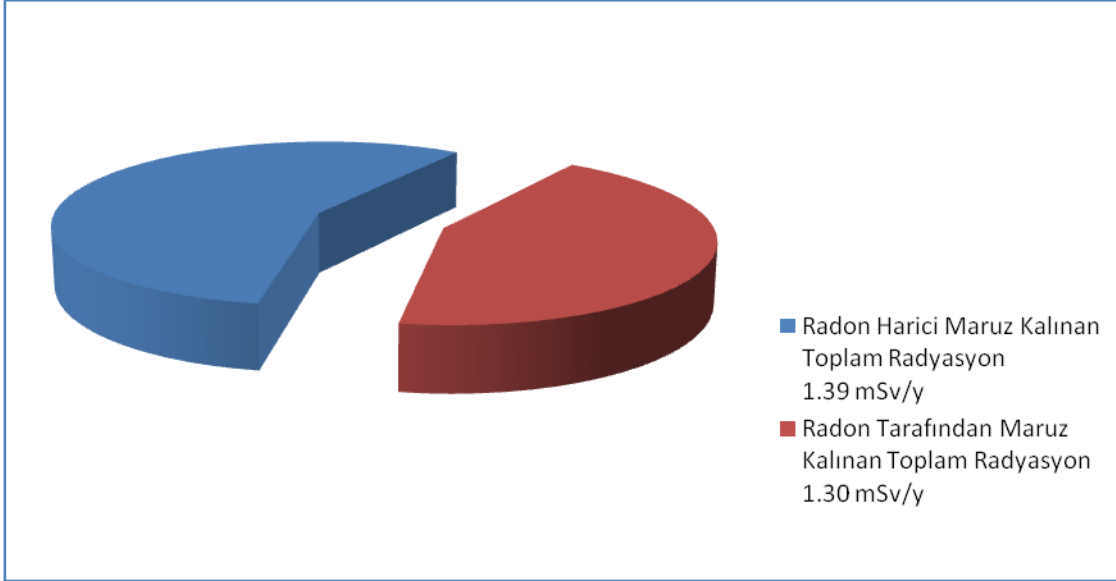
olduğundan, solunum yoluyla akciğerlere alındıklarında yaydıkları ışınlarla hücrelerin yapısını bozarak akciğer kanserine yol açabilir. Radon binaların çevresindeki kayalardan, topraktan, su kaynaklarından ve doğal ortamdan vücuda alınabilir.

2.4.7. Çevresel Gama Radyasyonu

Çevresel gama radyasyonu bölgeden bölgeye, hatta birbirine yakın bölgeler arasında değişiklik göstermektedir. Bütün toprak ve kaya kalıntılarında uranyum ve toryum gibi doğal radyoaktif elementler mevcuttur. Dünya nüfusunun yoğun olduğu bölgelerde yapılan ölçümlerin ortalaması yaklaşık olarak 59nGy/saat'tir. Havada ölçülen soğurulmuş gama doz değerleri genel olarak 10 ile 200nGy/saat olarak tespit edilmiştir (**Çelebi 1995**). Çevresel doğal gama radyasyonları, kara ve uzay kökenli olması nedeniyle bölgenin toprak yapısındaki radyoizotoplarla doğrudan ilgilidir. Bilindiği gibi insanlar zamanının büyük bir kısmını kapalı mekanlarda geçirir, bu yüzden ev içi radyasyon seviyelerinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Ev içi gama ışınları temel olarak, bina yapılarında kullanılan malzemelerin içerdiği radyoaktif çekirdek konsantrasyonlarından kaynaklanmaktadır. Binalarda kullanılan taş, tuğla, beton ve diğer malzemeler ev içi radyasyon seviyelerini önemli ölçüde etkiler. Ev içi gama radyasyonu ölçümlerinde duvar kalınlıkları, oda veya ev büyüklükleri, kapı ve pencere boyutları ve kullanılan malzemenin neden yapıldığı da ev içi ortamda ölçülen soğurulmuş dozu etkilemektedir. Birçok ülkede, iç ve dış doğal radyasyon etkilerini en aza indirmek amacıyla birtakım çalışmalar yapılmaktadır. UNSCEAR 1993 raporunda dünya insanların alacakları ortalama yıllık ev içi gama ışınlamalarının üst sınırı maksimum 1,2 mSv olarak belirtmiştir.

2.5. Radon

Radon, renksiz, kokusuz, tatsız, 86 atom numarası ile periyodik cetvelin soy gazlar sınıfında yer alan bir gazdır. Radon, doğada var olan üç temel radyoaktif bozunma serisinin tek gaz ürünüdür. Bu bozunma zincirinin ana atomları bütün doğal malzemelerde bulunabilir. Bu nedenle radon, tüm yüzey kaya ve toprak parçalarından ve yapı malzemelerinden ortama salınır. Şekil 2.9'da görülebileceği gibi radon, yeryüzünde bulunan tüm radyasyon kaynakları içerisinde en yüksek doza maruz kalınan radyasyon kaynağıdır.



Şekil 2.9: Radon ve radon harici kaynaklardan maruz kalınan radyasyon dozları.

Radon binalara; toprak, binanın civarı veya altındaki kayalar, bina malzemeleri, su kaynakları, doğal gaz ve dışarıdaki hava gibi farklı kaynaklardan girmektedir. Radonun binalara girişi, inşaatta kullanılan malzemelerdeki açıklıklar arasından veya malzemelerin arasındaki havanın akışıyla oluşan basınçla ya da binanın altındaki topraktan, yayılma yoluyla olmaktadır. Şekil 2.10'da radonun bina içine giriş yolları görülmektedir. Bununla birlikte binalardaki radon konsantrasyonu coğrafi yerleşime, zamana, yerden yüksekliğe ve meteorolojik şartlara bağlı olarak değişiklikler göstermektedir. Ölçüm olmaksızın evlerde radon değerinin tahmini mümkün değildir. Aynı ortamda bulunan evlerde bile farklı değerler elde edilebilmesi mümkündür (**Çelebi 1995**).

Binalardaki radon kaynağının büyük bir kısmı, binanın temelindeki toprak ve kayalardır. Radonun büyük kısmı, binalara, altındaki toprak ya da kayalardan girer. Radon ve diğer gazlar, toprak boyunca yükselir, binanın altında hapsolür. Hapsolan bu gazlar, basınç oluşturur. Evlerdeki hava basıncı genelde topraktaki basınçtan daha düşüktür. Binanın altındaki bu yüksek basınç nedeniyle gazlar yerden ve duvarlardan, daha çok çatlak ve boşluklardan, bina içlerine sızarlar (**Kam, 2004**).



Şekil 2.10 : Radonun binalara giriş yolları.

Uluslararası Radyasyon Korunma Komitesi radona maruz kalma konusunu inceleyerek “Evde ve işte Radon-222’ye karşı korunma” konusunda 65 nolu bir rapor yayınlamıştır. Bu raporda radona maruz kalma sınırlandırılarak, limit değerler tavsiye edilmiş ve yıllık doz için bir eylem seviyesi tespit edilmiştir (Çizelge 2.14). Eylem seviyesinin, 3-10 mSv arasında sınırlandırılması tavsiye edilmiştir. Bu doz değerlerine karşılık gelen radon konsantrasyonu evler için 200–600 Bq/m³ (evde geçirilecek süre 7000 saat ve denge faktörü 0.4 alınarak), iş yerlerinde ise 500-1500 Bq/m³ arasında bir değer tespit edilmesi önerilmiştir (**Kapdan 2009**).

Çizelge 2.14 : Evlerde ve işyerlerinde radon ve ürünleri için önerilen seviyeleri (**Kapdan 2009**)

Eylem seviyesi (Etkin doz)	3 mSv/yıl	10 mSv/yıl
Evler için Eylem seviyesi (Radon konsantrasyonu)	200 Bq/m ³	600 Bq/m ³
İş Yerleri için Eylem Seviyesi (Radon Konsantrasyonu)	500 Bq/m ³	1500 Bq/m ³

Radonun asıl kaynağının uranyum olması nedeniyle radon konsantrasyonu yer kabuğu üzerinde bölgeden bölgeye değişiklikler göstermektedir. Bu nedenle radon konsantrasyonunda izin verilen limit değerler de ülkeler arasında değişiklikler göstermektedir. İngiltere’de bu değer 200 Bq/m³, Avrupa ülkelerinde 400 Bq/m³, yeni inşa edilecek binalarda 200 Bq/m³, Kanada’da ise 800 Bq/m³ olarak kabul edilmiştir (**Ayotte 1998**). Türkiye’de ise bu değer Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği’nde 400 Bq/m³ olarak belirlenmiştir. Çizelge 2.15’ te çeşitli ülkeler ve uluslararası kuruluşlar tarafından benimsenen kapalı ortamlar için müsaade edilen radon konsantrasyonları verilmektedir (**EPA 1992**).

Çizelge 2.15 : Çeşitli ülkeler için radon konsantrasyon limitleri (Bq/m³).

A.B.D.	150	Hindistan	150	Norveç	200
Almanya	250	İngiltere	200	Rusya	200
Avustralya	200	İrlanda	200	Türkiye	400
Çin	200	İsveç	200	AB	400
Danimarka	400	Kanada	800	ICRP	400
Fransa	400	Lüksemburg	250	WHO	100

Ülkemizde ev içi radon gazı konsantrasyonları henüz yeterince ölçülmemiş olduğundan, evlerde radon gazı seviyeleri ile radonun mevsimsel ve bölgesel değişimleri bilinmemektedir. 1984 yılında Türkiye Atom Enerji Kurumu, Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi, Sağlık Fiziği Bölümüne başlatılan, “Türkiye’de Ev İçi Radon Ölçümü Projesi” kapsamında radon ölçüm çalışmaları başlatılmış olup çalışmalar halen sürdürülmektedir (**Taşkın 2006**).

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1.Bölgenin Tanıtılması

Bu çalışmada Edirne iline ait toprak ve su örneklerinin radyoaktivite konsantrasyonları, gama ışınlama doz hızları tespit edilmesi amaçlanmıştır. Edirne il sınırları içerisinde bulunan 8 farklı ilçeye ait çeşitli toprak ve su numuneleri analiz edilmiştir. Bu analizde direkt gama ölçümleri yapılmış ve toprak örnekleri için de alan örnekleme yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışmada alınan numunelerin analiz işlemleri Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezinde yapılmıştır.

Edirne, Marmara Bölgesi'nin Trakya kısmında yer alır. Güneyinde Ege denizi, kuzeyde Bulgaristan, batıda Yunanistan, doğuda Tekirdağ, Kırklareli ve Çanakkale ileri ile çevrilidir. Yüzölçümü 6.098 km² olan Edirne'nin, deniz seviyesinden ortalama yüksekliği 41 metredir. Edirne, idari olarak, biri merkez ilçe olmak üzere 8 ilçe ve 248 köyden oluşmaktadır. Edirne ili, Trakya Yarımadasında; kuzeyde Istranca Dağları, güneyinde Kuru Dağları ve Ege Denizi-Saroz Körfezi, batısında Meriç Nehri ve Meriç Ovası, doğusunda da Ergene Ovasını içine almakta olup, il topraklarının % 80'i tarıma elverişlidir. Türkiye'nin batı sınır topraklarının önemli bir bölümünü içine alan ilin Bulgaristan'la 88km'lik bir sınırı vardır. Bulgaristan'la olan sınır, Kırklareli il sınırından başlayarak, Tunca Irmağı'nı kesip, güneybatı yönünde uzanarak Meriç Irmağı'nda sona ermektedir. Burada, Türk, Bulgar ve Yunan sınırları birleşmektedir. Meriç Irmağı, ilin Yunanistan'la sınırını oluşturur. Irmağın doğu yakası Edirne, batı yakası Yunanistan'dır. Edirne-Yunanistan sınırının uzunluğu 204 km'dir. Bu sınır, Enez'de sona ermektedir.

Balkan Yarımadası'nın güneydoğu kesimindeki Trakya Bölgesinde yer alan Edirne ili, yeryüzü şekilleri bakımından çeşitlilik gösterir. Bu çeşitliliği, farklı yükseltiler gösteren dağ ve tepeler ile daha az yükseltide olan platolar ve ovalar oluşturur. İlin kuzey ve kuzeydoğusu ile güney ve güneydoğusu dağlar ve platolar ile kaplıdır. İlin önemli akarsularından olan Meriç, Tunca, Arda ve Ergene nehirlerinin debileri Mart-Nisan aylarında yoğun yağışlara bağlı olarak maksimum seviyeye ulaşmaktadır. Yaz aylarında da normal debilerini muhafaza etmektedir. Yörenin en önemli tarım potansiyeli olan çeltik ekim ve sulama zamanlarında ise nehir debileri en az seviyeye ulaşmaktadır. Edirne, akarsular dışında kalan yüzey sularını, doğal göller, barajlar, rezervuarlar ve göletler oluşturmaktadır. Doğal göllerin başlıcaları Meriç'in denize döküldüğü Enez yöresindedir. Bu göller Dalyan, Taşaltı, Tuzla, Bücürmene, Sığırcık ve Pamuklu gölleridir. Edirne, her Akdeniz ikliminin hem de Orta Avrupa'ya özgü kara ikliminin etkisi altında kalan bir

geçiş bölgesidir. Bölge Karadeniz, Ege ve Marmara denizlerin de etkileriyle zaman zaman ve yer yer farklı iklim özellikleri gösterir. Kışları, Akdeniz iklimi etkisini gösterdiği zamanlarda ılık ve yağışlı, kara iklimi etkisini gösterdiğinde de oldukça sert ve kar yağışlı geçmektedir. Yazlar sıcak ve kurak, bahar dönemi yağışlıdır. İlin bitkisel üretim açısından önem taşıyan Ergene Havzası'nda ise sert bir kara iklimi egemendir. Çevresi dağlara sınırlı olan bu yörenin denizlerden gelen yumuşatıcı etkilere kapalı olması bu iklim yapısını ortaya çıkarmaktadır. Yıllık ortalama sıcaklık 13,4 °C, en yüksek sıcaklık 41,5 °C Temmuz ayında, en düşük sıcaklık -22,2 °C Ocak ayında gerçekleşmiştir. Yıllık ortalama yağış miktarı 585,9 mm ve yıllık ortalama nispi nem % 70'dir.

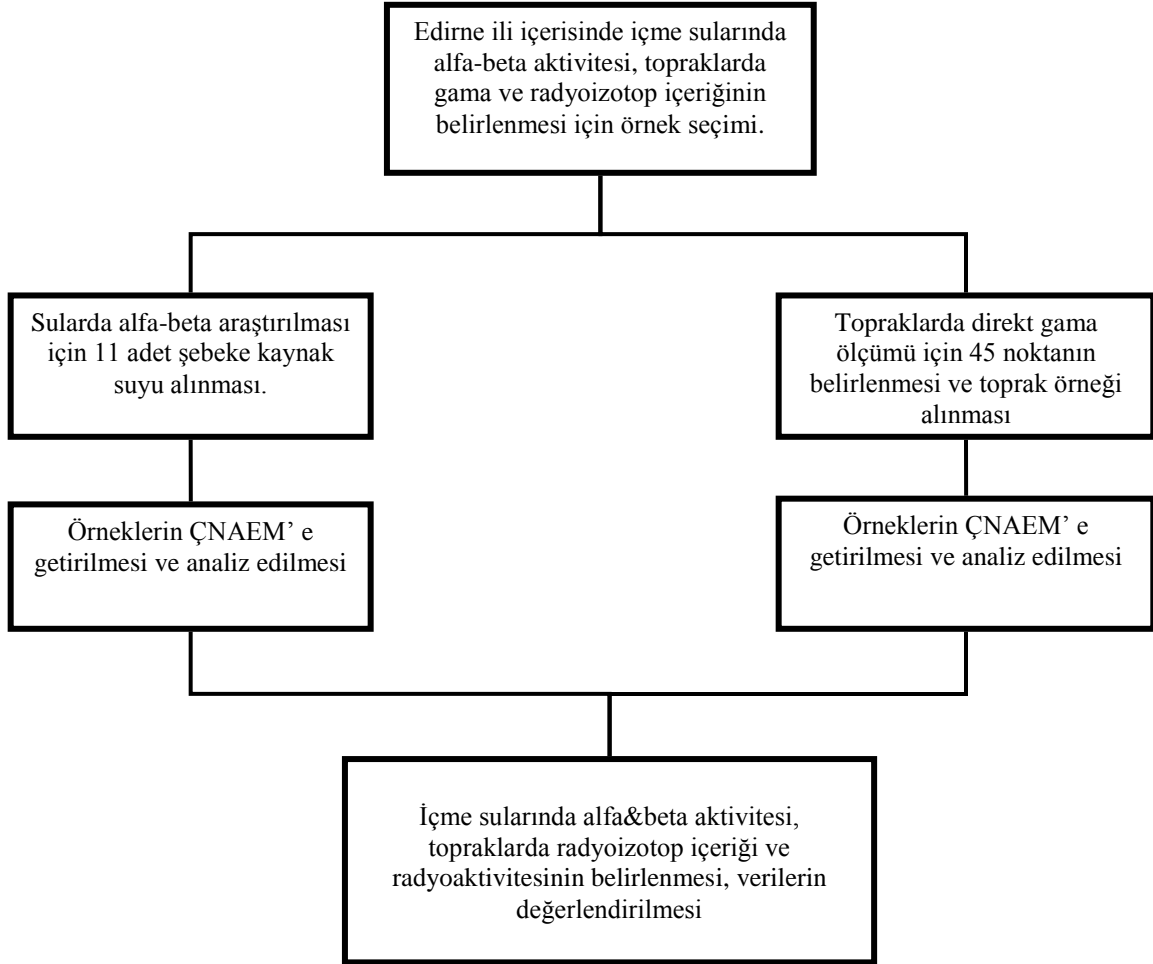


Şekil 3.1: Edirne ili ve ilçeleri.

Araştırma; saha çalışmaları, yerinde ölçümler, örneklerin toplanması ve laboratuarda koruma altına alınması şeklinde gerçekleştirilmiştir. Ölçüm yapılan noktaların koordinatları GPS (Global

Positioning System) cihazıyla belirlenmiş ve kaydedilmiştir. Daha sonraki aşamada ise Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezinde laboratuarda toprak ve su örneklerinin analizleri gerçekleştirilmiş elde edilen verilerin değerlendirilmesi yapılmıştır.

Çizelge 3.1: Araştırmanın Akış Diyagramı



3.2. Araştırmada Kullanılan Ölçüm Sistemleri

3.2.1 Alfa ve Beta Sayım Sistemleri

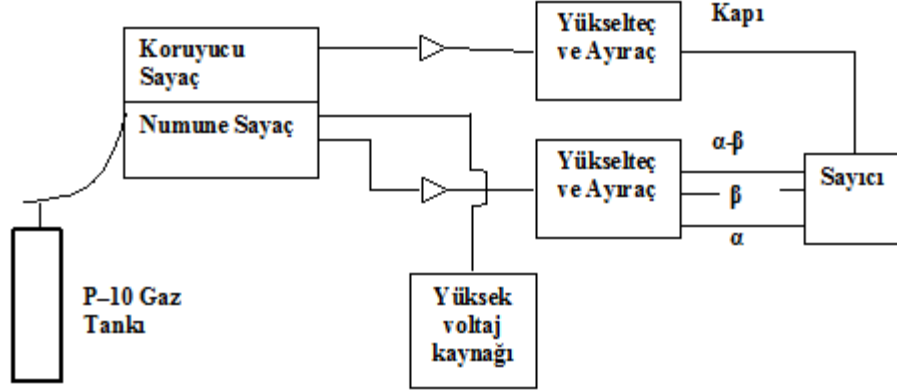
Çevresel örneklerin düşük seviyeli toplam alfa-beta radyoaktivite değerlerinin tayini için, yüklü parçacıkların gaz içinde meydana getirdikleri iyonizasyondan yararlanılarak, iyonları elektrik alan yardımıyla bir elektrot üzerinde toplamak suretiyle yüklü parçacığın dedeksiyonunu sağlamak en uygun yöntemdir. Bu tür dedeksiyon yapan sayaçlar gaz akışlı sayaçlardır. Gaz akışlı orantılı sayaçlar doğal radyoaktivite seviyelerine ilişkin ölçümler için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bunun nedeni, spesifik radyoizotop analizleri ile karşılaştırıldığında hayli düşük maliyetli olmaları, sonuca çabuk ulaşılması ve özgün radyoizotopların değerlendirilmesi için yeterli önbilgiyi sağlamalarıdır.

Deneylerimizde, bilgisayar kontrollü, Berthold marka, LB 770 model, 10 kanallı, gaz akışlı orantılı sayım cihazı kullanılmıştır. Bu cihaza ait bir resim Şekil 3.2'de görülmektedir. Cihaz, çevresel fonu (backgroundu) azaltmak için, etrafı kursun zırhla kaplı, bağımsız 10 dedektörden oluşmaktadır. Dedektörlerin etkin yüzeyleri (dedektör penceresi) çok ince alüminyumdan yapılmıştır. Kullanılan gaz %90 argon (Ar), %10 metan(CH₄)'dir. Dedektör verimi alfa parçacıkları için %21 ve beta parçacıkları için de %72-73'tür. Aynı anda 10 sayım yapacak şekilde tasarlanmış olan cihaz, elektronik devre yardımıyla dedektörlerden gelen pulsları algılayıp, uygun şekilde programlanmış bilgisayara iletmektedir. İstenilen süre ve sayıda sayım yapıp, her örnek için bulunan değerlerle ilgili sonuçlar sistem yazıcısından alınmaktadır. Bu tip alfa ve beta sayıcıları, dedeksiyon ortamı ve elektronik devre olmak üzere başlıca iki kısımdan meydana gelir. Şekil 3.3'te gaz akışlı orantılı bir sayıcının çalışma düzeneği gösterilmektedir. Çevresel örneklerdeki doğal radyoaktivite çok düşük olduğundan bunların dedeksiyonunda, uzaydan gelebilecek kozmik ışınların oluşturacağı iyonizasyon dolayısıyla meydana gelecek sayımların ortadan kaldırılması ancak antikoincidans devresi kullanılmakla mümkündür.



Şekil 3.2: Gaz Akışlı Orantılı Alfa ve Beta Sayım Cihazı

İçteki iyon odası “örnek dedektör” ve bunu saran daha büyük iyon odası ise “koruyucu dedektör” (guard) ismini almaktadır. Sayım esnasında her iki dedektörden Geiger gazı geçirilmektedir. Her iki dedektör arası örnekten gelecek radyasyonun geçemeyeceği şekilde perdelenmiştir. Böylece örnekten gelecek radyasyon sadece örnek dedektörde iyonizasyon meydana getirir. Fakat kozmik ışınlar gibi yüksek enerjili ışınlar her iki dedektörde aynı anda iyonizasyon meydana getirebilir. Bilindiği gibi engelleme devreleri iki girişi ve tek çıkışı olan devrelerdir. Bu devrelerdeki iki girişin her ikisine de darbe geldiğinde çıkışta bir darbe meydana gelmektedir. Fakat buna karşın, girişlerden yalnız birine bir darbe geldiğinde çıkışta bir darbe meydana gelmemektedir. Burada sadece örnek dedektörde meydana gelen iyonizasyon sayılacak ve her iki dedektörde birden meydana getirilen iyonizasyon sayılmayacaktır. Böylece çevreden gelen radyasyon algılanmaz ve bu sayım sistemlerinin background’u dakikada birden küçük olur.



Şekil 3.3: Gaz akışlı orantılı bir sayıcıya ait düzenek

Dedeksiyon ortamında en çok kullanılan gazlar argon, ksenon, izobütan, helyum ve metandır. Bir tüp, bu gazlardan biri veya ikisinin karışımı ile doldurulup içerisine iki elektrot konulur. Gaz içerisinde meydana gelen elektrik akımı laboratuvar sayım cihazının elektrik devresinde algılanır. Su örneklerinde toplam alfa ve beta aktivite ölçümleri, belirlenen alan ve kalınlıkta hazırlanıp, katı hale getirilerek sayım planşetlerine aktarılan su örneklerinin sayımı ile gerçekleştirilmiştir. Yüzeysel suları, yer altı suları, içme suları gibi değişik kaynaklardan alınan su örnekleri buharlaştırıldıktan sonra kalan rezidü (katı bakiye) miktarı dikkate alınarak değerlendirilmeler yapılmaktadır.

Ölçüm yapılacak örneklerin radyoizotop karışım içerikleri bilinmediğinden sayım sisteminin kalibrasyonu ve kullanılacak standardın seçimi burada önem taşımaktadır. Bilinen miktarlarda standart çekirdek içeren kalibrasyon kaynaklarının, sayılacak örneklerin alanı, yoğunluğu, kalınlığı ve aktivite dağılımı ile benzer özellikleri taşıyacak şekilde hazırlanması gerekmektedir.

Toplam alfa ve beta radyoaktivite sayımları için sayım cihazı olarak ince pencere, çok iyi zırhlanmış, gaz akışlı, antikoincidans, orantılı sayıcı kullanılması uygun olmaktadır. Çevresel örneklerde ölçülen doğal radyoaktivite konsantrasyonları genellikle çok düşük seviyelerde olduğundan, kullanılacak bu tür cihazlarda çok düşük doğal sayım seviyesine (background) ve yüksek duyarlılık özelliklerini sağlamak mümkün olmaktadır.

Her sayıcının içerisinde örnek olmaksızın verdiği çevresel, kozmik ve sayıcının yapıldığı malzemeden kaynaklanan doğal sayım (background) değeri vardır. Sayıcının yapımında uygun malzeme seçimi ve zırhlanması boş sayımın önemli oranda düşmesine neden olmaktadır.

Sudaki toplam alfa radyoaktivitesi değerlendirmeleri yapılırken, su örneğinde çözülmüş madde miktarına dikkat etmek gerekmektedir. Buharlaştırma sonucu elde edilen rezidü miktarı fazla ise self- soğurma da yüksek olacaktır. Radyasyonun, örnekten ayrılarak öncelikle sayıcıya girmesi ve ardından sayıcı devrelerinde bir puls olarak algılanması gerekmektedir. Ancak belirli bir kütleyle sahip olan örnekler, yayınlanan radyoaktivitenin bir kısmını soğurarak “self-soğurma” denilen olay meydana gelmektedir. Artan rezidü miktarı radyasyonun “self- soğurma” etkisini artırıp daha az sayıda parçacığın dedektöre ulaşmasına neden olmaktadır.

Sayıcının verimini etkileyen diğer bir faktör de, geri saçılma (back-scattering) olayıdır. Radyasyon tipi ve enerjisinin bir fonksiyonu olan ve artan atom numarası ile arttığı belirlenen geri saçılmanın neden olduğu hatalardan kaçınmak için örnek ve standardın aynı fiziksel ve geometrik özelliklere sahip olmasını sağlamak gereklidir. Sayım sonucunu etkileyen başka bir faktör ise, geometrik etkidir. Radyasyon, kaynaktan küresel yani 4π geometri ile çıkar ve sayıcı tarafından algılanan kısmı sayılabilir. En yüksek verim, örneğin sayıcının hassas hacmi içinde bulunması ile elde edilmektedir. (**Knoll 1989**)

Toplam alfa beta aktivitesi tayin edilirken önemli olan bir konuda kullanılan ölçüm sistemi ile ölçülebilecek minimum aktivite miktarı (Minimum Detectable Activity, MDA) dır. Bu büyüklük hesaplanırken,

$$MDA = \frac{B^{1/2}}{2,22 \times M \times E} \text{ (pCi/g)}$$

bağıntısından bulunur (**NCRP 58 1985**).

Burada,

MDA=pCi/g cinsinden ölçülebilen minimum aktivite miktarıdır.

B= Doğal fon (sayım/dakika)

M=Örneğin kütlesi (g)

E= Sayım verimi

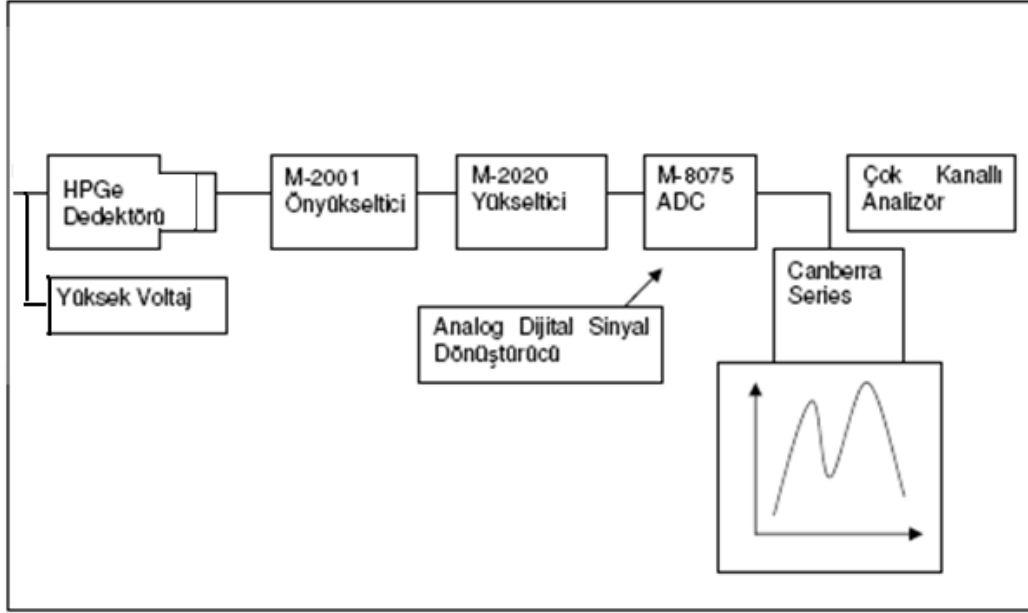
2,22 çarpanı ise dakikadaki bozunma ile pCi arasındaki dönüşüm faktörüdür.

3.2.2 Gama Spektrometrik Analiz Sistemi

Gama spektrometresi çevre örneklerinin analizinde yaygın olarak kullanılan bir tekniktir. Deneysel çalışmamızda toprak örneklerinin gama spektrometrik analizleri, yüksek saflıkta germanyum dedektörü (Hyper Pure Germanium Detector) kullanılarak yapılmıştır. Şekil 3.4'te toprak ölçüm işlemlerini gerçekleştirdiğimiz gama spektrometre cihazına ait bir resim görülmektedir. Yarı iletken dedektörlerin bir çeşidi olan HpGe dedektörlerinde safsızlık az, direnç yüksek dolayısıyla çözme gücü çok yüksektir. HpGe dedektörlerinin diğer bir avantajı da besleme gerilimi uygulanmadığı zaman oda sıcaklığında tutulabilir olmasıdır. Dezavantajları ise çalışırken sıvı azot sıcaklığında tutma gereği ve düşük verim göstermesidir. Bu tiplerde ortalama verim %7, en iyilerinde %18 olup fiyatları da oldukça yüksektir. Bu dedektörlerin ayırma gücü özellikle $3\text{keV} < E < 1\text{ MeV}$ arasında çok yüksektir (**Knoll 1989**). Şekil 3.5 'te HpGe gama dedektörünün deney düzeneği görülmektedir. Şekilden görüldüğü gibi HpGe dedektörü, beraberinde ön yükseltici ve yüksek voltaj filtresi ile, güç kaynağı, yükseltici, sayısal dönüştürücü (ADC), çok kanallı analizör (MCA) ve bilgisayar yazıcısından oluşur.



Şekil 3.4: Saf Germanyum dedektörlü gama spektrometrik cihazının çalışma düzeneği

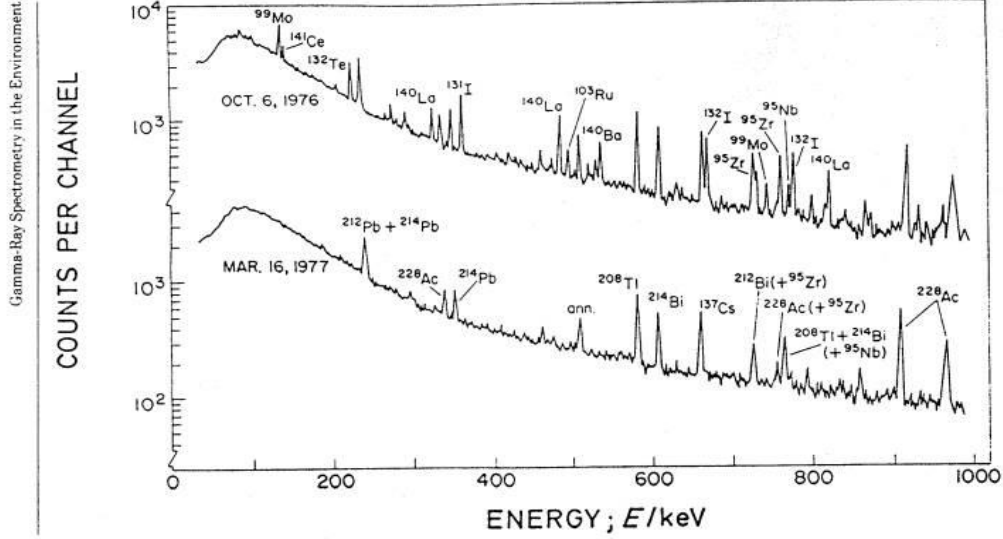


Şekil 3.5: HpGe Dedektörü Deney Düzenegi

Gama ışınlarının dedektör kristalinde algılanması sonucu ortaya çıkan pulslar dedektörün bağlı olduğu elektronik modüllerin uygun bir kombinasyonu yardımıyla analiz edilir ve gama ışını yayan izotopların nitel ve nicel tanımlanması yapılır. Gama spektrometresi, çeşitli radyoaktif örneklerdeki radyoizotopların tanımlanmasında en çok kullanılan aygıttır, çünkü gama ışınlarının enerjisi her bir çekirdek için kesikli ve karakteristiktir.

Bozunmada karakteristik olan ve belli enerjiye sahip çekirdek bozunmalarının sonucunda gama ve x-ışınları yayınlanır. Bundan dolayı enerji değerleri ölçülerek bozunan radyoisotopu ölçmek mümkündür. Şekilde de görüldüğü gibi çekirdek bozunması sırasında yayınlanan gama ışınlarına karşılık gelen pikler sürekli bir background üzerine oturur. Bu backgroundu meydana getiren gama ışınları direkt olarak çekirdek bozunmaları ile ilgili değil bilakis madde ile etkileşmesiyle meydana gelmektedir.

Gama spektrometresinde yüksek rezolüsyonlu yarıiletken dedektörler kullanılır. Bu dedektörlerde yüksek saflıkta germanyum kristaller kullanılır. Burada gama ışını enerjisi fotoelektrik, compton veya çift oluşumu yoluyla elektronların veya pozitronların kinetik enerjisine dönüşür.



Şekil 3.6: Gama ışınlarına karşılık gelen pikler

Elektronlar ve pozitronlar kristal atomlarını iyonlaştırarak enerjilerini kaybederler. Bu yolla elektron ve iyonlar oluşur. Bu işlemin sonunda gama ışınlarının bütün enerjisi elektron-iyon çiftlerinin enerjisine dönüşür. Elektron-iyon çiftlerinin sayısı kristalde depolanan gama ışınının enerjisi ile orantılıdır. Elektronlar kristal boyunca hareket edebilirler ve elektrondan sonra ortamda kalan boşluk bitişik bir atomdaki elektronlar tarafından doldurulur. Bu şekilde delikler kristal boyunca hareket ediyormuş gibi gözükürler.

Bu çalışmadaki gama spektrometrik ölçümlerde HPGe dedektörü kullanılmıştır. Bu dedektör Canberra firmasının bir ürünüdür. Çok kanallı analizör (4096 kanallı) olarak kullanılan Canberra Seri 85 gama spektrometre cihazı, 0.33 MeV'de %15-16'lık bir bağlı verime sahiptir. Dedektörde iyi bir enerji çözümü elde edebilmek için dedektör sıvı azot kullanılarak soğutulmaktadır. Kozmik ışınlardan ve ortamdaki kaynaklanan doğal fonun dedektöre ulaşmasını engellemek için dedektör, 10cm kalınlığında eski bir kursun zırh içinde bulunmaktadır (**Knoll 1989**).

Aynı örnekte farklı radyoaktif çekirdekleri aynı anda analiz edebilmesi, malzeme, emek ve zaman kaybına neden olan kimyasal ayırma işlemleri gerektirmemesi, kolay ve hızlı örnek hazırlaması ve çevre örnekleri analizinde hassas ölçüm yapabilmesi, gama spektrometresinin bazı üstünlükleridir.

3.2.2.1 Çok Kanallı Analizör Sistemi

Çok Kanallı Analizör: Yükseltici çıkış sinyalleri çok kanallı bir darbe yüksekliği analizörü (MCA) ile analiz edilir. MCA'yı çalıştıracak bilgisayar bağlantısı ve yazılım programının bulunması uygun olur.

Analog Sayısal Dönüştürücü: Bir MCA'nın kalbi, elektrik darbesini sayısal niceliğe çeviren analog sayısal dönüştürücü, ADC (Analog to Digital Converter) birimi olup darbe yüksekliğinin analog büyüklüğünü (volt), kanal başına düşen sayısal niceliğe dönüştürür.

Kaydedici: MCA'dan veya MCA bağlantılı bilgisayardan alınan bilgilerin kaydedilmesi için yazıcı veya grafik çizici kullanılır. Topraktaki radyoaktivite değerlerinin belirlenmesi süresince gama spektrometrik analizleri, etrafı kurşunla zırhlanmış yüksek ayırma gücündeki germanyum dedektörü ile buna bağlı çok kanallı analizör ve ilgili elektronik birimlerden oluşmuş bir gama ölçüm sisteminde yapılmıştır. Deney sonucunda elde edilen veriler uygun yazılım programlı sistemi ile otomatik olarak elde edilmiştir

Dedektör Sistemi: HpGe, dikey eksenli, 30 litrelik sıvı azot kabına monte edilmiş, dedektör etrafına 1 litrelik Marinelli kaplarının sığabileceği ve 40cm iç boşluk bırakılmış şekilde kurşunla zırhlanmış olarak yapılmıştır. Bu yöntemde, 40keV enerji aralığında gama ışını yayınlayan radyoizotoplar herhangi bir ön işlem uygulamaksızın, genellikle örnek matrisinden (hava, su, toprak, sediment, bitki, bitkisel ve hayvansal gıdalar vb. gibi birçok çevre ve biyolojik örnek) ayrılmalarına gerek kalmaksızın doğrudan gama spektrometresi ile tayin edilir. Bununla birlikte, daha deriştirmek ve daha uygun geometriye getirmek için sıvı örnekler buharlaştırılabilir, katı örnekler ise külleştirebilir.

Örnek sayım geometrisi, analiz edilecek örneğin fiziksel durumuna, miktarına, aktivitesine ve tayin sınırına bağlı olarak çeşitli ölçüm kapları, marinelli kapları veya değişik çap ve kalınlıkta preslenmiş diskler olabilir. Örnekler, kurşun zırh ile çevrili odacıkta, belirli bir sayım geometrisinde, sayım verimini artırmak amacıyla dedektöre olabildiğince yakın konumda sayılır. Sayım süresi, ölçüm sisteminde doğal yüzey sayımına, örneğin aktivitesine, ilgilenilen radyoizotopa ve istenen tayin duyarlılığına bağlıdır. Kullanılan geometri için dedektörün sayım verimi, örnek yoğunluğu ve enerjisinin fonksiyonu olarak bulunmalıdır. Gama enerjisi ile sayım veriminin değişimine ilişkin bilgiler ve doğal yüzey spektrumlarının da hazır olması gereklidir.

3.2.3.Gama Sintilasyon Dedektörü

Bu çalışmada, dış gama radyasyon seviyelerinin belirlenmesi için Eberline Smart Portable (ESP-2) model, taşınabilir mikro bilgisayarlı ve ucuna SPA-6 model plastik sintilasyon dedektörü bağlanmış bir cihaz kullanılmıştır. Şekil 3.6'da çalışmada kullanılan ESP-2 cihazı gösterilmiştir.



Şekil 3.7 ESP-2

ESP-2, radyasyon ölçümleri için özel hazırlanmış, ölçülen bilgileri kaydeden ve daha sonra bağlandırılmış bir yazıcıya kaydedilmiş olan bilgileri aktarabilen bir cihazdır. Bu alet rutin radyasyon incelemelerinde kullanmak üzere dizayn edilmiştir. Çoklu okumaya izin verir (500'ün üzerinde) ve sonradan bir bilgisayar, yazıcıya bağlanabilir. SPA-6 dedektörü, doğal gama radyasyonlarının ölçümleri ile birlikte serpinti ile yere inen düşük aktiviteli radyonüklitlerden yayınlanan radyasyonların algılanmalarında oldukça duyarlıdır.



Şekil 3.8 SPA-6

Edirne ili içerisinde toplam 45 noktada ölçüm yapılmıştır. GPS cihazı kullanılarak ölçüm noktalarının koordinatları belirlenmiştir. Ölçümlerde Eberline Smart Portable (ESP-2) model,

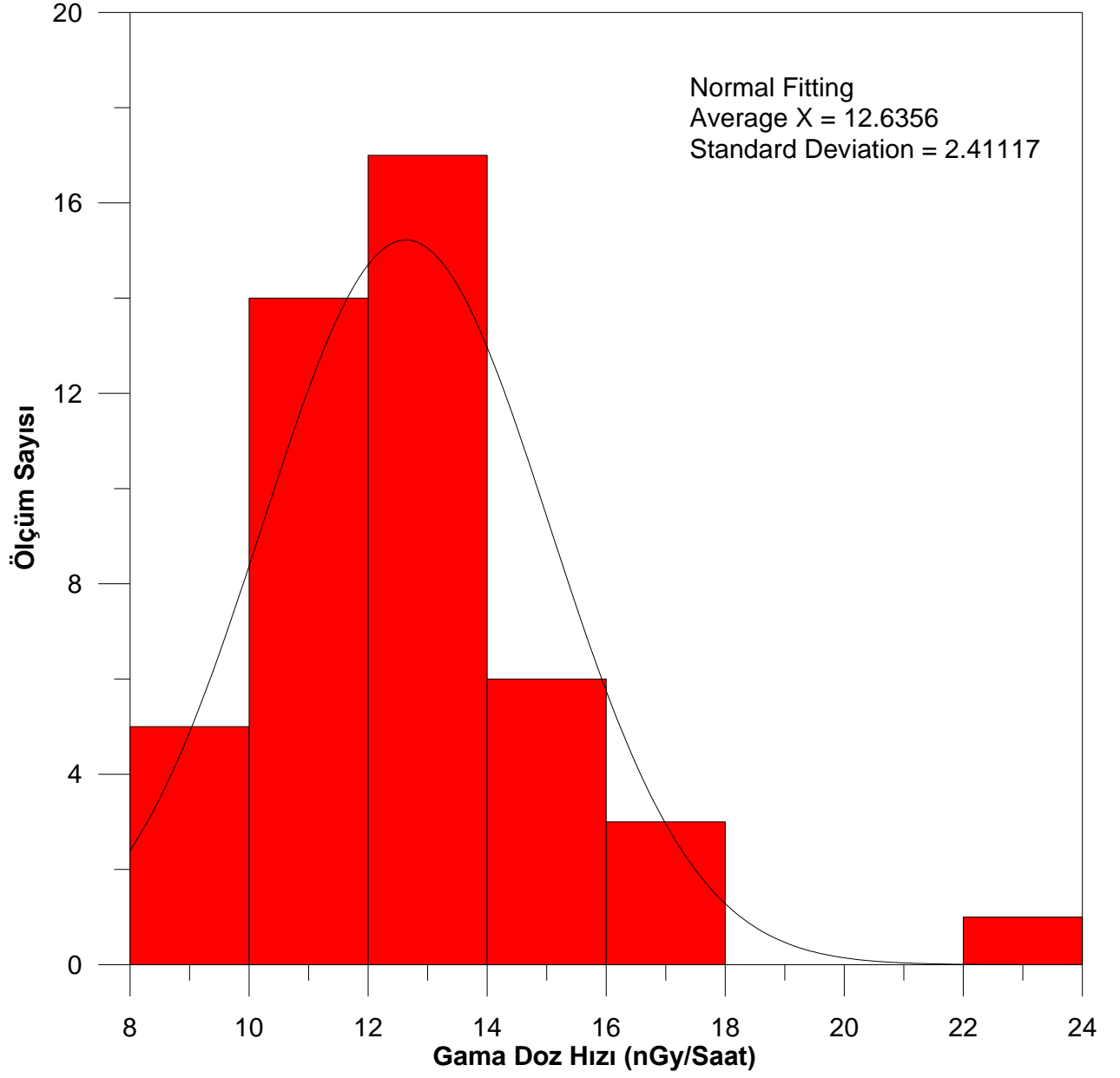
ucunda SPA-6 model plastik sintilasyon algılayıcı bağlanmış, bir taşınabilir cihaz yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde gama ışınlama doz hızları $\mu\text{R/h}$ olarak elde edilmektedir. Açık havada, toprak yüzeyinden 1 metre yükseklikte 2 dakika süreyle gerçekleştirilen ölçüm sonuçları kaydedilmiştir. Sonuçlar Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2 Edirne İli Dış Gama Ölçüm Sonuçları

Sıra	Ölçüm yapılan yerleşim birimi	Koordinatları		Doz Hızı
		Kuzey	Doğu	$\mu\text{R/h}$
1	Süloğlu - 15km	41,384448	26,521009	14,9
2	Süloğlu - 5km	41,442109	26,543469	10,05
3	Süloğlu	41,767663	26,916676	12,9
4	Süloğlu + 5km	41,483923	26,512080	11,55
5	Lalapaşa - 5km	41,491830	26,462553	12,15
6	Lalapaşa	41,522234	26,440153	11,3
7	Lalapaşa + 5km	41,490829	26,414414	9,8
8	Lalapaşa +15km	41,442032	26,390968	10,8
9	Havsa -15km	41,411391	26,351384	12,5
10	Havsa	41,330097	26,492042	13,2
11	Havsa+10km	41,335147	26,443962	14,05
12	Edirne yolu	41,355592	26,403319	11,1
13	Edirne	41,394503	26,341124	13
14	Edirne(Selimiye)	41,404231	26,332865	13,5
15	Edirne(Sanayi Sitesi)	41,394453	26,341394	13,5
16	Edirne +10km	41,243792	26,491214	14,4
17	Edirne + 20km	41,210097	26,460339	17
18	Uzunköprü	41,175110	26,414325	13,2
19	Uzunköprü+5km	41,174473	26,412276	12,6
20	Uzunköprü-Meriç	41,144513	26,360244	14,7
21	Meriç-10km	41,131909	26,294430	10,7
22	Meriç	41,113870	26,252136	9,8

Çizelge 3.2 Edirne İli Dış Gama Ölçüm Sonuçları (devam)

23	İpsala- Meriç	41,045311	26, 240676	13,8
24	Balabancık	41,021692	26,240683	12,7
25	İpsala- 10km	40,593925	26,262198	14,6
26	İpsala	40,554087	26,232993	12,4
27	İpsala Çıkışı	40,535660	26,220559	13,7
28	Yeni Karpuzlu	40,504259	26,182555	12,4
29	Enez-15km	40,504259	26,142120	16,6
30	Koyuntepe	40,460749	26,190789	10,4
31	Enez-10km	40,470927	26,225548	10
32	Enez-5km	40,464587	26,261676	11,5
33	Karahisar Köprüsü	40,461039	26,305361	10,6
34	Enez	40,430987	26,055737	17
35	Enez sahil	40,392865	26,065523	14,8
36	Enez+5km	40,433021	26,050247	13,6
37	Enez+15km	40,401865	26,114851	22,2
38	Enez+30km	40,395151	26,182833	13
39	Enez+40km	40,421875	26,251686	10,1
40	Keşan	40,495530	26,370933	9,4
41	Keşan+5km	40,502911	26,374382	9,6
42	Keşan+10km	40,535715	26,375934	10,2
43	Keşan+20km	41,003189	26,381388	11,2
44	Keşan+30km	41,062804	26,382338	10,3
45	Uzunköprü	41,105131	26,401563	11,8
46	ORTALAMA			12,63556



Şekil 3.9 Edirne il geneli gama doz hızı histogramı

3.2.4.Örneklerin Toplanması ve Sayıma Hazırlanması

Bu yüksek lisans tez çalışması çerçevesinde, Edirne'ye bağlı ilçelerinden alınan su ve toprak örneklerindeki radyoaktivite seviyelerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Çevresel radyoaktivite tayini amacıyla yapılan deneysel çalışmalar; çalışma bölgesinin belirlenmesi, örneklerin toplanması ve hazırlanması, örneklerde radyoaktivite seviyesinin tayin edilmesi ve son olarak da sonuçların değerlendirilmesi şeklinde gerçekleştirilmiştir.

3.2.4.1. Toprak Örneklerinin Toplanması ve Hazırlanması

Topraktaki doğal radyonüklit konsantrasyonlarının belirlenmesine yönelik, literatürde pek çok çalışmaya rastlanmaktadır. Toprak örnekleri genelde toprağın yapısına bağlı olarak, mümkün olduğu kadar ekim yeri olmayan arazilerden, 10 cm derinliğe kadar inebilen 15 cm çapında toprak alma aleti kullanılarak alınmıştır. Toprak örnekleri alınırken özellikle yerleşim alanlarına yakın, açık ve düz alanlar seçilerek bu alanların su geçirgenliğinin iyi olmasına dikkat edilmiştir. Alınan toprak örnekleri, içlerinde bulunan yabancı maddelerden ayıklandıktan sonra temiz kilitli poşetlere konularak etiketlenmiştir. Ayrıca hazırlanan forma örnek alınan yerin adı, koordinatları, örnek numarası, direk ölçüm sonucu yazılarak kaydedilmiştir. ÇNAEM laboratuvarlarına getirilen toprak örnekleri oda sıcaklığında kurutulmuştur. Örnekleri kurutmanın amacı, toprakta bulunan nemi buharlaştırma ile azaltmak ve çok küçük parçacıklar haline gelebilecek şekilde öğütemektir. Kurutma işlemi esnasında buharlaşma ile kaybolacak radyoaktivite miktarı ihmal edilebilecek düzeydedir. Her örnek kurutulduktan sonra iyice öğütülmüş ve 2mm gözenekli elekten geçirildikten sonra, darası alınmış marinelli sayım kaplarına aktarılmıştır. Her bir örneğin ağırlığı tartılıp kaydedilmiştir. Daha sonra her kabın ağzı dışarıdan hava girmeyecek şekilde kapatılmıştır. Örnekler, toprak içinde bulunan bozunma örneklerinin, ^{238}U ve ^{232}Th ile radyoaktif dengeye gelmeleri için 1 ay süreyle bekletilmiştir. Bu süre sonunda örneklerin analizleri gama spektrometre cihazında yapılmıştır. Yapılan spektrometrik analizler sonucunda toprak örneklerinde bulunan bütün radyonüklitlerin spesifik aktivite konsantrasyonları tayin edilmiştir.



Şekil 3.10 Marinelli Kabı

3.2.4.2. Su Örneklerinin Toplanması ve Hazırlanması

Sulardaki radyoaktivite doğrudan vücudumuzda iç ışımaya neden olduğundan, su örneklerinin bölgede yaşayan insanların kullandıkları içme suyu kaynaklarından seçilmiştir. İçme sularında alfa ve beta radyoaktivite seviyelerinin tayini iç radyasyon tehlikesi açısından oldukça önemlidir. Çalışma alanı olarak belirlenen il ve tüm ilçelerinden 10 tane su örneği alınmıştır. Edirne il merkezi ve ilçelerinden alınan su örnekleri, önceden temizlenmiş 1000ml'lik şişelere konulmuş ve tüm örnekler ölçüm işlemi için ÇNAEM'e getirilmiştir.

İlk olarak nitrik asitle $\text{pH} \leq 2$ 'ye getirilerek ağzı sıkıca kapatıldı ve etiketlenerek koruma altına alındı. Bu örnekler, önceden bu sular ile iyice çalkalanan 500ml'lik beher kaplarına aktarılarak 50-60°C 'ye ayarlanmış ısıtıcı üzerinde yaklaşık 100ml kalana dek buharlaştırıldı. Buharlaştırma işlemi sırasında beherdeki su örneklerine birkaç cm^3 HCl ilave edilerek tortuların beher çeperlerine yapışması önlenmiştir.



Şekil 3.11 Beher kaplarındaki su örneklerinin buharlaştırma işlemi

Kalan miktarlar darası alınmış 20 cm^3 'lük planşetlere azar azar aktarılarak kuruluğa yakın olana kadar buharlaştırılmaya devam edilmiştir. Su tamamen buharlaşınca planşetler bir desikatörde oda ısısına getirilip hassas terazide tartıldı ve rezidüleri tayin edildi. Sayımlarda özellikle alfa sayımlarında rezidü miktarı çok önemlidir. Rezidü miktarı $400 \text{ mg}'ı$ geçmemelidir. Aksi halde alfa partiküllerinde self-absorpsiyon oluşmakta bu da analiz sonuçlarında hatalara neden olmaktadır. İçerisinde tortu bulunan planşetler LB770-PC 10 kanallı düşük seviyeli alfa-beta sayım sistemi kullanılarak 500'er dakika sayılmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu Yüksek Lisans Tez çalışmasında Edirne ili ve tüm ilçelerinden alınan toprak, su örneklerindeki doğal radyoaktivite seviyesi belirlenmiştir. Örnekler daha önceki bölümde anlatıldığı gibi toprak örnekleri gama spektrometre sisteminde, su örnekleri ise alfa- beta sayım sisteminde sayılmıştır.

4.1. Toprak Örneklerinden Alınan Deney Sonuçları

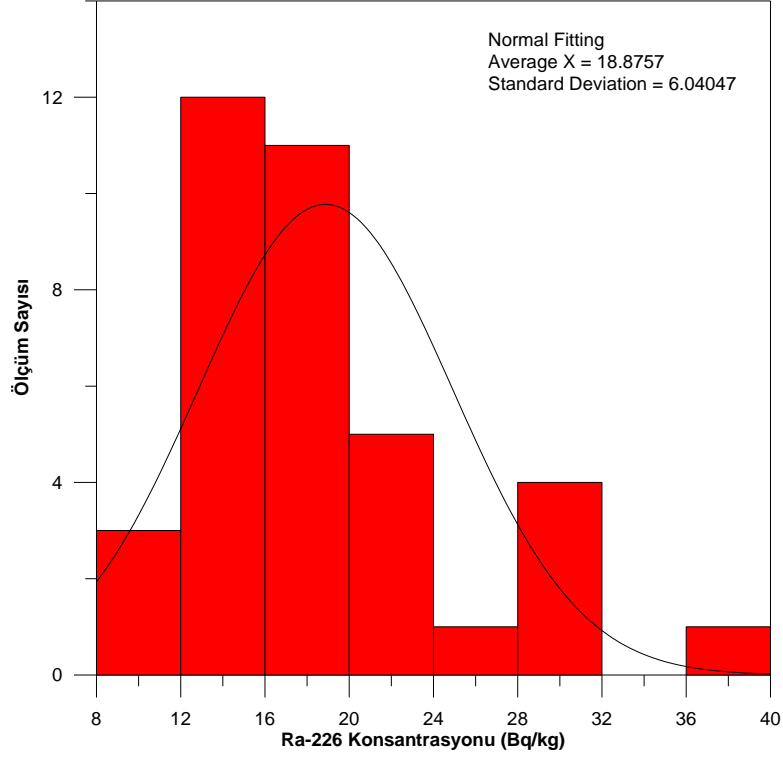
4.1.1. Edirne İli Topraklarında Radyum (^{226}Ra) Dağılımı

Toprak örneklerinin gama spektrometre sisteminden alınan ^{226}Ra konsantrasyonlarının ilçe ortalamaları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

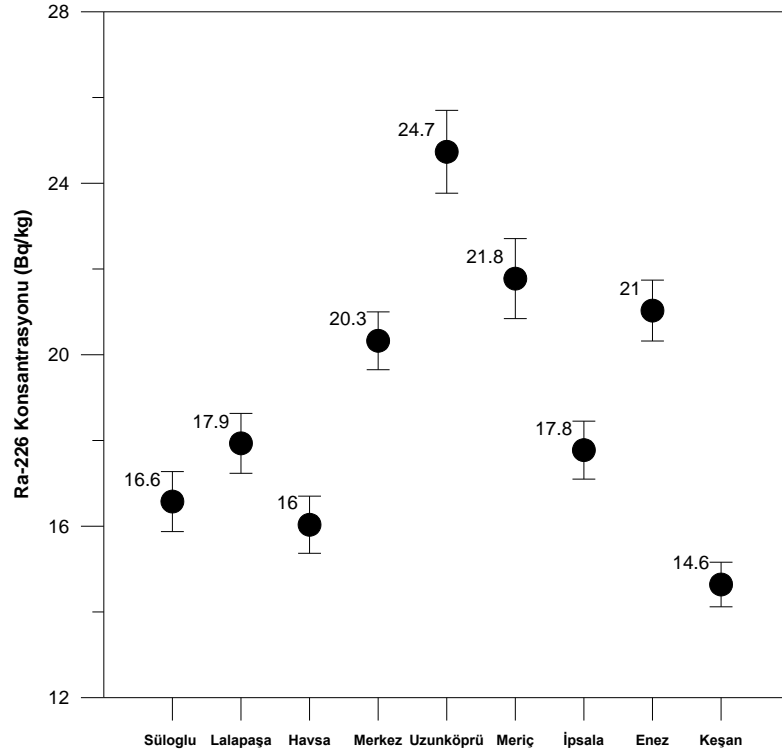
Çizelge 4.1: Toprak Örneklerindeki Radyum Konsantrasyonun İlçelere Göre Dağılımı

Alınan Örnek Kodu	^{226}Ra (Bq/kg)	Ortalama \pm sd
1	Süloğlu	30.1 \pm 1.2 (1.0)
7	Lalapaşa	20.6 \pm 0.7 (0.5)
12	Edirne (Merkez)	19.6 \pm 0.7 (0.5)
17	Havsa	28.8 \pm 0.9 (0.4)
20	Uzunköprü	24.2 \pm 1.0 (0.9)
21	Meriç	18.9 \pm 0.9 (0.7)
24	İpsala	23.5 \pm 0.7 (0.2)
29	Enez-1	37.5 \pm 1.4 (1.2)
35	Enez-2	18.7 \pm 0.6 (0.6)
44	Keşan	16.0 \pm 0.7 (0.9)

Çizelgede de görüldüğü gibi toprak örneklerindeki Radyum konsantrasyonun ilçelere göre dağılımında en yüksek ortalama Enez ‘de 37.5 \pm 1.4 (1.2) Bq/kg olarak ölçülmüştür. En düşük aktivite ise Keşan’da 16.0 \pm 0.7 (0.9) Bq/kg olarak bulunmuştur.



Şekil 4.1 Analiz Edilen Toprak Örneklerinin Radyum Aktivitesinin Histogramı



Şekil 4.2 Toprak Örneklerindeki Ra-226 Aktivitesinin İlçelere Göre Dağılımı

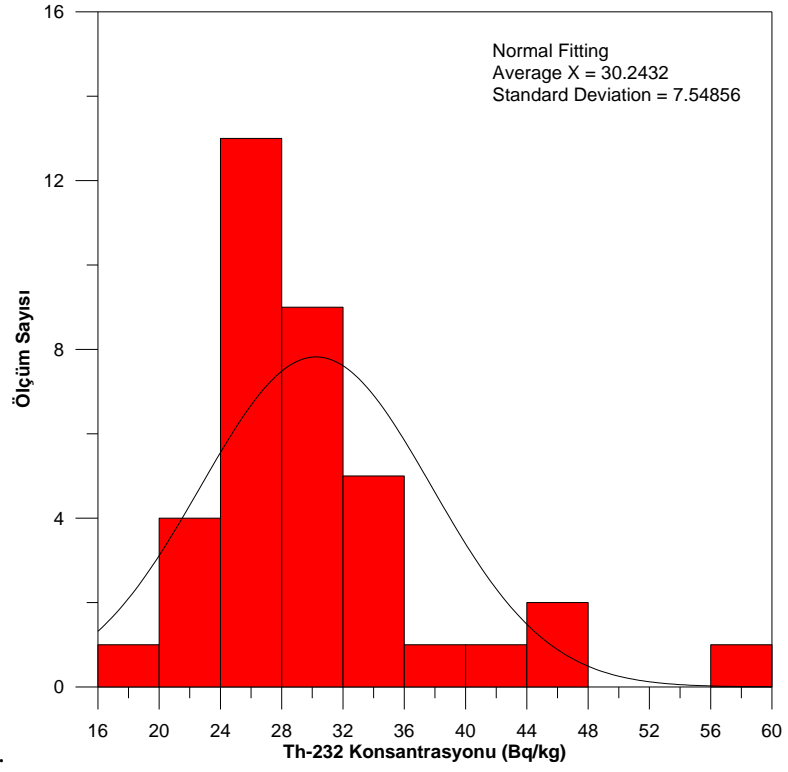
4.1.2.Edirne İli Topraklarında Toryum (^{232}Th) Dağılımı

Toprak örneklerinin gama spektrometre sisteminden alınan ^{232}Th konstrasyonlarının ilçe ortalamaları Çizelge 4.2’de verilmiştir.

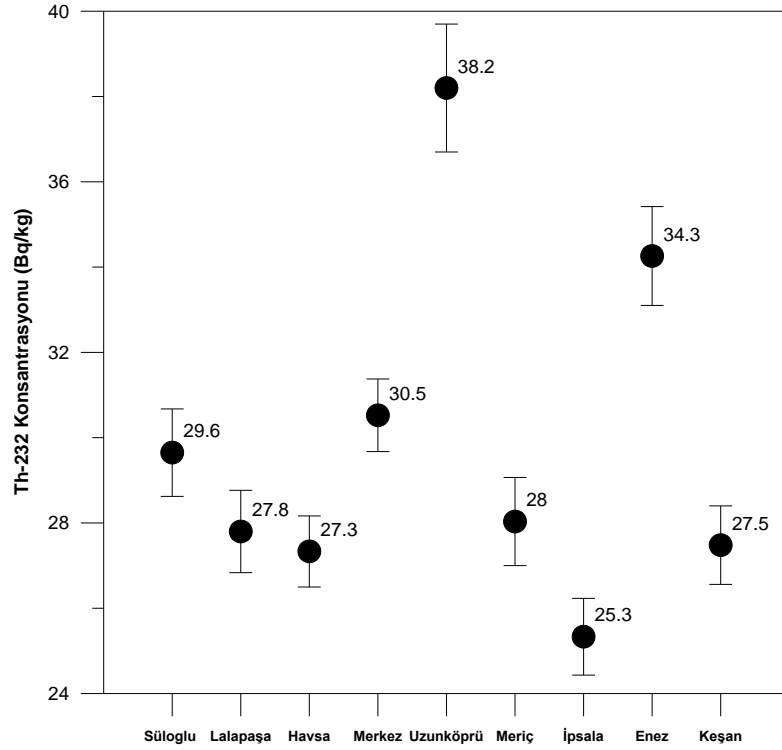
Çizelge 4.2: Toprak Örneklerindeki Toryum Konsantrasyonun İlçelere Göre Dağılımı

Alınan Örnek Kodu	^{232}Th (Bq/kg)	Ortalama\pmsd
1	Süloğlu	43.7 \pm 1.4 (0.6)
7	Lalapaşa	30.9 \pm 0.9 (0.3)
15	Edirne (Merkez)	34.0 \pm 0.8 (0.2)
18	Havsa	36.8 \pm 1.6 (0.7)
20	Uzunköprü	45.4 \pm 1.6 (0.5)
21	Meriç	32.4 \pm 1.3 (0.5)
28	İpsala	26.5 \pm 1.2 (0.5)
29	Enez-1	56.1 \pm 1.7 (0.6)
36	Enez-2	47.9 \pm 1.1 (0.3)
44	Keşan	31.7 \pm 1.4 (0.6)

Görüldüğü gibi Toryum (^{232}Th) konstrasyonlarının ilçelere göre dağılımına bakıldığında en yüksek ortalama Enez ‘de 56.1 \pm 1.7 (0.6) Bq/kg olarak bulunmuştur. En düşük aktivite ise 26.5 \pm 1.2 (0.5) Bq/kg olarak bulunmuştur.



Şekil 4.3 Analiz Edilen Toprak Örneklerinin Toryum Aktivitesinin Histogramı



Şekil 4.4 Toprak Örneklerindeki Th-232 Aktivitesinin İlçelere Göre Dağılımı

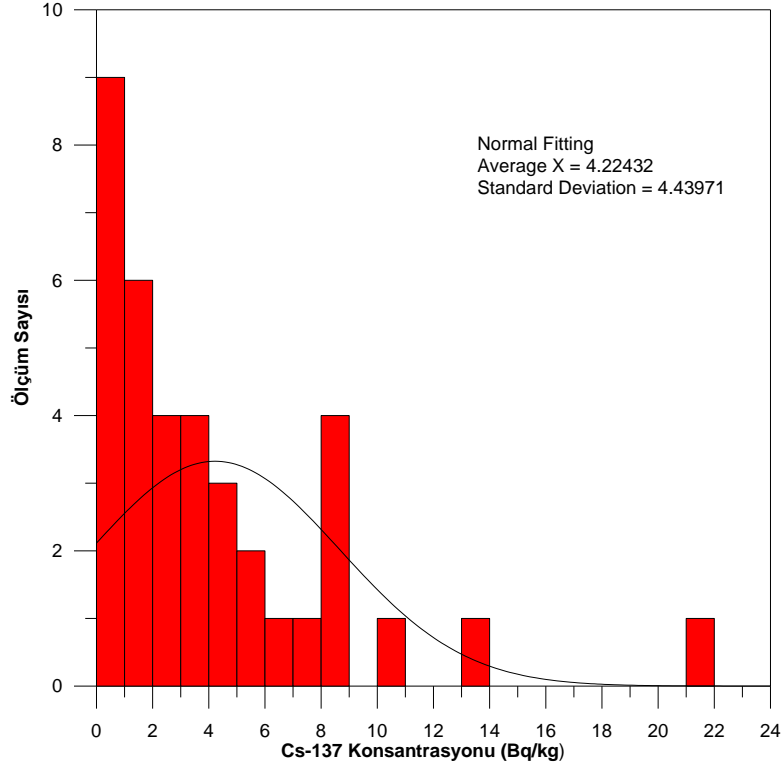
4.1.3.Edirne İli Topraklarında Sezyum (^{137}Cs) Dağılımı

Toprak örneklerinde gama spektrometrik analiz neticeleri sonucunda elde edilen ^{137}Cs konsantrasyonları ilçe ortalamaları Çizelge 4.3'te verilmiştir.

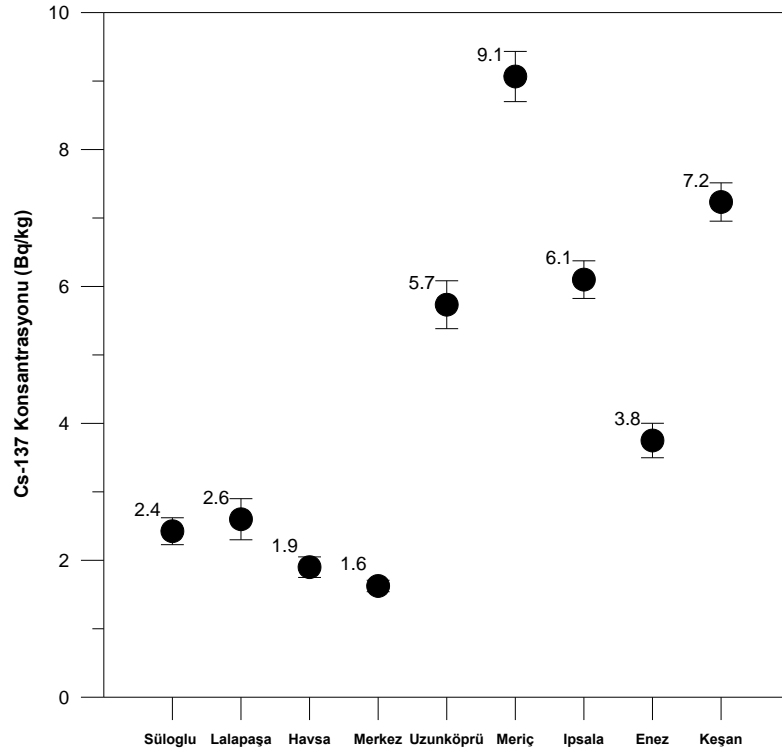
Çizelge 4.3: Toprak Örneklerindeki Sezyum Konsantrasyonun İlçelere Göre Dağılımı

Alınan Örnek Kodu	^{137}Cs (Bq/kg)	Ortalama\pmsd
1	Süloğlu	5.1\pm0.3 (0.4)
4	Lalapaşa	2.8\pm0.2 (0.2)
8	Edirne (Merkez)	4.4\pm0.2 (0.2)
18	Havsa	<0.6 (0.6)
20	Uzunköprü	3.4\pm0.2 (0.4)
21	Meriç	13.2\pm0.5 (0.5)
28	İpsala	10.7\pm0.5 (0.5)
33	Enez-1	8.5\pm0.5 (0.6)
36	Enez-2	6.7\pm0.3 (0.3)
45	Keşan	22.0\pm0.4 (0.1)

Sezyum (^{137}Cs) aktivitesinin ilçelere göre dağılımı incelendiğinde en yüksek ortalama Keşan'da 22.0 \pm 0.4 (0.1) Bq/kg olarak ölçülmüştür. En düşük aktivite ise Havsa ilçesine aittir.



Şekil 4.5 Analiz Edilen Toprak Örneklerinin Sezyum Aktivitesinin Histogramı



Şekil 4.6 Toprak Örneklerindeki Cs-137 Aktivitesinin İlçelere Göre Dağılımı

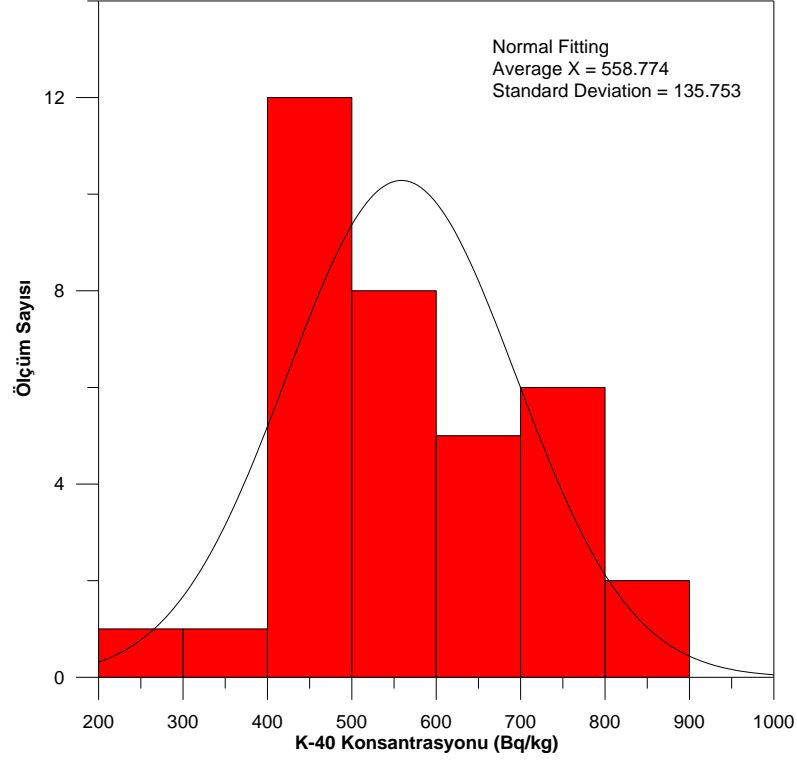
4.1.4.Edirne İli Topraklarında Potasyum (⁴⁰K) Dağılımı

Toprak örneklerinde gama spektrometrik analiz neticeleri sonucunda elde edilen ⁴⁰K konsantrasyonları ilçe ortalamaları Çizelge 4.4'te verilmiştir.

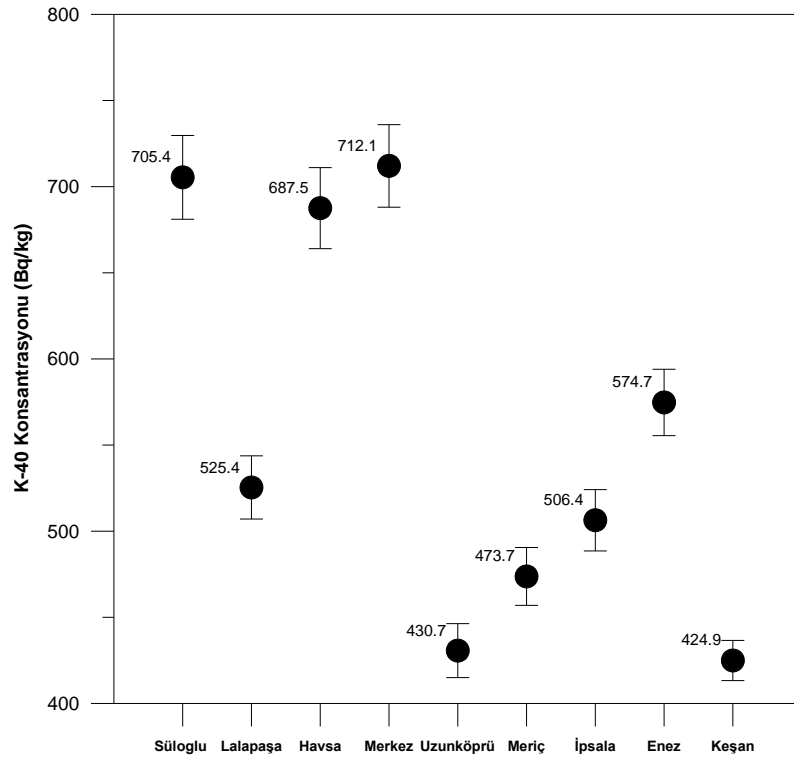
Çizelge 4.4: Toprak Örneklerindeki ⁴⁰K Konsantrasyonun İlçelere Göre Dağılımı

Alınan Örnek Kodu	⁴⁰K (Bq/kg)	Ortalama±sd
1	Süloğlu	719.8±25.2 (4.8)
4	Lalapaşa	711.7±24.1 (2.5)
8	Edirne (Merkez)	801.6±27.1 (2.4)
16	Havsa	758.1±25.6 (2.4)
20	Uzunköprü	584.6±20.0 (5.7)
21	Meriç	293.8±11.6 (4.4)
25	İpsala	615.7±20.5 (1.3)
29	Enez-1	732.1±25.9 (5.3)
35	Enez-2	581.1±19.6 (3.8)
44	Keşan	456.3±0.6 (5.5)

Çizelgede görüldüğü gibi ⁴⁰K aktivitelerin ilçelere göre dağılımı incelendiğinde en yüksek ortalama 801.6±27.1 (2.4) Bq/kg ile Edirne Merkez ilçede bulunmuştur.



Şekil 4.7 Analiz Edilen Toprak Örneklerinin Potasyum Aktivitesinin Histogramı



Şekil 4.8 Toprak Örneklerindeki K-40 Aktivitesinin İlçelere Göre Dağılımı

Aşağıdaki çizelgede Edirne ili tüm toprak örnekleri Gama Spektrometrik analiz sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.5: Edirne İli Toprak Örnekleri Gama Spektrometrik Analiz Sonuçları (Bq/kg)

Örnek Kod	⁴⁰K	¹³⁷Cs	²³²Th	²²⁶Ra
EDN 1	719.8±25.2 (4.8)*	5.1±0.3 (0.4)	43.7±1.4 (0.6)	30.1±1.2 (1.0)
EDN 2	688.9±24.3 (4.3)	<0.3 (0.3)	25.9±1.2 (0.5)	13.3±0.7 (0.7)
EDN 3	701.3±23.7 (2.2)	1.5±0.09 (0.2)	17.7±0.6 (0.3)	11.3±0.4 (0.5)
EDN 4	711.7±24.1 (2.5)	2.8±0.2 (0.2)	31.3±0.9 (0.3)	11.6±0.5 (0.5)
EDN 6	500.2±18.2 (4.0)	2.3±0.3 (0.5)	25.0±1.2 (0.5)	14.4±0.7 (0.7)
EDN 7	521.5±17.8 (2.6)	1.1±0.4 (0.2)	30.9±0.9 (0.3)	20.6±0.7 (0.5)
EDN 8	554.4±19.0 (2.8)	4.4±0.2 (0.2)	27.5±0.8 (0.3)	18.8±0.7 (0.5)
EDN 10	682.6±24.0 (4.2)	3.8±0.2 (0.4)	28.0±1.0 (0.5)	17.6±0.8 (0.8)
EDN 11	801.6±27.1 (2.4)	<0.2 (0.2)	20.6±0.6 (0.3)	11.7±0.5 (0.4)
EDN 12	711.5±24.1 (2.7)	1.7±0.1 (0.2)	33.4±0.9 (0.4)	19.6±0.7 (0.5)
EDN 15	624.7±20.8 (1.4)	3.6±0.1 (0.1)	34.0±0.8 (0.2)	18.8±0.6 (0.2)
EDN 16	758.1±25.6 (2.4)	0.9±0.05 (0.2)	26.3±0.9 (0.3)	14.1±0.5 (0.4)
EDN 17	753.9±25.4 (2.6)	<0.3 (0.3)	28.4±0.8 (0.3)	28.8±0.9 (0.4)
EDN 18	584.6±20.0 (5.7)	<0.6 (0.6)	36.8±1.6 (0.7)	21.2±1.0 (0.8)
EDN 20	413.6±15.4 (4.6)	3.4±0.2 (0.4)	45.4±1.6 (0.5)	24.2±1.0 (0.9)
EDN 21	293.8±11.6 (4.4)	13.2±0.5 (0.5)	32.4±1.3 (0.5)	18.9±0.9 (0.7)
EDN 23	585.6±20.8 (4.0)	5.8±0.3 (0.3)	27.5±1.2 (0.5)	20.5±0.9 (0.7)
EDN 24	541.8±18.1 (1.5)	8.2±0.3 (0.2)	24.2±0.6 (0.2)	23.5±0.7 (0.2)

EDN 25	615.7±20.5 (1.3)	5.0±0.2 (0.1)	25.5±0.6 (0.3)	15.0±0.5 (0.3)
EDN 27	471.3±17.0 (3.8)	0.5±0.1 (0.3)	24.0±0.9 (0.5)	14.0±0.7 (0.8)
EDN 28	432.1±15.9 (4.2)	10.7±0.5 (0.5)	26.5±1.2 (0.5)	18.6±0.8 (0.8)
EDN 29	732.1±25.9 (5.3)	3.5±0.2 (0.5)	56.1±1.7 (0.6)	37.5±1.4 (1.2)
EDN 30	482.4±16.6 (2.6)	1.5±0.1 (0.2)	22.8±0.7 (0.3)	13.0±0.5 (0.5)
EDN 31	404.6±12.6 (4.5)	2.7±0.2 (0.5)	25.7±1.2 (0.5)	14.6±0.6 (0.9)
EDN 32	470.0±13.2 (3.2)	8.0±0.2 (0.3)	30.8±0.8 (0.4)	18.6±0.5 (0.7)
EDN 33	466.3±16.8 (5.7)	8.5±0.5 (0.6)	33.0±1.7 (0.6)	14.6±0.8 (1.0)
EDN 34	463.2±15.1 (3.5)	6.7±0.3 (0.3)	31.2±1.0 (0.4)	19.0±0.7 (0.7)
EDN 35	581.1±19.6 (3.8)	4.6±0.2 (0.2)	32.7±1.0 (0.3)	18.7±0.6 (0.6)
EDN 36	673.2±22.7 (2.3)	0.4±0.06 (0.2)	47.9±1.1 (0.3)	24.0±0.8 (0.5)
EDN 38	822.2±27.7 (2.8)	<0.4	31.0±0.8 (0.3)	31.4±1.0 (0.5)
EDN 39	652.3±22.2 (5.7)	1.2±0.5 (0.6)	31.4±1.6 (0.6)	18.9±0.9 (1.2)
EDN 40	500.6±18.0 (3.9)	8.8±0.4 (0.5)	26.2±1.0 (0.5)	16.3±0.5 (0.6)
EDN 41	354.7±11.7 (3.0)	<0.4	25.6±1.0 (0.3)	13.3±0.6 (0.6)
EDN 43	407.3±14.2 (2.7)	2.1±0.1 (0.2)	28.1±0.8 (0.3)	13.3±0.5 (0.5)
EDN 44	456.3±0.6 (5.5)	8.7±0.4 (0.6)	31.7±1.4 (0.6)	16.0±0.7 (0.9)
EDN 45	403.8±10.0 (1.4)	22.0±0.4 (0.1)	25.8±0.4 (0.2)	14.3±0.3 (0.3)
EDN 46	427.0±15.5 (4.3)	1.4±0.1 (0.3)	24.0±1.1 (0.5)	28.3±1.1 (0.9)

* : ÖMD (ölçülebilen en küçük değer)

4.2. Su Örneklerine İlişkin Alınan Deney Sonuçları

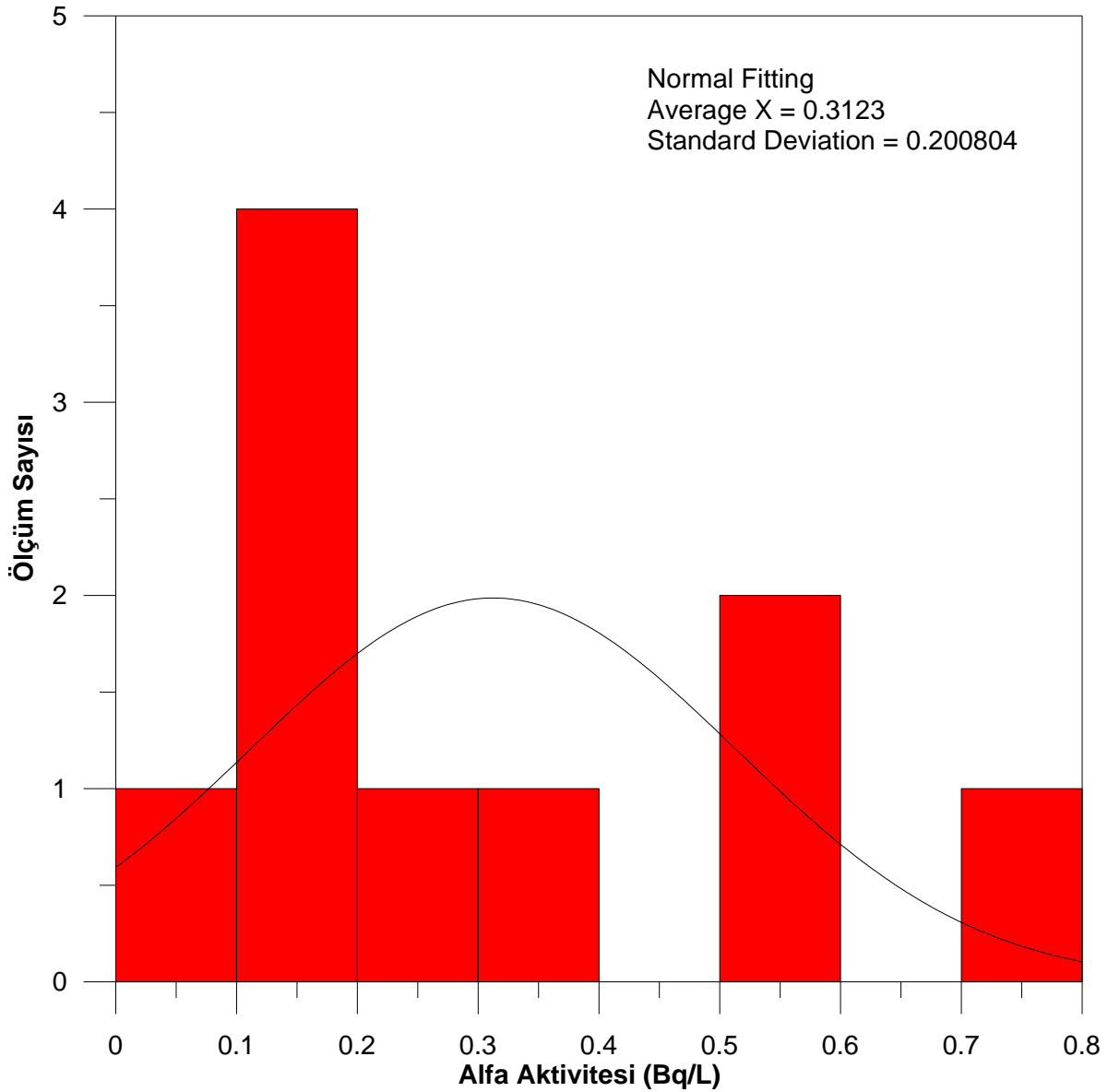
Bu çalışmada Edirne Merkez olmak üzere toplam 10 ilçeden su örnekleri alınmıştır. Alınan örnekler ölçme için uygun koşullara getirildikten sonra gaz akışlı alfa ve beta sayım sisteminde sayılmıştır. Alınan su örneklerinin toplam alfa radyoaktivite konsantrasyonu ve toplam beta radyoaktivite konsantrasyonu çizelgede verilmiştir. Çizelgede görüleceği gibi ölçülen su örneklerinden birkaçı alfa radyoaktivite konsantrasyonunun WHO 'nun içme suları için tavsiye ettiği, alfa radyoaktivitesi üst limiti olan 0,5Bq/l sınırını aşmaktadır.

Çizelge 4.6: Su Örneklerinin Toplam Alfa ve Beta Radyoaktivite Konsantrasyonları

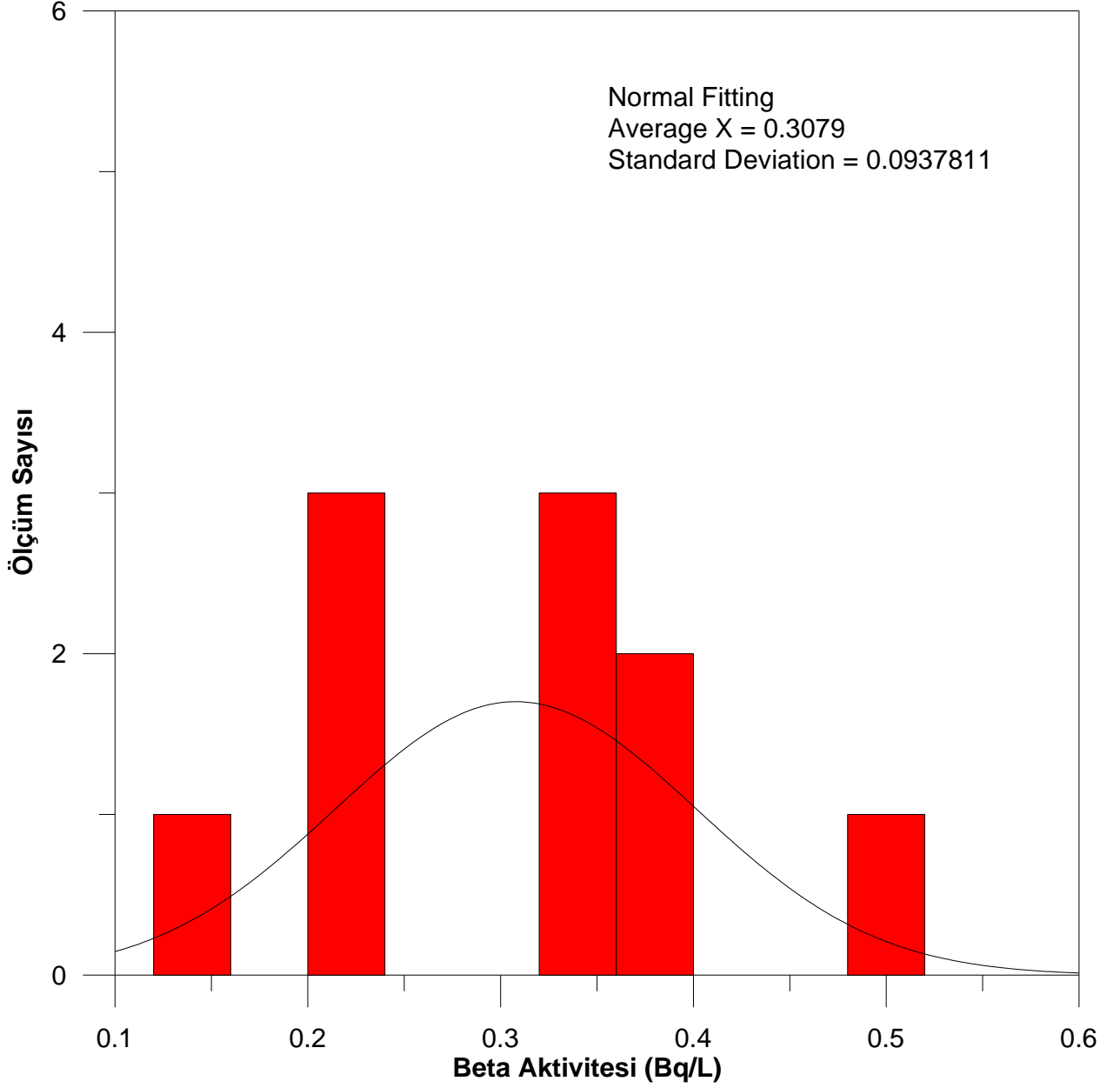
örnek kodu	Alındığı İlçe	Enlem	Boylam	Toplam Alfa Radyoaktivite Konsantrasyonu Bq/L	Toplam Beta Radyoaktivite Konsantrasyonu Bq/L
EDN-E	Ev				0.116±0.025
EDN-5	Lalapaşa	41 52 22 34	26 44 01 53	0.237±0.035	0.336±0.034
EDN-9	Havsa	41 33 00 97	26 49 20 42	0.396±0.064	0.369±0.049
EDN-13	Edirne Merkez Dsi	41 39 45 03	26 34 11 24	0.158±0.023	0.345±0.027
EDN-14	Edirne Selimiye Cami	41 40 42 31	26 33 28 65	0.174±0.023	0.379±0.029
EDN-19	Uzunköprü	41 17 44 73	26 41 22 76	0.537±0.040	0.239±0.029
EDN-22	Meriç	41 11 38 70	26 25 21 36	0.152±0.047	0.226±0.046
EDN-26	İpsala	40 55 40 87	26 23 29 93	0.159±0.026	0.148±0.018
EDN-37	Enez	40 43 30 21	26 05 02 47	0.702±0.060	0.326±0.036
EDN-42	Keşan	40 50 29 11	26 37 43 82	0.085±0.021	0.223±0.024
EDN-47	Süloğlu	41 38 19 53	26 51 26 49	0.523±0.066	0.488±0.052

Çizelge 4.6’da görüldüğü gibi İçme sularındaki toplam alfa aktivitesinin ilçelere göre dağılımı incelendiğinde en yüksek ortalama Enez’de 0.702 ± 0.060 Bq/L olarak bulunmuştur. Bu değer WHO’nün sınır değerinden yüksektir. Yine görüldüğü gibi Uzunköprü, Enez ve Süloğlu ilçelerinde sapma değerler görülmüştür. Bu yerleşim birimlerinde alfa aktivitesi WHO’nün sınır değerlerinden ($0,5$ Bq/L) yüksek çıkmıştır.

Çizelge 4.6’da görüldüğü gibi İçme sularında toplam beta aktivitesinin ilçelere göre dağılımı incelendiğinde beta aktivitesi değerleri WHO’nün sınır değerinin (1Bq/L) altında bulunmuştur.



Şekil 4.9 Edirne Sularına ait Alfa Aktivitesi Histogramı



Şekil 4.10 Edirne Sularına ait Beta Aktivitesi Histogramı

Eser element analizi terimi, büyük miktardaki bileşenlerden oluşan ortam içinde çok küçük miktarlardaki elementlerin tayini için kullanılmaktadır. Suların çözülmüş kimyasal madde miktarı yüksektir. Elementlerin çözünürlüğü su-mineral dengesine bağlıdır ve daha çok mineral şeklindedir. Elementlerin miktarları, sıcaklığın ve bulunduğu ortamın karakteristik bir özelliğidir. Edirne ili su örneklerinde birde eser element tayini yapılmıştır. Bu Çizelge 4.7’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.7 Edirne İli Su Örnekleri Eser Element Sonuçları

örnek kodu	As ppm	Be Ppm	Cd Ppm	Co ppm	Cr Ppm	Cu ppm	Fe ppm	Mn ppm	Ni ppm	Pb ppm	Sb Ppm	Sr Ppm	V ppm	Zn ppm
DL	0,053	7E-04	0,003	0,007	0,01	0,01	0,005	0,001	0,015	0,042	0,032	4E-04	0,016	0,006
Ev	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,081	0,002	0,000	0,000	0,000	1,041	0,008	0,013
EDN-5	0,002	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010	0,001	0,000	0,000	0,000	0,648	0,001	0,002
EDN-9	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,005	0,000	0,000	0,000	0,695	0,004	0,000
EDN-13	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,010	0,200	0,160	0,000	0,000	0,000	0,116	0,000	0,038
EDN-14	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,159	0,138	0,000	0,000	0,000	0,143	0,000	0,066
EDN-19	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,015	0,033	0,000	0,000	0,000	0,444	0,000	0,012
EDN-22	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,004	0,169	0,007	0,000	0,000	0,000	0,660	0,000	0,138
EDN-26	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,493	0,000	0,002
EDN-37	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,021	0,003	0,000	0,000	0,000	0,743	0,003	0,030
EDN-42	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,028	0,012	0,000	0,000	0,000	0,285	0,000	0,014
EDN-47	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,009	0,000	0,000	0,000	0,035	0,000	0,007
ORT	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,001	0,062	0,034	0,000	0,000	0,000	0,482	0,001	0,029
SD	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,077	0,058	0,000	0,000	0,000	0,312	0,003	0,041

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında Edirne ili ve ilçelerinin çevresel doğal radyoaktivite düzeyleri belirlenmiştir. Bu bölümde de laboratuvar sonuçları ile WHO ve dünya ortalamaları karşılaştırılarak yorumlanmaya çalışılmıştır.

Her ne kadar il ve ilçe ortalamaları bazında sonuçlar WHO ve diğer uluslararası kuruluşların belirlediği limit değerlerin altında çıkmış ise de, ölçüm ve analiz sonuçları tek tek değerlendirildiğinde bu limit değerlerin aşıldığı görülmüştür. Özellikle Enez'in içme suyu kaynağındaki alfa radyoaktivitesi limit değerleri aşmıştır. İleri analiz eser element tayini yapıldığında da bu aşılmaya neden olan elementler tek tek belirtilmiştir. En azından limit değerlerin üzerinde çıkan içme sularında radyoaktivitenin mevsimsel değişimi takip edilmelidir.

İncelenen su örnekleri arasında sırasıyla, Uzunköprü (0.537 ± 0.040 Bq/L), Süloğlu (0.523 ± 0.066 Bq/L), Enez (0.702 ± 0.060 Bq/L) alfa aktivitelerinin WHO-2011'in üst limit olarak belirlediği 0,5 Bq/L'yi aştığı gözlenmektedir. Bu kaynaklardaki sularda toplam beta aktivitesinde ise tüm örneklerde tavsiye edilen sınır değerinin altında olduğu görülmüştür.

Bölgeden alınan 37 toprak örneği, dış gama radyasyonuna katkıları bakımından gama spektroskopik sistemle incelenmiştir. Toprak örneklerinin her biri için ^{40}K , ^{137}Cs , ^{232}Th , ^{226}Ra aktivite konsantrasyonları bulunmuştur.

^{40}K için ortalama aktivite konsantrasyonu 558,8 Bq/kg olmakla beraber en yüksek değer Enez ilçesinin Kocaali köyünden alınan örnekte 822.2 ± 27.7 Bq/kg olarak bulunmuştur. En düşük değer ise Meriç ilçesinden alınan örnekte 293.8 ± 11.6 Bq/kg olarak bulunmuştur.

^{137}Cs için ortalama konsantrasyonu 4,2 Bq/kg olmakla beraber en yüksek değer Keşan ilçesinden alınan örnekte 22.0 ± 0.4 Bq/kg olarak bulunmuştur. En düşük değer ise Havsa ilçesinden alınan örnekte <0.2 Bq/kg olarak bulunmuştur.

^{232}Th için ortalama aktivite konsantrasyonu 30,2 Bq/kg olmakla beraber en yüksek değer İpsala ilçesinin Yeni Karpuzlu alınan örnekte 56.1 ± 1.7 Bq/kg olarak bulunmuştur. En düşük değer ise Süloğlu ilçesinden 17.7 ± 0.6 Bq/kg olarak bulunmuştur.

Ayrıca ^{226}Ra için ortalama aktivite konsantrasyonu 18,9 Bq/kg olmakla beraber en yüksek değer Enez ilçesinin Koyuntepe köyünden alınan örnekte 37.5 ± 1.4 Bq/kg olarak bulunmuştur. En düşük değer ise Süloğlu ilçesinden 11.3 ± 0.4 Bq/kg olarak bulunmuştur.

UNSCEAR 2000 raporunda, ^{238}U aktivitesinin dünya ortalaması 35 Bq/kg olarak, ^{232}Th aktivitesinin dünya ortalaması 30 Bq/kg olarak, ^{40}K aktivitesinin dünya ortalaması ise 400 Bq/kg, ^{226}Ra aktivitesinin dünya ortalaması 35 Bq/kg olarak yayınlanmıştır. Bu çalışmada toryum serisi ortalama değerleri ile dünya değerleri birbirine yakın çıkmıştır. Toryuma maruz kalan kişilerde başta akciğer kanseri olmak üzere pankreas, karaciğer, böbrek, lösemi ve dalak kanserlerine yol açabilir. (**Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) 1992**)

Dünya ölçeğinde yapılan ölçümlerde toprakta doğal olarak bulunan ^{40}K aktivite konsantrasyonu önemli ölçüde yüksek çıkmıştır. İl genelinde ^{40}K ortalama konsantrasyonu 558,8Bq/kg'dır. Dünya ortalaması 400 Bq/kg oldukça üstünde bir değerdir.

^{137}Cs nükleer denemeler veya nükleer santrallerde meydana gelen kazalar sonucu atmosfere atılmaktadır. 1986 yılında meydana gelen Ukrayna Çernobil reaktör kazası nedeniyle, birçok ülke gibi ülkemizin Karadeniz kıyıları ve Trakya bölgesinde etkileri net bir şekilde görülmüştür. Türkiye geneli değerlendirildiğinde radyoaktif bulutun geçişi sırasında Edirne'nin Eskikadın, İsmailce, Kapıkule ve Büyükdoğanca en fazla etkilenen yerler olmuştur. (**TAEK 1998**) En yüksek Uzunköprü ilçesinden alınan örnekte 22.0 ± 0.4 Bq/kg olarak bulunmuştur. Burada da görülüyor ki Çernobil kazası sonucu ^{137}Cs kontaminasyonunun etkileri günümüzde hala devam etmektedir.

Bu çalışmada alınan toplam örnek sayısı 46'dır. İstatistiksel olarak değerlendirme yapıldığı için örnek sayısının artırılması bu çalışmanın devamı için önerilebilir. Sularda toplam alfa aktivitesini oluşturan radyoaktif elementlerin neler olduğunu tespit edilebilmesi için alfa spektrometresi analizi önerilebilir.

KAYNAKLAR

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), 1992: Case Studies in Environmental Medicine. Radon Toxicity. Public Health Service, U.S. Department of Health and Human Services, Atlanta

Alkan H., Yaşar S., Göksel , S. A., 1987 : Radioactive Mineral Waters of Turkey, XXII. International Congress of Hydrothermal Techniques, İstanbul.

Asikainen, M., Kahlos, H., 1980 International Radiation Doses from Radioactivity of Drinking Water in Finland. Health Physics, Vol. 39

Atalay E., Kınacı S.R, 1990 İzmir ve Çevre Köyleri Kullanım ve İçme Sularındaki Radyum Konsantrasyonlarının Belirlenmesi, Ege Üniv. Araştırma Fon Projesi, 88 NBE 002, İzmir.

Ayotte, P., 1998: Indoor Exposure to 222Rn: A Public Health Perspective, Health Physics, 75, 297-302,.

Bunz, K., and W., Kracke, J., Environment 1988. Radioactivity, 8, 1-14.

Çelebi, N., 1995: Çevresel Örneklerde Uranyum, Radyum ve Radon Ölçüm Tekniklerinin Geliştirilmesi, Doktora Tezi

Dilaver, A. T., Çifter, C., Altay, T., 2002, Türkiye'deki İçme Ve Kullanma Sularının Radyoaktivite Yönünden Kalitesinin Belirlenmesi, Hidrolojide İzotop Tekniklerinin Kullanılması Sempozyumu, T.C Enerji Ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı, 21-25 Ekim Adana, s:301- 318

Durrani, S.A. ve Iliç, R., 1997. Radon measurements by etched track detectors: applications in radiation protection, earth sciences, and the environment, World Scientific, Singapore.

EPA, 1992: A Citizen's Guide to Radon, EPA Document 402-K92-001,

Farber, S., 1990, Health Physics 18:2-5

G.F. Knoll, 1989 Radiation Detection and Measurement, 2nd ed, (Wiley, NY)

Gollnick, D. A., 1988. Basic radiation protection technology, Pacific Radiation.

IAEA, 1996: International Atomic Energy Agency, Radiation Safety, IAEA Division of Public Information, 96-00725.

ICRP, 1993: Publication 65, International Commission on Radiological Protection, Adopted by the Commission in September. Vol.S, No : 3

International Atomic Energy Agency, 1996 , 'Radiation Safety', IAEA Division of Public Information, 96-00725 IAE/PI/A47E

International Commission of Radiological Protection. 1977 ICRP Publication ., No.26 Oxford Pergamon Pres

Kam E., 2004: Yüksek Lisans Tezi; Tekirdağ'ın Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Tayini.

Kapdan E. 2009, “Adapazarı Merkezi Kış Dönemi Radon Ölçüm ve Analizleri ” Yüksek Lisans Tezi.

Karahan, G. ,1997 İstanbul’un Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Tayini ve Doğal Radyasyonların Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri, Doktora Tezi, İ.T.Ü., Nükleer Enerji Enstitüsü, İstanbul.

Kumru, M. N., Aydın, B., Bakaç, M., 2002 Gediz Nehri’nden Ege Denizi’ne Taşınan Doğal Radyoaktivitenin (Radyum) Belirlenmesi, Ekoloji Cevre Dergisi, Cilt:10, Sayı:43, s:22-25.

Murray, R. L., 2001, NuCPŞCPŞclear Energy, Fith edition, Butterworth-Heinemann.

NCRP Report 45, 1977: National Council on Radiation Protection and Measurement No.45, Natural Background Radiation in the U.S.,Soil Radioactivity

OECD Nuclear Energy, 1979, Report of a Group of Expert, No.48761

TAEK, 1998 Türkiye Atom Enerji Kurumu, “Türkiyede Çernobil Sonrası Radyasyon ve Radyoaktivite Ölçümleri ”

Taşkın, H., 2006 “İnsan Sağlığı ve Çevre Kirliliği Açısından Kırklareli İlinin Fon Radyasyonunun Belirlenmesi ve Haritalandırılması”, Yüksek Lisans Tezi

UNSCEAR, 1982: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation Report to the General Assembly.

UNSCEAR, 1988: United Nations Scientific Committe on the Effects of Atomic Radiation; Sources,Effects, and Risks of Ionizing Radiation United Nations sales publication No:E.88.IX.7.New York.

UNSCEAR, 1993: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Sources, Effects, and Risks of Ionizing Radiation. United Nations sales publication No.E. 94.IX.2. New York.

UNSCEAR, 1993 Source Effects of Ionizing Radiation, Report to the General Assembly, United Nations

WHO, 2011, Guidelines for Drinking-Water Quality, fourth edition, World Health Organization, Geneva, Switzerland.

URL.1 (http://www.taek.gov.tr/bilgi/bilgi_maddeler/dogalrad.html)

URL.2 (www.nukeworker.com/, Radioactivity in the Marine Environment, National Academy of Sciences)

URL.3 (www.lib.utexas.edu/chem/info/ems3.jpg)

URL.4(www.gulflink.osd.mil/library/randrep/du/mr1018.7.chap1.html#1.1)

ÖZGEÇMİŞ

14.12.1986 yılında Tekirdağ'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Tekirdağ'da tamamladı. 2005-2009 yılları arası yüksek öğrenimini Dumlupınar Üniversitesi Fizik Bölümünde tamamladı. 2009 yılında Namık Kemal Üniversitesi Fizik Anabilim Dalında yüksek lisansa başladı.



Ad Soyad: Elif GÖNEN

Doğum Yeri ve Tarihi: Tekirdağ, 14.12.1986

Adres: Namık Kemal Mah. 69. Sok. No:2 Çerkezköy/TEKİRDAĞ

Lisans Üniversite: Fizik, Dumlupınar Üniversitesi