

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

**ABANA -ÇATALZEYTİN / KASTAMONU BÖLGESİ DOĞAL
RADYOAKTİVİTE SEVİYESİNİN BELİRLENMESİ**

Murat ÖZCAN

**Danışman
Jüri Üyesi
Jüri Üyesi**

**Prof. Dr. M. Atif ÇETİNER
Prof. Dr. Haluk KORALAY
Doç. Dr. Aslı KURNAZ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANA BİLİM DALI**

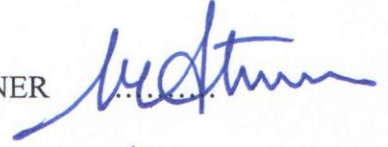
KASTAMONU – 2018

TEZ ONAYI

Murat ÖZCAN tarafından hazırlanan " **Abana- Çatalzeytin / Kastamonu Bölgesi Doğal Radyoaktivite Seviyesinin Belirlenmesi** " adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde savunulmuş ve **oy birliği** ile Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Fizik Ana Bilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

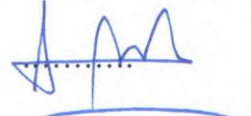
Danışman

Prof. Dr. Mehmet Atıf ÇETİNER
Kastamonu Üniversitesi



Jüri Üyesi

Prof. Dr. Haluk KORALAY
Gazi Üniversitesi



Jüri Üyesi

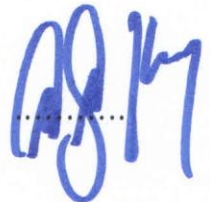
Doç. Dr. Aslı KURNAZ
Kastamonu Üniversitesi



25/06/2018

Enstitü Müdür V.

Doç. Dr. Mehmet Altan KURNAZ



TAAHHÜTNAME

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildirir ve taahhüt ederim.



Murat ÖZCAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ABANA- ÇATALZEYİN / KASTAMONU BÖLGESİ DOĞAL RADYOAKTİVİTE SEVİYESİNİN BELİRLENMESİ

Murat ÖZCAN
Kastamonu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Ana Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mehmet Atıf ÇETİNER

İnsanlar; yaşam standartları, yaşadıkları ortamların fiziksel özellikleri ve coğrafi şartlara bağlı olarak değişiklik göstermekle birlikte, sürekli doğal kaynaklardan yayınlanan radyasyona maruz kalmaktadırlar. Doğal radyasyona en büyük katkı tabiatta doğal olarak bulunan ^{238}U , ^{232}Th ile bunların bozunma ürünleri olan ^{226}Ra , ^{222}Rn ve ^{235}U ile ^{40}K gibi radyoaktif elementlerden ileri gelmektedir. Literatürde insanların doğal radyasyonlardan dolayı maruz kaldıkları riskleri belirlemek amacı ile çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmanın amacı, Kastamonu ili Abana-Çatalzeytin bölgesi toprak ve sahil kumlarındaki taban seviye radyasyon düzeyini belirlemektir. Bu amaçla, alınan 20 adet toprak ve 20 adet sahil kumu örneklerinde doğal (^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K) radyoaktivite konsantrasyonları belirlenmiş, elde edilen sonuçlar kullanılarak, soğurulan gama doz oranları ve yıllık etkin doz eşdeğeri hesaplanmış ve radyolojik tehlikeler değerlendirilmiştir. Ayrıca sahil kumlarının tanecik boyutu analizi yapılmış ve 4 farklı boyutta (çakıl, kum, alüvyon ve kil) numuneler elde edilerek bunların doğal (^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K) radyoaktivite konsantrasyonları belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Doğal radyoaktivite, gama dozları, yıllık etkin doz, Abana-Çatalzeytin / Kastamonu

2018, 60 sayfa
Bilim Kodu: 202

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

DETERMINATION OF NATURAL RADIOACTIVITY LEVEL OF ABANA- ÇATALZEYTIN / KASTAMONU REGION

Murat ÖZCAN
Kastamonu University
Institute Of Science
Department of Physics

Supervisor: Prof. Dr. M. Atif ÇETİNER

People; they are exposed to continuous natural sources of radiation, although their life standards vary depending on the physical characteristics and geographical conditions of the environment in which they live. The greatest contribution to natural radiation comes from radioactive elements such as ^{238}U , ^{232}Th which are naturally found in nature, and their degradation products ^{226}Ra , ^{222}Rn and ^{235}U and ^{40}K . In the literature, studies are being carried out with the aim of determining the risks that people are exposed to from natural radiation. The aim of this study is to determine the level of radiation at the bottom level in the soil and coastal sand of the Abana-Çatalzeytin region of Kastamonu province. For this purpose, natural (^{238}U , ^{232}Th and ^{40}K) radioactivity concentrations were determined in 20 soil and 20 coastal sand samples taken and the absorbed dose rates and annual effective dose equivalent were calculated and the radiological hazards evaluated using the obtained results. In addition, particle size analysis of coastal sand was performed and samples of 4 different sizes (pebbles, sand, alluvial and clay) were obtained and their natural (^{238}U , ^{232}Th and ^{40}K) radioactivity concentrations were determined.

Key Words: : Natural Radioactivity, Gamma Doses, Annual Active Dose, Abana-Çatalzeytin / Kastamonu

2018, 60 pages

Science Code: 202

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın hazırlanmasında ve sonuçlandırılmasında beni özveri ile destekleyen ve çalışmalarımın her anında yardımcı olan danışman hocam sayın Prof. Dr. Mehmet Atıf ÇETİNER'e teşekkür ederim. Tezin hazırlanmasındaki çeşitli aşamalarda yardım ve desteklerini aldığım değerli hocam Doç. Dr. Aslı KURNAZ'a ayrıca teşekkürlerimi sunarım.

Yaşamım boyunca her aşamada olduğu gibi bu tez çalışmamda da desteklerini esirgemeyen annem, babam ve kardeşlerime, tez çalışmamda her zaman yanımda olan ve daima bana güç veren değerli eşim Şehriban ÖZCAN ve biricik kızım Elif Eylül ÖZCAN'a sevgilerimi ve en içten teşekkürlerimi sunarım.

Murat ÖZCAN
Kastamonu, Haziran, 2018

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	ix
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ	x
GRAFİKLER DİZİNİ	xi
HARİTALAR DİZİNİ	xii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
TABLolar DİZİNİ	xiv
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Radyasyon	2
1.3. Radyasyon Çeşitleri	3
1.3.1. İyonlaştırıcı Radyasyon.....	4
1.3.1.1. <i>Elektromanyetik Radyasyonlar</i>	5
1.3.1.2. <i>Parçacıklı Radyasyon</i>	6
1.3.2. İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyonlar	7
1.4. Radyasyon Kaynakları	7
1.4.1. Doğal Radyasyon Kaynakları	8
1.4.1.1. <i>Kozmik Radyasyon</i>	9
1.4.1.2. <i>Karasal Radyasyon</i>	11
1.4.2. Yapay Radyasyon Kaynakları.....	15
1.5. Gama Işınlarının Madde ile Etkileşimi	16
1.5.1. Fotoelektrik Olay	18
1.5.2. Compton Saçılması	18
1.5.3. Çift Oluşumu.....	19
1.6. Radyasyon Birimleri	20
1.6.1. Aktivite Birimi	21

1.6.2. Işınlanma Birimi	21
1.6.3. Soğrulmuş Doz Birimi	22
1.6.4. Eşdeğer Doz Birimi.....	22
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	23
2.1. Çalışma Yapılan Bölgenin Özellikleri	23
2.2. Arazi Çalışmaları	26
2.3. Laboratuvar Çalışmaları.....	26
2.4. Sahil Kumu Örneklerinin Tanecik Boyutu Analizi için Numunelerin Hazırlanması.....	26
2.5. Gama Spektrometri Yöntemi ve NaI(Tl) Sintilasyon Dedektörü	27
2.5.1. Enerji Kalibrasyonu	31
2.5.2. Verim Kalibrasyonu	32
2.6. Spektrum Analizi	33
2.7. Çevresel Gama Dozu Ölçümleri	33
2.8. Spektrum İçin Pik Alanı ve Aktivite Hesabı.....	33
2.9. Numunelerdeki Radyasyon Parametrelerinin Hesaplanması	35
2.9.1. Havadan Absorbe Edilen Doz Oranı (D)	35
2.9.2. Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri (AEDE).....	35
2.9.3. Radyum Eşdeğer Aktivitesi (Ra _{eq}).....	36
2.9.4. Dış Tehlike İndeksi (H _{ex})	36
2.9.5. Gama Aktivite Konsantrasyonu İndeksi (I _γ).....	36
3. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA	37
3.1. Toprak Örneklerinde ²³⁸ U, ²³² Th ve ⁴⁰ K'nın Aktivite Konsantrasyonları	37
3.2. Sahil Kumu Örneklerinde ²³⁸ U, ²³² Th ve ⁴⁰ K'nın Aktivite Konsantrasyonları.....	40
3.3. Havadaki Gama Dozu Ölçümleri	43
3.4. Toprak ve Sahil Kumu Örnekleri İçin Radyasyon Tehlike Parametreleri	46
3.5. Sahil Kumu Örneklerinde Tanecik Boyutu Analizi	48
SONUÇ VE ÖNERİLER	55
KAYNAKLAR	57
ÖZGEÇMİŞ	60

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Bq	Becquerel (Radyoaktivite Birimi)
D	Havadaki Soğrulan Doz Hızı
Gy	Gray (Absorbe Edilen Doz Birimi)
H _{ex}	Dış Tehlike Endeksi
I _γ	Gama Aktivite Konsantrasyonu İndeksi
R _{eq}	Radyum Eşdeğer Aktivitesi
AEDE	Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri
Sv	Sievert (Eşdeğer Doz Birimi)
α	Alfa
β	Beta
γ	Gama
MeV	Mega Elektron Volt
KeV	Kilo Elektron Volt
U	Uranyum
Th	Toryum
K	Potasyum
c	Işığın Boşluktaki Hızı
Ci	Curie (Radyoaktivite Birimi)
R	Röntgen (Işınlanma Birimi)
Rad	Soğrulan Doz Birimi
Rem	Eşdeğer Doz Birimi
ν	Işığın Frekansı
h	Plank Sabiti
m _e	Elektronun Durgun Kütlesi
J	Joule
µm	Mikrometre
ADC	Analog Sayısal Dönüştürücü
HV	Yüksek Voltaj
IAEA	International Atomic Energy Agency
ICRP	International Commission on Radiological Protection
MA	Yükseltici
MDA	Minimum Dedekte Edilebilir Aktivite
MCA	Çok Kanallı Analizör
PA	Ön Yükseltici
TAEK	Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
NaI(Tl)	Talyum Katkılı Sodyum İyodür
SI	Uluslararası Birimler Sistemi
ICRU	Uluslararası Radyasyon Birimleri Komitesi
UNSCEAR	United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
GPS	Global Positioning System

FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

	Sayfa
Fotoğraf 2.1. Çatalzeytin ilçesinin kıyıdan görünümü.....	25
Fotoğraf 2.2. Abana ilçesinin kıyıdan görünümü.....	25
Fotoğraf 2.3. NaI(Tl) Sintilasyon dedektörünün görünümü.....	28



GRAFİKLER DİZİNİ

	Sayfa
Grafik 1.1. Doğal ve yapay radyasyon kaynaklarının küresel radyasyon dozuna oransal katkıları	8
Grafik 1.2. Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozlarının oransal değerleri	9
Grafik 1.3. Dünya genelinde yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozları ve oransal değerleri.....	16
Grafik 2.1. Gama pik alanının hesaplanmasında kullanılan parametreler	34
Grafik 3.1. Toprak örneklerinde ^{238}U aktivite konsantrasyonları.....	39
Grafik 3.2. Toprak örneklerinde ^{232}Th aktivite konsantrasyonları.....	39
Grafik 3.3. Toprak örneklerinde ^{40}K aktivite konsantrasyonları.....	40
Grafik 3.4. Sahil kumu örneklerinde ^{238}U aktivite konsantrasyonları.....	42
Grafik 3.5. Sahil kumu örneklerinde ^{232}Th aktivite konsantrasyonları.....	42
Grafik 3.6. Sahil kumu örneklerinde ^{40}K aktivite konsantrasyonları.....	43

HARİTALAR DİZİNİ

	Sayfa
Harita 2.1. Abana-Çatalzeytin ilçelerinin harita görünümü	23
Harita 2.2. Toprak ve sahil kumu numunelerinin koordinatlara bağlı lokasyon haritası	24



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1. 1. Elektromanyetik dalga spektrumu	3
Şekil 1. 2. Radyasyon türlerinin sınıflandırılması.....	4
Şekil 1. 3. İyonlaştırıcı radyasyonun giriciliği.....	5
Şekil 1. 4. Kozmik ışınlardan bir saatte alınan radyasyon dozunun yüksekliğe göre değişimi.....	10
Şekil 1. 5. Uranyum serisi.....	12
Şekil 1. 6. Aktinyum serisi.....	12
Şekil 1. 7. Toryum serisi.....	13
Şekil 1. 8. Fotonun madde ile etkileşmesi.....	17
Şekil 1. 9. Fotoelektrik olay, compton saçılması ve çift oluşumunun atom numarası ile enerjiye bağlı etki alanları.....	17
Şekil 1.10. Radyasyonun eski ve yeni birimleri arasındaki ilişki.....	21
Şekil 2. 1. NaI(Tl) dedektörünün şematik gösterimi.....	29
Şekil 2. 2. NaI(Tl) sintilatör dedektörün kurulum şeması.....	30

TABLULAR DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 1. 1. Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan ortalama radyasyon doz değerleri.....	9
Tablo 2. 1. Elek analizi için kullanılan tanecik boyutları.....	27
Tablo 2. 2. Standart kaynağın özellikleri.....	32
Tablo 3. 1. Toprak örneklerinde ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K 'nin aktivite konsantrasyonları.....	38
Tablo 3. 2. Sahil kumu örneklerinde ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K 'nin aktivite konsantrasyonları.....	41
Tablo 3. 3. Toprak örnekleri için (D) ve (AEDE) değerleri.....	44
Tablo 3. 4. Sahil kumu örnekleri için (D) ve (AEDE) değerleri.....	45
Tablo 3. 5. Toprak örnekleri için radyasyon tehlike parametreleri.....	46
Tablo 3. 6. Sahil kumu örnekleri için radyasyon tehlike parametreleri.....	47
Tablo 3. 7. Çakıl örneklerinde ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K 'nin aktivite konsantrasyonları.....	48
Tablo 3. 8. Kum örneklerinde ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K 'nin aktivite konsantrasyonları.....	49
Tablo 3. 9. Alüvyon örneklerinde ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K 'nin aktivite konsantrasyonları.....	50
Tablo 3.10. Kil örneklerinde ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K 'nin aktivite konsantrasyonları.....	51
Tablo 3.11. Sahil kumu örneklerinde tanecik boyutu analizinin karşılaştırmalı ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K 'nin aktivite konsantrasyonları.....	52
Tablo 4. 1. ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K 'nin numunelerdeki ortalama konsantrasyonları..	55
Tablo 4. 2. Ortalama radyasyon tehlike parametreleri.....	56

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Radyasyon yaşamımızın bir gerçeğidir. Doğadaki bütün canlılar doğal veya yapay olarak bu radyasyona maruz kalırlar ve bunun büyük bir bölümünü doğal radyasyon kaynakları oluşturmaktadır. Dünyanın oluşumuyla birlikte birçok radyoaktif maddenin uzun ömürlü radyoizotopları halen yer kabuğunda mevcuttur. Güneşteki nükleer reaksiyonlar sonucu meydana gelen ısı ve ışık yaşamımız için gereklidir. Yeryüzündeki bütün yaşam radyasyonun varlığıyla gelişmektedir.

Toprak ve atmosferde bulunan doğal radyoaktif elementlerin çevreye yaydığı radyasyon önlenemez fakat bu radyasyon insan sağlığını önemli ölçüde etkilemez ancak radyasyonun hangi kaynaktan ne kadar süre ile alındığı önemlidir. Bazı bölgelerde toprakların jeolojik yapısı nedeniyle normalin üzerinde radyasyon bulunabilmektedir. Bu da topraktaki uranyum ve toryum gibi doğal radyonüklitlerin varlığından kaynaklanır.

Radyasyonun duyu organlarımızla anlaşılması mümkün olmadığından ölçümleri radyasyona duyarlı cihazlarla yapılabilmektedir. Çevresel radyasyonun ölçülmesindeki temel amaç insanların bu kaynaklardan aldıkları radyasyonun dozu ve oluşturabileceği sağlık risklerinin değerlendirilebilmesidir. Çevresel radyasyonun varlığı bölgeden bölgeye farklılık gösterebileceği gibi birbirine çok yakın bölgeler arasında da farklılıklar gösterebilmektedir.

Çevresel radyasyonun ölçümleriyle ilgili çalışmaların yapılması ve insanların aldıkları radyasyon risklerinin daha doğru tayin edilebilmesi için gerekli veri tabanı oluşturması açısından önemlidir. Ülkemizde ve dünyada çevresel radyasyonun ölçümleriyle ilgili çalışmalar son dönemde artmış ve ileriye dönük radyasyon risklerinin karşılaştırılması ve taban radyasyon verilerinin oluşturması açısından büyük önem arz etmektedir.

Bu amaçla bu çalışmada Kastamonu ili Abana-Çatalzeytin bölgesindeki sahil kumları ve topraktaki radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonlarının ölçülerek Türkiye'nin

doğal radyasyon dağılımları veri tabanına katkı oluşturması amaçlanmıştır. Bölge için elde edilen sonuçların insan sağlığı açısından ilgili kuruluşların referans değerleriyle karşılaştırılarak radyasyon güvenliği açısından değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

1.2. Radyasyon

Radyasyon, ortamda yüksek hızla hareket eden dalga, parçacık veya foton olarak adlandırılan ve enerji paketleri şeklinde yayılan enerjidir. Maddenin fiziksel ve kimyasal özelliklerini taşıyan en küçük yapı taşı atomdur bütün maddeler atomlardan meydana gelir. Atomlar, çekirdeği oluşturan proton ve nötron ile çekirdeğin etrafında bulunan elektronlardan oluşmaktadır. Proton ve nötron sayıları birbirine eşit elementlere kararlı element denir. Çekirdek büyüdükçe proton-nötron dengesi değerrişir ve atom kararsız hale dönüşür. Ağır elementler yani çekirdeği büyük elementler kararsız olduklarından parçalanarak daha küçük atomlara dönüşürler ve bu sırada atomun çekirdeğinden parçacık ve enerji dalgaları yayınlanır bu tür atomlara radyoaktif atomlar denir.

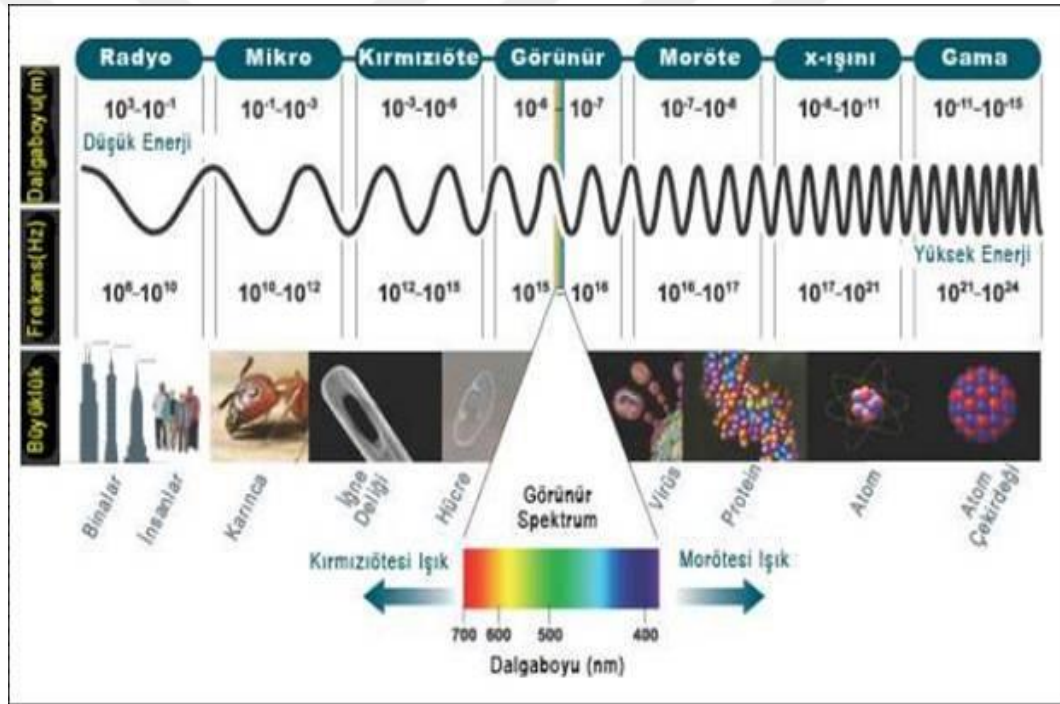
Radyasyon doğal ve yapay kaynaklar olmak üzere iki sınıfta incelenir. Bütün canlılar ister istemez doğal radyasyona maruz kalırlar ve bu durum yaşamımızın değerrişmez bir gerçeğidir. Doğal radyasyon, dış radyasyonu oluşturan karasal ve kozmik radyasyonlar ile vücuttaki radyoaktif elementlerden kaynaklanan iç radyasyonlardan meydana gelmektedir. Canlıların maruz kaldığı radyasyon miktarının % 88'i doğal radyasyonlardan %12'si çoğunluğu tıbbi uygulamalardan kaynaklı yapay radyasyonlardan meydana gelmektedir [1].

Radyasyon yaşam üzerinde olumsuz etkiler meydana getirmesine rağmen tıpta teşhis ve tedavi amaçlı, endüstride, nükleer reaktörlerde ve çeşitli araştırmalarda kullanılmaktadır. Radyasyon kavramının daha iyi anlaşılmasıyla birlikte radyasyonun ölçülmesinin gerekliliği ve radyasyon ile ilgili sınırlayıcı birimler getirilmiştir. Bu tür çalışmaları yapan kuruluşlar; 1928 yılında kurulan Uluslararası Radyolojik Korunma Komitesi (ICRP), 1955 yılında Birleşmiş Milletler teşkilatının bir komitesi olarak kurulan Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi (UNSCEAR) ve 1957 yılında Birleşmiş Milletler bünyesinde kurulan Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA) örnek verilebilir. Ülkemizde ise

bu faaliyetler 1956 yılında kurulan Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) tarafından yürütülmektedir [2].

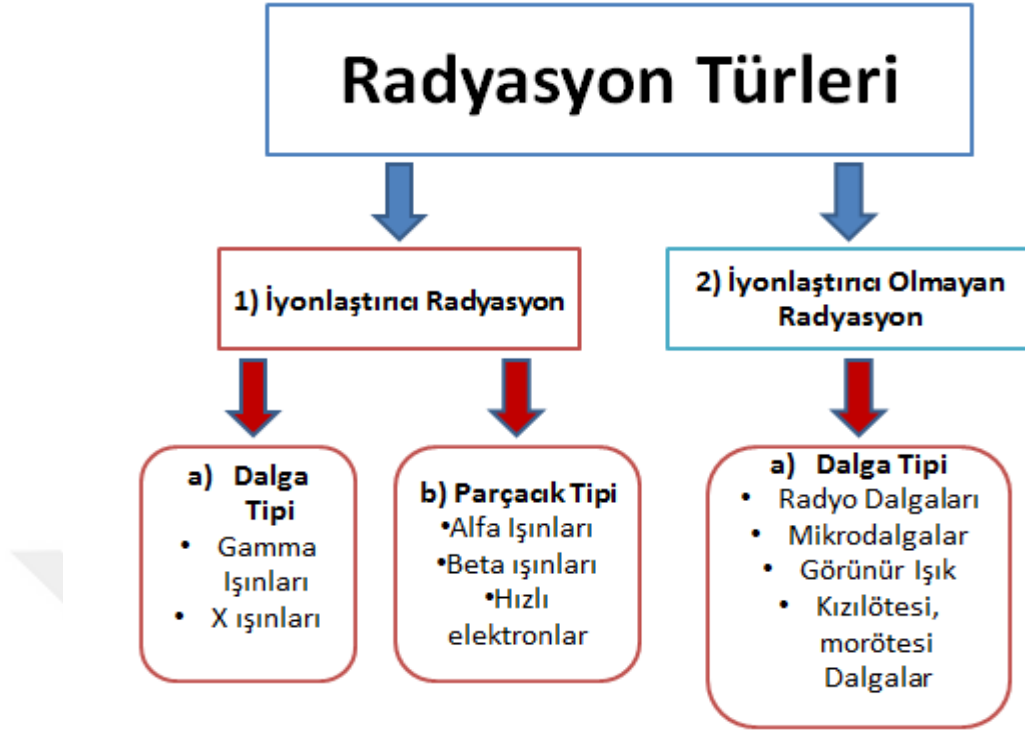
1.3. Radyasyon Çeşitleri

Radyasyon ortamda parçacık veya dalga tipi olarak yayılır. Parçacık tipli radyasyon yüksek hızla hareket eden ve belli bir kütleyle sahip yüksek enerjili radyasyonlardır. Dalga tipi radyasyonlar ise belli bir enerjiye sahip ancak kütsüz radyasyonlardır. Dalga tipi radyasyonlar dalga boyları ve buna bağlı frekansları ile enerjilerine göre Şekil 1.1 ' de olduğu gibi elektromanyetik spektrumda sınıflandırılırlar.



Şekil 1.1. Elektromanyetik dalga spektrumu

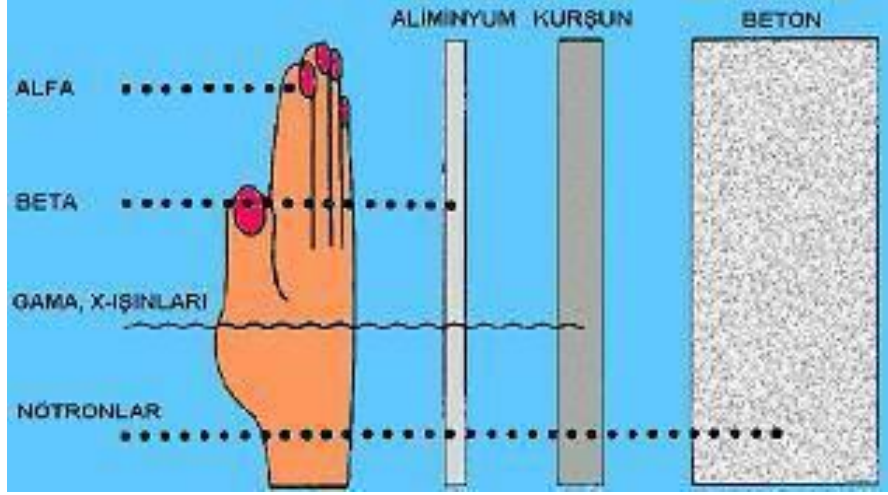
Radyasyonun madde üzerin meydana getirdiği etkiye göre iyonlaştırıcı radyasyon ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olarak Şekil 1.2'deki gibi iki sınıfta inceleyebiliriz [3].



Şekil 1.2. Radyasyon türlerinin sınıflandırılması

1.3.1. İyonlaştırıcı Radyasyon

Etkileştiği maddenin atomundan elektron kopararak yüklü iyonlar meydana getiren ve elektromanyetik(dalga) ya da parçacık şeklindeki radyasyondur. Bu tür radyasyonlar önlem alınmazsa bütün canlılar üzerinde zararlı etkiler oluşturabilecek radyasyondur [4]. İyonlaştırıcı radyasyonun türlerinin giriciliği Şekil 1.3'de gösterilmiştir [5].



Şekil 1.3. İyonlaştırıcı radyasyonun giriciliği

İyonlaştırıcı radyasyonları elektromanyetik radyasyonlar ve parçacıklı radyasyonlar olmak üzere Şekil 1.2'deki gibi iki sınıfta inceleyebiliriz.

1.3.1.1. Elektromanyetik radyasyonlar

İyonlaştırıcı etkiye sahip Gama(γ) ve X ışınları elektromanyetik radyasyon olarak adlandırılır. Bu tür radyasyonlar küçük dalga boylu yüksek enerjili radyasyonlardır. Kütleli olduklarından nüfuz etme özelliği yüksektir.

Gama(γ) ışınları:

Gamanın kaynağı atom çekirdeğidir. Enerji seviyelerindeki farklılıktan dolayı kararsız olan atom çekirdeği yüksek enerjiden düşük enerjiye geçerken alfa ve beta parçacığı yayınladıktan sonra genelde hemen kararlı duruma geçemez uyarılmış durumda kalabilir. Çekirdekte kalan fazla enerji bir foton veya elektromanyetik dalga halinde yayınlanır ve gama ışını adını alır. Gama ışınlarının elektriksel yükleri yoktur enerjileri yüksek dalga boyları kısadır. Menzilleri uzun olup, maddeye nüfuz etme yetenekleri fazla olduğundan zırhlama yapılması zorunludur. Bundan dolayı çelik, kurşun veya kalın beton tabakası gibi yoğunluğu fazla olan malzemelerle zırhlama yapılabilir. Gama radyasyonu herhangi bir şekilde solunum ya da sindirim yolu ile alınmasa bile doğrudan maruz kalındığında iç organlara ciddi zararlar verebilir. Gama ışınımından sonra proton sayısı ve kütle numarası değişmediği için atom yine aynı kalır yani başka bir atoma dönüşmez [6].



X ışınları:

1895 yılında Alman fizikçi Wilhelm Conrad Röntgen tarafından keşfedilmiştir. X ışınlarına Röntgen ışınları da denir. X ışınları da gama ışınları gibi elektromanyetik ve yüksek enerjili radyasyondur. Fakat X ışınları atomların yörüngeleri arasındaki elektron geçişlerden ortaya çıkan enerji fazlalığından meydana gelir. X ışınları yapay olarak üretilebilmektedir ve bu sayede tıpta teşhis ve tedavi amaçlı yaygın olarak kullanılır.

1.3.1.2. Parçacıklı radyasyonlar

Parçacıklı radyasyonlar, yüksek hızlı ve yüksek enerjili belli bir kütleyle sahip radyasyonlardır. Alfa(α), Beta (β) ve Serbest Nötronlar parçacıklı radyasyonlardır.

Alfa (α) parçacıkları:

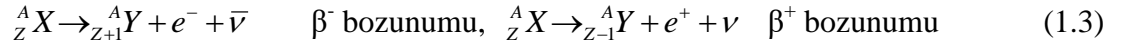
Alfa parçacığı iki proton ve iki nötrondan oluşmuş bir helyum çekirdeğidir. Elektronları olmadığı için pozitif yüklüdür. Büyük kütle numaralı kararsız atomlar kararlı hale gelebilmek için alfa parçacıkları yayınlamaları. Alfa yayınlayan bir atom kendisinden daha küçük bir elemente dönüşür.



Atomun alfa yayınlaması ile çekirdeğinin fiziksel ve kimyasal özelliği değişir. Alfa parçacıkları madde içerisinden geçerken iyonlaşma meydana getirerek tamamen soğurular ve enerjilerini kaybederler. Alfa parçacıklarını çok ince kalınlıktaki maddelerle durdurmak mümkündür. Bu diğer radyasyonlara göre büyük elektrik yüklerinden dolayıdır. Alfa parçacıklarının ortamdaki menzili çok kısadır bu yüzden dış radyasyon tehlikesi yaratmazlar ancak sindirim, solunum veya başka yollarla vücuda girerse tehlike oluşturur [6].

Beta (β) parçacıkları:

Atom çekirdeğinin parçalanmasıyla oluşan pozitif ya da negatif yüklü elektronlardır. Alfa parçacıklarına göre daha hafif olduklarından giriciliği yüksektir ve alfaya göre daha hızlı hareket ederler. Beta parçacıkları madde içerisinde geçerken iyonlaşma meydana getirir ve bu tür radyasyonlardan korunmak için ince bir alüminyum levha yeterli olacaktır. [6].



Serbest nötronlar:

Atomun çekirdeğini meydana getiren iki temel tanecikten biridir. Bunlar çekirdeğin parçalanması ile oluşan yüksüz parçacıklardır. Nötron 1932 yılında James Chadwick tarafından keşfedilmiştir. Nötronlar yüksüz olduklarından bütün maddelere kolayca nüfus edebilirler. Doğrudan iyonlaştırıcı değildirler ancak girdikleri maddelerin protonları ile etkileşimleri sonucu α , β , gama ve X ışınları gibi ışınımlar oluşturarak iyonlaşmaya neden olurlar. Nötronlar giriciliği çok yüksek parçacıklardır ve sadece kalın beton blokları ile durdurulabilirler. [7]

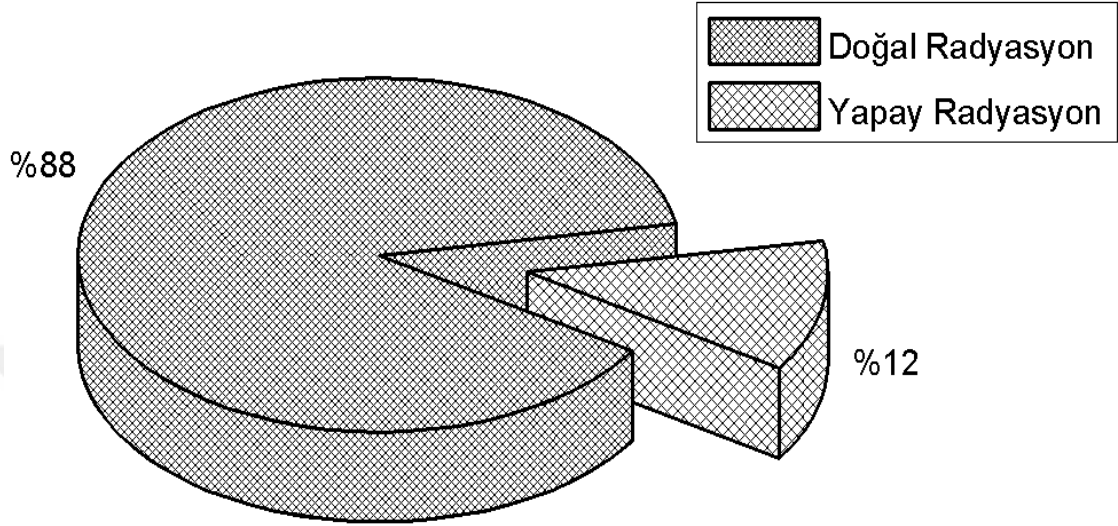
1.3.2. İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon

Enerjileri düşük olduğundan iyonlaştırıcı etkiye sahip değildirler. Elektromanyetik spektrumda Şekil 1.1’de görülen radyo dalgaları, mikrodalgalar, kızıl ötesi ışık, mor ötesi ışık (ultraviyole) ve görünür ışık iyonlaştırıcı olmayan radyasyondur. Elektrik enerjisi ile çalışan her türlü araç ve gereç çevresinde bir elektromanyetik alan oluşturur [6].

1.4. Radyasyon Kaynakları

Dünyamızda yaşayan tüm canlılar, dünyanın oluşumundan itibaren mevcut olan doğal radyoaktif elementlerden yayılan radyasyonla ve dünya dışından gelen kozmik radyasyonla sürekli ışınlanmakta ve radyasyonla iç içe yaşamaktadır. Canlıların maruz kaldığı radyasyonu doğal ve yapay kaynaklar olmak üzere iki sınıfta

inceleyebiliriz. Radyasyonun kaynağının % 88'ini doğal kaynaklar %12'sini yapay kaynaklar oluşturmaktadır. Radyasyon kaynaklarının dağılımı Grafik 1.1'de verilmektedir [7].

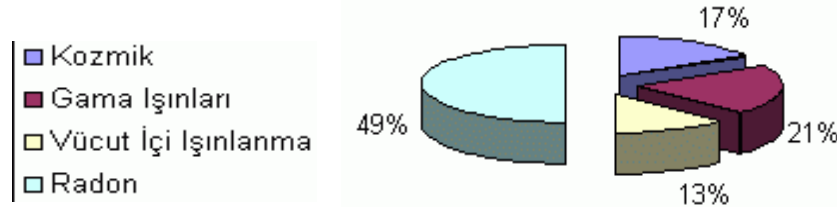


Grafik 1.1. Doğal ve yapay radyasyon kaynaklarının küresel radyasyon dozuna oransal katkıları

1.4.1. Doğal Radyasyon Kaynakları

Doğal olarak meydana gelen üç çeşit radyasyon vardır. En eski kaynak kozmik radyasyon 13-14 milyar yıl önce evrenin oluşumuyla ortaya çıkmıştır. İkincisi 4-5 milyar yıl önce dünyanın oluşumundan itibaren yer kabuğunda bulunan radyonüklitlerden kaynaklanan radyasyonlardır. Üçüncü radyasyon kaynağı kozmik radyasyonun atmosferle etkileşmesi sonucu meydana gelen radyonüklitlerden kaynaklanan radyasyonlardır. Bu kaynaklardan insanlar harici radyasyona ve bu radyasyonu içeren radyonüklitlerin solunum, sindirim ve başka yollarla vücuda girmesi ile dâhili radyasyona maruz kalır [8]. Ayrıca insan vücudunda doğal olarak bulunan ^{40}K ve ^{14}C gibi radyoaktif izotoplardan dolayı da sürekli olarak radyasyona maruz kalırız ve bunun büyük çoğunluğunu ^{40}K oluşturur. Canlıların maruz kaldığı doğal radyasyon kaynaklarının dağılımı Grafik 1.2'de verilmiştir. Tablo 1.1'de gösterildiği gibi doğal yolla alınan radyasyonun ortalama yıllık etkin doz oranı 2,4

mSv düzeyindedir. Doğal radyasyonu; kozmik radyasyon ve karasal radyasyon olarak iki aşamada inceleyebiliriz [9].



Grafik 1.2. Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozlarının oransal değeri

Tablo 1.1. Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan ortalama radyasyon doz değerleri

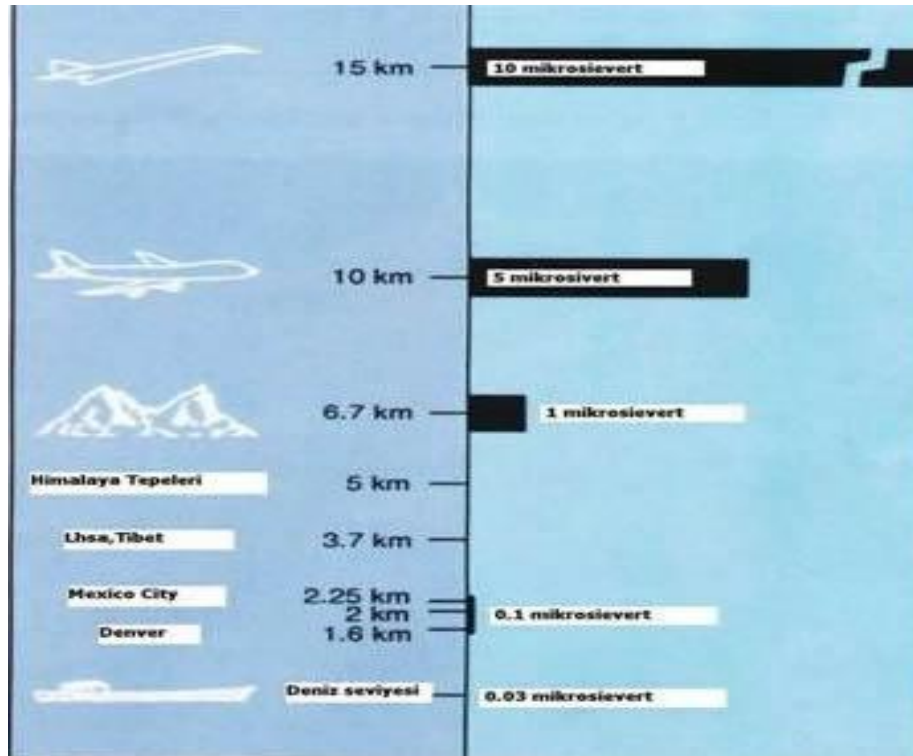
Işınlanma Kaynağı	Yıllık Etkin Doz Değeri (mSv)	
		Değişim Aralığı
Ortalama		
KOZMİK RADYASYON		
• Foton bileşeni	0,28	
• Nötron bileşeni	0,10	
KOZMOJENİK RADYOİZOTOPLAR	0,01	
Toplam	0,39	0,3 – 1,0
YERYÜZÜ KAYNAKLI DIŞ IŞINLANMA		
• Bina dışı	0,07	
• Bina içi	0,41	
Toplam	0,48	0,3 – 0,6
SOLUNUM YOLU İLE IŞINLANMA		
• Uranyum ve Toryum serileri	0,006	
• Radon (Rn -222)	1,15	
• Toron (Rn -220)	0,10	
Toplam	1,26	0,2 – 10
BESLENME YOLU İLE IŞINLANMA		
• K-40	0,17	
• Uranyum ve Toryum serileri	0,12	
Toplam	0,29	0,2 – 0,8
GENEL TOPLAM	2,4	1 – 10

1.4.1.1. Kozmik radyasyon

Kozmik radyasyon, dünya dışından gelen yüksek enerjili parçacıklar dünyayı sürekli bombardıman etmektedirler. Bir kaynağı güneş olup alfa ve proton yayınlar. Diğer

kaynak güneş sisteminin dışından gelen elektron ve protonlardan oluşan galaktik radyasyondur.

Yüksek enerjili parçacıklar atmosfer ile yoğun etkileşimde bulunurlar. Birçoğu atmosferde tutulur ve bir kısmı da yeryüzüne ulaşır. Yeryüzündeki kozmik radyasyon dozunun çoğunluğu müonlar ve elektronlardan meydana gelir [10]. Büyük çoğunluğu yüklü parçacıklardan meydana gelen kozmik radyasyon atmosfere ulaştığında dünyanın manyetik alanının etkisine girer ve bu nedenle ekvatordan kutuplara gidildikçe kozmik radyasyonun yoğunluğu artar ve insanların aldığı radyasyon enlem arttıkça alınan radyasyon düzeyi de artar. Atmosfer radyasyonun tam olmasa da büyük çoğunluğunu zırhlar. Bu nedenle yükseklik ve doz orantılıdır. Yükseklik arttıkça alınan doz miktarı da artacaktır. Deniz seviyesinde yaşayan bir insan bir dağın tepesinde yaşayan ya da havada giden uçaktaki bir yolcuya göre yükseklik farkının minimum olmasından dolayı daha az kozmik radyasyona maruz kalır. Bir pilot deniz seviyesinde çalışan birine göre 20 kat daha fazla radyasyona maruz kalır. Şekil 1.4'de kozmik ışınlardan alınan radyasyonun yüksekliğe bağlı değişimi verilmektedir [9].



Şekil 1.4. Kozmik ışınlardan bir saatte alınan radyasyon dozunun yüksekliğe göre değişimi

Kozmik radyasyon atmosfer ile etkileşmesi sonucu birçok kozmojenik radyonüklit meydana gelir. Bunlardan kozmik nötronlar ^{14}N ile reaksiyona girerek ^{14}C üretir. ^{14}C radyoaktif bir izotoptur ve canlılar tarafından vücuda alınarak iç ışınlanmaya neden olur. Uzun ömürlü (5730 yıl) radyonüklit olan ^{14}C organik tarihi eserlerin yaş tayinini yapmakta önemli bir araç olarak kullanılır. Kozmik radyasyonun yıllık etkin doğal radyasyon dozuna katkısı yaklaşık 0,4 mSv'dir [11].

1.4.1.2. Karasal radyasyon

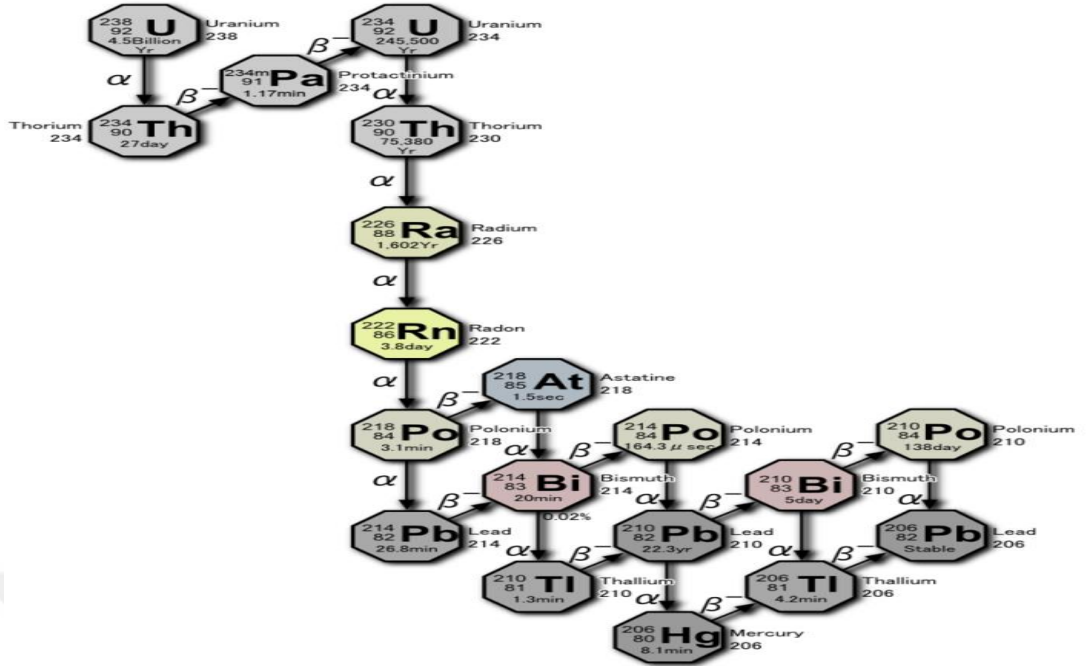
Karasal radyasyonlar $4,6 \times 10^9$ yıl önce dünyanın oluşumundan itibaren yer kabuğunda bulunan radyonüklitlerden kaynaklanan radyasyondur. Karasal radyoizotopların yarı ömürleri çok uzundur ve bozunuma devam etmektedirler. ^{40}K hariç bütün doğal radyoaktif izotoplar ^{235}U , ^{238}U ve ^{232}Th doğal radyoaktif bozunum serilerinin bir ürünüdür.

- Uranyum serisi ana çekirdeği ^{238}U (Şekil 1.5)
- Toryum serisi ana çekirdeği ^{232}Th (Şekil 1.6)
- Aktinyum serisi ana çekirdeği ^{235}U (Şekil 1.7)

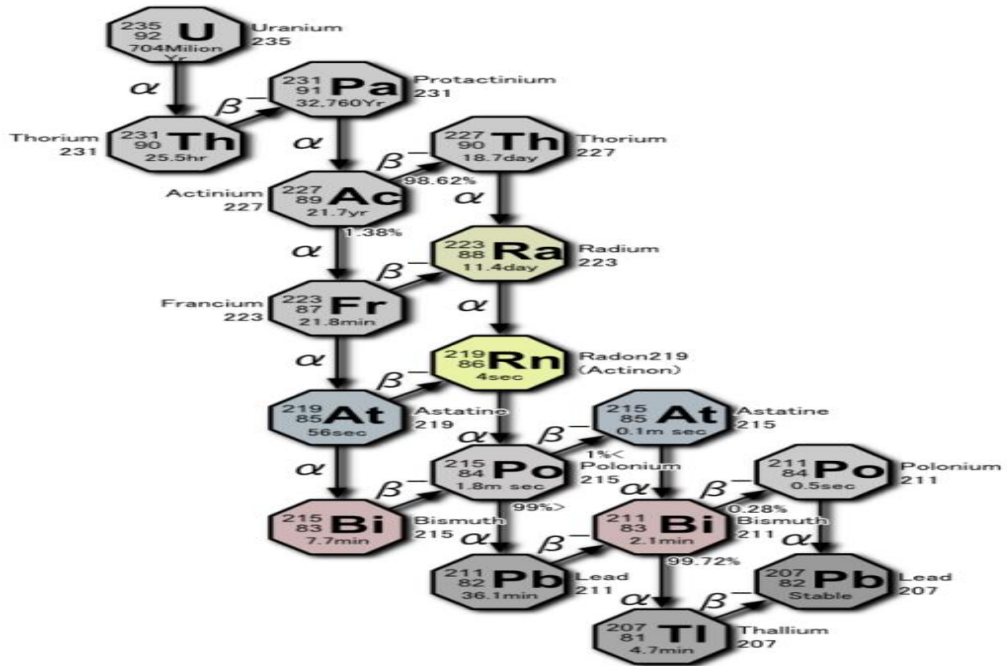
Ayrıca dördüncü bir aile olan Neptünyum serisi yarı ömrü dünyanın yaşına kıyasla çok küçük olduğu için bu seri tükenmiştir. Ailenin bilinen tek elementi ^{209}Bi 'dir.

Uranyum:

Doğada serbest olarak bulunmaz ancak çeşitli elementlerle birleşerek uranyum minerallerini meydana getirir. Uranyum, kaya ve toprak katmanları boyunca düşük konsantrasyonlarda dağılmıştır. Uranyumun doğada ^{230}U , ^{234}U , ^{235}U ve ^{238}U olmak dört izotopu bulunmaktadır. Bunlardan ^{238}U 'in bulunma oranı %99,28'dir ve genellikle ^{234}U ile dengededir [12]. ^{238}U , uranyum serisinin ana elementidir (Şekil 1.5). Aktinyum serisinin ana çekirdeği ^{235}U 'dir (Şekil 1.6). Uranyum serisinin gama spektrumu farklı enerjilerde birçok gama ışını içermesinden dolayı komplekstir ve nicel ölçümler yapabilmek için karakteristik bir piki yoktur. Analizlerde genellikle ^{214}Bi 'ün 1,76 MeV'lik piki kullanılır [13].



Şekil 1.5. Uranyum Serisi

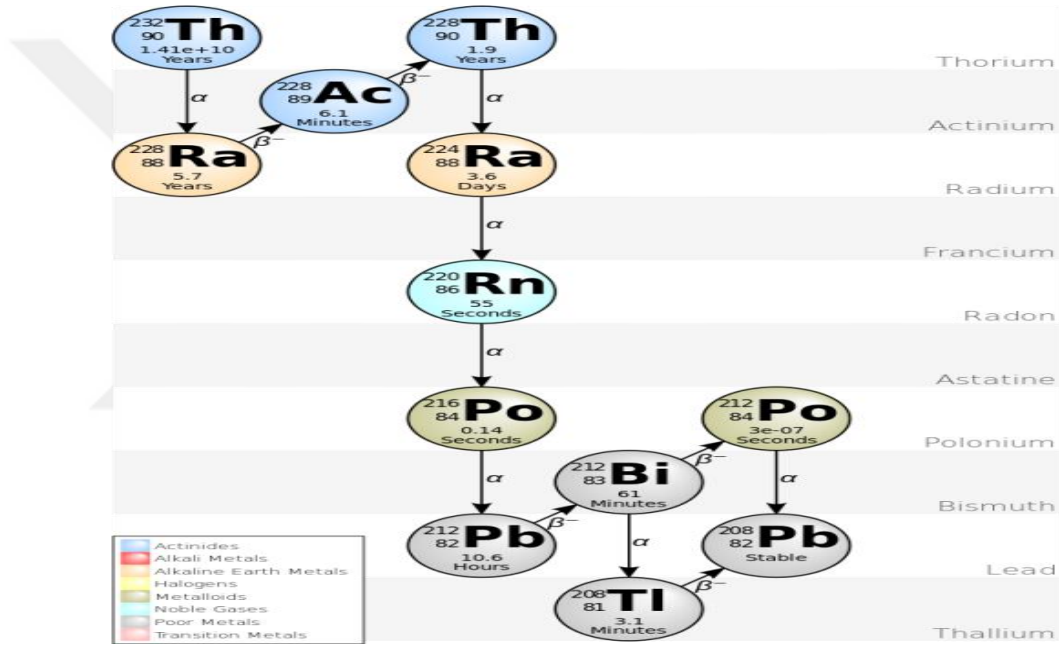


Şekil 1.6. Aktinyum Serisi

Toryum:

Toryum 1828 yılında Jöns Jacob Berzelius tarafından keşfedilmiştir. Uranyum gibi toryumda doğada serbest bulunmaz ve 60 civarında mineral yapısı içerisinde yer almaktadır. Toryum serisinin ana çekirdeği ^{232}Th 'dir ve yarı ömrü $1,41 \times 10^{10}$ yıldır. Serinin son ürünü kararlı ^{208}Pb 'dir (Şekil 1.7).

Doğal kaynakların jeolojik ve tahlilleri amacıyla 1,461 MeV (K), 1,764 MeV (U) ve 2,615 MeV (Th) karakteristik bu üç gama enerjisi kullanılır.



Şekil 1.7. Toryum Serisi

Potasyum:

^{40}K , potasyumun doğal radyoizotopu olup yer kabuğunun %2,6'sını oluşturur ve doğada en bol bulunan radyoaktif izotoptur. Diğer izotoplar ^{39}K ve ^{41}K 'dir. Potasyum toprağın önemli bir bileşenidir. Tüm bitki ve hayvan dokularında bulunur. ^{40}K çevremiz için iç ve dış radyasyon tehlikesi oluşturur ve en büyük doğal radyoaktivite kaynağıdır. İnsan vücudunun ortalama %0,2'si potasyumdur. 1 gr potasyumun 31 Bq aktivitesi vardır.

Radyum:

1898 yılında Marie ve Pierre Curie tarafından bulunmuştur. Radyum alfa, beta ve gama yayınlıdır. Berilyum ile karıştırıldığında nötron üretir. Toprakta, kayalarda, yapı malzemelerinde, su ve gıda maddelerinde bulunur. 10 ton uranyumda 1 gram radyum bulunur. Uranyumun radyoaktif parçalanması sonucu ve radyum klorür tuzunun elektrolizi ile elde edilebilir. Atom numarası 88 ve kütle numarası 213'den 230'a kadar yarı ömrü ise 10^{-3} saniyeden 1620 yıla kadar değişen doğal ve yapay 14 radyoaktif izotopu olduğu bilinmektedir. ^{223}Ra , ^{224}Ra , ^{226}Ra ve ^{228}Ra radyumun doğal izotoplarıdır [12].

Radon:

1900 yılında Friedrich Ernst Dorn tarafından keşfedilmiştir. Periyodik cetvelde 86. sırada bulunan asal gaz sınıfının en ağır ve tek doğal radyoaktif elementidir. Radon; renksiz, kokusuz ve tatsızdır. Kaya, toprak ve sudaki doğal uranyumun radyoaktif bozunumu sonucu oluşur. Bütün doğal malzemelerde bulunabilir. Tüm yüzey, kaya ve toprak parçaları ile yapı malzemelerinden ortama salınır.

Radonun; ^{222}Rn (Radon), ^{220}Rn (Toron) ve ^{219}Rn (Aktinon) olmak üzere üç doğal izotopu vardır. Üç radon izotopu arasında en uzun yarı ömürlü ^{222}Rn 'dir (3,85 gün). ^{222}Rn 'nin yarı ömrünün diğer izotoplardan uzun olmasından dolayı atmosferde daha çok bulunur. Radon, toprak, kaya, yeraltı ve yüzey sularında bulunur ve bu yolla atmosfere yayılır [14].

İnsanların maruz kaldığı doğal radyasyon kaynaklarının yarıya yakını radon gazından meydana gelir. Radon gazı yerden atmosfere dağıldığından açık ortamdaki derişimi kapalı ortamdaki derişimin den daha düşüktür. Özellikle binalarda zemindeki toprak ve kayalardan salınan radon zemin çatlakları, asma kat boşlukları, tesisat boşlukları, duvar arası boşluklardan girmekte ve ayrıca yapı malzemelerinde bulunan radon bina içi konsantrasyonu arttırmaktadır. Bu yüzden binaların havalandırmasına dikkat edilerek bu etkiyi azaltabiliriz ayrıca binalardaki radon gazının kontrolü için ülkeler ve uluslararası kuruluşlar limit değerler belirlemişlerdir. Uluslararası Atom Enerji

Ajansı (IAEA) bu değeri 200-600 Bq/m³ olarak belirlemiş ülkemizde ise Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) bu değeri 400 Bq/m³ olarak belirlemiştir [1,9].

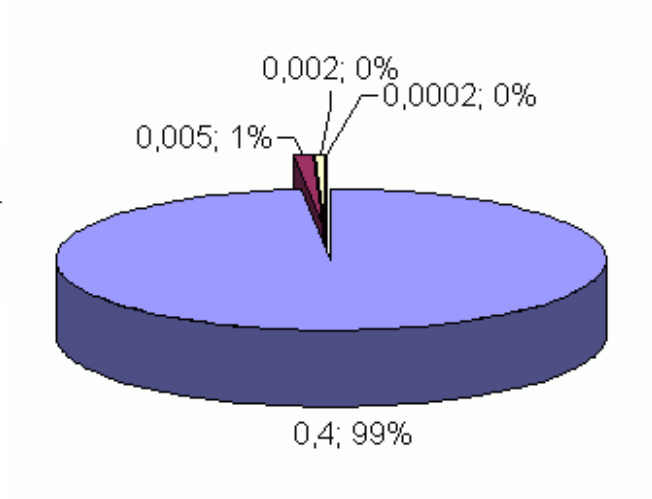
1.4.2. Yapay Radyasyon Kaynakları

Yapay radyasyon kaynakları, maruz kalınan radyasyonun yaklaşık %12'sini oluşturur (Grafik 1.1). İnsanoğlu doğal radyasyon kaynaklarının yanında düşükte olsa yapay radyasyona maruz kalır. Gelişen teknoloji ile yapay radyasyonların da süreklilik gösterdiğini söyleyebiliriz. Çünkü yapay kaynaklar birçok işin daha kolay, daha hızlı daha ucuz ve daha basit yapılmasına olanak sağlar ve bunların alternatifi yok gibidir. Yapay kaynaklardan alınan radyasyon bir ölçüde kontrol altına alınabilir. Yapay radyasyon kaynakları olarak;

- Tıbbi Uygulamalar
- Tanısal Radyoloji
- Nükleer Tıp
- Radyoterapi
- Endüstriyel Uygulamalar
- Nükleer Serpinti
- Nükleer Güç Santralleri
- Tüketici Ürünleri

gösterilebilir. Yapay radyasyon kaynakları ve doz oranları Grafik 1.3'deki gibidir [9].

■ Tıbbi
■ Nükleer Denemeler
■ Çernobil
■ Nükleer Güç



Grafik1.3. Dünya genelinde yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozları ve oransal değerleri

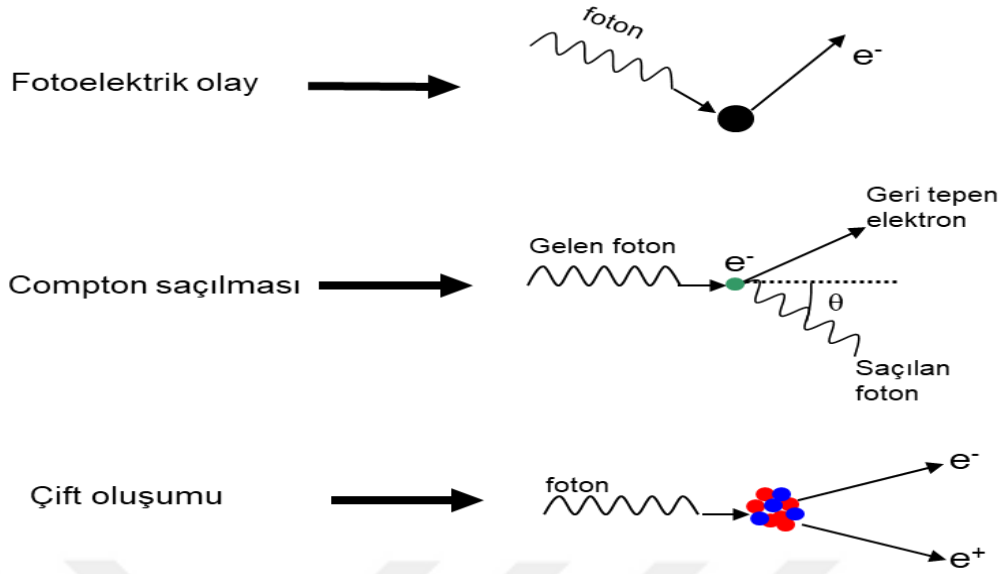
1.5. Gama Işınlarnın Madde ile Etkileşimi

Gama ve X ışını gibi elektromanyetik radyasyonlar foton olarak adlandırılmaktadır. Fotonlar ışık hızıyla ($c=3 \times 10^8$ m/s) hareket eden yüksek enerjili radyasyonlardır. Fotonlar yüksüz ve kütesizdirler yüksek enerjili olduklarından madde ile etkileşime girebilirler. Bir fotonun dalga özelliği düşük enerjili ölçümlerde kullanılır. Diğer tüm durumlarda, fotonların tespiti parçacıklar gibi etkileşimlerine dayanır [15].

Gama ışınlarının madde ile etkileşerek enerjilerini kaybettikleri birçok olay olmasına rağmen radyasyon ölçümlerinde temel olan üç tanesi büyük rol oynar. Bunlar;

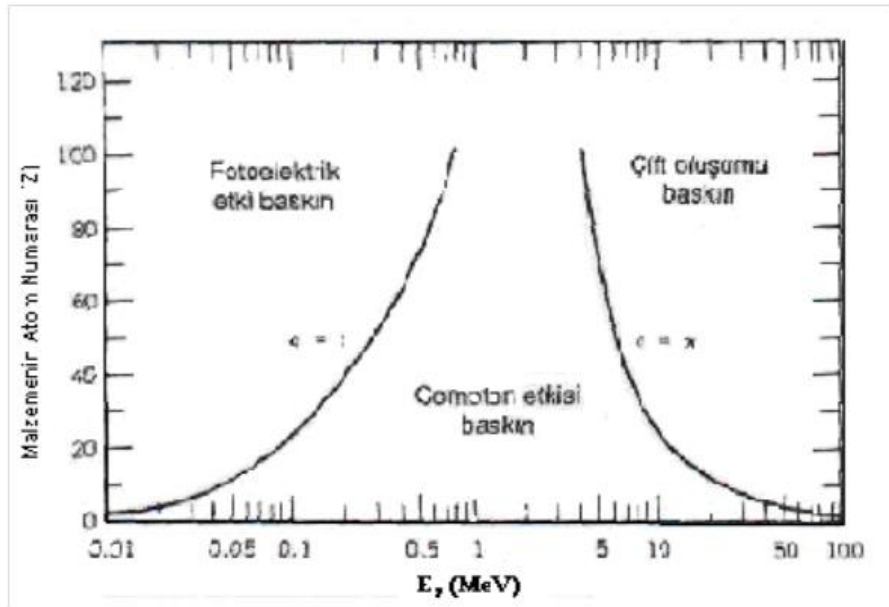
- Fotoelektrik Olay
- Compton Saçılması
- Çift Oluşumu

etkileşimleridir (Şekil 1.8).



Şekil 1.8. Fotonun madde ile etkileşmesi

Bu olayların hepsinde gama ışını enerjisini etkileştiği ortamın elektronlarına transfer eder. Böylece, sadece gama ışınları etkileşmeleri ile oluşturulan bu elektronlar gelen gamaların doğası hakkında bize bilgi verir (Şekil 1.9).



Şekil 1.9. Fotoelektrik olay, compton saçılması ve çift oluşumunun atom numarası ile enerjiye bağlı etki alanları

Şekilde 1.9'da görüldüğü gibi düşük enerjili ve büyük çekirdek yüklü atomlarda fotoelektrik olay baskındır. Çift oluşumu yüksek enerjili fotonlarda (ortalama olarak

10 MeV'den büyük enerjilerde) ve büyük çekirdek yüklü atomlarda baskındır. Compton saçılması bütün çekirdek yüklü atomlar için mümkün olup orta enerjilerde (10 keV-10 MeV arası enerjilerde) baskındır [16].

1.5.1. Fotoelektrik Olay

Bu olay ilk defa 1887 yılında H. Hertz tarafından gözlemlenmiştir. Ancak bu olayı ilk olarak 1905 yılında Albert Einstein açıklamıştır. Fotonlar kullanılarak metal yüzeylerden elektron sökülmesi olayıdır. Fotoelektrik olay sırasında gama ışınının bütün enerjisi kaybolur fakat bu enerjinin tamamı elektronlara kinetik enerji olarak aktarılmaz ve bir kısmı elektronu uyarmak için kullanılır. Bu elektronlar foto elektron olarak adlandırılır. Foto elektronların kinetik enerjisi (T_e), gelen gama ışınının enerjisi (E_γ) elektronu uyarmak için gerekli enerjinin çıkarılması ile elde edilir.

$$T_e = E_\gamma - E_b \quad (1.4)$$

Fotoelektrik olay sonucu serbest hale gelen foto elektronlardan boşalan yerleri elektronların doldurmasıyla birlikte karakteristik X ışınları ya da auger elektronları açığa çıkar. Açığa çıkan bu X ışınlarının ikincil elektronlar tarafından soğrularak kinetik enerjiye dönüşmeleri bir anlamda kayıp enerjiyi engellemek olacaktır.

1.5.2. Compton Saçılması

Compton saçılması serbest bir elektron ile yüksek enerjili bir fotonun çarpışması olayıdır. Elektron madde içinde bağlı durumdadır fakat gelen fotonun enerjisi elektronun bağlanma enerjisinden büyük ise bağlanma enerjisi göz ardı edilerek elektronun serbest olduğu düşünülür.

Elektron momentumun korunumu gereği gelen fotonun bütün enerjisini soğuramaz ancak fotonun yönünü ve enerjisini değiştirir. Yani gelen foton enerjisinin bir kısmını elektrona aktarır ve saçılmaya uğrayarak yoluna devam eder [15,17]. Gama ışınının, enerjisinin (E_γ) düşmesiyle (E'_γ) bir açıyla saçılabilir ve bu saçılmayla ortaya çıkan enerji kaybı aşağıdaki denklemde verilmiştir.

$$T_e = E_\gamma - E'_\gamma \quad (1.5)$$

Bu enerji kaybı elektronlara kinetik enerji olarak aktarılır. Saçılan gama ışınının enerjisi saçılmadan sonra daha azdır ve kristal ile tekrar etkileşime girebilir veya etkileşme yapmadan terk edebilir. Ayrıca gama ışını bir ya da birden fazla Compton saçılması yaşayabilir [15,18]. Elektronun kinetik enerjisi; enerji ve çizgisel momentumun korunumu kullanılarak aşağıdaki denklemde gösterildiği gibi hesaplanabilir.

$$T_e = E_\gamma - E'_\gamma = E^2_\gamma (1 - \cos Q) / mc^2 + E_\gamma (1 - \cos Q) \quad (1.6)$$

m = Elektronun durgun kütlesi ($9,11 \times 10^{-31}$ kg)

c = Işığın boşluktaki hızı (3×10^8 m/s)

1.5.3. Çift Oluşumu

Fotonların enerjilerini kaybettikleri üçüncü önemli olay bir fotonun elektron-pozitron çiftine dönüşmesi olayıdır. Bu olay için gerekli eşik enerjisi 1,02 MeV yani $2mc^2$ 'dir. Enerjisi 1,02 MeV'den büyük olan bir foton yüksek atom numaralı bir levhaya çarpıtıldığında foton yok olmakta ve onun yerine bir elektron-pozitron çifti oluşmaktadır. Eğer bir sis odasında çift oluşum gözlenirse ortama manyetik alan uygulandığında elektronlar pozitronlar eşit büyüklükte ve zıt yönlü kavisler yaparak saparlar [19].

Gelen fotonun enerjisi elektron-pozitron oluşumu için gerekli olan enerjiden fazla ise fazla enerji elektron-pozitron çiftinin kinetik enerjisi olur ve aşağıda denklemde gösterildiği gibi hesaplanabilir.

$$E_e^- + E_e^+ = h\nu - 2m_e c^2 \quad (1.7)$$

E_e^- = Elektronun kinetik enerjisi

E_e^+ = Pozitronun kinetik enerjisi

h = Planck sabiti ($6,62 \times 10^{-34}$ j.s)

$v =$ Işığın frekansı s^{-1}

$m_e =$ Elektronun durgun kütlesi ($9,11 \times 10^{-31}$ kg)

$c =$ Işığın boşluktaki hızı (3×10^8 m/s)

1.6. Radyasyon Birimleri

Hedef malzemenin birim kütlesi tarafından belli bir sürede soğrulan radyasyonun enerjisine radyasyonun dozu denir. Radyasyonun insan vücudunda oluşturacağı etki; alınış şekli (iç veya dış ışınlanma), radyasyonun çeşidi, süresi ve radyasyonun şiddetine (aktivitesine) bağlı olarak değişir. Radyasyonun cinsinin ve soğrulan dozunun bilinmesinin meydana gelebilecek etkiler bakımından bize bilgi verir.

Uluslararası Radyasyon Birimleri Komitesi (ICRU);

- Aktivite Birimi = Curie (Ci)
- Işınlanma Birimi = Röntgen (R)
- Soğrulan Doz Birimi = Rad
- Eşdeğer Doz Birimi = Rem

Radyasyon birimlerini yukardaki gibi tanımlamıştır. Bu birimler 1986 yılında yerini tüm dünyada birimlerin aynı olması için oluşturulan Uluslararası Birimler Sistemi (SI) kullanılmıştır.

Uluslararası Birimler Sistemi (SI);

- Aktivite Birimi = Becquerel (Bq)
- Işınlanma Birimi = Coulomb/Kilogram
- Soğrulan Doz Birimi = Gray (Gy)
- Eşdeğer Doz Birimi = Sievert (Sv)

olarak belirlemiştir [19]. Radyasyonun eski ve yeni birimleri arasındaki ilişki Şekil 1.10'da verilmiştir.

Büyükölük	SI Birimi Ve Sembölü	Eski Birimler Ve Sembölü	Dönüşüm Faktörü
Aktivite	Becquerel(Bq)	Curie (Ci)	1Ci = 3.7×10 ¹⁰ Bq
Işınlama	Röntgen(C/kg)	Röntgen (R)	1 C/kg = 3876 R
Absorblanan Doz	Gray (Gy) (J/kg)	Rad (rad)	1 Gy = 100 rad
Eşdeğer Doz	Sievert (Sv)	Rem (rem)	1 Sv = 100 rem

Şekil 1.10. Radyasyonun eski ve yeni birimleri arasındaki ilişki

1.6.1. Aktivite Birimi (Bq)

Birim zamanda bozulan çekirdeklerin sayısı aktivite olarak tanımlanır. Saniyede $3,7 \times 10^{10}$ bozunma meydana getiren bir radyoaktif madde miktarı eski birime göre 1 Curie(Ci) olarak tanımlanır. Aktivitenin SI birimi Becquerel'dir. Saniyede bir bozunma meydana getiren radyoaktif madde miktarı 1 Bequerel (Bq) olarak tanımlanır.

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ Bozunma/saniye}$$

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

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

1.6.2. Işınlanma Birimi(C/kg)

Işınlanma birimi X ve gama ışınlarının havayı iyonlaştırma ölçüsü olarak tanımlanır. Eski sistemle ışınlanma birimi röntgen, normal hava koşullarında 0°C ve 1 atm basınçta havanın 1 kilogramında $2,58 \times 10^{-4}$ coulomb'luk elektrik yükü değerinde iyon

çifti oluşturan X veya γ radyasyonu miktarı olarak tanımlanmıştır. Işınlanmanın SI birimi olarak coulomb/kilogram belirlenmiştir [21].

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

$$1 \text{ C/kg} = 3876 \text{ R}$$

1.6.3. Soğrulmuş Doz Birimi (Gy)

Soğrulmuş doz, bütün ortamlar ve her çeşitteki iyonlaştırıcı radyasyonlar için ifade edilmiştir. Soğrulmuş doz, ışınlanan maddenin birim kütlesi tarafından soğrulan enerjidir. SI birim sisteminde soğrulan doz birimi Gray(Gy)'dir. 1 kilogramlık maddeye 1 J'lük enerji veren radyasyon 1 Gray olarak adlandırılmıştır. Soğrulan dozun eski birimi Rad'dır. Herhangi bir madde gramı başına 100 erg'lik enerji soğurursa buna da 1 Rad denir.

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/Kg}$$

$$1 \text{ Gy} = 100 \text{ Rad}$$

$$1 \text{ Rad} = 10^{-2} \text{ J/Kg} = 100 \text{ erg/g}$$

1.6.4. Eşdeğer Doz Birimi (Sv)

Çeşitli radyasyon tiplerinin biyolojik maddeler ile etkileşim yolları aynı değildir. Eşit miktarda soğrulmuş dozlar aynı biyolojik etkiye neden olmayabilir. Bu nedenle farklı radyasyon tiplerinin, bir doku ya da organ üzerinde oluşturacağı biyolojik etkiyi inceleyebilmek için eşdeğer doz biriminin kullanılmasına ihtiyaç duyulmuştur. Eşdeğer dozun eski birimi Rem, yeni birimi J/Kg cinsinden ifade edilir ve özel adı Sievert (Sv)'dir.

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

$$1 \text{ Rem} = 10^{-2} \text{ Sv}$$

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

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Çalışma Yapılan Bölgenin Özellikleri

Kastamonu 170 km'lik sahil şeridi ile Karadeniz'e en uzun sahile sahip şehrimizdir. Bu sahil şeridi boyunca batıdan doğuya sırasıyla; Cide, Doğanyurt, İnebolu, Abana, Bozkurt ve Çatalzeytin ilçeleri yer almaktadır. Kastamonu sahili, yeşil ve mavinin bulunduğu ve kıyı şeridi boyunca doğal plaj, koy, liman ve dalış için elverişli yerlerin bulunduğu bir bölgeye sahiptir. Karadeniz'e paralel uzanan dağlar nedeniyle ulaşım zordur. Bölgede orman örtüsü ve bitki çeşitliliği oldukça fazladır. Kastamonu tarihi ve kültürel yapısı ile her yıl binlerce yerli ve yabancı turisti ağırlamaktadır [22].

Kastamonu; çalışma bölgemiz olan Abana ilçesine 98 km ve Çatalzeytin ilçesine 102 km mesafededir. Ayrıca sahil kumu numunesi toplama bölgemiz olan Abana-Çatalzeytin ilçeleri arası mesafe ise 22 km'dir. Harita 2.1'de Abana-Çatalzeytin ilçelerinin harita görünümü verilmektedir. Ayrıca Harita 2.2'de toprak ve sahil kumu numunelerinin koordinatlara bağlı hazırlanmış lokasyon haritası verilmiştir [23].



Harita 2.1. Abana-Çatalzeytin ilçelerinin harita görünümü



Fotoğraf 2.1. Çatalzeytin ilçesinin kıyıdan görünümü

Abana:

İlçenin Karadeniz'e olan toplam sahil şeridi 11 km olup, yüzölçümü 33 km²'dir. İlçenin en yüksek yeri 300 metre rakımlıdır. Koordinatları; 41.975833 kuzey enlemleri ve 34.011389 doğu boylamlarıdır. Abana ilçesinin; Batısında İnebolu, doğusunda Çatalzeytin ve güneyinde Bozkurt ilçeleri yer almaktadır. Fotoğraf 2.2'de Abana ilçesinin kıyıdan görünümü verilmektedir [24].



Fotoğraf 2.2. Abana ilçesinin kıyıdan görünümü

2.2. Arazi Çalışmaları

Çalışma bölgelerimiz olan Kastamonu ili Abana-Çatalzeytin ilçelerindeki arazi çalışmaları kapsamında 20 adet toprak ve 20 adet sahil kumu örnekleri alınmıştır. Numunelerin alındığı yerlerin koordinatları, GPS (Global Positioning System) kullanılarak belirlenmiştir. Toprak ve sahil kumu numunelerinin toplanması yüzeyden 15-20 cm derinliğe inilerek yapılmıştır. Numuneler alınırken rastlanan taş, bitki ve kök artıkları, çürümüş ağaç yaprak ve dalları gibi biyolojik kalıntılar ayrılmış ve örneğe sokulmamıştır. Toprak ve sahil kumu numuneleri radyoaktif sayımlara yetecek miktarda (1-1,5 kg) alınmıştır. Numuneler önceden etiketlenmiş temiz, ağızları kapanabilen naylon torbalara konulup laboratuvara getirilmiştir. Ayrıca örnek alınan noktalarda taşınabilir Geiger-Müller sayacı kullanılarak yerden 1 metre yükseklikteki gama dozu ölçümleri de yapılmıştır.

2.3. Laboratuvar Çalışmaları

Çalışmamızda Kastamonu Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünün, Nükleer Fizik araştırma laboratuvarı kullanılmıştır. Ayrıca bu çalışma Kastamonu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (KÜBAP-01/2013-15) tarafından desteklenmiştir. Çalışma bölgesinden toplanan toprak ve sahil kumu numuneleri öncelikle laboratuvarda kurutulmuştur ve daha sonra, numunelerin eleme işlemleri yapılmıştır. Eleme yapılırken sahil kumu numunelerinin tanecik boyutu analizi için ayrı bir eleme işlemi yapılmıştır. Kurutulan ve elenen toprak ve sahil kumu numuneleri ölçümün yapılacağı dedektörün geometrisine uygun biçimde hazırlanan, plastik kutuların içine konulmuş ve kutuların ağızları sıkıca kapatılarak 1 ay süreyle bekletilmiştir. ^{238}U ve ^{232}Th ürünleri arasındaki radyoaktif dengenin oluşması ile numuneler ölçüme hazır hale getirilmiştir.

2.4. Sahil Kumu Örneklerinin Tanecik Boyutu Analizi için Numunelerin Hazırlanması

Çalışma bölgemiz olan Kastamonu ili Abana-Çatalzeytin bölgesinden, Abana ve Çatalzeytin ilçeleri arası 22 km sahil şeridi boyunca belli aralıklarla tanecik boyutu

analizimiz için 20 adet yeteri miktarda sahil kumu numunesi toplandı. Toplanan sahil kumu örnekleri laboratuvar ortamında kurutulmuştur. Kurutulan numuneler Tablo 2.1'deki tanecik boyutu düzeyindeki 4 farklı elekten geçirilerek eleme işlemi yapılmıştır [25].

Tablo 2.1 *Elek analizi için kullanılan tanecik boyutları*

Elek Numarası	Elde Edilen Numunenin Cinsi	Numunenin Tanecik Büyüklüğü
1 Numaralı Elek	Çakıl	200-250 μm
2 Numaralı Elek	Kum	63-200 μm
3 Numaralı Elek	Alüvyon	16-63 μm
4 Numaralı Elek	Kil	<16 μm

Elekten geçirilen numuneler boyutlarına göre büyükten küçüğe doğru sırasıyla; çakıl, kum, alüvyon ve kil olarak isimlendirilmiştir. 20 adet sahil kumu numunesinin her biri tek tek 4 farklı boyutlardaki elekten geçirilerek her bir numune için sırasıyla; çakıl, kum, alüvyon ve kil boyutlarında numuneler elde edilmiştir. Daha sonra numuneler vida kapaklı şeffaf patolojik numune kaplarına konularak hassas terazi ile ağırlıkları kaydedildi. Numunelerin radyoaktif dengesinin oluşması için ağızları sıkıca kapatılarak bir ay süre ile bekletilerek ölçüme hazır hale getirilmiştir.

2.5. Gama Spektrometri Yöntemi ve NaI(Tl) Sintilasyon Dedektörü

Çalışmada toprak ve sahil kumu numunelerinin radyoaktivite analizleri için Kastamonu Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü, Nükleer Fizik araştırma laboratuvarında bulunan çok kanallı gama spektrometrisi kullanılmıştır.

Dedektör ve diğer elektronik modüllerin uygun kombinasyonu gama spektrometrisi olarak adlandırılır. Gama spektrometrisi, uyarılmış bir atomun çekirdeğinden yayımlanan gama ışınlarının enerjilerine göre ayrılması esasına dayanır. Gama ışını yayan radyoizotopların tanımlanmasında ve aktivitelerinin nicel olarak tespit edilmesinde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Gama ışınlarının algılanmasında sintilasyon [NaI(Tl), CsI(Tl), ZnS(Ag), ...] veya yarıiletken [Ge(Li), HPGe, ...]

dedektörler kullanılır. Dedektörün özelliğine göre kullanım yerleri de farklıdır. Yarıiletken dedektörlerin enerji ayırma gücü sintilasyon dedektörlerine göre daha fazla iken, sintilasyon dedektörlerinin sayım verimi yarıiletken bir detektöre göre daha fazladır [26].

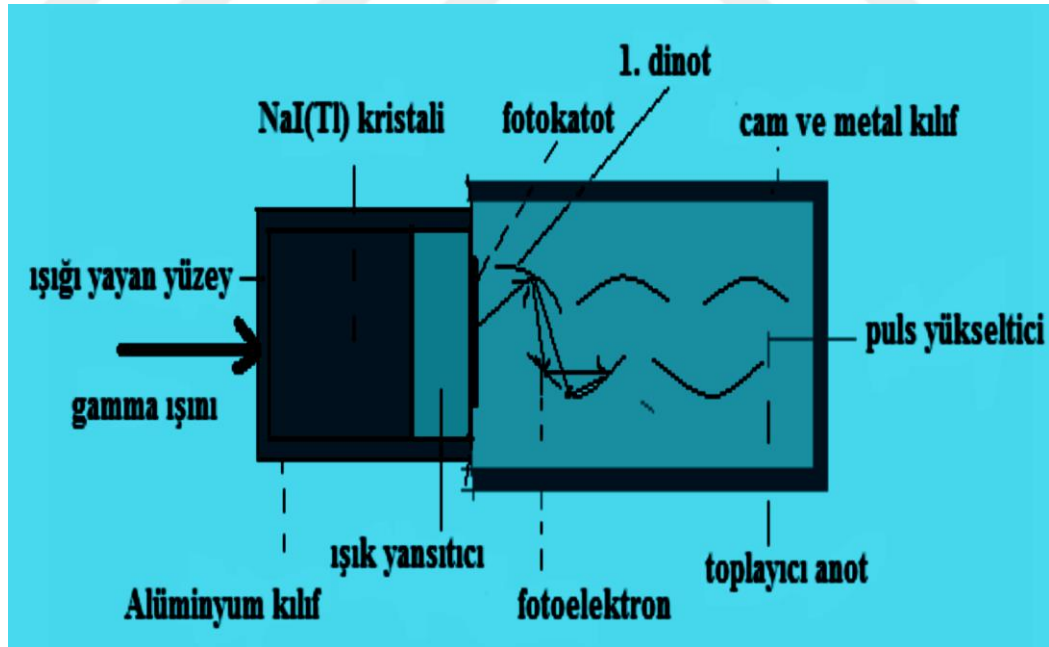
Deneysel çalışmamızda toprak ve sahil kumu numunelerinin gama spektrometrik analizi ORTEC 3''x 3'' NaI(Tl) sintilasyon(ışıldama) dedektörü kullanılarak yapılmıştır. Fotoğraf 2.3'de NaI(Tl) sintilasyon dedektörü görünümü verilmektedir [27].



Fotoğraf 2.3. NaI(Tl) sintilasyon dedektörünün görünümü

NaI(Tl) kristali, X ışınları ve gama ışınlarının dedeksiyonunda sıklıkla kullanılmaktadır. Bu kristal ekonomik olmasının yanında iyi bir gama ışını çözünürlüğü sağlar ve çok iyi bir enerji ayırma gücüne sahiptir. NaI(Tl) sintilatöründe; iyodun yüksek atom numarasına sahip olması, foton soğrulma ihtimalini artırır ve gama ışını dedeksiyonunda yüksek verim elde edilmesini sağlar [28]. NaI sintilatörlerinde foton yayınlanma olasılığını arttırmak için aktivatör olarak talyum kullanılmaktadır. Bu tip sintilatörlere katkılı sintilatörde denir. NaI(Tl) sintilatör dedektöründe dışarıdan gelebilecek katkı radyasyonunu en aza indirmek amacıyla kurşun blokla çevrelenmiştir.

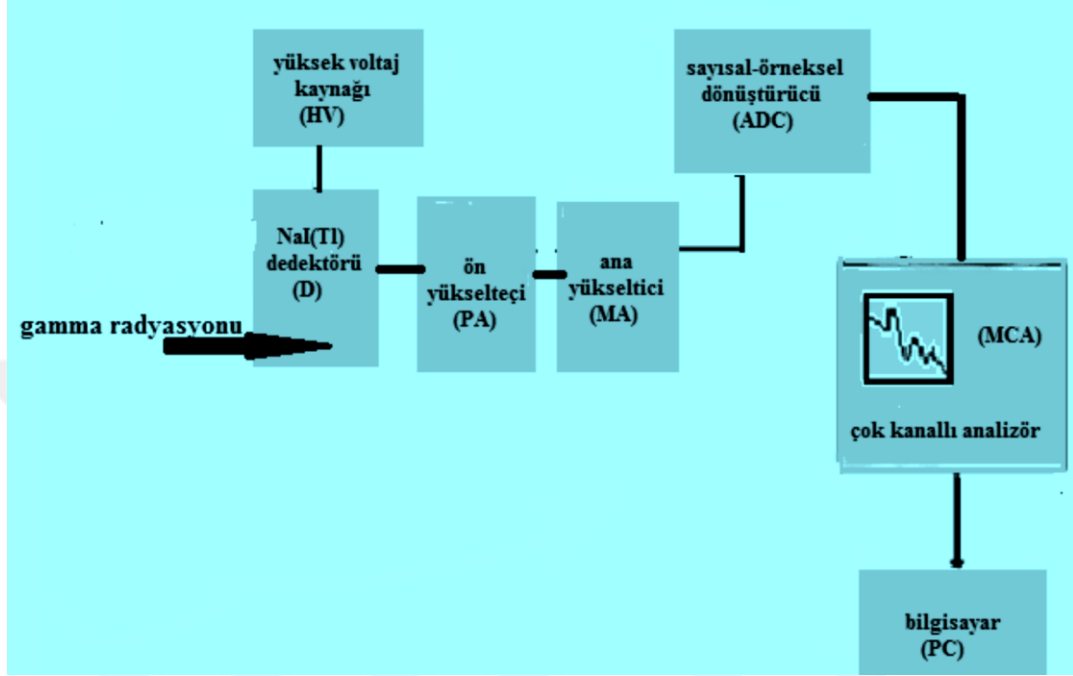
Bir yüklü parçacık veya fotonun sebep olduğu ilk iyonlaştırmadan dolayı kristalin içinde serbest elektronlar meydana gelir. Bu elektronların kristalin atom veya moleküllerine bağlanması işleminde görünür bölgede ışık yayınlar. Sintilatör kendi ışığı için geçirgen olduğundan kristalde yayınlama ve yüzeylerde yansıyan bu ışınlar foto çoğaltıcı tüpün foto katodu üzerine düşerler. Foto katodun yüzeyi, genellikle ince bir sezyum-antimon alaşımı levhadan yapılır. Foto katoda gelen ışınlar burada (fotoelektrik olayla) elektron yayımlanmasına neden olurlar [19]. Bu elektronlar katlı potansiyel farklarla hızlandırılarak BeCu alaşımından yapılmış ve sıra ile yerleştirilmiş dinodlar üzerine çoğalarak düşerler. Foto çoğaltıcı tüplerde elektron çoğalma katsayısı veya kazanç(yani, foto katotlardan yayınlanan her bir elektrona karşılık son çoğaltıcıdan yayınlanan elektron sayısının) 10^6 ile 10^7 civarındadır [29]. Bu elektronlar, anot tarafından toplanır ve puls kaydediciye verilir. Foto çoğaltıcıdan çıkan pulslar, gelen parçacığın enerjisine bağlı olmakla beraber farklı yüksekliktedirler. Şekil 2.1'de NaI(Tl) dedektörünün şematik gösterimi verilmiştir [19].



Şekil 2.1. NaI(Tl) dedektörünün şematik gösterimi

Genel olarak gama spektrometre sistemi NaI(Tl) gibi sintilasyon veya Ge(Li) ve HPGe gibi yarı iletken bir dedektör (D), bir ön yükseltici (PA), bir adet yüksek voltaj

filtresine sahip güç kaynağı (HV), yükseltici (MA), analog sinyal dönüştürücü (ADC), çok kanallı analizör (MCA) ve bilgisayardan oluşur [30]. NaI(Tl) sintilatör dedektörün kurulum şeması Şekil 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.2. NaI(Tl) sintilatör dedektörün kurulum şeması

Dedektörün çalışabilmesi için detektöre voltaj verilir. Kaynaktan yayılan radyasyon dedektörle etkileşerek soğrulan enerji ile orantılı akım darbesi meydana getirir. Bu darbe, yükselticiler yardımıyla voltaj darbesine çevrilir, yükseltilir, şekillendirilir ve ADC'ye gelir. Burada bilgiler çok kanallı analizöre(MCA) gelir. Analizörde sayısal hale çevrilen bilgiler ekranda spektrum olarak gözlenir. Bu spektrum veya spektrumla ilgili bilgiler MCA'ya bağlı uygun bir bilgisayarda görülür [31].

Yüksek Voltaj Ünitesi:

Dedektörün yük birikimi için gerekli elektrik alanı oluşturmak üzere, (-) veya (+) 5000 V'a kadar gerilim sağlayan ünedir.

Preamplifikatör(Ön Yükselteç):

Dedektörde radyasyonun kristal madde ile etkileşmesi sonucu oluşan ilk akım yükü darbesini daha sonra amplifikatörde algılanabilecek hale getiren, akım yükü ile orantılı voltaj darbesine çeviren ünitedir.

Amplifikatör (Yükselteç):

Ön yükselteçle gelen sinyali yükseltmek, yeniden şekillendirmek ve bunun için gerekli gerekli olan gelen sinyal bilgilerini saklamak için kullanılır [31].

Çok Kanallı Analizör (MCA):

Çok kanallı analizör (MCA) genellikle darbe yüksekliği yapan cihazlardır. MCA'da en önemli devre ve bileşen, örneksel/sayısal dönüştürücüdür. Burada, gelen her darbe sayısal hale çevrilir ve genliği ile orantılı olarak bir hafıza kanalına yerleştirilir. Her kanal belli bir enerjiye karşılık gelir ve sayım süresince gelen darbelerin birikmesiyle pikler oluşur [31].

Sayısal/Örneksel Dönüştürücü:

MCA'nın kalbi, elektrik darbesini sayısal niceliğe çeviren sayısal/örneksel dönüştürücü birimi olup, darbe yüksekliğinin analog büyüklüğünü(volt), kanal başına düşen sayısal niceliğe dönüştürür [31].

2.5.1. Enerji Kalibrasyonu

Bilgisayar belleğinde toplanan spektrumların analiz edilebilmeleri için, hangi kanalın hangi enerjiye karşılık geldiğinin bilinmesi gerekir. Böylece numunede bulunan radyoaktif çekirdek türleri bulunabilir. Enerji kalibrasyonu için önceden enerjileri bilinen çekirdeklerden oluşmuş standart kaynaklara ihtiyaç duyulmaktadır. Kalibrasyon için enerjileri 80–1400 keV arasında değişen ^{109}Cd , ^{57}Co , ^{133}Ba , ^{22}Na , ^{137}Cs , ^{54}Mn ve ^{60}Co 'ın piklerini içeren standart nokta kaynaklar kullanılmıştır. Tablo 2.2'de kalibrasyon için kullanılan standart kaynağa ait bilgiler verilmektedir [32].

Tablo 2.2. Standart kaynağın özellikleri

İzotoplar	Enerji (keV)	Yarı-ömür (gün)	Bolluk (%)
¹³³ Ba	81	3830	33
¹⁰⁹ Cd	88	464	3,72
⁵⁷ Co	122,1	271	86
⁵⁷ Co	136,5	271	11
¹³³ Ba	276,4	3830	6,9
¹³³ Ba	302,8	3830	19
¹³³ Ba	356	3830	62
¹³³ Ba	383,8	3830	8,7
²² Na	511	946	180
¹³⁷ Cs	661,6	11022	85
⁵⁴ Mn	834,8	313	100
⁶⁰ Co	1173,2	1922	100
²² Na	1274,5	946	100
⁶⁰ Co	1332,5	1922	100

Enerji kalibrasyonu için dedektöre belli bir mesafede konulan standart kaynağın spektrumu elde edilerek enerjilerin hangi kanallara geldiği tespit edildi.

2.5.2. Verim Kalibrasyonu

Dedektör verimi, dedektörde sayılabilir büyüklükte puls üreten fotonların sayısının, dedektöre gelen fotonların sayısına oranı ya da dedektörde sayılabilir büyüklükte puls üreten fotonların yüzdesi olarak tanımlanır. Dedektörün saydığı gama sayımlarının gerçek değerini bulabilmek için dedektöre ait verim düzeltmesinin yapılması gerekir. Verim tayini için genelde standart kaynaklar kullanılır. Kaynağın şekli farklı olduğunda, kaynak homojen olarak foton yayımlayamayacağından bu durum dedektör verimini etkiler. Bunun için kaynağın en çok fotonları yaydığı bölgesi dedektörün ortasına gelecek şekilde yerleştirilmeli ve kaynak sabitleştirilmelidir [32]. Spektrometrenin enerji ve verim kalibrasyonu için IAEA'nın referans materyalleri RGU-1, RGTh-1 ve RGK-1 kullanılmıştır.

2.6. Spektrum Analizi

Toprak ve sahil kumu numunelerinin analizinde her bir örnek 50000 sn'lik sürelerle sayımı yapılmış ve çalışmada, uranyum, toryum ve potasyum miktarını saptamak için sırasıyla ^{214}Bi 'nin 1,76 MeV ve 1,12 MeV pikleri, ^{208}Tl 'nin 2,62 MeV pikleri ve ^{40}K 'nin 1,46 MeV pikleri kullanılmıştır. Pik alanı her bir pik için en büyük alan en küçük hatayı verecek şekilde seçilmiştir. Yaptığımız enerji kalibrasyonundan da yararlanarak, çıkan piklerin hangi enerji düzeylerine denk geldiği belirlenip bu enerji düzeylerine karşılık gelen radyoizotoplar bulunmuştur.

2.7. Çevresel Gama Dozu Ölçümleri

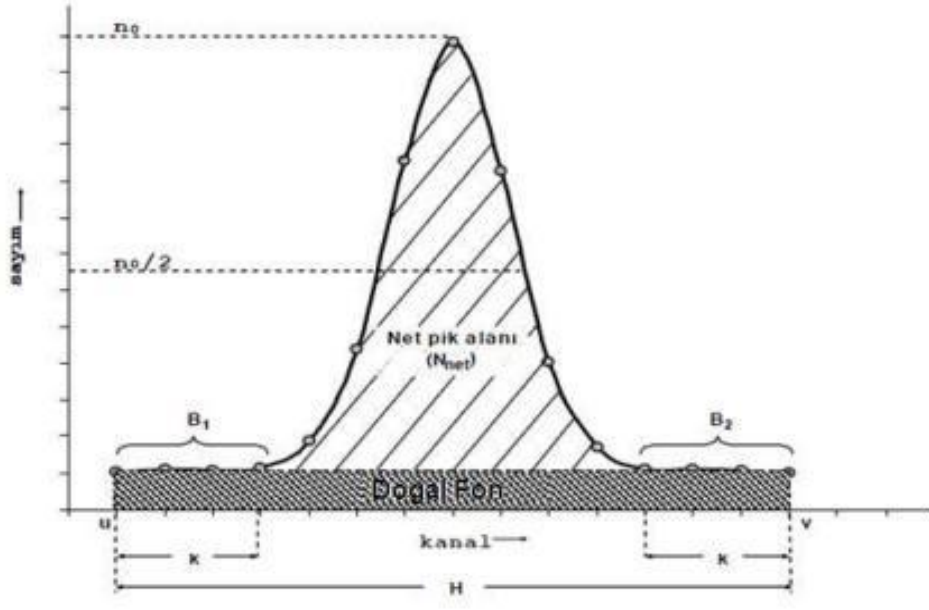
Çevresel gama dozu ölçümleri taşınabilir G-M sayacı kullanılarak çalışma bölgesi olan Kastamonu ili Abana-Çatalzeytin ilçelerinden toplanan 20 toprak ve 20 sahil kumu numunesinin toplandığı aynı konumda gerçekleştirilmiştir. Her noktada yerden 1 metre yükseklikte ölçüm yapılmıştır. Gama radyasyon seviyesinin hem yeryüzüne ait hem de kozmik ışın bileşenlerini kapsayan sonuçlar μRh^{-1} olarak kaydedilmiştir. Daha sonra bu ölçüm değerleri $8,7 \text{ nGy}\mu\text{Rh}^{-1}$ 'lik dönüşüm katsayısı kullanılarak nGyh^{-1} 'ye dönüştürülmüştür (Röntgen 'in tanımı itibariyle).

Gama radyasyonlarının ölçüsü bölgedeki toprağın yapısına ve coğrafi yapıya bağlı olarak farklılık gösterir. Gama radyasyonun büyük bölümü karasal kaynaklıdır ve topraktaki radyonüklitlerin konsantrasyonları ile doğru orantılıdır. Buradan hareketle çalışma bölgesinde alınan toprak ve kum örneklerinde saptanan radyoaktivite konsantrasyonları değerlerinden yola çıkılarak hesaplanacak olan gama radyasyonu doz değerlerinin yıllık etkin doz eşdeğerlerinin G-M sayacı ölçümleri ile bulunan değerlerle karşılaştırılması mümkün olmuştur.

2.8. Spektrum için Pik Alanı ve Aktivite Hesabı

İncelenilen enerjideki pik grafiğinin sürekli Compton arka-alan fonunun üzerinde kalan alana foto pik alan yani toplam sayım olarak tanımlanır. Bu hesaplama biçimi yaygın adıyla Covell yöntemi olarak bilinmektedir. Hesaplama yöntemi temelde ölçülen pik

alanının hesaplamasına dayanır. Önce ilgilenilen pikin uç noktalarındaki kanal sayısı belirlenir. Daha sonra, ayrı ayrı her kanalda biriken sayımların toplamından Compton fonunun alanı çıkarılarak net pik alanı hesaplanır. Grafik 2.1’de belirlenen örnek bir pik kullanılarak alan net alan hesaplamasının nasıl yapılacağı gösterilmiştir [33].



Grafik 2.1. Gama pik alanının hesaplanmasında kullanılan parametreler

Net Pik Alanı=Toplam Alan -Doğal Fon Alanı

Gerektiğinde tek ve net bir şekilde belirgin (girişimsiz) görünen pikin net alanından, ayrı bir ölçümden alınan seçilen pike ait doğal arka-alan değeri çıkarılır. Bu şekilde yapılan net alan hesaplaması, belirgin olmayan yani girişim yapan piklere uygulanmaz. Girişim nedeniyle belirgin olmayan piklerin net alanları bulunabilmesi için daha farklı hesaplama ve işlemlerin yapılmasını gerektirir [34]. Ölçümlerle birlikte sonucu elde edilen radyonüklitlerin aktivitelerini hesaplamak için dedektör verimi de hesaba katılmalıdır. Aktivite hesaplanırken aşağıdaki ifadeden yararlanılmıştır.

Net Alan

$$\text{Aktivite} = \frac{\text{Sayım Süresi} \times \text{Numune Miktarı} \times \text{Bolluk} \times \text{Verim}}{\text{Net Alan}}$$

2.9. Numunelerdeki Radyasyon Parametrelerinin Hesaplanması

2.9.1. Havadan Absorbe Edilen Doz Oranı (D)

Absorbe edilen doz oranına doğal radyonüklitlerin katkısı, doğal radyonüklit olan ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K 'ın ve spesifik aktivitelerine bağlıdır. Gama radyasyonuna en büyük katkı karasal radyonüklitlerden gelmektedir. Radyonüklit konsantrasyonları ve karasal gama radyasyonu arasında doğrudan bir bağlantı vardır. Eğer radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonları biliniyor ise yerden 1 m yükseklikte, bunlardan kaynaklanan insanların maruz kaldıkları doz oranları da aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanabilmektedir [35].

$$D \text{ (nGy/h)} = 0,427A_U + 0,662A_{Th} + 0,0432A_K \quad (2.1)$$

Burada D yerden 1 m yükseklikteki doz oranıdır. A_U , A_{Th} ve A_K sırasıyla ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarıdır. D için Uluslararası tavsiye edilen değer 57 nGy/h olarak belirlenmiştir [36].

2.9.2. Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri (AEDE)

Yıllık etkin doz eşdeğerini hesaplamak için, havadan absorbe edilen doz oranı (D), ev dışında geçirilen süre için dönüşüm katsayısı (0.2) ve yetişkinlerin havadan aldıkları etkin doz için dönüşüm katsayısı (0,7 Sv/Gy) kullanılarak elde edilmiş olan formülden yararlanılır [36].

$$\text{AEDE} (\mu\text{Sv/y}) = D \text{ (nGy/h)} \times 8760 \text{ (h/y)} \times 0,2 \times 0,7 \text{ Sv/Gy} \times 0,001 \quad (2.2)$$

Dış gama radyasyonundan kaynaklanan yıllık etkin doz eşdeğeri (AEDE) için dünya ortalama değeri 70 $\mu\text{Sv/y}$ olarak belirlenmiştir [35].

2.9.3. Radyum Eşdeğer Aktivitesi (Ra_{eq})

Radyum eşdeğer aktivitesi tehlike indeksi olarak yaygın biçimde kullanılan bir parametredir. Bu parametre aşağıda verilen formül ile hesaplanmaktadır [37].

$$Ra_{eq} = A_{Ra} + 1,43 A_{Th} + 0,077 A_K \quad (2.3)$$

Radyum eşdeğer aktivitesi için tavsiye edilen maksimum değer 370 Bq/kg olarak belirlenmiştir [38].

2.9.4. Dış Tehlike İndeksi (H_{ex})

Dış tehlike indeksi H_{ex} Krieger (1981) tarafından önerilen model kullanılarak hesaplanmaktadır. Dış tehlike indeksini hesaplamada kullanılan formül aşağıda verilmektedir.

$$H_{ex} = A_{Ra}/370 + A_{Th}/259 + A_K/4810 \leq 1 \quad (2.4)$$

2.9.5. Gama Aktivite Konsantrasyonu İndeksi (I_γ)

Gama aktivitesi konsantrasyon indeksi (I_γ) aşağıdaki formülden yararlanılarak hesaplandı [4,38].

$$I_\gamma = A_U/150 + A_{Th}/100 + A_K/1500 \quad (2.5)$$

Burada A_U , A_{Th} ve A_K sırasıyla ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K 'nin spesifik aktivite konsantrasyonları (Bq/kg) değerleridir. Bu formül doğal radyonüklitlerden kaynaklanan γ radyasyonunun tehlike sınırını belirlemek için kullanılmaktadır. I_γ için dünya ortalama değeri 1 Bq/kg olarak belirlenmiştir [4,38].

3. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

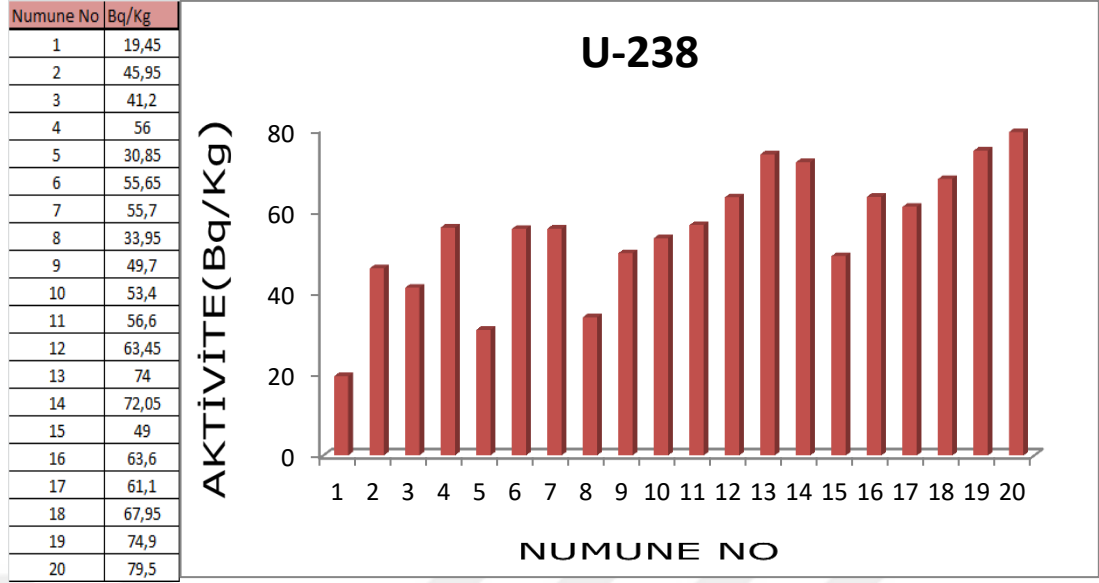
Çalışma bölgemiz olan Kastamonu ili Abana-Çatalzeytin bölgesinden alınan 20 adet toprak ve 20 adet sahil kumu örneklerinin gama spektrometrik analizi Kastamonu Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü, Nükleer Fizik Araştırma Laboratuvarında bulunan ORTEC 3''x 3'' NaI(Tl) sintilasyon(ışıldama) dedektörü kullanılarak her bir örnek 50000 sn'lik sürelerle sayılmıştır. Örneklerde bulunan ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K doğal radyoaktif izotopların aktivite konsantrasyonları hesaplanmıştır. Daha sonra sonuçlar dünya ortalamalarıyla karşılaştırılmıştır.

3.1. Toprak Örneklerinde ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K 'nin Aktivite Konsantrasyonları

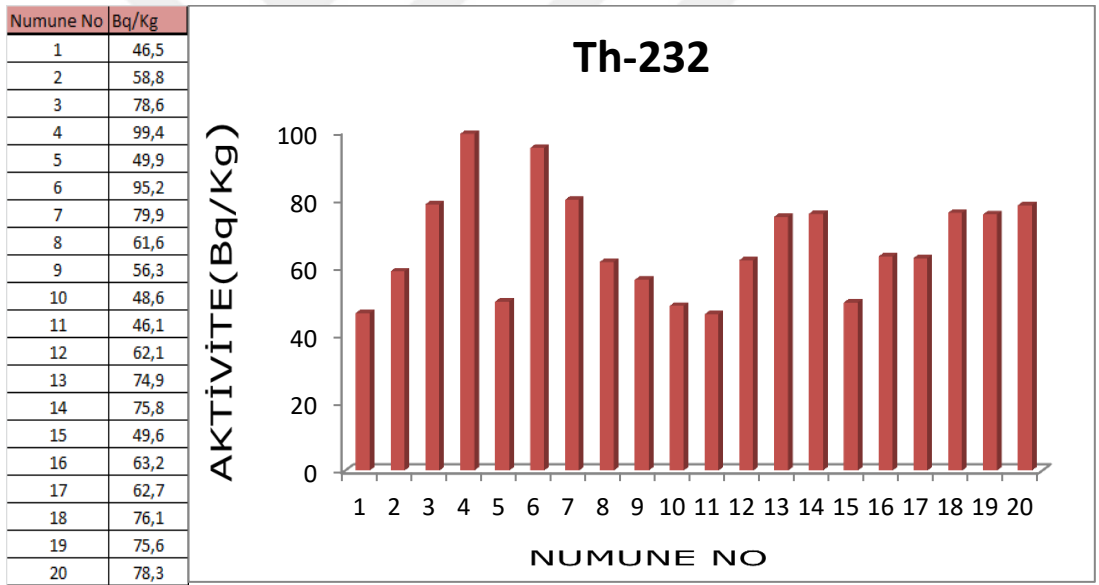
Toprak örneklerinde ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K 'nin aktivite konsantrasyonları Tablo 3.1'de verilmiştir. ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K 'nin aktivite konsantrasyonları sırasıyla 19-79, 46-99 ve 197-927 Bq kg⁻¹ aralıkları ile 55, 66 ve 504 Bq kg⁻¹ ortalama değerlerle hesaplanmıştır. Literatürde ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K 'nin aktivite konsantrasyonlarının dünya genelinde ortalama olarak sırasıyla 35, 30 ve 400 Bq kg⁻¹ olduğu bilinmektedir [13,38]. ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K 'nin topraktaki aktivite konsantrasyonları dünya ortalamalarının üzerindedir. Toprak örneklerinin ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K 'nin aktivite konsantrasyonlarının karşılaştırılmalı grafikleri Grafik 3.1-3.3'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Toprak örneklerinde ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K 'nin aktivite konsantrasyonları

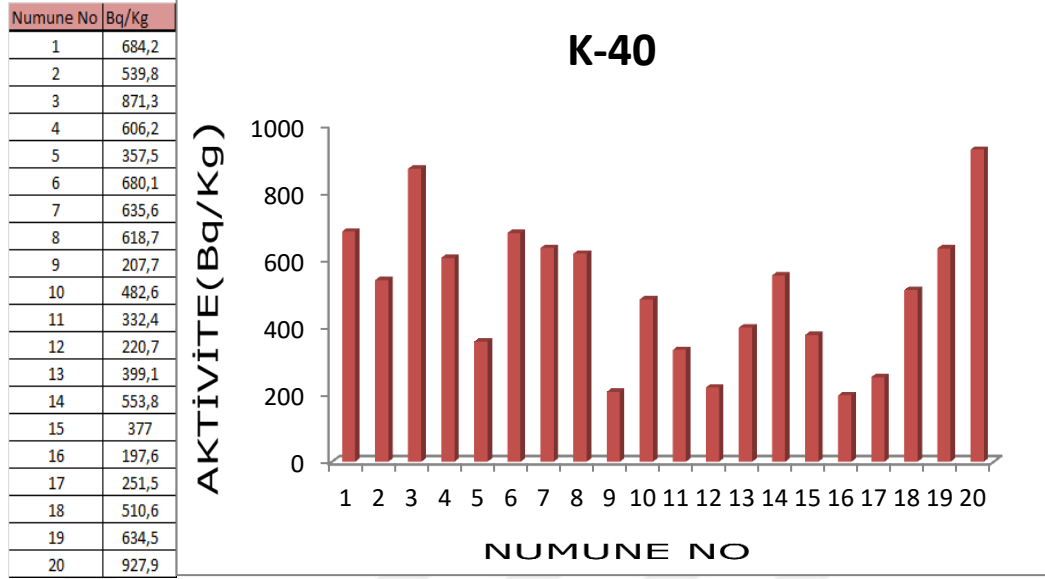
Örnek No	Örnek türü	^{238}U (Bq/kg)	^{232}Th (Bq/kg)	^{40}K (Bq/kg)
1	Toprak	19,45±3,54	46,5±13	684,2±50,1
2	Toprak	45,95±4,95	58,8±13	539,8±46,4
3	Toprak	41,2±5,44	78,6±13,5	871,3±50,3
4	Toprak	56±5,37	99,4±13,4	606,2±48,9
5	Toprak	30,85±6,65	49,9±13,1	357,5±49,8
6	Toprak	55,65±5,94	95,2±18,6	680,1±70,5
7	Toprak	55,7±4,03	79,9±13,1	635,6±48,3
8	Toprak	33,95±5,3	61,6±12,9	618,7±48,2
9	Toprak	49,7±3,82	56,3±12,3	207,7±43,9
10	Toprak	53,4±5,44	48,6±12,7	482,6±45
11	Toprak	56,6±4,1	46,1±12,7	332,4±45,5
12	Toprak	63,45±6,51	62,1±14	220,7±48,4
13	Toprak	74±6,93	74,9±17,4	399,1±58,1
14	Toprak	72,05±4,17	75,8±12,8	553,8±44,7
15	Toprak	49±4,74	49,6±13,3	377±48,4
16	Toprak	63,6±4,24	63,2±14,1	197,6±50,3
17	Toprak	61,1±16,75	62,7±13,7	251,5±45,7
18	Toprak	67,95±4,81	76,1±13,1	510,6±45,2
19	Toprak	74,9±3,39	75,6±11,3	634,5±42,1
20	Toprak	79,5±2,05	78,3±10,8	927,9±39,7
ORTALAMA		55,20±2,93	66,96±1,76	504,44±6,43
DÜNYA ORTALAMASI		35	30	400



Grafik 3.1. Toprak örneklerinde ^{238}U aktivite konsantrasyonları



Grafik 3.2. Toprak örneklerinde ^{232}Th aktivite konsantrasyonları



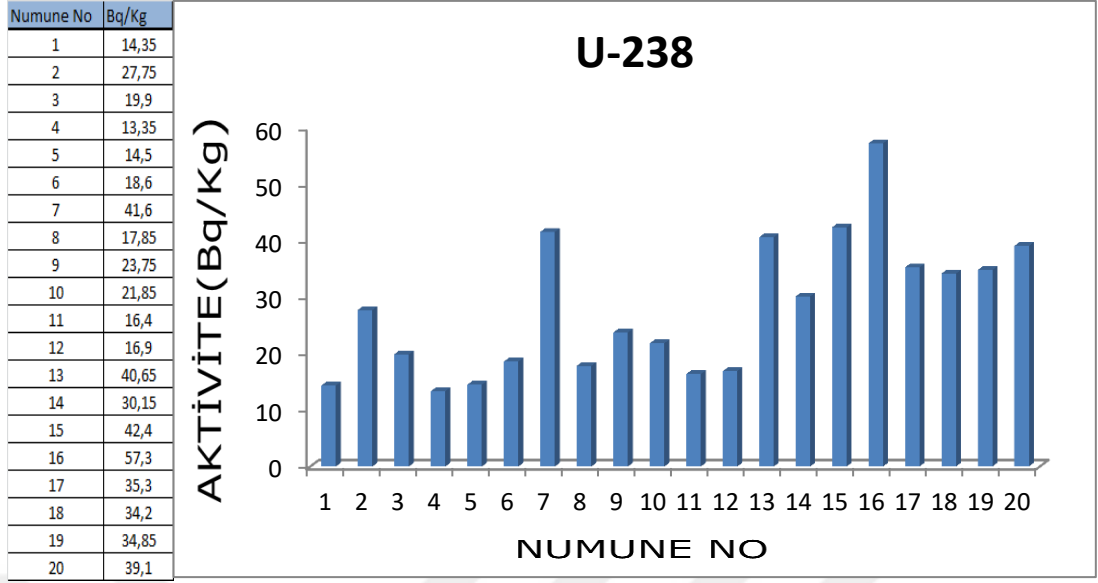
Grafik 3.3. Toprak örneklerinde ^{40}K aktivite konsantrasyonları

3.2. Sahil Kumu Örneklerinde ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K 'nin Aktivite Konsantrasyonları

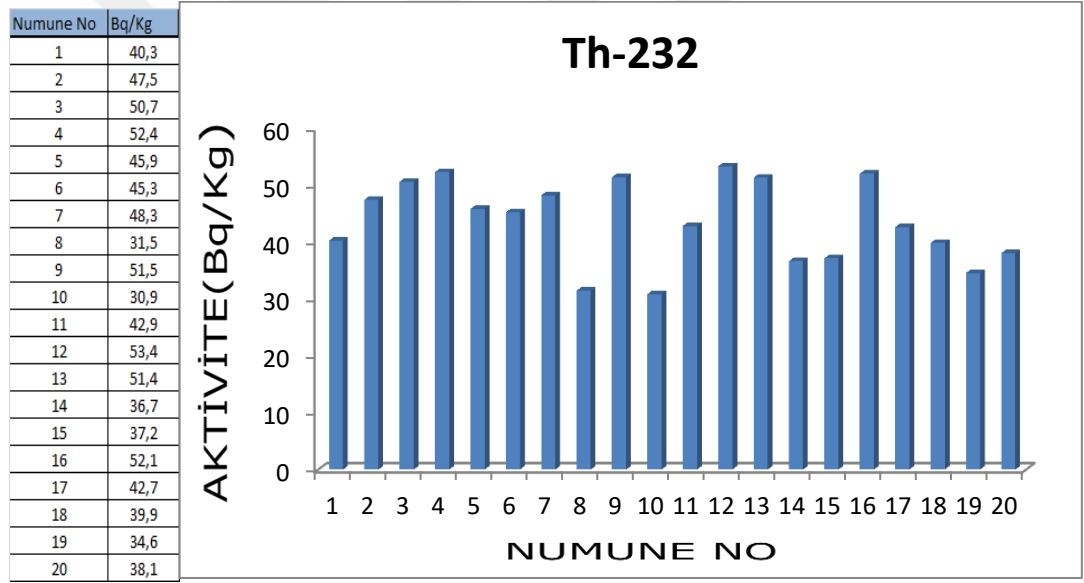
Sahil kumu örneklerinde ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K 'nin aktivite konsantrasyonları Tablo 3.2'de verilmiştir. ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K 'nin aktivite konsantrasyonları sırasıyla 13-57, 30-53 ve 214-601 Bq kg⁻¹ aralıkları ile 28, 44 ve 374 Bq kg⁻¹ ortalama değerlerle hesaplanmıştır. ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K 'nin sahil kumundaki aktivite konsantrasyonları dünya ortalamalarına yakın değerlerde hesaplanmıştır. Sahil kumu örneklerinin ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K 'nin aktivite konsantrasyonlarının karşılaştırılmalı grafikleri Grafik 3.4-3.6'da verilmiştir.

Tablo 3.2. Sahil kumu örneklerinde ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K 'nin aktivite konsantrasyonları

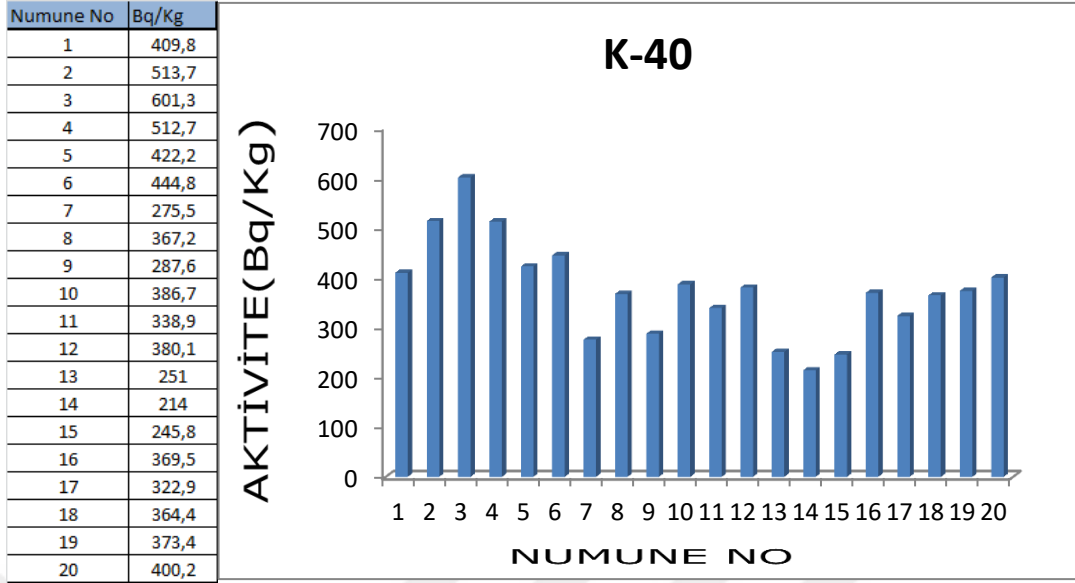
Örnek No	Örnek türü	^{238}U (Bq/kg)	^{232}Th (Bq/kg)	^{40}K (Bq/kg)
1	Sahil Kumu	14,35±2,97	40,3±8,6	409,8±30,9
2	Sahil Kumu	27,75±3,89	47,5±10	513,7±38
3	Sahil Kumu	19,9±5,16	50,7±9,4	601,3±36
4	Sahil Kumu	13,35±4,31	52,4±9,4	512,7±34,4
5	Sahil Kumu	14,5±3,61	45,9±9	422,2±33,4
6	Sahil Kumu	18,6±2,83	45,3±9,2	444,8±32,9
7	Sahil Kumu	41,6±3,54	48,3±9,2	275,5±35
8	Sahil Kumu	17,85±2,12	31,5±7,9	367,2±32,8
9	Sahil Kumu	23,75±3,75	51,5±8,7	287,6±32,4
10	Sahil Kumu	21,85±4,45	30,9±8,9	386,7±34,1
11	Sahil Kumu	16,4±3,11	42,9±8,7	338,9±32,7
12	Sahil Kumu	16,9±3,39	53,4±8,9	380,1±32
13	Sahil Kumu	40,65±2,62	51,4±8,7	251,0±31,0
14	Sahil Kumu	30,15±3,46	36,7±7,7	214,0±28,8
15	Sahil Kumu	42,4±3,39	37,2±7,7	245,8±27,8
16	Sahil Kumu	57,3±3,75	52,1±9,5	369,5±33,9
17	Sahil Kumu	35,3±3,04	42,7±8,4	322,9±31,1
18	Sahil Kumu	34,2±4,31	39,9±9,2	364,4±34,0
19	Sahil Kumu	34,85±3,96	34,6±9,1	373,4±34,2
20	Sahil Kumu	39,1±2,69	38,1±8,3	400,2±31,6
ORTALAMA		28,04±0,72	43,67±0,61	374,09±2,34
DÜNYA ORTALAMASI		35	30	400



Grafik 3.4. Sahil kumu örneklerinde ^{238}U aktivite konsantrasyonları



Grafik 3.5. Sahil kumu örneklerinde ^{232}Th aktivite konsantrasyonları



Grafik 3.6. Sahil kumu örneklerinde ^{40}K aktivite konsantrasyonları

3.3. Havadaki Gama Dozu Ölçümleri

Havadaki gama dozu ölçümleri G-M sayacı kullanılarak 20 adet toprak ve 20 adet sahil kumu numunelerinin toplandığı koordinatlarda yerinde ölçülerek μRh^{-1} olarak kaydedilmiştir. 2. Bölüm 'de detaylandırılan dönüşüm katsayıları ile havadan absorbe edilen doz oranı (D) ve yıllık etkin doz eşdeğeri (AEDE) hesaplanmıştır. Tablo 3.3 ve Tablo 3.4'de havadan absorbe edilen doz oranı (D) ve yıllık etkin doz eşdeğeri (AEDE) verilmiştir. Toprak örnekleri için (D) 78,3-126,15 nGy/h değerleri arasında ve 100,27 nGy/h ortalama değerinde bulunmuştur. Uluslararası tavsiye edilen değer 57 nGy/h'dir. Yıllık etkin doz eşdeğeri (AEDE) 96,03-154,71 $\mu\text{Sv/y}$ değerleri arasında ve 122,97 $\mu\text{Sv/y}$ ortalama değerinde bulunmuştur. (AEDE) için dünya ortalaması 70 $\mu\text{Sv/y}$ 'dir. Sahil kumu örnekleri için (D) 52,2-95,7 nGy/h değerleri arasında ve 72,65 nGy/h ortalama değerinde bulunmuştur.. Yıllık etkin doz eşdeğeri (AEDE) 64,02-117,37 $\mu\text{Sv/y}$ değerleri arasında ve 89,09 $\mu\text{Sv/y}$ ortalama değerinde bulunmuştur [35,36].

Tablo 3.3. Toprak örnekleri için (D) ve (AEDE) değerleri

Örnek No	Örnek türü	Enlem	Boylam	μRh^{-1}	D (nGy/h)	AEDE ($\mu\text{Sv/y}$)
1	Toprak	41.94308	34.21798	10	87	106,70
2	Toprak	41.93533	34.19540	11	95,7	117,37
3	Toprak	41.91955	34.17683	9	78,3	96,03
4	Toprak	41.91487	34.16104	11	95,7	117,37
5	Toprak	41.89436	34.14399	9	78,3	96,03
6	Toprak	41.87569	34.11735	14,5	126,15	154,71
7	Toprak	41.86040	34.09282	14	121,8	149,38
8	Toprak	41.85429	34.09026	11	95,7	117,37
9	Toprak	41.87878	34.13050	10	87	106,70
10	Toprak	41.92408	34.18289	13	113,1	138,71
11	Toprak	41.96588	34.13287	11	95,7	117,37
12	Toprak	41.96848	34.10083	10	87	106,70
13	Toprak	41.97782	34.04952	11	95,7	117,37
14	Toprak	41.95937	34.02070	13	113,1	138,71
15	Toprak	41.95433	34.02341	13	113,1	138,71
16	Toprak	41.94538	34.03797	12	104,4	128,04
17	Toprak	41.92469	34.07133	11	95,7	117,37
18	Toprak	41.89909	34.09922	12	104,4	128,04
19	Toprak	41.85316	34.08901	12	104,4	128,04
20	Toprak	41.82213	34.09107	13	113,1	138,71
ORTALAMA					100,27	122,97

Tablo 3.4. Sahil kumu örnekleri için (D) ve (AEDE) değerler

Örnek No	Örnek türü	Enlem	Boylam	μRh^{-1}	D (nGy/h)	AEDE ($\mu\text{Sv/y}$)
1	Sahil kumu	41.97972	33.99094	9	78,3	96,03
2	Sahil kumu	41.97963	33.96767	8,5	73,95	90,69
3	Sahil kumu	41.97886	33.98362	9,5	82,65	101,36
4	Sahil kumu	41.98028	34.00789	8	69,6	85,36
5	Sahil kumu	41.97943	34.02641	8	69,6	85,36
6	Sahil kumu	41.98051	34.04540	7	60,9	74,69
7	Sahil kumu	41.96092	34.17066	7	60,9	74,69
8	Sahil kumu	41.95505	34.20846	6	52,2	64,02
9	Sahil kumu	41.95409	34.21988	8	69,6	85,36
10	Sahil kumu	41.95401	34.22144	7	60,9	74,69
11	Sahil kumu	41.95386	34.22240	9	78,3	96,03
12	Sahil kumu	41.95365	34.23156	6	52,2	64,02
13	Sahil kumu	41.95468	34.22690	10	87	106,70
14	Sahil kumu	41.95433	34.22528	10	87	106,70
15	Sahil kumu	41.95417	34.22292	9	78,3	96,03
16	Sahil kumu	41.98065	34.04592	9	78,3	96,03
17	Sahil kumu	41.97988	34.04388	8	69,6	85,36
18	Sahil kumu	41.97976	34.04901	11	95,7	117,37
19	Sahil kumu	41.97911	34.03301	9	78,3	96,03
20	Sahil kumu	41.98038	34.01497	8	69,6	85,36
ORTALAMA					72,65	89,09

3.4. Toprak ve Kum Örnekleri İçin Radyasyon Tehlike Parametreleri

Toprak ve sahil kumu örnekleri için radyasyon tehlike parametreleri Tablo 3.5 ve Tablo 3.6'da verilmiştir. Radyum eşdeğer aktivitesi (Ra_{eq}), dış tehlike indeksi (H_{ex}) ve gama aktivite konsantrasyonu indeksi (I_γ) toplanan sahil kumu ve toprak örneklerinin Bölüm 2'de detaylandırılan aktivite konsantrasyonlarından hesaplanmış parametrelerdir.

Tablo 3.5. Toprak örnekleri için radyasyon tehlike parametreleri

Örnek No	Örnek türü	D (nGy/h)	AEDE (μ Sv/y)	D (nGy/h)	AEDE (μ Sv/y)	Ra_{eq} (Bq/kg)	H_{ex} (≤ 1)	I_γ Bq/kg
		Yerinde Ölçüm		Topraktan Hesaplanan				
1	Toprak	87	106,70	68,65	84,19	138,63	0,37	1,05
2	Toprak	95,7	117,37	81,87	100,40	171,60	0,46	1,25
3	Toprak	78,3	96,03	107,27	131,55	220,69	0,60	1,64
4	Toprak	95,7	117,37	115,90	142,14	244,82	0,66	1,77
5	Toprak	78,3	96,03	61,65	75,61	129,73	0,35	0,94
6	Toprak	126,15	154,71	116,17	142,47	244,15	0,66	1,78
7	Toprak	121,8	149,38	104,14	127,71	218,90	0,59	1,59
8	Toprak	95,7	117,37	82,00	100,57	169,68	0,46	1,25
9	Toprak	87	106,70	67,47	82,74	146,20	0,39	1,03
10	Toprak	113,1	138,71	75,82	92,99	160,06	0,43	1,16
11	Toprak	95,7	117,37	69,05	84,68	148,12	0,40	1,06
12	Toprak	87	106,70	77,74	95,34	169,25	0,46	1,19
13	Toprak	95,7	117,37	98,42	120,71	211,84	0,57	1,51
14	Toprak	113,1	138,71	104,87	128,61	223,09	0,60	1,61
15	Toprak	113,1	138,71	70,04	85,90	148,96	0,40	1,07
16	Toprak	104,4	128,04	77,53	95,09	169,19	0,46	1,19
17	Toprak	95,7	117,37	78,46	96,23	170,13	0,46	1,20
18	Toprak	104,4	128,04	101,45	124,42	216,09	0,58	1,55
19	Toprak	104,4	128,04	109,44	134,22	231,86	0,63	1,68
20	Toprak	113,1	138,71	125,87	154,36	262,92	0,71	1,93
ORTALAMA		100,27	122,97	89,69	110,00	189,79	0,51	1,37

Ayrıca havadan absorbe edilen doz oranı (D) ve yıllık etkin doz eşdeğeri (AEDE) hesaplanmış ve yerinde yapılan ölçüm değerleriyle karşılaştırılmıştır. Radyum eşdeğer aktivitesi (Ra_{eq}) için tavsiye edilen maksimum değer 370 Bq/kg olarak belirlenmiştir ve gama aktivite konsantrasyonu indeksi (I_γ) dünya ortalama değeri 1 Bq/kg'dır [37,38].

Tablo 3.6. Sahil kumu örnekleri için radyasyon tehlike parametreleri

Örnek No	Örnek türü	D (nGy/h)	AEDE (μ Sv/y)	D (nGy/h)	AEDE (μ Sv/y)	Ra_{eq} (Bq/kg)	H_{ex} (≤ 1)	I_γ Bq/kg
		Yerinde Ölçüm		Topraktan Hesaplanan				
1	Sahil kumu	78,3	96,03	50,51	61,94	103,53	0,28	0,77
2	Sahil kumu	73,95	90,69	65,49	80,31	135,23	0,37	1,00
3	Sahil kumu	82,65	101,36	68,04	83,44	138,70	0,37	1,04
4	Sahil kumu	69,6	85,36	62,54	76,70	127,76	0,34	0,95
5	Sahil kumu	69,6	85,36	54,82	67,23	112,65	0,30	0,84
6	Sahil kumu	60,9	74,69	57,15	70,08	117,63	0,32	0,87
7	Sahil kumu	60,9	74,69	61,64	75,59	131,88	0,36	0,94
8	Sahil kumu	52,2	64,02	44,34	54,38	91,17	0,25	0,68
9	Sahil kumu	69,6	85,36	56,66	69,49	119,54	0,32	0,87
10	Sahil kumu	60,9	74,69	46,49	57,02	95,81	0,26	0,71
11	Sahil kumu	78,3	96,03	50,04	61,37	103,84	0,28	0,76
12	Sahil kumu	52,2	64,02	58,99	72,34	122,53	0,33	0,90
13	Sahil kumu	87	106,70	62,23	76,32	133,48	0,36	0,95
14	Sahil kumu	87	106,70	46,41	56,92	99,11	0,27	0,71
15	Sahil kumu	78,3	96,03	53,35	65,43	114,52	0,31	0,82
16	Sahil kumu	78,3	96,03	74,92	91,88	160,25	0,43	1,15
17	Sahil kumu	69,6	85,36	57,29	70,26	121,22	0,33	0,88
18	Sahil kumu	95,7	117,37	56,76	69,61	119,32	0,32	0,87
19	Sahil kumu	78,3	96,03	53,92	66,12	113,08	0,31	0,83
20	Sahil kumu	69,6	85,36	59,21	72,61	124,40	0,34	0,91
ORTALAMA		72,65	89,09	57,04	69,95	119,28	0,32	0,87

3.5. Sahil Kumu Örneklerinde Tanecik Boyutu Analizi

Çalışma bölgesinden toplanan sahil kumu örnekleri Bölüm 2’de detaylandırılan işlemlerden geçirilerek sırasıyla boyutları büyükten küçüğe doğru çakıl, kum, alüvyon ve kil boyutunda numuneler elde edilerek her bir numune için ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K ’nin aktivite konsantrasyonları hesaplanmıştır. Çakıl boyutundaki numuneler Tablo 3.7’de, kum boyutundaki numuneler Tablo 3.8’de, alüvyon boyutundaki numuneler Tablo 3.9’da ve kil boyutundaki numuneler Tablo 3.10’da verilmiştir. Ayrıca örneklerin çakıl, kum, alüvyon ve kil boyutunun Tablo 3.11’de kendi içinde karşılaştırmalı olarak ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K ’nin aktivite konsantrasyonları verilmiştir.

Tablo 3.7. Çakıl örneklerinde ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K ’nin aktivite konsantrasyonları

Örnek No	Örnek türü	^{238}U (Bq/kg)	^{232}Th (Bq/kg)	^{40}K (Bq/kg)
1	Çakıl	----	---	---
2	Çakıl	42,25±2,33	34±9,1	358±32,5
3	Çakıl	31,95±3,39	36,6±8,2	424,3±31,1
4	Çakıl	36,8±3,04	31,1±8,9	401,2±32,8
5	Çakıl	32,85±3,89	31±8,3	302,3±29,4
6	Çakıl	37,65±2,83	48,9±8,6	315,7±30,8
7	Çakıl	67,2±3,61	63,5±12,5	328,5±44,2
8	Çakıl	56,8±4,53	60,8±11,8	312,2±41,4
9	Çakıl	46,75±2,55	46,1±8,7	256,2±31,7
10	Çakıl	38,8±3,82	45,5±8,7	167,4±29
11	Çakıl	45,8±2,4	40,8±8,8	280,3±32,2
12	Çakıl	30,9±2,4	34±8,7	251,9±30,2
13	Çakıl	47,5±2,76	46,6±8,9	322±31,7
14	Çakıl	37,3±3,04	33,5±7,8	227,2±27,8
15	Çakıl	43,95±3,32	38,5±8,5	245±28,5
16	Çakıl	44,05±4,53	50,9±9,9	328,9±33,8
17	Çakıl	45,4±3,18	44±9,2	337,2±32,9
18	Çakıl	46,2±2,76	48,2±9,7	351,1±33
19	Çakıl	55,7±2,83	52,5±9,9	388,6±32,5
20	Çakıl	53,65±4,24	51,1±10,2	468,1±36,8
ORTALAMA		44,29±0,70	44,08±1,19	319,27±4,13

Tablo 3.8. Kum örneklerinde ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K 'nin aktivite konsantrasyonları

Örnek No	Örnek türü	^{238}U (Bq/kg)	^{232}Th (Bq/kg)	^{40}K (Bq/kg)
1	Kum	---	---	---
2	Kum	36±3,46	43,5±9,9	373±34,8
3	Kum	36,2±4,53	45,8±9,6	320,8±31,6
4	Kum	39,25±4,17	39,6±9,6	363,7±34,4
5	Kum	46,45±3,89	50,7±10,2	352,5±34,5
6	Kum	49,3±3,04	57,6±10	383,6±37,3
7	Kum	57,25±3,39	43,5±10,7	244,6 ±35,7
8	Kum	75,35±7,92	97,1±19,4	515,2±71,3
9	Kum	51,6±4,53	43,7±10,1	244,8±32,9
10	Kum	52,7±2,47	50,3±9,4	252,9±31,5
11	Kum	46,85±4,03	45,7±9,3	230,5±32,3
12	Kum	149,1±12,52	148,1±38,8	611,3±126,2
13	Kum	378,85±41,15	365±85,4	1235,8±285,7
14	Kum	58,5±3,18	48,2±9,8	175,8±30,7
15	Kum	45,65±2,97	40,7±9	235,4±32,1
16	Kum	46,6±4,53	42,1±9,8	427±35,6
17	Kum	67,8±6,51	75,9±17,2	444±59,8
18	Kum	40,05±3,61	47,2±9,3	394,9±34,1
19	Kum	45,85±3,32	42,2±9	332,1±32,8
20	Kum	48,9±3,96	54,7±10,2	498,3±36
ORTALAMA		72,22±8,71	72,72±18,17	401,91±60,28

Tablo 3.9. Alüvyon örneklerinde ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K 'nin aktivite konsantrasyonları

Örnek No	Örnek türü	^{238}U (Bq/kg)	^{232}Th (Bq/kg)	^{40}K (Bq/kg)
1	Alüvyon	---	---	---
2	Alüvyon	44,8±2,55	39,9±9,7	423,3±35,4
3	Alüvyon	61,4±4,24	52,7±9,6	423,3±34,9
4	Alüvyon	34,85±3,39	31,9±9,5	404,2±34,1
5	Alüvyon	40,35±3,39	40,2±10,1	429,7±36,6
6	Alüvyon	45,85±2,97	57,1±9,7	281,6±34,3
7	Alüvyon	51,9±4,24	41,5±9,6	205,3±33,8
8	Alüvyon	127,65±8,87	123±21	397,1±70,3
9	Alüvyon	43,45±2,97	46±9,3	238±33
10	Alüvyon	38,1±2,62	55,9±9,5	225,5±34
11	Alüvyon	48,65±4,1	40,3±9	363,6±36,1
12	Alüvyon	---	---	---
13	Alüvyon	161,87±17,04	143,6±36,9	731,6±120,7
14	Alüvyon	85,9±6,29	77±16,4	305±53,9
15	Alüvyon	39,5±2,26	42,2±9,8	200,7±32,4
16	Alüvyon	46,65±3,89	54,8±10,5	329,6±37
17	Alüvyon	50,3±3,25	48,2±9,5	327,5±34,5
18	Alüvyon	---	---	---
19	Alüvyon	40,65±2,76	47,9±9,9	393,8±35,1
20	Alüvyon	52,45±3,46	45,7±9,7	458,4±36,8
ORTALAMA		59,67±3,57	45,7±7,05	361,07±22,16

Tablo 3.10. Kil örneklerinde ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K 'nin aktivite konsantrasyonları

Örnek No	Örnek türü	^{238}U (Bq/kg)	^{232}Th (Bq/kg)	^{40}K (Bq/kg)
1	Kil	---	---	---
2	Kil	37,2±3,82	46,9±9,5	346,8±33,7
3	Kil	176,85±15,56	184,8±47,3	1469±168,7
4	Kil	92±6,08	105,5±21,8	749,1±75,1
5	Kil	160,1±12,9	163,3±40,5	797,5±149,5
6	Kil	130,3±7,14	112,3±23,5	604,8±86,2
7	Kil	57,9±3,32	49,2±10	205,5±34,1
8	Kil	106,9±4,53	95±17,8	358±60,7
9	Kil	110,6±9,76	107,8±21,1	383,8±72,8
10	Kil	48,65±3,32	45±9,5	236,4±34,2
11	Kil	109,45±6,15	107,1±21,2	517,3±78,2
12	Kil	268,2±18,17	250,2±50,1	745,6±163,6
13	Kil	304,65±21,35	317,9±67,4	1128,4±240,7
14	Kil	126,9±14,5	178,1±28,2	696±97,5
15	Kil	122±6,29	119,2±26,7	354,2±87,3
16	Kil	---	---	---
17	Kil	136,6±9,48	131,3±22,5	658,9±78,5
18	Kil	---	---	---
19	Kil	100,95±8,13	94,9±21,4	503,6±71,8
20	Kil	110,1±8,2	117,6±22,5	721,8±81
ORTALAMA		129,37±5,39	130,95±15,67	616,28±55,34

Tablo 3.11. Sahil kumu örneklerinde tanecik boyutu analizinin karşılaştırmalı ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K 'nin aktivite konsantrasyonları

2 NOLU SAHİL KUMU	^{238}U (Bq/kg)	^{232}Th (Bq/kg)	^{40}K (Bq/kg)	3 NOLU SAHİL KUMU	^{238}U (Bq/kg)	^{232}Th (Bq/kg)	^{40}K (Bq/kg)
ÇAKIL	42,25±2,33	34±9,1	358±32,25	ÇAKIL	31,95±3,39	36,6±8,2	424,3±31,1
KUM	36±3,46	43,35±9,9	373±34,48	KUM	36,2±4,53	45,8±9,6	320,8±31,6
ALÜVYON	44,8±2,25	39,9±9,7	423,3±35,4	ALÜVYON	61,4±4,24	52,7±9,6	423,3±34,9
KİL	37,2±3,82	46,9±9,5	346,8±33,7	KİL	176,85±15,56	184,8±47,3	1469±168,7

4 NOLU SAHİL KUMU	^{238}U (Bq/kg)	^{232}Th (Bq/kg)	^{40}K (Bq/kg)	5 NOLU SAHİL KUMU	^{238}U (Bq/kg)	^{232}Th (Bq/kg)	^{40}K (Bq/kg)
ÇAKIL	36,8±3,04	31,1±8,9	401,2±32,8	ÇAKIL	32,85±3,89	31±8,3	302,3±29,4
KUM	39,25±4,17	39,6±9,6	363,7±34,4	KUM	46,45±3,89	50,7±10,2	352,5±34,5
ALÜVYON	34,85±3,39	31,9±9,5	404,2±34,1	ALÜVYON	40,35±3,39	40,2±10,1	429,7±36,6
KİL	92±6,08	105,5±21,8	749,1±75,1	KİL	160,1±12,9	163,3±40,5	797,5±149,5

6 NOLU SAHİL KUMU	^{238}U (Bq/kg)	^{232}Th (Bq/kg)	^{40}K (Bq/kg)	7 NOLU SAHİL KUMU	^{238}U (Bq/kg)	^{232}Th (Bq/kg)	^{40}K (Bq/kg)
ÇAKIL	37,65±2,83	48,9±8,6	315,7±30,8	ÇAKIL	67,2±3,61	63,5±12,5	328,5±44,2
KUM	49,3±3,04	57,6±10	383,6±37,3	KUM	57,25±3,39	43,5±10,7	244,6±35,7
ALÜVYON	45,85±2,97	57,1±9,7	281,6±34,3	ALÜVYON	51,9±4,24	41,5±9,6	205,3±33,8
KİL	130,3±7,14	112,3±23,5	604,8±86,2	KİL	57,9±3,32	49,2±10	205,5±34,1

8 NOLU SAHİL KUMU	^{238}U (Bq/kg)	^{232}Th (Bq/kg)	^{40}K (Bq/kg)	9 NOLU SAHİL KUMU	^{238}U (Bq/kg)	^{232}Th (Bq/kg)	^{40}K (Bq/kg)
ÇAKIL	56,8±4,53	60,8±11,8	312,2±41,4	ÇAKIL	46,75±2,55	46,1±8,7	256,2±31,7
KUM	75,35±7,92	97,1±19,4	515,2±71,3	KUM	51,6±4,53	43,7±10,1	244,8±32,9
ALÜVYON	127,65±8,7	123±21	397,1±70,3	ALÜVYON	43,45±2,97	46±9,3	238±33
KİL	106,9±4,53	95±17,8	358±60,7	KİL	110,6±9,76	107,8±21,1	383,8±72,8

Tablo 3.11.'in devamı

10 NOLU SAHİL KUMU	²³⁸ U (Bq/kg)	²³² Th (Bq/kg)	⁴⁰ K (Bq/kg)	11 NOLU SAHİL KUMU	²³⁸ U (Bq/kg)	²³² Th (Bq/kg)	⁴⁰ K (Bq/kg)
ÇAKIL	38,8±3,82	45,5±8,7	167,4±29	ÇAKIL	45,8±2,4	40,8±8,8	280,3±32,2
KUM	52,7±2,47	50,3±9,4	252,9±31,5	KUM	46,85±4,03	45,7±9,3	230,5±34,3
ALÜVYON	38,1±2,62	55,9±9,5	225,5±34	ALÜVYON	48,65±4,1	40,3±9	363,6±36,1
KİL	48,65±3,32	45±9,5	236,4±34,2	KİL	109,45±6,15	107,1±21,2	517,3±78,2

12 NOLU SAHİL KUMU	²³⁸ U (Bq/kg)	²³² Th (Bq/kg)	⁴⁰ K (Bq/kg)	13 NOLU SAHİL KUMU	²³⁸ U (Bq/kg)	²³² Th (Bq/kg)	⁴⁰ K (Bq/kg)
ÇAKIL	30,9±2,4	34±8,7	251,9±30,2	ÇAKIL	47,5±2,76	46,6±8,9	322±31,7
KUM	149,1±12,52	148,1±38,8	611,3±126,2	KUM	378,85±41,15	365±85,4	1235,8±285,7
ALÜVYON	---	---	---	ALÜVYON	161,87±17,04	143,6±36,9	731,6±120,7
KİL	268,2±18,17	250,2±50,1	745,6±163,6	KİL	304,65±21,35	317,9±67,4	1128,4±240,7

14 NOLU SAHİL KUMU	²³⁸ U (Bq/kg)	²³² Th (Bq/kg)	⁴⁰ K (Bq/kg)	15 NOLU SAHİL KUMU	²³⁸ U (Bq/kg)	²³² Th (Bq/kg)	⁴⁰ K (Bq/kg)
ÇAKIL	37,3±3,04	33,5±7,8	227,2±27,8	ÇAKIL	43,95±3,32	38,5±8,5	245±28,5
KUM	58,5±3,18	48,2±9,8	175,8±30,7	KUM	45,65±2,97	40,7±9	235,4±32,1
ALÜVYON	85,9±6,29	77±16,4	305±53,9	ALÜVYON	39,5±2,26	42,2±9,8	200,7±32,4
KİL	126,9±14,5	178,1±28,2	696±97,5	KİL	122±6,29	119,2±26,7	354,2±87,3

16 NOLU SAHİL KUMU	²³⁸ U (Bq/kg)	²³² Th (Bq/kg)	⁴⁰ K (Bq/kg)	17 NOLU SAHİL KUMU	²³⁸ U (Bq/kg)	²³² Th (Bq/kg)	⁴⁰ K (Bq/kg)
ÇAKIL	44,05±4,53	50,9±9,9	328,9±33,8	ÇAKIL	45,4±3,18	44±9,2	337,2±32,9
KUM	46,6±4,53	42,1±9,8	427±35,6	KUM	67,8±6,51	75,9±17,2	444±59,8
ALÜVYON	46,65±3,89	54,8±10,5	329,6±37	ALÜVYON	50,3±3,25	48,2±9,5	327,5±34,5
KİL	---	---	---	KİL	136,6±9,48	131,3±22,5	658,9±78,5

Tablo 3.11.'in devamı

18 NOLU SAHİL KUMU	²³⁸U (Bq/kg)	²³²Th (Bq/kg)	⁴⁰K (Bq/kg)	19 NOLU SAHİL KUMU	²³⁸U (Bq/kg)	²³²Th (Bq/kg)	⁴⁰K (Bq/kg)
<i>ÇAKIL</i>	46,2±2,76	48,2±9,7	351,1±33	<i>ÇAKIL</i>	55,7±2,83	52,5±9,9	388,6±32,5
<i>KUM</i>	40,05±3,61	47,2±9,3	394,9±34,1	<i>KUM</i>	45,85±3,32	42,2±9	332,1±32,8
<i>ALÜVYON</i>	---	---	---	<i>ALÜVYON</i>	40,65±2,76	47,9±9,9	393,8±35,1
<i>KİL</i>	---	---	---	<i>KİL</i>	100,95±8,13	94,9±21,4	503,6±71,8

20 NOLU SAHİL KUMU	²³⁸U (Bq/kg)	²³²Th (Bq/kg)	⁴⁰K (Bq/kg)				
<i>ÇAKIL</i>	53,65±4,24	51,10±10,2	468,1±36,8				
<i>KUM</i>	48,9±3,96	54,7±10,2	498,3±36				
<i>ALÜVYON</i>	52,45±3,46	45,7±9,7	458,4±36,8				
<i>KİL</i>	110,1 ±8,2	117,6±22,5	721,8±81				

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmamızda Kastamonu ili Abana ve Çatalzeytin ilçelerinden toplanan 20 adet toprak ve 20 adet sahil kumu örneğinin gama spektrometri yöntemi kullanılarak NaI(Tl) dedektörü ile ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K doğal radyonüklitlerinin aktivite konsantrasyonları ve bu konsantrasyonlardan yararlanılarak hesaplanan gama dozu, yıllık etkin doz eşdeğeri, radyum eşdeğer aktiviteleri, dış tehlike indeksleri ve gama aktivite konsantrasyon indeksi tespit edilmiştir. Yine toprak ve sahil kumu numunelerinin toplandığı noktalardan taşınabilir G-M sayacı kullanılarak gama dozu ölçülmüş ve bu ölçümler kullanılarak yıllık efektif dozlar tespit edilmiş ve bu değerler hesaplanan değerlerle karşılaştırılmıştır. Ayrıca toplanan sahil kumu örneklerinde tanecik boyutu analizi yapılmıştır. Sahil kumu örnekleri ayrı bir elemenden geçirilerek çakıl, kum, alüvyon ve kil boyutlarında ayrı numuneler oluşturularak her biri için ayrı ayrı radyoaktivite konsantrasyonları hesaplanmıştır. Numunelerden ölçülen ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K 'nin radyoaktivite konsantrasyonlarının ortalama değerleri Tablo 4.1'de verilmiştir [36].

Tablo 4.1. ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K 'nin numunelerdeki ortalama konsantrasyonları

ÖRNEK TÜRÜ		^{238}U (Bq/kg)	^{232}Th (Bq/kg)	^{40}K (Bq/kg)
SAHİL KUMU	Ortalama(\pm SS)	28,04 \pm 0,72	43,67 \pm 0,61	374,09 \pm 2,34
	TOPRAK	Ortalama(\pm SS)	55,20 \pm 2,93	66,96 \pm 1,76
ÇAKIL	Ortalama(\pm SS)	44,29 \pm 0,70	44,08 \pm 1,19	319,27 \pm 4,13
KUM	Ortalama(\pm SS)	72,22 \pm 8,71	72,72 \pm 18,17	401,91 \pm 60,28
ALÜVYON	Ortalama(\pm SS)	59,67 \pm 3,57	45,7 \pm 7,05	361,07 \pm 22,16
KİL	Ortalama(\pm SS)	129,37 \pm 5,39	130,95 \pm 15,67	616,28 \pm 55,34
DÜNYA ORTALAMASI		35	30	400

^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K 'nin ortalama konsantrasyonları elekten elde ettiğimiz kil boyutundaki numunelerde oldukça yüksek çıkmıştır. Tanecik boyutu küçüldükçe konsantrasyon oranlarının da kısmen arttığı gözlemlenmiştir. Numunelerdeki ortalama değerler genel olarak dünya ortalamalarının üzerinde çıkmıştır.

Çalışma bölgesi için radyonüklitlerin spesifik aktiviteleri kullanılarak radyasyon tehlike parametrelerinin ortalamaları Tablo 4.2’de verilmiştir ve değerler ortalama veya tavsiye edilen değerlere yakın olarak gözlemlenmiştir [36,37].

Tablo 4.2. Ortalama radyasyon tehlike parametreleri

Örnek Türü	Ölçüm Türü	D (nGy/h)	AEDE (µSv/y)	Ra _{eq} (Bq/kg)	H _{ex} (≤ 1)	I _{yr} Bq/kg
Sahil Kumu	Yerinde Ölçüm	72,65	89,09	---	---	---
Sahil Kumu	Hesaplanan Değer	57,04	69,95	119,28	0,32	0,87
Toprak	Yerinde Ölçüm	100,27	122,97	---	---	---
Toprak	Hesaplanan Değer	89,69	110,00	189,79	0,51	1,37
Ortalama veya Tavsiye Edilen Değerler		57	70	370	≤1	≤1

Çalışmamızda yapay bir radyonüklit olan ¹³⁷Cs’ye toprak ve sahil kumu numunelerinde gözlemlenmemiştir. Bu çalışma ile Kastamonu ili Abana-Çatalzeytin bölgesinin doğal ve yapay radyoaktivite düzeyi belirlenmiştir. Bu ve buna benzer çalışmalar ülkemizde ve dünyada yapılmış ve yapılmaya devam etmektedir. Ülkemizde bu tür çalışmaların yapılması taban radyasyon düzeylerin belirlenmesi açısından oldukça önemlidir. Mersin ve Sinop’a kurulacak olan nükleer santralleri de göz önünde bulundurursak bu tür çalışmaların önemi daha da artacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Doğal radyasyon kaynakları. taek.gov.tr/bilgikosesi/184radyasyonlabirlikte-yasiyoruz/501-dogal-radyasyon-kaynaklari.html, Erişim tarihi: 20/08/2017
- [2] Uluslararası kuruluşlar. <http://www.taek.gov.tr/tr/sss/radyasyondan-korunma/504-radyasyondan-korunma-uluslararasi-kuruluslar.html>, Erişim tarihi: 01/09/2017
- [3] Radyasyon türleri. <http://www.tamsat.org.tr/tr/uzay-radyasyonunun-elektronik-devreler-ve-uydu-sistemleri-uzerine-etkileri-radyasyona-karsi-guclendirme-1/> Erişim tarihi: 15/09/2017
- [4] Değerlier M. “Adana İli ve Çevresinin Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Saptanması ve Doğal Radyasyonların Yıllık Etkin Doz Eşdeğerinin Bulunması”, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 2007.
- [5] TAEK, Radyasyon insan ve çevre, iyonlaştırıcı radyasyon, etkileri ve kullanım alanları, güvenli kullanımı için uygulamada olan tedbirler, 2009 P:12
- [6] MEB (2011). *Çevre Sağlığı Radyasyon Kirliliği*. Ankara: Milli Eğitim Bakanlığı, Sayfa: 4-5
- [7] Serbest nötronlar. http://www.taek.gov.tr/ogrenci/bolum4_03.html, Erişim tarihi:13/11/2017
- [8] Herman Cember and Thomas E. Jhonson (2009). *Introduction to health physics*, 4th edition, The McGraw-Hill Companies, ISBN: 978-0-07-164323-8
- [9] Radyasyon kaynaklarının doz oranları. <http://www.taek.gov.tr/tr/2016-06-09-00-43-46/1087-dogal-radyasyon-kaynaklari.html>, Erişim tarihi: 25/12/2017
- [10] Bakar, K., “Nükleer Tıp Alanında Çalışan Personelin Maruz Kaldığı Radyasyonun Fiziksel Dozimetri ile Belirlenmesi ve Radyasyonun İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 96 (2012).
- [11] <http://www.unscear.org/unscear/en/faq.html>, Erişim tarihi: 05/01/2018
- [12] Çelebi, N. “Çevresel Örneklerde Uranyum, Radyum ve Radon Ölçüm Tekniklerinin Geliştirilmesi”, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1995.

- [13] Reşitoğlu, S., “Kars-İl Merkezi Topraklarında Doğal Radyoaktivite Seviyelerinin Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Kafkas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı., Yüksek Lisans Tezi, 2011.
- [14] Çam, S.; Barıs, C.; Özsoylu, F.B.; Erees, F.S., “Radon, Dogal Gaz, Biyogaz ve Çöplük Gazı. Biyoenerji 2004 Sempozyumu Bildiriler Kitabı”, sayfa:294-301 (2004).
- [15] Tsoufanidis N, *Measurement and Deection of Radiation*, Second edition, University of Missouri-Rolla, 1995.
- [16] Rittersdorf I., “Gamma Ray Spectroscopy” Nuclear Engineering & Radiological Sciences March 20, 2007.
- [17] Gören, E., “Adana İçme Sularında Trityum Aktivitesinin Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, 2011.
- [18] Akkoyun, S., “Uzayda Gama Işını Ölçümleri-Bir Geant Simülasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, 2006.
- [19] Arya Atam. P.,. “Çekirdek Fiziğinin Esasları”. Çeviri Editörü Şahin Y. Balkan Yayıncılık, 1989, Erzurum.
- [20] Altıkulaç A (2014). Samsun ve ilçelerine ait çevresel örneklerdeki (yüzey toprağı, su, mantar ve karalahana) doğal radyoaktivitenin ölçülmesi ve bu aktiviteden kaynaklanan yıllık etkin dozun belirlenmesi. Doktora Tezi. On dokuz Mayıs Üniversitesi Fizik Anabilim Dalı
- [21] Mavi, B., “Isparta’daki Bazı Yapı Malzemelerinde Doğal Radyoaktivite Tayini”, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta 75 (2010).
- [22] <http://www.kastamonu.gov.tr/deniz-turizmi> Erişim tarihi:18/01/2018
- [23] <http://www.kgm.gov.tr/sayfalar/kgm/sitetr/uzakliklar/ilcedenilceyemesfe.aspx> Erişim tarihi:12/02/2018
- [24] <http://www.kastamonukultur.gov.tr> Erişim tarihi:19/02/2018
- [25] Relationships between sea-bed radionuclide activities and some sedimentological variables R.A. Liger*, I. Ramos-Lerate, M. Barrera, M. Casas-Ruiz 2001.
- [26] Gama spektrometresi. <http://www.taek.gov.tr> Erişim tarihi:07/03/2018
- [27] ORTEC 3’’x 3’’ NaI(Tl) sintilasyon(ışıldama) dedektörü. <https://www.ortec-online.com> Erişim tarihi:23/03/2018

- [28] Zorer, Ö. S., “Bendimahi Çayı’nda Ve Çayın Van Gölü’ne Döküldüğü Noktada Doğal Radyoaktivite Seviyesinin Belirlenmesi” Doktora Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, 2006.
- [29] Rosseland, S., *Z. Physik*, 14, p.173, (1923).
- [30] Ayçık G. A., “Çevre Radyoaktivitesinin İzlenmesinde Örneklemeye Ölçme Ve Analiz Yöntemleri” Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, 1992.
- [31] Gordon R. Gilmore, John Wiley & Sons “*Practical Gamma-ray Spectrometry*” 2nd Edition Ltd. ISBN: 978-0-470-86196-7 (2008).
- [32] Kurnaz, A. vd, 2011. “*Radiological maps for Trabzon, Turkey*”. *Journal of Environmental Radioactivity*, Vol. 102; 393-399
- [33] Customization Tools Manual Genie-2000. (2004). *Maestro-32 Software User’s Manual*.
- [34] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. (1988). *Report to the General Assembly*, with Annexes.57.
- [35] Beretka, J., & Mathew P. J. (1985). *Natural Radioactivity of Australian Building Materials, Industrial Wastes and by Products, Health Physics*, 48: 87-95.
- [36] Isinkaye M.O. (2008). Radiometric assessment of natural radioactivity levels of bituminous soil in Agbabu, southwest Nigeria Article in *Radiation Measurements*, 127.
- [37] ICRP. (1991). International Commission on Radiological Protection, Pergamon Press, ICRP Publication 60, Ann. ICRP 21 (1-3), Oxford.
- [38] Karahan, G. (1997). İstanbul’un Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Tayini ve Doğal Radyasyonların Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri. Doktora Tezi, İstanbul, Üniversitesi, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Murat ÖZCAN
Doğum Yeri ve Yılı : Ankara / 30.07.1984
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : murat_ozcan@kastamonu.edu.tr



Eğitim Durumu

Lise : Ömer Seyfettin Lisesi (2002)
Lisans : Gazi Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü (2007)

Mesleki Deneyim

İş Yeri : Kastamonu Üniversitesi 2011-... (Halen)

Uluslararası Konferanslarda Yayımlanan Bildiriler

ÇETİNER, M.A. , KURNAZ, A. , ÖZCAN, M. , “Abana-Çatalzeytin Kastamonu Bölgesi Doğal Radyoaktivite Seviyesinin Belirlenmesi” 9th Balkan Physics, p. 305, 24-27 August 2015, Istanbul-Turkey. **(Oral Presentation)**