

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FİZİK ANABİLİM DALI**

**ORDU, GİRESUN VE TRABZON İLLERİ SAHİL KUMLARINDA DOĞAL  
GAMA RADYOAKTİVİTESİNİN BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Ayşe KARADENİZ**

**HAZİRAN 2013**  
**TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FİZİK ANABİLİM DALI**

**ORDU, GİRESUN VE TRABZON İLLERİ SAHİL KUMLARINDA DOĞAL  
GAMA RADYOAKTİVİTESİNİN BELİRLENMESİ**

**Ayşe KARADENİZ**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde  
"YÜKSEK LİSANS (FİZİK)"  
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24.05.2013**  
**Tezin Savunma Tarihi : 17.06.2013**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Belgin KÜÇÜKÖMEROĞLU**

**Trabzon 2013**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Fizik Anabilim Dalında**

**Ayşe KARADENİZ tarafından hazırlanan**

**ORDU, GİRESUN VE TRABZON İLLERİ SAHİL KUMLARINDA DOĞAL  
GAMA RADYOAKTİVİTESİNİN BELİRLENMESİ**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 28 / 05 / 2013 gün ve 1507 sayılı  
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**olarak kabul edilmiştir.**

**Jüri Üyeleri**

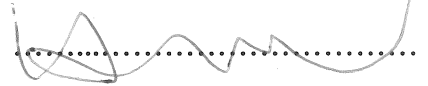
**Başkan : Prof. Dr. Belgin KÜÇÜKÖMEROĞLU**



**Üye : Prof. Dr. A. Hakan YILMAZ**



**Üye : Yrd. Doç. Dr. Hakan ERSOY**



**Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ**

**Enstitü Müdürü**

## ÖNSÖZ

Ordu, Giresun ve Trabzon illeri sahil kumlarında doğal gama radyoaktivitesinin belirlenmesi için yapılan bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Yüksek Lisans Tez çalışmamda, çalışmalarım boyunca benden bilgi, hoşgörü ve güler yüzünü esirgemeyen, her türlü destek ve imkanı sağlayan saygı değer danışman hocam Prof. Dr. Belgin KÜÇÜKÖMEROĞLU' na teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Fizik Bölümü Atom ve Molekül Fiziği laboratuvarında ki çalışmalarım da ilgilerini ve desteklerini esirgemeyen K.T.Ü. Fizik Bölümü Doktora öğrencisi Selcen DURAN ve Giresun Üniversitesi Araştırma görevlisi Ahmet ÇELİK' e teşekkür ederim.

K.T.Ü. Jeoloji Mühendisliği Öğretim üyelerinden Yrd. Dr. Hakan ERSOY' a ve Batman Üniversitesi Öğretim üyelerinden Doç. Dr. Nevzat DAMLA' ya teşekkür ederim.

Akademik çalışmalarım süresince maddi ve manevi destekleriyle daima yanımda bulunan annem, babam ve kardeşime en içten saygı ve sevgilerimi sunuyor ve varlıkları ile bana güç kattıkları için teşekkür ediyorum.

Ayşe KARADENİZ  
Trabzon 2013

## TEZ BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “ Ordu, Giresun ve Trabzon İlleri Sahil Kumlarında Doğal Gama Radyoaktivitesinin Belirlenmesi ” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Belgin KÜÇÜKÖMEROĞLU'nun sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuarlarda yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 24 / 06 /2013

Ayşe KARADENİZ

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa No

ÖNSÖZ.....	III
TEZ BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET .....	VIII
SUMMARY .....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
TABLolar DİZİNİ .....	XII
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XIII
1. GENEL BİLGİLER .....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Radyoaktivite Hakkında Genel Bilgi .....	4
1.2.1. Radyoaktif Bozunma Türleri.....	6
1.2.1.1. Alfa Bozunum .....	7
1.2.1.1. Beta Bozunumu .....	8
1.2.1.3. Gama Bozunumu.....	11
1.2.2. Radyoaktif Bozunma Kanunu .....	12
1.2.2.1. Yarı Ömür .....	14
1.2.2.2. Ortalama Ömür.....	14
1.2.3. Ardışık Bozunma .....	15
1.2.4. Radyoaktif Denge.....	18
1.2.4.1. Geçici Denge.....	18
1.2.4.2. Sürekli Denge.....	19
1.2.5. Radyoaktivite ve Radyasyon Ölçüm Birimleri .....	20
1.3.1. Doğal Radyasyon Kaynakları .....	22

1.3.2.	Yapay Radyoaktivite ve Kaynakları .....	27
1.4.	Gama Işının Madde İle Etkileşimi .....	29
1.4.1.	Fotoelektrik Olay .....	30
1.4.2.	Compton Saçılması .....	30
1.4.3.	Çift Oluşum.....	31
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR .....	32
2.1.	Giriş.....	32
2.2.	Ordu, Giresun ve Trabzon'un Jeolojik Yapısı.....	32
2.3.	Arazi Çalışması .....	36
2.3.1.	Sahil Kum Örneklemelerinin Yapılması, Örneklerin Toplanması .....	36
2.4.	Laboratuar Çalışmaları .....	36
2.4.1.	Örneklerin Hazırlanması.....	36
2.4.2.	DeneySEL Sistem .....	39
2.4.3.	DeneySEL Yöntem .....	39
2.4.3.1.	Enerji Kalibrasyonu.....	39
2.4.3.2.	Verim Kalibrasyonu .....	40
2.4.4.	Spektrum Analizi.....	42
2.4.4.1.	Aktivite Hesabı.....	42
2.4.4.2.	Radyum Eşdeğer Aktivitesi Hesabı.....	43
2.4.4.3.	Soğurulan Gama Doz Hızı Hesabı .....	44
2.4.4.4.	Yıllık Etkin Doz Hesabı .....	44
2.4.4.5.	Dış Tehlike İndeksi.....	44
3.	BULGULAR VE TARTIŞMALAR.....	45
3.1.	Trabzon, Giresun ve Ordu İllerinin Sahil Kum Örneklerinin Analiz Sonuçları... 45	
3.1.1.	Trabzon Sahili Kum Örneklerinin Analiz Sonuçları .....	45
3.1.2.	Giresun Sahili Kum Örneklerinin Analiz Sonuçları.....	54

3.1.3.	Ordu Sahili Kum Örneklerinin Analiz Sonuçları .....	62
4.	SONUÇLAR.....	74
5.	ÖNERİLER .....	83
6.	KAYNAKLAR.....	84

ÖZGEÇMİŞ



Yüksek Lisans

ÖZET

ORDU, GİRESUN VE TRABZON İLLERİ SAHİL KUMLARINDA DOĞAL GAMA  
RADYOAKTİVİTESİNİN BELİRLENMESİ

Ayşe KARADENİZ  
Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Fizik Anabilim Dalı  
Tez Danışmanı: Prof. Dr. Belgin KÜÇÜKÖMEROĞLU  
2013, 88 Sayfa

Bu çalışma, Ordu, Giresun ve Trabzon illeri sahil kumlarında doğal gama radyoaktivitesinin belirlenmesi amacıyla yapılmıştır.

Ordu, Giresun ve Trabzon illerinin 290 km uzunluğundaki sahil şeridinden yaklaşık 3'er km aralıklarla toplanan 101 adet sahil kum örneğinin doğal ve yapay radyoaktivite analizleri HPGe gama spektrometresi kullanılarak ölçülmüştür. Analizler sonucunda Ordu, Giresun ve Trabzon illeri için hesaplanan  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  ve  $^{137}\text{Cs}$ 'nin ortalama aktivite konsantrasyonları, Ordu için sırasıyla  $25,40 \pm 2,95$  Bq/kg,  $10,83 \pm 2,92$  Bq/kg,  $673,31 \pm 45,31$  Bq/kg, ve  $9,71 \pm 1,16$  Bq/kg, Giresun için sırasıyla  $21,28 \pm 3,22$  Bq/kg,  $13,72 \pm 3,23$  Bq/kg  $530,88 \pm 36,64$  Bq/kg ve  $6,42 \pm 1,06$  Bq/kg, Trabzon için sırasıyla  $15,96 \pm 1,81$  Bq/kg,  $7,99 \pm 2,39$  Bq/kg,  $230,94 \pm 10,67$  Bq/kg ve  $3,25 \pm 0,72$  Bq/kg değerlerindedir. Bu sonuçlar çalışmamızda, diğer dünya ülkeleri ve ülkemizde yapılmış olan çalışmalarla karşılaştırılmıştır.  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  elementlerinin radyoaktivite değerlerini kullanarak soğurulan gama doz değeri, yıllık etkin doz hızı ve dış tehlike indeks değeri Ordu, Giresun ve Trabzon illeri için hesaplanmıştır. Ordu, Giresun ve Trabzon için soğurulan gama doz ortalama değerleri sırasıyla;  $43,53$  nGy/h,  $38,68$  nGy/h ve  $20,64$  nGy/h olarak hesaplanmıştır. Bu değerler nüfusa göre ağırlıklı dünya ortalaması  $60$  nGy/h değerinden oldukça düşüktür. Ordu, Giresun ve Trabzon için yıllık etkin doz hızı ortalama değerleri sırasıyla;  $0,087$  mSv/y,  $0,047$  mSv/y ve  $0,025$  mSv/y olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar tavsiye edilen  $5$  mSv/y değerinden oldukça düşüktür. Dış tehlike indeksi değerleri Ordu için  $0,23$ , Giresun için  $0,21$  ve Trabzon için  $0,14$  değerinde hesaplanmıştır ve hesaplan değerler beklendiği gibi  $1.0$ 'ın altındadır.

**Anahtar Kelimeler:** Doğal Radyoaktivite, Kum, Yıllık Etkin Doz ve Dış Tehlike Endeksi

Master Thesis

## SUMMARY

### DETERMINATION OF NATURAL GAMMA RADIOACTIVITY IN SAND ALONG THE COASTAL REGIONS OF ORDU, GIRESUN AND TRABZON

Ayşe KARADENİZ  
Karadeniz Technical University  
The Graduate School of University Natural and Applied Sciences  
Physical Graduate Program  
Supervisor: Assoc. Prof. Belgin KÜÇÜKÖMEROĞLU  
2013, 88 Pages

In this study natural gamma radioactivity levels are determined on sands along the coastal regions of Ordu, Giresun and Trabzon.

The coast of Ordu, Giresun and Trabzon about 290 km long in investigated to collect 101 sand samples. Natural and artificial radioactivity concentrations of sand samples were measured by using HPGe gamma spectrometry. The average activity concentrations of  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  and  $^{137}\text{Cs}$  on sand samples of Ordu, Giresun and Trabzon were found to be  $25,40\pm 2,95$  Bq/kg,  $10,83\pm 2,92$  Bq/kg,  $673,31\pm 45,31$  Bq/kg, and  $9,71\pm 1,16$  Bq/kg,  $21,28\pm 3,22$  Bq/kg,  $13,72\pm 3,23$  Bq/kg,  $530,88\pm 36,64$  Bq/kg and  $6,42\pm 1,06$  Bq/kg,  $15,96\pm 1,81$  Bq/kg,  $7,99\pm 2,39$  Bq/kg,  $230,94\pm 10,67$  Bq/kg and  $3,25\pm 0,72$  Bq/kg, respectively. The average activity concentrations for these radionuclides were compared with the reported data of other parts of Turkey and other countries. The average absorbed dose rate for Ordu, Giresun and Trabzon were calculated to be 43,53 nGy/h, 38,68 nGy/h and 20,64 nGy/h, respectively. These values are significantly lower than the World averaged value of 60 nGy/h. The external annual effective dose rate concentration in Ordu, Giresun and Trabzon were found to be 0,087 mSv/y, 0,047 mSv/y and 0,025 mSv/y, respectively. This result is much lower than the recommended limit of 5 mSv/y. The external hazard dose rate for Ordu, Giresun and Trabzon were calculated to be 0,23, 0,21 and 0,14, respectively. This result is much lower than the recommended limit of 1.0.

**Key words:** Natural Radioactivity, Beach Sand, Annual Effective Dose and External Hazard Dose.

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa No

Şekil 1.	Çekirdeklerdeki proton sayılarının nötron sayılarına göre değişimi grafiği	6
Şekil 2.	Radyoaktif Bir Numune Miktarının Zamanla Değişimi.....	13
Şekil 3.	Ardışık bozunma grafiği.....	18
Şekil 4.	Doğal radyoaktif $^{238}\text{U}$ bozunma serisi.....	24
Şekil 5.	Doğal radyoaktif $^{235}\text{U}$ bozunma serisi .....	25
Şekil 6.	Doğal radyoaktif $^{232}\text{Th}$ bozunma serisi.....	26
Şekil 7.	Neptinyum Radyoaktif bozunma serisi .....	27
Şekil 8.	Doğal ve yapay radyasyon kaynakları .....	28
Şekil 9.	Yapay Radyasyon kaynaklarının dağılımı.....	29
Şekil 10.	Fotoelektrik olay, compton olayı ve çift oluşumunun baskın olduğu bölgeler.....	32
Şekil 11.	Ordu, Giresun ve Trabzon illerinin jeolojik haritası.....	36
Şekil 12.	Gama Spektrometre Sisteminin Blok Şeması.....	37
Şekil 13.	Enerji Kalibrasyon Eğrisi .....	40
Şekil 14.	Verim Enerji Eğrisi.....	41
Şekil 15.	Trabzon sahil kumu uranyum ve toryum aktivitelerinin noktalar göre dağılımı .....	50
Şekil 16.	Trabzon sahil kumu potasyum radyoaktivitesi noktalara göre dağılımı.....	51
Şekil 17.	Trabzon sahil kumu potasyum radyoaktivitesi noktalara göre dağılımı.....	52
Şekil 18.	Giresun sahil kumu uranyum ve toryum radyoaktivitesinin noktalara göre dağılımı.....	59
Şekil 19.	Giresun sahil kumu uranyum ve toryum radyoaktivitesinin noktalara göre dağılımı.....	60
Şekil 20.	Giresun sahil kumu Sezyum radyoaktivitesinin noktalara göre dağılımı.....	61
Şekil 21.	Ordu sahil kumu Uranyum ve Toryum radyoaktivitesinin noktalara göre dağılımı.....	69

- Şekil 22. Ordu sahil kumu Potasyum radyoaktivitesinin noktalara göre dağılımı ..... 70
- Şekil 23. Ordu sahil kumu Sezyum radyoaktivitesinin noktalara göre dağılımı ..... 71

## TABLolar DİZİNİ

### Sayfa No

Tablo 1.	Radyasyon terimleri ve özel birimler ile SI birimleri arasındaki ilişki.....	21
Tablo 2.	Doğal radyoaktif seriler ve bazı özellikleri.....	22
Tablo 3.	Bazı doğal radyoaktif izotoplar.....	23
Tablo 4.	Standart kaynağın özellikleri.....	39
Tablo 5.	Aktivitesi hesaplanan elementler ve bozunma olasılıkları.....	42
Tablo 6.	Trabzon ili sahil kumlarındaki radyonüklit konsantrasyonları ve koordinatları.....	48
Tablo 7.	Trabzon ili sahil kumu örneklerinin soğurulan gama doz hızı, yıllık etkin doz eşdeğeri ve dış tehlike indeks değerleri.....	53
Tablo 8.	Giresun ilinden alınan kum örneklerinin radyoaktivite konsantrasyonu ve koordinatları.....	57
Tablo 9.	Giresun ili sahil kumu örneklerinin soğurulan gama doz hızı, yıllık etkin doz eşdeğeri ve dış tehlike indeks değerleri.....	62
Tablo 10.	Ordu ili sahil kumlarındaki radyonüklit konsantrasyonları ve koordinatları ....	66
Tablo 11.	Ordu ili sahil kumu örneklerinin Soğurulan gama doz hızı, yıllık etkin doz eşdeğeri ve dış tehlike indeks değerleri .....	72
Tablo 12.	Trabzon ilinin kıyı şeridi ilçelerinin radyoaktivite konsantrasyonları .....	75
Tablo 13.	Trabzon ili sahil kumu örneklerinin D, YEDE ve H <sub>ex</sub> değerleri .....	75
Tablo 14.	Giresun ilinin kıyı şeridi ilçelerinin radyoaktivite konsantrasyonları.....	77
Tablo 15.	Giresun ili sahil kumu örneklerinin D, YEDE ve H <sub>ex</sub> değerleri .....	77
OTablo 16.	Ordu ilinin kıyı şeridi ilçelerinin radyoaktivite konsantrasyonları.....	79
Tablo 17.	Ordu ili sahil kumu örneklerinin D, YEDE ve H <sub>ex</sub> değerleri.....	79
Tablo 18.	Dünya’da bazı bölgelerde sahil kumu radyoaktivite düzeyleri .....	80
Tablo 19.	Türkiye’de bazı bölgelerde sahil kumu ve sediment radyoaktivite düzeyleri..	81

## SEMBOLLER DİZİNİ

A	: Kütle Numarası
Bq	: Becquerel
C	: Coulomb
Ci	: Curie
c	: Işık Hızı
D	: Soğurulan doz
e <sup>-</sup>	: Elektron
eV	: Elektron volt
g	: Gram
Gy	: Gray
h	: Plank sabiti
Sv	: Sievert
T <sub>1/2</sub>	: Yarı ömür
$\lambda$	: Bozunma sabiti
$\tau$	: Ortalama ömür
UNSCEAR	: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
TAEK	: Türkiye Atom Enerji Kurumu
BEIR	: Biological Effects of Ionizing Radiation
IAEA	: International Atomic Energy Agency

## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Giriş

Yeryüzünün oluşumundan itibaren var olan doğal radyoaktivite ile nükleer silah denemeleri, nükleer kazalar, nükleer güç üretimi ve nükleer yakıt çevriminden çevreye salınan yapay radyoaktivite çevre radyoaktivitesini oluşturmaktadır. Doğal radyoaktivite, uzaydan gelen kozmik ışınları, kozmojenik radyonüklitleri ve yer kabuğunda bulunan uranyum, toryum ve potasyum gibi radyonüklitleri içermektedir.

Çevre radyoaktivitesinin izlenmesinin temel amacı, insanların maruz kaldığı doğal ve yapay radyasyon seviyesini belirlemektir. Çevresel radyasyon seviyesindeki önemli değişiklikleri tespit edilmesi, herhangi bir kaza sonrasında radyoaktif kirlenmenin boyutlarının değerlendirilmesi ve insan sağlığı ile çevre üzerindeki etkilerinin doğru şekilde belirlenebilmesi açısından büyük önem arz etmektedir. Bu tür çalışmalardan sonra bir bölgenin doğal radyasyon açısından sağlıklı yaşamaya uygun olup olmadığına karar verilebilir. Bu amaçla yapılan araştırmalar; Uluslararası Radyolojik Korunma Komisyonu (ICRP), Amerika Birleşik Devletleri Radyasyon Korunması ve Ölçümü Milli Komitesi (UNSCEAR) ve Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (TAEK-ÇNAEM) ve benzeri milli ve uluslararası kuruluşlar tarafından yapılmaktadır.

Sahil kumlarında, sediment ve kayaç örneklerinde doğal olarak bulunan Uranyum ( $^{238}\text{U}$ ), Toryum ( $^{232}\text{Th}$ ) ve Potasyum ( $^{40}\text{K}$ ) dağılımlarının araştırılması, bu elementlerin insan vücudunu gama ışınlarına maruz bırakması, radon ve ürünlerinin solunum yoluyla akciğer dokusunda ışınlanmaya yol açması gibi radyolojik etkilerinin anlaşılmasını sağlar. Bu sebepten dolayı  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  radyonüklitlerin dağılımlarının belirlenmesi, radyasyondan korunma ve değerlendirmede önemli bir rol oynar.

Dünyanın değişik bölgelerindeki sahil kumlarının doğal radyoaktivitesinin belirlenmesi için birçok çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda radyoaktivite seviyelerinde belirgin farklılıklar göze çarpmaktadır. Bu farklılıklar, ortamın jeolojik yapısına bağlı olarak değişmektedir. Çünkü, doğal radyasyonların temel seviyeleri bölgenin jeolojik ve coğrafik dolayısıyla toprak ve kayaların mineralojik yapısına bağlıdır (Bozkurt vd.,2007; Tzortzis vd., 2004).

UNSCEAR'ın 2000 yılında yayınladığı değerlere göre  $^{238}\text{U}$  için önerilen sınır değer 33 Bq/kg,  $^{232}\text{Th}$  için 45 Bq/kg ve  $^{40}\text{K}$  için 420 Bq/kg olarak verilmiştir. Tüm yapılan çalışmalarda  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  radyoaktivite değerlerinin UNSCEAR'ın sınır değerlerinin altında olması beklenmektedir.

Literatüre baktığımızda yüksek doğal fon (Background) radyoaktif ışınlarına sahip olan birçok bölge bulunmaktadır. Mısır ve Hindistan da uranyum, toryum ve potasyum ölçümleri dünya ortalamasının çok üstünde çıkarken Çin de uranyum ve toryum değerleri dünya ortalamasının bir hayli altında, potasyum değerleri de bir o kadar ortalamanın üstünde çıkmıştır. Brezilya, İran ve Kanada yüksek doğal fon (Background) radyasyon değerleri olan ülkelerdendir (UNSCEAR.,2000).

Ülkemizden sahil kumlarının doğal radyoaktivite seviyesini ölçmek için yapılan çalışmalardan örnek vermek gerekirse; Çanakkale ilinin Ezine bölgesinde yapılan çalışmada sahil kumlarından alınan 12 örneğin ortalama doğal radyoaktivite konsantrasyonu hesaplanmıştır.  $^{238}\text{U}$  nın ortalama değeri 290,36 Bq/kg,  $^{232}\text{Th}$  un ortalama değeri 532,04 Bq/kg,  $^{40}\text{K}$  in ortalama değeri 1160,75 Bq/kg dir (Örgün vd., 2007).

Rize ilinin Çayeli-Kaptanpaşa ve İkizdere-Güneyce bölgesindeki kum örneklerinde doğal gama radyoaktivite seviyesi ölçülmüştür. Manyetik, manyetik olmayan ve hafif kum örneklerinin ortalama aktivite konsantrasyonu sırasıyla,  $^{232}\text{Th}$  için  $59,88 \pm 5,72$  Bq/kg,  $79,54 \pm 7,16$  Bq/kg ve  $21,13 \pm 2,03$  Bq/kg,  $^{238}\text{U}$  için  $35,93 \pm 3,41$  Bq/kg,  $51,86 \pm 4,76$  Bq/kg ve  $18,45 \pm 1,76$  Bq/kg,  $^{40}\text{K}$  için  $251,32 \pm 12,64$  Bq/kg,  $196,70 \pm 9,25$  Bq/kg ve  $515,63 \pm 28,50$  Bq/kg' dir (Keser, 2009).

Zonguldak ili sahil kumlarında radyoaktivite ölçümleri yapılmıştır. 12 farklı noktadan alınan toplam 28 adet kum örneğinde ölçülen ortalama aktivite değerleri  $^{238}\text{U}$  için  $18,88 \pm 1,16$  Bq/kg,  $^{232}\text{Th}$  için  $8,35 \pm 6,18$  Bq/kg,  $^{40}\text{K}$  için  $167,66 \pm 12,17$  Bq/kg olarak hesaplanmıştır (Küçük, 2012).

Kocaeli ili Karadeniz sahil kumlarında radyoaktivite ölçümleri yapılmıştır. Farklı 10 noktadan toplam 20 adet kum örneği toplanmış ve % 25 verime sahip HPGe dedektörü kullanılarak sayım yapılmıştır. Sahil kum örneklerinin  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  konsantrasyonları sırasıyla  $(4,41 \pm 0,03) - (14,04 \pm 0,04)$  Bq/kg,  $(2,62 \pm 0,02) - (16,55 \pm 0,03)$  Bq/kg ve  $(11,6 \pm 0,25) - (513,32 \pm 3,44)$  Bq/kg aralığında hesaplanmıştır (Korkulu, 2010).

Dünyanın çeşitli yerleşim alanlarında sahil kumlarındaki radyonüklidlerden kaynaklanan karasal radyasyonun belirlenmesine yönelik birçok çalışma yapılmaktadır. Mısır'da Akdeniz ve Kızıldeniz sahilleri boyunca 9 plajdan toplanan 400 sahil kumu



örneğinin doğal gama radyoaktivitesi ölçülmüştür. Aktivite konsantrasyonları  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  için sırasıyla  $39\pm 15$  Bq/kg,  $21\pm 13$  Bq/kg ve  $402\pm 23$  Bq/kg' dir (Eissa vd., 2010). Yine, Mısır'da Kızıldeniz sahili boyunca toplanan 20 kum örneğinin doğal gama radyoaktivitesi ölçülmüştür. Aktivite konsantrasyonları  $^{238}\text{U}$  için  $22,7\pm 2$  Bq/kg,  $^{232}\text{Th}$  için  $12,4\pm 1$  Bq/kg ve  $^{40}\text{K}$  için  $930\pm 32$  Bq/kg dir (Harb, 2008). Mısır'ın Kuzey Sina Bölgesinde doğal gama radyoaktivitesi belirlemek amacıyla yapılan çalışmada doğal radyoaktivite konsantrasyonları  $^{238}\text{U}$  için  $40,93\pm 27,9$  Bq/kg,  $^{226}\text{Ra}$  için  $56,0\pm 3,3$  Bq/kg,  $^{232}\text{Th}$  için  $83,4\pm 6,3$  Bq/kg ve  $^{40}\text{K}$  için  $88,1\pm 26,0$  Bq/kg olarak ölçülmüştür (Seddeek vd., 2005). Mısır'ın Safaga bölgesinden üç ayrı plajdan toplanan 50 adet sahil kumu örneğinin doğal radyoaktivitesi ölçülmüştür. Aktivite konsantrasyonları  $^{226}\text{Ra}$  için  $190\pm 11$  Bq/kg,  $^{232}\text{Th}$  için  $177\pm 11$  Bq/kg ve  $^{40}\text{K}$  için  $815\pm 41$  Bq/kg olarak hesaplanmıştır (Uosif vd., 2008).

Hindistan'ın Tamilnadu kentinde 16 istasyon belirlenerek toplanan sahil kumlarının doğal gama radyoaktivitesi ölçülmüştür. Aktivite konsantrasyonları sırası ile  $^{238}\text{U}$  için  $144,18$  Bq/kg,  $^{232}\text{Th}$  için  $29,25$  Bq/kg ve  $^{40}\text{K}$  için  $267,48$  Bq/kg olarak hesaplanmıştır (Ramasamy vd., 2004). Yine Hindistan'da Orissa sahilinin önemli plajlarından olan Rushikulya ve Gopalpur'da yapılan çalışmada doğal gama radyoaktivite seviyesi belirlenmiştir. Rushikulya plajında yapılan ölçümlerde aktivite konsantrasyonu  $^{238}\text{U}$  için  $100\pm 25$  Bq/kg,  $^{232}\text{Th}$  için  $990\pm 250$  Bq/kg,  $^{40}\text{K}$  için  $775\pm 100$  Bq/kg' dir. Gopalpur plajında yapılan ölçümlerde ise aktivite konsantrasyonu  $^{238}\text{U}$  için  $200\pm 40$  Bq/kg,  $^{232}\text{Th}$  için  $1670\pm 340$  Bq/kg ve  $^{40}\text{K}$  için  $650\pm 110$  Bq/kg olarak hesaplanmıştır (Rao vd., 2009).

Çin de Rizhao plajında yaklaşık 100 km' lik sahil boyunca toplanan 55 sahil kumu örneğinin doğal gama radyoaktivitesini ölçülmüştür. Aktivite konsantrasyonları sırası ile  $^{226}\text{Ra}$  için  $12,0$  Bq/kg,  $^{232}\text{Th}$  için  $15,2$  Bq/kg ve  $^{40}\text{K}$  için  $1079,2$  Bq/kg' dir (Xinwei vd., 2008). Çin de yapılan diğer bir çalışmada Baoji Weihe Sands Park'ından toplanan kum örneklerinin doğal gama radyoaktivitesi ölçülmüştür. Aktivite konsantrasyonları  $^{226}\text{Ra}$  için  $22,1$  Bq/kg,  $^{232}\text{Th}$  için  $39,0$  Bq/kg ve  $^{40}\text{K}$  için  $859,1$  Bq/kg olarak hesaplanmıştır (Xinwei vd., 2006).

Kuzeybatı Libya'nın Tripoli Bölgesinde yapılan doğal gama radyoaktivitesini belirlenmesi çalışmasında, aktivite konsantrasyonu  $^{226}\text{Ra}$  için  $7,5\pm 2,52$  Bq/kg,  $^{232}\text{Th}$  için  $4,5\pm 1,32$  Bq/kg ve  $^{40}\text{K}$  için  $28,5\pm 6,72$  Bq/kg değerinde ölçülmüştür (El-Kameesy vd., 2008).

Brezilya'nın güneydoğusunda Perta ve Dois Rios sahillerinde yapılan ölçümlerde Perta sahilinde dünya ortalamasının çok üstünde değerler çıkarken Dois Rios sahilinde dünya ortalamasına yakın değerler ölçülmüştür. Perta sahilinde  $^{238}\text{U}$  için 121 Bq/kg,  $^{232}\text{Th}$  için 239 Bq/kg ve  $^{40}\text{K}$  için 110 Bq/kg iken Dois Rios sahilinde  $^{238}\text{U}$  için 48Bq/kg,  $^{232}\text{Th}$  için 39 Bq/kg ve  $^{40}\text{K}$  için 412 Bq/kg olarak hesaplanmıştır (Freitas vd., 2004).

Taylant'da tsunami kazasından sonra Andanama sahili boyunca toplanan sahil kumu örneklerinin doğal radyoaktivite konsantrasyonları  $^{226}\text{Ra}$  için  $2,7\pm 0,1$  Bq/kg ile  $23,5\pm 0,4$  Bq/kg,  $^{232}\text{Th}$  için  $3,0\pm 0,1$  Bq/kg ile  $34,6\pm 0,6$  Bq/kg,  $^{40}\text{K}$  için  $10,7\pm 0,9$  Bq/kg ile  $654,3\pm 21,6$  Bq/kg aralığında ölçülmüştür (Malain vd., 2004).

Yugoslavya da Montenegrin Plajında yapılan doğal radyoaktivite konsantrasyonu belirleme çalışması sonucu, radyoaktivite konsantrasyonları  $^{238}\text{U}$  için  $7,8\pm 2,1$  Bq/kg,  $^{232}\text{Th}$  için  $6,7\pm 3,6$  Bq/kg ve  $^{40}\text{K}$  için  $150\pm 88$  Bq/kg değerlerinde hesaplanmıştır (Vukotic, 1998).

Bu çalışmada da, Doğu Karadeniz Bölgesin'de yer alan Ordu, Giresun ve Trabzon illerinin sahil kumlarındaki doğal gama radyoaktivite düzeyleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçların UNCEAR ve WHO gibi uluslararası kuruluşların öngördüğü sınır değerler ile karşılaştırması yapılarak çevrede yaşayan halkın doğal fon (Background) radyasyonundan kaynaklı bir tehlike altında olup olmadığının belirlenmesi amaç edinilmiştir.

## 1.2. Radyoaktivite Hakkında Genel Bilgi

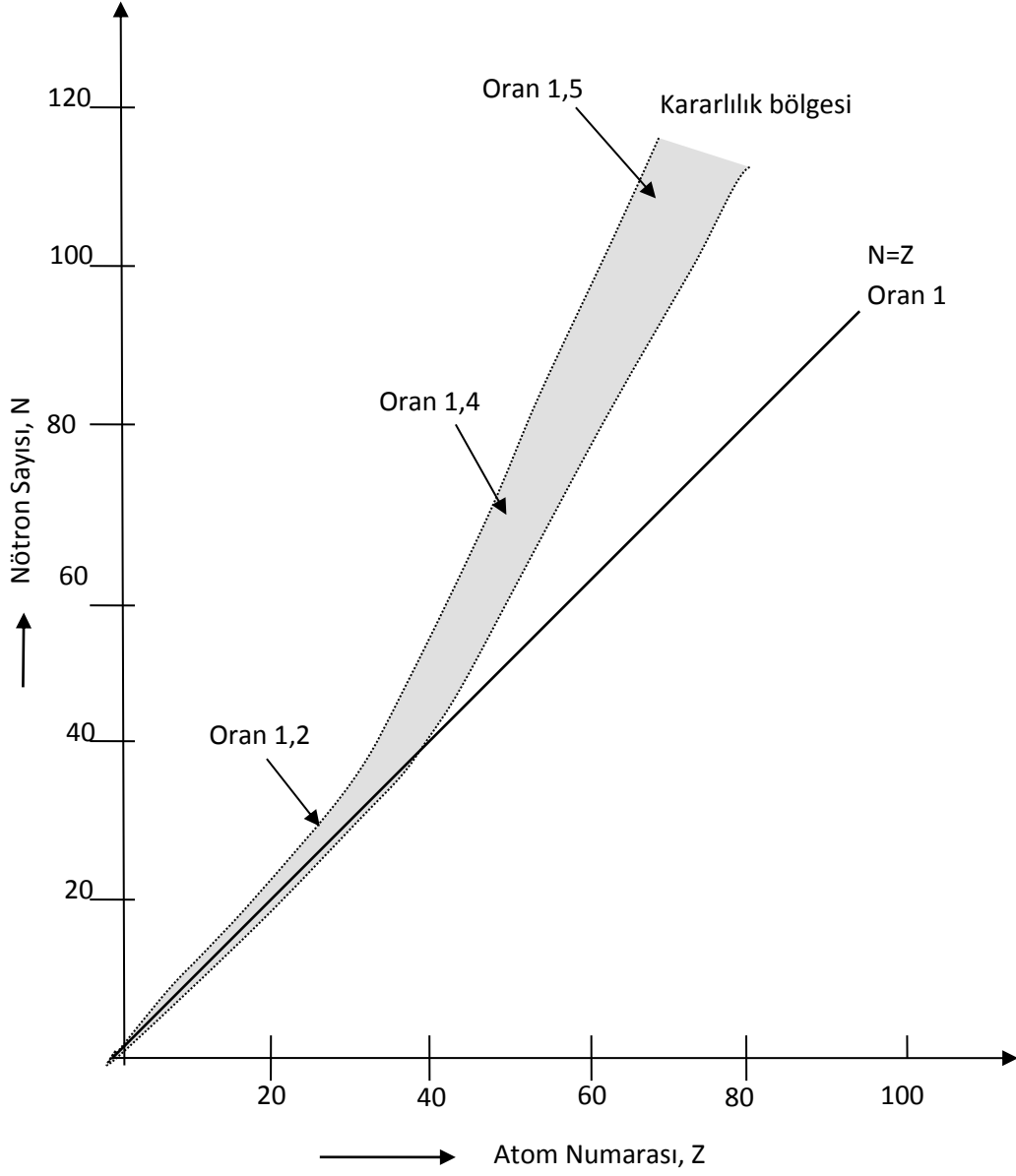
Radyoaktiflik, atom çekirdeklerinin elektromagnetik radyasyonlar,  $\alpha$  ve  $\beta$  parçacıkları yayımlayarak kendiliğinden bozunması olayıdır ve çekirdek kararlı hale gelinceye kadar bu olay devam eder.

En basit çekirdek olan hidrojen haricindeki diğer tüm çekirdekler nükleon adı verilen, doğadaki temel yük birimi olan +e yüküne sahip proton (p) ve yüksüz nötronlardan (n) oluşurlar. Nükleonlar çekirdek içerisinde Coulomb ve çekirdek etkileşmeleri ile bir arada bulunurlar. Coulomb kuvvetleri hesaba katılmadığı takdirde, bir çekirdek optimum kararlılığa proton ve nötron sayıları yaklaşık olarak birbirine eşit olduğu zaman erişecektir. Coulomb itme kuvvetlerinin kısa menzilli nükleer kuvvetlere göre önemsiz olduğu hafif çekirdeklerde durum böyledir. Coulomb kuvvetleri atom numarasının 20'den fazla olması halinde gittikçe önem kazanır. Çekirdek içindeki bu itme kuvvetlerindeki önemli artışlar çekirdek içi kararlılık durumunu bozacak ve atom numarasının artması ile çekirdeğin kararlı kalabilmesi için bir nötron fazlalığına ihtiyaç duyulacaktır. Herhangi bir maddenin

atom çekirdeğindeki nötronların sayısı protonlarınkinden fazla ise, bu çeşit bir madde kararsızlık göstermektedir. Kararsız çekirdekler radyonüklit olarak adlandırılırlar ve bu fazla enerjiye sahip çekirdekler ışınlar salarak parçalanırlar.

Periyodik tabloda, nötron sayılarının (N) proton sayılarına (Z) oranları (N/Z oranı) yaklaşık 1'e eşit olan elementler kararlı olacaktır. Atom numarası 20'nin üstüne yükseldikçe kararlılık için gerekli olan N/Z oranı da yavaş yavaş artar ve atom numarası 83 olduğunda 1,5 değerini alır. Bu atom numarasının üstünde periyodik tabloda kararlı çekirdek yoktur yani  $N/Z > 1,5$  olan tüm çekirdekler kararsızdır. Kararsız olan bir element parçacıklar salarak veya ışınla yapılarak bozunacak ve bu olay çekirdek kararlı hale gelene kadar devam edecektir. Her çekirdek kararsız olmadığından radyoaktivite ayırt edici bir fiziksel özelliştir.

Şekil 1'de bilinen çekirdeklerin nötron ve proton sayılarının dağılımı görülmektedir. Bu şekilde, proton ve nötron sayıları eşit olan ( $N=Z$ ) hafif çekirdekler kararlılık eğrisi ve etrafındaki dar kararlılık bölgesi ile temsil edilirken, daha ağır çekirdeklerde  $N/Z > 1$  olan bölge ile temsil edilirler. Atom numarası arttıkça elementlerin kararlılık bölgesinden uzaklaştığı görülmektedir ve kararlı en ağır çekirdek için bu oranın yaklaşık 1,5 olduğu düşünülürse  $N/Z > 1,5$  olan tüm çekirdeklerin kararsız olmaları anlaşılacaktır (Krane, 2001).



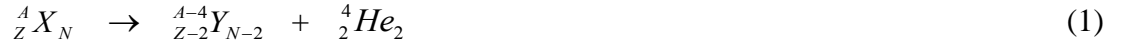
Şekil 1. Çekirdeklerdeki Proton Sayılarının Nötron Sayılarına Göre Değişim Grafiği

### 1.2.1. Radyoaktif Bozunma Türleri

Bozunma türleri alfa, beta ve gama bozunumudur. Çekirdekler, alfa parçacıkları, beta parçacıkları ve gama ışınları yayınlamaya çalışarak daha kararlı hale dönmeye çalışırlar. Gama ışınları genellikle beta parçacıkları ile bazen de alfa parçacıkları ile beraber yayınlanırlar.

### 1.2.1.1. Alfa Bozunumu

Alfa bozunması, ana çekirdeğin bir ürün çekirdeğe ve bir alfa parçacığına parçalanması işlemidir. Kendiliğinden alfa bozunmasında ana çekirdek iki proton ve iki nötron kaybederek kütlesi dört birim, yükü ise iki birim azalır. Alfa parçacıkları ( ${}^4_2\text{He}_2$ ), iki proton ve iki nötrondan oluşmuş bir helyum çekirdeğidir. Alfa parçacığının kendiliğinden yayınlanması aşağıdaki reaksiyonda gösterilmiştir.



Burada A, çekirdeğin kütle numarasını, Z, atom numarasını göstermektedir. X, ana çekirdeği ve Y ise ürün çekirdeği temsil etmektedir. Ürün çekirdek ( ${}^{A-4}_{Z-2} Y_{N-2}$ ) ana çekirdeğinden ( ${}^A_Z X_N$ ) farklı bir atom numarasına sahip olduğundan ürünün kimyasal yapısı da farklı olacaktır.

$E_i$  ve  $E_f$  sistemin bozunmadan önceki ve sonraki toplam enerjileri olsun. Enerjinin korunumu yasasından,

$$E_i = E_f$$

olmalıdır. Buradan sistemin bozunma enerjisi (Q),

$$Q = [ M(A,Z) - M_Y(A-4,Z-2) - M_\alpha(4,2) ] c^2 \quad (2)$$

bağıntısı ile verilir. Burada M(A, Z) bozunan,  $M_Y(A-4, Z-2)$  ürün çekirdeğin,  $M_\alpha(4, 2)$  ise  $\alpha$  parçacığının kütlesidir. Kendiliğinden bozunmanın olabilmesi için  $Q > 0$  olması gereklidir. Ayrıca Q değeri kinetik enerjideki artışa da eşit olduğundan (2) ifadesi,

$$Q = K_{\bar{U}} + K_\alpha \quad (3)$$

şeklinde olup sırasıyla  $K_{\bar{U}}$  ve  $K_\alpha$  ürün çekirdeğin ve  $\alpha$  parçacığının kinetik enerjileridir.

Enerji ve momentumun korunumundan yola çıkarak A, ana çekirdeğin, A-4, ürün çekirdeğin kütle numaraları olmak üzere  $\alpha$ -parçacıklarının kinetik enerjileri için,

$$K_{\alpha} = \frac{M}{M + m} Q \quad (4)$$

ifadesini yazabiliriz. Büyük A'larda  $\frac{A-4}{A}$  ifadesi 1'e yakın olacağından  $\alpha$ -parçacığı Q bozunma enerjisinin büyük bir kısmını alacaktır.

Alfa parçacığı yayımlanması, atom numarası büyük olan izotoplarda görülen bir olaydır. Alfa parçacıkları bir madde içinden geçerken sahip oldukları elektrik yükleri dolayısıyla, madde içinde iyonlaşmaya sebep olurlar ve bundan dolayı enerjilerini çabuk kaybederler. Yine alfa parçacıkları, radyoaktif bir çekirdekten  $1,6 \times 10^7$  m/s gibi büyük bir hızla dışarı fırlatıldıkları için enerjileri fazla olmasına rağmen kütleleri diğer parçacıklara oranla büyük olduğundan erişim mesafeleri düşüktür. Ayrıca, doğal olarak bulunan radyoaktif maddelerin yayınladıkları alfa parçacıklarının enerjileri 9 MeV'in altında ve dalga boyları küçük olması sebebiyle bunları çok küçük kalınlıktaki bir madde ile durdurmak mümkündür. Bu sebeple bir dış radyasyon tehlikesi yaratmamaktadırlar. Ancak bu parçacıkların sindirim, solunum v.s yollarıyla vücuda girmeleri halinde oluşturacakları iyonizasyon, önemli bir iç radyasyon tehlikesi yaratabilmektedir (BEIR VI, 1999).

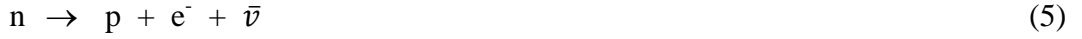
### 1.2.1.2. Beta Bozunumu

Çekirdek fazla proton veya nötronundan bir protonu nötrona veya bir nötronu protona dönüştürerek kurtulabilir. Bu işlem 3 farklı şekilde gerçekleşebilir. Her üçünde de elektrik yükünün korunabilmesi için başka bir yüklü parçacığın bulunması gerekir (Krane, 2001). Beta parçacıkları belli bir yük ve kütleye sahip olduklarından madde ile etkileşimleri esnasında iyonizasyona sebep olurlar. Fakat beta parçacıkları alfa parçacıklarına oranla daha hafif ve giricilikleri fazla olduğundan, oluşturdukları iyonizasyon alfa parçacıklarının oluşturduğundan daha azdır. Bu parçacıklar alfa parçacıklarına oranla küçük olan kütleleri ve sahip oldukları yükleri sebebiyle, durdurulmaları alfa parçacıkları kadar olmasa bile, çok yüksek enerjilere sahip değillerse madde içine çok fazla nüfuz edemezler. Giricilikleri, enerjilerine ve etkileştikleri maddenin özelliklerine bağlı olarak değişim göstermektedir. Madde içindeki erişim mesafeleri çok fazla olmasa bile havada oldukça uzun mesafelere kadar yayılabilirler. Beta parçacıkları

yayınlayan radyoizotoplar dış radyasyon tehlikesi oluşturabileceği gibi, vücut içine alınması halinde ciddi iç radyasyon tehlikesi de oluştururlar.

### 1. $\beta^-$ bozunumu

$\beta^-$  ışınması kararsız bir çekirdekten elektron fırlatılması olayıdır. Bu işlem negatif beta bozunumu olarak bilinir. Atom çekirdeğinde elektron olmamasına rağmen,  $\beta^-$  yayınlanması işleminde elektrik yükünün korunumu kararsız çekirdekteki fazla olan bir nötronun bir protona ve elektrona dönüşmesini, yani atom numarasının bir artmasını gerektirir.  $\beta^-$  bozunmasında proton çekirdekte kalırken elektron dışarı atılır. Bu bozunmada; atom numarası bir artarken, kütle numarası değişmez.  $\beta^-$  ışınları elektronlardan meydana gelir. Bu nedenle  $\beta^-$  ışınları negatif yüklü tanecikler olduğundan, elektrik ve magnetik alanda sapma gösterirler. Bozunma denklemi,



şeklindedir. Bu ifade, nötronun bozularak bir proton, bir elektron ve bir antinötrino parçacığının meydana geldiğini göstermektedir. Nötrinin elektrik yükü olmadığından, varlığı diğer son parçacıkları etkilemez (Krane, 1998).

Bozunma enerjisi,

$$Q_{\beta^-} = [ M(A,Z) - M(A,Z+1) ] c^2 \quad (7)$$

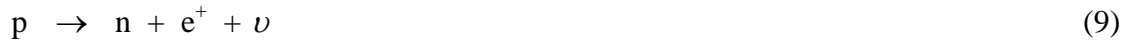
şeklinde yazılır.  $K_0$  kinetik enerjideki net artış olmak üzere,

$$K_0 = (K_{\beta^-})_{\max} + K_{\gamma} \quad (8)$$

şeklindedir.

## 2. $\beta^+$ bozunumu

Bu işlem pozitif beta bozunumu veya pozitron bozunumu olarak adlandırılır ve pozitif yüklü bir elektron yayınlanır.  $\beta^+$  bozunması bir protonun bir nötrona dönüşmesi olayıdır. Çekirdekdeki proton sayısı fazla ise protonlardan biri, bir nötrona, pozitif yüklü bir elektrona (pozitron) ve bir nötrinoya dönüşür. Pozitron çekirdekten dışarı atılırken, nötron çekirdekte kalır. Böylece çekirdeğin atom numarası bir azalır ve bozunma denklemi,



şeklindedir.

Bozunma enerjisi,

$$Q_{\beta^+} = [ M(A,Z) - M(A,Z-1) ] c^2 = 2 m_e c^2 + K_o \quad (11)$$

dır. Burada  $K_o$ ,

$$K_o = (K_{\beta^+})_{\max} + K_\gamma \quad (12)$$

olarak kinetik enerji artışlarının toplamıdır. Bu bozunmanın olabilmesi için  $Q > 0$  olması gerekir. Bu şart ancak, ana çekirdek ile ürün çekirdeğin durgun kütle farklarının iki elektronun durgun kütlelerinden büyük olduğu durumlarda sağlanır.

## 3. Elektron Yakalaması

Çekirdek proton fazlalığından dolayı karasız ise atomun çekirdeğe yakın (K,L) yörüngelerine yakın elektronlarından biri çekirdek tarafından yakalanır. Elektronla bir



proton birleşerek nötron ve nötrino haline dönüşür. Bu bozunumda çekirdekten parçacık salınmaz ancak pozitron bozunmasında olduğu gibi proton sayısı bir eksilir. Kütle numarası ise aynı kalır. Bu olayda boşalan elektron yörüngesine üst yörüngelerdeki başka bir elektron geçer ve X ışınları yayınlanır. Bozunma denklemi,



şeklindedir. Bu durumda bozunma enerjisi,

$$Q = [ M(A,Z) - M(A,Z-1) ] c^2 = K_0 \quad (15)$$

şeklindedir. Burada  $K_0$ ,

$$K_0 = K_\nu + K_\gamma \quad (16)$$

şeklindedir. Burada  $M(A, Z-1)$ , oluşan çekirdeğin kütlesini,  $K_\nu$  ve  $K_\gamma$  saçılan nötrino ve gama ışınlarının kinetik enerjileridir. Elektron yakalama olayında da  $Q > 0$  olması gerekir.

### 1.2.1.3. Gama Bozunumu

Bir çekirdekten alfa veya beta parçacığı gibi bir parçacık yayınlanması, genellikle, çekirdeği uyarılmış durumda bırakır. Daha düşük enerji durumuna ya da temel hale geçişten elde edilmesi mümkün olan enerji, ya başka bir parçacığın yayınlanmasına yetecek büyüklükte değildir ya da parçacık yayınlanmasıyla bozunma o kadar yavaştır ki elektromagnetik etkileşme ile yayınlama etkin olmaktadır (Arya,1999). Gama yayınlanmasının yarı ömrü diğer bozunumlarla kıyaslandığında çok kısadır, genellikle  $10^{-9}$  saniyeden daha küçüktür, ancak saat, hatta gün mertebesinde yarı ömürlü gama yayınlanması da vardır. Enerji spektrumları kesiklidir.

### 1.2.2. Radyoaktif Bozunma Kanunu

Bir atomun çekirdeğinin bir alfa parçacığı, bir beta parçacığı, bir gama ışını veya başka herhangi bir parçacık yayınlaması ya da çekirdek kabuğundan bir elektron yakalaması işlemine radyoaktif bozunma adı verilir.

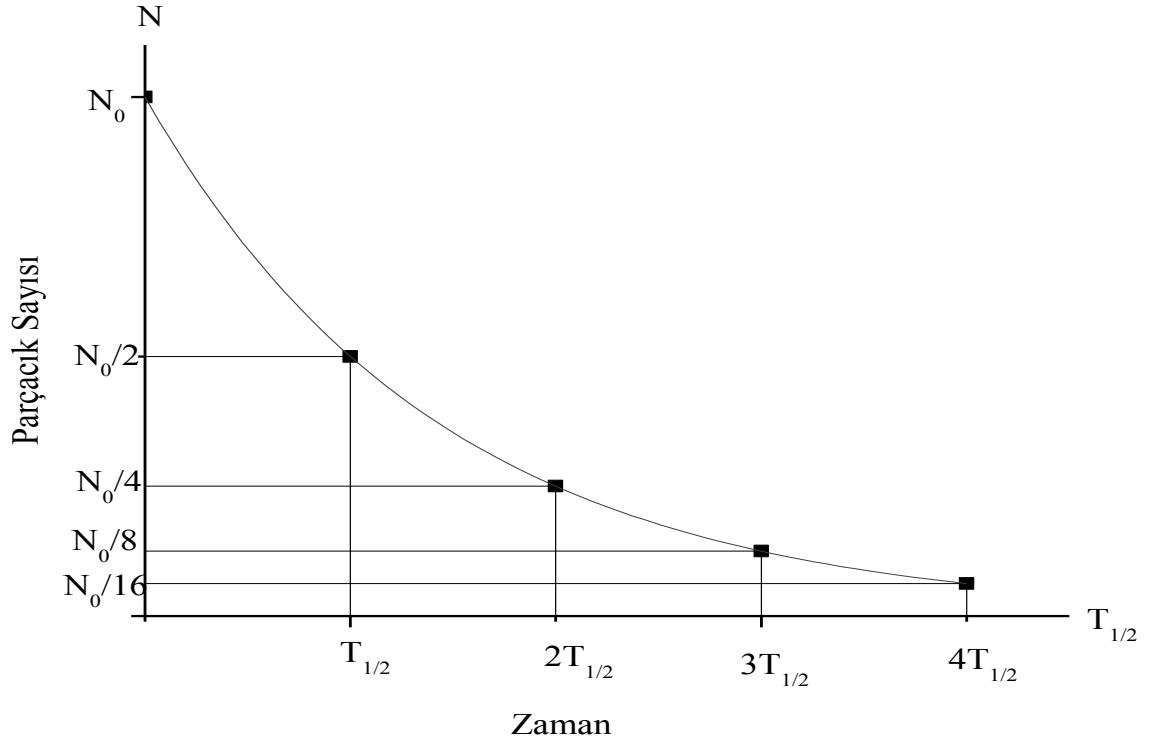
Radyoaktif bir çekirdekte birim zaman aralığında meydana gelen bozunma sayısı çekirdeğin bozunma hızı veya aktivitesi olarak tanımlanır. Eğer bir  $t$  anında  $N$  radyoaktif çekirdek varsa ve numuneye yeni çekirdekler ilave edilmiyorsa  $dt$  süresi için bozunan  $dN$  çekirdek sayısı,  $N$  ile orantılıdır:

$$\lambda = - \frac{(dN / dt)}{N} \quad (17)$$

Denklem (17)'nin sağ tarafı bir çekirdeğin birim zamanda bozunma olasılığıdır, yani bu olasılık, çekirdeğin yaşı ne olursa olsun sabit olup radyoaktif bozunmanın istatistiksel teorisinin temel varsayımıdır. Denklem (17)'nin integrali alınırsa.

$$\frac{dN(t)}{dt} = -\lambda N(t) \quad \longrightarrow \quad \int \frac{dN(t)}{N(t)} = -\int \lambda dt \quad \longrightarrow \quad N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad (18)$$

üstel radyoaktif bozunma kanunu elde edilir. Burada,  $N_0$ ,  $t=0$ 'da henüz bozunmamış,  $N(t)$  ise  $t$  süresi içinde bozunmadan kalan çekirdeklerin sayısıdır (Krane, 2001). Şekil 2'de radyoaktif bir numunenin miktarının zamanla değişimi gösterilmektedir.



Şekil 2. Radyoaktif bir numune miktarının zamanla değişimi

Bir radyoaktif numunedeki mevcut radyoaktif atomların sayısını bilmekten ziyade, birim zamanda bozunmaya uğrayan atomların sayısını bilmek daha önemlidir. Bu sayı radyoaktif numunenin aktifliği kullanılarak bulunur. Aktiflik, verilen bir numunede saniyedeki parçalanma sayısı olarak tanımlanır. Denklem (18) de her iki taraf da bozunma sabiti ( $\lambda$ ) ile çarpılırsa aktivite denklemi elde edilir.

$$N\lambda = N_0\lambda e^{-\lambda t} \quad (19)$$

Burada  $N\lambda$  birim zamandaki bozunma sayısını verecektir, buna  $N$  atomdan meydana gelen topluluğun aktivitesi denir,  $I$  ile gösterilir, birimi bozunma/saniyedir.

$$I = I_0 e^{-\lambda t} \quad (20)$$

olarak verilir.

### 1.2.2.1. Yarı Ömür

Radyoaktivitede önemli başka bir nicelik de  $t_{1/2}$  ile gösterilen yarı ömürdür. Yarı ömür, aktifliğin yarıya düşmesi için gerekli zaman olarak ifade edilir. Aktiflik, bozunmamış mevcut atomların sayısı ile doğru orantılı olduğundan  $t_{1/2}$  de bozunmamış atomların sayısının yarıya düşmesi için gerekli zaman aralığına eşittir.

Denklem (18) de t zamanında  $N = \frac{N_0}{2}$  ve  $t = t_{1/2}$  olarak alınırsa;

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda t} \longrightarrow e^{-\lambda t} = \frac{1}{2}$$

$$t_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda} \quad (21)$$

elde edilir.

Radyoaktif izotopların yarı ömürleri çok değişiktir. Bilinen en kısa yarı ömürlü çekirdek  $10^{-21}$  s ile He, en uzun yarı ömürlü çekirdek ise  $10^{17}$  yıl ile  $^{204}\text{Pb}$  dır.

### 1.2.2.2. Ortalama Ömür

Bozunmanın üstel ifadesi, radyoaktif atomların yok olması için sonuz zaman gerektiğini göstermektedir. Hangi atomun ne zaman bozunacağını bilemeyiz. Herhangi bir özel atom sıfırdan sonsuza kadar değişen bir ömre sahip olabilir. Bu nedenle radyoaktif atomlar için yarı ömürden farklı bir tanım verilir.  $\tau$  ortalama ömür (bazen de yalnızca ömür de denir) radyoaktif atomların tek tek ömürleri toplamının ortalamasıdır.

Radyoaktif bir çekirdeğin ortalama ömrü  $\tau$ , bütün çekirdeklerin ömürleri toplanıp toplam çekirdek sayısına bölünerek hesaplanabilir. Eğer  $t_1, t_2$  ömürlerine sahip atomların sayıları sırası ile  $dN_1(t), dN_2(t) \dots$  ortalama ömür ise aşağıdaki gibi ifade edilir;

$$\tau = \frac{t_1 dN_1(t) + t_2 dN_2(t) + \dots}{dN_1(t) + dN_2(t) + \dots} = \frac{t dN(t)}{dN(t)}$$

Burada ( $dN \rightarrow 0$ ) için,

$$\tau = \frac{\int_0^{\infty} t |dN / dt| dt}{\int_0^{\infty} |dN / dt| dt} \quad (22)$$

denklem (22) de  $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$  bağıntısı yerine konursa,

$$\tau = -\lambda \frac{\int_0^{\infty} t N_0 e^{-\lambda t} dt}{N_0} = \int_0^{\infty} \lambda t e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda}$$

elde edilir. Burada ortalama ömür, yarı ömürden daha büyüktür ve aralarındaki ilişki;

$$T_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda} = 0.693\tau \quad (23)$$

şeklindedir. Bu üç kavramdan birinin bilinmesi diğerinin bulunması için yeterlidir (Arya, 1999).

### 1.2.3. Ardışık Bozunma

Hem tabii olarak bulunan radyoaktif izotoplarda hem de yapay olarak meydana getirilen radyoaktif izotoplarda bozunma peş peşe parçalanmalar şeklinde meydana gelebilir. Ana radyoaktif element başka bir ürüne bozunur. Eğer bu üründe radyoaktif ise bu da başka bir elemente bozunur. Birçok durumda bu peş peşe bozunma ana maddenin ürüne ve ürününde kararlı bir elemente bozunmasıyla sınırlıdır. Şayet işe radyoaktif ana izotopun belli sayıda atomlarıyla başlanmışsa verilen herhangi bir anda bozunma ürünün atomların sayısı ne olacaktır? Bu sayılar şu şekilde hesaplanabilir. Herhangi bir t anında,  $\lambda_1$  bozunma katsayısıyla ürüne bozunacak ana elementin atomlarının sayısı  $N_1$  olsun. Ürün elementin atomlarının sayısını  $N_2$  ile gösterelim. Bunlar da  $\lambda_2$  bozunma katsayısı

ile başka bir elemente bozunacaktır. Bu kararlı elementteki atomların sayısı ise  $N_3$  olsun. Ayrıca,  $t = 0$  iken  $N_1 = N_{10}$ ,  $N_2 = N_{20}$ ,  $N_3 = N_{30}$  olduğunu farz edelim. Aktifliğin saniyede bozunma sayısı şeklindeki tanımından;

$$\frac{dN_1}{dt} = -\lambda_1 N_1 \quad (24)$$

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2 \quad (25)$$

$$\frac{dN_3}{dt} = \lambda_2 N_2 \quad (26)$$

(24) bağıntısı  $N_1$ 'in bozunma hızını verir. (25) bağıntısı  $N_2$  tipindeki atomların  $\lambda_1 N_1$  hızıyla üretildiklerini ve  $\lambda_2 N_2$  hızıyla gözden kaybolduklarını göstermektedir. (26) bağıntısı ile  $N_3$  atomlarının üretim hızı elde edilir.

(24) denkleminde  $t = 0$  da  $N_1 = N_{10}$  integrali alınır

$$N_1 = N_{10} e^{-\lambda_1 t} \quad (27)$$

elde edilir.  $N_1$ 'in bu değeri denk. (24) da yerine konursa

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_{10} e^{-\lambda_1 t} - \lambda_2 N_2 \quad (28)$$

Bu bağıntının iki tarafı  $e^{\lambda_2 t}$  ile çarpılırsa

$$\frac{d}{dt} (N_2 e^{\lambda_2 t}) = \lambda_1 N_{10} e^{(\lambda_2 - \lambda_1)t} \quad (29)$$

bulunur. Gerekli işlemler yapılırsa

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) \quad (30)$$

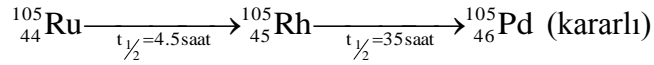
Benzer şekilde (26) bağıntısı  $t=0$  'da  $N_3 = N_{30} = 0$  şartıyla çözümlerse

$$N_3 = N_{10} \left( 1 + \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_2 t} - \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_1 t} \right) \quad (31)$$

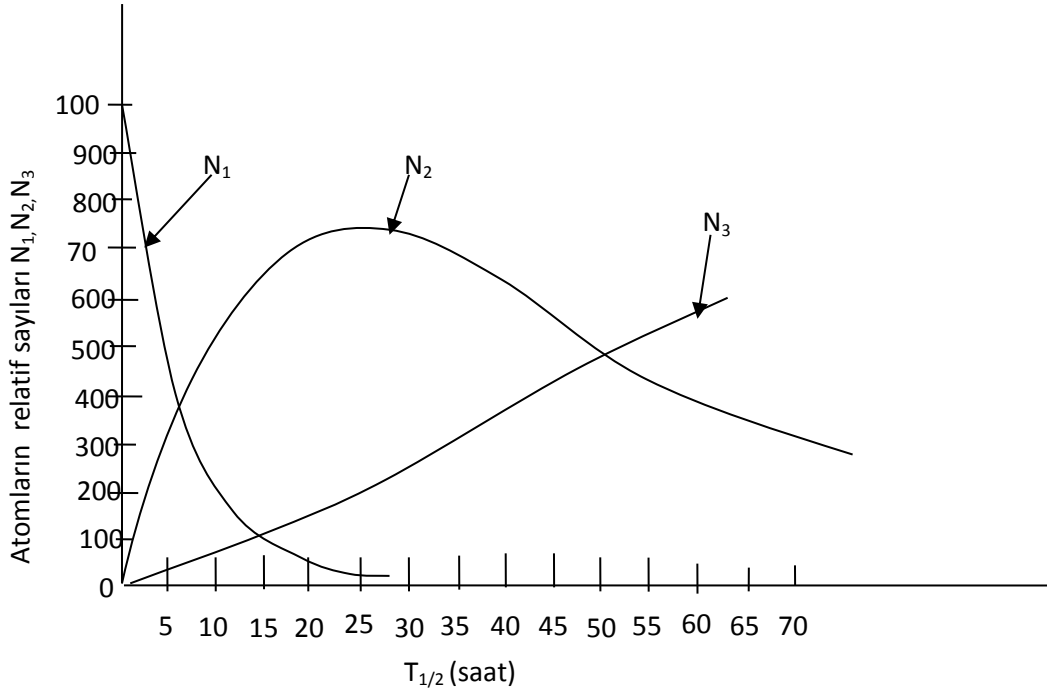
elde edilir. (27), (30), (31) eşitlikleri yardımıyla herhangi bir  $t$  anında mevcut olan atomların sayısı bulunabilir. Bu eşitlikler,  $t=0$  da  $N_1 = N_{10}$  ve  $N_{20} = N_{30} = 0$  özel durumları için üretildi.

Bundan sonra  $N_{20}$  ve  $N_{30}$ ,  $t=0$  iken sıfır olmasalar bile  $N_1, N_2$  ve  $N_3$  için bağıntılar üretmek mümkündür.

(27), (30), (31) bağıntılarının nasıl kullanılacağına örnek olarak



$t=0$  iken  $N_{10} = 100$  ve  $N_{20} = N_{30} = 0$  şartları altında başlayan bu  ${}^{105}_{44}\text{Ru}$  bozunmasıyla oluşan  $N_1, N_2$  ve  $N_3$  'ün  $t$ 'ye göre değişimi Şekil 3'de verilmektedir (Arya, 1999).



Şekil 3. Ardışık bozunma grafiği

#### 1.2.4. Radyoaktif Denge

Bu konuda ardışık bozunma eşitliklerini bazı özel durumlara uygulanacak. İki farklı durumdan biri  $\lambda_1 \approx \lambda_2$  olduğu durum, bir diğeri ise  $\lambda_1 \ll \lambda_2$  olduğu durumdur. Birinci durumu geçici denge, ikincisini ise kalıcı denge olarak adlandırılıyor.

##### 1.2.4.1. Geçici Denge

Bir ana çekirdeğin  $\lambda_1$  bozunma sabitiyle birinci ürüne bozunduğunu ve bunun da  $\lambda_2$  bozunma sabitiyle bozunduğunu düşünelim. Bu iki tür çekirdeğin de ortalama ömürlerinin aynı mertebede olduğunu yani  $\tau_1 \approx \tau_2$  ve dolayısıyla  $\lambda_1 \approx \lambda_2$  olduğunu kabul edelim. Bu durumda birinci ürün atomlarının sayısının önce belirli bir maksimum değere ulaşacağını sonra bunlardan uzun ömürlü olanın bozunma hızıyla azalmaya başlayacağını gösterelim.

Denklem (30) eşitliğini alırsak;

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) \quad (32)$$



İfadesinde  $\lambda_2 < \lambda_1$  olduğunda yeterli derecede uzun bir zaman sonunda  $e^{-\lambda_1 t}$  terimi  $e^{-\lambda_2 t}$ 'ye göre ihmal edilebilir olacağından,

$$N_2 = N_{10} \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_2 t} \quad (33)$$

elde edilir. Bu şekilde belli bir zaman sonra birinci ürün elementinin kendisi için belirlenmiş olan  $\lambda_2$  bozunma sabitiyle bozunacağı anlamına gelmektedir.

#### 1.2.4.2. Sürekli Denge

Denklem (32) ifadesini düşünelim ve bu sefer ana elementin yarı ömrü birinci ürününkine kıyasla çok çok uzun olsun ( $\lambda_1 \ll \lambda_2$ ).  $e^{-\lambda_1 t} \approx 1$  ve  $\lambda_2 - \lambda_1 = \lambda_2$  yazabiliriz. Böylece bu ifade;

$$N_2 = N_{10} \frac{\lambda_1}{\lambda_2} (1 - e^{-\lambda_2 t}) \quad (34)$$

olarak elde edilir. Ürün çekirdeğin miktarı, zamanın artmasıyla  $e^{-\lambda_2 t}$  terimi sıfıra gideceğinden bir denge durumuna yaklaşacak ve denge durumunda,

$$\lambda_1 N_{10} = \lambda_2 N_2 \quad (35)$$

elde edilir.  $\lambda_1$  çok küçük olduğundan  $\lambda_1 N_1 \approx 0$  olacaktır. Bu ifadeden ana çekirdeğin çok büyük yarı ömre sahip olduğu anlaşılır.

### 1.2.5. Radyoaktivite ve Radyasyon Ölçüm Birimleri

Radyoaktif atomların var olan sayısını bilmek yerine saniye de parçalanmış atom sayısını bilmek daha önemlidir. Bu sebeple radyoaktivite birimi olarak birim zamandaki parçalanma sayısı alınacaktır. Tarih sırasına göre en eski olan birim Curie'dir ve bir gram radyum ile dengede bulunan radonun aktivite miktarı olarak belirlenmiştir kısaca (Ci) ile simgelenir (Arya,1999). Aktivitenin SI birimi Becquerel olarak adlandırılır ve kısaca (Bq) ile sembolize edilir.

Işınlama birimi Röntgen, normal hava koşullarında ( $0^{\circ}\text{C}$  ve 1 atm basınç) havanın 1 kilogramında  $2,58 \times 10^{-4}$  Coulomb'luk elektrik yükü değerinde pozitif ve negatif iyonlar meydana getiren X ışını veya  $\gamma$  ışını radyasyon miktarıdır. Yeni radyasyon birimi Coulomb/kg olarak belirlenmiştir.

Soğurulan doz (D) (Gy) ;Radyasyona maruz kalan maddenin bir miktarında soğurulan radyasyon enerjisi olarak ifade edilir. SI birim sisteminde soğurulan doz birimi Gray (Gy) olup, 1 kg'lık bir maddeye 1 joule (J)'lük enerji veren herhangi bir iyonlaştırıcı radyasyonun dozudur. Herhangi bir madde gramı başına 100 erg'lik enerji soğurursa buna da 1 rad denir.

Doz eşdeğeri (Sv) ; Farklı tip radyasyonlardan soğurulan enerjiler aynı olsa bile biyolojik etkileri farklı olabilir. Belirli bir radyasyonun bir biyolojik sistem üzerindeki etkisinin ölçüsüdür. Eski birimde Rem ve SI birim sisteminde Sievert (Sv) olarak belirtilir. Tablo 1'de radyasyon birimleri ve doz hesaplamalarında kullanılan özel birimler ile SI birimleri arasındaki ilişki birlikte verilmiştir.

Tablo 1. Radyasyon terimleri ve özel birimler ile SI birimleri arasındaki ilişki  
(TAEK., 2002)

TERİM	BİRİM		DÖNÜŞÜM
	ESKİ	YENİ	
<b>AKTİVİTE</b>	Curie (Ci) ; $3,7 \times 10^{10}$ parçalanma/ 1 saniye	Becquerel(Bq); 1parçalanma / 1 sn	1 Ci = $3,7 \times 10^{10}$ Bq 1 Ci = 37GBq
<b>IŞINLANMA DOZU</b>	Röntgen(R) ; normal hava şartlarında havanın 1 kg' ında $2,58.10^{-4}$ Coulomd'luk elektrik yükü değerinde (+) ve (-) iyonlar oluşturan X veya $\gamma$ radyasyon miktarıdır.	Coulomb / kilogram (C/kg); normal hava şartlarında havanın 1 kg'ında 1 Coulomb'luk elektrik yükü değerinde (+) ve (-) iyonlar oluşturan X veya gama radyasyonu miktarıdır.	1 C/kg = 3876 R 1 R = $2,58.10^{-4}$ C/kg
<b>SOĞURULMUŞ DOZ</b>	Radiation doze (rad); ışınlanan maddenin 1 kg'ında $10^{-2}$ Joule'lük enerji soğurulması meydana getiren herhangi bir radyasyon miktarıdır.	Gray (Gy); ışınlanan maddenin 1 kg'ında 1 Joule'lük enerji soğurulması meydana getiren herhangi bir radyasyon miktarıdır.	1 Gy = 100 rad 1 rad = 0,01 Gy
<b>DOZ EŞDEĞERİ</b>	Röntgen equivalent man (rem); 1 Röntgenlik X veya $\gamma$ ışını ile aynı biyolojik etkiyi oluşturan herhangi bir radyasyon miktarıdır. Rem = (rad) $\times$ ( $W_R$ )*	Sievert (Sv) ; 1 Gy'lık X ve gama ışın ile aynı biyolojik etkiyi meydana getiren herhangi bir radyasyon miktarıdır. Sv=(Gy) $\times$ ( $W_R$ )*	1 Sv = 100 rem 1 rem = 0,01 Sv

\*  $W_R$  , “radyasyon ağırlık faktörü”

### 1.3.1. Doğal Radyasyon Kaynakları

Büyük Patlamanın gerçekleşmesinden güneş sisteminin yoğunlaşmasına kadar geçen  $10.10^9$  yıl boyunca hidrojen ve helyum elementleri, yıldızlar, novalar ve süper novalardaki ağır elementleri oluşturmuşlardır. Bu şekilde oluşan elementlerin büyük bir kısmı radyoaktiftir ve oluştukları andan beri kararlı çekirdeklere bozunmaktadırlar. Birkaç radyoaktif elementin yarı ömrü dünyanın yaşına kıyasla çok uzundur ve bugün hala bunların radyoaktiflikleri gözlenebilmektedir.  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  serileri ve  $^{40}\text{K}$  radyonüklitleri doğal çevresel radyoaktivitenin esas kısmını oluşturmaktadır.

Günümüzde gözlenen doğal radyoaktif elementlerin çoğu çok ağır çekirdeklerden oluşmuşlardır ve hiç kararlı izotopları yoktur. Doğal radyoizotoplar atom numaraları 81-92 arasında değişen ağır çekirdeklerden oluşur. Bu çekirdekler kararlı ve hafif bir çekirdeğe ulaşıncaya kadar  $\alpha$  ve  $\beta$  yayınlayarak  $Z$  ve  $A$  sayılarını azaltırlar. Alfa bozunumu  $A$ 'yı dört birim değiştirir,  $\beta$  bozunumu ise  $A$ 'yı değiştirmez ve böylece  $n$  bir tam sayı olmak üzere, kütle numaraları  $4n$ ,  $4n+1$ ,  $4n+2$ ,  $4n+3$  olan dört bağımsız bozunma serisi elde edilir. Bozunma işlemi çekirdeği, zincirin en uzun ömürlü üyesine götürme eğilimindedir ve eğer bu çekirdeğin ömrü en azından dünyanın yaşı mertebesinde ise bu aktiflik bugün de gözlenecektir. Bu dört seri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Doğal radyoaktif seriler ve bazı özellikleri (Krane, 2001)

Seri Adı	Türü	Son Çekirdek (Kararlı)	Ana Çekirdek	Yarılanma Süresi (y)
Toryum	$4n$	$^{208}_{82}\text{Pb}$	$^{232}_{90}\text{Th}$	$1.41 \times 10^{10}$
Neptinyum	$4n+1$	$^{209}_{83}\text{Bi}$	$^{237}_{93}\text{Np}$	$2.41 \times 10^6$
Uranyum	$4n+2$	$^{206}_{82}\text{Pb}$	$^{238}_{92}\text{U}$	$4.47 \times 10^9$
Aktinyum	$4n+3$	$^{207}_{82}\text{Pb}$	$^{235}_{92}\text{U}$	$7.04 \times 10^8$

Doğal radyoaktif izotoplar çevremizdeki tüm maddelerde, özellikle  $4,5 \times 10^9$  y önce yoğunlaşmış kaya ve minerallerde bulunurlar. Genel olarak radyoaktif elementler

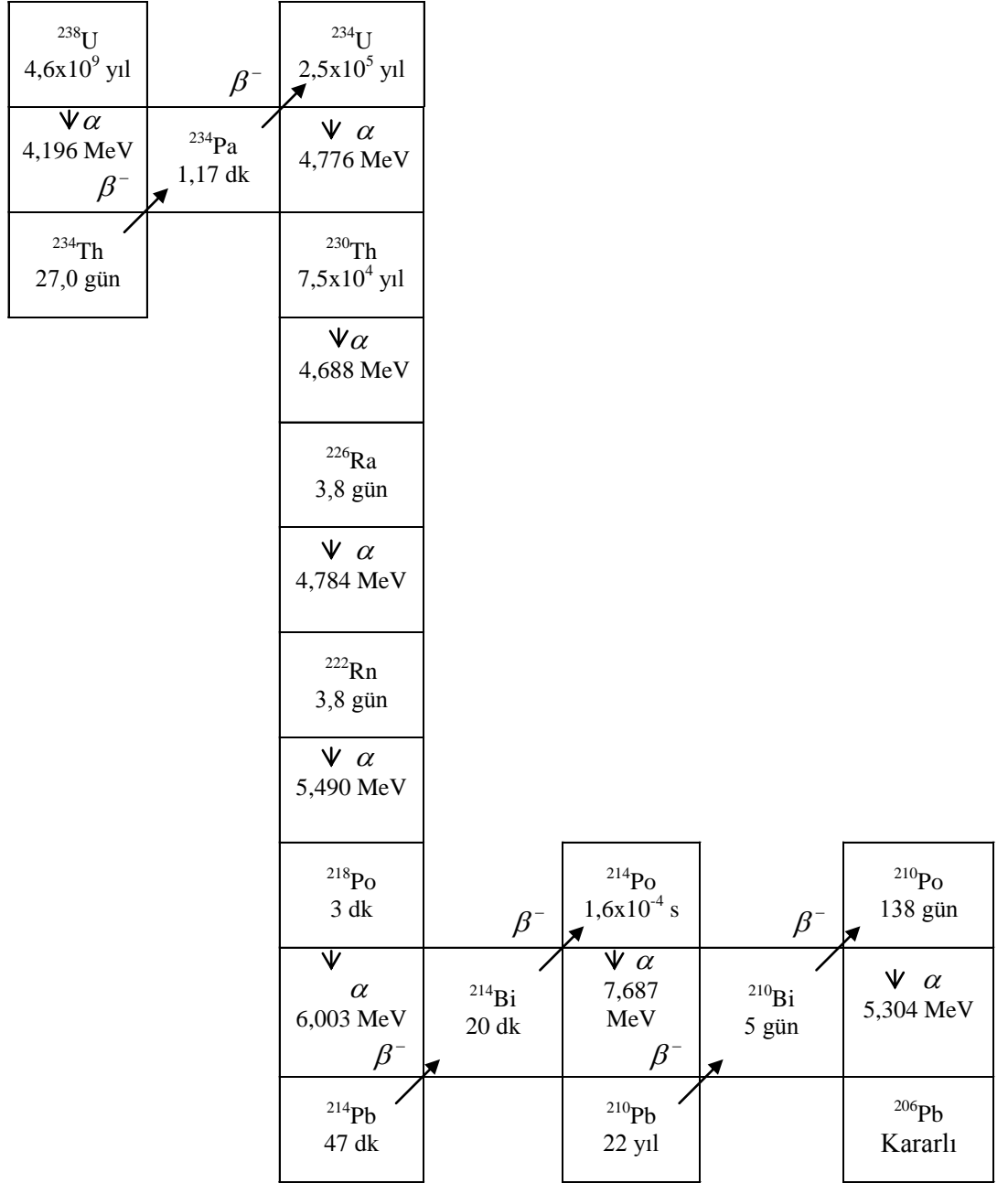
minerallere sıkıca bağlıdırlar. Doğadaki doğal radyoaktif elementlerin tek kaynağı radyoaktif ağır elementler serileri değildir. Bu serilerden farklı olarak doğada tek başına bulunabilen ve kendilerine has özelliklere sahip olan bazı doğal radyonüklitler vardır. Doğal radyasyon seviyesine katkısı oldukça fazla olan  $^{40}\text{K}$  bu grubun başında gelir. Tablo 3’de doğal olarak bulunan bazı izotoplar verilmiştir.

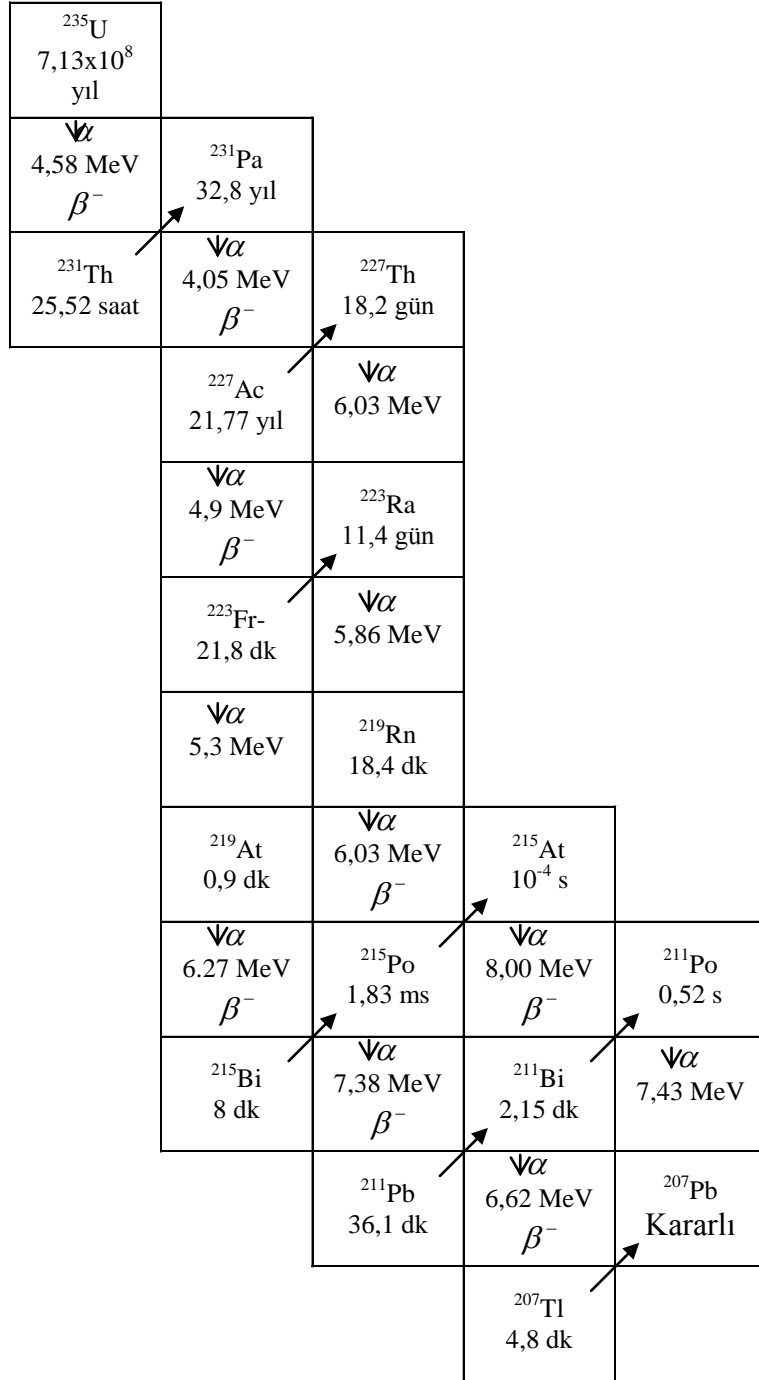
Tablo 3. Bazı doğal radyoaktif izotoplar(Krane, 2001)

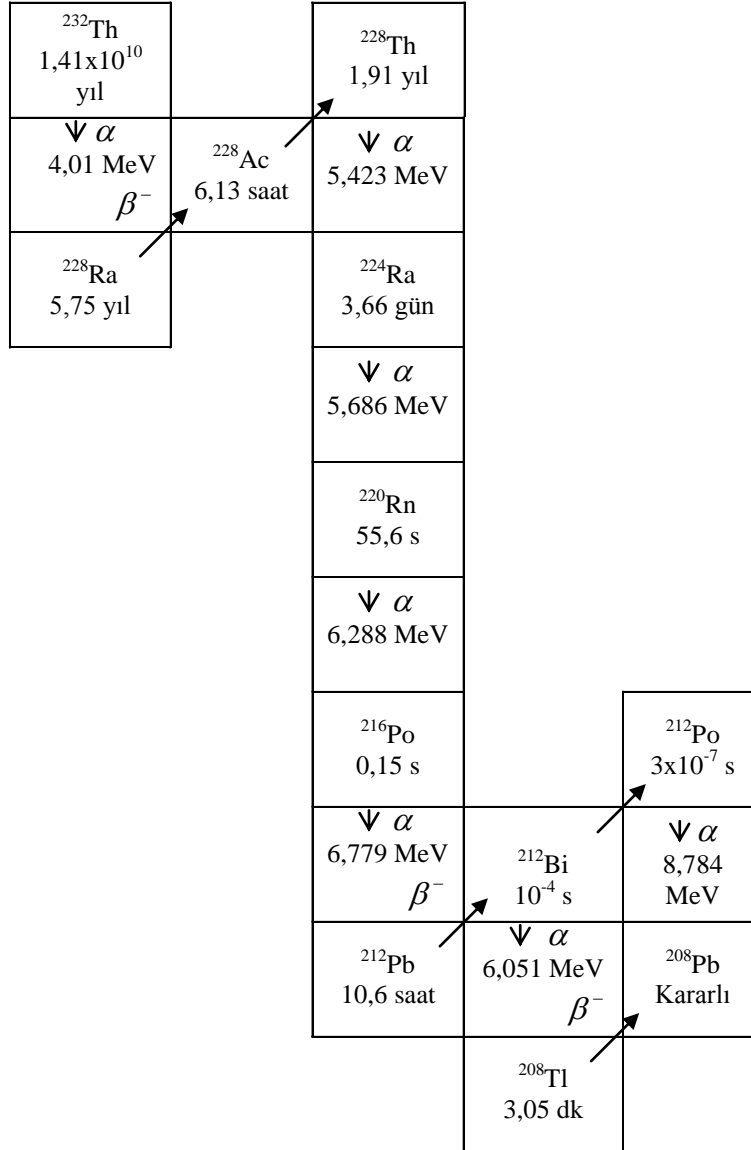
<b>İzotop</b>	<b><math>t_{1/2}</math></b>
$^{40}\text{K}$	$1,28 \times 10^9$
$^{87}\text{Rb}$	$4,28 \times 10^{10}$
$^{113}\text{Cd}$	$7,71 \times 10^{15}$
$^{115}\text{In}$	$4,41 \times 10^{14}$
$^{138}\text{La}$	$1,05 \times 10^{11}$
$^{176}\text{Lu}$	$4,00 \times 10^{10}$
$^{187}\text{Re}$	$4,35 \times 10^{10}$

Elementlerin bozunması  $\alpha$ ,  $\beta$  ve  $\gamma$  ışınları yayınlanmasıyla sınırlı kalmamaktadır. Bazı elementler pozitron yayınlarken bozunur, pozitron bir elektronla aynı kütleye sahip, yükçe elektrona eşit fakat zıt işaretli bir parçacıktır. Bazı elementler yörünge elektronlarını yakalayıp bozunurlar. Bu iki bozunma da beta bozunması olarak bilinir.

Şekil 4, Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7’de doğal radyoaktif serilerin bazılarının bozunma şekilleri gösterilmiştir.

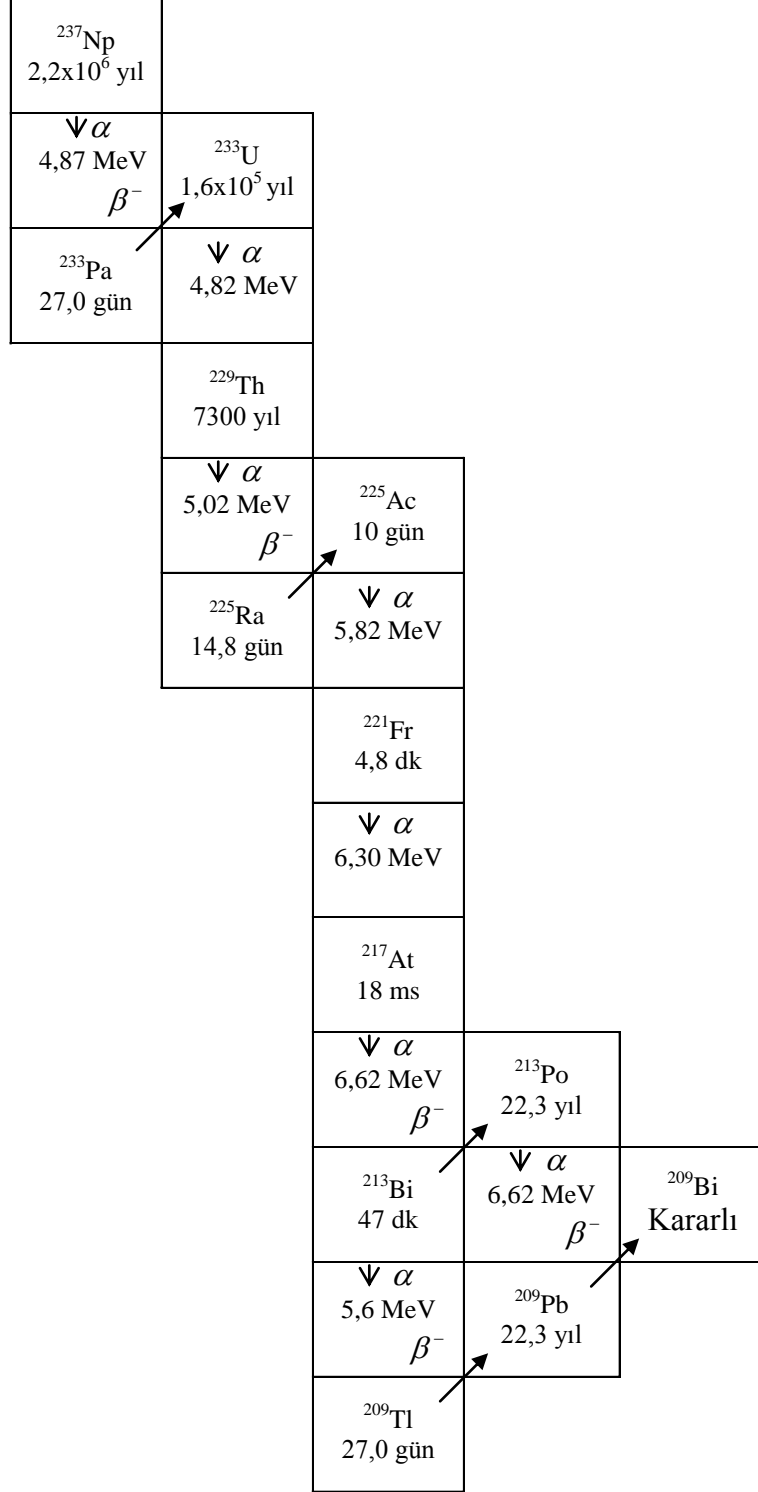
Şekil 4. Doğal Radyoaktif  $^{238}\text{U}$  Bozunma Serisi

Şekil 5. Doğal Radyoaktif  $^{235}\text{U}$  Bozunma Serisi



Şekil 6. Doğal Radyoaktif  $^{232}\text{Th}$  Bozunma Serisi



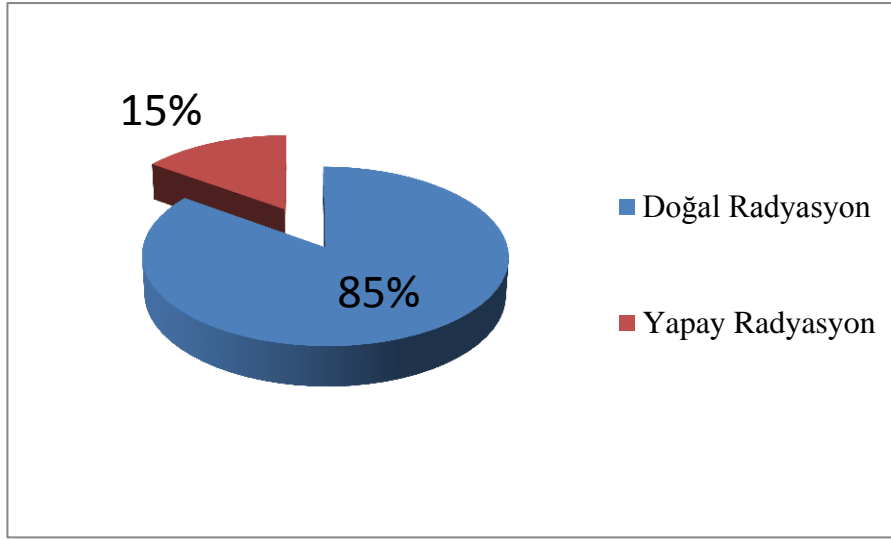


Şekil 7. Neptinyum Radyoaktif Bozunma Serisi

### 1.3.1. Yapay Radyoaktivite ve Kaynakları

Yapay radyoaktivite; doğanın kendi oluşumu sırasında var olmayan teknolojik gelişmelerle ile insanoğlun kendi ihtiyaçları doğrultusunda ürettikleri elementlerin oluşturduğu radyasyondur.

Radyasyon kaynakları ikiye ayrılır; doğal ve yapay radyasyon kaynakları olarak Şekil 8’ de doğada bulunma yüzdeleri verilmiştir.

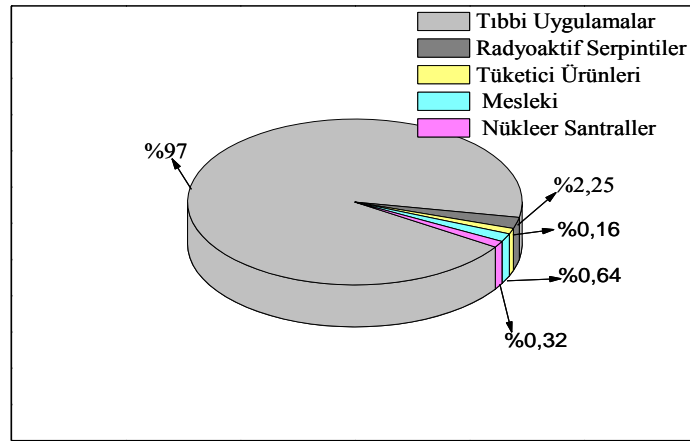


Şekil 8. Doğal ve yapay radyasyon kaynakları (Kılıç vd., 2007)

Yapay radyasyon kaynakları tıbbi alandaki radyasyon uygulamaları, tanısal radyoloji alanında yaygın kullanılmakta olana ve gün geçtikçe geliştirilen en eski çeşidi X-ışınlarıdır. Nükleer tıp alanında vücuttaki organ veya dokuların işlevleriyle ilgili çalışmalar yapmak üzere bazı radyoaktif maddeler kullanılır. Radyoterapi alanında kanser hastalıklarının %50'sinin tedavisinde etkin olarak kullanılır. Endüstriyel alanda X ve gama ışınlarından yararlanılarak röntgen filmleri çekilen endüstriyel ürünlerin herhangi bir hata içerip içermediği tespit edilmek için kullanılır. Enerji ihtiyacını karşılamak için nükleer santrallerde hafif radyoaktif elementler fisyon reaksiyonları gerçekleştirilerek nükleer enerji elde edilir. Elde edilen bu enerji elektrik enerjisine dönüştürülerek insanoğlunun enerji ihtiyacının bir kısmı karşılanır. Tüketici ürünlerinden televizyon, duman dedektörü, fosforlu saatler ve paratonerler gibi bazı ürünler az da olsa radyoaktif madde içerirler

(TAEK, 2010). Bazı yapay radyasyon kaynakları ve bu kaynaklardan yayınlanan radyasyonların oransal dağılımları Şekil 9’da verilmiştir (IAEA, 1996).

Nükleer kazalar sonucu oluşan nükleer serpintiler doğadaki yapay radyoaktivitenin sorumluları arasındadır. En bilenen örnek 26 Nisan 1986’da Ukrayna’nın Kiev iline bağlı Çernobil kentinde gerçekleşen 7. seviyedeki Çernobil Nükleer kazasıdır. Bu kaza sonucunda çevreye  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{90}\text{Sr}$  yapay radyoaktif elementler saçılmıştır. Güncel olarak 11 Mart 2011’de tsunami ve deprem etkisiyle Japonya’da Fukushima Bölgesinde Futuba yöresinde Okuma kasabasında gerçekleşen nükleer kazada Çernobil kazasına aynı seviyeye çıkartılarak 7. Seviye nükleer kaza olarak tarihe geçmiştir. Aynı şekilde çevreye  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{90}\text{Sr}$  yapay radyoaktif elementler saçılmıştır.



Şekil 9. Yapay Radyasyon kaynaklarının dağılımı (IAEA, 1996)

#### 1.4. Gama Işınının Madde İle Etkileşimi

Gama ışınlarının maddeyle etkileşerek enerjilerini kaybettikleri birçok olay vardır. Gama ışınlarının maddeyle etkileşerek enerji kaybettikleri üç ana olay:

- Fotoelektrik olay
- Compton olayı veya Compton saçılması
- Çift yaratılma’dır.

### 1.4.1. Fotoelektrik Olay

Bu olay ilk defa 1887 yılında H.Hertz tarafından gözlenmiştir. Ancak bu olayı ilk olarak 1905 de Einstein açıklamıştır. Fotonlar kullanılarak metal yüzeylerden elektron sökülmesi olayıdır. Bu etkileşim sırasında gama ışının bütün enerjisi kaybolur fakat bu enerji tamamen elektronlara kinetik enerji olarak aktarılamaz. Bir kısmı elektronu uyarmak için kullanılır. Bu elektronlar, fotoelektron olarak adlandırılır. Fotoelektronların kinetik enerjisi ( $E_k$ ), denklem (36)'de gösterildiği gibi, gelen gama ışınının enerjisi( $E_\gamma$ ), elektronu uyarmak için gerekli olan enerjinin ( $E_b$ ) çıkarılması ile hesaplanabilir. Alkali metaller bu olay için uygundur.

$$E_k = E_\gamma - E_b \quad (36)$$

Fotoelektrik olay sonucu serbest hale geçen fotoelektrondan boşalan yerleri başka elektronların doldurması ile birlikte karakteristik x-ışınları açığa çıkar. Açığa çıkan bu x-ışınlarının ikincil elektronlar tarafından soğrularak kinetik enerjiye dönüşmeleri, bir anlamda kayıp enerjiyi engellemek olacaktır. Diğer yandan, geri tepen atom tarafından taşınan momentum önemlidir. Bu sayede momentumun serbest bir elektron tarafından fotoelektrik etki ile dönüştürülemeyeceği gösterilebilir. Bu yüzden fotoelektrik etki için kullanılacak elektronların atoma bağlılığı şarttır.

### 1.4.2. Compton Saçılması

Gelen bir foton serbest bir elektronla etkileşerek daha düşük bir enerji ile belli bir açıyla saçılır ve geriye kalan enerji geri tepen elektron tarafından alınır. Bir atomda elektronlar gevşekçe bağlı ve gelen fotonların enerjileri daha büyük olduğunda fotonların atomun elektronları tarafından saçılmaları Compton Saçılması olarak düşünülür.  $E_\gamma$  gelen fotonun enerjisi,  $E'_\gamma$  saçılan fotonun enerjisi ve c ışık hızı olmak üzere elektronun kinetik enerjisi denklem 37'yle ifade edilebilir.

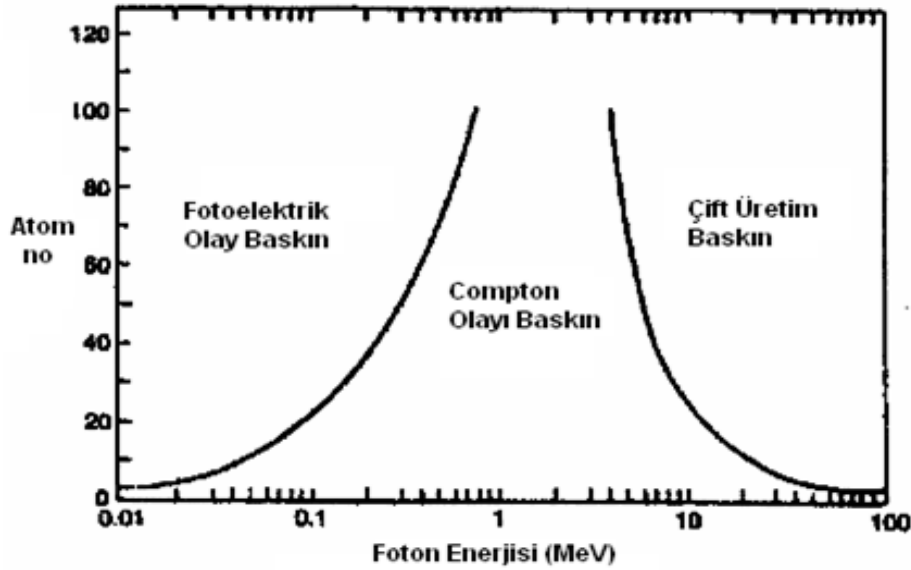
$$T_e = E_\gamma - E'_\gamma(1 - \cos \theta) = \frac{E_\gamma^2(1 - \cos \theta)}{mc^2 + E_\gamma(1 - \cos \theta)} \quad (37)$$

Burada  $m=9.11 \times 10^{-31}$  kg elektronun durgun kütlesi ve  $c=3 \times 10^8$  m/s ışığın boşluktaki hızıdır.

### 1.4.3. Çift Oluşum

Fotonların enerjilerini kayb ettikleri üçüncü önemli olay elektron-pozitron çifti oluşumudur. Bu olay için eşik enerjisi  $2mc^2$ 'dir. Enerjisi 1,02 MeV'den büyük olan fotonlar yüksek atom numaralı bir levhaya çarptırıldığında foton yok olmakta ve onun yerine bir elektron – pozitron çifti oluşmaktadır. Eğer bir sis odasında çift oluşum gözlenirse ortama magnetik alan uygulandığında elektron ve pozitronlar eşit büyüklükte zıt yönlü kavisler yaparak saparlar (Arya,1999). Şekil. 10'da Fotoelektrik olay, compton olayı ve çift oluşumunun baskın olduğu bölgeler gösterilmiştir (Krane, 2001).

$$h\nu = 2m_0c^2 + E_+ + E_- \quad (38)$$



Şekil 10. Fotoelektrik olay, compton olayı ve çift oluşumunun baskın olduğu bölgeler

## **2. YAPILAN ÇALIŞMALAR**

### **2.1. Giriş**

Bu çalışmanın amacı, Doğu Karadeniz bölgesinde yer alan Ordu, Giresun ve Trabzon illerinin sahil kumlarının doğal gama radyoaktivite seviyelerini belirlemektir. Bu amaçla çalışmamızın en önemli kısımlarından biri olan örnek toplama işlemi büyük bir titizlikle gerçekleştirilmiştir. Örneklerin ölçüme hazırlanması için laboratuvar çalışmaları yapılmıştır.

Gama radyoaktivite ölçümlerinde Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü'ndeki HPGe dedektör sistemi kullanılmıştır.

### **2.2. Ordu, Giresun ve Trabzon'un Jeolojik Yapısı**

Çalışma bölgesinin jeolojik yapısı ve örnekleme yapılan noktalar Şekil 11' de gösterilmiştir. Türkiye'nin tektonik ve jeolojik birlikteliklerinden biri olan Doğu Pontidler, yapısal ve litolojik özellikler göz önünde bulundurularak Kuzey ve Güney Zon olarak tanımlanan iki ayrı bölgeye ayrılmıştır (Ketin, 1966.). Kuzey Zon Üst Kretase ve Orta Miyosen volkanik ve piroklastik kayalarla karakteristik iken, Güney Zon ise Üst Kretase öncesi tortul birimler ile karakteristiktir.

Bölgesel olarak, Paleozoyik, metamorfik kayalarla temsil edilmektedir ve bunlar temel kayaları oluşturmaktadır. Birim genellikle, gnays, mikaşist, kuvars-klorit şist ve metabazaltlardan oluşmaktadır (Ketin, 1951). Lias yaşlı volkano-tortul seri tarafından açısız uyumsuzlukla üstlenen temel kayaların yaşı, bölgesel metamorfizmanın yaşı ve stratigrafik konumu göz önünde bulundurularak Paleozoyik olarak kabul edilmiştir. Birim, Paleozoyik yaşlı granitler tarafından kesilmiştir (Yılmaz, 1972).

Çalışma alanı ve çevresinde Mesozoyik, Lias, Geç Jura-Erken Kretase ve Geç Kretase yaşlı birimler yüzeylenmektedir. Lias'ın volkanik, Üst Jura-Alt Kretase'nin platform karbonatlarıyla temsil edildiği bölgede Üst Kretase dönemi farklı ortam koşullarında gelişmiş birimler ile karakteristiktir. Magmatik aktivitelerin yoğun

olduğu Kuzey Zon'da kalın volkanik ve volkano-tortul istifler gelişirken, Güney Zon'da karbonatlı kayalar ve fliş karakterli tortul seriler çökelmiştir. Mesozoyik'in en alt seviyesinde her iki zonda da yüzeylenen volkano-tortul seri (Ağar, 1977) genellikle, bazalt, andezit, dasit ve bunların piroklastitlerinden oluşmuştur ve birimin kalınlığı 500 metrenin üzerindedir. Geç Jura-Erken Kretase yaşlı kireçtaşları tarafından uyumlu olarak üstlenen birimin yaşı, stratigrafik konuma, bölgesel deneştirme sonuçlarına ve fosil bulgulara dayandırılarak Liyas olarak kabul edilmiştir (Ketin, 1951; Ağar, 1977).

Bölgede, volkanik birimler arasında yer alan platform karbonatlarının kalınlığı 100-200 metre arasında değişmektedir ve bu seri her iki zonda da yüzeylenmektedir. Birim Kuzey Zon'da daha masif yapılı killi, çörtlü ve kumlu kireçtaşları ile temsil edilirken, Güney Zon'da ise orta-kalın tabakalı çökellerle karakteristiktir. Doğu Pontidler'in Güney Zonu'nda Geç Kretase yaşlı flişlere geçiş yapan kireçtaşları, Kuzey Zon'da yine Geç Kretase yaşlı volkano-tortul bir istif tarafından uyumlu olarak örtülmektedir. Birimin yaşı, bölgesel korelasyona ve paleontolojik bulgulara dayandırılarak Üst Jura-Senomaniyen olarak kabul edilmiştir (Güven, 1993, 1998).

Doğu Pontidler'in Güney Zonu içinde yüzeylenen flişler kuzey Zon'daki 5 formasyonun yanal karşılığı olarak kabul edilmektedir ve bu birimin kalınlığı 600-800 metre arasında değişmektedir. Üst Kretase boyunca Doğu Pontidler'de gelişen volkanik aktivitenin etkisi dışında kalan ve derin deniz ortamında çökelmiş olan birim, Eosen yaşlı volkano-tortul seri tarafından aşıl uyumsuzlukla örtülmektedir.

Üst Kretase dönemi boyunca Doğu Pontid'lerin Kuzey zonu'nda gelişen volkanizma sonucu kalın bir volkanik istif gelişmiştir. Bu istifin ilk evreleri bazik ve asidik bileşimli volkanik kayalardan oluşmaktadır. Bazik karakterli genellikle kumtaşı, siltaşı, marn, şeyl ve kireçtaşı arakatkılı, bazalt, andezit ve piroklastitlerinden oluşan yaklaşık 900 metre kalınlığındaki serinin yaşı fosil tanımlamalarına göre Türoniyen-Kampaniyen-Santoniyen olarak kabul edilmiştir. Asidik karakterli riyodasit, dasit ve piroklastitlerden oluşan birim ise yer yer tuf, aglomera ve breş arakatkıları içermektedir. Yaklaşık 150-200 metre kalınlığında olan birim, Türoniyen-Kampaniyen-Santoniyen yaşlı birincil evre bazik nitelikli seri üzerine uyumlu olarak geldiği için, Santoniyen yaşlı kabul edilmiştir. İkinci evreli bazik ve asidik volkanik kayalar bu birimlerden sonra oluşmuştur. Kumtaşı, marn ve kırmızı renkli kireçtaşı ara katkılı, bazalt, andezit ve piroklastitlerinden oluşan ikincil evreli bazik kayalar yaklaşık 800 metre kalınlığındadır. Kırmızı renkli kireçtaşları içinde bulunan fosillerden yararlanarak birimin yaşı, Kampaniyen-Maastrichtiyen olarak kabul

edilmiştir (Güven, 1993; Güven, 1998). Bazik karakterli volkano-tortul seri üzerine uyumlu olarak gelen ikincil evreli asidik kayalar, riyodasit, dasit, trakiandezit ve piroklastitlerinden oluşmaktadır. 100-200 metre kalınlığında olan birimin yaşı, stratigrafik konumuna göre Maastrichtiyen olarak kabul edilmiştir.

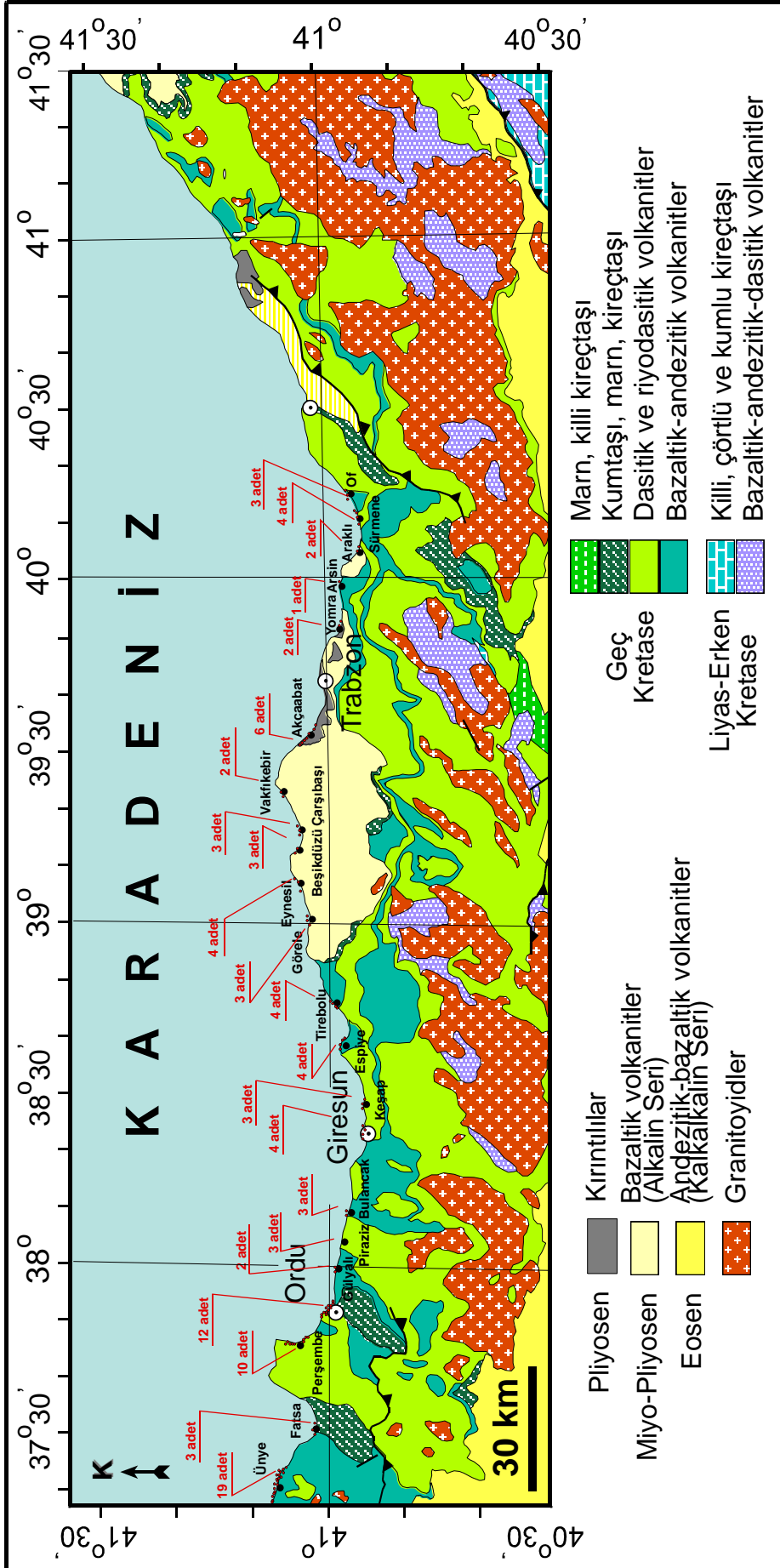
Bunları uyumlu olarak üzerleyen seri ise tortul kayalardan oluşmaktadır (Güven, 1993). Bu birim genel olarak killi, kumlu kireçtaşı, marn, şeyl ve kumtaşı aralanmasından oluşmaktadır. Kalınlığı 200-250 metre arasında olan birimin yaşı, fosil bulgularından yararlanılarak, Maastrichtiyen-Erken Paleosen olarak kabul edilmiştir.

Çalışma alanında sadece Kuzey Zon'da yüzeylenen resifal kireçtaşları (Güven, 1993) 150-200 metre kalınlığındadır ve Maastrichtiyen-Erken Paleosen yaşlı birimler ile yanal geçişlidir ve Eosen yaşlı volkano-tortul seri tarafından açısız uyumsuzlukla örtülmektedir.

Doğu Karadeniz Bölümü'nün doğu kesimlerinde yer alan Kaçkar Dağları, Doğu Pontid Kuzey Zonu içerisindeki granitoidlerin en fazla yüzeylendiği bölgedir. Bu bölgede, genellikle Eosen yaşlı birimlerin içine sokulan intrüzif kayalar, Güven (1993) tarafından Kaçkar Granitoidleri olarak tanımlanmıştır. Üst Kretase boyunca gelişimini sürdüren ve büyük ölçüde Paleosen sonunda yerleşimini tamamlayan granitoidler ile Eosen yaşlı birimler arasında bir aşınma düzlemi bulunmaktadır. Eosen döneminde yenilenen granitoid intrüzyonları ise Eosen yaşlı kayalarda kontakt etkiler yapmıştır.

Çalışma alanı ve çevresinde Senozoyik, genellikle kırıntılı çökellerle başlar ve üst bölümlere doğru volkano-tortul seviyeye geçiş gösterir (Güven, 1993). Geç Kretase yaşlı birimler üzerine taban konglomerası ve açısız uyumsuzlukla gelen birimler, kumtaşı, kumlu kireçtaşı ve marn ara katkılı andezit, bazalt ve bunların piroklastitlerinin oluşturduğu volkano-tortul bir seridir. Yaklaşık 700 metre kalınlığındaki birim, kumlu ve killi seviyelerde taşınmış Miyosen yaşlı fosil parçaları içeren ve Pliyosen yaşlı olarak kabul edilen bir birim tarafından açısız uyumsuzlukla üstlenmektedir.





Şekil.11 Ordu, Giresun ve Trabzon İllerinin Jeolojik Haritası (Güven. 1993)

### **2.3. Arazi Çalışmaları**

#### **2.3.1. Sahil Kum Örneklemelerinin Yapılması, Örneklerin Toplanması**

Ordu, Giresun ve Trabzon illerinin sahil şeridi boyunca yaklaşık 290 km uzunluğundaki bölgede 22 istasyon belirlendi. Bu istasyonlar ilçe bazında belirlenirken yaklaşık 3 km aralıklara ile örnekler toplanmıştır. Örnekler toplanırken GPS ile koordinatlar bellirlendi. 1 m<sup>2</sup> lik bir alanın merkezinden ve dört köşesinden olmak üzere, (örnek toplama kriterleri gözönünde bulundurularak) yüzey tabakasından (0-20 cm derinlik) kum örnekleri alındı (IAEA,2003). Örnekleme yerini temsil ettiği kabul edilen kumlar homojen olarak karıştırılarak koordinat noktaları etiketlenen temiz naylon torbalar yardımı ile taşındı.

### **2.4. Laboratuvar Çalışmaları**

#### **2.4.1. Örneklerin Hazırlanması**

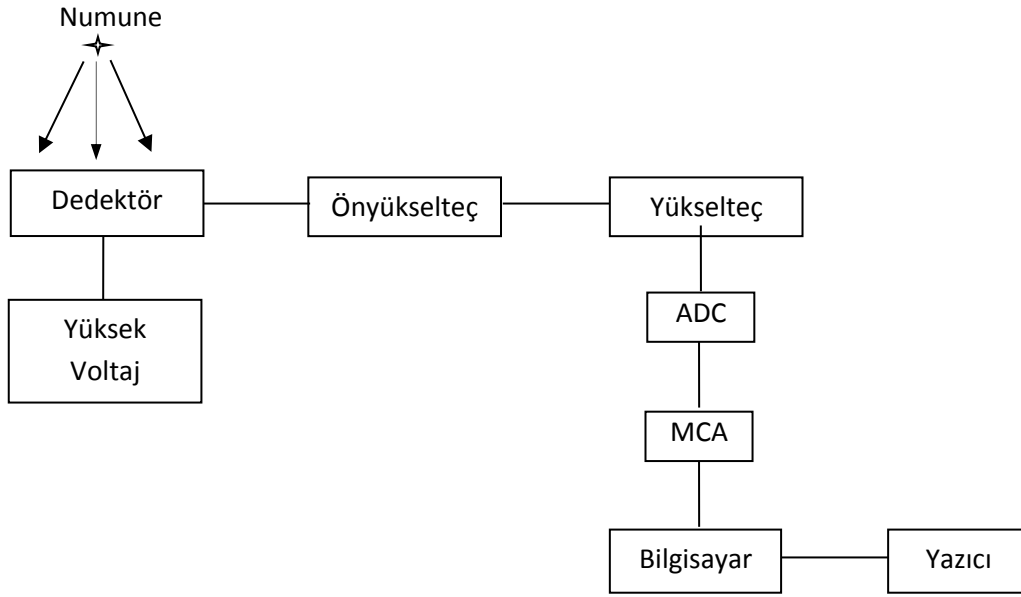
Toplanan örnekler doğada buldukları şekilde kurumaları için güneş ışığına bırakıldılar. Kuruma süreci tamamlanan örnekler sonra sahilde bulunan yabancı cisimlerden arındırılmak için elenerek üzerleri koordinatlarını belirtecek şekilde etiketlenerek çapı 6 cm ve yüksekliği 5 cm olan plastik kutuların içine konulmuş ve kutuların ağızları sıkıca kapatılarak 1 ay süreyle bekletilmiştir. Bu beklenen süre, <sup>238</sup>U ve <sup>232</sup>Th ürünleri arasındaki radyoaktif dengenin oluşması sağlanmış ve numuneler sayıma hazır hale getirilmiştir.

Gamma spektroskopik ölçümleri gerçekleşirken örneklerden elde edilen spektrumların bilgisayar ortamında analizlerinin yapıp aktivite konsantrasyonları hesaplanmıştır.

#### **2.4.2. Deneysel Sistem**

Bu çalışmada sahil kumlarının doğal radyoaktivite analizleri için, K.T.Ü. Fen Fakültesi Fizik Bölümü Atom ve Molekül Fiziği Laboratuvarında bulunan çok kanallı gama

spektroskopisi kullanılmıştır. Gamma spektroskopik ölçümler 1332.5 keV'de 1.9 keV rezölüsyona ve % 15' lik relatif verime sahip olan Canberra, GC 1519 model yüksek saflıkta coaxial Ge dedektörü kullanılarak yapılmıştır. Dedektör, önyükselteç, spektroskopi yükselteci, analog sayımları elektronik sinyallere dönüştüren ADC sistemi, çok kanallı analizörden (MCA) oluşmaktadır. Şekil 12'de sistemin blok şeması verilmektedir.



Şekil 12. Gama spektrometre sisteminin blok şeması

Bu sistemde bulunan üniteler aşağıda ayrı ayrı açıklanmıştır.

a) Dedektör

Gama ışınlarının ölçülmesinde kullanılan dedektörlerde, gelen foton kristalle etkileşerek enerjisini kaybeder. Bu etkileşmeler sonucunda, kristalde elektron-boşluk çiftleri meydana gelir ve dedektöre uygulanan yüksek voltajın oluşturduğu elektrik alanı ile diotlara sürüklenir. Gelen radyasyonun enerjisi ile orantılı olarak biriken bu yük, analizörde ölçülebilen bir voltaj pulsu meydana getirir.

b) Yüksek Voltaj Ünitesi

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

c) Önyükselteç

Önyükselteç, dedektörden gelen pulsları depolanan enerji ile orantılı olarak voltaj sinyaline dönüştürür. Elektronik katlar için pulsları şekillendirir ve büyütür. Dedektör ile

elektronik devre arasında empedans uyumu sağlar. Önyükselticinin ilk devresi dedektöre çok yakın yerleştirilmiş bir alan etki transistörü (FET)'tir. Hemen hemen bütün dedektörler çok düşük genlikte pulslar ürettiklerinden ve uzun kablo durumunda sinyal kapasitif yükleme gürültüsü arasında kaybolabileceğinden düşük gürültülü gerçek sinyalleri elde edebilmek için önyükselteçler dedektöre çok kısa kablolarla bağlanmışlardır ve ön yükselticinin girişi dedektörle aynı tarzda soğutulur, yani sıvı azot sıcaklığında muhafaza edilir.

#### d) Yükselteç

Önyükselteçten gelen pulsların, puls yüksekliği analizi yapılabilecek kadar yükseltilmesini ve en iyi enerji ayrılmasını sağlayacak şekillendirmeyi sağlar. Modern sistemler için maksimum çıkış pulsunun genliği 2 V'tan 10 V'a kadar değişir. Çoğu yükselticiler hem unipolar çıkış (yani, sinyalin pik kısmı tamamen pozitif veya tamamen negatiftir) hem de bipolar çıkış (yani, sinyal hem pozitif hem de negatif bileşene sahiptir) ile donatılmıştır. En iyi sinyal- gürültü oranını elde etmek için, yükselticinin unipolar çıkışı seçilir. Kullanıcının bilerek seçmesi gereken başka bir yükseltici denetimi puls genişliğini belirleyen "Shaping time" sabitidir. Bir spektrumdaki pikler için en iyi rezülasyon genellikle sistem daha uzun bir zaman üzerinden gürültünün ortalamasını alabileceği için daha uzun zaman sabitiyle elde edilebilir. Bununla birlikte, daha uzun zaman sabitleri daha fazla rastgele toplanmaya neden olur. Bundan dolayı, eğer sistem 2.000 s'lik sayma hızlarında çalıştırılacaksa daha kısa zaman sabitleri kullanılabilir.

#### e) Analog Dijital Çevirici (ADC)

Spektroskopi yükseltecinden gelen sinyalleri genlikleri ile orantılı olarak sayısal sisteme dönüştürür. Burada ölü zaman (dead time) çok önemlidir. Ölü zaman, birim zaman başına kazanç veya dönüşümün artmasıyla orantılı olarak artar. Yani ADC'nin meşgul olduğu zamandır. ADC genellikle puls yüksekliği analizinde kullanılır.

#### f) Çok Kanallı Analizör (MCA)

Çok kanallı analizörler, genellikle puls yüksekliği yapan cihazlardır, MCA'da en önemli devre veya bileşen, örneksel/sayısal dönüştürücüdür (analog to digital converter (ADC)). Burada, gelen her puls, sayısal hale çevrilir ve genliği ile orantılı olarak bir hafıza kanalına yerleştirilir. Her kanal belli bir enerjiye karşılık gelir ve sayım süresince gelen pulsların birikmesiyle pikler oluşur.

### 2.4.3. Deneysel Yöntem

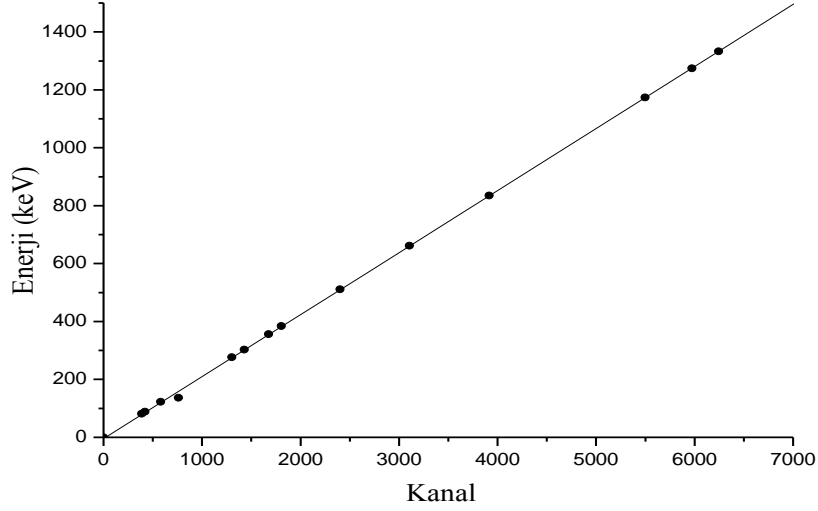
#### 2.4.3.1. Enerji Kalibrasyonu

Bilgisayar hafızasında toplanan spektrumların analiz edilebilmeleri için, hangi kanalın hangi enerjiye karşılık geldiğinin bilinmesi gerekir. Böylece numunede bulunan radyoaktif çekirdek türleri bulunabilir. Enerji kalibrasyonunun yapılabilmesi için önceden enerjileri bilinen çekirdeklerden oluşmuş standart bir kaynağa (kaynaklara) ihtiyaç vardır. Enerji ve verim kalibrasyonu için enerjileri 80–1400 keV arasında değişen  $^{109}\text{Cd}$ ,  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{133}\text{Ba}$ ,  $^{22}\text{Na}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ , ve  $^{60}\text{Co}$ 'ın piklerini içeren standart nokta kaynaklar kullanıldı. Tablo 4'de kalibrasyon için kullanılan standart kaynağa ait bilgiler verilmektedir.

Tablo 4. Standart Kaynağın Özellikleri

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

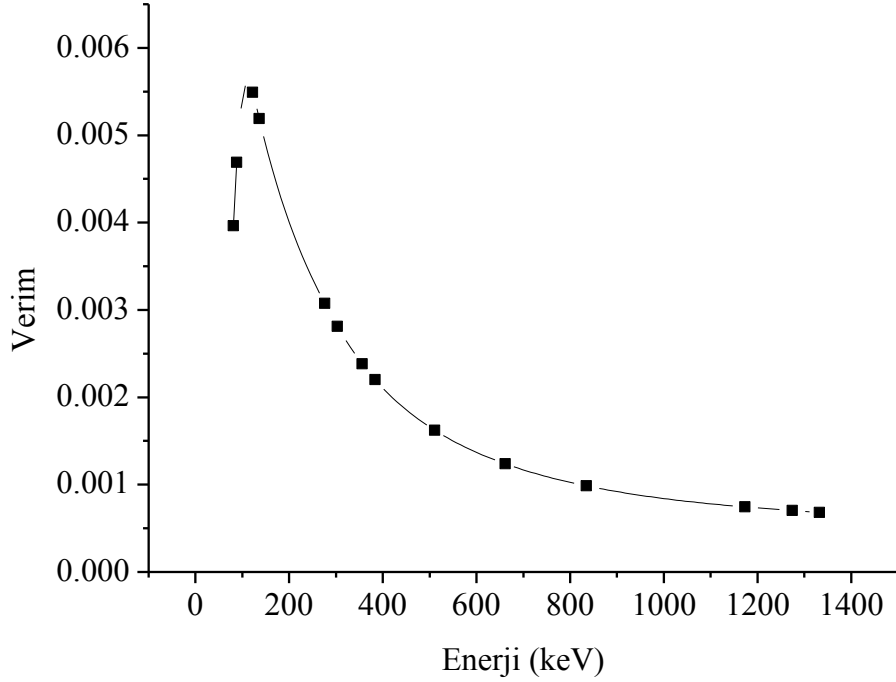
Enerji kalibrasyonu için dedektöre belli bir mesafede konulan standart kaynağın spektrumu elde edilerek enerjilerin hangi kanallara geldiği tespit edildi. Enerjinin kanallara göre değişim grafiği Şekil 13'de gösterilmektedir.



Şekil 13. Enerji Kalibrasyon Eğrisi

#### 2.4.3.2. 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 verimine etkiler. Bunun için kaynağın en çok fotonları yaydığı bölgesi dedektörün ortasına gelecek şekilde yerleştirilmeli ve kaynak sabitleştirilmelidir. Ölçümlerde kullanılacak enerji-verim eğrisi Şekil 14’de gösterilmektedir.



Şekil 14. Verim - Enerji Eğrisi

#### 2.4.4. Spektrum Analizi

Dedektörden alınan veriler Genie 2000 Gamma Acquisition & Analysis programı yardımıyla enerji değerlerine karşılık gelen pikler görüntülenir. Görüntülenen bu spektrumlardaki  $^{238}\text{U}$  bozunma ürünü olan  $^{226}\text{Ra}$  (186,21 keV),  $^{214}\text{Pb}$  (351,9 keV),  $^{214}\text{Bi}$  (609,3 keV),  $^{232}\text{Th}$  serisinin bozunma ürünü olan  $^{208}\text{Tl}$  (583,2 keV) ve  $^{228}\text{Ac}$  (911,2 keV),  $^{40}\text{K}$  (1460,8 keV) ve  $^{137}\text{Cs}$  (661,6 keV) pikleri dikkate alınmış ve her bir pik için ilgili alan bölgeleri seçilmiştir. Yine her bir pik için piklerin alanları, en büyük alan ve en küçük hatayı verecek şekilde işaretlenmiştir. İşaretlenen bu bölgelerden aktivite hesabında kullanılacak net alan ifadesi tesbit edilir.

##### 2.4.4.1. Aktivite Hesabı

Doğal radyoaktiviteye sahip  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  elementlerinin ölçümlerinden alınan verileri denklem(39) kullanarak radyoaktivite aktivite konsantrasyonu bulunur.

$$\text{Aktivite} = \frac{\text{Net Alan}}{\text{Sayım Süresi} \times \text{Numune Miktarı} \times \text{Bolluk} \times \text{Verim}} \quad (39)$$

Net alan piklerin altında kalan toplam alan ifadesinden doğal fon değerlerinin çıkarılması ile bulunuyor. Numune miktarı da kullanılan saklama kaplarının boş ağırlıklarını örneklerin toplam ağırlıklarından çıkararak elde edilir. Verim her radyoaktif element için ayrı ayrı hesaplanarak aktivite denkleminde yerine konuluyor. Bolluk veya dallanma oranları aşağıda her element için Tablo 5’ de verilmiştir.

Tablo 5. Aktivitesi hesaplanan elementler ve bozunma olasılıkları

Element	Bozunma Olasılığı (%)
<sup>226</sup> Ra (186,2 keV)	3,29
<sup>214</sup> Pb (351,9 keV)	35,8
<sup>208</sup> Tl (583,2 keV)	85,1
<sup>214</sup> Bi (609,3 keV)	45,0
<sup>137</sup> Cs (661,6 keV)	85,2
<sup>228</sup> Ac (911,1 keV)	27,8
<sup>40</sup> K (1460,8 keV)	10,7

Aktivite hesaplaması yaparken <sup>40</sup>K elementinin radyoaktivite konsantrasyonu direk denklem (39) da yerine koyarak hesaplanabilir. Fakat <sup>232</sup>Th ve <sup>238</sup>U serilerinin yarılanma ömürleri çok uzun olduğu için aktivite konsantrasyonunu bu serilerin bozunma ürünlerine bakarak hesaplanır. <sup>238</sup>U bozunma ürünü olan <sup>226</sup>Ra (186,21 keV), <sup>214</sup>Pb (351,9 keV), <sup>214</sup>Bi (609,3 keV), <sup>232</sup>Th serisinin bozunma ürünü olan <sup>208</sup>Tl (583,2 keV) ve <sup>228</sup>Ac (911,2 keV) elementlerinin pikleri alınarak hesaplanır.

#### 2.4.4.2. Radium Eşdeğer Aktivitesi Hesabı

<sup>238</sup>U, <sup>232</sup>Th ve <sup>40</sup>K elementlerinin doğada dağılımı birbirlerinden farklıdır. Farklı miktardaki bu elementlerin oluşturduğu radyoaktivite konsantrasyonundan dolayı maruz



kalınan radyasyonun standartlaştırmak için radyum eşdeğer aktivitesi hesaplanır. Radyum eşdeğer aktivitesi aşağıdaki denklem (40) ile tanımlanır(Beretka,J.,vd. 1985).

$$Ra_{eq} = C_u + 1.43C_{Th} + 0.07C_K \quad (40)$$

Denklem de ifade edilen  $C_U$  ,  $C_{Th}$  ve  $C_K$  sırasıyla  $^{238}U$ ,  $^{232}Th$  ve  $^{40}K$  elementlerinin Bq/kg birimindeki radyoaktivite konsantrasyonunu temsil etmektedir.

#### 2.4.4.3. Soğurulan Gama Doz Hızı Hesabı

Yüzeyden 1 metre yükseklikteki havada gama doz hızını hesaplamak için spesifik aktivite konsantrasyonları belli dönüşüm faktörleri ile çarpılır (UNSCEAR,2000)

$$D = [0.621C_{Th} + 0.462C_U + 0.0417C_K] nGy / h \quad (41)$$

Denklem (41) de ifade ettiğimiz  $C_U$  ,  $C_{Th}$  ve  $C_K$  sırasıyla  $^{238}U$ ,  $^{232}Th$  ve  $^{40}K$  elementlerinin Bq/kg birimindeki radyoaktivite konsantrasyonu temsil etmektedir.

#### 2.4.4.4. Yıllık Etkin Doz Hesabı (AEDE)

Soğurulan doz için dönüşüm (0.7 Sv/Gy) ve dış ortamda maruz kalma faktörü (0.2 ) dikkate alınarak etkin doz aşağıdaki denklemi kullanarak hesaplanır (UNSCEAR,2000).

$$\text{Etkin Doz Hızı (mSv/y)} = \text{Doz Hızı (nGy/h)} \times 8760h \times 0.2 \times 0.7 \text{Sv/Gy} \times 10^{-6} \quad (42)$$

#### 2.4.4.5. Dış Tehlike İndeksi ( $H_{ex}$ )

Beretka ve Mathew, (1985) tarafından tanımlanan dış tehlike indeksi;

$$H_{ex} = C_u / 370 + C_{Th} / 259 + C_K / 4810 \quad (43)$$

İfadesiyle verilmektedir. Denklem (43) de ifade ettiğimiz  $C_U$ ,  $C_{Th}$  ve  $C_K$  sırasıyla  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  elementlerinin Bq/kg birimindeki radyoaktivite konsantrasyonunu temsil etmektedir. Radyasyon zararını göz ardı edebilmemiz için  $H_{ex}$  değerinin 1'den küçük olması gerekmektedir.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

Deneysel yöntemlerle doğal gama radyoaktivite düzeyleri ölçülen kum örneklerinin ayrıntılı incelenmesi için gama spektrometrik analizleri yapılarak sonuçlar, tablolar ve grafikler ile verilmiştir.

#### 3.1. Trabzon, Giresun ve Ordu İllerinin Sahil Kum Örneklerinin Analiz Sonuçları

##### 3.1.1. Trabzon Sahili Kum Örneklerinin Analiz Sonuçları

Trabzon ili sahil şeridinden alınan kum örneklerinin yapılan gama spektrometrik analizleri sonucunda, örnekler de bulunan radyonüklidin aktivite konsantrasyonları belirlenmiş olup sonuçları Tablo 6'da verilmektedir. Bu aktivite konsantrasyonlarının örneklerin alındığı noktalar göre dağılımı Şekil 15, Şekil 16 ve Şekil 17 de gösterilmektedir. Tablo 6'da verilen aktivite konsantrasyonları sırasıyla  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  doğal radyoaktif elementlerine aittir. Yapay radyoaktif element olan  $^{137}\text{Cs}$ 'nin aktivite konsantrasyonunda hesaplanmıştır ve aynı tabloda verilmiştir.

Trabzon sahil şeridinden alınan kum örneklerinin  $^{238}\text{U}$  radyoaktivite değeri ortalama  $15,96 \pm 1,81$  Bq/kg değerinde olup en düşük  $0,78 \pm 2,41$  Bq/kg ve en yüksek  $39,92 \pm 3,30$  Bq/kg aralığında değişmektedir. En yüksek  $^{238}\text{U}$  radyoaktivite konsantrasyonu Araklı plajından alınan kum örneğinde  $39,92 \pm 3,30$  Bq/kg değerindeyken en düşük radyoaktivite konsantrasyonu Of-S1 sahilinden alınan kum örneğinde  $0,78 \pm 2,41$  Bq/kg olarak hesaplanmıştır. Akçaabat çevresinde yapılan örneklemlerden Darıca, Mersin ve Körfez kum örneklerde ise uranyum radyoaktivitesi gözlenmemiştir. Yine aynı şekilde Yoroç plajından yapılan örneklemede de uranyum radyoaktivitesi gözlenmemiştir.

Trabzon ili sahil şeridinden alınan kum örneklerinin  $^{232}\text{Th}$  radyoaktivite değeri ortalama  $7,99\pm 2,39$  Bq/kg değerinde olup en düşük  $1,91\pm 1,86$  Bq/kg ve en yüksek  $13,15\pm 2,62$  Bq/kg aralığında değişmektedir. En yüksek  $^{232}\text{Th}$  radyoaktivite konsantrasyonu Vakfikebir kum örneğinde  $13,15\pm 2,62$  Bq/kg değerindeyken en düşük radyoaktivite konsantrasyonu Mersin kum örneğinde  $1,91\pm 1,86$  Bq/kg olarak hesaplanmıştır. Çarşıbaşı çevresinde yapılan örneklemlerden Yoroş plajı'ndaki örneklerde ise toryum radyoaktivitesi gözlenmemiştir.

Trabzon ili sahil şeridinden alınan kum örneklerinin  $^{40}\text{K}$  radyoaktivite değeri ortalama  $230,94\pm 10,67$  Bq/Kg değerinde olup en düşük  $5,63\pm 18,29$  Bq/kg ve en yüksek  $708,99\pm 38,86$  Bq/kg aralığında değişmektedir. En yüksek  $^{40}\text{K}$  radyoaktivite konsantrasyonu Akçaabat çevresinde Yaylacık kum örneğinde  $708,99\pm 38,86$  Bq/kg değerindeyken en düşük radyoaktivite konsantrasyonu Çarşıbaşı çevresinde Yoroş Plajı kum örneğinde  $1,91\pm 1,86$  Bq/kg olarak hesaplanmıştır.

Trabzon ili sahil şeridinden alınan kum örneklerinin  $^{137}\text{Cs}$  radyoaktivite değeri ortalama  $3,25\pm 0,72$  Bq/Kg değerinde olup en düşük  $2,75\pm 1,04$  Bq/kg ve en yüksek  $12,16\pm 1,46$  Bq/kg aralığında değişmektedir. En yüksek  $^{137}\text{Cs}$  radyoaktivite konsantrasyonu Araklı-S2 kum örneğinde  $12,16\pm 1,46$  Bq/kg değerindeyken en düşük radyoaktivite konsantrasyonu Of-S2 e kum örneğinde  $2,75\pm 1,04$  Bq/kg olarak hesaplanmıştır. Trabzon çevresinde örnekleme yapılan 8 noktada ise  $^{137}\text{Cs}$  aktivitesi gözlenmemiştir bu noktalar sırasıyla; Beşikdüzü çevresinde Öğretmen evi plajı ve Dilektaş plajı, Vakfikebir, Çarşıbaşı çevresinde Yoroş plajı, Kalecik plajı ve Çarşıbaşı, Trabzon Merkez bölgesinde Maliye bakanlığı sahili, Yomra giriş, Sürmene çevresinde Sürmene D. B.-S1 ve Sürmene D. B.-S3 bölgeleridir.

Literatürde  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  doğal radyoaktivite konsantrasyonlarının dünya ortalaması sırasıyla 33 Bq/kg, 45 Bq/kg ve 420 Bq/kg değerlerin de verilmiştir.(UNSCEAR., 2000). Trabzon ilinde genel ortalamalara baktığımızda  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  elementleri için radyoaktivite konsantrasyonu dünya ortalamasının altındadır. Trabzon ilçelerinden Akçaabat sahilinden Yaylacık'dan alınan örnekte  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  sırasıyla  $34,39\pm 3,43$  Bq/kg,  $12,35\pm 2,93$  Bq/kg ve  $708,99\pm 38,86$  Bq/kg değerinde,  $^{238}\text{U}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonu UNSCEAR'ın yayınladığı ortalama değer üstünde çıkmıştır. Alınan deniz kumu örneklerindeki  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonları karşılaştırıldığında, bu 27 örneğin büyük çoğunluğunda  $^{238}\text{U}$  aktivitesinin  $^{232}\text{Th}$ 'den fazla çıktığı görülmüştür.

Sahil kumlarındaki radyonüklitlerin aktiviteleri biliniyorsa, yüzeyden 1 metre yükseklikteki havada gama doz hızını hesaplamak için spesifik aktivite konsantrasyonları belli dönüşüm faktörleri ile çarpılır(UNSCEAR,2000). Bu çalışma için sahil kumları örneklerinin analizinden elde edilen radyonüklit aktivitelerinden yararlanılarak, sahil kumu örneklerindeki gama dozu (D) değerleri (41) eşitliğinden yararlanılarak hesaplanmış ve her bir örnek için hesaplanan gama dozu değerleri Tablo 6’da verilmiştir.

Bulunan gama dozları kullanılarak yıllık etkin doz eşdeğeri (AEDE) yani insanın bir yılda maruz kaldığı, farklı radyasyon kaynaklarından yayınlanan radyasyonlardan alacağı doz miktarı hesaplanır. Eşitlik (42) kullanılarak yıllık etkin doz eşdeğeri hesaplanmaktadır (UNSCEAR, 2000).

Trabzon il sahili için hesaplanan Soğurulan gama doz hızı, yıllık etkin doz eşdeğerleri ve dış tehlike indeksi ( $H_{ex}$ ) değerleri Tablo 6’da verilmektedir.

Trabzon ili sahil kumu örneklerinin Soğurulan gama doz hızı ortalaması 20,64 nGy/h değerindedir. Soğurulan gama doz hızı en yüksek Yaylacık kum örneğinde 53,12 nGy/h değerinde hesaplanırken en düşük 0,23 nGy/h Yoroç plajı kum örneğinde hesaplanmıştır.

Trabzon ili sahil kumu örneklerinin Yıllık etkin doz eşdeğeri ortalaması 0,025 mSv/y değerindedir. Yıllık etkin doz eşdeğeri en yüksek Yaylacık kum örneğinde 0,0651 mSv/y değerinde iken en düşük Mersin kum örneğinde 0,002 mSv/y değerinde hesaplanmıştır.

Trabzon ili sahil kumu örneklerinin Dış tehlike indeks ortalama değeri 0,143 olarak hesaplanmıştır. Dış tehlike indeksi en yüksek Araklı-S2 kum örneğinde 0,83 olarak hesaplanırken en düşük Çarşıbaşı kum örneğinde 0,03 hesaplanmıştır.

UNSCEAR’ın yayınladığı ülkelerdeki soğurulan gama doz hızı değeri en düşük 24 nGy/h ile en yüksek 160 nGy/h aralığında olup ortalama değeri 60 nGy/h olarak verilmiştir. Trabzon çalışma bölgemizdeki ortalama soğurulan gama doz hızı değerlerinin verilen dünya ortalama soğurulan gama doz hızı değerinden küçük olduğu tespit edilmiştir. Radyasyon zararını göz ardı edebilmemiz için  $H_{ex}$  değerinin 1’den küçük olması gerekmektedir. Çalışma bölgemizde hesaplanan tüm  $H_{ex}$  değerleri 1’in altında hesaplanmıştır. Bu veriler ışığında Trabzon ili sahil kumlarında belirlenen radyonüklitlerin, insan sağlığını tehdit edebilecek düzeyde aktivite konsantrasyonuna sahip olmadığı sonucuna varılmıştır.

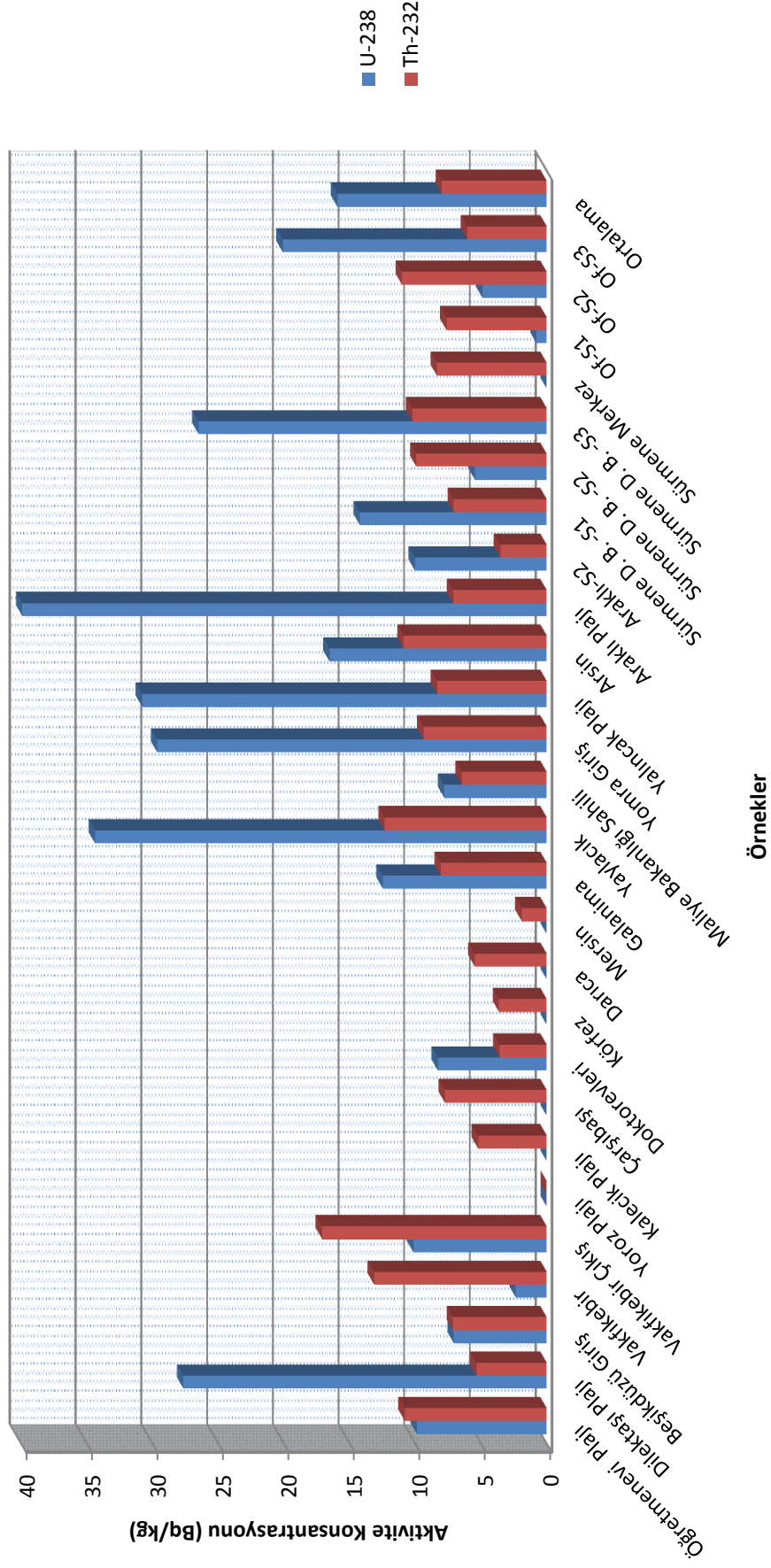
Tablo 6. Trabzon ili sahil kumlarındaki radyonüklit konsantrasyonları ve koordinatları

TRABZON	Kuzey Boylamı	Doğu Enlemi	<sup>238</sup> U (Bq/kg)	<sup>232</sup> Th (Bq/kg)	<sup>40</sup> K (Bq/kg)	<sup>137</sup> Cs (Bq/kg)
<b>Beşikdüzü</b>						
Öğretmenevi Plajı	41°.07136	39°.20689	9,89±2,41	10,81±2,76	237,59±27,14	-
Dilektaş Plajı	41°.07225	39°.20097	27,67±2,46	5,37±2,35	137,29±21,14	-
Beşikdüzü Giriş	41°.05783	39°.22358	7,09±2,21	7,15±2,41	230,84±25,46	2,87±0,93
<b>Vakfikebir</b>						
Vakfikebir	41°.05689	39°.30746	2,35±2,26	13,15±2,62	336,3±29,01	-
Vakfikebir Çıkış	41°.04811	39°.24893	23,34±2,69	11,24±2,52	360,25±28,21	3,84±1,0
<b>Çarşıbaşı</b>						
Yoroz Plajı	41°.10118	39°.4269	-	-	5,63±18,29	-
Kalecik Plajı	41°.07233	39°.3531	-	5,24±1,75	32,11±18,72	-
Çarşıbaşı	41°.09593	39°.39611	-	7,75±2,07	34,20±20,57	-
<b>Akçaabat</b>						
Doktorevleri	41°.01259	39°.61464	8,3±2,17	3,59±1,97	198,71±24,03	4,02±0,90
Körfez	41°.02784	39°.56489	-	3,64±2,19	128,27±23,14	4,78±1,01
Darıca	41°.05243	39°.53711	-	5,48±1,93	46,34±20,45	3,20±0,93
Mersin	41°.08383	39°.49590	-	1,91±1,86	26,58±19,86	3,19±0,93
Galanima	41°.01649	39°.60187	12,49±2,61	8,07±2,43	431,9±31,32	8,57±1,22
Yaylacık	41°.01762	39°.59316	34,39±3,43	12,35±2,93	708,99±38,86	4,59±1,93
Maliye Bak. Sahili	41°.00631	39°.63133	7,81±2,20	6,48±2,15	96,58±21,29	-

Tablo 6'in Devamı

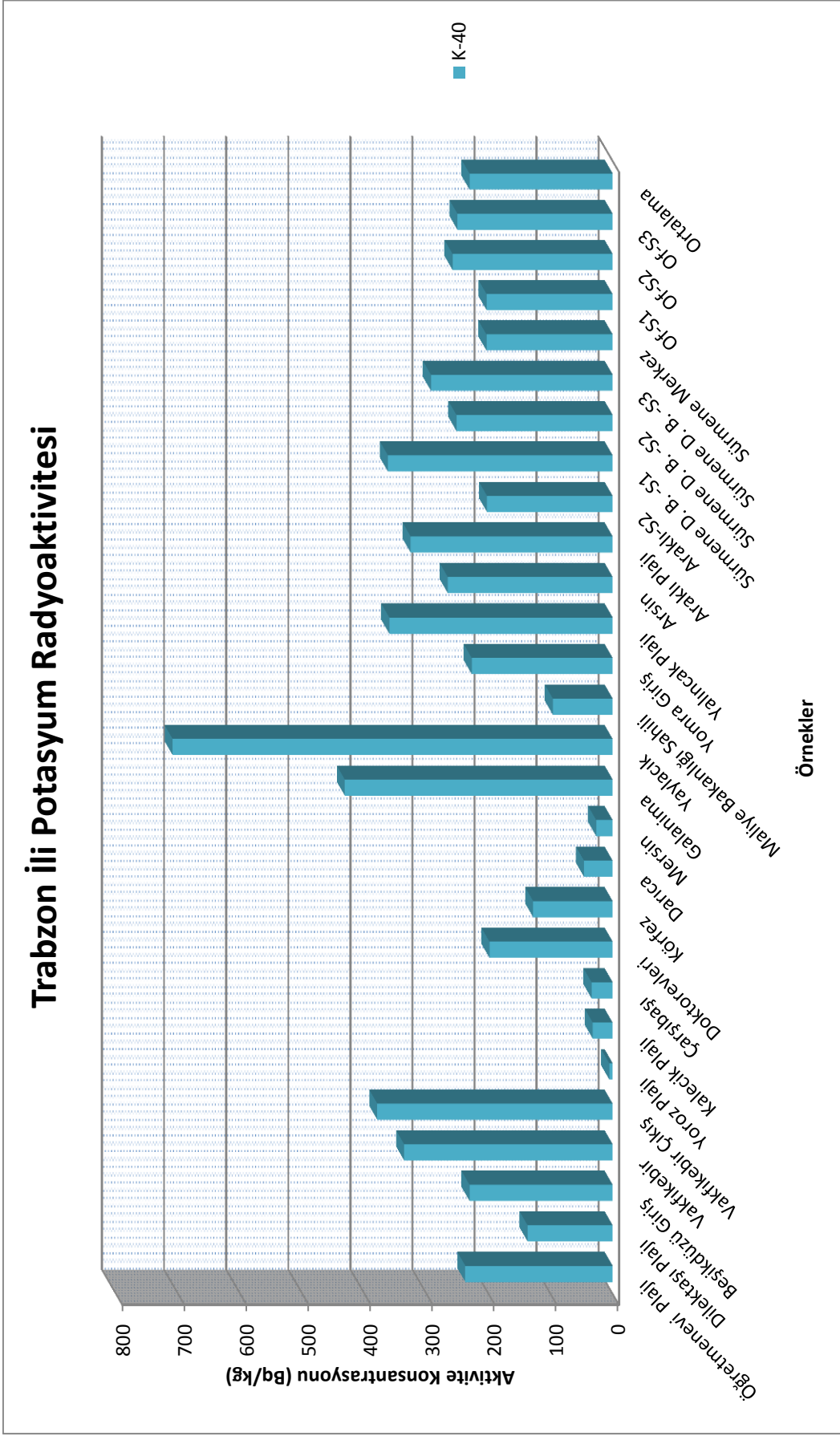
TRABZON	Kuzey Boylamı	Doğu Enlemi	<sup>238</sup> U (Bq/kg)	<sup>232</sup> Th (Bq/kg)	<sup>40</sup> K (Bq/kg)	<sup>137</sup> Cs (Bq/kg)
<b>Yomra</b>						
Yomra Giriş	40°.95569	39°.86912	29,66±2,98	9,38±2,55	227,32±28,04	-
Yalıncak Plajı	40°.98538	39°.82385	30,80±3,20	8,34±3,13	360,30±32,72	9,27±1,3
<b>Arsin</b>						
Arsin	40°.96065	39°.96938	16,55±2,67	10,91±2,76	266,04±28,82	6,71±1,46
<b>Araklı</b>						
Araklı Plajı	40°.92416	40°.07747	39,92±3,30	7,13±2,77	325,83±30,88	5,53±1,20
Araklı-S2	40°.95776	40°.02081	0,91±1,10	9,53±2,43	258,29±27,6	7,89±1,14
<b>Sürmene</b>						
Sürmene D. B. -S1	40°.92245	40°.21020	14,24±1,28	7,08±2,51	362,46±30,40	-
Sürmene D. B. -S2	40°.92123	40°.20198	5,48±1,36	9,94±2,62	251,97±31,20	3,23±0,99
Sürmene D. B. -S3	40°.91652	40°.17987	26,51±3,46	10,23±3,09	294,13±30,94	-
Sürmene Merkez	40°.91263	40°.13043	-	8,37±2,32	203,62±23,94	7,39±1,06
<b>Of</b>						
Of-S1	40°.96380	40°.29747	0,78±2,41	7,63±2,73	203,27±2,73	5,78±1,03
Of-S2	40°.95860	40°.28956	4,91±2,42	11,03±2,87	258,23±28,68	2,75±1,04
Of-S3	40°.937190	40°.25092	20,11±2,29	6,06±1,96	250,37±23,50	6,87±0,95
<b>Ortalama=</b>			15,96±1,81	7,99±2,39	230,94±10,67	3,25±0,72

## Trabzon İli Uranyum & Toryum Radyoaktivitesi



Şekil 15. Trabzon sahil kumu Uranyum ve Toryum aktiviteilerinin noktalara göre dağılımı





Şekil 16. Trabzon sahil kumu Potasyum radyoaktivitesi noktalarına göre dağılımı



Tablo 7. Trabzon ili sahil kumu örneklerinin Soğurulan gama doz hızı, Yıllık etkin doz eşdeğeri ve Dış tehlike indeks değerleri

<b>TRABZON</b>	<b>D(nGy/h)</b>	<b>AEDE(mSv/y)</b>	<b><math>H_{ex}</math></b>
<b>Beşikdüzü</b>			
Öğretmenevi Plajı	22,45	0,027	0,12
Dilektaş Plajı	21,84	0,027	0,12
Beşikdüzü Giriş	17,34	0,021	0,09
<b>Vakfikebir</b>			
Vakfikebir	23,27	0,028	0,13
Vakfikebir Çıkış	31,14	0,038	0,17
<b>Çarşıbaşı</b>			
Yoroz Plajı	0,23	0,001	0,01
Kalecik Plajı	4,59	0,005	0,03
Çarşıbaşı	6,24	0,007	0,04
<b>Akçaabat</b>			
Doktorevleri	34,00	0,042	0,08
Körfez	7,61	0,001	0,09
Darıca	5,33	0,006	0,20
Mersin	2,294	0,002	0,01
Galanima	28,79	0,035	0,15
Yaylacık	53,12	0,065	0,29
Maliye Bakanlığı Sahili	11,66	0,014	0,06
<b>Yomra</b>			
Yomra Giriş	29,00	0,035	0,16
Yalıncağ Plajı	34,43	0,042	0,19
<b>Arsin</b>			
Arsin	25,51	0,031	0,14
<b>Araklı</b>			
Araklı Plajı	36,46	0,045	0,20
Araklı-S2	15,29	0,019	0,83
<b>Sürmene</b>			
Sürmene D. B. -S1	26,09	0,032	0,14
Sürmene D. B. -S2	19,21	0,023	0,11
Sürmene D. B. -S3	30,86	0,038	0,12
Sürmene Merkez	13,69	0,017	0,07
<b>Of</b>			
Of-S1	13,57	0,017	0,07
Of-S2	19,88	0,024	0,11
Of-S3	23,49	0,029	0,13
<b>Ortalama =</b>	<b>20,64</b>	<b>0,025</b>	<b>0,14</b>

### 3.1.2. Giresun Sahili Kum Örneklerinin Analiz Sonuçları

Giresun ili sahil şeridinden alınan sahil kumu örneklerinin yapılan gama spektrometrik analizleri sonucunda, örnekler de bulunan radyonüklidin aktivite konsantrasyonları belirlenmiş olup sonuçları Tablo 8'de verilmektedir. Bu aktivite konsantrasyonlarının örneklerin alındığı noktalar göre dağılımı Şekil 18, Şekil 19 ve Şekil 20'de gösterilmektedir. Tablo 8'de doğal radyoaktif  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  ve yapay  $^{137}\text{Cs}$  radyoaktif elementlerinin aktivite konsantrasyonları verilmiştir.

Giresun sahil şeridinden alınan kum örneklerinin  $^{238}\text{U}$  radyoaktivite değeri ortalama  $21,28 \pm 3,22$  Bq/kg değerinde olup en düşük  $6,05 \pm 2,63$  Bq/kg ve en yüksek  $39,45 \pm 3,71$  Bq/kg aralığında değişmektedir. En yüksek  $^{238}\text{U}$  radyoaktivite konsantrasyonu Piraziz ilçesinden alınan Piraziz-S1 kum örneğinde  $39,45 \pm 3,71$  Bq/kg değerindeyken en düşük radyoaktivite konsantrasyonu Eynesil ilçesinden alınan Eynesil-S1 kum örneğinde  $39,45 \pm 3,71$  Bq/kg olarak hesaplanmıştır.

Giresun ili sahil şeridinden alınan kum örneklerinin  $^{232}\text{Th}$  radyoaktivite değeri ortalama  $13,72 \pm 3,23$  Bq/kg değerinde olup en düşük  $1,61 \pm 2,12$  Bq/kg ve en yüksek  $26,87 \pm 4,99$  Bq/kg aralığında değişmektedir. En yüksek  $^{232}\text{Th}$  radyoaktivite konsantrasyonu Espiye ilçesinden alınan Espiye-S3 kum örneğinde  $26,87 \pm 4,99$  Bq/kg değerindeyken en düşük radyoaktivite konsantrasyonu Eynesil ilçesinden alınan Eynesil-S3 kum örneğinde  $1,61 \pm 2,12$  Bq/kg olarak hesaplanmıştır.

Giresun ili sahil şeridinden alınan kum örneklerinin  $^{40}\text{K}$  radyoaktivite değeri ortalama  $530,88 \pm 36,64$  Bq/kg değerinde olup en düşük  $22,58 \pm 19,28$  Bq/kg ve en yüksek  $1305,88 \pm 55,08$  Bq/kg aralığında değişmektedir. En yüksek  $^{40}\text{K}$  radyoaktivite konsantrasyonu Görele ilçesinden alınan Görele-S1 kum örneğinde  $1305,88 \pm 55,08$  Bq/kg değerindeyken en düşük radyoaktivite konsantrasyonu Eynesil ilçesinden alınan Eynesil-S3 kum örneğinde  $22,58 \pm 19,28$  Bq/kg olarak hesaplanmıştır.

Giresun ili sahil şeridinden alınan kum örneklerinin  $^{137}\text{Cs}$  radyoaktivite değeri ortalama  $6,42 \pm 1,06$  Bq/kg değerinde olup en düşük  $3,98 \pm 0,93$  Bq/kg ve en yüksek  $13,59 \pm 1,67$  Bq/kg aralığında değişmektedir. En yüksek  $^{137}\text{Cs}$  radyoaktivite konsantrasyonu Bulancak ilçesinden alınan Bulancak-S2 etiketli kum örneğinde  $13,59 \pm 1,67$  Bq/kg değerindeyken en düşük radyoaktivite konsantrasyonu Eynesil ilçesinden alınan Eynesil-S3 etiketli kum örneğinde  $3,98 \pm 0,93$  Bq/kg olarak hesaplanmıştır. Giresun çevresinde örnekleme yapılan 5 bölgede ise Cs aktivitesi gözlenmemiştir. Bu bölgelerden alınan kum

örnekleri sırasıyla; Piraziz ilçesi sahil bölgesinden alınan Piraziz-S3 kum örneği, Merkez ilçe sahilinden alınan Giresun-S3 kum örneği, Tirebolu ilçesi sahilinden alınan Tirebolu-S3 kum örneği ve Eynesil ilçesi sahilinden alınan Eynesil-S1 ve Eynesil-S4 sahil kumu örnekleridir.

Literatürde  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  doğal radyoaktivite konsantrasyonlarının dünya ortalaması sırasıyla 33 Bq/kg, 45 Bq/kg ve 420 Bq/kg değerlerinin de verilmiştir (UNSCEAR., 2000). Giresun sahil şeridinden alınan kum örneklerinin  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  radyoaktivite ortalama değerleri sırasıyla;  $21,28\pm 3,22$  Bq/kg,  $13,72\pm 3,23$  Bq/kg ve  $530,88\pm 36,64$  Bq/kg olarak hesaplanmıştır. Giresun ilinde genel ortalamalara baktığımızda  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  elementleri için radyoaktivite konsantrasyonu dünya ortalamasının altındadır.  $^{40}\text{K}$  elementi için radyoaktivite konsantrasyonu UNSCEAR yayınladığı dünya ortalamasının biraz üstündedir. Piraziz çevresinden alınan Piraziz-S1 kum örneğinde  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  sırasıyla  $39,45\pm 3,71$  Bq/kg,  $23,13\pm 3,65$  Bq/kg ve  $812,03\pm 41,88$  Bq/kg değerinde hesaplanmıştır, bu değerlerden  $^{238}\text{U}$  ve  $^{40}\text{K}$  elementlerinin radyoaktivite değerleri UNSCEAR yayınladığı dünya ortalaması değerlerinin üstünde çıkmıştır. Tablo 7 incelendiğinde genel olarak  $^{40}\text{K}$  elementi Bulancak çevresinde dünya ortalamasının üstünde değerler almıştır. Alınan sahil kumu örneklerindeki  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonları karşılaştırıldığında, bu 28 örneğin büyük çoğunluğunda  $^{238}\text{U}$  aktivitesinin  $^{232}\text{Th}$ 'den fazla çıktığı görülmüştür.

Giresun il sahili için hesaplanan Soğurulan gama doz hızı, yıllık etkin doz eşdeğerleri (AEDE) ve dış tehlike indeksi ( $H_{ex}$ ) değerleri Tablo 8'de verilmektedir.

Giresun ili sahil kumu örneklerinin Soğurulan gama doz hızı ortalaması 38,68 nGy/h değerindedir. Soğurulan gama doz hızı en yüksek Piraziz-S3 kum örneğinde 72,64 nGy/h değerinde hesaplanırken en düşük 8,84 nGy/h Eynesil-S3 kum örneğinde hesaplanmıştır.

Giresun ili sahil kumu örneklerinin Yıllık etkin doz eşdeğeri ortalaması (AEDE) 0,047 mSv/y değerindedir. Yıllık etkin doz eşdeğeri en yüksek Piraziz-S3 kum örneğinde 0,089 mSv/y değerinde iken en düşük Giresun Merkez kum örneğinde 0,002 mSv/y değerinde hesaplanmıştır.

Giresun ili sahil kumu örneklerinin Dış tehlike indeks ortalama değeri 0,21 olarak hesaplanmıştır. Dış tehlike indeksi en yüksek Bulancak-S2 kum örneğinde 0,38 olarak hesaplanırken en düşük Eynesil-S1 kum örneğinde 0,06 hesaplanmıştır.

UNSCEAR'ın yayınladığı ülkelerdeki soğurulan gama doz hızı değeri en düşük 24 nGy/h ile en yüksek 160 nGy/h aralığında olup ortalama değeri 60 nGy/h olarak verilmiştir. Giresun çalışma bölgemizdeki ortalama soğurulan gama doz hızı değerlerinin verilen dünya ortalama soğurulan gama doz hızı değerinden küçük olduğu tespit edilmiştir. Radyasyon zararını göz ardı edebilmemiz için  $H_{ex}$  değerinin 1'den küçük olması gerekmektedir. Çalışma bölgemizde hesaplanan tüm  $H_{ex}$  değerleri 1'in altında hesaplanmıştır. Bu veriler ışığında Giresun ili sahil kumlarında belirlenen radyonüklitlerin, insan sağlığını tehdit edebilecek düzeyde aktivite konsantrasyonuna sahip olmadığı sonucuna varılmıştır.

Tablo 8. Giresun İlinde alınan kum örneklerinin radyoaktivite konsantrasyonu ve koordinatları

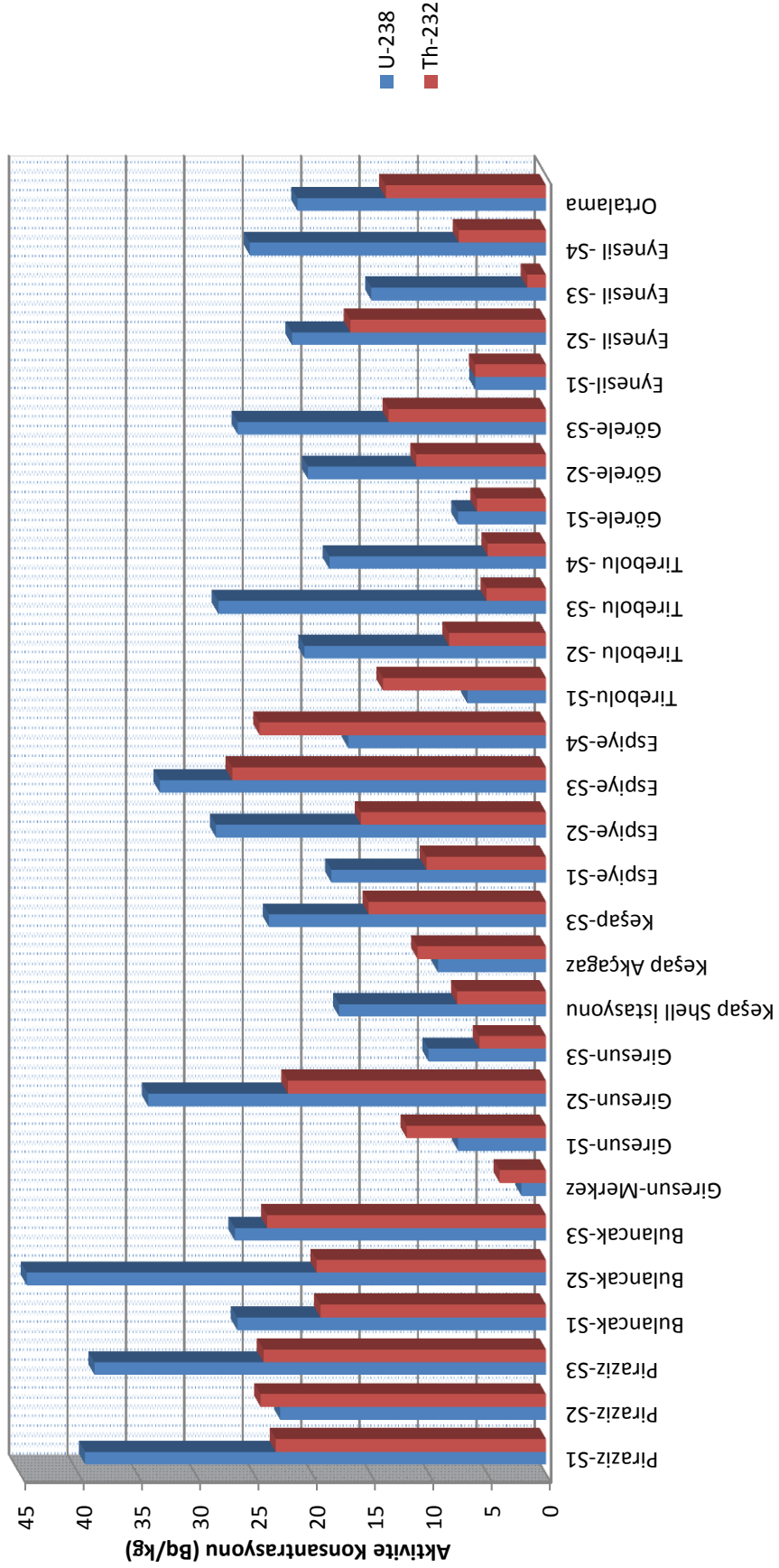
<b>GİRESUN</b>	<b>Kuzey Boylamı</b>	<b>Doğu Enlemi</b>	<sup>238</sup> U (Bq/kg)	<sup>232</sup> Th (Bq/kg)	<sup>40</sup> K (Bq/kg)	<sup>137</sup> Cs (Bq/kg)
<b>Piraziz</b>						
Piraziz-S1	40°.95288	38°.13270	39,45±3,71	23,13±3,65	812,03±41,88	7,3±1,37
Piraziz-S2	40°.96310	38°.07868	22,76±3,37	24,43±3,88	1017,62±27,74	9,45±1,41
Piraziz-S3	40°.96310	38°.07868	38,65±3,90	24,19±4,25	953,48±46,95	-
<b>Bulancak</b>						
Bulancak-S1	40°.93841	38°.21830	26,43±3,28	19,31±3,60	714,32±40,55	5,75±1,19
Bulancak-S2	40°.93975	38°.18570	44,44±3,97	19,64±4,77	882,50±47,41	13,59±1,67
Bulancak-S3	40°.94522	38°.17155	26,64±3,66	23,87±4,12	599,12±40,74	7,33±1,48
<b>Giresun Merkez</b>						
Giresun-Merkez	40°.90816	38°.35976	2,101±1,12	3,95±2,33	122,88±27,74	7,38±1,26
Giresun-S1	40°.91438	38°.43898	7,51±3,18	11,92±3,48	389,23±35,29	4,03±1,15
Giresun-S2	40°.91462	38°.33919	34,06±3,53	22,11±3,52	813,8±41,78	2,43±0,69
Giresun-S3	40°.91812	38°.32741	10,05±3,46	5,71±3,61	720,98±38,54	-
<b>Keşap</b>						
Keşap Shellstasyonu	40°.92504	38°.55077	17,71±3,27	7,60±3,12	355,57±34,07	8,73±1,32
Keşap Akçagaz	40°.91760	38°.46861	9,27±2,78	10,99±3,00	353,49±31,42	7,85±1,14
Keşap-S3	40°.91760	38°.43953	23,71±3,21	15,18±3,46	412,73±34,34	5,71±1,25
<b>Espiye</b>						
Espiye -S1	40°.95118	38°.71689	18,38±3,20	10,24±3,04	283,40±31,64	5,43±1,24
Espiye -S2	40°.94676	38°.68715	28,24±3,78	15,83±4,16	546,64±38,85	7,73±1,4
Espiye -S3	40°.96356	38°.65367	33,05±4,56	26,87±4,99	727,32±49,22	10,07±1,78
Espiye -S4	40°.94627	38°.99087	16,93±4,27	24,51±4,83	492,05±46,99	4,8±2,23

Tablo 8'in Devamı

<b>GİRESUN</b>	<b>Kuzey Boylamı</b>	<b>Doğu Enlemi</b>	<sup>238</sup> U (Bq/kg)	<sup>232</sup> Th (Bq/kg)	<sup>40</sup> K (Bq/kg)	<sup>137</sup> Cs (Bq/kg)
<b>Tirebolu</b>						
Tirebolu-S1	41° .01158	38° .85721	6,73±2,99	13,96±3,56	576,76±39,34	6,23±1,29
Tirebolu -S2	40° .99429	38° .49095	20,67±2,87	8,31±2,88	291,67±30,33	4,41±1,01
Tirebolu -S3	40° .98023	38° .76594	28,06±3,35	5,08±2,93	211,35±31,41	-
Tirebolu -S4	40° .97512	38° .75380	18,55±2,92	4,98±2,88	268,56±29,58	4,94±1,11
<b>Görece</b>						
Görece-S1	41° .03716	38° .98621	7,55±2,45	5,92±2,62	1305,88±55,08	4,28±1,14
Görece-S2	41° .03607	38° .96327	20,36±2,86	11,08±2,91	353,65±31,41	5,38±1,06
Görece-S3	40° .03521	38° .91390	26,38±3,17	13,47±3,28	455,78±35,17	5,49±1,22
<b>Eynesil</b>						
Eynesil -S1	41° .06816	39° .14703	6,05±2,63	6,06±2,67	105,05±26,48	-
Eynesil -S2	41° .04878	39° .10739	21,75±3,31	16,76±3,44	736,97±39,44	5,46±1,28
Eynesil -S3	41° .04858	39° .10625	14,95±2,25	1,61±2,12	22,58±19,28	3,98±0,93
Eynesil -S4	41° .04360	39° .07650	25,34±3,15	7,45±3,28	339,39±33,14	-
<b>Ortalama =</b>			21,28±3,22	13,72±3,23	530,88±36,64	6,24±1,06



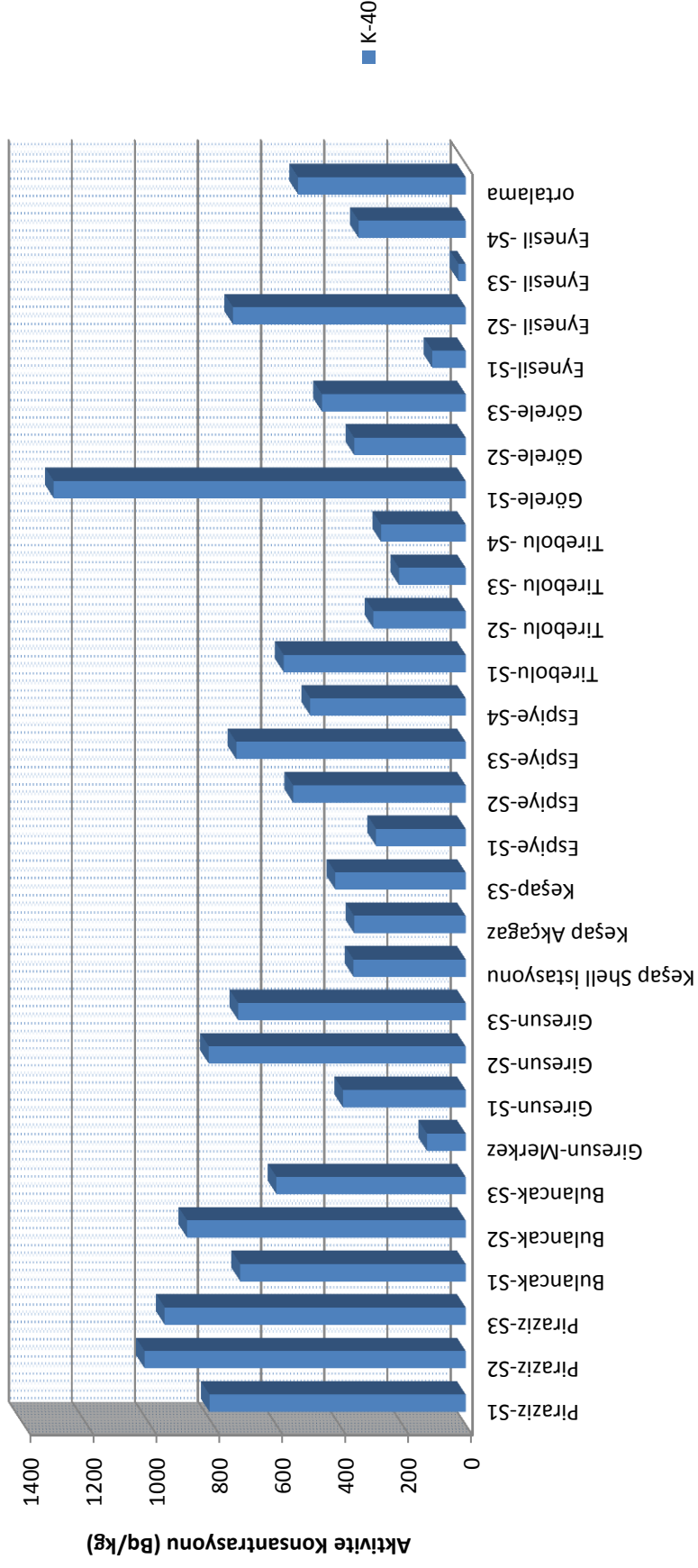
## Giresun İli Uranyum & Toryum Radyoaktivitesi



Örnekler

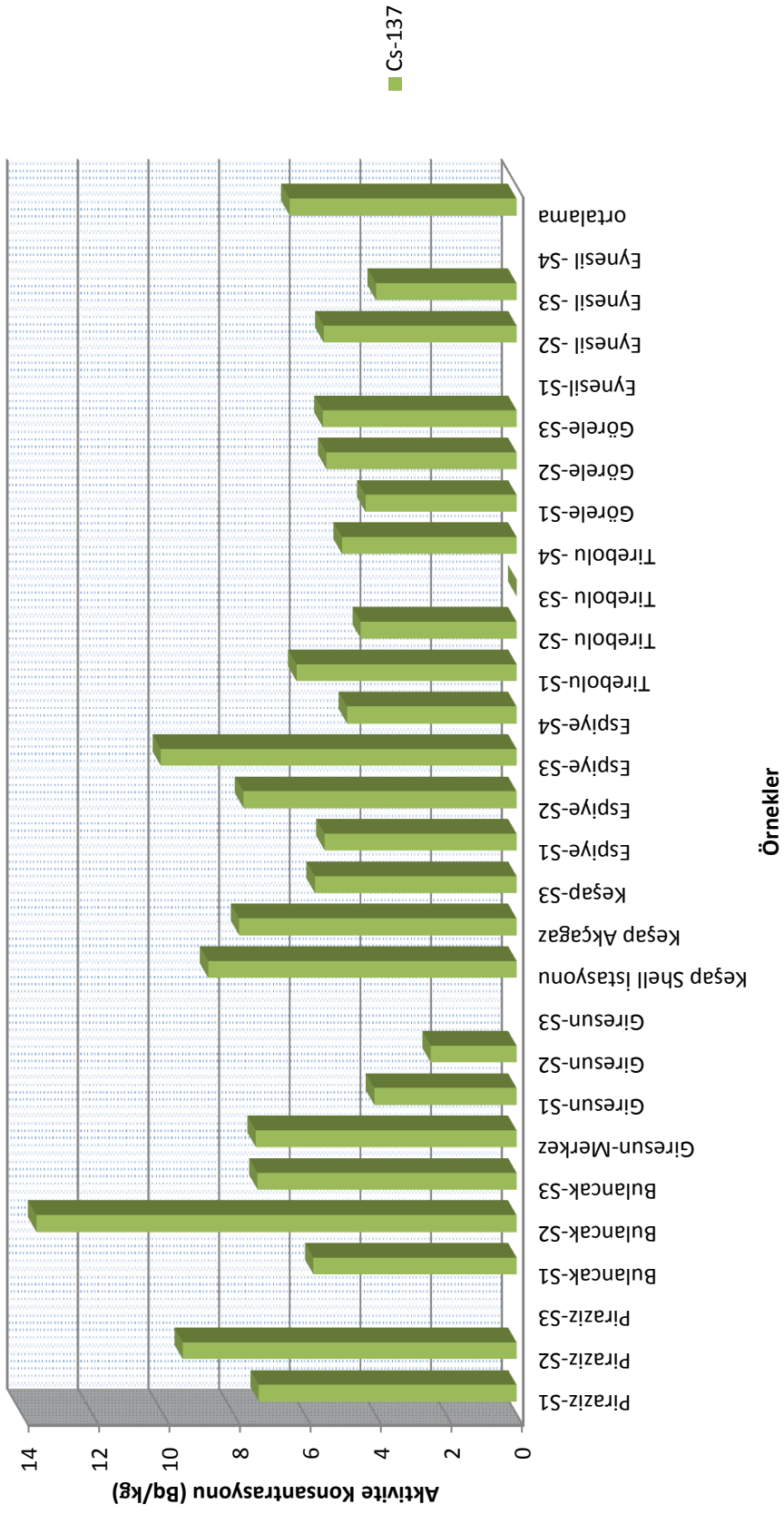
Şekil 18. Giresun sahil kumu Uranyum ve Toryum radyoaktivitesinin noktalara göre dağılımı

## Giresun İli Potasyum Radyoaktivitesi



Şekil 19. Giresun sahil kumu Potasyum radyoaktivitesinin noktalara göre dağılımı

## Giresun İli Sezyum Radyoaktivitesi



Şekil 20. Giresun sahil kumu Sezyum radyoaktivitesinin noktalara göre dağılımı

Tablo 9. Giresun ili sahil kumu örneklerinin Soğurulan gama doz hızı, Yıllık etkin doz eşdeğeri ve Dış tehlike indeks değerleri

<b>GİRESUN</b>	<b>D(nGy/h)</b>	<b>AEDE(mSv/y)</b>	<b><math>H_{ex}</math></b>
<b>Piraziz</b>			
Piraziz-S1	66,45	0,081	0,37
Piraziz-S2	68,12	0,083	0,37
Piraziz-S3	72,64	0,089	0,40
<b>Bulancak</b>			
Bulancak-S1	48,91	0,060	0,29
Bulancak-S2	69,53	0,085	0,38
Bulancak-S3	52,11	0,063	0,29
<b>Giresun</b>			
Giresun-Merkez	8,55	0,010	0,05
Giresun-S1	27,10	0,033	0,15
Giresun-S2	63,40	0,078	0,35
Giresun-S3	36,25	0,044	0,20
<b>Keşap</b>			
Keşap Shell İstasyonu	27,73	0,034	0,15
Keşap Akçagaz	25,85	0,032	0,14
Keşap-S3	37,59	0,046	0,21
<b>Espiye</b>			
Espiye-S1	26,66	0,033	0,15
Espiye-S2	45,67	0,056	0,25
Espiye-S3	62,28	0,076	0,35
Espiye-S4	43,58	0,053	0,24
<b>Tirebolu</b>			
Tirebolu -S1	35,83	0,044	0,19
Tirebolu -S2	26,87	0,033	0,15
Tirebolu -S3	24,93	0,031	0,14
Tirebolu -S4	22,86	0,028	0,12
<b>Görece</b>			
Görece-S1	17,99	0,022	0,10
Görece-S2	31,04	0,038	0,17
Görece-S3	39,56	0,048	0,13
<b>Eynesil</b>			
Eynesil -S1	10,94	0,013	0,06
Eynesil -S2	51,19	0,063	0,28
Eynesil -S3	8,84	0,011	0,05
Eynesil -S4	30,49	0,037	0,17
<b>Ortalama=</b>	<b>38,68</b>	<b>0,047</b>	<b>0,21</b>

### 3.1.2.1. Ordu Sahili Kum Örneklerinin Analiz Sonuçları

Ordu ili sahil şeridinden alınan kum örneklerinin yapılan gama spektrometrik analizleri sonucunda, örneklerde bulunan radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonları belirlenmiş olup sonuçları Tablo 9’da verilmektedir. Bu aktivite konsantrasyonlarının örneklerin alındığı noktalar göre dağılımı Şekil 21, Şekil 22 ve Şekil 23’de gösterilmektedir. Tablo 9’da doğal radyoaktif  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  ve yapay radyoaktif  $^{137}\text{Cs}$  elementlerinin aktivite konsantrasyonları verilmiştir.

Tablo 9 incelendiğinde, radyonüklit konsantrasyonlarının düzgün bir dağılım göstermediği birbirine yakın bölgelerde farklılıklar gösterdiği gözlenmiştir.

Ordu sahil şeridinden alınan kum örneklerinin  $^{238}\text{U}$  radyoaktivite değeri ortalama  $25,40 \pm 2,95$  Bq/kg değerinde olup en düşük  $4,74 \pm 2,20$  Bq/kg ve en yüksek  $64,79 \pm 2,70$  Bq/kg aralığında değişmektedir. En yüksek  $^{238}\text{U}$  radyoaktivite konsantrasyonu Ünye ilçesinden alınan Çınaraltı-S1 kum örneğinde  $64,79 \pm 2,70$  Bq/kg değerindeyken en düşük radyoaktivite konsantrasyonu Uzunkum Plajı-S5 kum örneğinde  $4,74 \pm 2,20$  Bq/kg olarak hesaplanmıştır. Ünye ilçesinde yapılan örneklemelerde Ünye Plajı-2 kum örneğinde ve Perşembe ilçesi sahilinden alınan Perşembe Siyah kum örneğinde de uranyum radyoaktivitesi gözlenmemiştir.

Ordu ili sahil şeridinden alınan kum örneklerinin  $^{232}\text{Th}$  radyoaktivite değeri ortalama  $10,83 \pm 2,92$  Bq/kg değerinde olup en düşük  $1,30 \pm 2,05$  Bq/kg ve en yüksek  $27,73 \pm 3,63$  Bq/kg aralığında değişmektedir. En yüksek  $^{232}\text{Th}$  radyoaktivite konsantrasyonu Gülyalı-S1 kum örneğinde  $27,73 \pm 3,63$  Bq/kg değerindeyken en düşük radyoaktivite konsantrasyonu Perşembe Siyah kum örneğinde  $1,30 \pm 2,05$  Bq/kg olarak hesaplanmıştır.

Ordu ili sahil şeridinden alınan kum örneklerinin  $^{40}\text{K}$  radyoaktivite değeri ortalama  $673,31 \pm 45,31$  Bq/Kg değerinde olup en düşük  $6,41 \pm 18,21$  Bq/kg ve en yüksek  $1936,33 \pm 59,82$  Bq/kg aralığında değişmektedir. En yüksek  $^{40}\text{K}$  radyoaktivite konsantrasyonu Ünye ilçesinden alınan Çaka Plakı-S2 kum örneğinde  $1936,33 \pm 59,82$  Bq/kg değerindeyken en düşük radyoaktivite konsantrasyonu İnciraltı Plajı-S2 etiketli kum örneğinde  $6,41 \pm 18,21$  Bq/kg olarak hesaplanmıştır.

Ordu ili sahil şeridinden alınan kum örneklerinin  $^{137}\text{Cs}$  radyoaktivite değeri ortalama  $9,71 \pm 1,16$  Bq/kg değerinde olup en düşük  $2,82 \pm 0,62$  Bq/kg ve en yüksek  $22,04 \pm 1,69$  Bq/kg aralığında değişmektedir. En yüksek  $^{137}\text{Cs}$  radyoaktivite konsantrasyonu Perşembe ilçesi sahilinden alınan Bolaman Çıkışı kum örneğinde  $22,04 \pm 1,69$  Bq/kg değerindeyken

en düşük radyoaktivite konsantrasyonu Ünye ilçesi sahilinden alınan İnciraltı Plajı-S3 kum örneğinde  $2,82 \pm 0,6$  Bq/kg olarak hesaplanmıştır. Ordu çevresinde örnekleme yapılan 7 noktada ise sezyum aktivitesi gözlenmemiştir bu noktalar sırası ile Ünye ilçesi sahilinden alınan Gölevi-S2, Gölevi-S4, İnciraltı Plajı-S1, Uzunkum Plajı-S1 kum örnekleri ve Perşembe ilçesi sahilinden alınana Perşembe-S2, Perşembe Siyah Kum örnekleridir.

Literatürde  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  doğal radyoaktivite konsantrasyonlarının dünya ortalaması sırasıyla 33 Bq/kg, 45 Bq/kg ve 420 Bq/kg değerlerinde verilmiştir.(UNSCEAR., 2000). Ordu ili sahilinden alınan örneklerde  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  doğal radyoaktivite konsantrasyonları sırasıyla;  $25,40 \pm 2,95$  Bq/kg,  $10,83 \pm 2,92$  Bq/kg ve  $673,31 \pm 45,31$  Bq/kg ortalama değerinde hesaplanmıştır. Ordu ilinde genel ortalamalara baktığımızda  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  elementleri için radyoaktivite konsantrasyonu dünya ortalamasının altındadır.  $^{40}\text{K}$  elementi için hesaplanan radyoaktivite konsantrasyonu dünya ortalamasının biraz üstündedir. Ordu'un Ünye ilçesinden alınan sahil kumu örneklerinde  $^{238}\text{U}$  radyoaktivite konsantrasyonları dünya ortalamasının üzerinde hesaplanmıştır. Bu bölgeden alınan örnekler ve radyoaktivite konsantrasyonları sırasıyla Çınaraltı-S1 kum örneğinde  $64,79 \pm 2,70$  Bq/kg değerinde, Çınaraltı-S2 kum örneğinde  $58,83 \pm 2,56$  Bq/kg değerinde, Çınaraltı-S3 kum örneğinde  $60,73 \pm 2,85$  Bq/kg, Mavi Deniz-S2 kum örneğinde  $39,45 \pm 3,30$  Bq/kg değerinde ve Mavi Deniz-S4 kum örneğinde  $37,76 \pm 3,5$  Bq/kg değerindedir ve  $^{238}\text{U}$  dünya ortalaması ile karşılaştırıldığında ortalamanın üstünde hesaplanmıştır. Ordu ilinin Perşembe ilçesi sahilinde  $^{238}\text{U}$  radyoaktivite değerlerinin yüksek çıktığı örnekler ve radyoaktivite konsantrasyonları sırasıyla Çaka Plajı-S2 kum örneğinde  $49,12 \pm 3,92$  Bq/kg değerinde, Çaka Plajı-S3 kum örneğinde  $39,99 \pm 3,79$  Bq/kg değerinde ve Çaka Plajı-S4 kum örneğinde  $35,98 \pm 3,45$  Bq/kg değerinde hesaplanmıştır. Gülyalı ilçesi sahilinden alınan Gülyalı-S1 kum örneğinde  $^{238}\text{U}$  radyoaktivite konsantrasyonu  $39,83 \pm 3,57$  Bq/kg değerinde ve  $^{238}\text{U}$  dünya ortalama değerinin üstünde hesaplanmıştır. Ordu ili sahil bölgesinde  $^{40}\text{K}$  radyoaktivite konsantrasyonu genel olarak dünya ortalamasının üstünde değerler almaktadır bunun yanında Gölevi-S2 ve İnciraltı Plajı-S1 noktalarından alınan örneklerde  $^{40}\text{K}$  radyoaktivite konsantrasyonu gözlenmemiştir. Alınan sahil kumu örneklerindeki  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonları karşılaştırıldığında, bu 46 örneğin büyük çoğunluğunda  $^{238}\text{U}$  aktivitesinin  $^{232}\text{Th}$ 'den 2,5 kat fazla çıktığı görülmüştür.

Ordu il sahili için hesaplanan Soğurulan gama doz hızı, yıllık etkin doz eşdeğerleri ve dış tehlike indeksi ( $H_{ex}$ ) değerleri Tablo 10'da verilmektedir .

Ordu ili sahil kumu örneklerinin Soğurulan gama doz hızı ortalaması 43,53 nGy/h değerindedir. Soğurulan gama doz hızı en yüksek Çaka Plajı-S2 kum örneğinde 112,37 nGy/h değerinde hesaplanırken en düşük 2,49 nGy/h Perşembe Siyah Kum örneğinde hesaplanmıştır.

Ordu ili sahil kumu örneklerinin Yıllık etkin doz eşdeğeri ortalaması (AEDE) 0,087 mSv/y değerindedir. Yıllık etkin doz eşdeğeri en yüksek Çaka Plajı-S1 kum örneğinde 1,233 mSv/y değerinde iken en düşük Gölevi-S1 kum örneğinde 0,006 mSv/y değerinde hesaplanmıştır.

Ordu ili sahil kumu örneklerinin Dış tehlike indeks ortalama değeri 0,23 olarak hesaplanmıştır. Dış tehlike indeksi en yüksek Çaka Plajı-S1 kum örneğinde 0,59 olarak hesaplanırken en düşük Perşembe İyah Kum örneğinde 0,013 hesaplanmıştır.

UNSCEAR'ın yayınladığı ülkelerdeki soğurulan gama doz hızı değeri en düşük 24 nGy/h ile en yüksek 160 nGy/h aralığında olup ortalama değeri 60 nGy/h olarak verilmiştir. Ordu çalışma bölgemizdeki ortalama soğurulan gama doz hızı değerlerinin verilen dünya ortalama soğurulan gama doz hızı değerinden küçük olduğu tespit edilmiştir. Radyasyon zararını göz ardı edebilmemiz için  $H_{ex}$  değerinin 1'den küçük olması gerekmektedir. Çalışma bölgemizde hesaplanan tüm  $H_{ex}$  değerleri 1'in altında hesaplanmıştır. Bu veriler ışığında Ordu ili sahil kumlarında belirlenen radyonüklitlerin, insan sağlığını tehdit edebilecek düzeyde aktivite konsantrasyonuna sahip olmadığı sonucuna varılmıştır.

Tablo 10. Ordu ili sahil kumlarındaki radyonüklit konsantrasyonları ve koordinatları

ORDU	Kuzey Boylamı	Doğu Enlemi	<sup>238</sup> U (Bq/kg)	<sup>232</sup> Th (Bq/kg)	<sup>40</sup> K (Bq/kg)	<sup>137</sup> Cs (Bq/kg)
<b>Ünye</b>						
Çınarsuyu Plajı	41°.07638	37°.43575	13,20±2,87	5,19±2,97	379,17±32,70	8,99±1,21
Çınaraltı-S1	41°.16871	37°.21567	64,79±2,70	10,27±1,91	110,13±17,94	4,08±0,87
Çınaraltı-S2	41°.16743	37°.21653	58,83±2,56	7,41±2,07	97,96±17,47	3,67±0,86
Çınaraltı-S3	41°.16723	37°.21785	60,73±2,85	11,58±2,12	305,6±23,58	5,72±1,02
Gölevi-S2	41°.15989	37°.22813	29,59±2,13	4,41±1,78	-	-
Gölevi-S3	41°.15681	37°.22832	23,09±2,42	6,85±2,27	572,3±21,13	2,92±0,74
Gölevi-S4	41°.15678	37°.22841	27,43±3,17	9,71±2,99	309,69±32,11	-
İnciraltı Plajı-S1	41°.14372	37°.24653	24,26±2,17	2,03±1,35	-	-
İnciraltı Plajı-S2	41°.14351	37°.24663	7,15±2,02	1,81±0,44	6,41±18,21	2,97±0,81
İnciraltı Plajı-S3	41°.14340	37°.24679	11,63±1,90	1,00±0,34	24,65±15,88	2,82±0,62
Kavaktepe Plajı	41°.11540	37°.21816	10,15±3,16	3,85±2,73	443,32±35,21	7,28±1,3
Mavi Deniz-S1	41°.07638	37°.43575	12,13±2,79	11,23±3,06	517,67±35,72	8,41±1,45
Mavi Deniz-S2	41°.07630	37°.43580	39,45±3,30	16,75±3,35	775,86±47,27	6,97±1,27
Mavi Deniz-S4	41°.07622	37°.43591	37,76±3,50	9,8±3,37	502,68±36,92	7,57±1,34
Ünye Merkez Plajı	41°.14399	37°.28718	12,95±2,88	5,57±2,81	351,12±32,66	6,41±1,23
Ünye Plajı-2	41°.11906	37°.30397	-	2,69±2,72	205,48±27,48	6,02±1,11
Uzunkum Plajı-S1	41°.14399	37°.27666	20,57±3,23	6,31±2,73	433,15±34,35	6,72±1,38
Uzunkum Plajı-S4	41°.14467	37°.27764	14,15±3,06	8,91±3,17	405±34,31	-
Uzunkum Plajı-S5	41°.14587	37°.27796	4,74±2,20	3,87±2,26	49,98±1,58	3,21±0,94
<b>Fatsa</b>						
Merkez Plajı	41°.02617	37°.51816	30,55±3,43	17,87±3,30	727,56±39,06	8,43±1,31
Merkez-S2	41°.02777	37°.50945	29,66±3,29	12,56±3,61	446,71±34,98	6,53±1,4
Merkez-S3	41°.05013	37°.48067	19,42±3,00	10,82±3,00	406,00±33,92	5,71±1,25



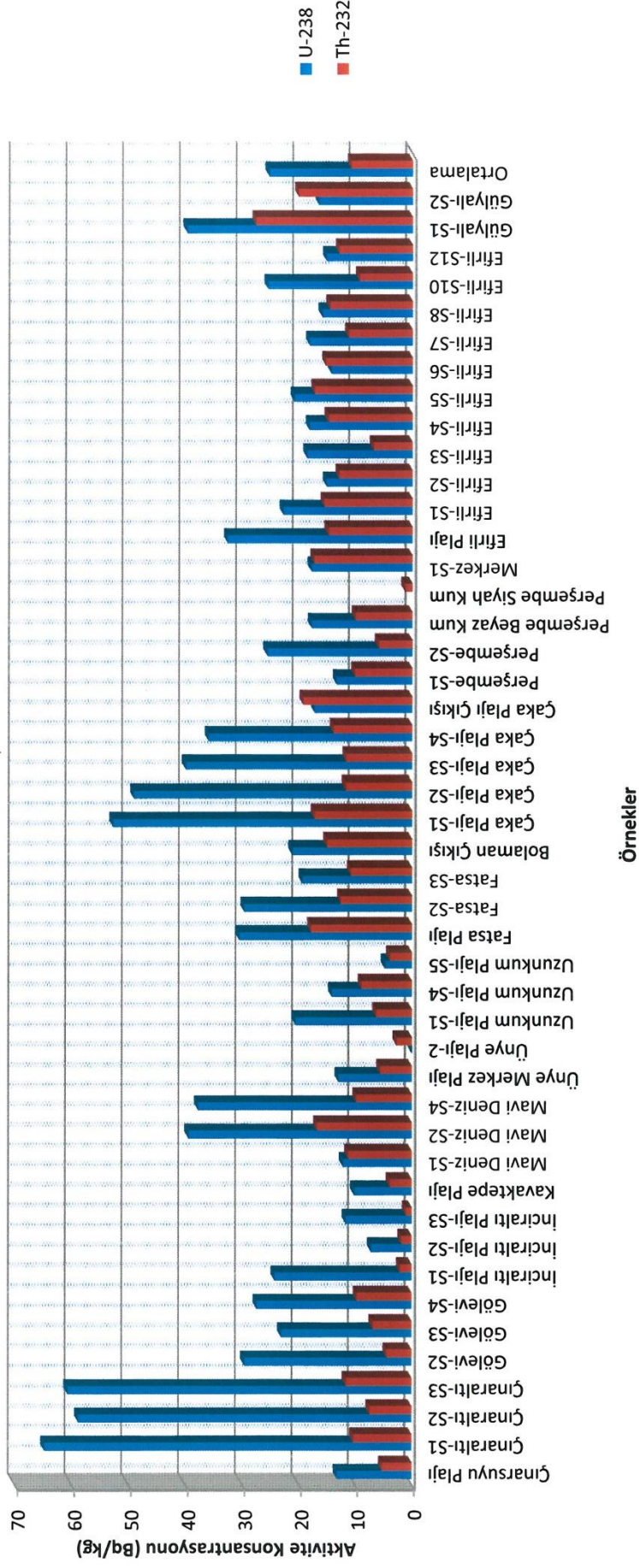
Tablo 10'un Devamı

ORDU	Kuzey Boylamı	Doğu Enlemi	<sup>238</sup> U (Bq/kg)	<sup>232</sup> Th (Bq/kg)	<sup>40</sup> K (Bq/kg)	<sup>137</sup> Cs (Bq/kg)
<b>Perşembe</b>						
Bolaman Çıkışı	41°.03503	37°.58934	21,18±3,55	15,03±3,60	776,27±42,58	22,04±1,69
Çaka Plajı-S1	41°.11294	37°.71565	52,76±4,04	17,27±3,54	1853,00±58,85	7,38±1,66
Çaka Plajı-S2	41°.11294	37°.71568	49,12±3,92	11,73±3,44	1936,33±59,82	7,68±1,69
Çaka Plajı-S3	41°.11293	37°.71670	39,99±3,79	11,67±3,53	1794,10±57,82	4,48±1,48
Çaka Plajı-S4	41°.11293	37°.71671	35,98±3,45	13,93±3,33	1760,91±53,77	7,30±1,36
Çaka Plajı Çıkışı	41°.10889	37°.65446	17,29±3,58	19,30±4,31	1319,11±54,55	17,03±1,84
Perşembe-S1	41°.05632	37°.78063	13,35±2,82	10,13±3,07	504,78±33,75	14,4±1,38
Perşembe-S2	41°.08527	37°.77984	25,64±4,13	5,92±2,62	259,63±27,13	-
PerşembeBeyazKum	41°.09527	37°.77984	17,83±3,29	10,04±3,36	1899,58±56,56	7,59±1,14
PerşembeSiyahKum	41°.09527	37°.77984	-	1,30±2,05	40,45±21,02	-
<b>Ordu Merkez</b>						
Merkez-S1	40°.99036	37°.87559	17,87±3,32	17,38±4,0	594,14±37,2	10,95±1,51
Efirlı Plajı	41°.02047	37°.82627	32,68±3,55	14,88±4,16	683,67±223,49	7,68±1,52
Efirlı-S1	41°.02050	37°.82622	22,85±3,47	15,57±3,50	772,34±43,59	18,99±1,74
Efirlı-S2	41°.02058	37°.82619	15,20±2,81	12,95±3,02	689,30±37,30	8,91±1,21
Efirlı-S3	41°.02063	37°.82615	18,65±2,80	6,88±2,74	462,27±32,60	10,09±1,30
Efirlı-S4	41°.02111	37°.82602	18,25±3,20	14,87±3,13	825,76±40,11	17,15±1,53
Efirlı-S5	41°.02153	37°.82595	20,90±3,37	17,31±3,64	762,88±41,23	17,00±1,63
Efirlı-S6	41°.02190	37°.82545	14,37±2,99	15,36±3,19	762,85±39,41	15,74±1,51
Efirlı-S7	41°.02200	37°.82434	18,21±3,20	11,30±2,88	634,86±36,04	13,84±1,41

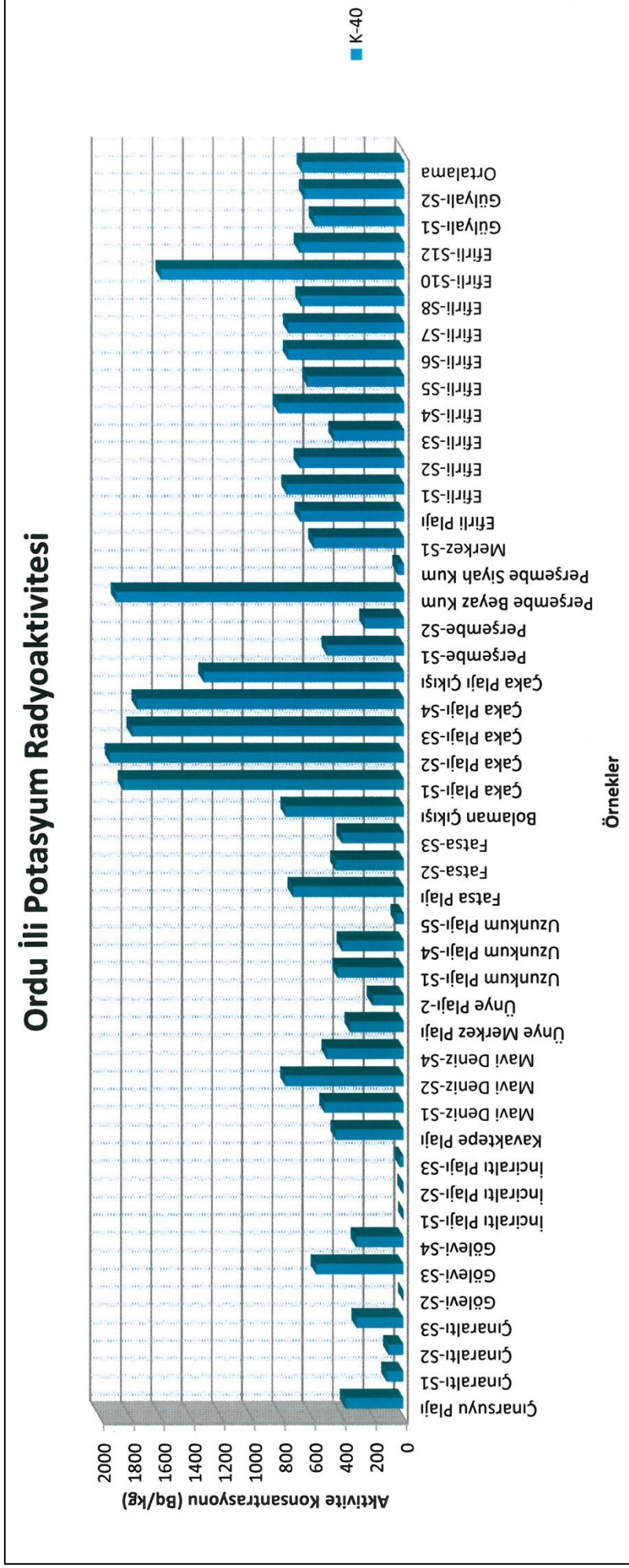
Tablo 10'un Devamı

ORDU	Kuzey Boylamı	Doğu Enlemi	<sup>238</sup> U (Bq/kg)	<sup>232</sup> Th (Bq/kg)	<sup>40</sup> K (Bq/kg)	<sup>137</sup> Cs (Bq/kg)
Efirli-S8	41°.02203	37°.82216	15,94±3,01	14,60±3,16	679,7±38,86	13,87±1,46
Efirli-S10	41°.02208	37°.82103	25,57±2,97	9,36±3,08	1606,06±398,50	13,41±1,38
Efirli-S12	41°.02210	37°.82091	15,20±2,81	12,95±3,02	689,30±37,30	16,30±1,46
<b>Gülyalı</b>						
Gülyalı-S1	40°.96860	38°.04656	39,83±3,57	27,73±3,63	591,57±37,72	10,87±1,44
Gülyalı-S2	40°.97220	38°.03454	16,60±3,2	20,21±3,82	656,34±38,45	13,08±1,78
<b>Ortalama=</b>			25,40±2,95	10,83±2,92	673,31±45,31	9,71±1,16

## Ordu İli Uranyum & Toryum Radyoaktivitesi

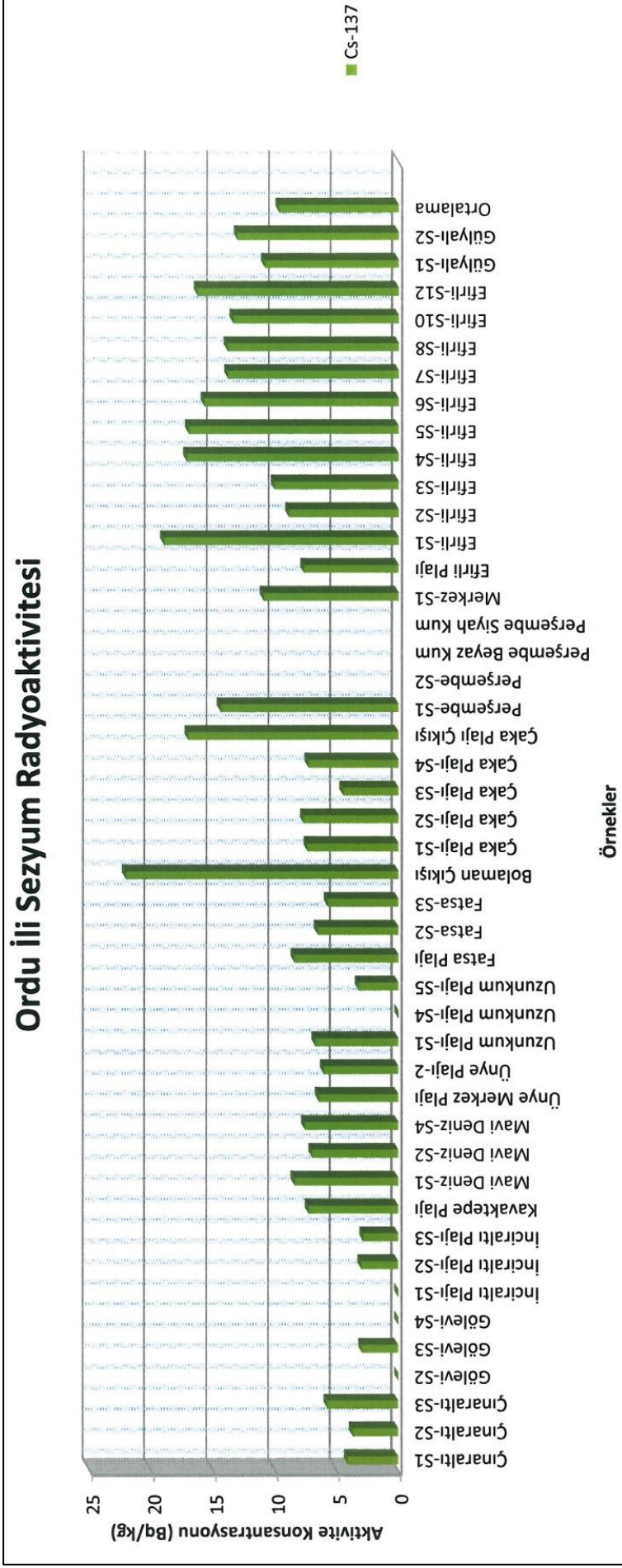


Şekil 21. Ordu sahil kumu Uranyum ve Toryum radyoaktivitesinin noktalara göre dağılımı



Şekil 22. Ordu sahil kumu Potasyum radyoaktivitesinin noktalara göre dağılımı





Şekil 23. Ordu sahil kumu Sezyum radyoaktivitesinin noktalara göre dağılımı

Tablo 11. Ordu ili sahil kumu örneklerinin Soğurulan gama doz hızı, Yıllık etkin doz eşdeğeri ve Dış tehlike indeks değerleri

ORDU	D(nGy/h)	AEDE(mSv/y)	$H_{ex}$
<b>Ünye</b>			
Çınarsuyu Plajı	25,00	0,031	0,13
Çınaraltı-S1	40,90	0,050	0,24
Çınaraltı-S2	35,87	0,044	0,21
Çınaraltı-S3	47,99	0,059	0,27
Gölevi-S1	5,08	0,001	0,03
Gölevi-S2	16,41	0,020	0,10
Gölevi-S4	31,62	0,039	0,18
İnciraltı Plajı-S1	12,46	0,015	0,07
İnciraltı Plajı-S2	4,69	0,001	0,03
İnciraltı Plajı-S3	7,02	0,001	0,04
Kavaktepe Plajı	25,57	0,031	0,13
Mavi Deniz-S1	34,16	0,042	0,18
Mavi Deniz-S2	60,99	0,075	0,33
Mavi Deniz-S4	44,49	0,054	0,24
Ünye Merkez Plajı	24,08	0,029	0,13
Ünye Plajı-2	10,41	0,013	0,05
Uzunkum Plajı-S1	31,48	0,039	0,17
Uzunkum Plajı-S4	28,96	0,035	0,16
Uzunkum Plajı-S5	6,68	0,001	0,04
<b>Fatsa</b>			
Merkez Plajı	55,55	0,068	0,16
Merkez-S2	40,15	0,049	0,22
Merkez-S3	32,62	0,040	0,18
<b>Perşembe</b>			
Bolaman Çıkışı	51,49	0,063	0,28
Çaka Plajı-S1	112,37	0,138	0,59
Çaka Plajı-S2	66,09	0,081	0,36
Çaka Plajı-S3	100,54	1,233	0,56
Çaka Plajı-S4	98,70	0,121	0,52
Çaka Plajı Çıkışı	74,98	0,092	0,40
Perşembe-S1	21,16	0,028	0,18
Perşembe-S2	26,22	0,032	0,14
Perşembe Beyaz Kum	93,68	0,110	0,48
Perşembe Siyah Kum	2,49	0,003	0,01

Tablo 11'in Devamı

<b>ORDU</b>	<b>D(nGy/h)</b>	<b>AEDE(mSv/y)</b>	<b><math>H_{ex}</math></b>
<b>Ordu merkez</b>			
Merkez-S1	43,82	0,054	0,18
Ordu Plajı	33,60	0,041	0,18
Efirli Plajı	75,63	0,093	0,40
Efirli-S1	52,29	0,064	0,28
Efirli-S2	19,61	0,024	0,11
Efirli-S3	32,17	0,040	0,17
Efirli-S4	52,06	0,064	0,28
Efirli-S5	52,22	0,064	0,28
Efirli-S6	47,98	0,059	0,26
Efirli-S7	41,90	0,051	0,23
Efirli-S8	44,77	0,549	0,24
Efirli-S10	84,59	0,104	0,44
Efirli-S12	43,85	0,054	0,23
<b>Gülyalı</b>			
Gülyalı-S1	60,29	0,074	0,34
Gülyalı-S2	47,59	0,058	0,26
<b>Ortalama =</b>	<b>43,53</b>	<b>0,087</b>	<b>0,23</b>

## 4. SONUÇLAR

Trabzon, Giresun ve Ordu illerinin yaklaşık 250 km uzunluğundaki sahil şeridinden toplanmış olan toplam 101 sahil kum örneğinin radyometrik analizleri sonucunda belirlenen  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  doğal radyonüklitleri ve  $^{137}\text{Cs}$  yapay radyonüklitin aktivite konsantrasyonlarının ilçelere göre belirlenen ortalama değerleri, bu konsantrasyonlardan yararlanılarak hesaplanan ve yine ilçelere göre ortalamaları belirlenen gama dozu ve yıllık etkin doz eşdeğerleri Tablo 12 ve Tablo 13’de verilmektedir. Tablo 12 ve Tablo 13’i beraber değerlendirilecek olunursa, Trabzon ili için kıyı şeridindeki 10 ilçede yürütülmüş olan çalışmada, en yüksek  $^{238}\text{U}$  ortalamasının Yomra ilçesinden alınan sahil kumunda bulunduğu ve bu değer dünya ortalaması olarak belirlenen değerden düşük olduğu, en yüksek  $^{232}\text{Th}$  ortalamasının Vakfikebir ilçesinden alınan sahil kumunda bulunduğu ve ayrıca bu değer de dünya ortalamasından düşük olduğu görülmüştür.  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonları açısından Tablo 12 incelendiğinde en yüksek aktivite konsantrasyonunun da Vakfikebir ilçesinde belirlendiği görülmektedir.  $^{137}\text{Cs}$  radyonüklitin ise en düşük değerine Yomra ilçesinde, en yüksek değerlerine Vakfikebir ve Araklı ilçelerinde görülmüştür. İlçelere göre ayrı ayrı belirlenen bu aktivite konsantrasyonlarının ortalamaları alındığında Trabzon ili için  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  aktivite konsantrasyonlarının ortalama değerleri sırasıyla  $15,96 \pm 1,81$  Bq/kg,  $7,99 \pm 2,39$  Bq/kg,  $230,94 \pm 10,67$  Bq/kg ve  $3,25 \pm 0,72$  Bq/kg olarak belirlenmiştir.  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  değerleri dünya ortalama değerleriyle kıyaslandığında,  $^{238}\text{U}$  radyoaktivite konsantrasyonu dünya ortalama değerinin yaklaşık olarak yarısı değerindedir,  $^{232}\text{Th}$  radyoaktivite konsantrasyonu dünya ortalamasının yaklaşık olarak altıda biri değerindedir ve  $^{40}\text{K}$  radyoaktivite konsantrasyonu dünya ortalaması değerinin yaklaşık olarak yarısı değerindedir. Trabzon ili sahil şeridi için belirlenen  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  değerlerinin UNCSEAR’ın yayınladığı dünya ortalama değerlerinden daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Belirlenen bu radyonüklitlerin spesifik aktiviteleri kullanılarak Trabzon ili için hesaplanan gama dozu (D) ve yıllık etkin doz eşdeğeri (AEDE) değerleri  $20,64$  nGy/h ve  $0,025$  mSv/y dir. Hesaplanan tüm dış tehlike endeksi değerleri de 1’in altında çıkmıştır.



Bu veriler ışığında Trabzon ili sahil kumlarında belirlenen radyonüklitlerin, insan sağlığını tehdit edebilecek düzeyde aktivite konsantrasyonuna sahip olmadığı sonucuna varılmıştır.

Tablo 12. Trabzon ilinin kıyı şeridi ilçelerinin kum örneklerinin radyoaktivite konsantrasyonları

İlçeler	<sup>238</sup> U (Bq/kg)	<sup>232</sup> Th (Bq/kg)	<sup>40</sup> K (Bq/kg)	<sup>137</sup> Cs (Bq/kg)
Beşikdüzü	14,88±2,36	7,78±2,51	201,91±24,58	2,87±0,93
Vakfikebir	12,84±2,47	12,19±2,57	348,27±28,61	1,92±0,5
Çarşıbaşı	-	4,33±1,91	23,98±19,19	-
Akçaabat	9,00±1,49	5,93±2,21	233,91±25,57	4,05±0,85
Yomra	28,73±3,09	8,86±7,98	293,81±30,38	9,27±1,3
Arsin	16,55±2,67	10,91±2,76	266,04±28,82	6,71±1,46
Araklı	24,98±2,2	5,33±3	264,24±30,32	8,84±1,33
Sürmene	11,56±1,52	8,9±2,63	278,04±29,13	2,65±0,5
Of	15,96±1,81	7,99±2,39	230,94±10,67	3,25±0,72
<b>Ortalama:</b>	<b>15,96±1,81</b>	<b>7,99±2,39</b>	<b>230,94±10,67</b>	<b>3,25±0,72</b>

Tablo 13. Trabzon ili sahil kumu örneklerinin D,AEDE ve H<sub>ex</sub> değerleri

İlçeler	D (nGy/h)	AEDE (mSv/y)	H <sub>ex</sub>
Beşikdüzü	20,54	0,025	0,110
Vakfikebir	27,21	0,033	0,150
Çarşıbaşı	3,69	0,004	0,023
Akçaabat	20,40	0,024	0,126
Yomra	31,71	0,038	0,175
Arsin	25,51	0,031	0,140
Araklı	25,87	0,032	0,515
Sürmene	22,46	0,027	0,110
Of	18,98	0,023	0,103
<b>Ortalama:</b>	<b>20,64</b>	<b>0,025</b>	<b>0,14</b>

Giresun ili sahil şeridinden alınan sahil kumu örneklerinin yapılan gama spektrometrik analizler sonucunda,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  doğal radyonüklitleri ve  $^{137}\text{Cs}$  yapay radyonüklitinin aktivite konsantrasyonlarının ilçelere göre belirlenen ortalama değerleri, bu konsantrasyonlardan yararlanılarak hesaplanan ve yine ilçelere göre ortalamaları belirlenen gama dozu ve yıllık etkin doz eşdeğerleri Tablo 14 ve Tablo 15’de verilmektedir. Tablo 13 ve Tablo 14 beraber değerlendirilecek olunursa, Giresun ili için kıyı şeridindeki 8 ilçede yürütülmüş olan çalışmada, en yüksek  $^{238}\text{U}$  ortalamasının Piraziz ilçesinden alınan sahil kumunda bulunduğu ve bu değer dünya ortalaması olarak belirlenen değer ile uyumlu olduğu, en yüksek  $^{232}\text{Th}$  ortalamasının Piraziz ilçesinden alınan sahil kumunda bulunduğu ve ayrıca bu değer de dünya ortalamasından düşük olduğu görülmüştür.  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonları açısından Tablo 12 incelendiğinde en yüksek aktivite konsantrasyonunun da Piraziz ilçesinde belirlendiği görülmektedir.  $^{137}\text{Cs}$  radyonüklitinin ise en düşük değerine Eynesil ilçesinde, en yüksek değerlerine Bulancak ve Keşap ilçelerinde rastlanılmaktadır. İlçelere göre ayrı ayrı belirlenen bu aktivite konsantrasyonlarının ortalamaları alındığında Giresun ili için  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  aktivite konsantrasyonlarının değerleri sırasıyla  $21,28 \pm 3,22$  Bq/kg,  $13,72 \pm 3,23$  Bq/kg,  $530,88 \pm 36,64$  Bq/kg ve  $6,42 \pm 1,06$  Bq/kg olarak belirlenmiştir.  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  değerleri dünya ortalama değerleriyle kıyaslandığında, Giresun ili sahil şeridi için belirlenen  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  değerleri dünya ortalama değerlerinden düşük olduğu,  $^{40}\text{K}$  radyoaktivite konsantrasyonu dünya ortalama değerlerinin üzerinde olduğu görülmüştür. Belirlenen bu radyonüklitlerin aktiviteleri kullanılarak Giresun ili için hesaplanan gama dozu (D) ve yıllık etkin doz eşdeğeri (AEDE) değerleri  $38,68$  nGy/h ve  $0,047$  mSv/y dir. Hesaplana tüm dış tehlike endeksi değerleri de 1’in altında çıkmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda Giresun ili sahil kumlarında belirlenen radyonüklitlerin, insan sağlığını tehdit edebilecek düzeyde aktivite konsantrasyonuna sahip olmadığı sonucuna varılmıştır.

Tablo 14. Giresun İlinin Kıyı Şeridi İlçelerinin Radyoaktivite Konsantrasyonları

İlçeler	<sup>238</sup> U (Bq/kg)	<sup>232</sup> Th (Bq/kg)	<sup>40</sup> K (Bq/kg)	<sup>137</sup> Cs (Bq/kg)
<b>Piraziz</b>	33,62±3,66	23,92±3,93	761,04±38,86	5,58±0,93
<b>Bulancak</b>	32,5±3,64	20,94±4,16	731,98±42,9	8,89±1,45
<b>Giresun Merkez</b>	13,43±2,82	8,42±3,23	511,72±35,84	3,46±0,86
<b>Keşap</b>	16,9±3,09	11,26±3,19	373,93±33,28	7,43±1,24
<b>Espiye</b>	24,14±3,95	19,36±4,25	512,35±41,67	7,00±1,66
<b>Tirebolu</b>	18,5±3,03	8,08±3,06	337,08±32,66	3,89±1,14
<b>Görece</b>	18,1±2,83	10,16±2,94	705,1±40,55	5,05±1,14
<b>Eynesil</b>	17,02±2,83	7,97±2,88	300,99±29,58	2,36±0,55
<b>Ortalama:</b>	<b>21,28±3,22</b>	<b>13,72±3,23</b>	<b>530,88±36,64</b>	<b>6,42±1,06</b>

Tablo 15. Giresun ili sahil kumu örneklerinin D, AEDE ve H<sub>ex</sub> değerleri

İlçeler	D (nGy/h)	AEDE (mSv/y)	H <sub>ex</sub>
<b>Piraziz</b>	69,07	0,085	0,38
<b>Bulancak</b>	56,85	0,069	0,32
<b>Giresun Merkez</b>	33,82	0,041	0,19
<b>Keşap</b>	30,39	0,037	0,17
<b>Espiye</b>	44,55	0,045	0,25
<b>Tirebolu</b>	27,62	0,034	0,15
<b>Görece</b>	29,53	0,036	0,13
<b>Eynesil</b>	25,36	0,031	0,14
<b>Ortalama:</b>	<b>38,68</b>	<b>0,047</b>	<b>0,21</b>

Ordu ili sahil şeridinden alınan sahil kumu örneklerinin yapılan spektrometrik analizler sonucunda, <sup>238</sup>U, <sup>232</sup>Th, <sup>40</sup>K doğal radyonüklitleri ve <sup>137</sup>Cs yapay radyonüklitinin

aktivite konsantrasyonlarının ilçelere göre belirlenen ortalama değerleri, bu konsantrasyonlardan yararlanılarak hesaplanan ve yine ilçelere göre ortalamaları belirlenen gama dozu ve yıllık etkin doz eşdeğerleri Tablo 16 ve Tablo 17’de verilmektedir. Tablo 16 ve Tablo 17 beraber değerlendirilecek olunursa, Ordu ili için kıyı şeridindeki 5 ilçede yürütülmüş olan çalışmada, en yüksek  $^{238}\text{U}$  ortalamasının Gülyalı ve Perşembe ilçelerinden alınan sahil kumunda bulunduğu ve bu değer dünya ortalaması olarak belirlenen değerden düşük olduğu, en yüksek  $^{232}\text{Th}$  ortalamasının Gülyalı ilçesinden alınan sahil kumunda bulunduğu ve ayrıca bu değer de dünya ortalamasından düşük olduğu görülmüştür.  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonları açısından Tablo 16 incelendiğinde en yüksek aktivite konsantrasyonunun da Perşembe ilçesinde belirlendiği görülmektedir.  $^{137}\text{Cs}$  radyonüklitin ise en düşük değerine Gülyalı ilçesinde, en yüksek değerlerine Ordu Merkez ilçesinde rastlanılmaktadır. İlçelere göre ayrı ayrı belirlenen bu aktivite konsantrasyonlarının ortalamaları alındığında Ordu ili için  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  aktivite konsantrasyonlarının değerleri sırasıyla  $25,40 \pm 2,95$  Bq/kg,  $10,83 \pm 2,92$  Bq/kg,  $673,31 \pm 45,31$  Bq/kg ve  $9,71 \pm 1,16$  Bq/kg olarak belirlenmiştir.  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  radyoaktivite değerleri UNSCEAR’ın yayınladığı dünya ortalama değerleriyle kıyaslandığında, Ordu ili sahil şeridi için belirlenen  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  radyoaktivite değerlerin dünya ortalama değerlerinden daha düşük olduğu,  $^{40}\text{K}$  radyoaktivite değerinin dünya ortalama değeri üstünde olduğu görülmektedir. Belirlenen bu radyonüklitlerin spesifik aktiviteleri kullanılarak Ordu ili için hesaplanan gama dozu (D) ve yıllık etkin doz eşdeğeri (AEDE) değerleri  $43,53$  nGy/h ve  $0,087$  mSv/y dir. Hesaplanan tüm dış tehlike endeksi değerleri de  $1.0$ ’ın altında çıkmıştır. Yapılan analizler sonucunda Ordu ili sahil kumlarında belirlenen radyonüklitlerin, insan sağlığını tehdit edebilecek düzeyde aktivite konsantrasyonuna sahip olmadığı sonucuna varılmıştır.

Çalışma bölgesinin jeolojisi göz önünde bulundurularak bir değerlendirme yapılırsa; Trabzon ili için yapılan doğal gama radyoaktivite analiz sonuçları Ordu ve Giresun illeri analiz sonuçlarından düşük çıktığı görülmektedir. Ancak Trabzon ilinin Yomra, Araklı ve Arsin ilçelerinin sahil kumlarının hesaplanan radyoaktivite konsantrasyon değerleri Ordu ve Giresun ili için hesaplanan ortalama radyoaktivite konsantrasyon değerlerine yakın olduğu görülmektedir. Diğer yandan Giresun’un sahil ilçelerinden Görele ve Eynesil ilçelerinin radyoaktivite konsantrasyonları Trabzon ili için hesaplanan ortalama radyoaktivite konsantrasyonu ile yakın değerlerde hesaplanmıştır. Şekil 11’de görüldüğü

gibi bazik volkanitler ve kayaların çoğunlukta olduğu bölgelerde radyoaktivite analiz sonuçları yaklaşık değerlerde hesaplanmıştır.

Tablo 16. Ordu İlinin Kıyı Şeridi İlçelerinin Radyoaktivite Konsantrasyonları

İlçeler	<sup>238</sup> U (Bq/kg)	<sup>232</sup> Th (Bq/kg)	<sup>40</sup> K (Bq/kg)	<sup>137</sup> Cs (Bq/kg)
Ünye	24,87±2,57	6,68±2,34	288,96±24,45	4,23±0,8
Fatsa	26,54±3,24	13,75±3,3	526,76±35,99	6,89±1,32
Perşembe	27,31±3,26	11,63±3,28	1214,42±46,58	8,79±1,22
Ordu Merkez	19,64±3,16	13,61±3,29	642,99±65,3	13,66±1,47
Gülyalı	28,21±3,38	23,97±3,72	623,95±38,08	11,97±1,11
<b>Ortalama:</b>	<b>25,40±2,95</b>	<b>10,83±2,92</b>	<b>673,31±45,31</b>	<b>9,71±1,16</b>

Tablo 17. Ordu ili sahil kumu örneklerinin D,AEDE ve H<sub>ex</sub> değerleri

İlçeler	D (nGy/h)	AEDE (mSv/y)	H <sub>ex</sub>
Ünye	25,99	0,030	0,14
Fatsa	42,77	0,052	0,17
Perşembe	64,77	0,190	0,35
Ordu Merkez	48,04	0,097	0,25
Gülyalı	53,94	0,066	0,30
<b>Ortalama:</b>	<b>43,53</b>	<b>0,087</b>	<b>0,23</b>

Yaptığımız çalışma ile kıyaslama için, dünyanın farklı bölgelerine ait kum örneklerindeki <sup>238</sup>U, <sup>232</sup>Th, <sup>40</sup>K ve <sup>137</sup>Cs aktivite konsantrasyonlarının ortalama değerleri Tablo 18 verilmiştir. Tabloda ayrıca <sup>238</sup>U, <sup>232</sup>Th ve <sup>40</sup>K aktivite konsantrasyonlarının dünya ortalama değerleri de yer almaktadır. Aynı şekilde Tablo 19 de Türkiye de yapılan çalışmaların <sup>238</sup>U, <sup>232</sup>Th, <sup>40</sup>K ve <sup>137</sup>Cs aktivite konsantrasyonlarının ortalama değerleri yer almaktadır.

Tablo 18. Dünya’da Bazı Bölgelerde Sahil Kumu Radyoaktivite Düzeyleri

Bölgeler	<sup>226</sup> Ra* <sup>238</sup> U (Bq/kg)	<sup>232</sup> Th (Bq/kg)	<sup>40</sup> K (Bq/kg)	<sup>137</sup> Cs (Bq/kg)	Referanslar
Bangladeş Karnaphuli	35,9±18,9	65,5±12,2	272±35	2,2±0,45	Chowdhury vd.,1999
Bangladeş Shango	27,8±2,9	57,5±3,0	255±18	2,1±0,4	Chowdhury vd.,1999
Brezilya Dois Rios Kıyısı	30	42	426	-	Freitas vd.,2004
Brezilya Preta Sahili	122	255	98	-	Freitas vd.,2004
Çin Baoji Weihe Park	22,1	39,9	859,1	-	Xinwei vd.,2006
Çin Rizhao Sahili	12	15,2	1076,2	-	Xinwei vd.,2008
Kanarya Adası	43,57	53,87	665,27	-	Fernandez vd.,1992
Hindistan Kalpakkam	124*	1613	358	-	Kannan vd.,2002
Hindistan Orissa	200±40*	1670±340	650±110	-	Rao vd.,2009
Hindistan Tamilnau	29,25*	144,18	267,48	-	Ramasamyvd.,2004
Mısır Cairo	18,5*	10,8	121,5	-	El- Bahı vd.,2005
Mısır Kızıl deniz	22,7±2*	12,4±1	930±32	1,2±0,3	Harb ,2008
Mısır	39*±15	21±13	402±23	-	Eissa vd.,2010
Mısır Safaga	190±11	177±11	815±41	-	Uosif vd.,2008
Mısır North Sinai	512,45±1,8	1062±4,3	77,4±10,1	-	Seddeek vb.,2005
Pakistan Kabul	30,5 ±1,4	53,2±19,5	531,3±49	-	Malik vb.,2010
Umman Denizi Sindh Kıyısı	23,48±3,94	-	562,25±28,57	-	Akram vd.,2006
Sudan	11,6±15,2	6±6,1	158,4±161,9	4,1±3,96	Sam vd.,1998
Yunanistan Ege Deniz	50±26	60±35	887±377	-	Flouro vd.,1992
Trabzon	15,96±1,8	7,99±2,4	230,94±10,67	3,25±0,7	Şimdiki Çalışma
Giresun	21,28±3,2	13,72±3,2	530,88±36,64	6,42±1,1	Şimdiki Çalışma
Ordu	25,40±2,9	10,83±2,9	673,31±45,31	9,71±1,2	Şimdiki Çalışma
<b>Dünya Ortalama Değeri</b>	<b>33</b>	<b>45</b>	<b>420</b>	<b>-</b>	<b>(UNSCEAR 2000)</b>

“\*” litertürde verilen Ra değerlerini ifade etmektedir.

Tablo 19. Türkiye’de bazı bölgelerde sahil kumu ve sediment radyoaktivite düzeyleri

Bölgeler	<sup>238</sup> U (Bq/kg)	<sup>232</sup> Th (Bq/kg)	<sup>40</sup> K (Bq/kg)	<sup>137</sup> Cs (Bq/kg)	Referanslar
Çanakkale	260,36±20,81	532,04±42,56	1165,75±81,55	-	Örgün vd.,2007
Zonguldak	18,88 ±1,16	8,35±6,18	167,66 ±12,17	3,38±0,34	Küçük.,2012
İstanbul	21	37	342	-	Karahan vd.2000
Rize	20,88±1,73	33,38±2,71	521,53±48,25	-	Keser .,2009
Kocaeli	(4,41 ± 0,03) – (14,04 ± 0,04)	(2,62 ± 0,02) – (16,55 ± 0,03)	(11,6 ± 0,25) – (513,32 ± 3,44)	-	Korkulu., 2010
Trabzon	15,96±1,81	7,99±2,39	230,94±10,67	3,25±0,72	Şimdiki Çalışma
Giresun	21,28±3,22	13,72±3,23	530,88±36,64	6,42±1,06	Şimdiki Çalışma
Ordu	25,40±2,95	10,83±2,92	673,31±45,31	9,71±1,16	Şimdiki Çalışma
<b>Dünya Ortalama Değeri:</b>	<b>33</b>	<b>45</b>	<b>420</b>	<b>-</b>	<b>(UNSCEAR, 2000)</b>

Bu çalışmamızda elde ettiğimiz sonuçları, Tablo 18’de diğer birçok ülke için verilen <sup>238</sup>U, <sup>232</sup>Th ve <sup>40</sup>K radyoaktivite değerleri ile kıyaslandığımızda Çin Rizhao Sahilinde (Xinwei vd.,2008) ölçülen değerlerden, Sudan (Sam vd.,1998) da ölçülen değerlerden ve Mısır Caira (El- Bahı vd.,2005) da ölçülen değerlerden düşük çıktığını görmekteyiz. Mısır Kızıl Deniz (Harb.,2008), Mısır (Eissa vd.,2010), Hindistan Tamilnadu (Ramasamy vd.,2004), Çin Baoji Weihe Park (Xinwei vd.,2006) ve Bangladeş Shango (Mantazul vd.,1999) sahil kumu örneklerinde <sup>238</sup>U ve <sup>40</sup>K radyoaktivite konsantrasyonu hemen hemen yaklaşık değerleri alırken <sup>232</sup>Th radyoaktivite konsantrasyonu bizim çalışmamızda daha düşük değerlerde ölçülmüştür. Yunanistan (Flouro vd.,1992), Mısır North Sinai (Seddeek vb.,2005), Hindistan Orissa (Rao vd.,2009), Kanarya Adası (Fernandez vd.,1992), Brezilya Preta Sahili (Freitas vd.,2004) ve Bangladeş Karnaphuli (Mantazulvd.,1999) daki değerler çalışmamızda hesapladığımız değerlerden yüksek çıkmıştır. Tablo 18’i incelediğimizde Türkiye de Zonguldak (Küçük.,2012), Kocaeli (Korkulu, 2010), İstanbul (Karahan vd.,2000) ve Rize (Keser .,2009) de elde edilen <sup>238</sup>U, <sup>232</sup>Th ve <sup>40</sup>K radyoaktivite değerleri bizim çalışmamızın değerleri ile uyum içerisindedir bunun yanında Çanakkale’deki (Örgün vd.,2007) yapılan çalışmanın sonuçlarından oldukça düşüktür.

Dünya ortalama deęerleriyle mevcut çalıřmamız kıyaslandıęında  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  deęerleri için Trabzon ve Giresun illeri deęerleri dünya ortalamasından dūřuktur. Ordu ilinde  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  deęerleri dünya ortalamasından dūřük iken  $^{40}\text{K}$  deęeri yüksektir.



## 5. ÖNERİLER

Bu araştırmada Ordu, Giresun ve Trabzon illerinin kıyı şerisinde bulunan sahil kumlarındaki doğal ve yapay radyoaktivite düzeyleri belirlenmiştir. Bundan sonra ÷lkemizin farklı jeolojik özellikleri olan sahil bölgelerinde de doğal radyoaktivite ölçümlerinin yapılması ve Türkiye'nin sahil kıyı şeridi boyunca sahil kumlarındaki radyoaktivite haritasının çıkarılması radyasyon takibi açısından faydalı olacaktır.

Ordu, Giresun ve Trabzon sahil kumlarındaki tane büyüklüğü, ağır ve hafif kum mineralleri gibi fiziksel parametrelerle radyoaktivitenin ilişkisi daha ayrıntılı bir araştırma çalışması olarak yapılabilir.

Sahil kumlarındaki doğal ve yapay radyonüklidlerin aktivitelerinin belirlenmiş olması ileride doğabilecek herhangi bir Çernobil ve Fukushima benzeri nükleer kazaları durumunda radyasyon takibi açısından ve insan sağlığına yönelik radyolojik risklerin değerlendirilmesi bakımından çok faydalı olacaktır.

Ayrıca sahil kumlarının inşaat malzemesi olarak kullanılması bina içi radyasyonu artıracığı için insan sağlığına olumsuz etkileri olabilir. Bu olumsuz etkilerin önlenmesi için bu tür bilimsel çalışmaların düzenli yapılarak doğal radyasyonun belirlenmesi insan sağlığı açısından yararlı olacaktır.

## 6. KAYNAKLAR

- Ağar, Ü., 1997. Demirözü (Bayburt) ve Köse (Kelkit) Bölgesi'nin Jeolojisi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstanbul.
- Akram, M., Riffat, M.Q., Nasır Ahmed ve Tariq Jamal Solaija , 2006. Gamma-Emitting radionuclides in the shallow marine sediments off the Sindh Coast, Arabian Sea. Radiation Protection Dosimetry, 118, 4, 440-447.
- Arya, P. A., 1999. Çekirdek Fiziğinin Esasları. Yusuf Şahin. Balkan Matbacılık, Erzurum.
- BEIR VI, 1999. Health Effects of Exposure to Radon. Committee on Health Risks of Exposure to Radon. Board on Radiation Effects Research (BEIR VI). National Academy Press.
- Beretka, J. ve Mathew, P. J., 1985. Natural radioactivity of Australian building materials, industrial wastes and by products. Health Phys. 48, 87-95.
- Bozkurt, A. ve Kam, E., 2007. Indoor Radon Measurement in the City of Edirne, Turkey. Sixth International Conference of the Balkan Physical Union, AIP conference proceedings, 899, 395-396.
- Bozkurt, A., Yorulmaz, N., Kam, E., Karahan, G. ve Osmanlıoğlu, A. E., 2007. Assessment of environmental radioactivity for Şanlıurfa region of Southeastern Turkey. Radiation Measurements, 42, 8, 1387-1391.
- Chowdhury, I. Mantazul, Alam, M. N. ve Hazari, S. K. S., 1999. Distribution of radionuclides in the river sediments and coastal soil of Chittagong, Bangladesh and evaluation of the radiation hazard . Applied Radiation and Isotopes, 51, 747-755.
- El-Bahi, M. Samia, El-Dine, W. Nadia, Fawzia Ahmed, Amany Spooky ve Abdl Salaam, M.A. Mahitab, 2005. Natural radyoactivity levels for selected kinds of Egyptian sand. Isotopes in Environmental and Health Studies, 41, 2, 161-168.
- El-Kameesy, S.U. El-Ghany, S. ABD, El-Minyawi, S. M., Miligy, Z. ve El-Mabrouk, E. M., 2008. Natural radyoactivity of beach sand samples in The Tripoli Region Turkish Journal of Engineering & Environmental Sciences, 245-251.
- Eissa, H. S., Medhat, M. E., Said, S.A. ve Elmaghraby, E. K., 2011. Radiation dose estimation of samples collected from different Egyptian Beachs. Radiation Protection Dosimetrys, 147, 4, 533-540.

- Fernandez-Aldecoa, J. C., Robayna, B., Allende, A., Poffijn, A. ve Hernandez Armas, 1992. Natural radioation in Tenerine(Canary Island). Radiation Protection Dosimetry, 45, 1-4, 545-548.
- Florou, H. and Kritidis, P., 1992. Gama radiation measurements and dose rate in coastal areas of a volcanic island, Aegean Sea, Greece. Radiation Protection Dosimetry, 45, 1-4, 277-279.
- Freitas, A. C. ve Alencar, A. S., 2004. Gama dose rates and distribution of natural radionuclides in sand beach-Ilha Grande, Southeastern Brazil. Journal of Environmental Radioactivity, 75, 4211-223.
- Güven, İ. H., 1993. Doğu Pontidlerin Jeolojisi ve 1/250000 Ölçekli Kompilasyonu, MTA Yayınları, Ankara.
- Güven, İ. H., 1998. 1/100000 Ölçekli Açınama Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları, No: 58, Trabzon C29 ve D29 Paftaları, MTA Jeoloji Etüdüleri Dairesi, Ankara, 12 s.
- Harb, S., 2008. Natural radioactivity and external gama radiation exposure at the coastal Red Sea in Egypt. Radiation Protection Dosimetry, 130, 3, 376-384.
- Kannan, V., Rajan, M .P., Iyenger, M .A. R. ve Ramesh, R., 2002. Distribution of natural and antropogenic radionuclides in soil and beach sand samples of Kalpakkam (India) using hyper pure germanium (HPGE) gama ray spectrometry . Applied Radiation and Isotopes, 57, 109-119.
- Karahan, G. ve Bayulken, A, Keser R., 2000. Assessment of gamma dose rates around Istanbul (Turkey). Journal of Environmental Radioactivity, 47, 213-221.
- Keser, R., 2009. Rize ili sahil kumlarında ve bazı kayaçlarda doğal gama radyoaktivite seviyelerinin belirlenmesi, Doktora Tezi, Trabzon, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ketin, I., 1951. Über die Geologie der Gegend Von Bayburt in Wordost Antatolin, Rev. Fac. Sci. Univ. İstanbul, B 16, 113-122.
- Ketin, I., 1966. Anadolu'nun Tektonik Birliktelikleri, Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 66, 23-34.
- Kılıç, Ö., Belivermiş, M., Topçuoğlu, S., Çotuk, Y., Coşkun, M., Çayır, A. ve Küçer, R., 2007. Radioactivity Concentrations and Dose Assessment in Surface Soil Samples from East and South of Marmara Region, Turkey, Radiation Protection Dosimetry page 1-7
- Korkulu, Z., 2010. Kocaeli ili Karadeniz Sahil Kumlarının Doğal Radyoaktivite Seviyelerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Krane, K. S., 1988. Introductory Nuclear Physics, Canada
- Krane, K. S., 2001, Nükleer Fizik, Başar Şarar, 1. Cilt, Palme Yayıncılık, Ankara
- Küçük, C., 2012. Zonguldak ili sahilleri kum örneklerinin doğal radyoaktivite seviyelerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak, Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- IAEA, 1996. International Atomic Energy Agency, "Radiation Safety" IAEA Division of Public Information, 96-00725 IAEA/PI/A47E.
- IAEA, 2003. Guidelines for radioelement mapping using gamma ray spectrometry, International Atomic Energy Agency, IAEA TecDoc-1363
- Malain, D., Regan, P. H., Matthews, M., Santawamaitre, T. ve Al- Suaiti, H. A., 2009. Measurements of NORM in beach sand samples along the Andaman coast of Thailand after the 2004 Tsunami. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, 619, 441-445.
- Malik, F., Matiullah, M., Akram, M. ve Rajput, M. U., 2011. Measurements of natural radioactivity in sand samples collected along the bank of rivers Indus and Kabul in North Pakistan. Radiation Protection Dosimetry, 111, 2, 229-235.
- McDonald, C. Joseph, 2012. Living with radiation Radiation Protection Dosimetry, 149, 2, 99-100.
- Ramasamy, V., Dheenathayalu, M., Ravisankar, R. ve Ponnusamy, V., 2004. Natural radioactivity measurements in beach-rock samples of south-east coast of Tamilnadu, India. Radiation Protection Dosimetry, 111, 2, 229-235.
- Rao, N. Sulekha, Sengupt, D., Guin, R. ve Saha, S. K., 2009. Natural radioactivity measurements in beach sand along southern coast of Orissa, eastern India. Environ Earth Sci, 59, 593-601.
- Örgün, Y., Altınsoy, N., Şahin, S. Y., Güngör, Y., Gültekin, A.H., Karahan, G. ve Karacık, Z., 2007. Natural and anthropogenic radionuclides in rocks and beach sands from Region (Çanakkale), Western Anatolia, Turkey. Applied Radiation and Isotopes, 65, 739-747.
- Sam, Khatir Adam, Ahmed, M. O. Mustafa, El Khangi F. A. ve El Nigumi Y. O., 1998. Radioactivity levels in Red Sea Coastal environmental of Sudan. Marine Pollution Bulletin, 36,1, 19-26.
- Seddeek, M. K., Badran, H. M., Sharshar, T. ve Elnmir, T., 2005. Characteristics, spatial distribution and I profil of gamma-ray emitting radionuclides in the coastal environment of North Sinai. Journal of Environmental Radioactivity, 84, 21-50.

- Uosif, M. A. M., El-Taher, A., Abbady, G. E., 2008. Radiological significance of beach sand used for climatotherapr from Safaga, Egypt. Radiation Protection Dosimetry, 131, 3, 331-339.
- TAEK, 2010. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, Teknik Raporu, Türkiye'deki Çevre Radyoaktivitesinin İzlenmesi, Ankara
- TAEK, 2002 (Türkiye Atom Enerjisi Kurumu), Radyasyon ve Biz, Ankara
- Tzortzis, M., Svoukis, E. ve Tsertos, H., 2004. A comprehensive study of natural gamma radioactivity levels and associated dose rates from surface soils in Cyprus. Radiation Protection Dosimetry, 109, 3, 217-224
- UNSCEAR, 2000. United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation to the General Assembly, Sources, Effects and Risk of Ionizing Radiation, United Nations, New York, USA.
- Xinwei L ve Xiaolan Zhang, 2008. Measurement of natural radioactivity in beach sands from Rizhao Bathing Beach, China. Radiation Protection Dosimetry, 130, 3, 385-388.
- Xinwei L, Xiaolan Z ve Fengling W, 2006. Measurement of natural radioactivity in sand sample collected from The Baoji Wei Sand Park, China. Environ Geo, 50, 977-982.
- Vukotic, P., Borisov, G. I., Kuzmic, V. V., Antovic, N., Dapcevic, S., Uvarov, V. V., Kulakov, V. M., 1998 Radioactivity on the Montenegrin coast, Yugoslavia. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 235, 151-157
- Yılmaz, Y., 1972. Petrology and Structure of Gümüşhane Granite and Surrounding Rocks, NE Anatolia, PhD Thesis, Universiyt of London.

## **ÖZGEÇMİŞ**

20.04.1986 tarihinde Giresun'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Giresun'da tamamladı. 2004-2009 yılları arasında Gazi Üniversitesi Eğitim Fakültesi Fizik Öğretmenliği Bölümü'ünde lisans eğitimini tamamladı. 2009 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans Eğitimine başladı. Şu an Nükleer Fizik Dalı'nda Tez aşamasındadır. Araştırmacı İngilizce bilmektedir.