

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ \* FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KOCAELİ İLİ KARADENİZ SAHİL KUMLARININ DOĞAL  
RADYOAKTİVİTE SEVİYELERİNİN BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ZEREN KORKULU**

**Anabilim Dalı: Fizik**

**Danışman: Doç. Dr. Nalan ÖZKAN GÜRAY**

**KOCAELİ, 2010**

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ \* FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KOCAELİ İLİ KARADENİZ SAHİL KUMLARININ DOĞAL  
RADYOAKTİVİTE SEVİYELERİNİN BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Zeren KORKULU**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 18 HAZİRAN 2010**

**Tezin Savunulduğu Tarih: 12 TEMMUZ 2010**

**Tez Danışmanı  
Doç.Dr. Nalan ÖZKAN GÜRAY**



**Üye  
Prof.Dr. Elşen VELİ**



**Üye  
Yrd.Doç.Dr. Mehtap YALÇINKAYA**



**KOCAELİ, 2010**

## **ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR**

İnsanların yaşadıkları çevre içinde maruz kaldıkları radyasyonun temel kaynağı doğal radyasyon olduğundan, doğal kaynaklardan alınan dozların yaşam üzerindeki etkisi ve oluşturacağı zararlar toplum sağlığı açısından önem taşımaktadır. Bu nedenle doğal radyoaktivitenin özellikle insanların yoğun bir şekilde yaşadığı ve zaman geçirdiği bölgelerde belirlenmesi gerekmektedir. Buna bağlı olarak çevresel radyasyon ölçümleri yapıp, ülkelerin radyasyondan etkilenme düzeylerini ortaya koyma ve radyasyon haritalarını oluşturma çalışmaları önem kazanmaktadır. Ayrıca, gelecekte herhangi bir radyonüklid kontaminasyon seviyesinin tespit edebilmek için bölgelerin radyasyon seviyelerinin belirlenmesi dünyanın birçok ülkesinde yapıldığı gibi ülkemizde de yapılmalıdır.

Öncelikle, her konuda yardım ve desteğini hissettiğim danışman hocam Doç. Dr. Nalan ÖZKAN GÜRAY'a en içten duygularıyla teşekkür ederim. Bana her konuda yardımcı olan Yrd. Doç. Dr. Recep Taygun GÜRAY'a ve Dr. Caner YALÇIN'a teşekkür ederim.

Numunelerin fiziksel ve kimyasal analizleri Kocaeli Üniversitesi Biyoloji Bölümü laboratuvarında yapılmıştır. Yardımlarından dolayı Sayın Yrd. Doç. Dr. Halim Aytakin ERGÜL'e teşekkür ederim.

Son olarak, hayatım boyunca beni destekleyen ve bugünlere getiren sevgili aileme en derin minnetlerimi ve sevgilerimi sunarım.

Bu çalışma Kocaeli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (BAP) 2007/036 numaralı proje tarafından desteklenmiştir.

ZEREN KORKULU

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLOLAR DİZİNİ .....	vi
ÖZET.....	x
İNGİLİZCE ÖZET .....	xi
BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2. TEMEL BİLGİLER.....	4
2.1. Radyoaktivite .....	4
2.2. Radyoaktif Bozunma Kanunu .....	5
2.3. Zincirleme Radyoaktif Bozunma .....	7
2.3.1. Özel durum (kalıcı denge).....	8
2.4. Yarı Ömür ( $t_{1/2}$ ) ve Ortalama Ömür ( $\tau$ ) .....	9
2.5. Biyolojik Yarı Ömür ( $t_{1/2 B}$ ) .....	10
2.6. Etkin Yarı Ömür ( $t_{1/2 etkin}$ ) .....	11
2.7. Radyoaktivite ve Radyasyon Doz Birimleri .....	11
2.7.1. Aktivite birimi.....	11
2.7.2. Soğurulma doz birimi.....	11
2.7.3. Biyolojik (eşdeğer) doz .....	12
2.7.4. Işınlanma doz birimi .....	12
2.8. İyonlaştırıcı Radyasyonlar .....	13
2.8.1. Alfa ( $\alpha$ ) bozunması.....	13
2.8.2. Beta bozunumu.....	14
2.8.3. Gama ( $\gamma$ ) bozunumu.....	17
2.9. Gama Radyasyonunun Madde İle Etkileşimi.....	18
2.9.1. Fotoelektrik olay .....	18
2.9.2. Compton saçılması.....	19
2.9.3. Çift oluşumu.....	20
2.10. Radyasyon Kaynakları .....	23
2.10.1. Doğal radyasyon.....	23
2.10.2. Doğal serilerde radyoaktif denge .....	27
2.10.3. Yapay radyoaktivite .....	33
2.11. Sahil Kumlarının Doğal Radyoaktivitesi .....	34
2.12. Çernobil Nükleer Reaktör Kazası ve Karadeniz kıyılarına etkisi .....	34
BÖLÜM 3. DENEY DÜZENEGİ.....	35
3.1. Gama Sayım Sisteminin Elektronikleri .....	35
3.2. Yarı İletken Dedektörler .....	37
3.3. HPGe Gama Spektroskopisinin Özellikleri .....	38
3.4. Veri Analizi İçin Ön Çalışmalar .....	40
3.4.1. Enerji kalibrasyonu .....	40
3.4.2. Verim kalibrasyonu.....	41
3.4.3. Pik alan hesabı.....	42
3.4.4. Aktivite ve spesifik aktivite hesabı .....	44

3.4.5. Hata hesabı .....	45
<b>BÖLÜM 4. DENEY VE HESAPLAMALAR .....</b>	<b>47</b>
4.1. Çalışma Alanının Coğrafi Yapısı .....	47
4.2. Numunelerin Toplanması .....	49
4.3. Numunelerin Boyut Analizi .....	52
4.4. Numunelerin pH Ölçümü .....	54
4.5. Numunelerin CaCO <sub>3</sub> Analizi .....	55
4.6. Numunelerin Toplam Organik Madde Miktarı (TOM) .....	56
4.7. Numunelerin Radyasyon Ölçümü İçin Hazırlanması ve Sayımı .....	57
4.8. Hesaplamalar .....	58
4.8.1. Enerji kalibrasyonu .....	58
4.8.2. Verim kalibrasyonu .....	59
4.8.3. Aktivite .....	61
4.8.4. Gama doz hızı hesabı .....	65
4.8.5. Yıllık efektif doz hızı hesabı .....	66
4.8.6. Radium eşdeğer aktivite ve harici radyasyon riski hesabı .....	66
<b>BÖLÜM 5. SONUÇ VE YORUM .....</b>	<b>68</b>
5.1. Numunelerin Aktivite ve Spesifik Aktivite Değerleri .....	68
5.2. Doz Hızı, Yıllık Efektif Doz Hızı, Radium Eşdeğer Aktivitesi ve Harici Radyasyon Riski .....	83
5.3. Yorum .....	85
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>86</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>89</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>90</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1: Kararlılık Eğrisi: kararlı çekirdeklerin gösterildiği izotop tablosu.....	5
Şekil 2.2: $^{132}\text{Te}$ (78 saat) $\rightarrow$ $^{132}\text{I}$ (2,28 saat) $\rightarrow$ $^{132}\text{Xe}$ zincirleme bozunmasında, $^{132}\text{Te}$ ve $^{132}\text{I}$ aktivitesinin zamanla değişimi.....	9
Şekil 2.3: Alfa bozunum örneği. ....	14
Şekil 2.4: Beta ( $\beta^-$ ) bozunum örneği, $^{14}\text{C} \rightarrow ^{14}\text{N} + e^- + \bar{\nu}$ .....	15
Şekil 2.5: Beta ( $\beta^+$ ) bozunum örneği, $^{10}\text{C} \rightarrow ^{10}\text{B} + e^+ + \nu$ .....	16
Şekil 2.6: Elektron yakalama ( $\epsilon$ ) örneği, $^7\text{Be} + e^- \rightarrow ^7\text{Li}$ . ....	17
Şekil 2.7: Gama bozunum örneği.....	18
Şekil 2.8: (a) Fotoelektrik olay örneği ve (b) Karakteristik X ışını yayınlanması örneği.....	19
Şekil 2.9: Compton Saçılması örneği.....	20
Şekil 2.10: Çift oluşumu örneği.....	21
Şekil 2.11: Gama etkileşme türleri ve bunların baskın olduğu bölgeler.....	21
Şekil 2.12: Dedektöre gelen gamaların kristal ile etkileşimi: FO fotoelektrik olay, CS Compton saçılması ve ÇO çift oluşumu.....	22
Şekil 2.13: Dedektörün tek enerjili gama ışınları için vereceği tipik cevap. ....	23
Şekil 2.14: Fon (background) radyasyonunda bulunan birincil ve ikincil kozmik ışınların gösterimi.....	24
Şekil 2.15: Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından alınan dozların oransal değerleri.....	25
Şekil 2.16: Dünya genelinde doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından alınan doz oranları.....	33
Şekil 2.17: Dünya genelinde yapay radyasyon kaynaklarından alınan doz oranları..	34
Şekil 3.1: Dedektör sisteminin genel elektronik şeması. Yüksek voltaj kaynağı (HV), Ö; ön yükselteç (preamplifier), Y; yükselteç (amplifier), çok kanallı analizör (MCA). ....	35
Şekil 3.2: Tipik bir germanyum dedektör ve dewar sistemi.....	36
Şekil 3.3: p tipi ve n tipi yarı iletkenin temas ettirilmesiyle oluşan tüketim bölgesi gösterimi.....	37
Şekil 3.4: ORTEC GEM25P4-70 model HPGe Gama dedektör sistemi. ....	38
Şekil 3.5: HPGe dedektörünün üstten görünümü.....	39
Şekil 3.6: Pik alan hesabında kullanılan parametrelerin gösterimi: B fon sayımı, $N_a$ pik altında kalan toplam alan, $N_{\text{net}}$ pik altındaki net alan (fon sayımı çıkarılmış), $C_i$ ise i. kanaldaki toplam sayıdır (Pik 6 kanal genişliğinde seçilmiştir).....	42
Şekil 4.1: Kocaeli Haritası. ....	48
Şekil 4.2: Numunelerin toplandığı bölgelerin harita üzerinde gösterimi.....	50
Şekil 4.3: (a) ve (b) Numune alma aletlerinin resimleri. ....	52
Şekil 4.4: Boyut analizinde kullanılan FRITSCH marka elek sistemi.....	53
Şekil 4.5: AND GR-500 marka analitik terazi.....	53
Şekil 4.6: Numunelerin saf su ile yıkandığı vakum filtre sistemi.....	56
Şekil 4.7: Numunelerin koyulduğu sayım kapı.....	57
Şekil 4.8: Enerji kalibrasyonu grafiği. ....	59

Şekil 4.9: Verim grafiği.....	60
Şekil 4.10: Fon sayım spektrumu.....	62
Şekil 4.11: Kumcağız 091107003 no'lu numunesinin sayımı ile elde edilen spektrum. .....	64
Şekil 4.12: Kumcağız 091107003 no'lu spektrumundaki $^{214}\text{Bi}$ (609,32 keV) pikinin gösterimi.....	64
Şekil 4.13: Kumcağız 091107003 no'lu numunesinin sayımı ve fon sayımından elde edilen spektrumların birlikte gösterimi. ....	65
Şekil 5.1: Tüm sahiller için $^{238}\text{U}$ spesifik aktivite değerleri.....	79
Şekil 5.2: Tüm sahiller için $^{232}\text{Th}$ spesifik aktivite değerleri. ....	79
Şekil 5.3: Tüm sahiller için $^{40}\text{K}$ spesifik aktivite değerleri.....	80
Şekil 5.4: Tüm sahiller için $^{137}\text{Cs}$ spesifik aktivite değerleri. ....	80
Şekil 5.5: Tüm sahillerin $^{238}\text{U}$ , $^{232}\text{Th}$ , $^{40}\text{K}$ ve $^{137}\text{Cs}$ spesifik aktivite değerlerinin birlikte gösterimi. ....	81
Şekil 5.6: Tüm sahillerin $^{238}\text{U}$ , $^{232}\text{Th}$ , $^{40}\text{K}$ ve $^{137}\text{Cs}$ spesifik aktivite değerlerinin (logaritmik olarak) birlikte gösterimi.....	81
Şekil 5.7 Tüm sahiller için elde edilen doz hızı grafiği. ....	84
Şekil 5.8: Tüm sahiller için radyum eşdeğer aktivitesi grafiği. ....	84

## TABLolar DİZİNİ

Tablo 2.1: Radyasyon Birim Dönüşümleri.....	13
Tablo 2.2: Dünya geneli doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan ortalama radyasyon dozları.....	26
Tablo 2.3: Toryum serisi bozunumları.....	28
Tablo 2.4: Uranyum serisi bozunumları.....	29
Tablo 2.5: $^{214}\text{Pb}$ 'den yayınlanan gamalar.....	30
Tablo 2.6: $^{214}\text{Bi}$ 'den yayınlanan gamalar.....	31
Tablo 2.7: $^{228}\text{Ac}$ 'den yayınlanan gamalar.....	31
Tablo 2.8: $^{212}\text{Pb}$ 'den yayınlanan gamalar.....	32
Tablo 2.9: $^{208}\text{Tl}$ 'den yayınlanan gamalar.....	32
Tablo 3.1: Enerji kalibrasyonunda kullanılan radyonüklidlerin yayınladıkları enerji değerleri, enerjilerin yayınlanma olasılıkları ve yarı ömürleri.....	40
Tablo 4.1: Toplanan numunelerin koordinatları.....	51
Tablo 4.2: Numunelerin boyut analizlerinin sonuçları.....	54
Tablo 4.3: Numunelerin ölçülen pH değerleri.....	55
Tablo 4.4: Numunelerin içindeki $\text{CaCO}_3$ miktarları.....	55
Tablo 4.5: Numunelerin içindeki TOM miktarları.....	56
Tablo 4.6: Spektrumdaki gama enerjilerine karşılık gelen kanal numaraları.....	58
Tablo 4.7: Standart kaynak için hesaplanan verim değerleri.....	60
Tablo 4.8: Fon sayım spektrumunda elde edilen piklerin enerjileri ve kaynakları.....	62
Tablo 4.9: Dönüşüm faktörleri.....	66
Tablo 5.1: Kumcağız 091107001 nolu numunenin 250563 saniye sayımı ile elde edilen aktivite ve spesifik aktivite değerleri.....	68
Tablo 5.2: Kumcağız 091107002 no'lu numunenin 223829 saniye sayımı ile elde edilen aktivite ve spesifik aktivite değerleri.....	69
Tablo 5.3: Kumcağız 091107003 no'lu numunenin 256592 saniye sayımı ile elde edilen aktivite ve spesifik aktivite değerleri.....	69
Tablo 5.4: Cebeci 091107004 no'lu numunenin 99943 saniye sayımı ile elde edilen aktivite ve spesifik aktivite değerleri.....	70
Tablo 5.5: Cebeci 091107005 no'lu numunenin 80670 saniye sayımı ile elde edilen aktivite ve spesifik aktivite değerleri.....	70
Tablo 5.6: Cebeci 091107006 no'lu numunenin 80115 saniye sayımı ile elde edilen aktivite ve spesifik aktivite değerleri.....	71
Tablo 5.7: Cebeci 091107007 no'lu numunenin 166975 saniye sayımı ile elde edilen aktivite ve spesifik aktivite değerleri.....	71
Tablo 5.8: Çamkonak 091107008 no'lu numunenin 85488 saniye sayımı ile elde edilen aktivite ve spesifik aktivite değerleri.....	72
Tablo 5.9: Çamkonak 091107009 no'lu numunenin 124195 saniye sayımı ile elde edilen aktivite ve spesifik aktivite değerleri.....	72
Tablo 5.10: Dikili 091107010 no'lu numunenin 230400 saniye sayımı ile elde edilen aktivite ve spesifik aktivite değerleri.....	73



Tablo 5.11: Dikili 091107011 no'lu numunenin 236522 saniye sayımı ile elde edilen aktivite ve spesifik aktivite değerleri.....	73
Tablo 5.12: Dikili 091107012 no'lu numunenin 102504 saniye sayımı ile elde edilen aktivite ve spesifik aktivite değerleri.....	74
Tablo 5.13: Kovanağzı 091107013 no'lu numunenin 294048 saniye sayımı ile elde edilen aktivite ve spesifik aktivite değerleri.....	74
Tablo 5.14: Kerpe 091107014 no'lu numunenin 337784 saniye sayımı ile elde edilen aktivite ve spesifik aktivite değerleri.....	75
Tablo 5.15: Uzunkum 100416015 no'lu numunenin 150309 saniye sayımı ile elde edilen aktivite ve spesifik aktivite değerleri.....	75
Tablo 5.16: Uzunkum 100416016 no'lu numunenin 104158 saniye sayımı ile elde edilen aktivite ve spesifik aktivite değerleri.....	76
Tablo 5.17: Uzunkum 100416017 no'lu numunenin 172921 saniye sayımı ile elde edilen aktivite ve spesifik aktivite değerleri.....	76
Tablo 5.18: Sarısu 100416018 no'lu numunenin 265218 saniye sayımı ile elde edilen aktivite ve spesifik aktivite değerleri.....	77
Tablo 5.19: Seyrek 100416019 no'lu numunenin 278918 saniye sayımı ile elde edilen aktivite ve spesifik aktivite değerleri.....	77
Tablo 5.20: Bağıranlı 100416020 no'lu numunenin 317228 saniye sayımı ile elde edilen aktivite ve spesifik aktivite değerleri.....	78
Tablo 5.21: Her sahil için hesaplanan spesifik aktivite değerleri. Spesifik aktivitenin en düşük ve en yüksek değerleri koyu renkle gösterilmiştir.....	78
Tablo 5.22: Farklı bölgelerde yapılmış çalışmalar ile bu çalışmanın spesifik aktivite değerleri.....	82
Tablo 5.23: Tüm sahiller için hesaplanan doz hızı, yıllık efektif doz, radyum eşdeğer aktivitesi ve harici radyasyon riski değerleri. Elde edilen en düşük ve en yüksek değerler koyu renkle gösterilmiştir.....	83

## SİMGELER DİZİNİ

A	Aktivite
$A_0$	Başlangıç radyoaktivitesi
E	Enerji
Th	Toryum
U	Uranyum
K	Potasyum
Cs	Sezyum
pH	Hidrojen iyonu yoğunluğu
TOM	Toplam organik madde miktarı
$CaCO_3$	Kalsiyum Karbonat
N	Nötron sayısı
Z	Atom numarası
I	İyot
N	Radyoaktif çekirdek sayısı
$\lambda$	Bozunma sabiti
$t_{1/2}$	Yarı ömür
$\tau$	Ortalama ömür
$t_{1/2 B}$	Biyolojik yarı ömür
$t_{1/2 \text{ etkin}}$	Etkin yarı ömür
$\alpha$	Alfa
$\beta$	Beta
$\gamma$	Gama
$e^-$	Elektron
$e^+$	Pozitron
n	Nötron
$\nu$	Nötrino
$\varepsilon$	Verim
p	Proton
$T_e$	Elektronun kinetik enerjisi
$E_\gamma$	Foton enerjisi
$B_e$	Elektronun bağlanma enerjisi
$K_\alpha$	Karakteristik X ışını
m	Kütle
c	Işık hızı
ADC	Analog dijital çevirici
MCA	Çok kanallı analizör
Ge	Germanyum
HPGe	Yüksek saflıkta Germanyum
FWHM	Pikin maksimum yarı tam genişliği
MeV	Milyon elektronvolt
keV	Kilo elektronvolt
$I_\gamma$	Fotonun yayınlanma olasılığı

SA	Spesifik aktivite
KN	Kanal numarası
s	Saniye
sa	Saat
dk	Dakika
y	Yıl
Te	Tellür
Xe	Ksenon
kg	Kilogram

# KOCAELİ İLİ KARADENİZ SAHİL KUMLARININ DOĞAL RADYAKTİVİTE SEVİYELERİNİN BELİRLENMESİ

Zeren KORKULU

**Anahtar Kelimeler:** Doğal radyonüklidler, sahil kumu,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  ve  $^{137}\text{Cs}$ , HPGe gama spektroskopisi, gama doz hızı, Kocaeli (Türkiye).

**Özet:** Kocaeli Karadeniz sahil kumlarındaki radyasyon riskini belirlemek ve aynı şekilde radyoaktivite seviyelerinin bir veritabanını oluşturmak amacı ile  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  radyonüklidlerinden dolayı var olan doğal radyoaktivite  $\gamma$ -ışın spektroskopisi ile ölçüldü. Ek olarak  $^{137}\text{Cs}$ 'den dolayı yapay radyoaktivite de belirlendi.

Farklı 10 sahilden toplam 20 adet kum numunesi toplandı ve % 25 verime sahip HPGe dedektörü kullanılarak sayım yapıldı. Sahil kum numunelerinin  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  içerikleri sırasıyla  $4,41 \pm 0,03 - 14,04 \pm 0,04$ ,  $2,62 \pm 0,02 - 16,55 \pm 0,03$  ve  $11,6 \pm 0,25 - 513,32 \pm 3,44$  Bq kg<sup>-1</sup> aralığında değişim göstermektedir. Kandıra sahil kum numunelerindeki  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$ 'dan dolayı havada toplam soğurulan gama doz hızı  $4,10 - 36,80$  nGy saat<sup>-1</sup> arasında değerler almaktadır. Kumların Ra eşdeğer aktivitesi ( $Ra_{eq}$ ) dünya ortalamasından düşük bulunmuştur.

Bu çalışmada incelenen numunelerin büyük bir kısmı oldukça düşük radyoaktivite seviyeleri göstermiştir. Bulunan radyoaktivite seviyeleri çevresel sağlık sorunu yaratmayacak düzeydedir.

## DETERMINATION OF NATURAL RADIOACTIVITY LEVELS OF BEACH SAND SAMPLES IN THE BLACK SEA COAST OF KOCAELİ

Zeren KORKULU

**Keywords:** Natural radionuclides, beach sand,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  and  $^{137}\text{Cs}$ , HPGe gamma spectroscopy, gama dose rate, Kocaeli (Turkey).

**Abstract:** The natural radioactivity due to the presence of  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  in sands of Kocaeli Black Sea beaches (Turkey) with the aim of estimating the radiation hazard as well as establishing a database for radioactivity levels has been measured by  $\gamma$ -ray spectroscopy. Additionally, the artificial radioactivity due to  $^{137}\text{Cs}$  levels have been determined.

A total of 20 sand samples of 10 different beaches were collected and counted using HPGe detector with an efficiency of 25 %. In collected samples,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  and  $^{40}\text{K}$  contents varied in the range of  $4,41 \pm 0,03 - 14,04 \pm 0,04$ ,  $2,62 \pm 0,02 - 16,55 \pm 0,03$  and  $11,6 \pm 0,3 - 513,3 \pm 3,4$  Bq kg<sup>-1</sup>, respectively. The total absorbed gamma dose rate in air due to the presence of  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  and  $^{40}\text{K}$  in Kandıra beach sand samples varied between  $4,10 - 36,80$  nGy saat<sup>-1</sup>. The Ra equivalent activities ( $Ra_{eq}$ ) of sands have been found lower than the world mean.

The majority of samples examined in this work showed fairly low levels of radioactivity. The found levels of radioactivity do not pose an environmental health problem.

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Dünya üzerinde yaşayan bütün canlılar yaşamları süresince, doğal ve yapay radyasyona maruz kalmaktadırlar. İnsanlar maruz kaldığı doğal radyasyon dozunun % 87'sini yer kabuğunda bulunan  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$  ve bu radyonüklidlerin bozunma ürünleri ile doğal radyonüklid olan  $^{40}\text{K}$ 'dan almaktadırlar [1]. İnsanların etkilendiği diğer doğal radyasyon kaynağı ise kozmik ışınlardır. İnsanların yaşadıkları çevre içinde maruz kaldıkları radyasyonun temel kaynağı doğal radyasyon olduğundan, doğal kaynaklardan alınan dozların yaşam üzerindeki etkisi ve oluşturacağı zararlar toplum sağlığı açısından önem taşımaktadır. Bu nedenle doğal radyoaktivite seviyelerinin özellikle insanların yoğun bir şekilde yaşadığı ve zaman geçirdiği bölgelerde belirlenmesi gerekir.

1895 yılına kadar insanlar sadece doğal radyasyona maruz kalıyorlardı. 1895 yılında X ışınlarının keşfi ve daha sonra nükleer denemeler ve nükleer reaktörler ile yapay radyonüklidler üretilmeye başlandı. Atom enerjisinin, hem savaşta silah olarak, hem de barışçıl amaçlarla kullanılmasındaki artışlar insanların yapay radyasyona da maruz kaldığı anlamına gelmektedir. Nükleer silahların, denemelerinin ve nükleer güç santrallerinde meydana gelen kazaların sebep olduğu radyoaktif serpinti (fallout) bir ülke veya pek çok ülke halkının hemen hepsinin potansiyel tehlikelere maruz kalmalarına yol açabilmektedir.

İyonlaştırıcı radyasyonların duyu organlarıyla doğrudan algılanması mümkün olmadığından, farkında olmadan ışınlanan insanlarda ciddi biyolojik hasarlara yol açabilirler. Bu sebeple iyonlaştırıcı radyasyonların nicel ölçümleri sağlayacak metodların bulunması gerekmiştir. İyonlaştırıcı radyasyonun algılanması ve ölçümleri dedektörler ile sağlanır. Bu ışınların tespiti için de birçok dedektör sistemi geliştirilmiştir [2].

Bu çalışmada; Kocaeli ili'nde bulunan 52 km kıyı şeridinde sahip Kandıra bölgesinden, 200 m'den fazla uzunluğa sahip ve halkın kullanma potansiyelinin yüksek olduğu 10 farklı sahilden kum örnekleri toplanmıştır. Toplanan numuneler için, doğal radyoaktif elementlerin ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$ ) ve Çernobil kaynaklı radyonüklid olan  $^{137}\text{Cs}$  elementinin gama spektroskopi yöntemiyle aktiviteleri Kocaeli Üniversitesi Nükleer Fizik Araştırma Laboratuvarında belirlenmiştir. Böylece Kocaeli ili Kandıra ilçesi sahil kumlarının, insan sağlığı ve çevre kirliliği açısından doğal radyasyon seviyesi incelenmiş ve belirlenmiştir. Ayrıca, incelenen kum numunelerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri de (boyut analizi, pH, organik madde miktarı ve  $\text{CaCO}_3$ ) belirlenmiştir.

Literatürde sahil kumlarının radyoaktivite seviyesi ile ilgili çalışmalara rastlamak mümkündür. Türkiye'de, Çeşme, Gökova, Marmaris, Turgutreis, ve Çanakkale (Ezine) [3-5], Türkiye dışında ise, Kalpakkam (Hindistan), Bangladeş, Brezilya, Libya, Camargue (Fransa), Kızıl Deniz (Mısır) bölgelerinin sahil kumlarının doğal radyasyon seviyeleri belirlenmiştir [6-18].

Fakat Türkiye'de Karadeniz bölgesinde sahil kumları ile yapılmış herhangi bir çalışma mevcut değildir. Bu açıdan, yapılan bu çalışma ile bu bölge için bir veri tabanı elde edildi. Ayrıca çevresel doğal radyasyon miktarının bilinmesi, herhangi bir olası nükleer kaza esnasında bu bölgenin hangi oranda kontamine olduğunun tespiti açısından da önem arz etmektedir. Bunların yanı sıra, bölgede yaşayan ve tatil yapmaya gelen insanların maruz kaldıkları doz hızları ve dış ışınlanma nedeniyle alması olası olan yıllık efektif gama radyasyon dozları belirlenmiştir. Ayrıca, radyum eşdeğer aktiviteleri ve harici radyasyon riskleri hesaplanmıştır.

Bu çalışmanın 2. Bölümü olan temel bilgiler kısmında, radyasyon kavramı ve iyonlaştırıcı radyasyon türleri ayrıntılı biçimde açıklanmıştır. Doğal ve yapay radyasyon kaynaklarına değinilip, incelediğimiz gama radyasyonunun madde ile etkileşimlerinden bahsedilmiştir.

Bölüm 3'de, gama radyasyonunun belirlenmesinde kullanılan gama spektroskopi sisteminin düzeneği anlatılıp, deneyde kullanılan sistemin özelliklerinden

bahsedilmiştir. Elde edilen verilerin analizi için yapılması gereken çalışmalar açıklanmıştır.

Bölüm 4’de, çalışmanın yapıldığı bölge tanıtılıp, radyasyon ölçümü yapılan numunelerin toplanıp sayıma hazır hale getirilmesi ve numunelerin fiziksel kimyasal özelliklerinin belirlenmesi anlatılmıştır. Daha sonra numunelerin sayımları ve hesaplamalarından bahsedilmiştir.

Son bölüm olan 5. Bölümde ise elde edilen sonuçlar verilmiş ve değerlendirilmesi yapılmıştır.



## BÖLÜM 2. TEMEL BİLGİLER

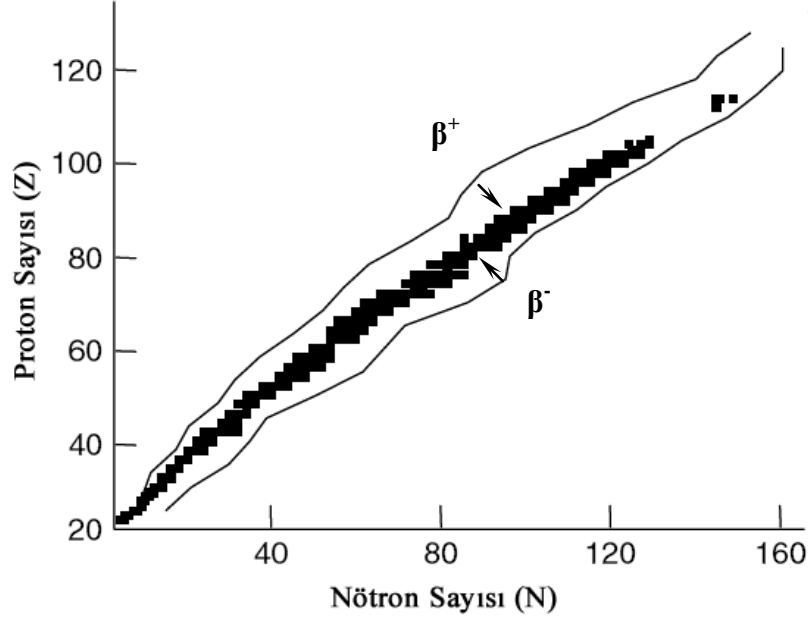
### 2.1. Radyoaktivite

Radyoaktivite, 1896'da Henri Becquerel tarafından keşfedilmiştir. Bu buluşta, 1895 yılında keşfedilmiş olan X-ışınlarının büyük rolü olmuştur. Becquerel, uranyumun bazı tuzlarının kendiliğinden, girici radyasyonları yayınladığını görmüş ve bu olaya "radyoaktivite" adı verilmiştir. Daha sonra Curie'ler doğal olarak bulunan radyum ve polonyum elementlerinin de radyoaktif olduğunu göstermişler ve 1934'de Curie ve Joliot önceleri kararlı olan elementleri radyoaktif hale getirmenin mümkün olduğunu keşfetmişler ve bu olaya da "yapay radyoaktivite" adı verilmiştir. Özellikle 1934 yılında fisyon olayının keşfinden sonra pek çok yapay radyoaktif madde üretilmiştir.

Radyoaktif olarak bilinen atomların çekirdeği kararsız olduklarından radyoaktivite özelliğine sahiptirler. Nötron ve proton sayılarına göre kararlı ve kararsız çekirdeklerin dağılım grafiğine (izotop tablosu) bakılırsa, kararsız çekirdeklerin kararlı çekirdeklerin oluşturduğu kararlılık eğrisinin her iki yanında toplandıkları görülür (Şekil 2.1). Hafif elementlerin kararlı izotoplarında nötron sayısı proton sayısına eşittir ( $N=Z$ ). Proton sayısı arttıkça protonlar arası elektrostatik itme kuvvetleri nükleonlar arası çekim kuvvetlerine üstün gelir ve  $N=Z$  olan çekirdekler kararsız olur. Atom numarası 82'den büyük olan çekirdeklerin çoğu kararsızdır. Kararsız çekirdeklerin kararsızlıklarının nedeni üç grupta sınıflandırılabilir; 1) nötron fazlalığı 2) nötron azlığı (proton fazlalığı) 3) hem nötron hem de proton fazlalığı olan çekirdekler.

Kararsız çekirdekler parçalanır ve parçalanma sonucu yeni bir çekirdek oluşur. Radyasyon yayınlarken çekirdeğin uğradığı bu değişikliğe bozunma olayı adı verilir. İlk bozunma sonucu oluşan yeni çekirdeğe 1. ürün (daughter product) denir.

Oluşan 1. ürün de kararsız bir çekirdek olabilir ve parçalanarak radyasyon yayınlr. Bu parçalanma ile 1. ürün yeni bir çekirdeğe dönüşürse buna da 2. ürün denir. Sonuç olarak bir kararsız çekirdek, kararlı çekirdek haline gelinceye kadar bir seri bozunuma uğrar. Böylece meydana gelen seriye 'Bozunma Serisi' veya 'Bozunma Zinciri' denir.



Şekil 2.1: Kararlılık Eğrisi: kararlı çekirdeklerin gösterildiği izotop tablosu [22].

## 2.2. Radyoaktif Bozunma Kanunu

Radyoaktif bir maddenin içerdiği radyonüklidlerin çekirdeğinin parçalanması tesadüfidir, herhangi birinin ne zaman parçalanacağı belirsizdir. Ancak, bir radyonüklidin zaman biriminde parçalanma olasılığı ( buna bozunma sabiti denir ve  $\lambda$  ile gösterilir ) bellidir. Her radyonüklidin kendine ait bir bozunma sabiti vardır. Maddeyi oluşturan aynı cins radyonüklid topluluğu içerisinde bazılarını hemen, bazılarını uzun bir süre sonra bozunabilir. Örneğin, <sup>131</sup>I radyonüklidini bir çekirdeğinin her saniyede bozunma şansı milyonda birdir. Eğer, bir milyon radyoaktif iyot atomu varsa her birinin çekirdeği milyonda bir bozunma ihtimali dolayısıyla her saniyede yaklaşık biri bozunacak, sonraki saniyede belki hiçbiri, daha sonra belki iki ya da üç atom bozunabilecektir. Bu nedenle belirli bir zaman aralığında bozunmaya uğrayan radyoaktif atom sayısı istatistiksel bir dağılım göstermektedir ve radyoaktif bozunma

hızı veya radyoaktivitenin zamanla değişimi olasılık yasalarıyla hesaplanabilmektedir.

Bir radyoaktif örnekte, verilen bir dt zaman aralığında bozunan çekirdek sayısı dN, t anında var olan radyoaktif çekirdek sayısı N ile orantılıdır.

$$dN = -\lambda N dt \quad (2.1)$$

Burada orantı katsayısı  $\lambda$ ,

$$\lambda = \frac{(dN / dt)}{N} \quad (2.2)$$

ile verilir ve bozunma sabitidir. Diferansiyel denklem çözümlerse,

$$\int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = - \int_0^t \lambda dt \quad (2.3)$$

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2.4)$$

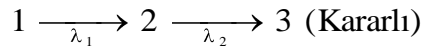
elde edilir. Burada  $N_0$ ,  $t = 0$  anındaki radyoaktif çekirdek sayısı,  $N(t)$  ise t anındaki radyoaktif çekirdek sayısıdır. Bu bağıntıya göre kalan çekirdekler eksponansiyel olarak azalmaktadır. Bu formüle benzer şekilde uygun birimler kullanılarak aktivite formülü yazılabilir. Bir radyoaktif elementin birim zamanda bozulan çekirdek sayısına aktivite denir ve

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \quad (2.5)$$

formülü ile hesaplanır. Burada  $A_0$ , başlangıç anındaki aktivite (mCi), A ise t zamanındaki aktivitedir. Aktivite, herhangi bir radyoaktif numunenin saniyedeki bozunma sayısını verir. Radyasyonun türü ve enerjisi hakkında bir bilgi vermez [19].

### 2.3. Zincirleme Radyoaktif Bozunma

Zincirleme radyoaktif bozunma, ürün çekirdeğinde radyoaktif olduğu ve bir başka çekirdeğe bozunduğu durumdur. Örnek olarak belirtilen zincirleme radyoaktif bozunmada 1. radyoaktif çekirdek bozunma uğrayarak 2. radyoaktif çekirdeği oluşturur ve bu 2. radyoaktif çekirdek de bozularak kararlı bir çekirdek olan 3. çekirdeği oluşturur.



radyoaktif çekirdeklerin t anındaki radyoaktif bozunma denklemleri,

$$\frac{dN_1}{dt} = -\lambda_1 N_1 \quad (2.6)$$

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2 \quad (2.7)$$

$$\frac{dN_3}{dt} = \lambda_2 N_2 \quad (2.8)$$

ile verilir.

t = 0 anında, 1. çekirdeğin sayısı  $N_{10}$ , 2. çekirdeğin sayısı  $N_{20}$  ve 3. çekirdeğin sayısı  $N_{30}$  ise,

$$N_1(0) = N_{10} \quad (2.9)$$

$$N_2(0) = N_{20} \quad (2.10)$$

$$N_3(0) = N_{30} \quad (2.11)$$

denklemleri de kullanılarak, (2.6), (2.7) ve (2.8) diferansiyel denklemleri çözülürse,

$$N_1(t) = N_{10} e^{-\lambda_1 t} \quad (2.12)$$

$$N_2(t) = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) + N_{20} e^{-\lambda_2 t} \quad (2.13)$$

$$N_3(t) = \frac{N_{10}}{(\lambda_2 - \lambda_1)} (\lambda_1 e^{-\lambda_2 t} - \lambda_2 e^{-\lambda_1 t}) - N_{20} e^{-\lambda_2 t} + N_{30} + N_{20} + N_{10} \quad (2.14)$$

elde edilir [23].

### 2.3.1. Özel durum (kalıcı denge)

Bir radyoaktif çekirdek için birim zamanda parçalanma olasılığı veya parçalanma sabiti  $\lambda$  ve herhangi bir andaki çekirdek sayısı  $N$  ise radyoaktiflik  $\lambda N$  olarak verilir. Radyoaktif bozunumun özel bir durumu olan kalıcı denge, ana çekirdeğin yarı ömrünün ürün çekirdeğin yarı ömrüne kıyasla çok büyük olduğu durumda meydana gelir ( $\lambda_1 \ll \lambda_2$ ). Bu durum için pratikte uygulanabilir tüm zamanlar için  $e^{-\lambda_1 t} \approx 1$  olur, ve (2.13) denklemi

$$N_2(t) = N_{10} \frac{\lambda_1}{\lambda_2} (1 - e^{-\lambda_2 t}) \quad (2.15)$$

şekline dönüşür. Belli bir süre sonra (2.15) denklemdeki  $e^{-\lambda_2 t}$  terimi sıfıra yaklaşacaktır. Bu durumda 2 numaralı ürün çekirdeğinin aktivitesi  $A_2$  limit değer olan  $\lambda_1 N_{10}$ 'a yaklaşır.

$$N_2(t) = N_{10} \frac{\lambda_1}{\lambda_2} (1 - 0) \quad (2.16)$$

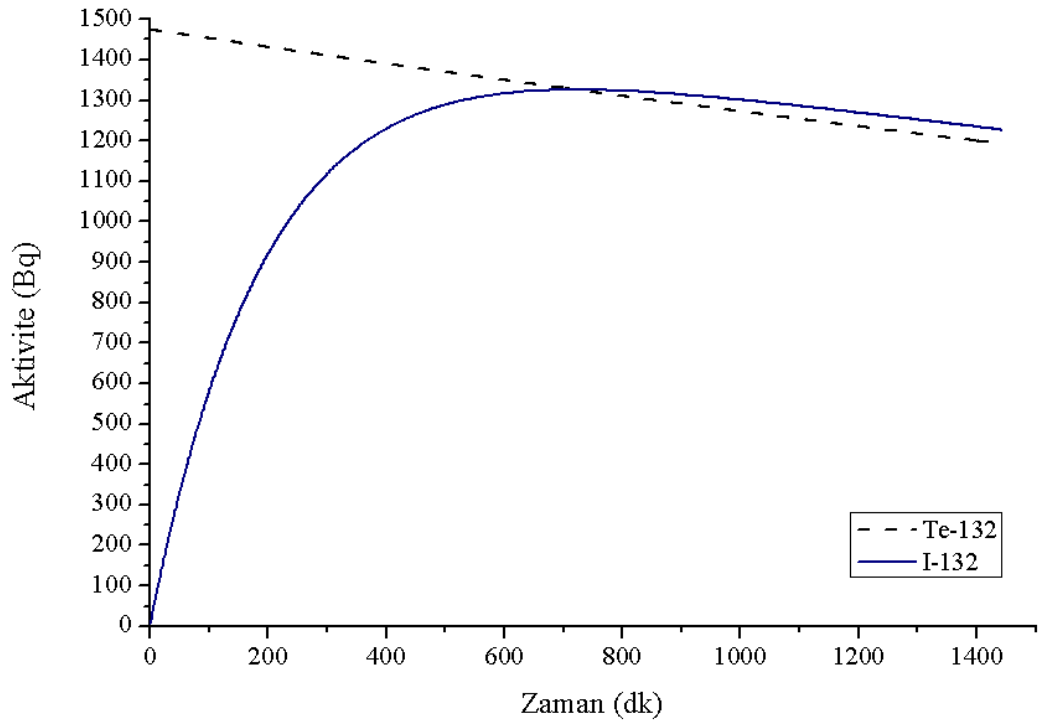
$$\lambda_2 N_2 = \lambda_1 N_{10} \quad (2.17)$$

elde edilir.

Aynı şekilde kalıcı denge için, (2.7) denkleminde  $dN_2 / dt = 0$  sifıra yaklaştığı için

$$\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2 \quad (2.18)$$

şeklinde de yazılabilir. Belli bir süre sonra ana ve ürün çekirdeğinin aktiviteleri birbirine eşitlenir ve birlikte yaklaşık aynı bozunma sabiti ile bozunurlar. Şekil 2.2'de kalıcı dengeye örnek bir grafik gösterilmiştir [23].



Şekil 2.2:  $^{132}\text{Te}$  (78 saat)  $\rightarrow$   $^{132}\text{I}$  (2,28 saat)  $\rightarrow$   $^{132}\text{Xe}$  zincirleme bozunmasında,  $^{132}\text{Te}$  ve  $^{132}\text{I}$  aktivitesinin zamanla değişimi.

#### 2.4. Yarı Ömür ( $t_{1/2}$ ) ve Ortalama Ömür ( $\tau$ )

Yarı ömür yada radyoaktif yarı ömür ( $t_{1/2}$ ), bir radyoaktif maddenin başlangıçtaki sayısının yarıya inmesi için geçen zamandır. Bu yarı ömre aynı zamanda fiziksel yarı ömür de denir. Yarı ömür, belli bir süre sonra radyoaktif maddenin geriye kalan kısmının kolay ve pratik bir şekilde hesaplanabilmesini sağlar. Bir yarı ömürden

sonra radyoaktif maddenin yarısı kalır, bunu takiben 2. yarı ömür sonunda başlangıçtaki dördte biri, 3. yarı ömürden sonra başlangıçtaki sekizde biri kalır ve böylece devam eder. Netice olarak, verilen bir süre sonunda ne kadar radyoaktif madde kaldığını bulmak için bu süre içinde kaç yarı ömür geçtiği hesaplanarak kolayca bulunur.

Başlangıçtaki radyoaktif çekirdek sayısı  $N_0$  olsun ve yarıya indiği süreyi bulmak için denklem (2.4)'de yerine koyarsak,

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda t_{1/2}} \quad (2.19)$$

$$\frac{1}{2} = e^{-\lambda t_{1/2}} \quad (2.20)$$

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda} \quad (2.21)$$

yarı ömür  $t_{1/2}$  elde edilir.

Herhangi bir radyoaktif çekirdeğin bozunmadan geçirebileceği ortalama süre ortalama ömür ( $\tau$ ) olarak adlandırılır ve

$$\tau = \frac{1}{\lambda} \quad (2.22)$$

ile ifade edilir.

## 2.5. Biyolojik Yarı Ömür ( $t_{1/2B}$ )

Solunum veya sindirim sistemi yoluyla yada damardan enjeksiyonla vücut içine alınan bir radyoaktif maddenin, alınan miktarın yarısının vücut dışına atılması için geçen zamana biyolojik yarı ömür ( $t_{1/2B}$ ) denir. Vücut içerisine alınabilen her radyoaktif maddenin belirli bir biyolojik yarı ömrü vardır [19].

## 2.6. Etkin Yarı Ömür ( $t_{1/2}$ etkin)

Efektif yarı ömür ( $t_{1/2}$  etkin), radyoaktif maddenin vücutta etkili olduğu süredir. Bir radyoaktif maddenin fiziksel yarı ömrünün tersi ile biyolojik yarı ömrünün tersleri toplamı etkin yarı ömrünün tersini verir [19]. Yani,

$$\frac{1}{t_{1/2\text{etkin}}} = \frac{1}{t_{1/2}} + \frac{1}{t_{1/2B}} \quad (2.23)$$

denklemleri ile verilir.

## 2.7. Radyoaktivite ve Radyasyon Doz Birimleri

### 2.7.1. Aktivite birimi

Herhangi bir radyoaktif örneğin radyoaktivitesini tanımlamak için en uygun birim, bozunma / s' dir. Diğer bir kullanışlı birim, 1 gram Radium'un aktivitesidir ve bu aktivite 1 Curie olarak tanımlanır. Ci sembolü ile gösterilir. Ci'nin binde birine mCi (miliküri), milyonda birine  $\mu$ Ci (mikroküri) adı verilir. Araştırma ve klinik tetkiklerde kullanılan radyoaktivite miktarı  $\mu$ Ci, tedavide ise mCi seviyesindedir [20].

### 2.7.2. Soğurulma doz birimi

İyonlaştırıcı radyasyonun soğurulma dozu birim kütlede maddeye verilen enerji miktarıdır. Soğurulma doz birimi Rad, ışınlanan maddenin 1 kg'ına  $10^{-2}$  joule'lük enerji veren radyasyon miktarıdır. Bu doz birimi sadece soğurulan enerji miktarını gösteren fakat hem parçacık hem de foton özellikli radyasyonlara uygulanabilen bir büyüklük olup radyasyon demeti ile birlikte soğurucu maddenin de özelliğini gösterir.

SI birimleri sisteminde soğurulma doz birimi olarak Gray (Gy) tanımlanmış ve 1 Gy ışınlanan maddenin 1 kg'ına 1 joule'lük enerji veren radyasyon miktarıdır [20].



### **2.7.3. Biyolojik (eşdeğer) doz**

İyonlaştırıcı radyasyonların zararlı biyolojik etkilerini ölçmek için klasik sistemde; röntgen equivalent man kelimelerin ilk harflerinden oluşan 'rem' birimi kullanılmaktadır. Farklı radyasyonlar biyolojik materyallerde farklı biyolojik etkiye neden olur. Türlü radyasyonların herhangi bir rem dozu aynı radyobiolojik etkiyi sağlar. Biyolojik doz birimi olan rem 1 Röntgenlik X ve  $\gamma$  ışınının meydana getirdiği aynı biyolojik etkiyi meydana getiren herhangi bir radyasyon miktarıdır.

SI birimler sisteminde doz eşdeğer birimi joule / kg olup bunun özel adı Sievert (Sv) dir ve 1 Sv, 1 Gy'lik X ve  $\gamma$  ışını ile aynı biyolojik etkiyi meydana getiren herhangi bir radyasyon miktarı olarak tanımlanmıştır [20].

### **2.7.4. Işınlanma doz birimi**

X veya  $\gamma$  ışınlarının havada oluşturdukları iyonizasyon etkilerini ölçmede kullanılır. Işınlanma birimi Röntgen, normal hava şartlarında (0 °C ve 760 mm Hg basıncı) havanın 1 kg'ında  $2,58 \times 10^{-4}$  Coulomb'luk elektrik yükü değerinde + ve – iyonlar oluşturan X ve  $\gamma$  ışınları için geçerlidir.

SI birimlerinde ışınlanma birimi olarak Röntgen eşdeğeri karşılığının Coulomb / kg normal hava şartlarında (0 °C ve 760 Hg basıncı) havanın 1 kg'ında 1 Coulomb'luk elektrik yükü değerinde + ve – iyonlar oluşturan ve  $\gamma$  radyasyon miktarıdır.

Tablo 2.1'de Radyoaktivite ve radyasyon doz birimleri ve birim dönüşümleri gösterilmektedir [20].

Tablo 2.1: Radyasyon Birim Dönüşümleri.

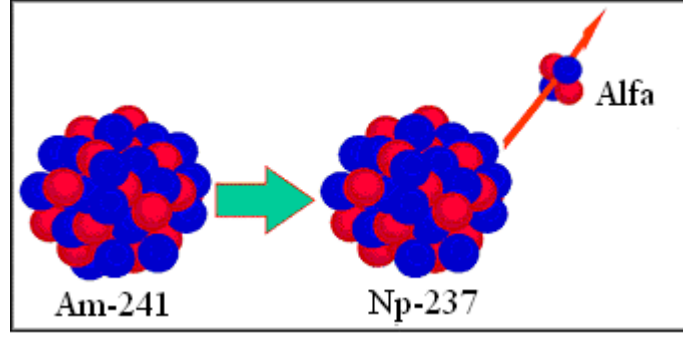
Büyüklik	SI Birimi	Özel Birim	Dönüşüm
Aktivite	Bq	Ci	1Bq = 27,03 x 10 <sup>-12</sup> Ci 1 Ci = 3,7 x 10 <sup>10</sup> Bq
Soğurulma	Gy J / kg	Rad	1 Gy = 100 rad 1 rad = 10 <sup>-2</sup> Gy
Doz Eşdeğeri	Sv J / kg	Rem	1Sv = 100 rem 1 rem = 10 <sup>-2</sup> Sv
Işınlanma	C / kg	R	1 C / kg = 3,876 x 10 <sup>3</sup> R 1 R = 2,58 x 10 <sup>-4</sup> C / kg

## 2.8. İyonlaştırıcı Radyasyonlar

Bir atomun elektronlarından biri veya birkaçının atomdan tamamen koparılması için bir dış etkenin olması gerekir. İşte bir dış etkenle atomun elektronlarından bir veya birkaç tanesinin koparılmasıyla meydana gelen olaya ‘iyonlaşma’ denir. Bu olay atomlarda olduğu gibi moleküllerde de meydana gelebilir ve sonuçta pozitif yüklü moleküller ile serbest elektronlar meydana gelir. Böylece meydana gelen pozitif yüklü atom veya moleküllerle, negatif serbest elektronlara ‘iyon’ adı verilir. Alfa, beta, nötron radyasyonları ve elektromanyetik radyasyonlardan gama ve X- ışınları, içerisinden geçtikleri ortamlarda iyon meydana getirdikleri için ‘iyonlaştırıcı radyasyonlar’ adını alırlar [19].

### 2.8.1. Alfa ( $\alpha$ ) bozunması

Çekirdeğin kararsızlığı hem proton, hem nötron fazlalığından ileri geliyorsa, çekirdek iki proton ve iki nötrondan oluşan bir helyum çekirdeği fırlatır. Böylece bozunan atomun numarası 2, kütle sayısı ise 4 azalır. Alfa bozunumu örneği Şekil 2.3’de gösterilmiştir.



Şekil 2.3: Alfa bozunum örneği.

Bozunum ise ;



şeklinde yazılır.

İyonlaştırıcı radyasyonun içinden geçtiği maddede takip ettiği yolun her bir birim uzunluğunda aktardığı enerji miktarına ‘lineer enerji transferi’ adı verilir. Pozitif yüklü alfa radyasyonu manyetik alanda sapmaya uğrar. Pozitif iki (+2) yüklü Çift yükü ve ağır kütlesi nedeniyle iyonizasyon yeteneği ve lineer enerji transferi (LET) oldukça fazladır. Alfaların enerjileri 4 ile 10 MeV arasında değişim gösterir. Bu özelliklerinden dolayı hava içerisinde 6-7 cm’den fazla gidemez, enerjisini rastladıkları atomları iyonlaştırmak için kullanırlar [20].

### 2.8.2. Beta bozunumu

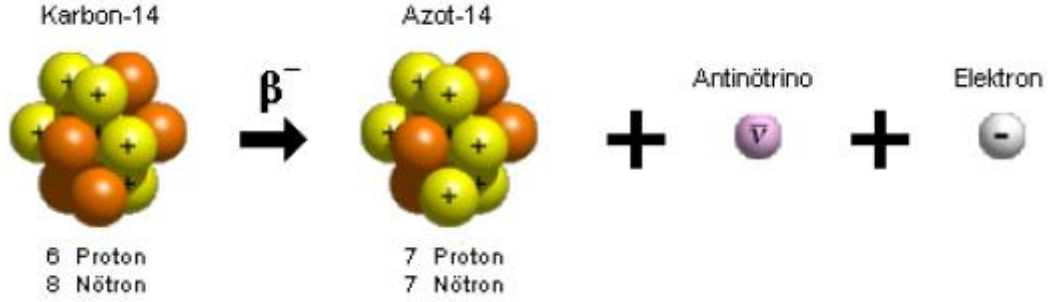
Beta bozunumunun üç farklı türü vardır. Bunlar:

a)  $\beta^-$  bozunumu;

Radyonüklidin kararsızlığı nötron fazlalığından ileri geliyorsa, çekirdeğindeki enerji fazlalığını gidermek için nötronlardan birini proton ve elektron haline dönüştürür:



Proton çekirdekte kalır, elektron atomdan hızla dışarı atılır. Bu yüksek hızlı elektrona beta parçacığı ( $\beta^-$ ) adı verilir. Bu şekilde beta yayınlayan radyonüklidin atom numarası bir artarak kendinden bir sonraki elementin izobar atomuna dönüşür (Şekil 2.4).



Şekil 2.4: Beta ( $\beta^-$ ) bozunum örneği,  $^{14}\text{C} \rightarrow ^{14}\text{N} + e^- + \bar{\nu}$ .

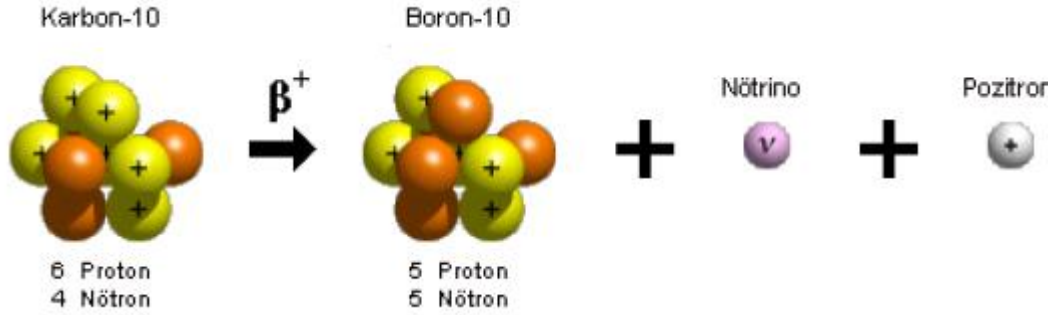
Beta parçacığı yüksek hızlı bir elektrondur ve hafif bir parçacık olduğundan alfa parçacığıyla karşılaştırıldığında iyonizasyon yeteneği daha azdır. Bu nedenle giricilik gücü alfa radyasyonuna göre yaklaşık yüz kez daha azdır. Beta parçacığının iyonizasyon olayı bütün kinetik enerjisini kaybedinceye kadar devam eder, ve sonunda pozitif yüklü bir iyonla birleşerek nötr bir atom meydana getirebilir yada serbest elektron olabilir. Alfa radyasyonu ince bir kağıt tarafından tamamen durdurulurken, beta parçacığını durdurmak için 2-3 santimetre kalınlığında alüminyum parçası gereklidir. Enerjisi 2,3 MeV olan beta radyasyonunun menzili, havada 8,8 m, yumuşak dokuda 11 mm'dir [20,21].

b)  $\beta^+$  bozunumu

Radyonüklidin kararsızlığı nötron azlığından (veya proton fazlalığından) ileri geliyorsa; protonlardan biri nötron ve pozitif yüklü elektrona (pozitron) dönüşür.



Nötron çekirdekte kalır, pozitron dışarı fırlatılır. Böylece pozitron yayınlayan radyonüklidin proton sayısı (atom numarası) bir azalır, fakat kütle sayısı değişmez (Şekil 2.5).



Şekil 2.5: Beta ( $\beta^+$ ) bozunum örneği,  $^{10}\text{C} \rightarrow ^{10}\text{B} + e^+ + \nu$ .

Bu reaksiyonda kinetik enerjiyle atomdan salınan pozitron serbest kalamaz ve ortamdaki bir elektronla birleşerek yok olur ve sonuçta iki foton meydana gelir.



Bu fotonlara yok olma (anilasyon) radyasyonu denir.

Yüksek hıza sahip pozitif yüklü elektron yani pozitronun iyonizasyon yeteneği ve menzili aynı enerjili beta parçacığı ile benzerdir [20].

### c) Elektron yakalama ( $\epsilon$ )

Çekirdek proton fazlalığından dolayı kararsız ise, atomun çekirdeğe yakın yörüngelerinden (K, L) ait elektronlar hareketleri sırasında çekirdek tarafından yakalanır. Elektronla birleşen proton, nötron ve nötrino haline



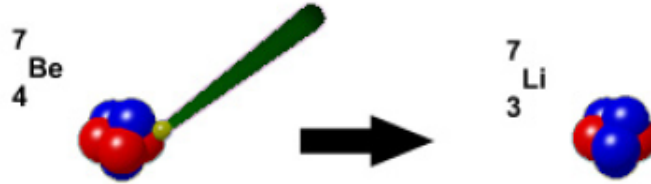
dönüşür, ancak bu sefer çekirdekten parçacık salınmaz.

Pozitron bozunmasında olduğu gibi çekirdekdeki proton sayısı bir eksilir, A sayısı aynı kalır. Pozitron bozunumuna örnek bir reaksiyon,



verilebilir.

Bu olayda boşalan elektronun yörüngesine üst yörüngelerden başka bir elektronun geçmesiyle bremsstrahlung (frenleme) radyasyonu adı verilen X ışınları yayınlanır (Şekil 2.6).



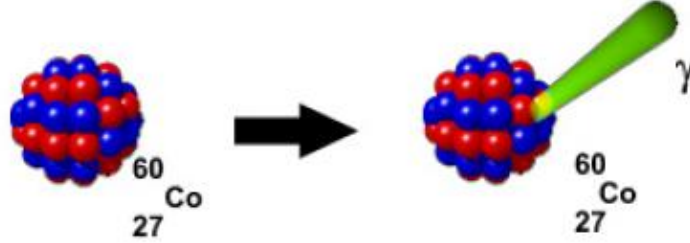
Şekil 2.6: Elektron yakalama ( $\epsilon$ ) örneği,  ${}^7\text{Be} + e^{-} \rightarrow {}^7\text{Li}$ .

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

Çekirdekdeki enerji fazlalığı dolayısıyla ve beta veya başka bozunma olayı ile radyasyon yayınladıktan sonra çok defa hemen kararlı (temel enerji seviyesi) duruma geçemez, bozunmadan oluşan çekirdek uyarılmış durumda kalır. Kararlı duruma geçiş yapmak için elektromanyetik özellikte olan bir gama ( $\gamma$ ) radyasyonu yayınlar. Bu şekilde bozunan kararsız çekirdeğin Z ve A sayılarında bir değişme olmaz, bu nedenle izomerik bozunma adı verilir (Şekil 2.7).

Kısa dalga boylu elektromanyetik dalga tabiatında olan bu ışınımın elektriksel yükü ve kütlesi olmadığı için hava ve dokuda menzil uzaklıkları çok fazladır. Elektrik ve manyetik alanda sapmazlar. Enerji spektrumları kesiklidir. Gama radyasyonu direkt olarak iyonizasyon izi oluşturmazlar. Ancak, enerjilerini karşılaştığı atomun elektronuna çeşitli yollardan (fotoelektrik, compton olaylarıyla) transfer eder ve bu elektron sekonder (ikincil) radyasyona neden olur. Gama radyasyonu

elektromanyetik dalgaların tüm fiziksel özelliklerine sahiptir. Gama radyasyonunun giricilik gücü alfa parçacığına göre yüz kat daha fazladır [20].



Şekil 2.7: Gama bozunum örneği.

Gama ışınları gibi X ışınları da elektromanyetik radyasyona bir örnektir. Fakat oluşum şekilleri birbirinden farklıdır. X ışınları, hızlandırılmış elektronların ani durdurulmasıyla veya bir atomun yörünge elektronları arasında seviye değişikliğinden meydana gelir [20].

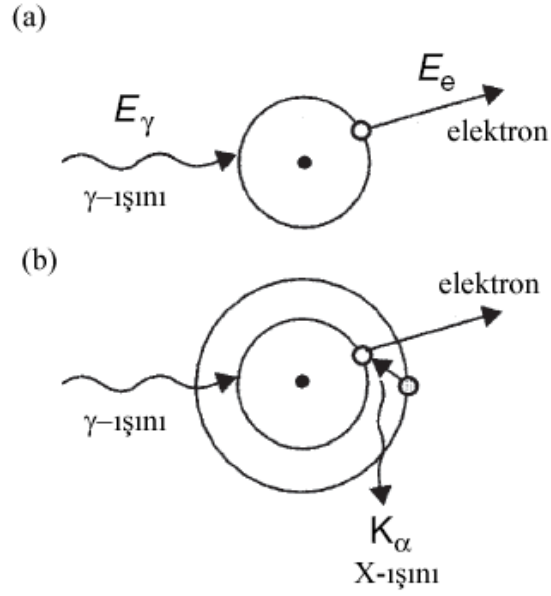
## 2.9. Gama Radyasyonunun Madde İle Etkileşimi

Gama ve X ışınları madde ile temelde üç şekilde etkileşir: fotoelektrik olay, Compton saçılması ve çift oluşumu.

### 2.9.1. Fotoelektrik olay

Düşük enerjili ( $\approx 100$  keV) fotonlar için en önemli enerji kaybı fotoelektrik olaydır. Fotoelektrik olayda düşük enerjili foton, etkileştiği atomun bağlı elektronlarından birine enerjisinin tümünü vererek salınmasına neden olur. Salınan bu elektrona fotoelektron denir (Şekil 2.8(a)). Elektronun kinetik enerjisi ( $T_e$ ), fotonun enerjisi ( $E_\gamma$ ) ile elektronun bağlanma enerjisinin ( $B_e$ ) farkına eşittir:

$$T_e = E_\gamma - B_e \quad (2.30)$$



Şekil 2.8: (a) Fotoelektrik olay örneği ve (b) Karakteristik X ışını yayınlanması örneği [21].

Gelen gama enerjisi atom elektronlarından biriyle etkileşime girerek, elektronu atom dışına fırlatılmasına neden olur. Yörüngedeki boşalan elektronun yeri bir üst yörüngeden bir elektronla doldurulur ve karakteristik X ışını ( $K_\alpha$ ) yayınlanması gözlenir (Şekil 2.8(b)).

Fotonun enerjisi büyüdükçe fotoelektrik olayın olma olasılığı azalır. Fotonun enerjisi elektronun bağlanma enerjisinden biraz yüksek olduğunda bu olayın olma olasılığı ise en yüksektir. Ayrıca etkileştiği maddenin atom numarası büyüdükçe bu olayın olma olasılığı da artar [20,23].

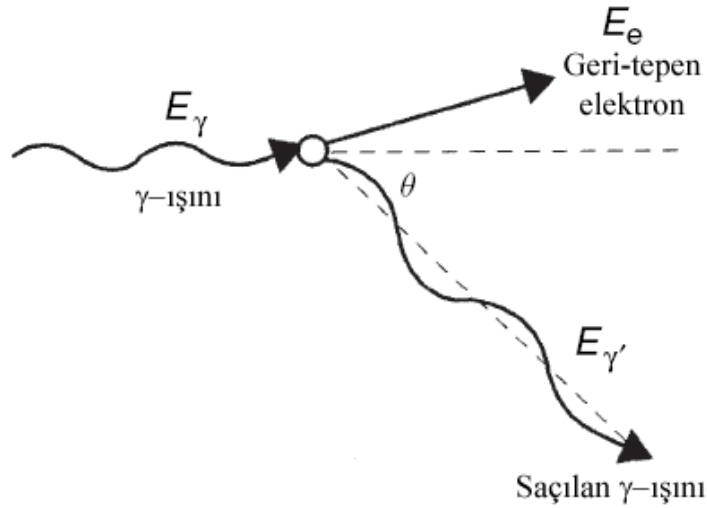
### 2.9.2. Compton saçılması

Compton saçılmasında foton, atomun hemen hemen serbest olan elektronu tarafından saçılır ve daha küçük enerjili foton ve foton tarafından kaybedilen enerjiyi taşıyan saçılmış bir elektronla sonuçlanır. Şekil 2.9'da işlemin şematik şekli görülmektedir. Fotonun çarptığı elektronun serbest ve durgun olduğunu kabul edersek (iyi bir yaklaşımla, foton enerjisi gevşek bağlı dış atomik elektronların yörüngesel enerjileri ile karşılaştırıldığında genellikle büyüktür) lineer momentum ve toplam enerjinin korunumu kullanılarak,



$$E'_\gamma = \frac{E_\gamma}{1 + (E_\gamma / mc^2)(1 - \cos\theta)} \quad (2.31)$$

Compton denklemi elde edilir [23].



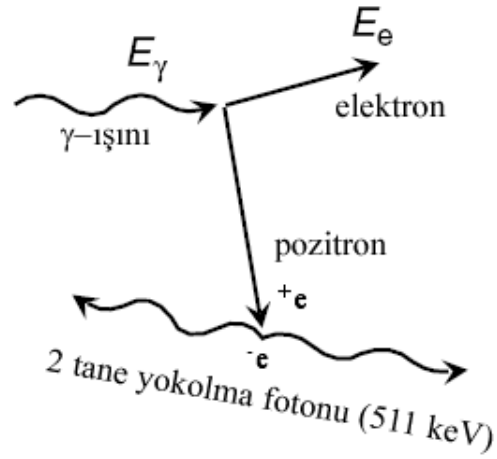
Şekil 2.9: Compton Saçılması örneği [22].

### 2.9.3. Çift oluşumu

Fotonların maddeyle etkileşmesinin üçüncü şekli çift oluşumdur. Bu etkileşimde foton, elektron-pozitron çifti üretir ve kendisi yok olur (Şekil 2.10). Enerjinin korunumu,

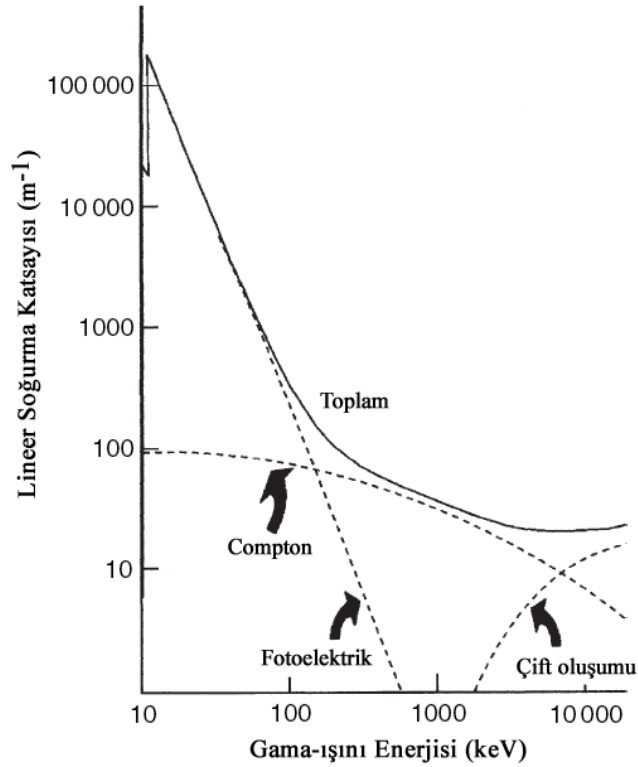
$$E_\gamma = T_+ + mc^2 + T_- + mc^2 \quad (2.32)$$

denklemini verir. Burada,  $T_+$  ve  $T_-$  pozitron ve elektronun kinetik enerjileridir. Fotoelektrik soğurmada olduğu gibi, bu işlemde de momentum korunumu için ağır bir atomun varlığı gereklidir. Fakat, atoma verilen geri tepme enerjisi denklem (2.34)'deki terimlerle karşılaştırıldığında ihmal edilebilir düzeydedir.



Şekil 2.10: Çift oluşumu örneği [22].

Bu işlem için  $2 mc^2$  veya  $1,022 \text{ MeV}$ 'lik bir eşik enerjinin gerekli olduğu açıktır. Genelde çift oluşumu sadece yüksek enerjili fotonlar için önem kazanmaktadır. Şekil 2.11, çift oluşumunun, diğer iki etkileşme türüne göre önemini vurgulamaktadır; çift oluşumu  $5 \text{ MeV}$ 'in üstündeki enerjiler için baskın hale gelmektedir [23].



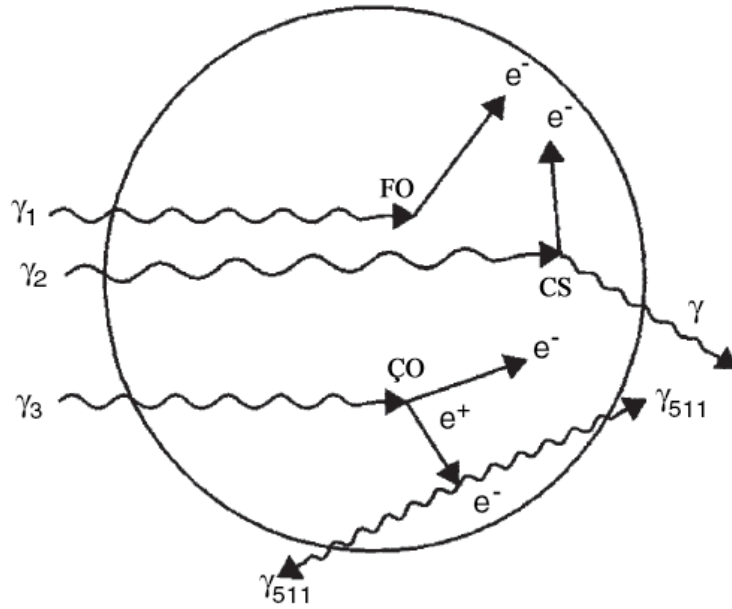
Şekil 2.11: Gama etkileşme türleri ve bunların baskın olduğu bölgeler [22].

Bir fotonun yok olması için birim uzunluk başına toplam olasılık,  $\mu$ , toplam lineer inceltme katsayısı olarak adlandırılır. Fotoelektrik soğurma ( $\tau$ ), Compton saçılması ( $\sigma$ ) ve çift oluşum ( $\kappa$ ) olasılıkların toplamı:

$$\mu = \tau + \sigma + \kappa \quad (2.33)$$

olarak yazılır.

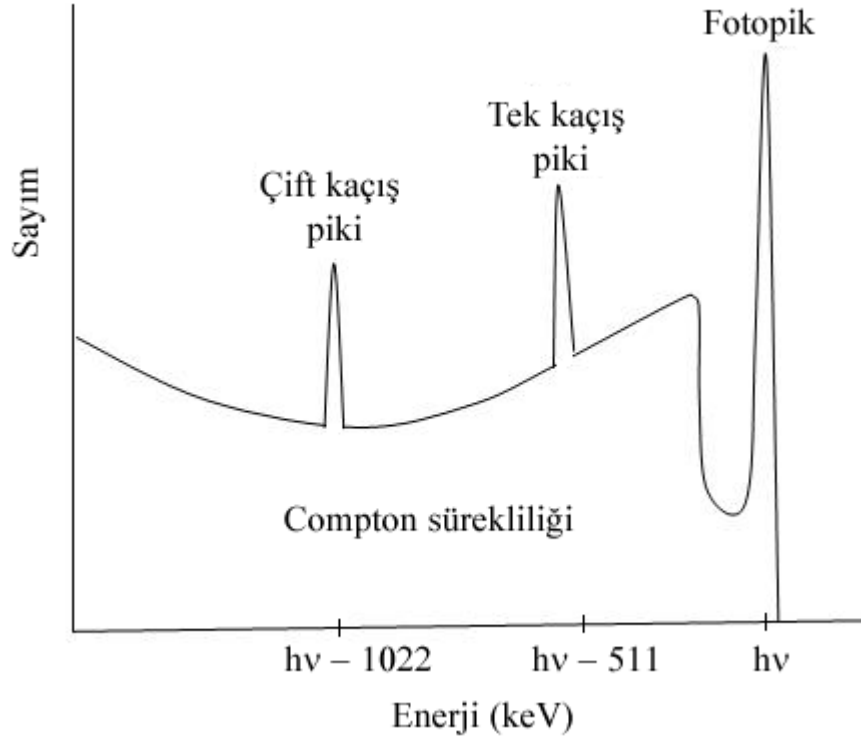
Dedektöre gelen gamanın enerjisi, dedektör kristali ile fotoelektrik olay, Compton saçılması ve çift oluşumu yaparak enerjisini kaybeder (Şekil 2.12).



Şekil 2.12: Dedektöre gelen gamaların kristal ile etkileşimi: FO fotoelektrik olay, CS Compton saçılması ve ÇO çift oluşumu [22].

Dedektör kristaline gelen gama; Fotoelektrik soğurma yaparak enerjisini direk dedektöre verebilir ( $\gamma_1$ ). Compton saçılmasına uğrayabilir ( $\gamma_2$ ) ve enerjisinin tamamını kaybetmeden dedektörü terk edebilir. Eğer kristale gelen gama ışınlarının enerjileri yüksek ise, çift oluşumu yaparak bir elektron pozitron çifti üretir, daha sonra oluşan pozitron bir elektron ile etkileşerek yok olur ve iki foton üretilir ( $\gamma_3$ ). Çift oluşumu yoluyla oluşan iki foton da, enerjilerini fotoelektrik olay ile dedektöre aktarabilir veya bu fotonlardan biri yada her ikisi dedektörü terk edebilir.

Dedektörün tek enerjili gama ışınları ile etkileşime girerek oluşturacağı spektrum Şekil 2.13’de görülmektedir.



Şekil 2.13: Dedektörün tek enerjili gama ışınları için vereceği tipik cevap [22].

## 2.10. Radyasyon Kaynakları

Radyasyon kaynakları, doğal radyasyon ve yapay radyasyon olarak iki ana başlık altında toplanır.

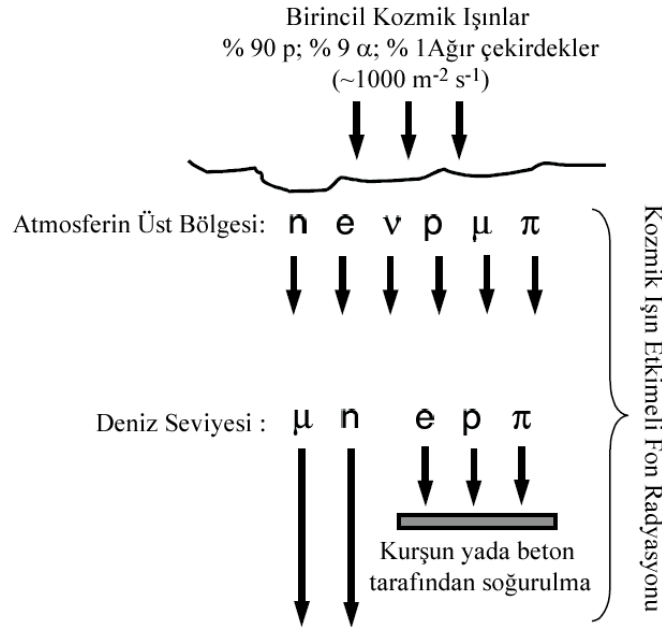
### 2.10.1. Doğal radyasyon

İnsanoğlu varoluşundan bu yana sürekli olarak radyasyonla iç içe yaşamak zorunda kalmıştır. Dünyanın oluşumuyla birlikte tabiatta yerini alan çok uzun ömürlü (milyarlarca yıl) radyoaktif elementler yaşadığımız çevrede normal ve kaçınılmaz olarak kabul edilen doğal bir radyasyon düzeyi oluşturmuşlardır.

Bu radyoaktif elementlerin yarı ömrü dünyanın yaşına kıyasla çok uzundur ve bugün hala bunların radyoaktiflikleri gözlenebilmektedir. Bu çekirdekler  $\alpha$  ve  $\beta$  yayınlamaya Z ve A sayılarını sonuçta kararlı ve hafif bir çekirdeğe ulaşıncaya kadar azaltırlar. Alfa bozunumu A'yı dört birim değiştirir, beta bozunumu ise A sayısını

değiştirmez ve böylece  $n$  bir tam sayı olmak üzere, kütle numaraları  $4n$ ,  $4n+1$ ,  $4n+2$ ,  $4n+3$  olan dört bağımsız bozunma serisi elde ederiz. Bu dört seri; Toryum, Neptinyum, Uranyum ve Aktinyum (Uranyum-235) serileridir. Neptinyum serisinin en uzun yarı ömürlü üyesinin yarı ömrü, yerin oluşumundan bu yana geçen süreye göre çok kısa olduğundan bu seri doğal maddelerde gözlenemez [23].

Doğal radyasyonun bir kısmını uzaydan gelen kozmik ışınlar oluşturur (Şekil 2.14). Kozmik ışınlar iki sınıfta incelenmektedir. Birincil kozmik ışınlar, doğrudan yer yüzüne ulaşan çok yüksek enerjili kozmik ışınlardır. Birincil kozmik ışınlar genellikle hidrojen veya helyum çekirdeklerinden oluşur. Hidrojen çekirdeği yani proton kozmik ışınların % 90'ını, helyum çekirdeği, yani alfa parçacığı ( $\alpha$ ) ise % 9'unu meydana getirir. Bütün diğer çekirdekler ve elektronlar ise geri kalan % 1'in içindedir (Şekil 2.14).

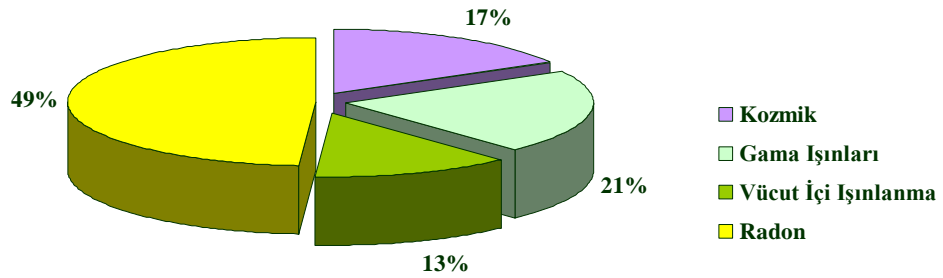


Şekil 2.14: Fon (background) radyasyonunda bulunan birincil ve ikincil kozmik ışınların gösterimi [25].

Ancak kimi kez kozmik ışın atmosferden geçerken atmosferdeki gaz atomlarıyla çarpışmaktadır. Bu durumda parçacık reaksiyona girerek başka parçacık haline gelmektedir. Bu durumda yere ulaşan kozmik ışınlar ise ikincil kozmik ışın denilmektedir ( $^3\text{H}$ ,  $^7\text{Be}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{22}\text{Na}$  gibi). İkincil kozmik ışınlarda lityum, berilyum ve bor gibi doğada az bulunan bazı atom çekirdeklerine de rastlanır. Bu radyonüklidlere kozmojenik radyonüklidler de denilmektedir [23].

Bunların yanı sıra vücudumuzda bulunan radyoaktif elementlerden (özelikle Potasyum-40 radyoaktif elementinden) dolayı da belli bir radyasyon dozuna maruz kalırız [24].

Şekil 2.15’de Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından alınan radyasyon dozlarının oransal değerleri ve Tablo 2.2’de Dünya geneli doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan ortalama radyasyon doz değerleri görülmektedir.



Şekil 2.15: Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından alınan dozların oransal değerleri [24].

Tablo 2.2: Dünya geneli doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan ortalama radyasyon dozları [24].

<b>Dünya Genelinde Doğal Radyasyon Kaynaklarından Maruz Kalınan Ortalama Radyasyon Doz Değerleri</b>		
<b>Işınlanma Kaynağı</b>	<b>Yıllık Etkin Doz Değeri (mSv)</b>	
	<b>Ortalama</b>	<b>Değişim Aralığı</b>
<b>KOZMİK RADYASYON</b>		
Foton bileşeni	0,28	
Nötron bileşeni	0,10	
<b>KOZMOJENİK RADYONÜKLİDLER</b>	0,01	
Toplam	0,39	0,3-1,0 <sup>(a)</sup>
<b>YERYÜZÜ KAYNAKLI DIŞ IŞINLANMA</b>		
Bina dışı	0,07	
Bina içi	0,41	
Toplam	0,48	0,3-0,6 <sup>(b)</sup>
<b>SOLUNUM YOLU İLE IŞINLANMA</b>		
Uranyum ve Toryum serileri	0,006	
Radon (Rn-222)	1,15	
Toron (Rn-220)	0,10	
Toplam	1,26	0,2-10 <sup>(c)</sup>
<b>BESLENME YOLU İLE IŞINLANMA</b>		
K-40	0,17	
Uranyum ve Toryum serileri	0,12	
Toplam	0,29	0,2-0,8 <sup>(d)</sup>
<b>GENEL TOPLAM</b>	<b>2,4</b>	<b>1-10</b>

(a) Deniz seviyesinden yüksekliğe bağlı

(b) Toprak ve yapı malzemelerinin karışımlarına bağlı

(c) Radon gazı konsantrasyonuna bağlı

(d) Yiyecek ve içme sularındaki radyoizotopların konsantrasyonlarına bağlı

### 2.10.2. Doğal serilerde radyoaktif denge

Bir radyoaktif seride oluşan çekirdeklerin yarı-ömürleri çok farklı değerlere sahip olabilir. Ana çekirdeğin yarı ömrünün ürünün veya ürünlerinin yarı ömürlerine göre çok uzun olduğu durumlarda, en uzun ömürlü ürünün yarı ömrünün yaklaşık 7-8 katı bir süre sonunda seri radyoaktif dengeye ulaşır. Radyoaktif dengede, parçalanma yolu ile oluşan ürün çekirdek sayısı ile yine bu ürünün, parçalanma yolu ile kaybolan çekirdek sayısı birbirine eşitlenir. Bu durumda seri içindeki aktiflikler,

$$\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2 = \dots = \lambda_n N_n \quad (2.34)$$

şeklinde yazılabilir. Seri radyoaktif dengede iken ana elementin miktarı herhangi bir ürüne ait aktivitenin ölçülmesi yolu ile tayin edilebilir. Uranyum analizinde denge bozulmasında en çok etken olan faktör  $^{222}\text{Rn}$  gazının ortamdan kolaylıkla uzaklaşabilmesidir.  $^{222}\text{Rn}$ 'nin yarı ömrü 3,82 gün olduğundan analizi yapılmak istenen örneklerin kapalı kaplarda bir ay bekletilmesi ile dengenin tekrar kurulması sağlanır.

Uranyum ve toryum doğrudan doğruya yayınladıkları radyasyon ölçülerek gözlenemezler. Bu sebeple Uranyum ve Toryum dedeksiyonu seri içindeki radyoaktif ürünlerine ait aktivitenin ölçülmesi sureti ile yapılır. Bunun için seri içinde radyoaktif dengenin varlığı kabul edilir. Tablo 2.3 ve Tablo 2.4'de  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{238}\text{U}$  serilerinin bozunumları gösterilmiştir.



Tablo 2.3: Toryum serisi bozunumları. Yayınlanma olasılıkları % 2'den büyük olanlar listelenmiştir.

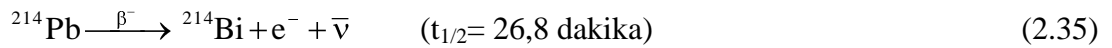
		Enerji (keV) ve Yayınlanma Olasılıkları (%)		
Çekirdek	Yarı ömür (t <sub>1/2</sub> )	Alfa (α)	Beta (β)	Gama (γ)
<sup>232</sup> Th	14,05x10 <sup>9</sup> y 6	3947,2 20 (% 21,7 13) 4012,3 14 (% 78,2 13)	-	-
<sup>228</sup> Ra	5,75 y 3	-	3,21 (23) (% 30 10) 6,48 (23) (% 20 6) 9,94 (15) (% 40 4) 10,04 (25) (% 10 10)	-
<sup>228</sup> Ac	6,15 sa 2	-	126,7 10 (% 2,45 16) 140,5 10 (% 4,16 20) 178,7 11 (% 8,0 4) 307,6 11 (% 3,08 7) 313,1 11 (% 5,1 8) 324,4 12 (% 5,92 14) 362,0 12 (% 3,10 15) 382,3 12 (% 29,9 10) 606,9 12 (% 11,66 24)	209,253 6 (% 3,89 7) 270,245 2 (% 3,46 6) 338,320 3 (% 11,27 19) 463,004 6 (% 4,40 7) 794,947 5 (% 4,25 7) 911,204 4 (% 25,8 4) 964,766 10 (% 4,99 9) 968,971 17 (% 15,8 3)
<sup>228</sup> Th	1,912 y 2	5340,36 15 (% 27,2 10) 5423,15 22 (% 72,2 11)	-	-
<sup>224</sup> Ra	3,66 g 4	5448,6 12 (% 5,06 4) 5685,37 15 (% 94,92 4)	-	240,986 6 (% 4,10 5)
<sup>220</sup> Rn	55,6 s 1	6288,08 10 (% 99,8 17)	-	-
<sup>216</sup> Po	0,145 s 2	6778,3 5 (% 99,9981 3)	-	-
<sup>212</sup> Pb	10,64 sa 1	-	41,1 6 (% 5,08 9) 93,5 7 (% 83,1 16) 171,7 7 (% 11,9 16)	238,632 2 (% 43,6 5) 300,087 10 (% 3,30 4)
<sup>212</sup> Bi (% 35,94 α)	60,55 dak 6	6050,78 3 (% 25,13 7) 6089,88 3 (% 9,75 5)	-	-
<sup>208</sup> Tl	3,053 dak 4	-	441,53 68 (% 24,2 3) 535,39 70 (% 22,2 5) 649,48 71 (% 49,1 7)	277,371 5 (% 6,6 3) 510,77 (10) (% 22,60 20) 583,187 (2) (% 85 3) 860,557 (4) (% 12,5 10) 2614,511 10 (% 99,7 4)
<sup>212</sup> Bi (% 64,1 β)	60,55 dak 6	-	533,1 7 (% 4,47 11) 834,2 8 (% 55,37 11)	727,330 9 (% 6,67 9)
<sup>212</sup> Po	0,299 μs 2	8784,86 12 (% 100)	-	-
<sup>208</sup> Pb	KARARLI	-	-	-

Tablo 2.4: Uranyum serisi bozunumları. Yayınlanma olasılıkları % 5'den büyük olanlar listelenmiştir.

		Enerji (keV) ve Yayınlanma Olasılıkları (%)		
Çekirdek	Yarı ömür (t <sub>1/2</sub> )	Alfa (α)	Beta (β)	Gama (γ)
<sup>238</sup> U	4,468x10 <sup>9</sup> y 3	4151 5 (% 21 3) 4198 3 (% 79 3)	-	-
<sup>234</sup> Th	24,10 g 3	-	27,7 9 (% 6,4 9) 27,8 9 (% 14 20) 53,6 9 (% 78 20)	-
<sup>234</sup> Pa	1,159 dak 11	-	820,5 17 (% 97,57 6)	-
<sup>234</sup> U	2,455x10 <sup>5</sup> y 6	4722,4 14 (% 28,42 9) 4774,6 14 (% 71,38 16)	-	-
<sup>230</sup> Th	7,538x10 <sup>4</sup> y 30	4620,5 15 (% 23,40 10) 4687 15 (% 76,3 3)	-	-
<sup>226</sup> Ra	1600 y 7	4601 1 (% 5,55 5) 4784,34 25 (% 94,45 5)	-	-
<sup>222</sup> Rn	3,8235 g 2	5489,48 30 (% 99,9 10)	-	-
<sup>218</sup> Po	3,098 dak 12	6002,35 9 (% 99,97 23)	-	-
<sup>214</sup> Pb	26,8 dak 9	-	205,5 39 (% 45,9 9) 225,6 40 (% 40,2 6) 334,9 42 (% 11,0 10)	241,9950 23 (% 7,25 16) 295,2228 18 (% 18,42 4) 351,9321 18 (% 35,60 7)
<sup>214</sup> Bi (% 0,021α)	19,9 dak 4	-	-	-
<sup>210</sup> Tl	1,30 dak 3	-	571 14 (% 7,0 20) 677 10 (% 24 5) 746 11 (% 10 3) 880 7 (% 10 3) 1639 17 (% 30 6) 1766 5 (% 20.0 20)	296 3 (% 79 10) 799,6 3 (% 98,96) 860 30 (% 6,9 20) 1070 10 (% 12 5) 1110 20 (% 6,9 20) 1210 20 (% 17 4) 1316 13 (% 21 5) 2010 30 (% 6,9 20) 2360 30 (% 8 3) 2430 30 (% 9 3)
<sup>214</sup> Bi (% 99,9 β)	19,9 dak 4	-	352,1 42 (% 5,60 3) 492,0 44 (% 8,14 3) 525,3 45 (% 16,96 5) 539,4 45 (% 17,57 4) 683,7 46 (% 7,35 5) 1268,8 48 (% 19,10 17)	609,320 5 (% 45,49 16) 1120,294 6 (% 14,92 3) 1238,122 7 (% 5,834 15) 1764,491 10 (% 15,30 3)
<sup>214</sup> Po	164,3 μs 20	7686,82 7 (% 99,98 6)	-	-
<sup>210</sup> Pb	22,20 y 22	-	4,16 13 (% 84 3) 16,16 13 (% 16 3)	-
<sup>210</sup> Bi (% 100 β)	5,012 g 5	-	389 4 (% 100)	-
<sup>210</sup> Po	138,376 g 2	5304,33 7 (% 100)	-	-
<sup>210</sup> Bi (% 100 α)	3,04x10 <sup>6</sup> y 6	4909 1 (% 39,5) 4946 1 (% 55)	-	265,6 5 (% 51) 304,6 5 (% 28)
<sup>206</sup> Tl	4,202 dak 11	-	538,86 25 (% 99,89 14)	-
<sup>206</sup> Pb	KARARLI	-	-	-

$^{238}\text{U}$ 'in aktivitesi, bozunma zinciri içindeki  $^{214}\text{Bi}$  (609,3 ve 1120,3 keV) ve  $^{214}\text{Pb}$  (242, 295,2 ve 351,9 keV) ürünlerinin aktivitelerinden hesaplanır.  $^{232}\text{Th}$  için aktivite ise,  $^{228}\text{Ac}$  (338,3, 911,2 ve 969 keV),  $^{212}\text{Pb}$  (238,6 keV) ve  $^{208}\text{Tl}$  (583,2 keV) ürünlerinin aktivitelerinden hesaplanabilir.  $^{40}\text{K}$  için aktivite hesabı yayınladığı 1460,8 keV enerjisinden hesaplanır [7].

$^{238}\text{U}$  aktivite hesabı için,  $^{214}\text{Pb}$  bozunumundan

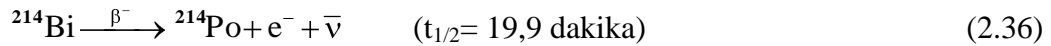


yayınlanan gamalar Tablo 2.5'de listelenmiştir. Hesaplamalarda kullanılan gama enerjileri ve ilgili yayınlanma olasılıkları koyu renkle gösterilmiştir. E yayınlanan gamanın keV cinsinden enerjisini göstermektedir. I yayınlanan gamanın yayınlanma olasılığını yüzde olarak göstermektedir.

Tablo 2.5:  $^{214}\text{Pb}$  bozunumundan yayınlanan gamaların listesi [25].

E (keV)	I (%)
53,2284 18	1,075 6
<b>241,9950 23</b>	<b>7,251 16</b>
<b>295,2228 18</b>	<b>18,42 4</b>
<b>351,9321 18</b>	<b>35,60 7</b>
785,96 8	1,06 3

$^{214}\text{Bi}$  bozunumundan



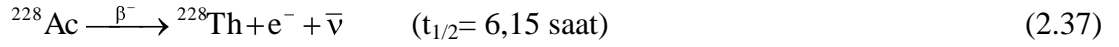
yayınlanan gamalar Tablo 2.6'de listelenmiştir.

Tablo 2.6:  $^{214}\text{Bi}$  bozunumundan yayınlanan gamaların listesi [25].

E (keV)	I (%)	E (keV)	I (%)
<b>609,320 5</b>	<b>45,49 16</b>	1401,515 12	1,330 5
665,447 9	1,531 6	1407,988 11	2,394 7
768,360 5	4,894 11	1509,210 10	2,130 10
806,180 9	1,264 5	1661,274 16	1,047 6
934,056 6	3,107 10	1729,595 11	2,878 8
<b>1120,294 6</b>	<b>14,92 3</b>	1764,491 10	15,30 3
1155,210 8	1,633 6	1847,429 13	2,025 9
1238,122 7	5,834 15	2118,514 19	1,160 6
1280,976 10	1,434 6	2204,059 22	4,924 18
1337,669 8	3,988 11	2447,70 3	1,548 7

$^{214}\text{Bi}$  bozunarak  $^{214}\text{Po}$ 'e dönüşür ve  $^{214}\text{Po}$  sadece alfa bozunumu yaptığından gözlemleyebileceğimiz gama enerjisi yoktur (Tablo 2.3 Toryum bozunum serisinde gösterilmektedir).

$^{232}\text{Th}$  aktivite hesabı için,  $^{228}\text{Ac}$  bozunumdan



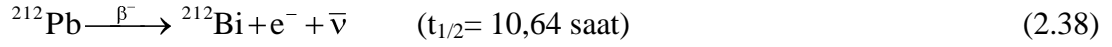
yayınlanan gamalar Tablo 2.7'de listelenmiştir.

Tablo 2.7:  $^{228}\text{Ac}$  bozunumundan yayınlanan gamaların listesi [25].

E (keV)	I (%)	E (keV)	I (%)
99,509 6	1,26 7	772,291 5	1,49 3
129,065 9	2,42 9	794,947 5	4,25 7
209,253 6	3,89 7	835,710 6	1,61 6
270,24 2	3,46 6	<b>911,204 4</b>	<b>25,8 4</b>
328 6	2,95 12	964,766 10	4,99 9
<b>338,320 3</b>	<b>11,27 19</b>	<b>968,971 10</b>	<b>15,8 3</b>
409,462 6	1,92 4	1588,20 3	3,22 8
463,004 6	4,40 7	1630,627 10	1,51 4
755,315 4	1,00 3		

$^{228}\text{Ac}$  bozunarak  $^{228}\text{Th}$ 'e dönüşür ve  $^{228}\text{Th}$ 'in gözlemleyebileceğimiz gama enerjisi sadece bir tane olup, yayınlanma olasılığı çok düşüktür (Tablo 2.3 Toryum bozunum serisinde gösterilmektedir).

$^{212}\text{Pb}$  bozunumdan



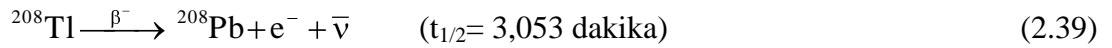
yayınlanan gamalar Tablo 2.8’de listelenmiştir.

Tablo 2.8:  $^{212}\text{Pb}$  bozunumundan yayınlanan gamaların listesi [26].

<b>E (keV)</b>	<b>I (%)</b>
<b>238,632 2</b>	<b>43,6 5</b>
300,087 10	3,30 4

$^{212}\text{Pb}$  bozunarak  $^{212}\text{Bi}$ ’ye dönüşür,  $^{212}\text{Bi}$ ’nin gözlemleyebileceğimiz gama enerjisi sadece bir tane olup, yayınlanma olasılığı çok düşüktür (Tablo 2.3 Toryum bozunum serisinde gösterilmektedir).

$^{208}\text{Tl}$  bozunumdan



yayınlanan gamalar Tablo 2.9’da listelenmiştir.

Tablo 2.9:  $^{208}\text{Tl}$  bozunumundan yayınlanan gamaların listesi [26].

<b>E (keV)</b>	<b>I (%)</b>
277,371 5	6,6 3
510,77 10	8,1 20
<b>583,187 2</b>	<b>30,4 3</b>
763,13 8	1,79 3
860,557 4	4,5 10
2614,511 10	35,6 4

$^{208}\text{Tl}$  bozunarak  $^{208}\text{Pb}$ ’ye dönüşür ve  $^{208}\text{Pb}$  kararlı olup, herhangi bir bozunum yapmaz.

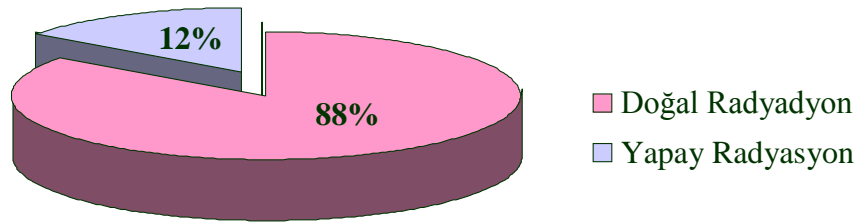
$^{232}\text{Th}$  aktivite hesabında kullanılan  $^{208}\text{Tl}$ ,  $^{212}\text{Bi}$  radyonüklidinin % 35,94 alfa bozunumu yapmasıyla meydana gelir (Tablo 2.3). Bundan dolayı  $^{208}\text{Tl}$  radyonüklidinin enerjilerinin yayınlanma olasılıkları, bu dallanma oranı da göz önünde bulundurularak hesaplanır.

### 2.10.3. Yapay radyoaktivite

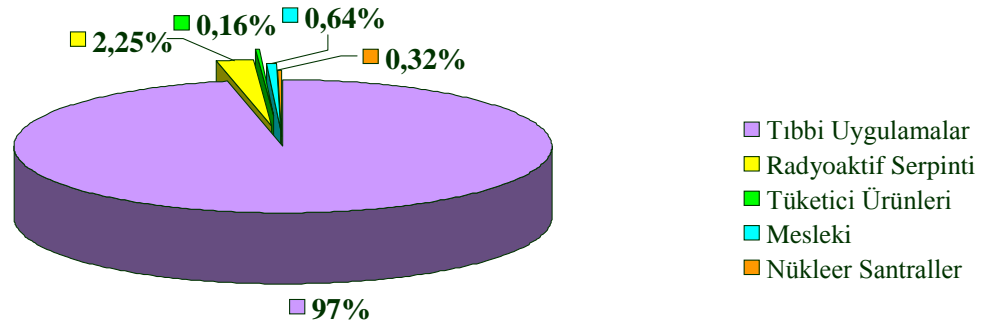
Yapay radyasyon kaynakları da tıpkı doğal radyasyon kaynakları gibi belli miktarlarda radyasyon dozuna maruz kalınmasına neden olurlar. Ancak bu doz miktarı, talebe bağlı olarak artsa da, doğal kaynaklardan alınan doza göre çok daha düşüktür.

Tıbbi, zirai ve endüstriyel amaçla kullanılan X ışınları ve yapay radyoaktif maddeler, nükleer bomba denemeleri sonucu meydana gelen nükleer serpintiler, çok az da olsa nükleer güç üretiminden salınan radyoaktif maddeler ile bazı tüketici ürünlerinde kullanılan radyoaktif maddeler bilinen başlıca yapay radyasyon kaynaklarıdır.

Şekil 2.16'da doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan küresel radyasyon dozuna oransal katkıları gösterilmektedir. Şekil 2.17'de ise Dünya genelinde yapay radyasyon kaynaklarından alınan radyasyon dozlarının oransal değerleri görülmektedir [24].



Şekil 2.16: Dünya genelinde doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından alınan doz oranları [24].



Şekil 2.17: Dünya genelinde yapay radyasyon kaynaklarından alınan doz oranları [24].

### 2.11. Sahil Kumlarının Doğal Radyoaktivitesi

Sahil kumları mineral depolarıdır ve genellikle granit, andesit gibi magmatik kayalardan oluşmuşlardır. Bu mineraller hava koşulları ve kayaların erozyonu gibi etkenlerle taşınırlar ve kıyılarda birikirler.  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$  ve  $^{40}\text{K}$  gibi radyonüklidler monazit ve zirkon gibi minerallerde mevcuttur.  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  allanit, monazit, zirkon, apatit gibi minerallerde yüksek oranda bulunurken,  $^{40}\text{K}$  başlıca feldspar ve mica gibi minerallerde bulunur. Bu mineralleri içeren, kayaçlarda önemli ölçüde doğal radyoaktif izotoplar bulunur.

Sonuç olarak, bir bölgenin doğal radyasyon seviyesinin belirlenmesi bölgenin jeolojik ve jeografik yapısı hakkında bilgi verir [10].

### 2.12. Çernobil Nükleer Reaktör Kazası ve Karadeniz kıyılarına etkisi

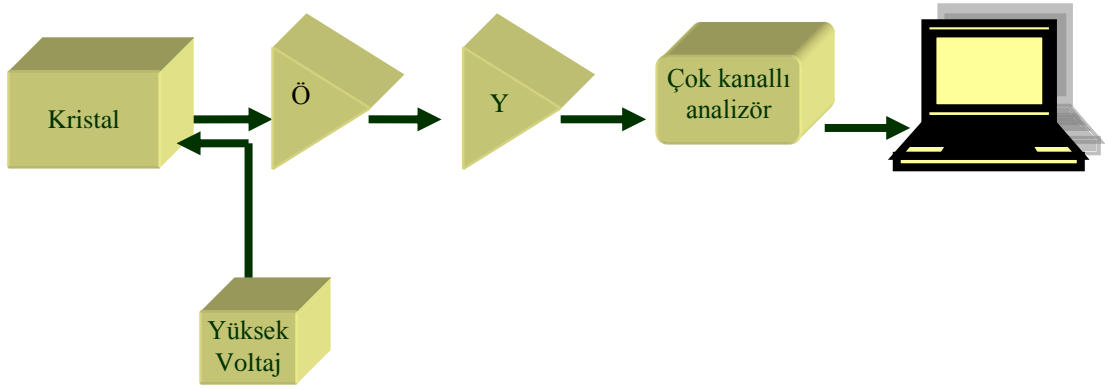
26 Nisan 1986 yılında gerçekleşen Çernobil Nükleer Reaktör kazası sonucunda birçok Avrupa ülkesi yoğun bir şekilde yüksek radyasyona maruz kaldığı gibi Türkiye’de belirli bir düzeyde bu kazadan etkilenmiştir. Çernobil reaktöründen havaya salınan radyonüklidler içinde en önemlileri  $^{131}\text{I}$ ,  $^{134}\text{Cs}$  ve  $^{137}\text{Cs}$ ’dir. Reaktörde salınan radyoaktif maddelerden oluşan bulut rüzgarın etkisiyle önce Avrupa’nın kuzeyine, sonrada güney ve doğusuna sürüklenmiştir. Bu kazanın ilk etkileri ülkemizde kuzey-batı (Trakya) bölgesi ve Karadeniz kıyılarında gama radyasyon düzeyinin yükselmesi ile gözlenmiştir [27,28].

### BÖLÜM 3. DENEY DÜZENEĞİ

Ölçümler Kocaeli Üniversitesi Nükleer Araştırma Laboratuvarı Gama Spektroskopisi'nde gerçekleştirilmiştir.

#### 3.1. Gama Sayım Sisteminin Elektroniği

Şekil 3.1'de Gama sayım dedektörünün genel elektronik şeması gösterilmiştir.



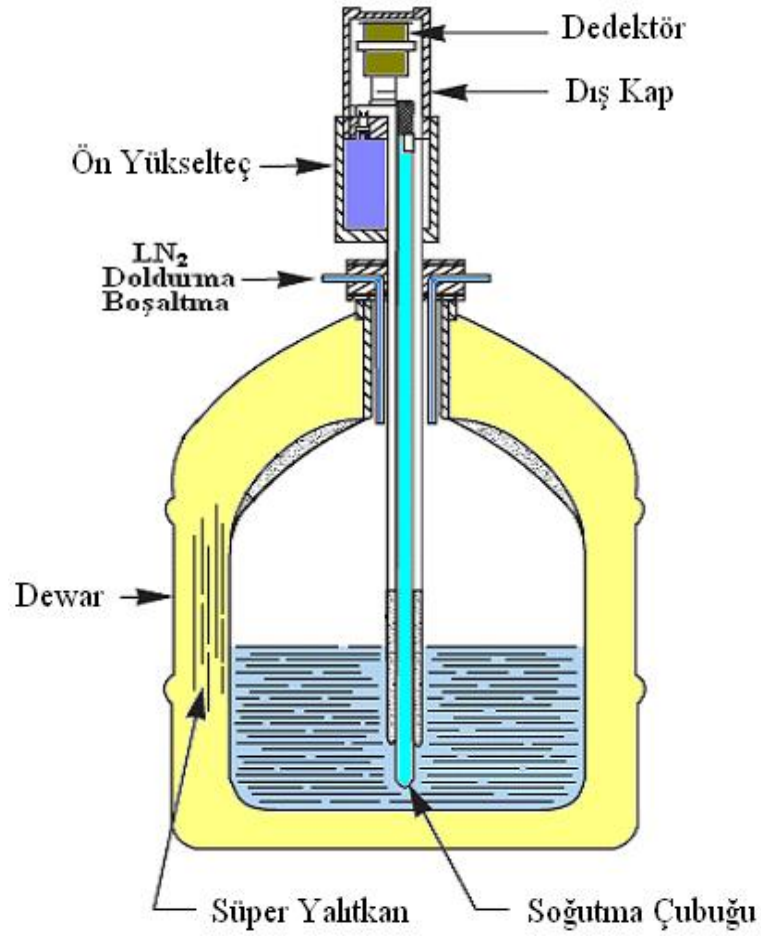
Şekil 3.1: Dedektör sisteminin genel elektronik şeması. Yüksek voltaj kaynağı (HV), Ö; ön yükselteç (preamplifier), Y; yükselteç (amplifier), çok kanallı analizör (MCA).

Kaynaktan yayılan gamalar dedektöre gelerek, kristalle etkileşime girer ve enerji kaybına uğrar. Bu etkileşimlerin sonucu olarak kristalde elektron-boşluk çiftleri meydana gelir.

Yüksek voltaj ünitesi dedektöre besleme gerilimini (2000-5000 V arasında) sağlamaktadır. Kristalde oluşan elektron-boşluk çiftleri yüksek voltajın oluşturduğu elektrik alanı ile diyotlara sürüklenir. Kaynaktan gelen radyasyonun enerjisi ile orantılı olarak biriken bu yükler ön yükselteçde voltaj sinyaline dönüştürülür. Yükselteç, oluşan bu sinyallerin analizini yapabilmek için sinyalleri yükseltir ve enerji ayrılmasını sağlayacak şekillendirmeyi yapar. Yükseltilmiş ve şekli düzeltilmiş sinyal analog dijital çeviriciye (ADC) gelerek, genliğiyle orantılı olarak sayısal



sisteme dönüştürülür. Çok kanallı analizör (MCA) ise, gelen her sinyali dijital hale dönüştürür ve genliği ile orantılı olarak bir hafıza kanalına yerleştirir. Çok kanallı analizörde her kanal belirli bir enerjiye karşılık gelir ve sayım süresince gelen sinyallerin birikmesiyle de pik oluşur. Çok kanallı analizörde gelen sinyallerin birikmesiyle oluşan pikler de, bilgisayar ekranında spektrum olarak izlenir. Tipik bir germanyum dedektörü Şekil 3.2’de gösterilmiştir.

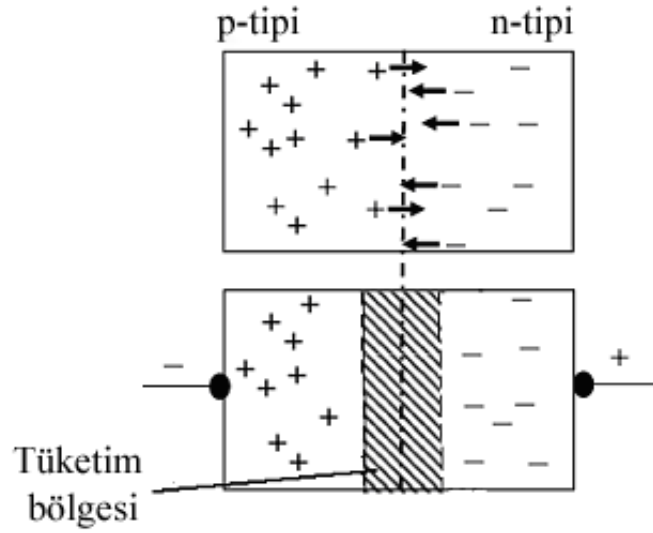


Şekil 3.2: Tipik bir germanyum dedektör ve dewar sistemi [22].

Dedektörün devarına sıvı azot (-196 °C) doldurularak, dedektör kristalinin çalışma sırasında soğutması sağlanmaktadır (Şekil 3.2).

### 3.2. Yarı İletken Dedektörler

Yarı iletken radyasyon dedektörünün çalışması onun fazla boşluk (hole) veya elektrona sahip olmasına bağlıdır. Negatif yük (elektron) ve pozitif yük (boşluk) taşıyıcıları fazla olan n ve p tipi materyaller birbirlerine temas ettirilir ettirilmez derhal yüzeye yakın serbest yükler difüzyon sebebiyle bir taraftan diğer tarafa geçerler. Birbirlerine karşı hareket edecek olan bu yükler temas yüzeyi civarında ikiye ikiye birleşerek ortadan kalkarlar. Bu suretle temas yüzeyi civarında serbest yüklerden temizlenmiş çok ince bir bölge meydana gelir (Şekil 3.3). Bu tabakaya tüketim bölgesi denir [29]. Dedektör veriminin yüksek olması için derin bir hassas bölge, derin hassas bölge elde etmek için de oldukça saf madde gerekir.



Şekil 3.3: p tipi ve n tipi yarı iletkenin temas ettirilmesiyle oluşan tüketim bölgesi gösterimi [22].

Bu boşaltılmış bölgeden iyonlaştırıcı radyasyon geçtiği zaman, elektron ve pozitif boşluk oluşturur. Elektrik alanı yardımı ile oluşan yükler çekilen kutuplara giderler. Burada, yük taşıyıcıları olan elektronların sayısı, gelen radyasyon enerjisi ile orantılıdır.

Pratikte gama ışın dedektörleri, temas halinde farklı tiplerdeki yarı iletken malzemelerle üretilmez, fakat germanyum bloğun bir yüzü buharlaştırma ve difüzyon veya iyon implantasyon ile zıt yarı iletkeneye dönüştürülür [22].

### 3.3. HPGe Gama Spektroskopisinin Özellikleri

Şekil 3.4'de ve Şekil 3.5'de bu çalışmada kullanılan ORTEC GEM25P4-70 model HPGe Gama dedektör sistemi gösterilmiştir.



Şekil 3.4: ORTEC GEM25P4-70 model HPGe Gama dedektör sistemi.

Dedektör Özellikleri;

Dedektör çapı: 57,7 mm

Dedektör uzunluğu: 44,5 mm

Dedektörün Al kabının kalınlığı: 3 mm

Bias voltaj: + 4400 V

1,33 MeV  $^{60}\text{Co}$  için performans özellikleri;

Çözünürlük (FWHM): 1,71 keV

Pik / Compton oranı: 58:1

Bağıl verim: % 25,2'dir.

Ge dedektörü için bağıl verim, genellikle 1332 keV'deki pik veriminin, tipik bir NaI (Tl) (kaynak-dedektör mesafesi 25 cm, yarıçapı ve yüksekliği 7,62 cm) dedektörünün bu enerji için verimine oranıdır.



Şekil 3.5: HPGe dedektörünün üstten görünümü

Dedektör etrafından gelebilecek radyasyonu engellemek için belirli kalınlıkta kurşun zırh kullanılır. Bu çalışmada, numunelerin sayımı sırasında fon radyasyonunu engellemek için kullanılan kurşun zırh kalınlığı 10 cm olup, kurşun zırha gelen gama ışınlarının kurşun ile etkileşime girerek oluşturduğu X ışınlarının dedektöre ulaşmasını engellemek için de kurşun zırhın iç yüzeyi 1 mm kalay ve 1,5 mm bakır ile kaplanmıştır.

### 3.4. Veri Analizi İçin Ön Çalışmalar

Bu kısımda numunelerin spesifik aktivitelerinin hesaplanması için gerekli olan kalibrasyonların nasıl yapıldığı anlatılmıştır. Bu kalibrasyonlar enerji ve verim kalibrasyonudur. Ayrıca spektrumdaki piklerin net alanlarının hesaplanma yöntemi anlatılmıştır.

#### 3.4.1. Enerji kalibrasyonu

Enerji kalibrasyonunun amacı, spektrumdaki piklerin konumu ve gama ışın enerjileri arasındaki ilişkiyi elde etmektir. Enerji kalibrasyonu, enerjisi kesin bilinen gama ışını yayan standart kaynağın ölçülen spektrumuyla yapılır ve enerjisiyle ölçülen pik konumu karşılaştırılır. Yaygın olarak karışık radyonüklid kaynakları kullanılır. Bazı kullanışlı kalibrasyon kaynakları Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1: Enerji kalibrasyonunda kullanılan radyonüklidlerin yayınladıkları enerji değerleri, enerjilerin yayınlanma olasılıkları ve yarı ömürleri [25].

Gama Işın Enerjisi (keV)	Radyonüklid	Yarı Ömrü ( $t_{1/2}$ )	Yayınlanma Olasılığı (%)
59,5409 (1)	<sup>241</sup> Am	432,6 yıl (6)	35,9 (4)
88,0336 (1)	<sup>109</sup> Cd	461,4gün (12)	3,70 (10)
122,06065 (12)	<sup>57</sup> Co	271,74 gün (6)	85,60 (17)
159,00 (3)	<sup>123m*</sup> Te	119,2 gün (1)	84
320,0824 (4)	<sup>51</sup> Cr	27,7010 gün (11)	9,910 (10)
391,698 (3)	<sup>113</sup> Sn	115,09 gün (3)	64,97 (17)
514,0067 (19)	<sup>85</sup> Sr	64,84 gün (2)	96
661,657 (3)	<sup>137</sup> Cs	30,08 yıl (9)	85,10 (20)
898,042 (3)	<sup>88</sup> Y	106,626 gün (21)	93,7 (3)
1173,228 (3)	<sup>60</sup> Co	1925,28 gün (14)	99,85 (3)
1332,492 (4)	<sup>60</sup> Co	1925,28 gün (14)	99,9826 (6)
1836,063 (12)	<sup>88</sup> Y	106,626 gün (21)	99,2 (3)

\* İzomerik Bozunma

Pratikte iyi bir istatistik için yeterli uzunlukta spektrum ölçümü alınarak, kalibrasyonda kullanılacak pikler belirlenir. Kalibrasyon işlemi, piklerin belirlenmesi ve doğru enerjilerinin kullanılmasını içerir. Bilgisayar pik taraması yaparak, kanal bölmesindeki pik konumunu belirler ve enerji/kanal ilişkisini ortaya çıkarır. Genellikle, bu şekilde enerji değerleri bir lineer fonksiyona fit edilerek kalibrasyon denklemi elde edilir [22].

Kalibrasyon denklemi;

$$E(\text{keV}) = A + B * KN \quad (3.1)$$

ifadesiyle verilir. Burada; E ilgilenilen pikin keV cinsinden enerjisi, A doğrunun y eksenini kestiği değer, B eğim ve KN kanal numarasını temsil eder.

Ayrıca standart kaynak kullanmadan fon sayımı spektrumunda en göze çarpan üç pikle de enerji kalibrasyonu yapılabilir. Bahsedilen bu piklerden biri kozmik ışınlardan kaynaklanan 511,10 keV olup, diğer iki pik ise  $^{40}\text{K}$  ve  $^{208}\text{Tl}$  (1460,8 ve 2614,5 keV) radyonüklidlerine aittir.

### 3.4.2. Verim kalibrasyonu

Verim; kaynaktan yayılan gama ışınları sayısı ile spektrumda sayılan sayımların sayısı arasında ilişki kurar. Gama spektroskopisinde, ilgilendiğimiz pikin altında kalan alan radyoaktivite miktarını temsil eder. Bundan dolayı radyoaktivite miktarını belirlemek için pik alanına ve verimine ihtiyacımız vardır. Pik verimi, aktivitesi kesin olarak bilinen standart kaynaklar kullanılarak belirlenir. Standart kaynaklar ile sayımları yapılacak numuneler aynı geometri ve yoğunluğa sahip olmalıdırlar. Pik verimi,

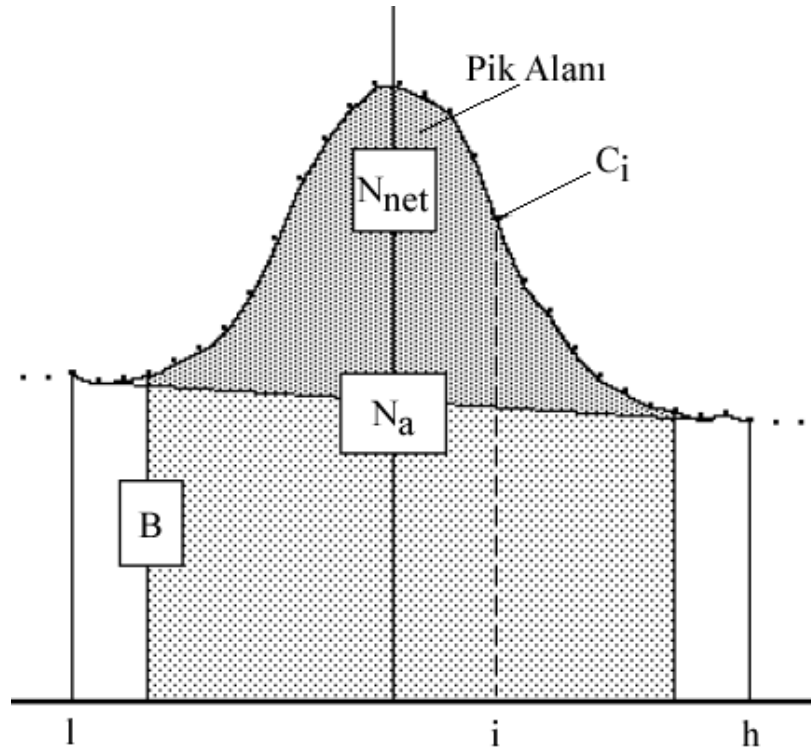
$$\varepsilon_{\gamma} = \frac{N_{\text{net}}}{A I_{\gamma} t} \quad (3.2)$$

denklemleri ile istenen gama enerjileri için belirlenir. Burada,  $\epsilon_\gamma$   $E_\gamma$  enerjisi için sayım verimi,  $N_{net}$   $E_\gamma$  enerjili fotonun oluşturduğu pik alanı,  $t$  standart kaynağın dedektördeki sayım süresi,  $A$  kullanılan gama standart kaynağında bulunan radyonüklidlerin bilinen aktivitesi,  $I_\gamma$  radyonüklidin bozunumunda yayınlanan fotonun yayınlanma olasılığıdır [22].

### 3.4.3. Pik alan hesabı

HpGe dedektörü ile aktivite hesaplamak için ilgilendiğimiz pikin altında kalan net alan hesaplanmalıdır. Burada pik altında kalan alanı hesaplama yöntemlerinden Covell metodu anlatılacaktır.

Bu metod yaygın olarak tek bir pikin alanını doğru şekilde hesaplamak için kullanılır. Şekil 3.6'da alanı hesaplanacak pik gösterilmiştir. Şekil'de görüldüğü gibi ilgilendiğimiz pike bitişik başka bir pikten katkı gelmemektedir.



Şekil 3.6: Pik alan hesabında kullanılan parametrelerin gösterimi: B fon sayımı,  $N_a$  pik altında kalan toplam alan,  $N_{net}$  pik altındaki net alan (fon sayımı çıkarılmış),  $C_i$  ise  $i$ . kanaldaki toplam sayıdır [31] (Pik 6 kanal genişliğinde seçilmiştir).

Şekil 3.6'daki Fon radyasyonu (Background):

$$B = \left( \sum_{i=1}^{l+2} C_i + \sum_{i=h-2}^h C_i \right) \frac{h-1+1}{6} \quad (3.3)$$

şeklindedir.

Burada;

B : fon radyasyonu alanı

l : pik alt sınırı

h : pik üst sınırı

$h - 1 + 1$  : piki oluşturan tüm kanalların sayısı

$C_i$  : i. kanaldaki sayım

6 : kullanılan kanal sayısıdır.

Pikin altında kalan tüm alan  $N_a$  ise,

$$N_a = \sum_{i=1}^h C_i \quad (3.4)$$

ile verilir.

Şekildeki piki belirleyen kanal numaralarını denklem (3.4)'de yerine koyarsak,

$$N_a = \sum_{i=l+3}^{h-3} C_i \quad (3.5)$$

olur.

Pikin altında kalan net alanı hesaplamak için, denklem (3.5)'den, fon sayımını çıkartmamız gerekir.



$$N_{\text{net}} = N_a - \frac{B(h-1-5)}{(h-1+1)} \quad (3.6)$$

elde edilir.

Net alandaki hata hesabı ise,

$$\sigma_{N_{\text{net}}} = \sqrt{N_a + B \left( \frac{h-1-5}{6} \right) \left( \frac{h-1-5}{h-1+1} \right)} \quad (3.7)$$

şeklinde ifade edilir [31].

#### 3.4.4. Aktivite ve spesifik aktivite hesabı

Dedektörün verim ve enerji kalibrasyonu yapıldıktan sonra aktivite hesaplamalarında kullanılacak piklerin verim ve enerji değerleri elde edilir. Sayım sonrası elde edilen spektrumda ilgilenilen piklerin net alanları fon radyasyonu düzeltilmesi yapılarak hesaplanır. Elde edilen değerler,

$$A = \frac{N_{\text{net}}}{\epsilon_{\gamma} t I_{\gamma}} \quad (3.8)$$

denkleminde kullanılarak, ilgilenilen radyonüklidin gama aktivitesi hesaplanır.

Burada,

A : hesaplanan aktivite

$N_{\text{net}}$  : net pik alanı

$\epsilon_{\gamma}$  : ilgilenilen pik için dedektör verimi

t : sayım süresi

$I_{\gamma}$  : gama enerjisinin yayınlanma olasılığıdır.

Bulunan aktivite, ölçümü alınan numunenin kütlesine bölünerek Bq/kg biriminde spesifik aktivite

$$SA = \frac{A}{m} \quad (3.9)$$

denklemleri ile bulunur. Burada, SA spesifik aktivite (Bq/kg), m numunenin kütlesi (kg)'dir.

### 3.4.5. Hata hesabı

Deneysel ölçümlerdeki büyüklükler, belirli bir hata (belirsizlik) içerir. Çok defa bir büyüklük diğer birkaç büyüklüğün fonksiyonudur ve bunların ölçülen değerlerinden ve hatalarından hesaplanabilir.

Bir f fonksiyonunun  $f = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  bağlı olduğu büyüklükler  $x_i$  ve hataları  $\Delta x_i$  ise, f fonksiyonunun ölçümlerindeki hata  $\Delta f$  :

$$\Delta f = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \Delta x_i \right)^2} \quad (3.10)$$

formülüyle hesaplanır [32].

Aktivite için toplam hata değerlendirilmesinde göz önüne alınması gereken hata kaynakları,

- a) Net pik alanındaki hata ( $\Delta N_{\text{net}}$ ),
- b) Yayınlanma olasılığı için hata  $\Delta I_\gamma$ , sayım süresi için hata ( $\Delta t$ ),
- c) Belli enerjiler için hesaplanan verim hataları ( $\Delta \epsilon_\gamma$ ) olup,

$$\Delta A = A \sqrt{\left(\frac{\Delta N_{\text{net}}}{N_{\text{net}}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta I_{\gamma}}{I_{\gamma}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta t}{t}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \varepsilon_{\gamma}}{\varepsilon_{\gamma}}\right)^2} \quad (3.11)$$

ifadesinden aktivitedeki hata hesaplanır.

Denklem (3.11)'de hatası ilgilenilen duyarlılıktan küçük olan büyüklükler hesaba katılmamıştır.

## **BÖLÜM 4. DENEY VE HESAPLAMALAR**

### **4.1. Çalışma Alanının Coğrafi Yapısı**

Kandıra İlçesi, Marmara Bölgesi'nde Kocaeli İline bağlı Karadeniz'de 52 km uzunluğunda kıyısı olan tek ilçe olup, yüzölçümü 933 km<sup>2</sup> dir.

Doğusunda Sakarya (Adapazarı ) İli, batısında İstanbul İli, kuzeyinde Karadeniz, Güneyinde ise İzmit (Kocaeli) merkez ilçesi bulunmaktadır. Kandıra İlçesinin arazisi küçük tepelerle kaplıdır. İlçe merkezinin deniz seviyesinden yüksekliği 75 metredir. İlçede; Babadağ'ı (400 m), Çaltepesi (350 m) gibi bölgeye göre yüksek sayılabilecek tepeler bulunmaktadır.

Kandıra'nın Karadeniz'e dökülen 3 önemli deresi bulunmaktadır. Sarısu Deresi 25 km, Seyrek Deresi 11 km, Kumcağız Deresi 7 km uzunluğundadır ve debileri düzensizdir. İlçenin iklimi Batı Karadeniz ve Marmara bölgeleri ikliminin etkisi altındadır. İstikrarlı bir iklimi olmamakla beraber, geçit iklimi özelliğini taşır. Yazın yağışlar genellikle düzensizdir. Kuzeyden gelen sert rüzgarları, kıyı boyunca uzanan sıradağlar engeller. Kış mevsimi genellikle fazla sert geçmez, yağışlar yağmur şeklinde olup, kar yağışı az olmaktadır.

2000 yılı Genel Nüfus Sayımına göre İlçe'nin nüfusu merkez 12,641 köyler 39,777 olmak üzere toplam 52,418'dir. Buna göre 1990 Yılı Nüfus sayımı ile karşılaştırıldığında; İlçe merkezindeki nüfus artış hızı % 19,25, köylerde % 0,58 olmak üzere İlçe genelinde % 4,77'dir [33].



Şekil 4.1: Kocaeli Haritası.

Kandıra'da Turizm ;

Bağıranlı, kendine kayalık kıyıları, güzel plajı ve harika doğası ile sakin bir dinlenme yeridir. Balıkçılık yöre insanının önemli geçim kaynağıdır.

Seyrek, Kandıra'ya 11 km mesafesinde, sahilin en şirin koylarından biridir. 300 metrelik kumsala sahip olan Seyrek, sakin bir dinlenme yeridir. Turiste hizmet verecek oteli olmayan Seyrek'te ev pansiyonculuğu yapılmaktadır.

Sarısu, Kandıra'ya 8 km uzaklıkta ve Babaköy sınırları içindeki Sarısu deresinin, Karadeniz'le birleştiği yerde kurulmuştur. Sarısu deresi, 1 km uzunluğundaki sahile paralel akarak kum bitiminde denize kavuşmuştur. Kumsala ulaşabilmek ve denize girebilmek için, bu dereyi salla geçmek gerekmektedir. Çadır turizminin oldukça yaygın olduğu bölgede turistik konaklama yerleri de bulunmaktadır.

Kerpe, kuzey rüzgarları açısından son derece elverişli bir coğrafi konuma sahip, sırtını alabildiğine sık çam ormanlarına dayanmış, bir koydur.

Bu sebeple Karadeniz'in o meşhur dalgası burada görülmemekte ve denizinin derin olmaması çocuklu aileler için avantaj sağlamaktadır. Tüm yıl boyunca açık balıkçı restoranları, otel, motel ve pansiyonları ile önemli bir turizm potansiyeline sahiptir.

Kumcağız, geniş bir kumsalı ve temiz bir denizi vardır. Maliye Bakanlığı'na ait dinlenme tesisi ile Orman Bakanlığı'na ait orman içi çadır kampı mevcuttur.

Kefken, Kandıra'ya 20 km olup, kıyı yerleşimleri içinde ekonomik olarak en gelişmiş olanıdır. Denizi, kumsalları ve çam ormanları ile Kerpe gibi vazgeçilmeyecek niteliklere sahiptir. Kefken'e 1 km mesafede Kovanağzı plajı bulunmaktadır. Küçük olmasına karşı çok ilgi çeken plajın yarısı Askeri Dinlenme Kampı'na aittir.

Cebeci, Kandıra'ya 27 km uzaklıktadır. Tertemiz deniz, geniş kumsalları, harika doğasıyla ideal bir tatil cennetidir. Yörenin en geniş plajıdır.

Babalı, Kandıra'nın en uzak sahilleri yaklaşık 30 km mesafesindeki Uzunkum mevkiinde bulunmaktadır. Henüz pek bilinmeyen bakir bir bölgedir. Kumsalı son derece geniş ve uzundur [33].

#### **4.2. Numunelerin Toplanması**

Bu çalışma için, Kandıra bölgesinin Kumcağız, Cebeci, Kerpe, Kovanağzı, Çamkonak, Dikili, Uzunkum, Seyrek, Sarısu ve Bağıranlı sahillerinden toplam 20 tane kum örneği alınmıştır. Alınan kum örneklerin koordinatları Tablo 4.1'de verilmiştir. Koordinatları belirlemede Magellan eXplorist 500 LE model GPS cihazı kullanılmıştır.

Kum örneklerin alındığı bölgeler harita üzerinde Şekil 4.2'de görülmektedir.



Şekil 4.2: Numunelerin toplandığı bölgelerin harita üzerinde gösterimi.

Tablo 4.1: Toplanan numunelerin koordinatları.

Mevkii	Numune Kodu	Koordinatlar	
Kumcağız	091107001	41° 09' 41" K	030° 13' 26" D
Kumcağız	091107002	41° 09' 48" K	030° 13' 34" D
Kumcağız	091107003	41° 09' 35" K	030° 13' 16" D
Cebeci	091107004	41° 11' 26" K	030° 15' 10" D
Cebeci	091107005	41° 11' 21" K	030° 15' 00" D
Cebeci	091107006	41° 11' 18" K	030° 14' 50" D
Cebeci	091107007	41° 11' 33" K	030° 15' 26" D
Çamkonak	091107008	41° 12' 01" K	030° 19' 20" D
Çamkonak	091107009	41° 11' 57" K	030° 19' 16" D
Dikili	091107010	41° 11' 32" K	030° 20' 38" D
Dikili	091107011	41° 11' 34" K	030° 20' 26" D
Dikili	091107012	41° 11' 39" K	030° 20' 13" D
Kovanağzı	091107013	41° 10' 41" K	030° 14' 01" D
Kerpe	091107014	41° 09' 25" K	030° 11' 49" D
Uzunkum	100416015	41° 12' 04" K	030° 17' 51" D
Uzunkum	100416016	41° 12' 09" K	030° 17' 32" D
Uzunkum	100416017	41° 12' 12" K	030° 17' 18" D
Sarısu	100416018	41° 08' 26" K	030° 08' 49" D
Seyrek	100416019	41° 08' 10" K	030° 06' 04" D
Bağırzanlı	100416020	41° 08' 08" K	030° 01' 07" D

Kum örnekleri alınırken, demir halka, çekiç, el küreği, bilgi formu, naylon poşet, etiket, ip ve kalem aparatları kullanıldı. Şekil 4.3 (a) ve (b)'de numune alma aletlerinin resmi görülmektedir.

Numuneleri alma aleti olarak, 10 cm çapında 5 cm yüksekliğinde demir halka kullanıldı. Numuneler kum yüzeyinden itibaren 0-5 cm derinlikten alındı. Demir halka çekiç yardımıyla kuma çakıldı. El küreği yardımıyla naylon poşetlere koyularak, üzerleri etiketlendi. 1m x 1m alandan 4 numune alınıp karıştırılarak tek bir numune elde edildi. Her bir numuneden yaklaşık 3 kg alındı. Numune alırken kullanılan aletler her numune alma işleminden önce saf su ile temizlenerek kontaminasyon engellendi.





(a)



(b)

Şekil 4.3: (a) ve (b) Numune alma aletlerinin resimleri.

### 4.3. Numunelerin Boyut Analizi

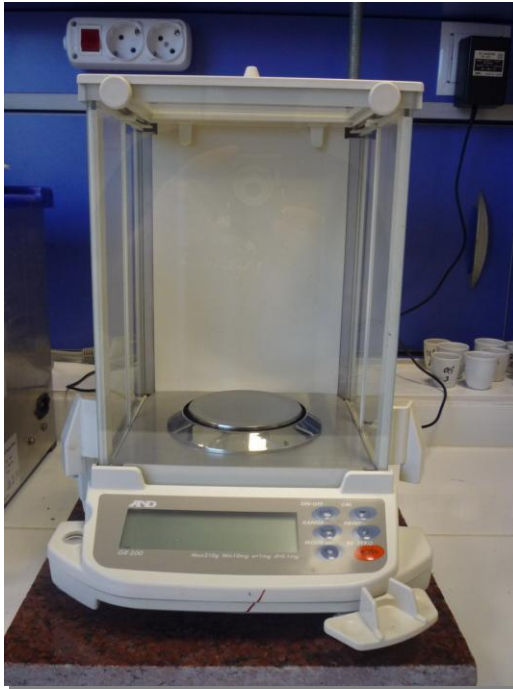
İlk olarak alınan numunelerin boyut analizi yapıldı. Boyut analizi için Şekil 4.4'de gösterilen FRITSCH markalı elek sistemi kullanıldı.

Boyut analizi için ayrılan numune elek sisteminde 40 dakika boyunca elendi. Numuneler,  $>500\mu\text{m}$ ,  $>250\mu\text{m}$ ,  $>125\mu\text{m}$ ,  $>63\mu\text{m}$  olarak dört farklı boyuta ayrıldı. Her bir elekte kalan kumlar ayrı kaplara koyulup,  $85\text{ }^\circ\text{C}$  etüvde 24 saat kurutuldu.

Her numune elendikten sonra elekler yıkanıp saf sudan geçirilerek diğer bir numunenin eleme işlemine geçildi. Kuruyan kumlar, Şekil 4.5’de AND GR-200 markalı analitik terazide tartılıp, kuru kütleleri not edildi.



Şekil 4.4: Boyut analizinde kullanılan FRITSCH marka elek sistemi.



Şekil 4.5: AND GR-500 marka analitik terazi.

Tablo 4.2: Numunelerin boyut analizlerinin sonuçları.

Numune	> 500 $\mu\text{m}$ (%)	> 250 $\mu\text{m}$ (%)	> 125 $\mu\text{m}$ (%)	> 63 $\mu\text{m}$ (%)
091107001-Kumcağız	3,62	60,3	35,84	0,24
091107002-Kumcağız	1,83	46,76	51,19	0,22
091107003-Kumcağız	8,78	76,54	14,68	-
091107004-Cebeci	0,18	30,9	68,92	0,005
091107005-Cebeci	0,34	33,45	66,14	0,07
091107006-Cebeci	0,29	35,42	64,26	0,03
091107007-Cebeci	0,93	16,97	81,58	0,52
091107008-Çamkonak	0,15	85,1	14,34	0,4
091107009-Çamkonak	0,004	36,23	63,68	0,09
091107010-Dikili	0,28	60,7	39,02	-
091107011-Dikili	21,12	74,23	4,65	0,002
091107012-Dikili	0,1	68,67	31,21	0,02
091107013-Kovanağzı	12,74	78,51	8,75	-
091107014-Kerpe	0,22	7,94	80,26	11,59
100416015-Uzunkum	0,07	27,73	71,93	0,28
100416016- Uzunkum	0,09	35,38	64,524	0,004
100416017- Uzunkum	0,81	56,92	42,26	0,02
100416018-Sarısu	73,71	26,28	0,01	-
100416019-Seyrek	47,88	51,44	0,67	-
100416020-Bağıranlı	52,92	46,86	0,22	-

#### 4.4. Numunelerin pH Ölçümü

pH, 1: 2,5 kum su süspansiyonunda pH-metre kullanılarak ölçülmüştür. Sonuçlar Tablo 4.3'de verilmiştir.

Tablo 4.3: Numunelerin ölçülen pH değerleri.

Numune	pH	Numune	pH
091107001-Kumcağız	9,20	091107011-Dikili	9,33
091107002-Kumcağız	8,75	091107012-Dikili	9,23
091107003-Kumcağız	9,58	091107013-Kovanağzı	9,46
091107004-Cebeci	10,14	091107014-Kerpe	8,83
091107005-Cebeci	9,89	100416015-Uzunkum	9,34
091107006-Cebeci	10,08	100416016-Uzunkum	9,69
091107007-Cebeci	10,03	100416017-Uzunkum	10,07
091107008-Çamkonak	9,96	100416018-Sarısu	9,85
091107009-Çamkonak	9,28	100416019-Seyrek	9,77
091107010-Dikili	9,29	100416020-Bağıranlı	9,77

#### 4.5. Numunelerin CaCO<sub>3</sub> Analizi

Homojen hale getirilen kum numunelerinden yaklaşık 10 g alınarak, göz açıklığı 0,45 µm filtrelerden geçirilir. Kumlar tuzundan arındırılmak için saf su ile yıkanır. Nemli olan numuneler 55 °C etüve koyularak bir gün boyunca kurutulur ve ilk tartım alınır. Tartımdan sonra 0,5 N HCl ile oda sıcaklığında 20 dakika muamele edilerek CaCO<sub>3</sub> uzaklaştırılır. Daha sonra 0,45 µm'lik filtreden geçirilen ve 3 defa saf su ile yıkanan numune (Şekil 4.6) 55 °C'ye ayarlı etüvde bir gün boyunca kurutulur ve tartılır. Son tartım sonucu, ilk tartım sonucundan çıkarılarak aradaki fark hesaplanır [34]. Tablo 4.4'de sonuçlar gösterilmektedir.

Tablo 4.4: Numunelerin içindeki CaCO<sub>3</sub> miktarları.

Numune	CaCO <sub>3</sub> (%)	Numune	CaCO <sub>3</sub> (%)
091107001-Kumcağız	27,94 ± 1,11	091107011-Dikili	9,40 ± 0,45
091107002-Kumcağız	28,60 ± 0,86	091107012-Dikili	14,24 ± 0,91
091107003-Kumcağız	11,76 ± 0,12	091107013-Kovanağzı	33,88 ± 0,07
091107004-Cebeci	15,69 ± 0,83	091107014-Kerpe	10,50 ± 1,06
091107005-Cebeci	17,39 ± 0,92	100416015-Uzunkum	10,90 ± 1,02
091107006-Cebeci	13,95 ± 0,16	100416016-Uzunkum	13,84 ± 1,44
091107007-Cebeci	19,92 ± 0,02	100416017-Uzunkum	11,86 ± 0,44
091107008-Çamkonak	15,61 ± 1,53	100416018-Sarısu	11,96 ± 0,82
091107009-Çamkonak	14,38 ± 1,86	100416019-Seyrek	42,33 ± 2,39
091107010-Dikili	13,97 ± 0,13	100416020-Bağıranlı	17,56 ± 0,11



Şekil 4.6: Numunelerin saf su ile yıkandığı vakum filtre sistemi.

#### 4.6. Numunelerin Toplam Organik Madde Miktarı (TOM)

Homojen hale getirilen kum numunelerinden 1 g alınarak, üzerlerine 100 ml  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  eklenerek 85 °C etüve koyulur. Etüde 5 saat bekletilir ve organik madde miktarı uzaklaştırılır. Daha sonra 0,45  $\mu\text{m}$ 'lik filtreden geçirilen ve 3 defa saf su ile yıkanan numune 55 °C'ye ayarlı etüde bir gün boyunca kurutulur ve tartılır. Son tartım sonucu, ilk tartım sonucundan çıkarılarak aradaki fark hesaplanır [35]. Tablo 4.5'de sonuçlar gösterilmektedir.

Tablo 4.5: Numunelerin içindeki TOM miktarları.

Numune	TOM (%)	Numune	TOM (%)
091107001-Kumcağız	3,86 ± 0,66	091107011-Dikili	2,91± 0,19
091107002-Kumcağız	0,53 ± 0,21	091107012-Dikili	4,11 ± 0,55
091107003-Kumcağız	5,35 ± 0,38	091107013-Kovanağzı	2,05 ± 0,42
091107004-Cebeci	4,99 ± 0,71	091107014-Kerpe	1,85 ± 0,84
091107005-Cebeci	3,21 ± 0,33	100416015-Uzunkum	4,49± 0,80
091107006-Cebeci	1,06 ± 0,5	100416016-Uzunkum	2,97 ± 0,80
091107007-Cebeci	4,43 ± 0,52	100416017-Uzunkum	2,76 ± 0,20
091107008-Çamkonak	6,30 ± 1,67	100416018-Sarısu	6,71 ± 0,03
091107009-Çamkonak	4,92 ± 0,18	100416019-Seyrek	4,79 ± 0,17
091107010-Dikili	3,13 ± 0,25	100416020-Bağırzanlı	2,34 ± 0,20

#### 4.7. Numunelerin Radyasyon Ölçümü İçin Hazırlanması ve Sayımı

Numuneler laboratuvar ortamında plastik kaplara koyulup, birkaç gün oda sıcaklığında kurutuldu. Kuruyan numuneler 1mm genişlikte gözeneklere sahip çelik elek yardımıyla elendi ve içinde bulunan taş, midye kabukları gibi yabancı maddelerden ayıklandı. Homojen hale gelen numuneler etüve koyularak, 60 °C’de 48 saat kurutuldu [8]. Sayım yapılacak kabın darası alınarak, kuruyan numuneler Şekil 4.7 gösterilen sayım kaplarına koyularak net ağırlıkları belirlendi. Sayım kaplarının üzerlerine cam kalemiyle numunenin kodu yazıldı. Numunelerin net ağırlıkları 250 ve 300 gram arasında değişmektedir. Uranyum serisi elementlerini doğru tespit edebilmek için, Radon’un dengeye gelmesi gerekir. Bu nedenle sayım kapları hava almayacak şekilde kapatılıp, parafilm ile izole edildi. Sayım yapılmadan önce 4 hafta bekletildi.



Şekil 4.7: Numunelerin koyulduğu sayım kapı.

Sayıma hazır hale gelen her numune ORTEC GEM25P4-70 model HPGe Gama dedektörüne konulup, 100000 ile 300000 saniye arasındaki sürelerde sayım alınmıştır.

## 4.8. Hesaplamalar

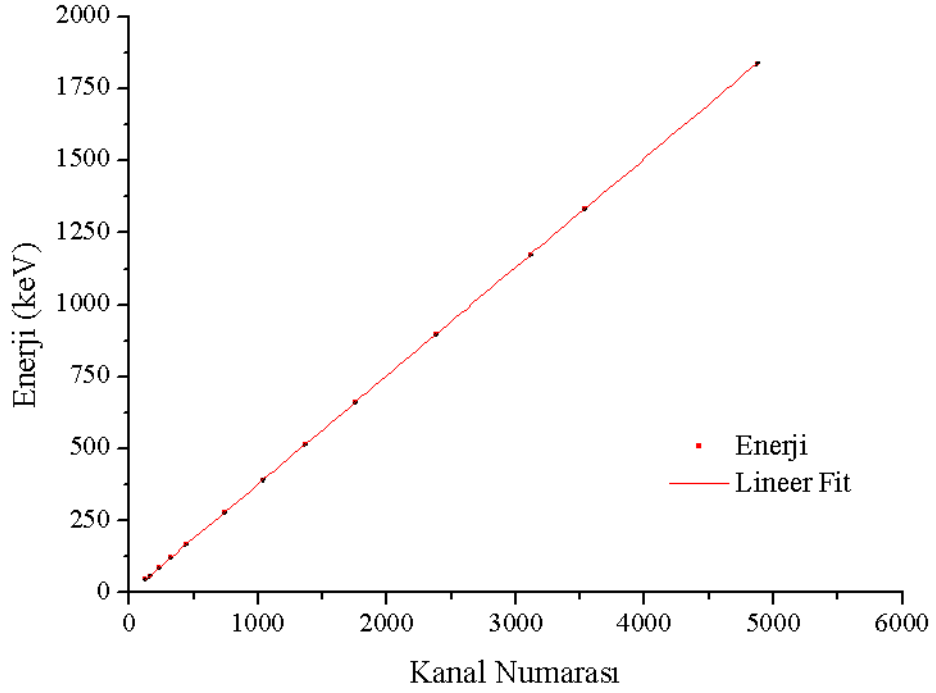
### 4.8.1. Enerji kalibrasyonu

Bu çalışmada, enerji ve verim kalibrasyonu için An Eckert & Zeigler Company Isotope Product Laboratuvar firmasına ait 1364-53-04 numaralı, 1 Mayıs 2009 12:00 referans tarihli, 1,3 g/cc yoğunluğa sahip multinüklid standart kaynak kullanılmıştır. Standart kaynağın soğurma etkisi (self-absorpsiyon) ihmal edilmiştir. Standart kaynak,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{109}\text{Cd}$ ,  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{139}\text{Ce}$ ,  $^{203}\text{Hg}$ ,  $^{113}\text{Sn}$ ,  $^{85}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{88}\text{Y}$  ve  $^{60}\text{Co}$  radyonüklidlerini içerir (Ek-A). Standart kaynak ile 3600 s ölçüm alınarak, Tablo 4.6'da gösterilen standart kaynak içindeki radyonüklidlere ait gama enerjilerine karşılık gelen kanal numaraları belirlendi.

Tablo 4.6: Spektrumdaki gama enerjilerine karşılık gelen kanal numaraları.

Radyonüklid	Bozunum Türü	Enerji (keV)	Kanal Numarası
$^{210}\text{Pb}$	$\beta^-$	$46,539 \pm 0,001$	123,41
$^{241}\text{Am}$	$\alpha$	$59,5409 \pm 0,0001$	157,73
$^{109}\text{Cd}$	$\epsilon$	$88,0336 \pm 0,0001$	233,08
$^{57}\text{Co}$	$\epsilon$	$122,0607 \pm 0,0001$	323,32
$^{139}\text{Ce}$	$\epsilon$	$165,8575 \pm 0,0011$	439,49
$^{203}\text{Hg}$	$\beta^-$	$279,195 \pm 0,001$	739,49
$^{113}\text{Sn}$	$\epsilon$	$391,698 \pm 0,003$	1038,57
$^{85}\text{Sr}$	$\epsilon$	$514,007 \pm 0,002$	1363,27
$^{137}\text{Cs}$	$\beta^-$	$661,657 \pm 0,003$	1754,99
$^{88}\text{Y}$	$\beta^+$	$898,042 \pm 0,003$	2382,08
$^{60}\text{Co}$	$\beta^-$	$1173,228 \pm 0,003$	3112,29
$^{60}\text{Co}$	$\beta^-$	$1332,492 \pm 0,004$	3534,89
$^{88}\text{Y}$	$\beta^+$	$1836,06 \pm 0,12$	4871,10

Tablo 4.6'daki değerler kullanılarak, enerji kalibrasyonu grafiği çizildi (Şekil 4.8).



Şekil 4.8: Enerji kalibrasyonu grafiği.

Grafikten doğru denklemi elde edilerek, enerji kalibrasyonu denklemi

$$E = 0,1366(0,0281) + 0,376990(1,05321E - 4) * KN \quad (4.1)$$

olarak bulundu.

#### 4.8.2. Verim kalibrasyonu

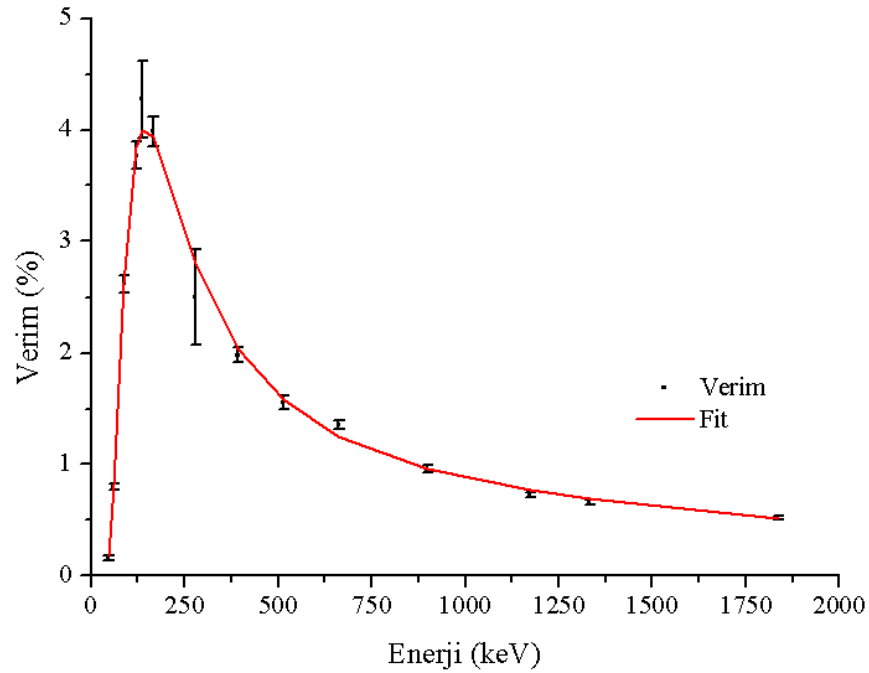
Verim kalibrasyonu için enerji kalibrasyonunda kullanılan standart kaynak kullanıldı. Aktivitesi bilinen bu standart kaynak ile aktivite denklemi (3.8) kullanılarak verim değerleri hesaplandı. Hesaplanan verim değerleri Tablo 4.7’de gösterilmiştir.

Bulunan verim değerleri için, enerji verim grafiği çizilerek, Şekil 4.9’da gösterilmektedir.



Tablo 4.7: Standart kaynak için hesaplanan verim değerleri.

Radyonüklid	Enerji (keV)	$\epsilon$ (%)	$\Delta\epsilon$ (%)
$^{210}\text{Pb}$	46,539	0,16	0,02
$^{241}\text{Am}$	59,5409	0,79	0,03
$^{109}\text{Cd}$	88,0336	2,62	0,08
$^{57}\text{Co}$	122,0607	3,77	0,12
$^{57}\text{Co}$	136,47356	4,27	0,34
$^{139}\text{Ce}$	165,8575	3,98	0,13
$^{203}\text{Hg}$	279,195	2,50	0,43
$^{113}\text{Sn}$	391,698	1,98	0,07
$^{85}\text{Sr}$	514,007	1,56	0,06
$^{137}\text{Cs}$	661,657	1,35	0,04
$^{88}\text{Y}$	898,042	0,96	0,03
$^{60}\text{Co}$	1173,228	0,72	0,02
$^{60}\text{Co}$	1332,492	0,66	0,02
$^{88}\text{Y}$	1836,063	0,52	0,02



Şekil 4.9: Verim grafiği

Grafikteki değerler fit edilerek, verim kalibrasyonu denklemini

$$\varepsilon = e^{-0,34183E - 4,96158E^0 + 0,64035E^{-1} - 0,07333E^{-2} + 0,00300E^{-3} - 0,00005E^{-4}} \quad (4.2)$$

elde edildi.

#### 4.8.3. Aktivite

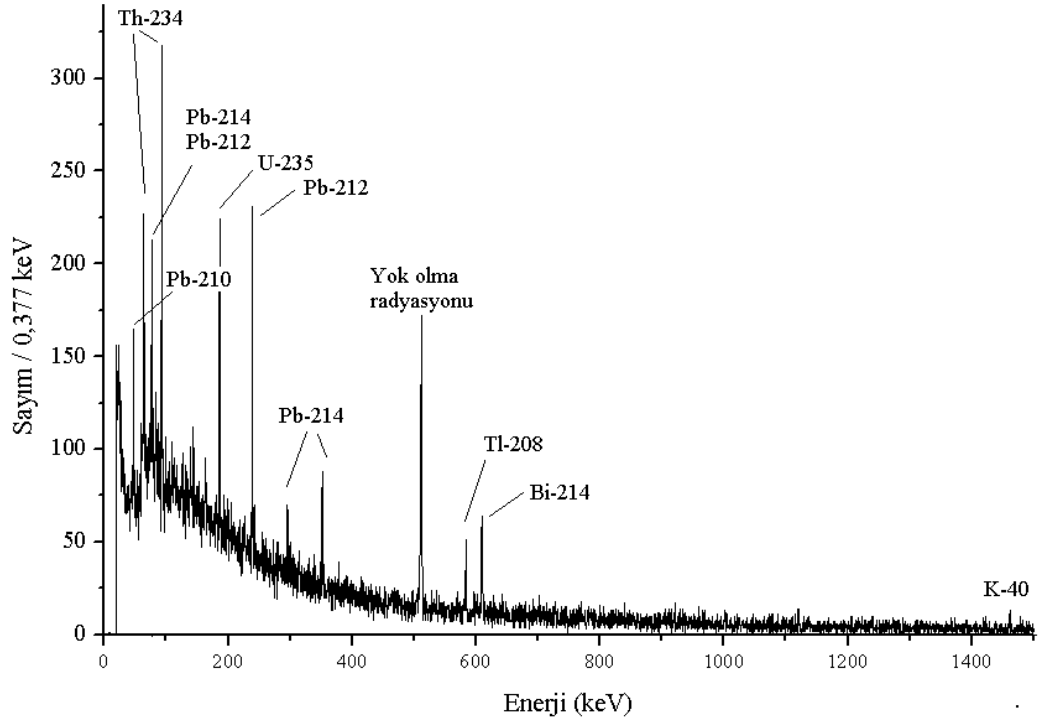
Doğal radyonüklidlerden  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  ve yapay radyonüklid olan  $^{137}\text{Cs}$  için aktivite değerleri hesaplanmıştır. (Bu radyonüklidlerin, aktivite hesabında kullanılacak enerji değerleri Bölüm 2’de verilmiştir.)

Aktivite hesabı için;

$$A = \frac{N_{\text{net}}}{\varepsilon_{\gamma} t I_{\gamma}} \quad (4.3)$$

(A aktivite,  $N_{\text{net}}$  net pik alanı,  $\varepsilon_{\gamma}$  verim değeri, t sayım süresi ve  $I_{\gamma}$  yayınlanma olasılığı) denklemini kullanılmıştır.

Denkleminde ki  $N_{\text{net}}$  net pik alanı hesabı için fon (background) sayımı alınmıştır. Fon sayımı için dedektöre boş sayım kapı konularak, 78658 saniye sayım alınmıştır. Tablo 4.8’de fon sayımında görülen enerjiler, Şekil 4.10’da alınan fon sayım spektrumu gösterilmiştir.



Şekil 4.10: Fon sayım spektrumu.

Tablo 4.8: Fon sayım spektrumunda elde edilen piklerin enerjileri ve kaynakları.

Enerji (keV)	Radyonüklid	Enerji (keV)	Radyonüklid
46,54	$^{210}\text{Pb}$ ( $^{238}\text{U}$ )	241,99	$^{214}\text{Pb}$ ( $^{238}\text{U}$ )
63,29	$^{234}\text{Th}$ ( $^{238}\text{U}$ )	295,22	$^{214}\text{Pb}$ ( $^{238}\text{U}$ )
77,10	$^{212}\text{Pb}$ ( $^{232}\text{Th}$ ) $^{214}\text{Pb}$ ( $^{238}\text{U}$ )	351,93	$^{214}\text{Pb}$ ( $^{238}\text{U}$ )
83,68	$^{228}\text{Th}$ ( $^{232}\text{Th}$ )	511,10	Yok olma radyasyonu
92,50	$^{234}\text{Th}$ ( $^{238}\text{U}$ )	583,19	$^{208}\text{Tl}$ ( $^{232}\text{Th}$ )
144,13	$^{235}\text{U}$	609,32	$^{214}\text{Bi}$ ( $^{238}\text{U}$ )
185,72	$^{235}\text{U}$	1460,82	$^{40}\text{K}$
238,63	$^{212}\text{Pb}$ ( $^{232}\text{Th}$ )		

Fon sayımının belirlenmesiyle,  $N_{\text{net}}$  değerlerinin hesabı, Bölüm 3’de verilen denklem (3.4) ile hesaplanmıştır.

Aktiviteleri hesaplanan numunelerin ağırlıklı ortalamaları aşağıda verilen formüllerle yapılmıştır.

$A_1 \pm \Delta A_1$  ve  $A_2 \pm \Delta A_2$  hataları ile birlikte bulunan aktivite değerleri olsun. Aktivite değerlerinin ağırlıklı ortalaması,

$$A = \frac{\frac{A_1}{\Delta A_1^2} + \frac{A_2}{\Delta A_2^2}}{\frac{1}{\Delta A_1^2} + \frac{1}{\Delta A_2^2}} \quad (4.4)$$

bu formülle hesaplanır.

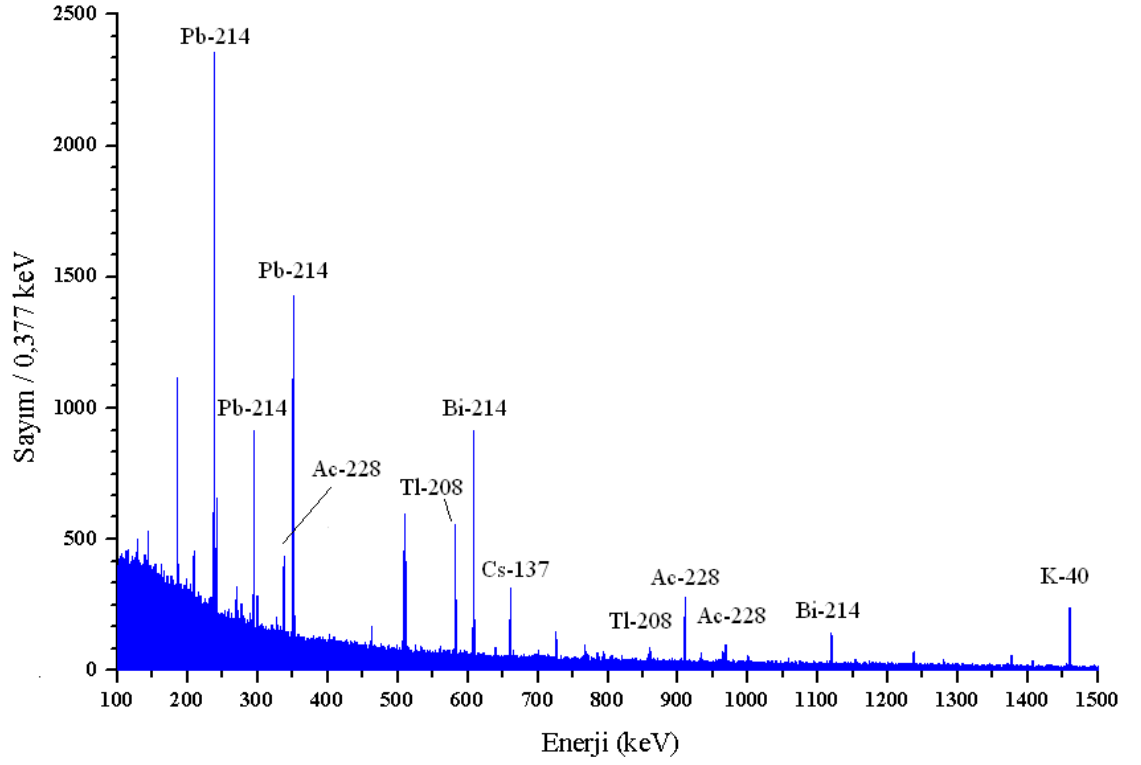
Hata değerlerinin ağırlıklı ortalaması ise,

$$\Delta A = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{\Delta A_1^2} + \frac{1}{\Delta A_2^2}}} \quad (4.5)$$

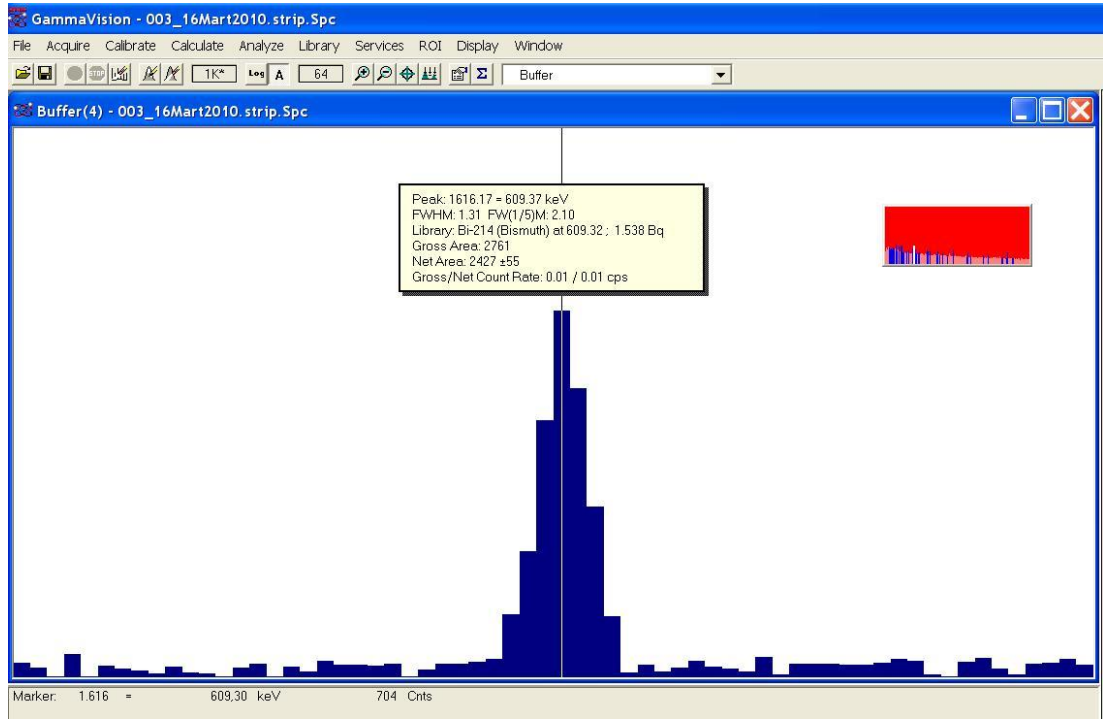
bu formülle hesaplanır.

Örnek olarak 091107003 no'lu Kumcağız numunesi ile elde edilen spektrum Şekil 4.11'de gösterilmiştir. Toplam ölçüm süresi 256592 s'dir.

Şekil 4.11'de gösterilen 091107003 no'lu Kumcağız spektrumunda görülen  $^{214}\text{Bi}$  (609,37 keV) pikinin ayrıntılı gösterimi Şekil 4.12'de gösterilmektedir.

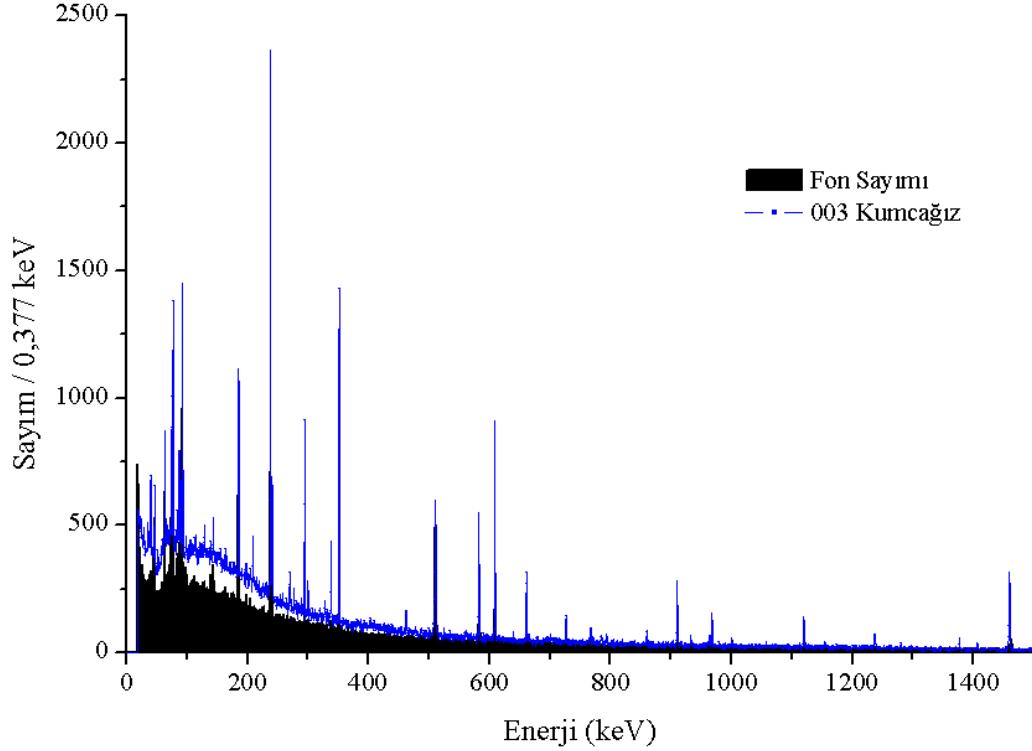


Şekil 4.11: Kumcağız 091107003 no'lu numunesinin sayımı ile elde edilen spektrum.



Şekil 4.12: Kumcağız 091107003 no'lu spektrumundaki  $^{214}\text{Bi}$  (609,37 keV) pikinin gösterimi.

Şekil 4.13’de, 256592 s ölçüm alınan 091107003 Kumcağız spektrum ve fon sayımı spektrumunu aynı şekil üzerinde gösterilmektedir.



Şekil 4.13: Kumcağız 091107003 no’lu numunesinin sayımı ve fon sayımından elde edilen spektrumların birlikte gösterimi.

#### 4.8.4. Gama doz hızı hesabı

Doğal radyasyona katkı çok büyük oranda  $^{238}\text{U}$   $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  dan kaynaklanmaktadır. Bu radyonüklidlerin aktivite değerlerinin bilinmesiyle, yerden bir metre yükseklikte havadaki gama doz hızı hesaplanabilir.

Bir metre yüksekliğinde ki gama doz hızı hesabı,

$$\text{Doz Hızı} = \text{Radyonüklidin SA (Bq/kg)} * \text{Dönüşüm Faktörü (nGy sa}^{-1}\text{/Bq kg}^{-1}\text{)}$$

formülüyle hesaplanır. Burada, radyonüklidin spesifik aktivitesi Bq/kg ve dönüşüm faktörü nGy sa<sup>-1</sup>/Bq kg<sup>-1</sup> birimlerindedir. Her radyonüklide ait dönüşüm faktörleri Tablo 4.9’da gösterilmektedir [1].

Tablo 4.9: Dönüşüm faktörleri [1].

Radyonüklid	Doz katsayıları (n Gy saat <sup>-1</sup> / Bq kg <sup>-1</sup> )
<sup>40</sup> K	0,0417
<sup>238</sup> U	0,462
<sup>232</sup> Th	0,604

Bir metre yüksekliğinde ki doğal radyasyon doz hızı denklem (4.6) ile hesaplanır.

$$D(\text{nGy saat}^{-1}) = 0,604SA_{\text{Th}} + 0,462SA_{\text{U}} + 0,0417SA_{\text{K}} \quad (4.6)$$

Burada, SA<sub>Th</sub>, SA<sub>U</sub>, SA<sub>K</sub> sırasıyla <sup>232</sup>Th <sup>238</sup>U ve <sup>40</sup>K için hesaplanan spesifik aktivite konsantrasyonlarıdır.

Dünyada genelinde gama doz hızı aralığı 18-93 nGy saat<sup>-1</sup>, arasında değişmekte olup, gama doz hızı ortalaması ise 60 nGy saat<sup>-1</sup>'dir [1].

#### 4.8.5. Yıllık efektif doz hızı hesabı

Yıllık efektif doz hızı ise,

$$\text{Efektif Doz Hızı } (\mu\text{Sv y}^{-1}) = \text{Doz Hızı} * 24\text{sa} * 365\text{g} * 0,2 * 0,7 \text{ Sv Gy}^{-1} * 10^{-3} \quad (4.7)$$

formülüyle hesaplanır. Burada, 0,7 yetişkinler için havadan soğurulan doz miktarının efektif doza dönüşüm katsayısı, 0,2 ise dış ortamda geçirilen süre ile ilgili faktör. Dış ışınlanma için tüm dünyada ortalama yıllık etkin doz 70  $\mu\text{Sv y}^{-1}$ 'dir [1].

#### 4.8.6. Radyum eşdeğer aktivite ve harici radyasyon riski hesabı

Sahil kumları bina malzemelerinde ve endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Gama radyasyonunun tehlikesini belirlemek için, tayin edilen radyonüklidlerin incelenmesinde iki farklı indis vardır (radyum eşdeğer aktivite ve harici radyasyon riski) [1,36].

U, K ve Th içeren numunelerin spesifik aktivitelerini karşılaştırmak için radyum eşdeğer aktivitesi Ra<sub>eq</sub> adı verilen ortak bir indeks kullanılmaktadır. Ra eşdeğer aktivitesi 370 Bq kg<sup>-1</sup> <sup>226</sup>Ra, 259 Bq kg<sup>-1</sup> <sup>232</sup>Th ve 4810 Bq kg<sup>-1</sup> <sup>40</sup>K'ın aynı miktarda

gama dozu ürettiği kabul edilerek tanımlanmıştır ve bu değerin radyolojik risk açısından  $370 \text{ Bq kg}^{-1}$  geçmemesi istenmektedir [36].

$$Ra_{eq} = SA_U + 1,43SA_{Th} + 0,077SA_K \quad (4.8)$$

Denklemden,  $SA_U$ ,  $SA_{Th}$ ,  $SA_K$  sırasıyla  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ , ve  $^{40}\text{K}$  için hesaplanan spesifik aktivite değerleridir.

Harici radyasyon riski ise,

$$H_{ex} = (SA_U / 370) + (SA_{Th} / 259) + (SA_K / 4810) \leq 1 \quad (4.9)$$

formülüyle hesaplanır [36].



## BÖLÜM 5. SONUÇ VE YORUM

Bu çalışma, Kocaeli İli Kandıra İlçesi'nin, sahil kumlarının doğal radyoaktivite seviyesinin belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Kandıra İlçesi'nin 10 sahilinden toplanan 20 adet kum numunesinin gama spektroskopisi ile sayımları yapıp, aktivite ve spesifik aktivite değerleri 3. ve 4. Bölümde belirtilen yöntemlerle hesaplanmıştır. Ayrıca her bir sahil için doz hızı, yıllık efektif doz hızı, radyum eşdeğer aktivitesi ve harici radyasyon riski hesaplanmıştır.

### 5.1. Numunelerin Aktivite ve Spesifik Aktivite Değerleri

Gama spektroskopi sistemi ile sayımları alınan her bir numunenin pik altındaki net sayımları, aktivite ve spesifik aktiviteleri tablolar halinde verilmiştir.

Tablo 5.1: Kumcağız 091107001 nolu numunenin 250563 saniye sayımı ile elde edilen aktivite ve spesifik aktivite değerleri.

091107001 Kumcağız		Enerji (keV)	Net Sayım	Aktivite (Bq)	Spesifik Aktivite (Bq kg <sup>-1</sup> )	Ağırlıklı Ortalama
<sup>238</sup> U	<sup>214</sup> Pb	241,995	1334 ± 61	2,3 ± 0,1	8,3 ± 0,1	7,47 ± 0,03
		295,223	2720 ± 85	2,2 ± 0,1	7,9 ± 0,1	
		351,932	4249 ± 72	2,1 ± 0,1	7,5 ± 0,1	
	<sup>214</sup> Bi	609,32	3010 ± 60	2,0 ± 0,1	7,0 ± 0,1	
		1120,29	681 ± 43	2,3 ± 0,2	8,1 ± 0,2	
<sup>232</sup> Th	<sup>228</sup> Ac	338,32	1170 ± 49	1,7 ± 0,1	6,3 ± 0,1	6,48 ± 0,02
		911,204	1396 ± 43	2,3 ± 0,1	8,1 ± 0,1	
		968,971	798 ± 34	2,2 ± 0,1	8,0 ± 0,1	
	<sup>212</sup> Pb	238,632	6151 ± 90	1,76 ± 0,03	6,29 ± 0,03	
	<sup>208</sup> Tl	583,187	1882 ± 49	1,8 ± 0,1	6,3 ± 0,1	
<sup>40</sup> K	<sup>40</sup> K	1460,822	1813 ± 48	10,7 ± 0,5	38,1 ± 0,5	38,1 ± 0,5
<sup>137</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs	661,657	1089 ± 39	0,41 ± 0,02	1,45 ± 0,02	1,45 ± 0,02

Tablo 5.2: Kumcağız 091107002 no'lu numunenin 223829 saniye sayımı ile elde edilen aktivite ve spesifik aktivite değerleri.

091107002 Kumcağız		Enerji (keV)	Net sayım	Aktivite (Bq)	Spesifik Aktivite (Bq kg <sup>-1</sup> )	Ağırlıklı Ortalama
<sup>238</sup> U	<sup>214</sup> Pb	241,995	1452 ± 77	2,8 ± 0,2	9,9 ± 0,2	8,51 ± 0,04
		295,223	2701 ± 99	2,5 ± 0,1	8,6 ± 0,1	
		351,932	4392 ± 102	2,4 ± 0,1	8,5 ± 0,1	
	<sup>214</sup> Bi	609,32	3184 ± 86	2,3 ± 0,1	8,1 ± 0,1	
		1120,294	664 ± 58	2,5 ± 0,2	8,7 ± 0,2	
<sup>232</sup> Th	<sup>228</sup> Ac	338,32	1421 ± 95	2,4 ± 0,2	8,4 ± 0,2	8,53 ± 0,03
		911,204	1338 ± 54	2,4 ± 0,1	8,5 ± 0,1	
		968,971	693,8 ± 38	2,2 ± 0,2	7,6 ± 0,2	
	<sup>212</sup> Pb	238,632	7771 ± 109	2,49 ± 0,04	8,68 ± 0,04	
	<sup>208</sup> Tl	583,187	2249 ± 81	2,3 ± 0,1	8,2 ± 0,1	
<sup>40</sup> K	<sup>40</sup> K	1460,822	1999 ± 57	13,2 ± 0,7	45,9 ± 0,7	45,9 ± 0,7
<sup>137</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs	661,657	1186 ± 48	0,50 ± 0,02	1,73 ± 0,02	1,73 ± 0,02

Tablo 5.3: Kumcağız 091107003 no'lu numunenin 256592 saniye sayımı ile elde edilen aktivite ve spesifik aktivite değerleri.

091107003 Kumcağız		Enerji (keV)	Net sayım	Aktivite (Bq)	Spesifik Aktivite (Bq kg <sup>-1</sup> )	Ağırlıklı Ortalama
<sup>238</sup> U	<sup>214</sup> Pb	241,995	1180 ± 54	2,0 ± 0,1	7,2 ± 0,1	6,17 ± 0,02
		295,223	2138 ± 55	1,7 ± 0,1	6,1 ± 0,1	
		351,932	3749 ± 72	1,81 ± 0,04	6,48 ± 0,04	
	<sup>214</sup> Bi	609,32	2528 ± 56	1,6 ± 0,1	5,7 ± 0,1	
		1120,294	440 ± 30	1,4 ± 0,1	5,1 ± 0,1	
<sup>232</sup> Th	<sup>228</sup> Ac	338,32	822 ± 41	1,2 ± 0,1	4,3 ± 0,1	4,74 ± 0,02
		911,204	903 ± 35	1,4 ± 0,1	5,1 ± 0,1	
		968,971	660 ± 30	1,8 ± 0,1	6,4 ± 0,1	
	<sup>212</sup> Pb	238,632	4627 ± 78	1,30 ± 0,03	4,62 ± 0,03	
	<sup>208</sup> Tl	583,187	1458 ± 51	1,3 ± 0,1	4,8 ± 0,1	
<sup>40</sup> K	<sup>40</sup> K	1460,822	1405 ± 42	8,06 ± 0,41	28,8 ± 0,4	28,8 ± 0,4
<sup>137</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs	661,657	1116 ± 39	0,41 ± 0,02	1,45 ± 0,02	1,45 ± 0,02

Tablo 5.4: Cebeci 091107004 no'lu numunenin 99943 saniye sayımı ile elde edilen aktivite ve spesifik aktivite değerleri.

091107004 Cebeci		Enerji (keV)	Net sayım	Aktivite (Bq)	Spesifik Aktivite (Bq kg <sup>-1</sup> )	Ağırlıklı Ortalama
<sup>238</sup> U	<sup>214</sup> Pb	241,995	919 ± 59	4,01 ± 0,26	14,3 ± 0,3	11,9 ± 0,1
		295,223	1649 ± 77	3,4 ± 0,2	12,0 ± 0,2	
		351,932	2731 ± 77	3,4 ± 0,1	12,1 ± 0,1	
	<sup>214</sup> Bi	609,32	1952 ± 58	3,2 ± 0,1	11,3 ± 0,1	
		1120,294	356 ± 42	3,0 ± 0,4	10,7 ± 0,4	
<sup>232</sup> Th	<sup>228</sup> Ac	338,32	1026 ± 61	3,9 ± 0,2	13,9 ± 0,2	14,6 ± 0,1
		911,204	1187 ± 48	4,8 ± 0,2	17,3 ± 0,2	
		968,971	611 ± 35	4,3 ± 0,3	15,3 ± 0,3	
	<sup>212</sup> Pb	238,632	5615 ± 87	4,03 ± 0,07	14,4 ± 0,1	
	<sup>208</sup> Tl	583,187	1714 ± 61	4,01 ± 0,16	14,3 ± 0,2	
<sup>40</sup> K	<sup>40</sup> K	1460,822	9695 ± 102	143 ± 6	510 ± 6	510 ± 6
<sup>137</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs	661,657	1581 ± 60	1,5 ± 0,1	5,3 ± 0,1	5,3 ± 0,1

Tablo 5.5: Cebeci 091107005 no'lu numunenin 80670 saniye sayımı ile elde edilen aktivite ve spesifik aktivite değerleri.

091107005 Cebeci		Enerji (keV)	Net sayım	Aktivite (Bq)	Spesifik Aktivite (Bq kg <sup>-1</sup> )	Ağırlıklı Ortalama
<sup>238</sup> U	<sup>214</sup> Pb	241,995	835 ± 60	4,5 ± 0,3	16,1 ± 0,3	13,3 ± 0,1
		295,223	1404 ± 65	3,6 ± 0,2	12,7 ± 0,2	
		351,932	2467 ± 77	3,8 ± 0,1	13,6 ± 0,1	
	<sup>214</sup> Bi	609,32	1800 ± 58	3,6 ± 0,1	13,0 ± 0,2	
		1120,294	376 ± 35	3,9 ± 0,4	13,9 ± 0,4	
<sup>232</sup> Th	<sup>228</sup> Ac	338,32	917 ± 68	4,3 ± 0,3	15,3 ± 0,3	15,8 ± 0,1
		911,204	1038 ± 46	5,2 ± 0,3	18,7 ± 0,3	
		968,971	489 ± 34	4,3 ± 0,3	15,2 ± 0,3	
	<sup>212</sup> Pb	238,632	4880 ± 86	4,3 ± 0,1	15,5 ± 0,1	
	<sup>208</sup> Tl	583,187	1579 ± 64	4,6 ± 0,2	16,4 ± 0,2	
<sup>40</sup> K	<sup>40</sup> K	1460,822	7477 ± 91	136,5 ± 5,8	487,4 ± 5,8	487,4 ± 5,8
<sup>137</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs	661,657	1301 ± 57	1,5 ± 0,1	5,4 ± 0,1	5,39 ± 0,1

Tablo 5.6: Cebeci 091107006 no'lu numunenin 80115 saniye sayımı ile elde edilen aktivite ve spesifik aktivite değerleri.

091107006 Cebeci		Enerji (keV)	Net sayım	Aktivite (Bq)	Spesifik Aktivite (Bq kg <sup>-1</sup> )	Ağırlıklı Ortalama
<sup>238</sup> U	<sup>214</sup> Pb	241,995	845 ± 61	4,6 ± 0,3	18,1 ± 0,3	14,9 ± 0,1
		295,223	1518 ± 82	3,9 ± 0,2	15,2 ± 0,2	
		351,932	2360 ± 70	3,7 ± 0,1	14,4 ± 0,1	
	<sup>214</sup> Bi	609,32	1814 ± 70	3,7 ± 0,2	14,5 ± 0,2	
		1120,294	410 ± 55	4,3 ± 0,6	16,9 ± 0,6	
<sup>232</sup> Th	<sup>228</sup> Ac	338,32	999 ± 58	4,7 ± 0,3	18,6 ± 0,3	18,8 ± 0,1
		911,204	1030 ± 49	5,2 ± 0,3	20,65 ± 0,3	
		968,971	538 ± 34	4,7 ± 0,3	18,6 ± 0,3	
	<sup>212</sup> Pb	238,632	5275 ± 88	4,7 ± 0,1	18,6 ± 0,1	
	<sup>208</sup> Tl	583,187	1643 ± 63	4,8 ± 0,2	18,9 ± 0,2	
<sup>40</sup> K	<sup>40</sup> K	1460,822	8016 ± 97	147,3 ± 0,1	581,01 ± 0,07	581,01 ± 6,24
<sup>137</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs	661,657	1352 ± 46	1,6 ± 0,1	6,2 ± 0,1	6,2 ± 0,1

Tablo 5.7: Cebeci 091107007 no'lu numunenin 166975 saniye sayımı ile elde edilen aktivite ve spesifik aktivite değerleri.

091107007 Cebeci		Enerji (keV)	Net sayım	Aktivite (Bq)	Spesifik Aktivite (Bq kg <sup>-1</sup> )	Ağırlıklı Ortalama
<sup>238</sup> U	<sup>214</sup> Pb	241,995	1545 ± 85	4,03 ± 0,22	14,9 ± 0,2	13,1 ± 0,1
		295,223	2815 ± 109	3,4 ± 0,1	12,6 ± 0,1	
		351,932	4897 ± 113	3,6 ± 0,1	13,4 ± 0,1	
	<sup>214</sup> Bi	609,32	3498 ± 89	3,4 ± 0,1	12,5 ± 0,1	
		1120,294	719 ± 55	3,6 ± 0,3	13,3 ± 0,3	
<sup>232</sup> Th	<sup>228</sup> Ac	338,32	1800 ± 95	4,1 ± 0,2	15,0 ± 0,2	15,7 ± 0,1
		911,204	1891 ± 66	4,6 ± 0,2	17,0 ± 0,2	
		968,971	1067 ± 47	4,5 ± 0,2	16,5 ± 0,2	
	<sup>212</sup> Pb	238,632	9919 ± 124	4,3 ± 0,1	15,7 ± 0,1	
	<sup>208</sup> Tl	583,187	2912 ± 86	4,1 ± 0,1	15,00 ± 0,1	
<sup>40</sup> K	<sup>40</sup> K	1460,822	13570 ± 130	119,7 ± 0,3	440,3 ± 0,3	440,3 ± 0,3
<sup>137</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs	661,657	2419 ± 75	1,4 ± 0,1	5,0 ± 0,1	5,0 ± 0,1

Tablo 5.8: Çamkonak 091107008 no'lu numunenin 85488 saniye sayımı ile elde edilen aktivite ve spesifik aktivite değerleri.

091107008 Çamkonak		Enerji (keV)	Net sayım	Aktivite (Bq)	Spesifik Aktivite (Bq kg <sup>-1</sup> )	Ağırlıklı Ortalama
<sup>238</sup> U	<sup>214</sup> Pb	241,995	862 ± 60	4,4 ± 0,3	16,0 ± 0,3	13,5 ± 0,1
		295,223	1474 ± 69	3,5 ± 0,2	12,8 ± 0,2	
		351,932	2670 ± 79	3,9 ± 0,1	14,1 ± 0,1	
	<sup>214</sup> Bi	609,32	1876 ± 65	3,6 ± 0,1	13,0 ± 0,1	
		1120,294	328 ± 51	3,2 ± 0,5	11,7 ± 0,5	
<sup>232</sup> Th	<sup>228</sup> Ac	338,32	978 ± 56	4,3 ± 0,3	15,69 ± 0,3	15,5 ± 0,1
		911,204	940 ± 46	4,5 ± 0,3	16,3 ± 0,3	
		968,971	536 ± 34	4,4 ± 0,3	16,0 ± 0,3	
	<sup>212</sup> Pb	238,632	5086 ± 87	4,3 ± 0,1	15,5 ± 0,1	
	<sup>208</sup> Tl	583,187	1492 ± 66	4,1 ± 0,2	14,8 ± 0,2	
<sup>40</sup> K	<sup>40</sup> K	1460,822	7479 ± 93	128,8 ± 5,5	467,6 ± 5,5	467,6 ± 5,5
<sup>137</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs	661,657	1115 ± 50	1,2 ± 0,1	4,4 ± 0,1	4,4 ± 0,1

Tablo 5.9: Çamkonak 091107009 no'lu numunenin 124195 saniye sayımı ile elde edilen aktivite ve spesifik aktivite değerleri.

091107009 Çamkonak		Enerji (keV)	Net sayım	Aktivite (Bq)	Spesifik Aktivite (Bq kg <sup>-1</sup> )	Ağırlıklı Ortalama
<sup>238</sup> U	<sup>214</sup> Pb	241,995	1125 ± 74	4,0 ± 0,3	14,5 ± 0,3	13,17 ± 0,07
		295,223	2173 ± 87	3,6 ± 0,2	13,1 ± 0,2	
		351,932	3673 ± 97	3,7 ± 0,1	13,5 ± 0,1	
	<sup>214</sup> Bi	609,32	2638 ± 75	3,5 ± 0,1	12,7 ± 0,1	
		1120,294	515 ± 56	3,5 ± 0,4	12,8 ± 0,4	
<sup>232</sup> Th	<sup>228</sup> Ac	338,32	1390 ± 83	4,2 ± 0,3	15,5 ± 0,3	15,30 ± 0,06
		911,204	1372 ± 69	4,5 ± 0,3	16,5 ± 0,3	
		968,971	749 ± 41	4,2 ± 0,3	15,5 ± 0,3	
	<sup>212</sup> Pb	238,632	7325 ± 105	4,2 ± 0,1	15,5 ± 0,1	
	<sup>208</sup> Tl	583,187	2063 ± 57	3,88 ± 0,1	14,23 ± 0,1	
<sup>40</sup> K	<sup>40</sup> K	1460,822	9866 ± 105	117 ± 5	429 ± 5	429 ± 5
<sup>137</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs	661,657	1472 ± 70	1,1 ± 0,1	4,1 ± 0,1	4,1 ± 0,1

Tablo 5.10: Dikili 091107010 no'lu numunenin 230400 saniye sayımı ile elde edilen aktivite ve spesifik aktivite değerleri.

091107010 Dikili		Enerji (keV)	Net sayım	Aktivite (Bq)	Spesifik Aktivite (Bq kg <sup>-1</sup> )	Ağırlıklı Ortalama
<sup>238</sup> U	<sup>214</sup> Pb	241,995	2187 ± 102	4,1 ± 0,2	14,9 ± 0,2	13,5 ± 0,1
		295,223	4304 ± 143	3,8 ± 0,1	13,7 ± 0,1	
		351,932	7053 ± 129	3,8 ± 0,1	13,7 ± 0,1	
	<sup>214</sup> Bi	609,32	5008 ± 100	3,5 ± 0,1	12,7 ± 0,1	
		1120,294	947 ± 96	3,5 ± 0,4	12,4 ± 0,4	
<sup>232</sup> Th	<sup>228</sup> Ac	338,32	2572 ± 119	4,2 ± 0,2	15,2 ± 0,2	16,0 ± 0,1
		911,204	2416 ± 92	4,3 ± 0,2	15,4 ± 0,2	
		968,971	1339 ± 59	4,1 ± 0,2	14,7 ± 0,2	
	<sup>212</sup> Pb	238,632	14380 ± 148	4,5 ± 0,1	16,1 ± 0,1	
	<sup>208</sup> Tl	583,187	4398 ± 103	4,5 ± 0,1	16,1 ± 0,1	
<sup>40</sup> K	<sup>40</sup> K	1460,822	20920 ± 163	133,7 ± 5,5	482,3 ± 5,5	482,3 ± 5,5
<sup>137</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs	661,657	2242 ± 68	0,91 ± 0,03	3,28 ± 0,03	3,28 ± 0,03

Tablo 5.11: Dikili 091107011 no'lu numunenin 236522 saniye sayımı ile elde edilen aktivite ve spesifik aktivite değerleri.

091107011 Dikili		Enerji (keV)	Net sayım	Aktivite (Bq)	Spesifik Aktivite (Bq kg <sup>-1</sup> )	Ağırlıklı Ortalama
<sup>238</sup> U	<sup>214</sup> Pb	241,995	1240 ± 115	2,3 ± 0,2	8,3 ± 0,2	13,9 ± 0,1
		295,223	4654 ± 136	4,0 ± 0,1	14,5 ± 0,1	
		351,932	7684 ± 139	4,03 ± 0,09	14,6 ± 0,1	
	<sup>214</sup> Bi	609,32	5664 ± 115	3,9 ± 0,3	14,1 ± 0,3	
		1120,294	1083 ± 97	3,8 ± 0,4	13,9 ± 0,4	
<sup>232</sup> Th	<sup>228</sup> Ac	338,32	2838 ± 115	4,5 ± 0,2	16,4 ± 0,2	17,2 ± 0,1
		911,204	2969 ± 100	5,1 ± 0,2	18,5 ± 0,2	
		968,971	1653 ± 60	4,9 ± 0,3	17,7 ± 0,3	
	<sup>212</sup> Pb	238,632	15765 ± 155	4,8 ± 0,1	17,3 ± 0,1	
	<sup>208</sup> Tl	583,187	4628 ± 102	4,6 ± 0,1	16,5 ± 0,1	
<sup>40</sup> K	<sup>40</sup> K	1460,822	27997 ± 183	174,3 ± 7,2	630,0 ± 7,2	630,0 ± 7,2
<sup>137</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs	661,657	2106 ± 69	0,83 ± 0,03	3,01 ± 0,03	3,01 ± 0,03

Tablo 5.12: Dikili 091107012 no'lu numunenin 102504 saniye sayımı ile elde edilen aktivite ve spesifik aktivite değerleri.

091107012 Dikili		Enerji (keV)	Net sayım	Aktivite (Bq)	Spesifik Aktivite (Bq kg <sup>-1</sup> )	Ağırlıklı Ortalama
<sup>238</sup> U	<sup>214</sup> Pb	241,995	945 ± 56	4,02 ± 0,24	14,4 ± 0,2	11,3 ± 0,1
		295,223	1616 ± 67	3,2 ± 0,1	11,5 ± 0,1	
		351,932	2631 ± 62	3,2 ± 0,1	11,4 ± 0,1	
	<sup>214</sup> Bi	609,32	1842 ± 54	2,9 ± 0,1	10,4 ± 0,1	
		1120,294	440 ± 34	3,6 ± 0,3	12,8 ± 0,3	
<sup>232</sup> Th	<sup>228</sup> Ac	338,32	1059 ± 59	3,9 ± 0,2	13,9 ± 0,2	13,9 ± 0,1
		911,204	1254 ± 56	5,0 ± 0,3	17,8 ± 0,3	
		968,971	646 ± 33	4,4 ± 0,3	15,8 ± 0,3	
	<sup>212</sup> Pb	238,632	5462 ± 86	3,8 ± 0,1	13,6 ± 0,1	
	<sup>208</sup> Tl	583,187	1601 ± 55	3,7 ± 0,1	13,04 ± 0,14	
<sup>40</sup> K	<sup>40</sup> K	1460,822	9243 ± 101	132,8 ± 5,6	474,2 ± 5,6	474,2 ± 5,6
<sup>137</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs	661,657	892 ± 38	0,81 ± 0,04	2,91 ± 0,04	2,91 ± 0,04

Tablo 5.13: Kovanağzı 091107013 no'lu numunenin 294048 saniye sayımı ile elde edilen aktivite ve spesifik aktivite değerleri.

091107013 Kovanağzı		Enerji (keV)	Net sayım	Aktivite (Bq)	Spesifik Aktivite (Bq kg <sup>-1</sup> )	Ağırlıklı Ortalama
<sup>238</sup> U	<sup>214</sup> Pb	241,995	1556 ± 80	2,3 ± 0,1	7,6 ± 0,1	7,66 ± 0,04
		295,223	3360 ± 110	2,3 ± 0,1	7,7 ± 0,1	
		351,932	5546 ± 112	2,3 ± 0,1	7,7 ± 0,1	
	<sup>214</sup> Bi	609,32	4102 ± 93	2,3 ± 0,1	7,5 ± 0,1	
		1120,294	855 ± 61	2,4 ± 0,2	8,1 ± 0,2	
<sup>232</sup> Th	<sup>228</sup> Ac	338,32	460 ± 75	0,6 ± 0,1	2,0 ± 0,1	3,14 ± 0,02
		911,204	541 ± 55	0,8 ± 0,1	2,5 ± 0,1	
		968,971	324 ± 40	0,8 ± 0,1	2,6 ± 0,1	
	<sup>212</sup> Pb	238,632	4030 ± 93	0,98 ± 0,02	3,25 ± 0,02	
	<sup>208</sup> Tl	583,187	1202 ± 64	1,0 ± 0,1	3,2 ± 0,1	
<sup>40</sup> K	<sup>40</sup> K	1460,822	1528 ± 54	7,7 ± 0,4	25,3 ± 0,4	25,3 ± 0,4
<sup>137</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs	661,657	1351 ± 58	0,43 ± 0,02	1,42 ± 0,02	1,42 ± 0,02

Tablo 5.14: Kerpe 091107014 no'lu numunenin 337784 saniye sayımı ile elde edilen aktivite ve spesifik aktivite değerleri.

091107014 Kerpe		Enerji (keV)	Net sayım	Aktivite (Bq)	Spesifik Aktivite (Bq kg <sup>-1</sup> )	Ağırlıklı Ortalama
<sup>238</sup> U	<sup>214</sup> Pb	241,995	1456 ± 89	1,9 ± 0,1	6,9 ± 0,1	6,59 ± 0,03
		295,223	2863 ± 124	1,7 ± 0,1	6,3 ± 0,1	
		351,932	4910 ± 122	1,8 ± 0,1	6,6 ± 0,1	
	<sup>214</sup> Bi	609,32	3676 ± 97	1,8 ± 0,1	6,5 ± 0,1	
		1120,294	901 ± 54	2,2 ± 0,2	8,2 ± 0,2	
<sup>232</sup> Th	<sup>228</sup> Ac	338,32	1471 ± 105	1,7 ± 0,1	6,0 ± 0,1	6,47 ± 0,03
		911,204	1508 ± 75	1,8 ± 0,2	6,6 ± 0,2	
		968,971	844 ± 43	1,8 ± 0,1	6,4 ± 0,1	
	<sup>212</sup> Pb	238,632	8420 ± 119	1,79 ± 0,03	6,51 ± 0,03	
	<sup>208</sup> Tl	583,187	2551 ± 86	1,8 ± 0,1	6,4 ± 0,1	
<sup>40</sup> K	<sup>40</sup> K	1460,822	8393 ± 105	36,6 ± 1,6	133,3 ± 1,6	133,3 ± 1,6
<sup>137</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs	661,657	2624 ± 81	0,73 ± 0,03	2,65 ± 0,03	2,65 ± 0,03

Tablo 5.15: Uzunkum 100416015 no'lu numunenin 150309 saniye sayımı ile elde edilen aktivite ve spesifik aktivite değerleri.

100416015 Uzunkum		Enerji (keV)	Net sayım	Aktivite (Bq)	Spesifik Aktivite (Bq kg <sup>-1</sup> )	Ağırlıklı Ortalama
<sup>238</sup> U	<sup>214</sup> Pb	241,995	1533 ± 81	4,5 ± 0,2	16,1 ± 0,2	14,2 ± 0,1
		295,223	2821 ± 101	3,8 ± 0,1	13,8 ± 0,2	
		351,932	4680 ± 114	3,9 ± 0,1	14,0 ± 0,1	
	<sup>214</sup> Bi	609,32	3369 ± 69	3,6 ± 0,1	14,0 ± 0,1	
		1120,294	720 ± 43	4,02 ± 0,27	14,5 ± 0,3	
<sup>232</sup> Th	<sup>228</sup> Ac	338,32	1756 ± 86	4,4 ± 0,2	16,0 ± 0,2	16,3 ± 0,1
		911,204	1765 ± 66	4,8 ± 0,2	17,3 ± 0,2	
		968,971	979 ± 47	4,6 ± 0,3	16,5 ± 0,3	
	<sup>212</sup> Pb	238,632	9465 ± 118	4,5 ± 0,1	16,3 ± 0,1	
	<sup>208</sup> Tl	583,187	2748 ± 78	4,3 ± 0,2	15,5 ± 0,2	
<sup>40</sup> K	<sup>40</sup> K	1460,822	11770 ± 113	115,3 ± 4,8	417,4 ± 4,8	417,4 ± 4,8
<sup>137</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs	661,657	2014 ± 69	1,3 ± 0,1	4,5 ± 0,1	4,5 ± 0,1



Tablo 5.16: Uzunkum 100416016 no'lu numunenin 104158 saniye sayımı ile elde edilen aktivite ve spesifik aktivite değerleri.

100416016 Uzunkum		Enerji (keV)	Net sayım	Aktivite (Bq)	Spesifik Aktivite (Bq kg <sup>-1</sup> )	Ağırlıklı Ortalama
<sup>238</sup> U	<sup>214</sup> Pb	241,995	1055 ± 67	4,4 ± 0,3	16,4 ± 0,3	13,40 ± 0,07
		295,223	1890 ± 83	3,7 ± 0,2	13,8 ± 0,2	
		351,932	3045 ± 83	3,6 ± 0,1	13,5 ± 0,1	
	<sup>214</sup> Bi	609,32	2142 ± 66	3,3 ± 0,1	12,4 ± 0,1	
		1120,294	499 ± 56	4,02 ± 0,47	14,9 ± 0,5	
<sup>232</sup> Th	<sup>228</sup> Ac	338,32	1139 ± 66	4,1 ± 0,2	15,4 ± 0,2	15,58 ± 0,06
		911,204	1218 ± 57	4,8 ± 0,3	17,7 ± 0,3	
		968,971	648 ± 36	4,4 ± 0,3	16,2 ± 0,3	
	<sup>212</sup> Pb	238,632	5935 ± 95	4,1 ± 0,1	15,2 ± 0,1	
	<sup>208</sup> Tl	583,187	1945 ± 67	4,4 ± 0,2	16,3 ± 0,2	
<sup>40</sup> K	<sup>40</sup> K	1460,822	8840 ± 99	125,0 ± 5,3	465,0 ± 5,3	465,0 ± 5,3
<sup>137</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs	661,657	1408 ± 59	1,3 ± 0,1	4,7 ± 0,1	4,7 ± 0,1

Tablo 5.17: Uzunkum 100416017 no'lu numunenin 172921 saniye sayımı ile elde edilen aktivite ve spesifik aktivite değerleri.

100416017 Uzunkum		Enerji (keV)	Net sayım	Aktivite (Bq)	Spesifik Aktivite (Bq kg <sup>-1</sup> )	Ağırlıklı Ortalama
<sup>238</sup> U	<sup>214</sup> Pb	241,995	1816 ± 91	4,6 ± 0,2	17,2 ± 0,2	14,3 ± 0,1
		295,223	3192 ± 103	3,8 ± 0,1	14,1 ± 0,1	
		351,932	5362 ± 121	3,9 ± 0,1	14,4 ± 0,1	
	<sup>214</sup> Bi	609,32	3770 ± 76	3,5 ± 0,1	13,3 ± 0,1	
		1120,294	814 ± 57	4,0 ± 0,3	14,8 ± 0,1	
<sup>232</sup> Th	<sup>228</sup> Ac	338,32	2106 ± 106	4,6 ± 0,2	17,3 ± 0,2	17,8 ± 0,1
		911,204	2089 ± 60	4,9 ± 0,2	18,4 ± 0,2	
		968,971	1171 ± 52	4,7 ± 0,3	17,8 ± 0,3	
	<sup>212</sup> Pb	238,632	11470 ± 131	4,8 ± 0,1	17,8 ± 0,1	
	<sup>208</sup> Tl	583,187	3457 ± 92	4,7 ± 0,2	17,5 ± 0,2	
<sup>40</sup> K	<sup>40</sup> K	1460,822	17340 ± 139	147,7 ± 6,1	553,4 ± 6,1	553,4 ± 6,1
<sup>137</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs	661,657	2461 ± 83	1,3 ± 0,1	5,0 ± 0,1	5,0 ± 0,1

Tablo 5.18: Sarısu 100416018 no'lu numunenin 265218 saniye sayımı ile elde edilen aktivite ve spesifik aktivite değerleri.

100416018 Sarısu		Enerji (keV)	Net sayım	Aktivite (Bq)	Spesifik Aktivite (Bq kg <sup>-1</sup> )	Ağırlıklı Ortalama
<sup>238</sup> U	<sup>214</sup> Pb	241,995	1022 ± 70	1,7 ± 0,1	5,6 ± 0,1	4,94 ± 0,03
		295,223	1859 ± 93	1,4 ± 0,1	4,8 ± 0,1	
		351,932	3128 ± 83	1,46 ± 0,04	4,89 ± 0,04	
	<sup>214</sup> Bi	609,32	2417 ± 76	1,5 ± 0,1	5,0 ± 0,1	
		1120,294	491 ± 33	1,6 ± 0,1	5,2 ± 0,1	
<sup>232</sup> Th	<sup>228</sup> Ac	338,32	614 ± 69	0,9 ± 0,1	2,9 ± 0,1	3,49 ± 0,02
		911,204	617 ± 75	0,95 ± 0,12	3,16 ± 0,12	
		968,971	228 ± 32	0,6 ± 0,1	2,0 ± 0,1	
	<sup>212</sup> Pb	238,632	4034 ± 88	1,09 ± 0,03	3,64 ± 0,03	
	<sup>208</sup> Tl	583,187	1305 ± 63	1,2 ± 0,1	3,8 ± 0,1	
<sup>40</sup> K	<sup>40</sup> K	1460,822	2388 ± 57	13,3 ± 0,6	44,3 ± 0,6	44,3 ± 0,6
<sup>137</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs	661,657	1191 ± 56	0,42 ± 0,02	1,40 ± 0,02	1,40 ± 0,02

Tablo 5.19: Seyrek 100416019 no'lu numunenin 278918 saniye sayımı ile elde edilen aktivite ve spesifik aktivite değerleri.

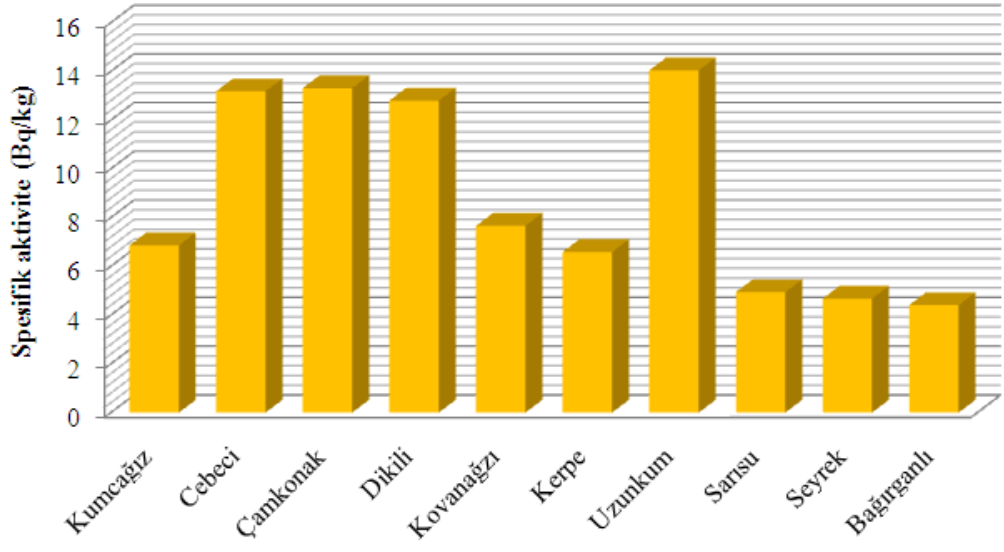
100416019 Seyrek		Enerji (keV)	Net sayım	Aktivite (Bq)	Spesifik Aktivite (Bq kg <sup>-1</sup> )	Ağırlıklı Ortalama
<sup>238</sup> U	<sup>214</sup> Pb	241,995	1009 ± 69	1,6 ± 0,1	5,2 ± 0,1	4,67 ± 0,03
		295,223	1764 ± 89	1,3 ± 0,1	4,3 ± 0,1	
		351,932	3189 ± 98	1,4 ± 0,1	4,7 ± 0,1	
	<sup>214</sup> Bi	609,32	2404 ± 59	1,40 ± 0,04	4,65 ± 0,04	
		1120,294	501 ± 33	1,5 ± 0,1	5,0 ± 0,1	
<sup>232</sup> Th	<sup>228</sup> Ac	338,32	637 ± 62	0,9 ± 0,1	2,9 ± 0,1	3,76 ± 0,02
		911,204	711 ± 62	1,04 ± 0,10	3,44 ± 0,10	
		968,971	329 ± 33	0,8 ± 0,1	2,7 ± 0,1	
	<sup>212</sup> Pb	238,632	4642 ± 91	1,19 ± 0,03	3,96 ± 0,03	
	<sup>208</sup> Tl	583,187	1403 ± 62	1,2 ± 0,1	3,9 ± 0,1	
<sup>40</sup> K	<sup>40</sup> K	1460,822	1181 ± 44	6,2 ± 0,3	20,7 ± 0,3	20,7 ± 0,3
<sup>137</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs	661,657	798 ± 43	0,27 ± 0,02	0,89 ± 0,02	0,89 ± 0,02

Tablo 5.20: Bağırganlı 100416020 no'lu numunenin 317228 saniye sayımı ile elde edilen aktivite ve spesifik aktivite değerleri.

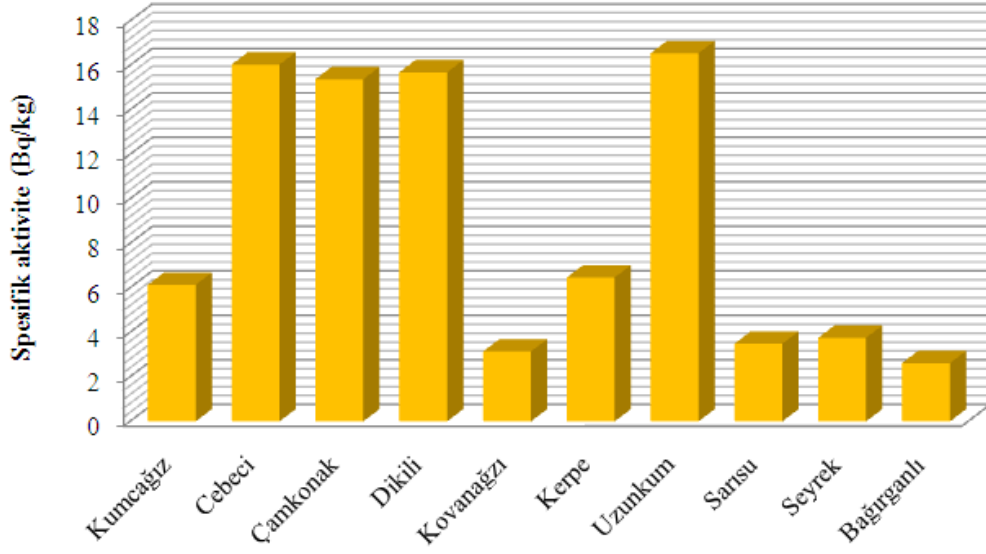
100416020 Bağırganlı		Enerji (keV)	Net sayım	Aktivite (Bq)	Spesifik Aktivite (Bq kg <sup>-1</sup> )	Ağırlıklı Ortalama
<sup>238</sup> U	<sup>214</sup> Pb	241,995	1018 ± 71	1,4 ± 0,1	4,7 ± 0,1	4,41 ± 0,03
		295,2228	2111 ± 108	1,4 ± 0,1	4,5 ± 0,1	
		351,9321	3320 ± 101	1,30 ± 0,04	4,32 ± 0,04	
	<sup>214</sup> Bi	609,32	2613 ± 77	1,3 ± 0,1	4,5 ± 0,1	
		1120,294	496,4 ± 34	1,3 ± 0,1	4,4 ± 0,1	
<sup>232</sup> Th	<sup>228</sup> Ac	338,32	415,7 ± 63	0,5 ± 0,1	1,7 ± 0,1	2,62 ± 0,02
		911,204	481,5 ± 53	0,6 ± 0,1	2,1 ± 0,1	
		968,971	268,2 ± 33	0,6 ± 0,1	2,0 ± 0,1	
	<sup>212</sup> Pb	238,632	3694 ± 88	0,83 ± 0,02	2,78 ± 0,02	
	<sup>208</sup> Tl	583,187	1129 ± 76	0,8 ± 0,1	2,8 ± 0,1	
<sup>40</sup> K	<sup>40</sup> K	1460,822	750,8 ± 44	3,5 ± 0,3	11,6 ± 0,3	11,6 ± 0,3
<sup>137</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs	661,657	568 ± 52	0,17 ± 0,02	0,56 ± 0,02	0,56 ± 0,02

Tablo 5.21: Her sahil için hesaplanan spesifik aktivite değerleri. Spesifik aktivitenin en düşük ve en yüksek değerleri koyu renkle gösterilmiştir.

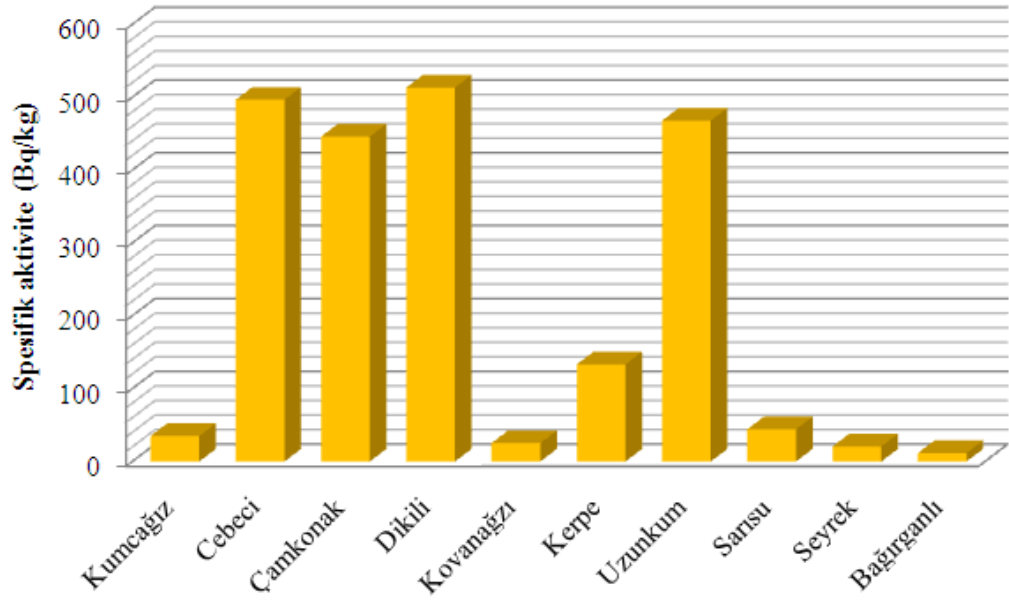
	<sup>238</sup> U (Bq kg <sup>-1</sup> )	<sup>232</sup> Th (Bq kg <sup>-1</sup> )	<sup>40</sup> K (Bq kg <sup>-1</sup> )	<sup>137</sup> Cs (Bq kg <sup>-1</sup> )
<b>Kumcağız</b>	6,86 ± 0,02	6,14 ± 0,01	35,04 ± 0,29	1,54 ± 0,01
<b>Cebeci</b>	13,18 ± 0,04	16,04 ± 0,03	497 ± 3	<b>5,43 ± 0,03</b>
<b>Çamkonak</b>	13,3 ± 0,1	15,4 ± 0,1	446 ± 4	4,25 ± 0,04
<b>Dikili</b>	12,80 ± 0,04	15,69 ± 0,03	<b>513,3 ± 3,4</b>	3,09 ± 0,02
<b>Kovanağzı</b>	7,66 ± 0,04	3,14 ± 0,02	25,3 ± 0,4	1,42 ± 0,02
<b>Kerpe</b>	6,59 ± 0,03	6,47 ± 0,03	133,3 ± 1,6	2,65 ± 0,03
<b>Uzunkum</b>	<b>14,04 ± 0,04</b>	<b>16,55 ± 0,03</b>	467,9 ± 3,1	4,75 ± 0,03
<b>Sarısü</b>	4,94 ± 0,03	3,49 ± 0,02	44,3 ± 0,6	1,40 ± 0,02
<b>Seyrek</b>	4,67 ± 0,03	3,76 ± 0,02	20,7 ± 0,3	0,89 ± 0,02
<b>Bağırganlı</b>	<b>4,41 ± 0,03</b>	<b>2,62 ± 0,02</b>	<b>11,6 ± 0,3</b>	<b>0,56 ± 0,02</b>



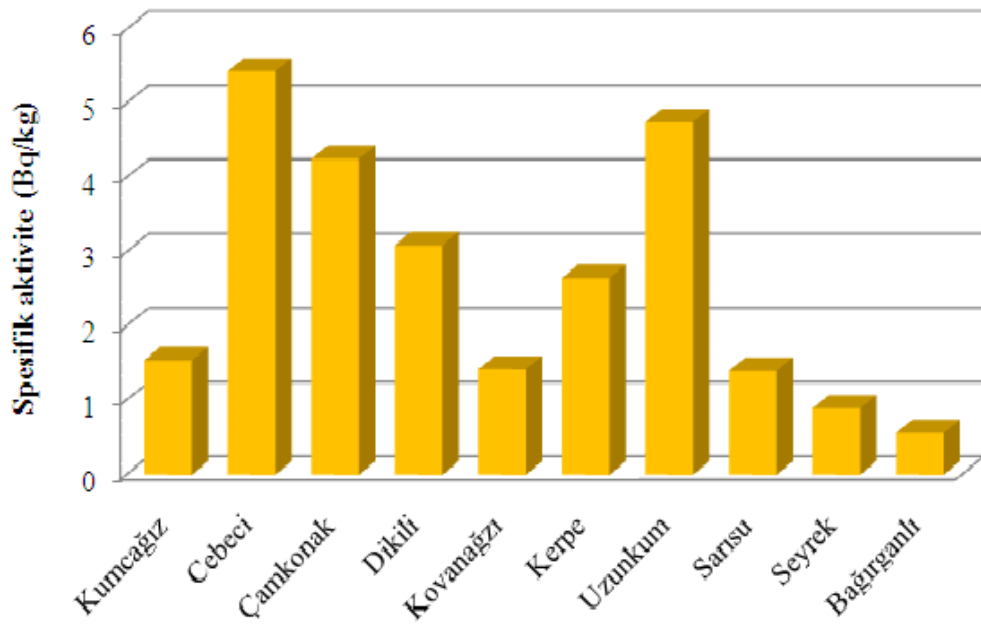
Şekil 5.1: Tüm sahiller için  $^{238}\text{U}$  spesifik aktivite değerleri.



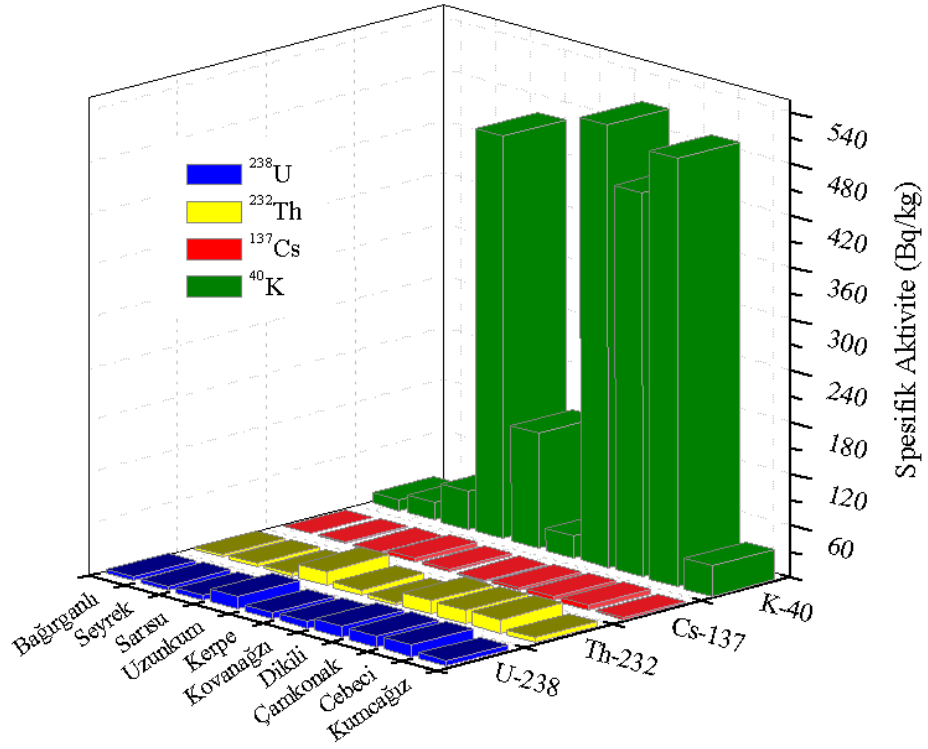
Şekil 5.2: Tüm sahiller için  $^{232}\text{Th}$  spesifik aktivite değerleri.



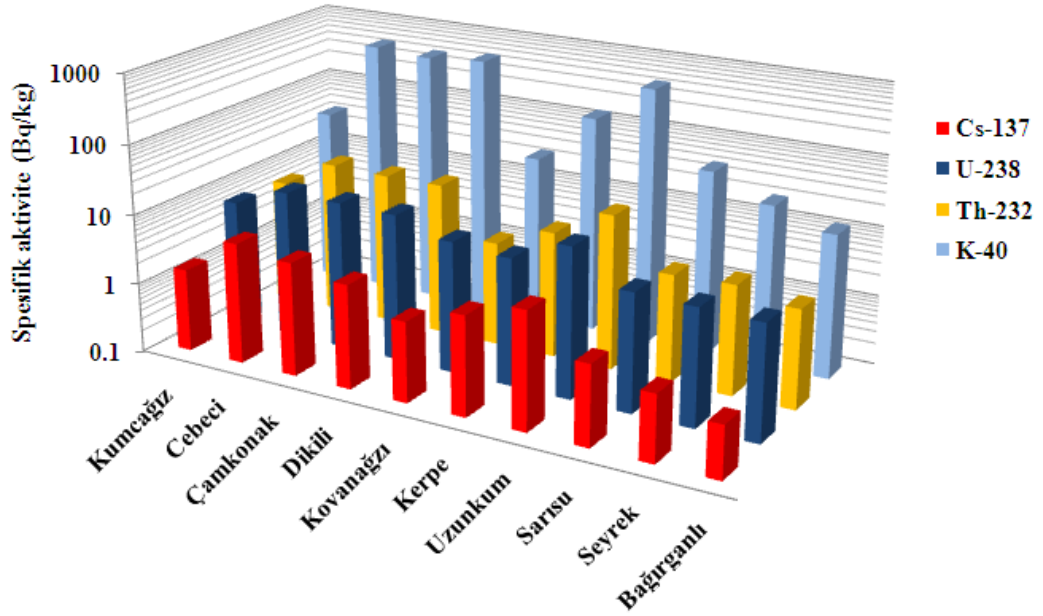
Şekil 5.3: Tüm sahiller için <sup>40</sup>K spesifik aktivite değerleri.



Şekil 5.4: Tüm sahiller için <sup>137</sup>Cs spesifik aktivite değerleri.



Şekil 5.5: Tüm sahillerin  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  spesifik aktivite değerlerinin birlikte gösterimi.



Şekil 5.6: Tüm sahillerin  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  spesifik aktivite değerlerinin (logaritmik olarak) birlikte gösterimi.

Tablo 5.22’de farklı bölgeler için yapılmış çalışmaların spesifik aktivite sonuçları ve bu çalışmada bulunan spesifik aktivite değerleri verilmiştir. Tabloda koyu renkle gösterilen değerler, bu çalışmada bulunan spesifik aktivite değerleridir.

Tablo 5.22: Farklı bölgeler için yapılmış olan çalışmaların spesifik aktivite değerleri ile bu çalışmada belirlenmiş spesifik aktivite değerleri [5,6,9,11].

<b>Bölge</b>	<b><math>^{238}\text{U}</math> (Bq kg<sup>-1</sup>)</b>	<b><math>^{232}\text{Th}</math> (Bq kg<sup>-1</sup>)</b>	<b><math>^{40}\text{K}</math> (Bq kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>Referans</b>
Çanakkale Ezine	78,8 – 1885,2	96,6 – 4360,3	687,1 – 1421,2	Y. Örgün (2006)
Bodrum Turgutreis	9,50 – 71,47	25,75 – 42,81	510,17 – 835,28	G. Karayel (2009)
Kalpakkam Hindistan	36 - 258	352 - 3872	324 - 405	V. Kannan (2002)
Valencia İspanya	4 - 16	1 - 11	30 - 253	Navarro (1994)
Ullal Hindistan	374	1842	158	Radhakrishna (1993)
Visakhapatnam Hindistan	100 - 400	300 - 600	-	Kalyani (1990)
Kuzeydoğu sahili İspanya	5 - 19	5 - 44	136 - 1087	Rosell (1991)
Preta Brezilya	54 - 180	128 - 349	47 – 283	A. C. Freitas (2004)
Dios Rios Brezilya	6 - 78	12 - 87	269 - 527	A. C. Freitas (2004)
Cox’s Bazar Bangladeş	19,0	36,7	458	M. N. Alam (1999)
<b>Kocaeli Türkiye</b>	<b>4,41 – 14,04</b>	<b>2,6 – 16,6</b>	<b>11,6 – 513,3</b>	<b>Bu Çalışma</b>

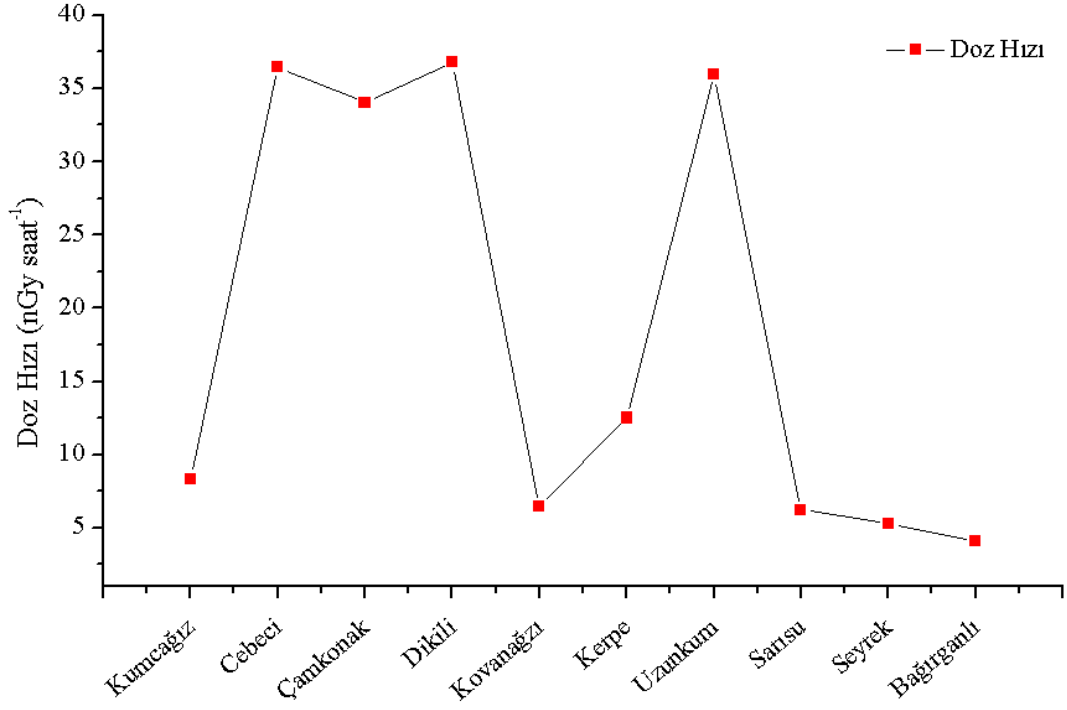
## 5.2. Doz Hızı, Yıllık Efektif Doz Hızı, Radyum Eşdeğer Aktivitesi ve Harici Radyasyon Riski

Spesifik aktivite değerleri hesaplanan numuneler için, denklem (4.6) doz hızı, denklem (4.7) yıllık efektif doz hızı, denklem (4.8) radyum eşdeğer aktivitesi, denklem (4.9) harici radyasyon riski formülleri kullanılarak yapılan hesaplamaların sonuçları Tablo 5.23’de gösterilmektedir.

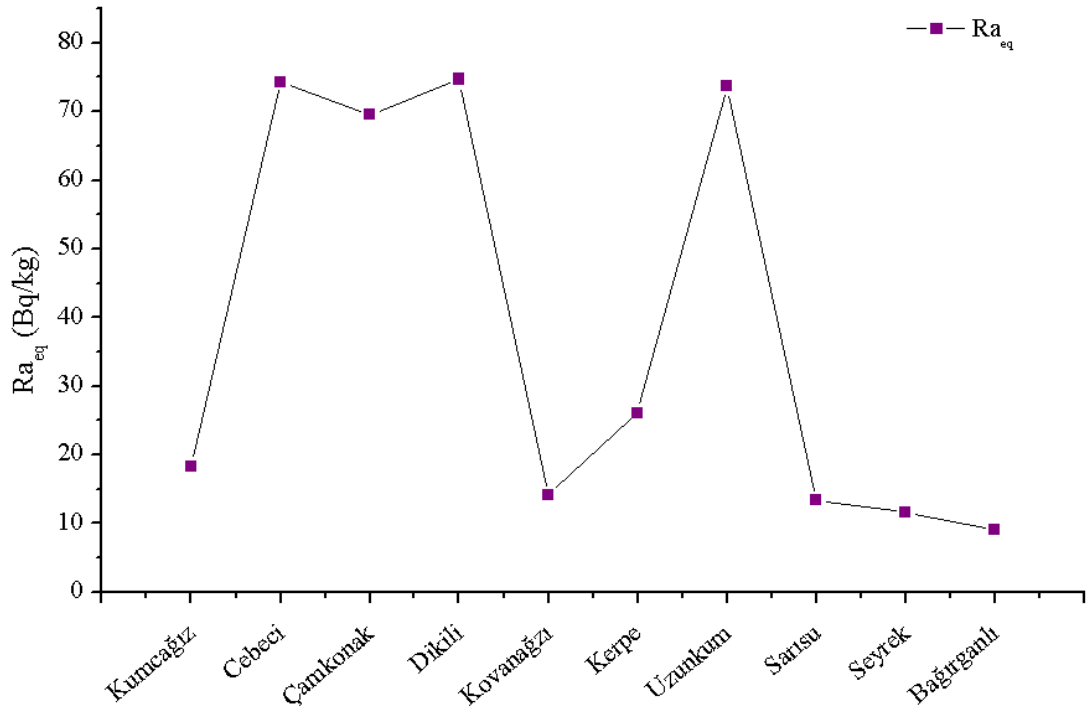
Tablo 5.23: Tüm sahiller için hesaplanan doz hızı, yıllık efektif doz, radyum eşdeğer aktivitesi ve harici radyasyon riski değerleri. Elde edilen en düşük ve en yüksek değerler koyu renkle gösterilmiştir.

	<b>Doz Hızı (nGy sa<sup>-1</sup>)</b>	<b>Yıllık Efektif Doz (μSv y<sup>-1</sup>)</b>	<b>Ra<sub>eq</sub> (Bq/kg)</b>	<b>H<sub>ex</sub></b>
Kumcağzı	8,34	10,26	18,34	0,05
Cebeci	36,49	44,87	74,36	<b>0,20</b>
Çamkonak	34,04	41,86	69,64	0,19
Dikili	<b>36,80</b>	<b>45,25</b>	<b>74,76</b>	<b>0,20</b>
Kovanağzı	6,49	7,98	14,10	0,04
Kerpe	12,51	15,39	26,11	0,07
Uzunkum	35,99	44,26	73,73	<b>0,20</b>
Sarısu	6,24	7,67	13,34	0,04
Seyrek	5,29	6,51	11,64	0,03
Bağıranlı	<b>4,10</b>	<b>5,05</b>	<b>9,05</b>	<b>0,02</b>





Şekil 5.7 Tüm sahiller için elde edilen doz hızı grafiği.



Şekil 5.8: Tüm sahiller için radyum eşdeğer aktivitesi grafiği.

### 5.3. Yorum

Bu çalışmada, Kocaeli ili Karadeniz bölgesinin 10 sahilinden toplanan 20 adet sahil kum numunesi incelenmiş ve ayrıntılı sonuçlar tablolar halinde verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre,  $^{238}\text{U}$  spesifik aktivite değerleri  $4,41 \pm 0,03 \text{ Bq kg}^{-1}$  (Bağıranlı) ile  $14,04 \pm 0,04 \text{ Bq kg}^{-1}$  (Uzunkum),  $^{232}\text{Th}$  spesifik aktivite değerleri  $2,62 \pm 0,02 \text{ Bq kg}^{-1}$  (Bağıranlı) ile  $16,55 \pm 0,03 \text{ Bq kg}^{-1}$  (Uzunkum),  $^{40}\text{K}$  spesifik aktivite değerleri  $11,6 \pm 0,3 \text{ Bq kg}^{-1}$  (Bağıranlı) ile  $513,3 \pm 3,4 \text{ Bq kg}^{-1}$  (Dikili) ve  $^{137}\text{Cs}$  spesifik aktivite değerleri  $0,56 \pm 0,02 \text{ Bq kg}^{-1}$  (Bağıranlı) ile  $5,43 \pm 0,03 \text{ Bq kg}^{-1}$  (Cebeci) arasında değişmektedir.

Dünya genelinde yüzey toprağı için belirlenen spesifik aktivite değerleri,  $^{238}\text{U}$  için  $35 \text{ Bq kg}^{-1}$ ,  $^{232}\text{Th}$  için  $30 \text{ Bq kg}^{-1}$  ve  $^{40}\text{K}$  için  $400 \text{ Bq kg}^{-1}$ 'dir [1]. Bulduğumuz spesifik aktivite değerleri,  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  için bu değerlerin altında olup,  $^{40}\text{K}$  için bulunan sonuçlar ise Cebeci, Çamkonak, Dikili ve Uzunkum sahillerinde verilen referans değerden daha yüksek bulunmuştur. Bu sahiller için daha önce böyle bir çalışma yapılmadığından, ortamdaki radyasyon miktarında artma yada azalma hakkında bilgi vermek söz konusu değildir. Bu çalışma ile bölgenin günümüzdeki radyoaktivite değerleri belirlenmiş olup, bu veriler ileride herhangi bir olası nükleer kaza esnasında bölgenin hangi oranda kontamine olduğunun tespiti açısından önem taşımaktadır.

Tüm sahiller için hesaplanan gama doz hızları  $4,10 \text{ nGy saat}^{-1}$  (Bağıranlı) ile  $36,80 \text{ nGy saat}^{-1}$  (Dikili) arasında değer almaktadır. Hesaplanan yıllık efektif doz hızları ise,  $5,05 \mu\text{Sv y}^{-1}$  (Bağıranlı) ile  $45,25 \mu\text{Sv y}^{-1}$  (Dikili) arasında bulunmuştur. Dünya genelinde ortalama gama doz hızı  $60 \text{ nGy saat}^{-1}$  olarak, yıllık efektif doz hızı ise  $70 \mu\text{Sv y}^{-1}$  olarak belirlenmiştir [1]. Bulduğumuz gama doz ve yıllık efektif doz hızlarının bu değerlerden düşük olduğu görülmektedir.

Gama radyasyon tehlikesini belirlemek için  $R_{\text{aeq}}$  ve  $H_{\text{ex}}$  değerleri hesaplanmıştır. Bulunan  $R_{\text{aeq}}$  değerleri, radyolojik risk açısından üst limit olan  $370 \text{ Bq kg}^{-1}$  değerinin çok altında bulunmuştur [36].

## KAYNAKLAR

- [1] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, “SOURCES AND EFFECTS OF IONIZING RADIATION Annex B : exposures from natural radiation sources”, *UNSCEAR, Report to the general assembly*, 89-133, (2000).
- [2] Knoll, G. F., “Radiation Detection and Measurement”, 3 nd ed, *John Wiley and Sons*, New York, 70-400, (2000).
- [3] Gür, F., “Çeşme plaj kumlarının radyoaktivitesi”, *5. Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi*, Muğla Üniversitesi, Cilt I 202, 6-9 Ekim (2009).
- [4] Karayel, G., “Natural Radioactivity İn Beach Sands from Muğla Coast: Gökova, Marmaris and Turgutreis Beaches”, *The 5<sup>th</sup> Eurasian Conference on Nuclear Science and its Application*, 14-17 Ekim (2008).
- [5] Karayel, G., “Bodrum TurgutReis Sahillerinin Doğal Radyoaktivite Seviyesinin Belirlenmesi Ve Bölgenin Jeolojik Yapısıyla İlişklendirilmesi” *5. Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi* Cilt I, 203-210, 6-9 Ekim (2009).
- [6] Örgün, Y., Altınsoy, N., Şahin, S. Y., Güngör, Y., Gültekin, A. H., Karahan, G., Karacık, Z., “Natural and antropogenic radionuclides in rocks and beach sands from Ezine region (Çanakkale), Western Anatolia, Turkey”, *Applied Radiation and Isotopes* **65**, 739-747, (2007).
- [7] Alam, M.N., Chowdhury, M. I., Kamal, M., Ghose, S., Islam, M. N., Mustafa, M. N., Miah, N. M. H., Ansary, M. M., “The <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th and <sup>40</sup>K Activity in Beach Sand Minerals And Beach soils of Cox’s Bazar, Bagladesh”, *Journal of Environmental Radioactivity* **46**, 243-250, (1999).
- [8] De Meijer, R. J., James, I. R., Jennings, P. J., Koeyers, J. E., “Cluster analysis of radionuclide concentrations in beach sand”, *Applied Radiation and Isotopes* **54**, 535-542, (2001).
- [9] Kannan, V., Rajan, M.P., Iyengar, M. A. R., Ramesh, R., “Distribution of natural and anthropogenic radionuclides in soil and beach sand sample of Kalpakkam (India) using hyper pure germanium (HPGe) gamma ray spectrometry”, *Applied Radiation and Isotopes* **57**, 109-119, (2002).
- [10] Mohanty, A.K., Sengupta, D., Das, S. K., Saha, S. K., Van, K.V., “Natural radioactivity and radiation exposure in the high background area at Chhatrapur beach placer deposit of Orissa, India”, *Journal of Environmental Radioactivity* **75**, 15-33, (2004).

- [11] Freitas, A.C., Alencar, A. S., “Gamma dose rates and distribution of natural radionuclides in sand beaches Ilha Grande, Southeastern Brazil”, *Journal of Environmental Radioactivity* **75**, 211-223, (2004).
- [12] Alencar, A.S., Freitas A. C., “Reference levels of natural radioactivity for the beach sands in a Brazilian southeastern coastal region”, *Radiation Measurements* **40**, 76-83, (2005).
- [13] El-Arabi, A. M., “Natural radioactivity in sand used in thermal therapy at the Red Sea Coast”, *Journal of Environmental Radioactivity* **81**, 11–19, (2005).
- [14]. Lakshmi, K. S, Selvasekarapandian, S., Khanna, D., Meenakshisundaram, V., “Primordial radionuclides concentrations in the beach sands of East Coast region of Tamilnadu, India,”, *International Congress Series*, 1276, 323– 324, (2005).
- [15] Sengupta, D., Mohanty, A. K., Das, S. K., Saha, S. K., “Natural radioactivity in the high background radiation area at Erasama beach placer deposit of Orissa, India”, *International Congress Series*, 1276, 210– 211, (2005).
- [16] Veiga, R., Sanchesa, N., Anjosa, R. M., Macario, K., Bastosa, J., Iguatemya, M., Aguiar, J. G., Santos, A. M. A., Mosquera, B., Carvalho, C., Filho, B. M., Umisedoc, N. K., “Measurement of natural radioactivity in Brazilian beach sands”, *Radiation Measurements* **41**, 189–196, (2006).
- [17] Vassas, C., Pourcelot, L., Vella, C., Carpena, J., Pupin, J. P., Bouisset P., Gulliot L., “Mechanismis of enrichment of natural radioactivity along the beaches of Camargue, France”, *Journal of Environmental Radioactivity* **91**, 146-159, (2006).
- [18] El-Kameesy, S.U., El-Ghany, S., El-Minyawi, S. M., “Natural Radioactivity of Beach Sand Samples in the Tripoli Region, Northwest Libya”, *Turkish Journal of Engineering and Sciences* **32**, 245-251, (2008).
- [19] Yülek, G., “Radyasyon Fiziği (İyonlayıcı ve İyonlayıcı olmayan) ve Radyasyondan Korunma”, *SEK yayınları*, Ankara, 38-47,(1992).
- [20] Önen, S., “Radyasyon Biyofiziği”, 2.Baskı, *Dilek Ofset*, İstanbul, 4-23, (1997).
- [21] Wang, Y., “CRC Handbook of Radioactive Nuclides”, *Chemical Rubber Company*, 18-25, (1969)
- [22] Gilmore, G. R., “Practical Gamma-Ray Spectrometry”, 2nd Edition, *John Wiley and Sons*, New York, 2-38, (2008).
- [23] Krane, K. S., “Nükleer Fizik I”, Çeviri Editörü Şarer B., *Palme Yayıncılık*, Ankara, 160-203, (2001).
- [24] T.A.E.K., [http://www.taek.gov.tr/ogrenci/bolum4\\_04.html](http://www.taek.gov.tr/ogrenci/bolum4_04.html) (Ziyaret tarihi: 21 Mayıs 2010).

- [25] Iliadis, C., “Nuclear Physics of Stars”, **WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA**, Germany, 320, (2007).
- [26] NUDAT, <http://www.nndc.bnl.gov/nudat2/> (**Ziyaret tarihi: 12 Ocak 2010**).
- [27] Güray, R. T., “Cesium-137 Levels in Surface Soils Over The Black Sea Coast of Turkey”, Yüksek Lisans Tezi, **Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 16-47, (1992).
- [28] Duran, U. S., “Doğu Karadeniz Bölgesinde Toprakta Radyasyon Ölçümü”, Yüksek Lisans Tezi, **Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kocaeli, 15-50, (2006)
- [29] Gür, F., “Türk Çaylarının <sup>137</sup>Cs radyoaktiviteleri”, **5. Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi**, Muğla Üniversitesi, Cilt I 233, 6-9 Ekim (2009).
- [30] Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi, “Tıp ve Biyolojik Bilimlerde Radyasyon Korunması Kurs Notları”, TAEK, **Teknik Rapor No:32**, (1985).
- [31] ORTEC, “GamaVision-32 Gamma-Ray Spectrum Analysis and MCA Emulator for Microsoft Windows 2000 Professional and XP Professional A66-B32 Software User’s Manual”, **Advanced Measurement Technology**, 143-145, (2006).
- [32] Tsoulfanidis, N., “Measurement and Detection of Radiation”, **Hemisphere Publishing Corporation**, 51-61, (1983).
- [33] T.C. Kandıra Kaymakamlığı, <http://www.kandira.gov.tr/site/> (**Ziyaret tarihi: 4 Ocak 2010**).
- [34] Puskaric, S., Flowlwe, S. W., Miquel J. C., “Temporal Changes in Particulate Flux in the Northern Adriatic Sea”, **Coastal and Shelf Science**, 35, (1992).
- [35] De Master, D. J., “The supply and accumulation of silica in the marine environment”, **Geochimica Cosmochimica Acta** **45**, 1715-1732, (1981).
- [36] Beretka, J., Mathew, P. J., “Natural Radioactivity of Australian building materials, industrial wastes and by-products”, **Health Physics** **48**, 87-95, (1985).

# EKLER

## Ek-A



**Eckert & Ziegler**  
Isotope Products

24937 Avenue Tibbitts  
Valencia, California 91355

Tel 661-309-1010  
Fax 661-257-8303

### CERTIFICATE OF CALIBRATION MULTINUCLIDE STANDARD SOURCE

Customer: ECKERT & ZIEGLER ISOTOPE PRODUCTS GMBH      Source No.: 1364-53-4  
P.O. No.: 36977      Reference Date: 1-May-09 12:00 PST  
Catalog No.: EG-ML      Contained Radioactivity: 1.277  $\mu$ Ci 47.25 kBq

#### Physical Description:

A. Capsule type: Customer supplied 170mL container  
B. Nature of active deposit: Multinuclide distributed in 1.3 g/cc epoxy matrix  
C. Active diameter/volume: Approximately 170mL (220.8 grams)  
D. Backing: Plastic  
E. Cover: Plastic

Gamma-Ray Energy (keV)	Nuclide	Half-life	Branching Ratio (%)	Activity ( $\mu$ Ci)	Gammas per second	Total Uncert.
47	Pb-210	22.3 $\pm$ 0.2 years	4.18	0.2848	440.5	7.0 %
60	Am-241	432.17 $\pm$ 0.66 years	36.0	0.02899	386.1	3.0 %
88	Cd-109	462.6 $\pm$ 0.7 days	3.63	0.4032	541.5	3.0 %
122	Co-57	271.79 $\pm$ 0.09 days	85.6	0.01506	477.0	3.1 %
166	Ce-139	137.640 $\pm$ 0.023 days	79.9	0.01936	572.3	3.0 %
279	Hg-203	46.595 $\pm$ 0.013 days	81.5	0.05796	1748	3.0 %
392	Sn-113	115.09 $\pm$ 0.04 days	64.9	0.07533	1809	3.0 %
514	Sr-85	64.849 $\pm$ 0.004 days	98.4	0.09382	3416	3.0 %
662	Cs-137	30.17 $\pm$ 0.16 years	85.1	0.06843	2155	3.0 %
898	Y-88	106.630 $\pm$ 0.025 days	94.0	0.1502	5224	3.0 %
1173	Co-60	5.272 $\pm$ 0.001 years	99.86	0.07946	2936	3.0 %
1333	Co-60	5.272 $\pm$ 0.001 years	99.98	0.07946	2939	3.0 %
1836	Y-88	106.630 $\pm$ 0.025 days	99.4	0.1502	5524	3.0 %

#### Method of Calibration:

This source was prepared from weighed aliquots of solutions whose concentrations in  $\mu$ Ci/g were determined by gamma spectrometry.

#### Notes:

- See reverse side for leak test(s) performed on this source.
- EZIP participates in a NIST measurement assurance program to establish and maintain implicit traceability for a number of nuclides, based on the blind assay (and later NIST certification) of Standard Reference Materials (as in NRC Regulatory Guide 4.15).
- Nuclear data was taken from IAEA-TECDOC-619, 1991.
- Overall uncertainty is calculated at the 99% confidence level.
- This source has a working life of 1 year.

Quality Control

17 Apr 09  
Date

EZIP Ref. No.: 1364-53

ISO 9001 CERTIFIED

Medical Imaging Laboratory  
24937 Avenue Tibbitts Valencia, California 91355

Industrial Gauging Laboratory  
1800 North Keystone Street Burbank, California 91504

## **ÖZGEÇMİŞ**

1985 yılında İstanbul'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini İstanbul'da tamamladı. 2003 yılında Kocaeli Üniversitesi Fizik Bölümünü kazandı. 2007 yılında Fizik Bölümünden mezun oldu. 2008 - 2010 yılları arasında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisansını yaptı.