

**ZONGULDAK İLİ SAHİLLERİ KUM ÖRNEKLERİNİN DOĞAL RADYOAKTİVİTE  
SEVİYELERİNİN İNCELENMESİ**

**Ceyhun KÜÇÜK**

**Bülent Ecevit Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Fizik Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**ZONGULDAK**

**Haziran 2012**

**KABUL:**

Ceyhun KÜÇÜK tarafından hazırlanan “ZONGULDAK İLİ SAHİLLERİ KUM ÖRNEKLERİNİN DOĞAL RADYOAKTİVİTE SEVİYELERİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek, Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliği ile kabul edilmiştir. 01/06/2012

Başkan : Doç. Dr. Hüseyin AYTEKİN (BEÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Jülide YENER (BEÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Rıdvan BALDIK (BEÜ)



---

**ONAY:**

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım. .../.../2012



Prof. Dr. Özden ÖZEL GÜVEN  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*



Ceyhun KÜÇÜK

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### ZONGULDAK İLİ SAHİLLERİ KUM ÖRNEKLERİNİN DOĞAL RADYOAKTİVİTE SEVİYELERİNİN İNCELENMESİ

Ceyhun KÜÇÜK

Bülent Ecevit Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

Tez Danışmanları:

Doç. Dr. Hüseyin AYTEKİN

Yrd. Doç. Dr. Mustafa Çağatay TUFAN

Haziran 2012, 77 sayfa

Bu tezde, HPGe dedektörlü gamma spektrometresi kullanılarak Zonguldak ili sahil kumlarında radyoaktivite ölçümleri yapılmıştır. 12 sahilden alınan toplam 28 adet kum örneğinde ölçülen ortalama aktivite değerleri,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  için, sırasıyla,  $18,88\pm 1,16$ ,  $8,35\pm 6,18$ ,  $167,66\pm 12,17$  ve  $3,38\pm 0,34$  Bq/kg olarak bulunmuştur. Bu aktivite değerleri kullanılarak tahmin edilen yıllık ortalama etkin doz değeri ise  $0,028\pm 0,0056$  mSv/y'dır. Elde edilen bu değer UNSCEAR 2000 raporunda belirtilen uluslar arası ortalama etkin değer in altındadır.

**Anahtar Kelimeler:** HPGe gamma spektroskopisi, spesifik aktivite, doğal radyonüklitler, sahil kumu,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ , Zonguldak (Türkiye)

**Bilim Kodu:** 444.04.01



## **ABSTRACT**

**M.Sc. Thesis**

### **THE OBSERVATION OF RADIOACTIVITY LEVELS OF THE BEACH SANDS IN ZONGULDAK**

**Ceyhun KÜÇÜK**

**Bülent Ecevit University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Department of Physics**

**Thesis Advisors:**

**Assoc. Prof. Hüseyin AYTEKİN**

**Asst. Prof. Mustafa Çağatay TUFAN**

**June 2012, 77 pages**

In this thesis, the radioactivity measurements were performed for the sand samples collected from the beaches of Zonguldak province using the gamma spectrometer with HPGe detector. The average activity values of totally 28 sand samples were found as  $18.88 \pm 1.16$ ,  $8.35 \pm 6.18$ ,  $167.66 \pm 12.17$  and  $3.38 \pm 0.34$  Bq/kg for  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  and  $^{137}\text{Cs}$ , respectively. The estimated annually average effective dose is  $0.028 \pm 0.0056$  mSv/y. The effective dose is below the international average effective value given by UNSCEAR 2000 report.

**Key Words:** HPGe gamma spectroscopy, specific activity, natural radionuclide, beachsand,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ , Zonguldak (Turkey)

**Science Code:** 444.04.01



## TEŞEKKÜR

Bu çalışmada, araştırma süresi boyunca ilgi, öneri ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocalarım Sayın Doç. Dr. Hüseyin AYTEKİN (BEÜ) ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Mustafa Çağatay TUFAN'a (OMÜ) teşekkürlerimi bir borç bilirim. Kum örneklerinin toplanması ve gamma spektroskopisinde ölçüm için hazır hale getirilmesinde bilgi ve yardımlarını esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Rıdvan BALDIK (BEÜ) ve Öğrt. Gör. Meltem ERDEM'e (BEÜ), gamma spektroskopisi kullanımında ve analizlerin yapılması konularında bilgi, yardım ve önerilerini esirgemeyen Arş. Gör. Halil MUTUK'a (OMÜ) teşekkür ederim.

Tez yazımında yararlı görüşlerini aldığım Prof. Dr. Kemal BÜYÜKGÜZEL ve Doç. Dr. Ender BÜYÜKGÜZEL'e (BEÜ) teşekkür ederim.

Çalışmamın deneysel ve yazma aşamasında moral desteği ve yardımlarını esirgemeyen aileme ve yüksek lisans arkadaşlarıma da teşekkürlerimi sunarım.





## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET .....	iii
ABSTRACT .....	v
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xv
EK AÇIKLAMALAR DİZİNİ.....	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xix
BÖLÜM 1 GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2 GENEL BİLGİLER .....	3
2.1 RADYOAKTİVİTE.....	3
2.2 RADYOAKTİF BOZUNMA KANUNU .....	4
2.3 AKTİFLİK.....	5
2.4 YARI-ÖMÜR .....	6
2.5 ORTALAMA ÖMÜR.....	6
2.6 PEŞ PEŞE PARÇALANMA KANUNU .....	7
2.7 RADYOAKTİF DENGE .....	8
2.8 DOĞAL RADYOAKTİF SERİLER .....	10
2.9 DOĞAL RADYOAKTİVİTE .....	14
2.9.1 Topraktaki Doğal Radyoaktivite.....	15
2.9.2 Sulardaki Doğal Radyoaktivite.....	15
2.9.3 Kozmik Işınlardan Kaynaklanan Doğal Radyoaktivite.....	15
2.9.4 İnsan Vücudunda Bulunan Doğal Radyonüklitler .....	16
2.10 RADYOAKTİVİTE BİRİMİ .....	17

## İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
2.11 IŞINLANMA DOZ BİRİMİ.....	17
2.12 SOĞURULAN DOZ BİRİMİ .....	17
2.13 EŞDEĞER DOZ BİRİMİ.....	18
2.14 SAHİL KUMLARININ DOĞAL RADYOAKTİVİTESİ.....	18
BÖLÜM 3 GAMMA SPEKTROSKOPİSİ SİSTEMİ İLE ÇEVRESEL ÖRNEKLERDE RADYOAKTİVİTE ÖLÇÜMÜ.....	 19
3.1 GAMMA SPEKTROSKOPİ SİSTEMİ.....	19
3.2 GAMMA IŞINLARININ MADDE İLE ETKİLEŞİMİ .....	19
3.2.1 Fotoelektrik Olay .....	19
3.2.2 Compton Saçılması .....	20
3.2.3 Çift Oluşumu .....	21
3.3 GAMMA IŞIN DEDEKTÖRLERİ .....	24
3.3.1 Sintilasyon Dedektörleri.....	24
3.3.2 Yarı-İletken Dedektörler .....	26
3.4 GAMMA RADYASYONU SAYIM SİSTEMİNİN YAPISI.....	27
3.5 DEDEKTÖR SEÇİMİ.....	28
BÖLÜM 4 MATERYAL VE METOT .....	29
4.1 ÇALIŞMA ALANI.....	29
4.2 ÖRNEKLERİN TOPLANMASI.....	31
4.3 KUM ÖRNEKLERİN HAZIRLANMASI.....	33
4.4 GAMMA SPEKTROMETRİK YÖNTEMLER.....	34
4.4.1 Enerji Kalibrasyonu .....	34
4.4.2 Verim Kalibrasyonu .....	37
4.4.3 Minimum Dedeksiyon Limiti .....	39
4.4.4 Aktivite Konsantrasyonu .....	39
4.5 HESAPLANAN RADYASYON PARAMETRELERİ.....	39
4.5.1 Soğurulan Gamma Doz Hızı (D) .....	39
4.5.2 Yıllık Etkin Doz Hesabı .....	40

## İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
4.5.3 Dış Tehlike İndeksi ( $H_{ex}$ ) .....	40
BÖLÜM 5 DENEYSEL BULGULAR.....	41
5.1 HPGe DEDEKTÖRÜ İLE ELDE EDİLEN GAMA RADYOAKTİVİTE DEĞERLERİ .	41
BÖLÜM 6 SONUÇ VE ÖNERİLER .....	57
KAYNAKLAR .....	61
EK A. $^{238}\text{U}$ KALİBRASYON KAYNAĞININ SERTİFİKA BİLGİLERİ.....	65
EK B. $^{232}\text{Th}$ KALİBRASYON KAYNAĞININ SERTİFİKA BİLGİLERİ .....	69
EK C. $^{40}\text{K}$ KALİBRASYON KAYNAĞININ SERTİFİKA BİLGİLERİ .....	73
ÖZGEÇMİŞ .....	77



## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Kararlılık Eğrisi.....	4
2.2 Doğal Radyasyon Kaynaklarından Maruz Kalınan Radyasyon Dozlarının Oransal Değerleri .....	17
3.1 Fotoelektrik olay ve Karakteristik X-ışını yayınlanması.....	20
3.2 Compton Saçılması.....	21
3.3 Çift Oluşumu.....	22
3.4 Gamma etkileşme türleri ve bunların baskın olduğu enerji aralıkları .....	22
3.5 Dedektöre giren fotonların dedektör kristali ile etkileşimi.....	23
3.6 Dedektörün tek enerjili gama ışınları için vereceği tipik bir cevap .....	24
3.7 Sintilasyon Dedektörü Blok Şeması.....	25
3.8 Yarı İletken Dedektör Şeması .....	26
3.9 Kaynaktan Yayınlanan Radyasyonların Enerji Ölçümlerinde Kullanılan Elektronik Düzeneginin Şematik Gösterimi .....	27
4.1 Zonguldak E27-F27 Paftaları Jeoloji Haritası .....	30
4.2 Zonguldak E28 Paftası Jeoloji Haritası .....	31
4.3 Kum örneklerinin toplandığı sahiller. ....	33
4.4 HPGe dedektöründe enerjinin kanal numaralarına göre değişimi .....	36
4.5 HPGe dedektöründe verim değerlerinin enerjiye göre değişim grafiği.....	38
5.1 HPGe dedektöründe elde edilmiş Göbü S-1 örneğine ait olan tipik bir gama spektrumu.....	41
5.2 Kum örneklerindeki <sup>238</sup> U aktivite konsantrasyonlarının dağılımı (HPGe).....	46
5.3 Kum örneklerindeki <sup>232</sup> Th aktivite konsantrasyonlarının dağılımı (HPGe). ....	47
5.4 Kum örneklerindeki <sup>40</sup> K aktivite konsantrasyonlarının dağılımı (HPGe). ....	48
5.5 Kum örneklerindeki <sup>137</sup> Cs aktivite konsantrasyonlarının dağılımı (HPGe). . ....	49
5.6 Kum örneklerindeki <sup>232</sup> Th, <sup>238</sup> U, <sup>40</sup> K ve <sup>137</sup> Cs aktivite konsantrasyonlarının birlikte gösterimi (HPGe). ....	50
5.7 Kum örneklerindeki soğurulan doz hızı dağılımı (HPGe).....	51
5.8 Kum örneklerindeki etkin doz hızı dağılımı (HPGe). ....	52
5.9 Kum örneklerinde dış tehlike indeksi dağılımı (HPGe). ....	53



## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Toryum Serisi ( $A=4n$ ).....	11
2.2 Uranyum serisi ( $A=4n+2$ ).....	12
2.3 Aktinyum Serisi ( $A=4n+3$ ). ....	13
2.4 Doğada Tek Başına Bulunan Doğal Radyonüklitler. ....	14
4.1 Toplanan Kum Örneklerinin Koordinatları.....	32
4.2 RGU-1 Kalibrasyon kaynağının sertifika bilgileri. ....	35
4.3 RGTh-1 kalibrasyon kaynağının sertifika bilgileri.....	35
4.4 RGK-1 kalibrasyon kaynağının sertifika bilgileri .....	35
4.5 Enerjinin kanallara göre değişimi (HPGe).....	36
4.6 Standart kaynağın gama enerjilerindeki HPGe dedektörünün verim değerleri .....	38
5.1 $^{238}\text{U}$ ve $^{232}\text{Th}$ 'nin bozunum ürünlerinin aktivite konsantrasyonları (HPGe) .....	44
5.2 $^{238}\text{U}$ , $^{232}\text{Th}$ , $^{40}\text{K}$ , ve $^{137}\text{Cs}$ 'nin aktivite konsantrasyonları ve sayım süreleri (HPGe).....	44
5.3 Hesaplanan radyasyon parametreleri (HPGe). ....	45
6.1 Çeşitli çalışmalarda $^{238}\text{U}$ , $^{232}\text{Th}$ , $^{40}\text{K}$ ve $^{137}\text{Cs}$ 'nin aktivite konsantrasyonları ile soğurulan doz ve yıllık etkin doz değerleri.....	55





## EK AÇIKLAMALAR DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Ek A. <sup>238</sup> U Kalibrasyon Kaynağının Sertifika Bilgileri.....	65
Ek B. <sup>232</sup> Th Kalibrasyon Kaynağının Sertifika Bilgileri .....	69
Ek C. <sup>40</sup> K Kalibrasyon Kaynağının Sertifika Bilgileri .....	73



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

HPGe	: Yüksek Saflıkta Germanyum
A	: Aktiflik
N	: Çekirdek sayısı
t	: Zaman
$\lambda$	: Bozunma sabiti
Bq	: Becquerel
Ci	: Curie
$T_{1/2}$	: Yarılanma süresi
$\tau$	: Ortalama ömür
Gy	: Gray
h	: Saat
kg	: Kilogram
m	: Mili ( $10^{-3}$ )
$\mu$	: Mikro ( $10^{-6}$ )
n	: Nano ( $10^{-9}$ )
Sv	: Sievert
Rad	: Soğurulan Doz Birimi
R	: Röntgen
y	: Yıl
$\alpha$	: Alfa parçacığı
$\beta$	: Beta parçacığı
$\gamma$	: Gamma ışını

### **KISALTMALAR**

TAEK	: Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
UNSCEAR	: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
NCRP	: National Council on Radiation Protection and Measurement



## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Radyasyon dünya üzerinde her yerde bulunmaktadır. Yaşayan bütün canlı organizmalar, dünya kabuğunda başlangıçtan beri var olan  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$  ve  $^{40}\text{K}$  gibi radyoaktif elementlerden dolayı dışsal radyasyona ve ayrıca yiyecek, içecek ve tenefüs yoluyla da havadan içsel radyasyona maruz kalmaktadırlar (UNSCEAR 2000). Ayrıca kozmik ışınlar da doğal radyasyon kaynaklarından biri olup insanları etkilemektedir (Knoll 2000). Bu doğal kaynaklara ek olarak insan yapımı nükleer faaliyetler ve kazalardan dolayı da bazı bölgelerdeki arka plan radyasyon seviyesi etkilenmektedir (UNSCEAR 2000). Bundan dolayı radyoaktivite, araştırmacılar ve bilim adamları için acil çözüm bekleyen bir sorun haline gelmiştir. UNSCEAR (1993)'ün verdiği bilgiye göre insanoğlu radyasyonun yaklaşık %87'sini doğal ve geri kalan kısmını da insan yapımı radyasyon kaynaklarından almaktadır (UNSCEAR 1993). İnsanların doğal radyasyon yolu ile aldığı ortalama yıllık etkin doz ise 2,4 mSv civarındadır. Bununla birlikte bazı ülkelerde bu miktar 10 mSv'in üzerindedir. Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarının ortalama yıllık etkin doza olan katkıları ise; kozmik radyasyon 0,39 mSv, yeryüzü kaynaklı dış ışınlanma 0,48 mSv, solunum yolu ile ışınlanma 1,26 mSv ve beslenme yolu ile ışınlanma 0,29 mSv olacak şekildedir (TAEK 2009 a).

İnsanlar yaşadıkları çevrede özellikle de doğal radyasyona maruz kaldıklarından dolayı doğal radyasyon kaynakları insan sağlığı açısından önem kazanmaktadır. Bu nedenle insanların yoğun olarak yaşadığı ve zaman geçirdiği bölgelerdeki doğal radyoaktivite seviyelerinin belirlenmesi önemlidir (Knoll 2000). Bunlardan biri de özellikle yaz aylarında insanların yoğun olarak kullandıkları sahillerdir. Sahil kumları ya volkanik ya da metamorfik kayaların erozyon ve aşınmasından oluşan mineral depolarıdır (Veiga et al. 2006). Dünyanın birçok yerinde bulunan sahillerdeki doğal radyoaktivitenin bölgesel zenginleşmesi dikkatle incelenmiştir. Monazit ve zirkon gibi ağır mineraller U ve Th'un yüksek yoğunluklarını içerir. Bu mineraller radyasyon doz hızının önemli artışına neden olmaktadır (Vassas et al. 2006). Türkiye ve Dünya'nın birçok yerinde sahil kumlarının doğal radyoaktivite seviyelerinin

belirlenmesine yönelik çalışmalar bulunmaktadır. Türkiye’de, Kocaeli, Ezine/Çanakkale ve Adana gibi illerdeki sahil kumlarının radyoaktivite seviyelerinin belirlenmesine yönelik çalışmalar vardır (Korkulu 2010, Canbaz 2007, Değerliler 2007). Türkiye dışında ise; Brezilya’da São Paulo, Rio de Jenerio, Espírito ve Bahia sahilleri (Veiga et al. 2006), Hindistan’da Kalpakkam sahili (Kanan et al. 2002), Suudi Arabistan kıyı şeridindeki Aqaba Körfezi sahilleri (Al-Trabulsy et al. 2011), Bangladeş’te Cox Bazar sahili (Alam et al. 1999) doğal radyoaktivite seviyelerinin araştırıldığı sahillere örnek verilebilir.

Bu tez çalışmasında; doğal radyoaktivite seviyelerini belirlemek amacıyla Zonguldak il’inde 34 km’lik kıyı şeridi içerisinde bulunan ve halkın yoğunlukla kullanmakta olduğu 12 farklı sahilden kum örnekleri toplanmıştır. Toplanan kum örneklerinde  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivite seviyeleri gama spektroskopisi yöntemiyle ölçülmüş olup bu seviyelerden kaynaklanan ve insanların sahillerde maruz kaldıkları yıllık etkin gamma radyasyon dozları hesaplanmıştır. Tezin ikinci bölümünde radyoaktivite ve birimleri, sahil kumlarının doğal radyoaktivite seviyeleri hakkında bilgi verilmektedir. Üçüncü bölümde ise, gama spektroskopi sisteminin tanıtımı ve analiz ile ilgili işlemler anlatılmaktadır. Tezin dördüncü bölümünde ise, çalışma bölgesi tanıtıldıktan sonra gama aktivitelerini belirlemek amacıyla toplanan kum örneklerinin sayıma hazır hale getirilmeleri için yapılması gereken işlemlerden bahsedilmektedir. Beşinci bölümde de deneysel bulgular verilmiştir. Tezin sonuç bölümünde ise elde edilen sonuçlarla ilgili genel yorumlar yer almaktadır.

## BÖLÜM 2

### GENEL BİLGİLER

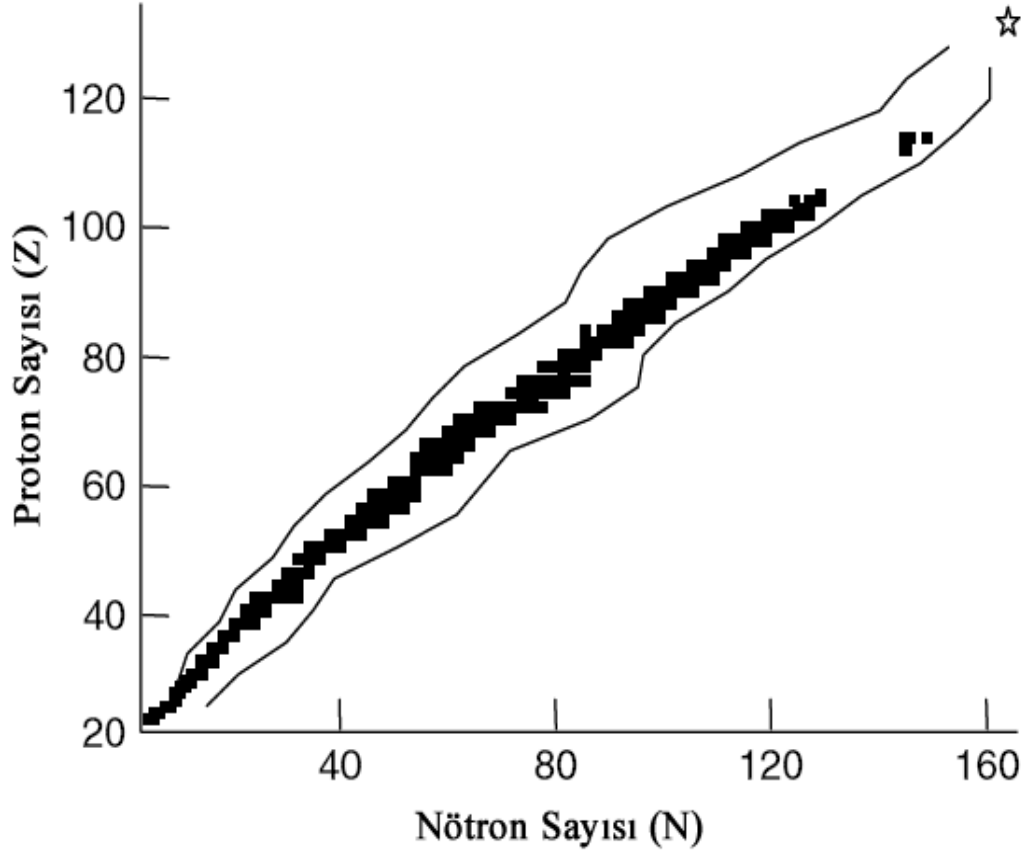
#### 2.1 RADYOAKTİVİTE

Atom ve çekirdeği hakkındaki fiziki bilgiler Henri Becquerel'in 1896'da radyoaktiviteyi keşfetmesi ile başlamıştır. Becquerel, radyoaktiviteyi keşfetmeden önce belli fluör-ışıl tuzların güneş ışınlarıyla aktiflenmesi sonucunda yayınladıkları radyasyon üzerinde çalışıyordu. Becquerel, kalın bir kâğıda sarılmış olan uranyum ve potasyum sülfat içeren numuneyi karanlık bir odada fotoğraf levhalarının yanına bıraktı. Levhalar karanlık odada banyo edilmelerine rağmen ışığa maruz kalmış gibi netice verdiler. Becquerel bu deneyi tekrarladıktan sonra fotoğraf levhalarını etkileyen şeyin uranyum tuzundan yayınlanan radyasyon olduğuna karar verdi. Daha sonra yapılan çalışmalarda aynı radyasyonun havanın iyonlaşmasına da neden olduğu bulundu. Uranyum tuzundan başka bazı maddelerin de radyasyon yayınladıkları gözlemlendi ve bu olaya radyoaktivite, bu şekilde radyasyon yayınlayan elementlere de radyoaktif elementler denildi. Becquerel'in keşfinden 2 yıl sonra 1898'de Marie Curi ve kocası Pierre Curie polonyum ve radyum adı verdikleri iki radyoaktif madde daha keşfettiler. Daha sonraki yıllarda da toryum, aktinyum, radyotoryum, mezotoryum ve diğer radyoaktif elementler bulunmuştur. Günümüzde ise elementlerin yüzlerce radyoaktif izotopları bilinmektedir (Arya 1999).

Doğada var olan atomların bir kısmı kararlı çekirdeklere sahip iken, diğer kısım ise kararsız çekirdeklere sahiptirler. Şekil 2.1 deki, nötron ve proton sayılarına göre oluşturulmuş olan kararlı ve kararsız çekirdeklerin dağılım grafiği bize; kararsız çekirdeklerin, kararlı çekirdeklerin oluşturmuş olduğu kararlılık eğrisinin her iki tarafında da olduğunu göstermektedir. Hafif elementlerin kararlı izotoplarında nötron sayısının proton sayısına oranı  $N/Z=1$ 'dir. Proton sayısı arttıkça protonlar arası elektrostatik itme kuvveti çekirdekte bulunan nükleonlar arası çekim kuvvetlerinden üstün gelir ve çekirdekler kararsız olurlar. Atom numarası 82' den büyük olan çekirdeklerin çok büyük bir kısmı kararsızdır. Kararsız



çekirdekler parçalanarak yeni bir çekirdek oluştururlar ve oluşan bu yeni çekirdeğe 1. ürün denir. Eğer 1. üründe kararsız bir çekirdeğe sahipse parçalanarak yeni bir çekirdek meydana getirir. Bu yeni çekirdeğe de 2. ürün denir. Bu parçalanma olayı kararsız çekirdek kararlı hale gelinceye kadar devam eder (Arya 1999).



Şekil 2.1 Kararlılık Eğrisi (Gilmore 2008).

## 2.2 RADYOAKTİF BOZUNMA KANUNU

Bir atom çekirdeğinin alfa parçacığı, beta parçacığı, gamma ışını, herhangi bir parçacık yayınlaması veya çekirdek kabuğundan bir elektron yakalaması olayına radyoaktif bozunma denir. Deneysel veriler bize göstermektedir ki radyoaktif bozunma üstel bir kanuna göre gerçekleşmektedir. Bu kanunun türetilmesi ancak bozunmanın rastgele bir tabiata sahip olduğu kabullenilirse, yani hangi atomun ne zaman bozunacağını bilinememesi durumunda mümkün olur. Bozunmamış bir radyoaktif çekirdeğin gelecekteki bir zamanda bozunma ihtimaline  $\lambda$  diyelim ve  $\lambda \ll 1$  olduğunu kabul edelim. Bu durumda bir dt zaman aralığında çekirdeğin bozunma ihtimali  $\lambda dt$  olacaktır. Şayet verilen bir numunede t anında N tane

bozunmamış radyoaktif çekirdek varsa ve numuneye yeni radyoaktif çekirdekler ilave edilmiyorsa küçük bir dt zaman aralığında bozunacak olan çekirdeklerin sayısı dN, N ile orantılıdır:

$$\lambda = - \left( \frac{dN}{dT} \right) \frac{1}{N} \quad (2.1)$$

Diferansiyel denklem çözümlerse,

$$\int_{N_0}^N dN = - \int_0^t \lambda dt \quad (2.2)$$

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2.3)$$

üstel radyoaktif bozunma yasası elde edilir. Burada  $\lambda$  bozunma sabiti,  $N_0$  t anında ki henüz bozunmamış radyoaktif çekirdeklerin sayısı, N ise t anındaki çekirdeklerin sayısıdır. Ancak çoğu zaman verilen numunedeki radyoaktif çekirdeklerin sayısı yerine birim zamanda bozunmaya uğrayan çekirdeklerin sayısını bilmek daha önemlidir (Arya 1999).

### 2.3 AKTİFLİK

Aktiflik (A), verilen bir numunede birim zamanda ki bozunma sayısı, yani bozunma hızı olarak tanımlanır ve birimi bozunma/s'dir. (2.3) bağıntısı kullanılarak aktiflik,

$$A = \left| \frac{dN}{dt} \right| = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = \lambda N \quad (2.4)$$

şeklinde elde edilir. (2.4) bağıntısından görüldüğü gibi bir numunenin aktifliği radyoaktif çekirdeklerin sayısına (N) ve bozunma sabitine ( $\lambda$ ) bağlıdır (Krane 2001).

## 2.4 YARI-ÖMÜR

Yarı-ömür ( $t_{1/2}$ ), çekirdeklerin sayısının yarıya düşmesi için ya da aktifliğin yarıya düşmesi için gerekli olan süredir. (2.3) bağıntısında  $N(t)$  yerine  $N_0/2$  yazılırsa yarı- ömür,

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda t_{1/2}} \quad (2.5)$$

$$\frac{1}{2} = e^{-\lambda t_{1/2}} \quad (2.6)$$

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda} \quad (2.7)$$

şeklinde elde edilir. Burada  $t_{1/2}$  zaman biriminde olduğundan  $\lambda$ 'nın birimi  $s^{-1}$  dir (Arya 1999).

## 2.5 ORTALAMA ÖMÜR

Bozunmanın üstel ifadesi radyoaktif çekirdeklerin tamamen bozularak yok olabilmesi için sonsuz uzunlukta bir zaman gerektiğini göstermektedir. Hangi çekirdeğin ne zaman bozunacağını bilemediğimizden dolayı herhangi bir çekirdek sıfır ile sonsuz zaman aralığında bir ömre sahip olabilir. Buna göre bir çekirdeğin ne kadar yaşayacağı bilinemez. Bu durumda ortalama ömürden söz etmek daha doğrudur. Ortalama ömür ( $\tau$ ), bütün radyoaktif çekirdeklerin ömürleri tek tek toplanıp toplam çekirdek sayısına bölünerek elde edilir. Varsayalım ki,  $t_1, t_2, t_3, \dots$  ömürlerine sahip çekirdeklerin sayısı sırasıyla  $dN_1, dN_2, dN_3, \dots$  olsun. Bu durumda ortalama ömür,

$$\tau = \frac{t_1 dN_1 + t_2 dN_2 + dN_3 + \dots}{dN_1 + dN_2 + dN_3 + \dots} \quad (2.8)$$

şeklinde yazılabilir. (2.8) ifadesini  $N_0 = dN_1 + dN_2 + dN_3 + \dots$  olmak üzere integral formunda da yazabiliriz.

$$\tau = \frac{\int_0^{N_0} t dN}{\int_0^{N_0} dN} = \frac{\int_0^{N_0} t dN}{N_0} \quad (2.9)$$

(dN)' in yerine (2.3) eşitliğinden değerini yazdıktan sonra integrali alacak olursak,

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

$$\tau = \frac{1}{\lambda} \quad \text{şeklinde elde edilir (Arya 1999).} \quad (2.10)$$

## 2.6 PEŞ PEŞE PARÇALANMA KANUNU

Hem doğada bulunan hem de insan yapımı radyoaktif izotopların bozunumu peş peşe parçalanmalar şeklinde olabilir. Ana radyoaktif element kendinden farklı bir ürüne bozunur. Eğer üründe radyoaktif ise hem ana element hem de ana elementin ürünü kendinden farklı başka bir elemente bozunur. Bu durum kararlı bir çekirdek oluşuncaya kadar devam eder. Radyoaktif çekirdeklerin herhangi bir t anındaki bozunma denklemleri aşağıdaki gibi yazılabilir,

$$\frac{dN_1}{dt} = -\lambda_1 N_1, \quad (2.11)$$

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2, \quad (2.12)$$

$$\frac{dN_3}{dt} = \lambda_2 N_2. \quad (2.13)$$

Radyoaktif elementteki çekirdeklerin sayısının t=0 anında  $N_1 = N_{10}$ ,  $N_2 = N_{20}$ ,  $N_3 = N_{30}$  olduğunu kabul edersek (2.11), (2.12), (2.13) diferansiyel denklemlerinin çözümlerinden,

$$N_1 = N_{10}e^{-\lambda_1 t} , \quad (2.14)$$

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

$$N_3 = N_{10} \left( 1 + \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_2 t} - \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_1 t} \right) , \quad (2.16)$$

elde edilir. (2.14), (2.15), (2.16) eşitlikleri yardımıyla herhangi bir t anı için mevcut olan atomların sayısı bulunabilir (Krane 2001).

## 2.7 RADYOAKTİF DENGE

Bu kısımda peş peşe parçalanma kanununda bulunan eşitliklerin iki özel durumunu ele alacağız. Bunlardan ilki  $\lambda_1 \cong \lambda_2$  olduğu durum, diğeri ise  $\lambda_1 \ll \lambda_2$  olduğu durumdur. Birinci durumu inceleyecek olursak;  $\lambda_1$  bozunma sabitine sahip ana çekirdeğin  $\lambda_2$  bozunma sabitine sahip olan 1. ürüne bozunduğunu düşünelim. Ayrıca bu iki çekirdeğin ortalama ömürlerinin aynı olduğunu ( $\tau_1 = \tau_2$ ), dolayısıyla  $\lambda_1 \cong \lambda_2$  olduğunu varsayalım. (2.15) eşitliğini ele alacak olursak;

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

$N_2$  'nin maksimuma ulaştığı  $t_m$  süreyi bulabiliriz. Bu eşitliğin türevini alıp sıfıra eşitlersek;

$$t_m = \frac{1}{\lambda_2 - \lambda_1} \log_e \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \quad (2.17)$$

elde edilir.  $t_m$  zamanından sonra 1. ürünün bozunma hızını inceleyecek olursak  $\lambda_1$  ve  $\lambda_2$  den hangisi küçük ise 1. ürünün bozunma hızı üzerinde o etkili olacaktır.

$\lambda_1 < \lambda_2$  ise (2.15) eşitliğinin sağ tarafındaki  $e^{-\lambda_2 t}$  terimi  $e^{-\lambda_1 t}$  teriminden daha hızlı sifira ulaşacaktır. Bundan dolayı  $e^{-\lambda_2 t}$  terimi ihmal edilebilir. Böylelikle,

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

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_1, \quad (2.18)$$

veya

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} \quad (2.19)$$

elde edilir. (2.19) eşitliği ve (2.4) eşitliğinden yaralanacak olursak,

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{\lambda_2 N_2}{\lambda_1 N_1} = \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} \quad (2.20)$$

elde edilir. (2.19) eşitliği bize 1. ürünün, ana elementin bozunma hızıyla bozunduğunu ayrıca (2.20) eşitliği de aktivite oranlarının sabit olduğunu gösterir. Bu şekildeki bir durum için ana element ile 1. ürün elementi geçici dengededir denir.

$\lambda_2 < \lambda_1$  durumunda ise eşitliğin sağ tarafındaki  $e^{-\lambda_1 t}$  terimi  $e^{-\lambda_2 t}$  teriminden daha hızlı sifira ulaşacaktır. Bundan dolayı  $e^{-\lambda_1 t}$  terimi ihmal edilebilir. Böylelikle,

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} (N_{10} e^{-\lambda_2 t}) \quad (2.21)$$

elde edilir. (2.21) eşitliği bize belli bir süreden sonra 1. ürünün kendi bozunma sabiti ile bozunacağını göstermektedir. Yani belirli bir süreden sonra ortamdaki ana element bitecek ve 1. üründe kendi bozunma hızıyla bozunmasına devam edecektir.

(2.15) bağıntısında ana elementin yarı ömrünün 1. ürün elementinin yarı ömrüne oranla daha uzun olduğunu düşünelim. Bu  $\lambda_1 \ll \lambda_2$  olduğu durumdur.

Bu durumda  $\lambda_2 - \lambda_1 \cong \lambda$  ve  $e^{-\lambda_1 t} \cong 1$  olacağından (2.15) bağıntısı ile verilen eşitlik,

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} N_{10} (1 - e^{-\lambda_2 t}) \quad (2.22)$$

şeklinde elde edilir. (2.22) bağıntısına göre de t süresi 1.ürünün ortalama ömrü  $\tau_2$  'ye göre çok büyük ise,  $e^{-\lambda_2 t}$  , de 1'in yanına ihmal edilebilir ve (2.22) eşitliği ile verilen ifadede,

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} N_{10} \quad (2.23)$$

eşitliğine indirgenir. (2.23) eşitliğine göre, 1. ürün elementinin miktarı  $N_2$  sabittir. Ayrıca ana elementin yarı ömrü çok büyük olduğundan dolayı başlangıçtaki miktarı  $N_{10}$  hemen hemen  $N_1$  'e eşittir. Böylelikle (2.23) eşitliği,

$$\lambda_2 N_2 = \lambda_1 N_1 \quad (2.24)$$

olacak şekilde elde edilir. (2.24) bağıntısı kalıcı denge için elde edilen şarttır ve ana element ile ürün element miktarlarının bozunma sabitleriyle ters orantılı olduğunu göstermektedir (Arya 1999).

## 2.8 DOĞAL RADYOAKTİF SERİLER

Doğada atom numaraları 81 ile 92 arasında olan birçok radyoaktif izotop bulunmaktadır. Bunun nedeni, atom numarası büyük elementlerde çekirdekte bulunan protonlar arasındaki Coulomb itmesinin bu elementleri daha kararsız hale getirmesidir. Bu çekirdekler Coulomb itmesinin yapmış olduğu etkiyi azaltmak için  $\alpha$  bozunumuna uğrayarak iki proton ve iki nötron kaybeder. Ayrıca çekirdek çoğu zaman nötron yayınlamak yerine  $\beta$  ışını yayımlayabilir.  $\beta$  yayınlaması işlemi bir nötron bir protona dönüşür ve toplam yük korunur.  $\alpha$  ve  $\beta$  bozunma zinciri radyoaktif izotoplar kararlı duruma ulaşincaya kadar devam

ederler. Atom numaraları 81 ile 92 arasında bulunan doğal radyoaktif izotopların bozunma zincirleri kütle numaralarına bağlı olarak dört farklı seriyle ifade edilebilir.

$A = 4n$	Toryum serisi
$A = 4n + 1$	Neptinyum serisi
$A = 4n + 2$	Uranyum serisi
$A = 4n + 3$	Aktinyum serisi

Bu 4 seriye baktığımızda  $n$  bir tamsayıdır ve bir  $\alpha$  bozunması gerçekleştiğinde kütle dört birim değişecektir ayrıca  $\beta$  bozunması ve  $\gamma$  bozunmasında da kütle numarası değişmeyeceğinden bu serilerden herhangi birinde başlayan bozunma tekrar aynı seride son bulacaktır (Arya 1991). Çizelge 2.1, 2.2, 2.3 de toryum, uranyum, aktinyum serileri ve bunlara ait bozunma ürünleri olan radyoizotoplar verilmektedir (Gedikoğlu 1988).

Çizelge 2.1 Toryum Serisi ( $A=4n$ ).

Çekirdek	Bozunma Şekli	Yarı Ömür	Açığa Çıkan Enerji (MeV)	Bozunum Ürünü
$^{232}\text{Th}$	$\alpha$	$1,405 \times 10^6 \text{ y}$	4,081	$^{228}\text{Ra}$
$^{228}\text{Ra}$	$\beta^-$	5,75y	0,046	$^{228}\text{Ac}$
$^{228}\text{Ac}$	$\beta^-, \gamma$	6,25sa	2,124; 0,91	$^{228}\text{Th}$
$^{228}\text{Th}$	$\alpha$	1,9116y	5,520	$^{224}\text{Ra}$
$^{224}\text{Ra}$	$\alpha$	3,6319g	5,789	$^{220}\text{Rn}$
$^{220}\text{Rn}$	$\alpha$	55,6s	6,404	$^{216}\text{Po}$
$^{216}\text{Po}$	$\alpha$	0,15s	6,906	$^{212}\text{Pb}$
$^{212}\text{Pb}$	$\beta^-, \gamma$	10,64sa	0,570; 0,24	$^{212}\text{Bi}$
$^{212}\text{Bi}$	$\beta^-, \gamma$	60,55dk	2,252; 0,73	$^{212}\text{Po}$
$^{212}\text{Po}$	$\alpha$	$3 \times 10^7 \text{ s}$	8,955	$^{208}\text{Tl}$
$^{208}\text{Tl}$	$\beta^-, \gamma$	3,053dk	4,999; 2,62	$^{208}\text{Pb}$
$^{208}\text{Pb}$	KARARLI	-	-	-



Çizelge 2.2 Uranyum serisi ( $A=4n+2$ ).

Çekirdek	Bozunma Şekli	Yarı Ömür	Açığa Çıkan Enerji (MeV)	Bozunum Ürünü
$^{238}\text{U}$	$\alpha$	$4,68 \times 10^9$ y	4,270	$^{234}\text{Th}$
$^{234}\text{Th}$	$\beta^-$	24,10g	0,273	$^{234}\text{Pa}$
$^{234}\text{Pa}$	$\beta^-$	1,18dk	2,197	$^{234}\text{U}$
$^{234}\text{U}$	$\alpha$	$2,45 \times 10^5$ y	4,859	$^{230}\text{Th}$
$^{230}\text{Th}$	$\alpha$	$7,6 \times 10^4$ y	4,770	$^{226}\text{Ra}$
$^{226}\text{Ra}$	$\alpha$	1602y	4,871	$^{222}\text{Rn}$
$^{222}\text{Rn}$	$\alpha$	3,8235g	5,590	$^{218}\text{Po}$
$^{218}\text{Po}$	$\alpha$	3,05dk	6,615	$^{214}\text{Pb}$
$^{214}\text{Pb}$	$\beta^-, \gamma$	26,8dk	0,65; 0,295	$^{214}\text{Bi}$
$^{214}\text{Bi}$	$\beta^-, \gamma$	19,9dk	3,272; 1,050	$^{214}\text{Po}$
$^{214}\text{Po}$	$\alpha$	$1,6 \times 10^{-4}$ s	7,883	$^{210}\text{Pb}$
$^{210}\text{Pb}$	$\beta^-$	22,3y	0,064	$^{210}\text{Bi}$
$^{210}\text{Bi}$	$\beta^-$	5,013g	1,426	$^{210}\text{Po}$
$^{210}\text{Po}$	$\alpha$	138g	5,407	$^{206}\text{Pb}$
$^{206}\text{Tl}$	$\beta^-$	4,199dk	1,533	$^{206}\text{Pb}$
$^{206}\text{Pb}$	KARARLI	-	-	-

Çizelge 2.3 Aktinyum Serisi (A=4n+3).

Çekirdek	Bozunma Şekli	Yarı Ömür	Açığa Çıkan Enerji (MeV)	Bozunum Ürünü
$^{235}\text{U}$	$\alpha$	$7,04 \times 10^8 \text{ y}$	4,678	$^{231}\text{Th}$
$^{231}\text{Th}$	$\beta^-$	25,52sa	0,391	$^{231}\text{Pa}$
$^{231}\text{Pa}$	$\alpha$	32760y	5,150	$^{227}\text{Ac}$
$^{227}\text{Ac}$	$\beta^-, \alpha$	21,772y	0,045; 5,0402	$^{227}\text{Th}$
$^{227}\text{Th}$	$\alpha$	18,68g	6,147	$^{223}\text{Ra}$
$^{223}\text{Ra}$	$\beta^-$	22,00dk	1,149	$^{223}\text{Ra}$
$^{223}\text{Ra}$	$\alpha$	11,43g	5,979	$^{219}\text{Rn}$
$^{219}\text{Rn}$	$\alpha$	3,96s	6,946	$^{215}\text{Po}$
$^{215}\text{Po}$	$\alpha, \beta^-$	1,781ms	7,527; 0,715	$^{215}\text{At}$
$^{215}\text{At}$	$\alpha$	0,1ms	8,178	$^{211}\text{Pb}$
$^{211}\text{Pb}$	$\beta^-$	36.1dk	1,367	$^{211}\text{Bi}$
$^{211}\text{Bi}$	$\alpha, \beta^-$	2,14dk	6,751; 0,575	$^{211}\text{Po}$
$^{211}\text{Po}$	$\alpha$	516ms	7,595	$^{207}\text{Tl}$
$^{207}\text{Tl}$	$\beta^-$	4,77dk	1,418	$^{207}\text{Pb}$
$^{207}\text{Pb}$	KARARLI	-	-	-

Radyoaktif ağır element serilerinden başka, doğada tek başına bulunan ve kendilerine ait özellikleri olan doğal radyoizotoplarda vardır. Doğal radyasyon seviyesine katkısı oldukça fazla olan  $^{40}\text{K}$  bu grubun en önemli radyoizotoplarından. Bunlar çizelge 2.4'de gösterilmektedir (Gedikoğlu 1988).

Çizelge 2.4 Doğada Tek Başına Bulunan Doğal Radyonüklitler.

Çekirdek	Bozunma Şekli	Yarı Ömür	Açığa Çıkan Enerji (MeV)	Bağıl Bolluk
$^3\text{H}$	$\beta^-$	12,4y	180	100
$^{14}\text{C}$	$\beta^-$	5400y	155	100
$^{40}\text{K}$	$\beta^-, \gamma$	$1,3 \times 10^9$ y	1300; 1460,8	90; 10
$^{87}\text{Rb}$	$\beta^-$	$6,1 \times 10^{10}$ y	250	100
$^{115}\text{In}$	$\beta^-$	$10^{14}$ y	630	100
$^{129}\text{I}$	$\beta^-$	$1,7 \times 10^7$ y	120	100
$^{138}\text{La}$	$\beta^-, \gamma$	$7 \times 10^{10}$ y	1210; 1390	7,93
$^{147}\text{Sm}$	$\alpha$	$6,7 \times 10^{11}$ y	2180	-
$^{176}\text{Lu}$	$\beta^-$	$6,7 \times 10^{10}$ y	425	-
$^{239}\text{Pu}$	$\alpha$	$2,4 \times 10^{10}$ y	5150	69

## 2.9 DOĞAL RADYOAKTİVİTE

İnsanoğlu ve diğer tüm canlılar milyonlarca yıl yerkürede bulunan doğal radyoaktif maddelerden yayınlanan radyasyona ve evrenden gelen kozmik ışınlarla maruz kalmakta olup, tüm canlılar var oluşlarından bu zamana kadar sürekli doğal radyasyonla iç içe yaşamaktadırlar. Ayrıca vücudumuza solunum ve sindirim yollarıyla az da olsa radyoaktif maddeler alınmakta ve bu maddelerde zamanla çeşitli organlarda birikmektedir (TAEK 2009 a).

### 2.9.1 Topraktaki Doğal Radyoaktivite

Yer kabuğunda  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ , gibi doğal radyonüklitlerin olması toprağın radyoaktif olmasına neden olmaktadır. Yer kabuğunda ki doğal radyonüklitler daha çok volkanik, fosfat, granit ve tuz kayalarında yüksek yoğunluklarda bulunurlar. Bu kayalar zamanla doğa şartlarından etkilenecek çok küçük parçalar haline gelirler ve zamanla yağmur veya akıntı sularıyla toprağa karışırlar. Böylelikle topraktaki doğal radyoaktivitenin artmasına neden olurlar (NCRP 1975). Ayrıca dünyanın jeolojik yapısı araştırıldığında belli bir kalınlıkta ki toprak tabakasının altında kaya yataklarının olduğu görülmektedir. Bu kaya yataklarının da topraktaki doğal radyoaktiviteye neden olduğu tahmin edilmektedir. Özellikle gamma radyasyonlarının önemli bir kısmına 0-25 cm derinlikteki yüzey tabakasının katkı verdiği bilinmektedir (UNSCEAR 1988). Topraktaki bu radyonüklitler, toprak içindeki oranlarına göre ortamdaki doğal radyasyon seviyesinin değişmesine ve ortamda ki radyasyon oranına göre de doğal radyasyona maruz kalınmasına neden olurlar.

### 2.9.2 Sulardaki Doğal Radyoaktivite

Yeraltı sularında çok fazla radyoaktif element bulunmaktadır. Fakat bu radyoaktif elementlerden kaynaklanan radyasyon, insan ve diğer canlıların sağlığını etkileyecek kadar önemli yoğunlukta değildir. Yeraltı suları yüzey sularından daha fazla radyoaktiftir. Bunun nedeni de izledikleri yol boyunca içinden geçtikleri radyoaktif maddeler veya minerallerden ileri gelmektedir. Genellikle volkanik maddelerin bulunduğu ortamdan geçen sulardaki radyoaktivite yoğunlukları tortul maddelerin bulunduğu ortamdan geçen sulara göre daha yüksektir. Su, en çok uranyumun serisinde olan radyum ve radon içermektedir. Yeraltı sularında  $^{226}\text{Ra}$ 'nın bozunma ürünü olan radyoaktif radon bulunmaktadır. Toryum ailesinden  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{228}\text{Ra}$ 'in yer altı sularında bulunmasına rağmen bu aileden olan  $^{226}\text{Rn}$ 'in yarı ömrünün çok kısa olması su ve kayalarda birikmesine imkan vermemektedir. Ayrıca yer altı sularında aktinyum serisini belirlemek hemen hemen imkansız gibidir (Sayre et al. 1963).

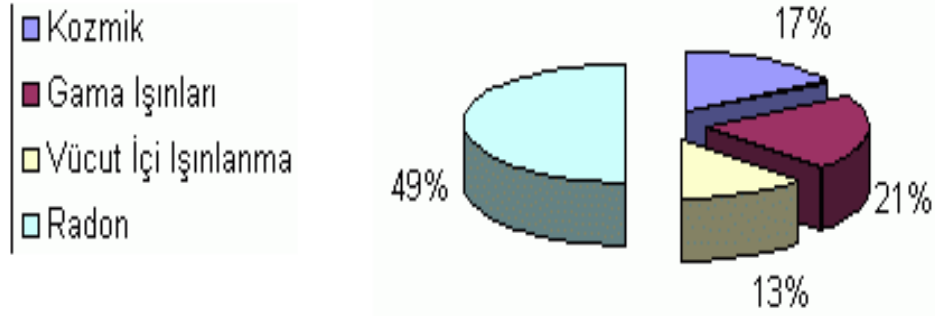
### 2.9.3 Kozmik Işınlardan Kaynaklanan Doğal Radyoaktivite

Dünyamız var olduğundan günümüze kadar sürekli kozmik radyasyonlarla bombardıman edilmektedir. Bu kozmik radyasyonlar, değişik yüklere ve farklı enerjilere sahip olan parçacıklar veya elektromanyetik ışınlardır. Yoğunlukları ise atmosferin üst tabakalarından

deniz seviyesine inildikçe azalmaktadır. Uzay kaynaklı radyasyonlar kökenlerine göre, hapsolmuş partikül ve solar ortamlardan gelen radyasyonlar olarak iki sınıfta incelenebilir (NCRP 1989). Hapsolmuş partikül radyasyonları elektron ve protonlardan oluşmaktadır ve dünya atmosferini üst üste sarmış gibi bir görünüme sahiptir. Bu elektron ve protonların enerjileri birkaç yüz Mev mertebesindedir. Solar veya galaktik radyasyonlar büyük miktarda proton ve az miktarda da helyum ile ağır iyonları içermektedir. Galaktik kozmik ışınlar, dünyaya güneş sistemimiz dışındaki yıldızlar arası ortamlardan, süper novalardan veya galaktik çekirdeklerden gelmektedir. Galaktik radyasyonların yaklaşık %87'sini fotonlar, %11'ini alfa parçacıkları, %1'ini ağır çekirdekler ve geri kalan %1'lik kısımda 1020 eV'luk elektronlar oluşturmaktadır. Solar radyasyonlarda güneş kökenli olup enerjileri birkaç keV ile 1 MeV arasında değişen düşük enerjili parçacıklardır. Kozmik radyasyonlar dünya atmosferine ulaştıklarında atmosferde bulunan bazı elementlerin çekirdekleriyle nükleer reaksiyona girerler ve bu reaksiyonlardan kaynaklanan başka ışınlar üretilir. Uzaydan dünya atmosferine gelen bu ışınlar birincil ışın, atmosferde gerçekleşen reaksiyonlar sonucu oluşan ışınlar da ikincil ışın denir (O'brien et al 1992).

#### **2.9.4 İnsan Vücudunda Bulunan Doğal Radyonüklitler**

İnsanlar doğal radyasyon kaynaklarını vücutlarına sindirim veya solunum yoluyla alırlar.  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{238}\text{U}$ 'ın bozunma ürünleri ve çok az oranda da  $^{14}\text{C}$  ile  $^3\text{H}$  vücuda sindirim yolu ile alınmaktadır. Doğada ki potasyum miktarı çok fazladır ve ortalama 70 kg ağırlığındaki bir insanda yaklaşık 140 mG potasyum bulunmaktadır. Bu miktardaki potasyum  $3,7 \times 10^3 \mu\text{Ci}$  civarında  $^{40}\text{K}$  içermektedir. İnsan vücudundaki iç ışınlanma miktarına en büyük katkıyı  $^{222}\text{Rn}$  yapmaktadır. Ayrıca alfa ve beta ışınlarıyla birlikte gama ışınları yayınlayan  $^{210}\text{Po}$ ,  $^{210}\text{Pb}$  ile  $^{210}\text{Bi}$  solunum yoluyla vücuda girerler. İnşaat ve yapı malzemelerinden ortama salınan  $^{222}\text{Rn}$ 'de ev ortamında solunumla vücuda alınan en önemli radyonüklittir (Sedlet et al 1973). Sindirim yoluyla vücuda alınan, su ve gıdalarda ki  $^{40}\text{K}$  ile  $^{226}\text{Ra}$  ve bunların bozunma ürünleri de yayınladıkları radyasyondan dolayı iç ışınmalara neden olmaktadır (Karahana 1997). Türkiye Atom Enerjisi Kurumu'nun yayınlamış olduğu dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozlarının oransal değerleri aşağıdaki grafikteki gibidir (TAEK 2009 a).



Şekil 2.2 Doğal Radyasyon Kaynaklarından Maruz Kalınan Radyasyon Dozlarının Oransal Değerleri (TAEK 2009 a).

## 2.10 RADYOAKTİVİTE BİRİMİ

Herhangi bir radyoaktif örneğin radyoaktivitesini tanımlamada kullanılan en uygun ve yaygın birim bozunma/s'dir. Saniyede ki 1 bozunum ise 1 Bequerel olarak tanımlanır. Kullanılan diğer bir birim ise 1 gr radyum ile dengede olan radonun aktivite miktarı olarak bilinen Curie'dir ve Ci sembolü ile gösterilir. Ayrıca  $1Ci = 3,7 \times 10^{10}$  bozunma/s'dir (Önen 1997).

## 2.11 IŞINLANMA DOZ BİRİMİ

Işınlanma doz birimi, X ve  $\gamma$  ışınlarının havayı iyonlaştırabilme kabiliyetlerinin ölçüsü ile orantılıdır. Işınlanma doz birimi röntgendir ve R simgesi ile gösterilmektedir.  $0^{\circ}C$  ve 760 Hg hava basıncında 1 kg havada  $2,58 \times 10^{-4}$  Coulomb'luk elektrik yükü değerinde + ve - iyonları oluşturan X veya  $\gamma$  ışını radyasyon miktarıdır. Ayrıca SI birim sisteminde röntgen biriminin karşılığı olan Coulomb/kg  $0^{\circ}C$  ve 760 Hg hava basıncında 1 kg havada 1 Coulomb'luk elektrik yükü değerinde + ve - iyonları oluşturan X veya  $\gamma$  ışını radyasyon miktarıdır (Önen 1997).

## 2.12 SOĞURULAN DOZ BİRİMİ

Soğurulan doz birimi SI birim sisteminde Graydir (Gy) ve ışınlanan maddenin 1 kg'ına 1 joule'lük enerji aktaran radyasyonun miktarıdır (Önen 1997).

## **2.13 EŞDEĞER DOZ BİRİMİ**

Eşdeğer doz birimi bir biyolojik sistem üzerine etki eden radyasyonun ölçüsü olup SI birim sisteminde Sivert (Sv) cinsinden ifade edilir (Önen 1997).

## **2.14 SAHİL KUMLARININ DOĞAL RADYOAKTİVİTESİ**

Sahil kumları ya volkanik ya da metamorfik kayaların erozyon ve aşınması sonucunda oluşan mineral depolarıdır (Veiga et al. 2006, Singh et al. 2005). Genellikle de sahil kumları granit, andesit ve bunlar gibi magmatik kayalardan oluşmaktadırlar (Mohanty et al. 2010). Monazit ve zirkon gibi ağır mineraller U ve Th'un yüksek yoğunluklarını içerirler (Vassas et al. 2006; Coelho et al. 2005, Hassan et al. 1997, Malanca et al. 1998). Mineraller hava koşulları ve erezyon etkisiyle taşınarak sahil kumlarında birikirler (Mohanty et al. 2010). Erezyon ve hava koşulları ile taşınan bu mineraller radyasyon doz hızının önemli artışına neden olurlar (Mohanty et al. 2010, Vassas et al. 2006, Radhakrishna et al. 1993, Van Duonget al. 1996, Kannan et al. 2002, Mohanty et al. 2004, Freitas and Alencar 2004, Alencar and Freitas 2005).

## BÖLÜM 3

### GAMMA SPEKTROSKOPİSİ SİSTEMİ İLE ÇEVRESEL ÖRNEKLERDE RADYOAKTİVİTE ÖLÇÜMÜ

#### 3.1 GAMMA SPEKTROSKOPİ SİSTEMİ

Gamma Spektroskopisi sistemi, gama ışınları yayımlayan radyonüklit örneklerin aktivite seviyelerini belirlemek için, bu radyonüklit örneklerinden yayımlanan gamma ışınlarını enerjilerine bağlı olarak sayan bir sistemdir. Gamma spektroskopisi sisteminin en önemli parçası dedektör kristalidir. Gama ışını, dedektör kristaliyle enerjisine bağlı olarak etkileşmeye girer ve bu etkileşme sonucunda da enerjisine göre bir sinyal pulsu elde edilir (Gilmore 2008). Bu nedenle bu bölümde ilk olarak gamma ışınlarının madde ile etkileşimi incelenmelidir.

#### 3.2 GAMMA IŞINLARININ MADDE İLE ETKİLEŞİMİ

Gamma ışını madde ile 3 şekilde etkileşir.

1. Fotoelektrik olay
2. Compton olayı
3. Çift oluşumu

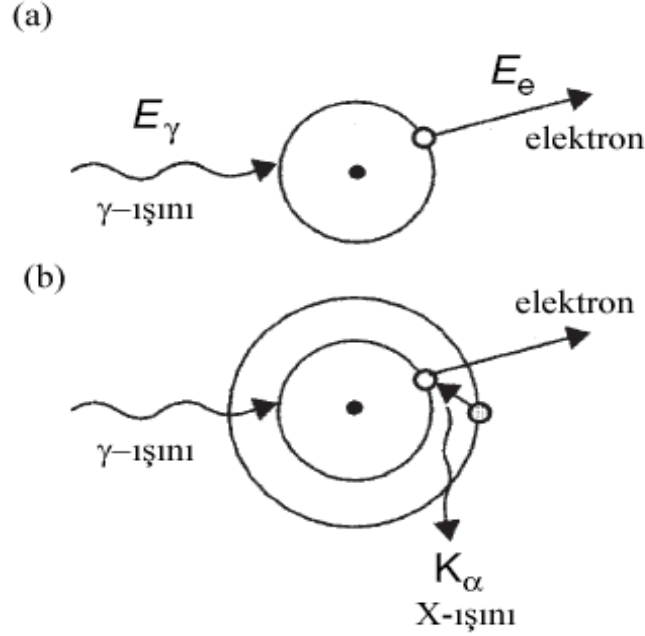
##### 3.2.1 Fotoelektrik Olay

Enerjileri yaklaşık 100 keV civarında olan düşük enerjili fotonlar enerjilerini fotoelektrik olay yolu ile kaybederler. Fotoelektrik olayda düşük enerjili foton, etkileştiği atoma enerjisinin tamamını vererek atomun iç yörüngelerinden bir elektronun atom dışına fırlatılmasına neden olur. Şekil 3.1'de fotoelektrik olay ve X-ışını yayınlanması gösterilmiştir (Korkulu 2010). Atom dışına fırlatılan bu elektrona fotoelektron adı verilir. Gelen fotonun enerjisi elektrona tamamen kinetik enerji olarak aktarılamaz. Bu enerjinin bir kısmı elektronu uyarmak için



kullanılır ve geri kalan enerji elektrona kinetik enerji olarak aktarılır. Gelen fotonun enerjisi  $E_\gamma$ , Elektronu uyarmak için gerekli olan enerji  $E_b$  olmak üzere fotoelektronların kazandığı kinetik enerji aşağıdaki bağıntı ile bulunur.

$$T_e = E_\gamma - E_b \quad (3.1)$$



Şekil 3.1 Fotoelektrik olay ve Karakteristik X-ışını yayınlanması (Korkulu 2010).

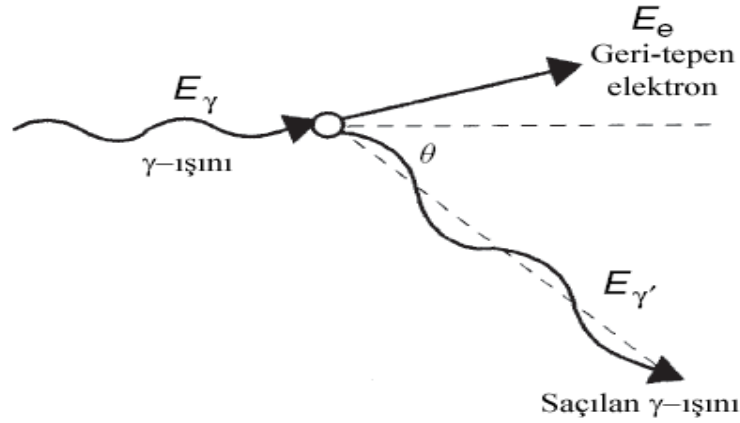
Detektöre gelen gamma ışınları da detektör kristalinin atomlarıyla etkileşime girerek elektronun atom dışına fırlatılmasına neden olur ve elektronun fırlatıldığı yörüngenin yeri bir üst yörüngeden gelen bir elektronla doldurulur. Bu nedenle de karakteristik X-ışını yayınlanması gözlenir. Gelen gamma ışınının etkileştiği dedektör kristalinin atom numarası büyüdükçe bu olayın olma olasılığı artar. Fakat gelen gamma ışınının enerjisi arttıkça fotoelektrik olayın gerçekleşme olasılığı azalır (Önen 1997, Krane 2001).

### 3.2.2 Compton Saçılması

Gelen foton maddenin zayıf bağlı ya da serbest elektronları ile etkileşir ve gelen fotonlar elektronlarla elastik saçılmaya uğrayarak enerjilerinin ve momentumlarının bir kısmını elektrona aktararak düşük enerjili fotonlar olarak yollarına devam ederler. Şekil 3.2’de

compton seçılması olayının şematik şekli verilmektedir (Gilmore 2008). Fotonlar enerjilerinin düşüşüyle belli bir açıda saçılırlar ve bu saçılmadan dolayı da açığa çıkan enerji elektronlara kinetik enerji olarak aktarılırlar. Gelen foton birkaç kez compton saçılmasına uğrayabilir ve fotonların enerjisi azaldıkça fotoelektrik soğrulma olasılığı artar. Detektör kristaline gelen gamma fotonu, enerjisinin bir kısmını compton saçılması ve compton saçılmasını takip eden fotoelektrik olay sonucu da enerjisinin tamamını kristalde kaybedebilir. Gelen fotonun enerjisi  $E_\gamma$ , çıkan fotonun enerjisi  $E_\gamma'$  olmak üzere elektronlara aktarılan kinetik enerji aşağıdaki bağıntı ile bulunur (Krane 2001).

$$T_e = E_\gamma - E_\gamma' = \frac{E_\gamma^2 (1 - \cos \theta)}{mc^2 + E_\gamma (1 - \cos \theta)} \quad (3.2)$$



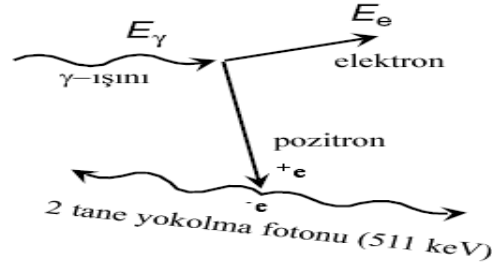
Şekil 3.2 Compton Saçılması (Gilmore 2008).

### 3.2.3 Çift Oluşumu

Bu tür etkileşimde ise; gelen foton atomun çekirdeğine çarpar ve durgun kütle enerjileri 0,511 MeV olan elektron-pozitron çifti oluşturur. Şekil 3.3'de çift oluşumunun şematik şekli verilmektedir (Gilmore 2008). Foton çift oluşumundan sonra artan enerjisini de maddeye vererek ortamdaki kaybolur. Elektron-pozitron çiftinin durgun kütle enerjileri 0.511 MeV olduğu için çift oluşumunun gerçekleşebilmesi için gelen fotonun en düşük enerjisi 1,022 MeV olmalıdır. Enerjinin korunumundan

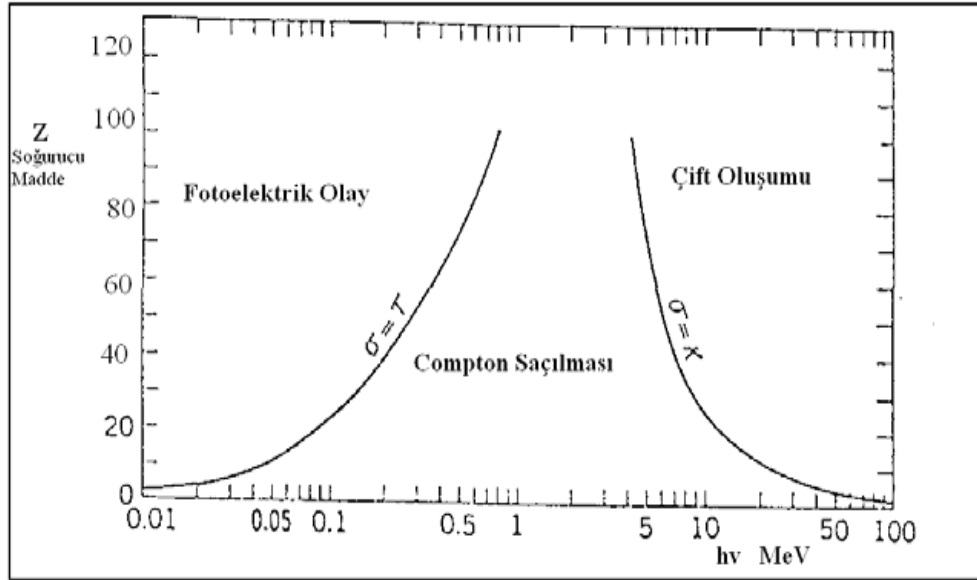
$$E_\gamma = T_+ + mc^2 + T_- + mc^2 \quad (3.3)$$

elde edilir.



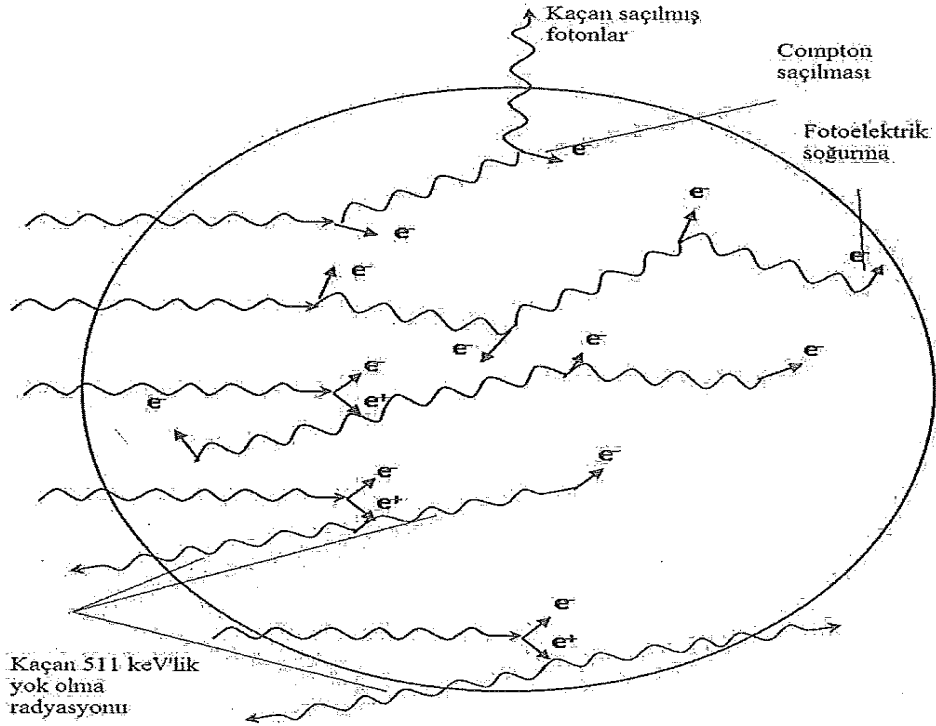
Şekil 3.3 Çift Oluşumu (Gilmore 2008).

Oluşan elektronlar, serbest elektronlar gibi ortamdaki diğer elektronlarla etkileşirken pozitronlar ise ortamdaki başka bir elektronu yakalayarak 0,511 MeV' lik birbirine zıt yönde iki gamma ışını yayınlırlar. Bu gamma ışınlarına yok olma radyasyonu denir ve bu yolla oluşan gamma ışınları fotoelektrik olay yolu ile soğurulabilirler. Eğer gelen fotonların enerjisi 5 MeV' den büyük ise çift oluşum olayı fotoelektrik ve compton saçılması olayına göre daha baskındır (Krane 2001). Şekil 3.4'de gamma etkileşme türleri ve bu etkileşimlerin baskın olduğu enerji aralıkları verilmektedir (Soyberk 1998).



Şekil 3.4 Gamma etkileşme türleri ve bunların baskın olduğu enerji aralıkları (Soyberk 1998).

Detektöre giren gamma fotonunun detektör kristali ile etkileşmesi Şekil 3.5’de gösterildiği gibidir (Krane 2001).

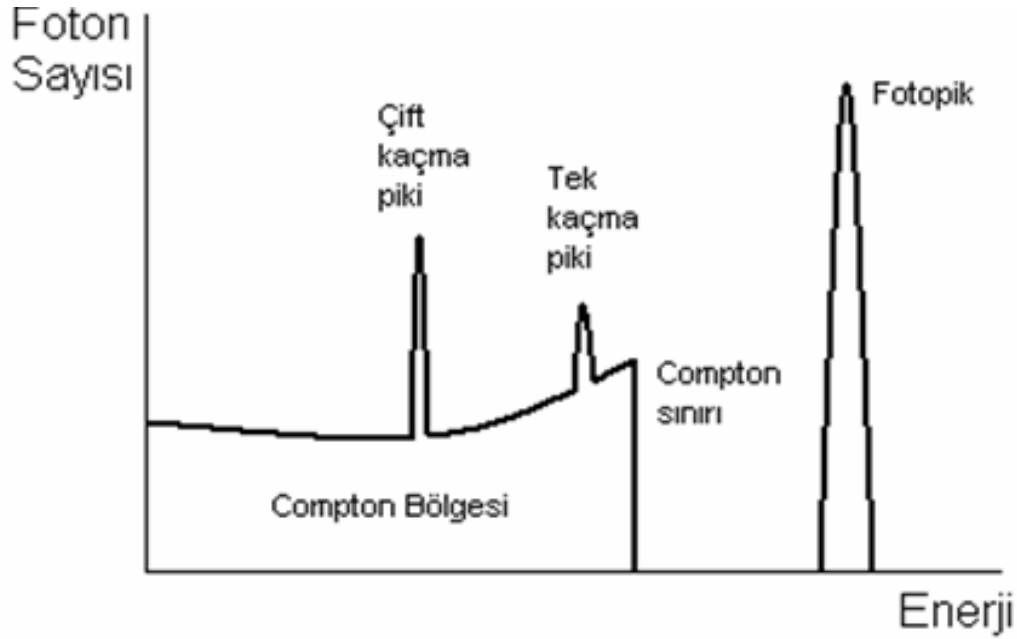


Şekil 3.5 Dedektöre giren fotonların dedektör kristali ile etkileşimi (Krane 2001).

Dedektöre giren gamma fotonu dedektör kristali ile aşağıdaki etkileşimlere girebilir.

- Birkaç kez compton saçılması yaptıktan sonra enerjisinin tamamını kaybetmeden dedektörü terk edebilir.
- Fotoelektrik soğurma yoluyla enerjisinin tamamını dedektöre aktarabilir.
- Birkaç kez kompton saçılması yaptıktan sonra fotoelektrik soğurma yoluyla enerjisinin tamamını dedektörde kaybedebilir.
- Çift oluşumu ile bir eletron-pozitron çifti oluşturulduktan sonra pozitron elektron yakalayarak ortadan kaybolur ve bir birlerine zıt yönde hareket eden iki tane foton üretir. Üretilen bu fotonlar birkaç kez compton saçılmasına uğrayabilir ve daha sonra fotoelektrik soğurulmayla enerjilerini dedektöre aktarabilirler.
- Çift oluşumunda meydana gelen fotonlardan biri ya da ikisi dedektörü terk edebilir.

Dedektörün tek enerjili gamma ışınları ile etkileşime girdikten sonra oluşturacağı spektrum Şekil 3.6’da görüldüğü gibidir (Krane 2001).



Şekil 3.6 Dedektörün tek enerjili gama ışınları için vereceği tipik bir cevap (Krane 2001).

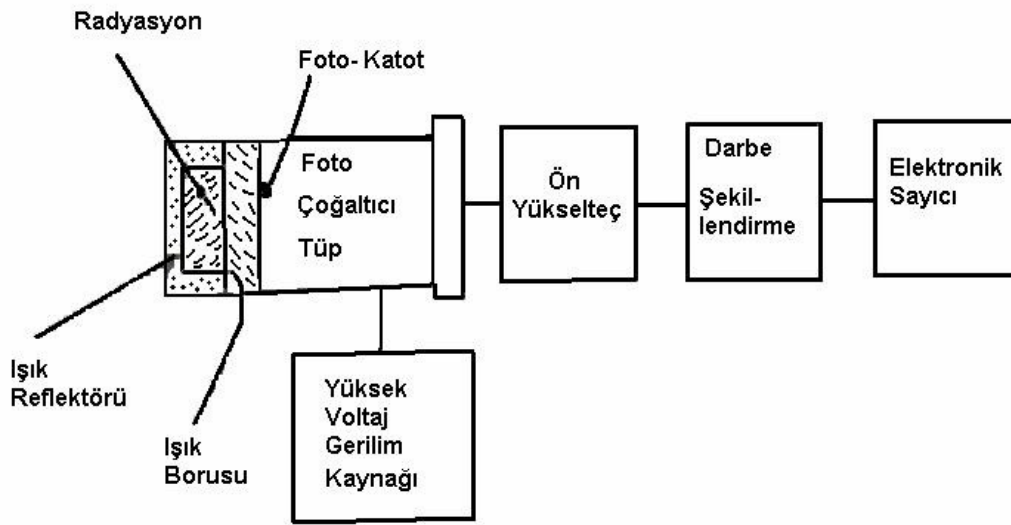
### 3.3 GAMMA IŞIN DEDEKTÖRLERİ

Nükleer radyasyon doz değerlerini belirlemede kullanılan dedektörler hemen hemen benzer çalışma prensiplerine sahiptirler. Gelen radyasyon dedektöre girdikten sonra dedektörde bulunan maddenin atomlarıyla etkileşir ve enerjisinin bir kısmını veya tamamını dedektördeki atomlara aktarır ve bunun sonucunda atomların yörüngelerinden elektron fırlatılmasına neden olurlar. Atom yörüngelerinden fırlatılan bu atomlar yüksek bir gerilim tarafından oluşturulan elektrik alan sayesinde akım pulsu oluşturulmak üzere bir elektronik devrede toplanırlar ve radyasyon doz miktarları analiz edilir. Dedektör materyali olarak kullanılacak madde ölçüm yapılacak radyasyonun türüne bağlıdır ve gamma radyasyonu ölçümünde en sık kullanılan dedektörler sintilasyon dedektörleri ile yarı-iletken dedektörlerdir (Akkoyun 2007).

#### 3.3.1 Sintilasyon Dedektörleri

Nükleer spektroskopi alanında olan ihtiyaçları giderebilecek, verimi yüksek ve uygun çözme gücüne sahip olan sintilasyon dedektörleri 1950’lerde geliştirilmiştir. Gamma ışını

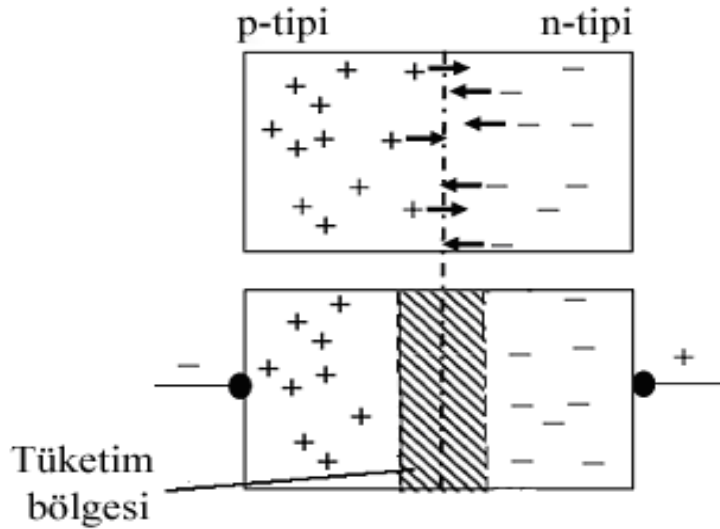
radasyonu dedektöre girdikten sonra dedektördeki atomlarla onları uyarılmış seviyelere çıkaracak birçok etkileşme yapar ve daha sonra bu uyarılmış durumlar görünür bölgede ya da görünür bölgeye yakın bir bölgede ışık yayınlırlar. Oluşan bu ışık foto duyarlı yüzeye (fotokatot) çarparak foton başına bir fotoelektron salınmasına neden olurlar ve oluşan bu ikincil elektronlar fotoçoğaltıcı tüpte çoğaltılıp hızlandırıldıktan sonra analiz yapılmak için çıkış pulslarına dönüştürülür. Fotoelektronlar elektrik alan altında dinot adı verilen bir metal plakaya doğru hızlandırılırlar. Dinota çarpan fotoelektronlar bu metal plakadan birçok elektronun fırlatılmasına neden olurlar. Elektrik alan sayesinde ilk dinottan fırlatılan elektron ikinci dinota ikinciden salınanlar diğer dinota çarparak elektron salınmasına neden olurlar. Fotoçoğaltıcı tüpler 10 ila 12 arasında her biri bir öncekinden daha yüksek gerilime sahip olan dinota sahip olduğundan, elektronlar 10-12 kez dinota çarpar ve her çarpma da elektronlar hızlandırılıp çoğaltılırlar. Son dinotta ki yük miktarı tüpe giren foton sayısı ile, fotonların sayısında dedektör kristaline gelen gamma radyasyonu ile orantılı olduğundan çıkış pulsu gelen gamma ışını radyasyonu ile orantılıdır. Temel olarak ölçme amacına göre kullanılan, organik ve inorganik materyallerden yapılmış sintilatörler bulunmaktadır. Gamma ışınları için en çok kullanılan sintilatörler inorganik madde olan NaI ve CsI kristalleridir. Ayrıca dedektörlere foton yayınlanma olasılığını artırmak ve gelen gamma ışınının soğrulmasını da önlemek için aktivatör katılır. En çok kullanılan aktivatörler ise Ta ve Na'dır. Genellikle de gamma ışınları için NaI(Ta) aktifleyicisi kullanılmaktadır (Akkoyun 2007, Krane 2001). Bir sintilasyon dedektörü blok şeması Şekil 3.7'de görülmektedir (Değerliler 2007).



Şekil 3.7 Sintilasyon Dedektörü Blok Şeması (Değerliler 2007).

### 3.3.2 Yarı-İletken Dedektörler

Yarı iletkenler yük taşıyıcılarına göre ikiye ayrılırlar. Yük taşıyıcıları elektron olan yarıiletkenlere n tipi, yük taşıyıcıları boşluk olan yarı iletkenlere ise p tipi yarı iletken denir. Yarı iletkenlerde elektronlar değerlik bandında boşluklar bırakarak iletim bandına geçerler ve değerlik bandında oluşan bu boşluklar komşu elektronlar tarafından doldurulurlar. Elektronların boşlukları doldurmasından sonra yeni boşluklar oluşur ve sanki boşluklar kristal içinde hareket ediyormuş gibi görünür. Yarı-iletkenlerde iletimi kontrol edebilmek için de katkı maddeleri kullanılır. Bu katkı maddesi eğer beş değerlikli ise dört elektronu kovalent bağ yapar, beşinci elektronu ise kristal örgüsü içinde serbest olarak hareket eder. Bu n-tipi yarı iletkenidir. Eğer katkı üç değerlikli ise üç elektron kovalent bağ yapar ve kovalent bağ yapamayan bir boşluk meydana gelir. Bu da p-tipi yarı iletkenidir (Dikici 1993). n-tipi ve p-tipi materyallerin temas ettirilmesiyle oluşan yarı iletken dedektörlerde, n-tipi materyalden çıkan elektronlar p-tipi materyale doğru hareket ederler. Temas bölgesinde yük taşıyıcıları nötr hale gelir ve bu bölgeye tüketim bölgesi denir. Şekil 3.8’de yarı iletken dedektör şeması ve tüketim bölgesi gösterilmektedir (Gilmore 2008). Yarı iletken dedektörlerde gamma radyasyonu tüketim bölgesine girerek elektron-boşluk çiftleri oluşturur. Uygulanan bir gerilim ile tüketim bölgesindeki elektronlar ile boşluklar bir birlerine göre zıt yönde hareket ettirilirlir. Biriken bu elektronların sayısı bir puls oluşturur. Bu pulsun genliğide gelen gamma radyasyonunun enerjisiyle orantılıdır. Yarı-iletken dedektörlerinin yaygın olarak kullanılanları Ge(Li) ve Si(Li) dedektörleridir (Krane 2001).

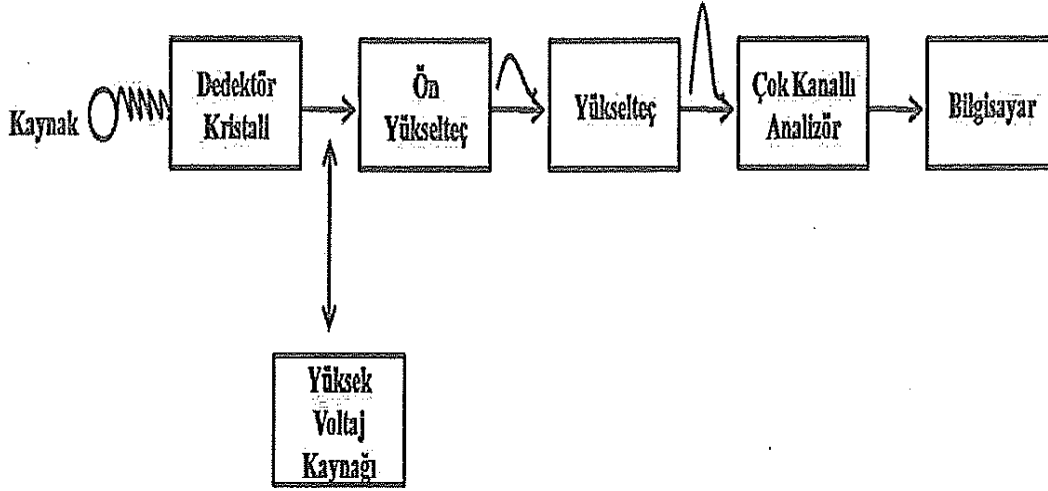


Şekil 3.8 Yarı İletken Dedektör Şeması (Gilmore 2008).

Yüksek verimde yarı-iletken detektör elde etmek istiyorsak, derin tükenme bölgesine ihtiyaç duyarız. Derin tükenme bölgesini elde edebilmek içinde çok fazla saf olan germanyum gibi maddeler kullanılmalıdır (Gilmore 2008).

### 3.4 GAMMA RADYASYONU SAYIM SİSTEMİNİN YAPISI

Gamma radyasyonu dedeksiyonunda kullanılan sistemin şematik gösterimi Şekil 3.9'da verilmektedir (Mızrak 2007).



Şekil 3.9 Kaynaktan Yayınlanan Radyasyonların Enerji Ölçümlerinde Kullanılan Elektronik Düzeninin Şematik Gösterimi (Mızrak 2007).

Dedektör kristali radyasyonu algıladıktan sonra yüksek voltaj kaynağı ile kristale gelen radyasyon tarafından oluşturmuş olan yükler toplanır ve bir elektrik pulsu oluşturulur. Daha sonra yüksek voltaj kaynağı tarafından oluşturulan elektrik pulsunun sinyal/gürültü oranı ön yükselteç ile artırılır ve bu sinyalin yükseltece zayıflamadan gitmesini sağlanır. Sinyal yükseltece geldikten sonra burada pulsun genliği spektrumun analizi yapılacak kadar artırılır ve pulsun şekli düzeltilir. Yükseltilmiş ve şekli düzeltilmiş olan pulslar çok kanallı analizör ile dijital hale dönüştürülüp genliğiyle orantılı bir hafıza kanalına kaydedilirler. Bu kanalların her biri farklı enerji değerlerine karşılık gelir ve sayım süresince gelen pulsların birikmesiyle spektrum oluşur. Bilgisayarda ise çok kanallı analizörden gelen veriler depolanır ve analiz işlemleri yapılır.



### 3.5 DEDEKTÖR SEÇİMİ

Gamma ışınları iyonizasyon yapamayan yüksüz parçacıklar olduklarından dolayı ölçülebilmeleri için sahip oldukları enerjilerinin bir kısmını ya da tamamını etkileştikleri maddenin atomlarını uyarılmış seviyelere çıkarmak için kullanılmalıdırlar. Dedektörde ki madde ile hiçbir etkileşmeye girmeden ortamı terk edebilirler. Bundan dolayı da gözlenebilmeleri oldukça zordur. Kullanmak istediğimiz dedektörün seçimini yaparken; dedektörün verimi, enerji ve zaman çözme gücü gibi özellikleri dikkate alınmalıdır. NaI dedektörleri Ge dedektöründen daha fazla atom numarasına sahiptir ve bu nedenle NaI dedektörlerinde gelen gamma radyasyonu fotonunun soğurulma olasılığı yüksek olduğu için verimi Ge dedektörlerinden daha yüksektir. Ayrıca NaI dedektörleri daha ucuzdur ve çalışması için gerekli olan şartlar daha basittir. NaI dedektörü için soğutma gerekli değildir fakat nem çekicidir. Bu nedenle kapalı tutulmaları gerekmektedir. Ge dedektörünün çözme gücü NaI dedektöründen çok daha iyidir. Ge dedektörünün bu özelliği, dedekte edilen gamma radyasyonunun piklerinin en iyi şekilde elde edilmesine dolayısıyla sonuçları da en doğru şekilde analiz etmemize olanak sağlar (Krane 2001).

Bu tez çalışmasında ORTEC firmasının üretmiş olduğu GEM30P4 model HPGe gamma spektrometre sistemi kullanılmıştır. HPGe dedektörü %30 bağlı verime sahip olup enerji çözünürlüğü ise 122 Kev'de % 0,85 ve 1,33 MeV'de de %1,85'dir. HPGe dedektörü 30 litrelik sıvı azot kabı kullanılarak soğutulmaktadır ve 40 keV ile 10 MeV'lik enerji aralığında kullanışlıdır. Ortamda bulunan doğal gama ışınlarının ve kozmik ışınların dedektöre ulaşmasını engellemek amacıyla dedektör de 9,5 mm çelikle koruyucu kaplama ve 101 mm kalınlığında kurşun zırh kullanılmıştır. Ayrıca kurşun zırha gelen gamma ışınlarının kurşun ile etkileşime girmesiyle oluşturduğu X-ışınlarının dedektöre ulaşmasını engellemek amacıyla da kurşun zırhın iç yüzeyi 0,5 mm kalay ve 1,5 mm bakır levha ile kaplanmıştır. HPGe dedektöründe gamma ışını spektrumlarının analizlerinin yapılabilmesi için de Gamma Vision yazılım programı kullanılmıştır.

## BÖLÜM 4

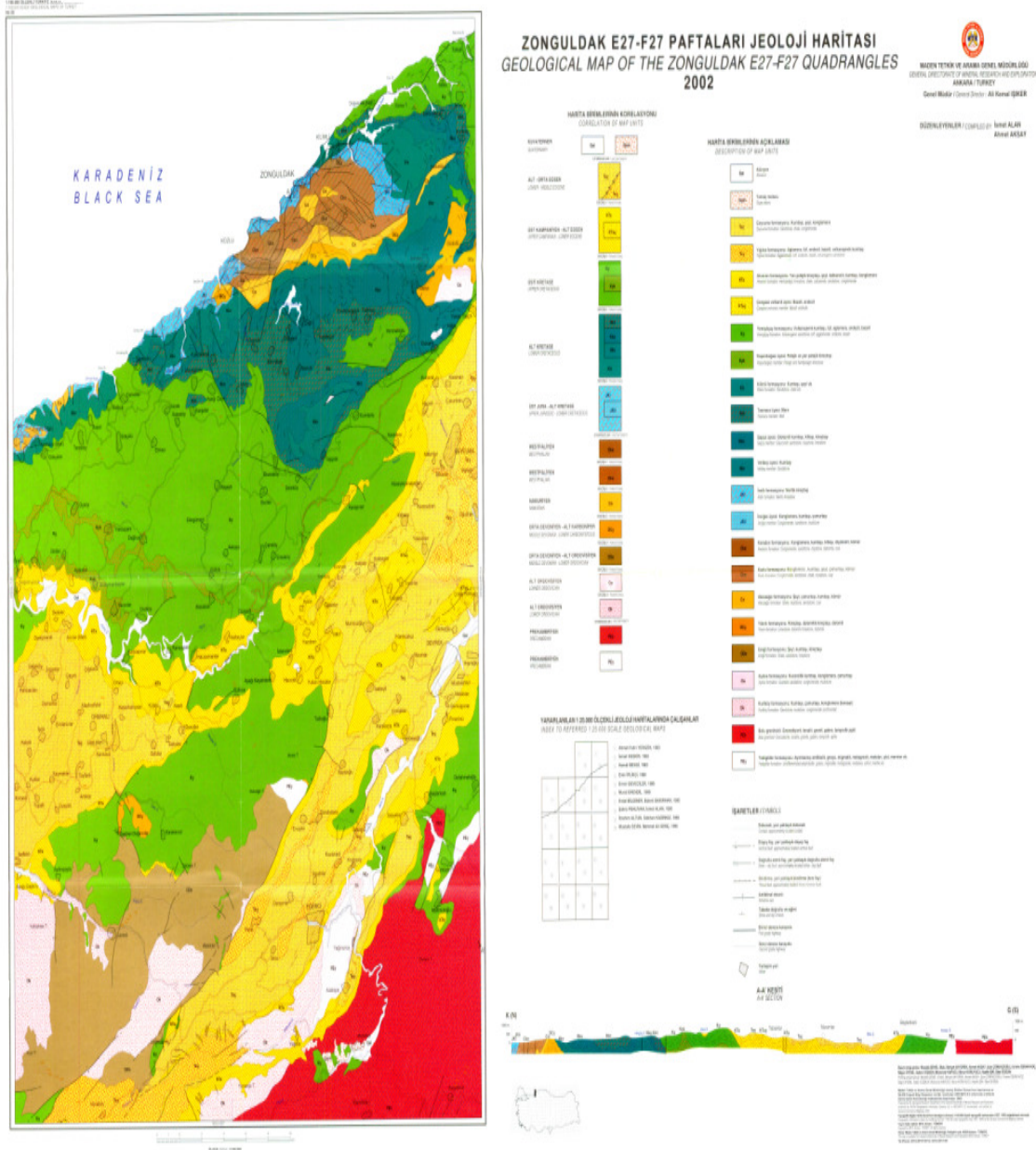
### MATERYAL VE METHOT

#### 4.1 ÇALIŞMA ALANI

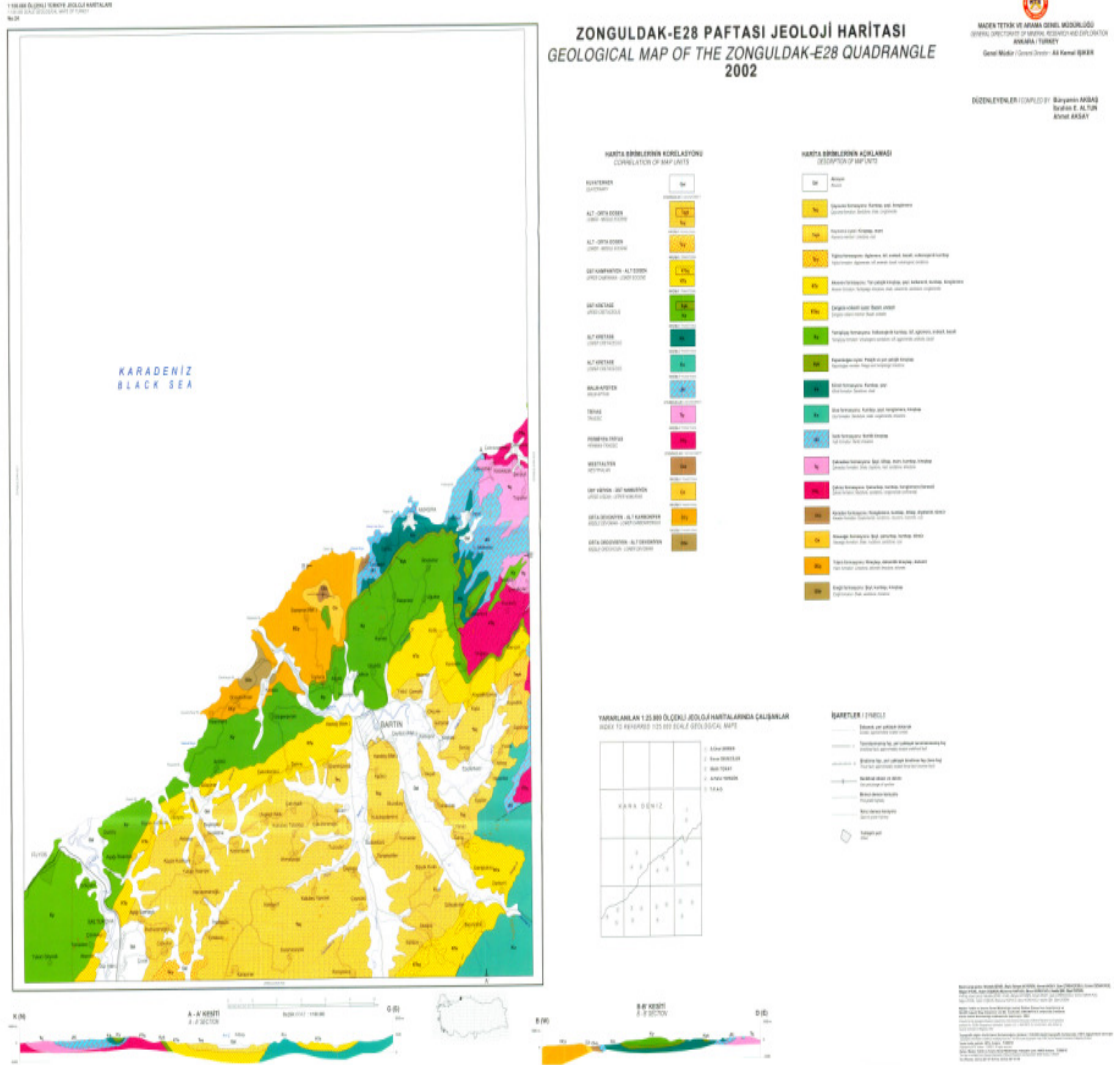
Zonguldak, Batı Karadeniz Bölgesinde, Karadeniz'e batı ve kuzeyden kıyısı olan ve 3.309 km<sup>2</sup>'lik yüz ölçümüyle Türkiye topraklarının binde altısını kaplayan bir ildir. Karadeniz kıyılarından başlayan il toprakları kuzeyden Karadeniz, kuzeydoğudan Bartın, doğudan Karabük, güneyden Bolu ile, batıdan Düzce illeri ile çevrili olup yönetsel anlamda da Merkez ilçe, Alaplı, Çaycuma, Devrek; Gökçebey ve Kdz. Ereğli ilçelerinden oluşmaktadır. İl engebeli bir arazi yapısına sahiptir ve il alanının yaklaşık %56'sı dağlarla, %31'i platolarla, %13'ü de ovalarla kaplıdır. Batı Karadeniz Bölgesinde bulunan Zonguldak İli oldukça yağışlı olup tipik Karadeniz iklimine sahiptir. İlkbahar ve sonbahar ayları serin, bol yağışlı ve nemli, kış ayları oldukça soğuk, yaz ayları da kısa ve ılık geçmektedir. Bölgenin bitki örtüsü litolojiye, iklime, kayaların su tutma özelliğine bağlı olarak gelişmiştir ve ilin yaklaşık üçte biri ormanlarla kaplıdır (URL-1 2012).

Çalışma alanının jeolojik yapısını inceleyecek olursak; Çalışma alanında Hersiniyen orojenik hareketlerden etkilenmiş olan Paleozoyik yaşlı ve Alp'in orojenik hareketleriyle genel yapısını kazanmış Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı birimler yer almaktadır. Kum örneği aldığımız sahillerin Zonguldak ilinde buldukları bölgeye göre formasyonları şu şekildedir; Filyos, Türkali ve Göbü sahillerinin buldukları bölgede Yemişliçay formasyonu görülür. Yemişliçay formasyonu genel olarak tüf, tüfit, aglomera, konglomera, kumtaşı, mikrit, şeyl ve volkanitlerden meydana gelen bir formasyon olup genelde bordo, yeşil ve sarımsı renge sahiptirler. Hisararkası sahilinin bulunduğu bölgede kumlu kireçtaşı, kumtaşı, silttaşı, killi kireçtaşı ve marnlardan oluşan kilimli formasyonu bulunmaktadır. Bu formasyonda genellikle gri, kurşuni ve kül rengi hakimdir. Uzunkum, kapuz pilajı, ortakapuz ve tersane sahillerinin olduğu bölgelerde ise Kapuz formasyonu bulunmaktadır ve bu formasyon kumlu kireçtaşı ve kireçtaşından oluşmakta olup renkleri siyah, gri, krem ve kahverengi olabilir. Son olarak

Demirpark, Kozlu, Değirmenağzı ve Ilıkso sahilleri de kumtaşı, silttaşı, kiltası tarafından oluşturulan kozlu formasyonunda bulunmaktadır. Şekil 4.1 ve 4.2’de kum örneklerinin toplandığı sahillerin buldukları bölgeye ait olan pafta jeoloji haritaları verilmektedir (Alan ve Aksay 2002, Akbaş vd. 2002).



Şekil 4.1 Zonguldak E27-F27 Paftaları Jeoloji Haritası (Alan ve Aksay 2002).



Şekil 4.2 Zonguldak E28 Paftası Jeoloji Haritası (Akbaş vd. 2002).

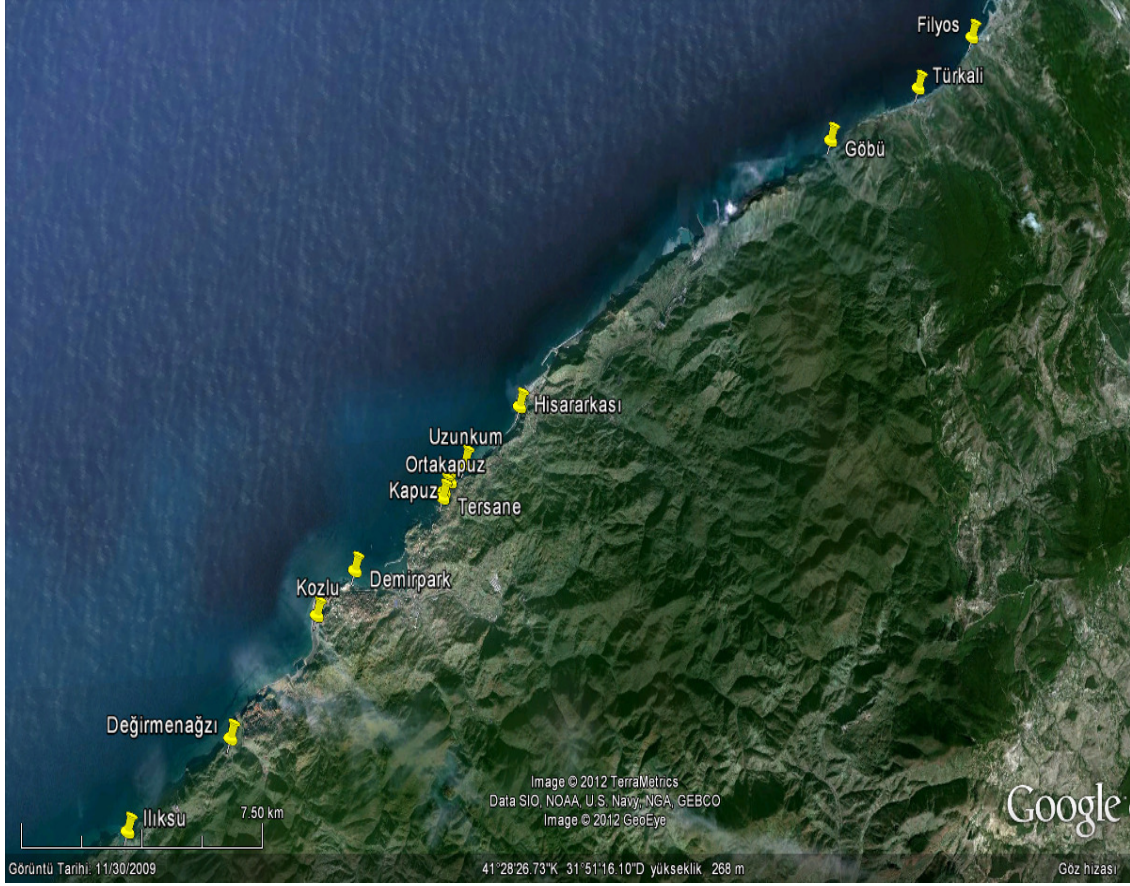
## 4.2 ÖRNEKLERİN TOPLANMASI

Bu çalışmada, Zonguldak ilinde halkın kullanımına açık olan Filyos, Türkali, Göbü, Hisararkası, Uzunkum, Kapuz, Ortakapuz, Tersane, Demirpark, Kozlu, Değirmenağzı ve İlıksu sahillerinden toplam 28 tane kum örneği toplanmıştır. Alınan kum örneklerinin koordinatları Garmin Ertex H marka el tipi GGP's ile belirlenmiş olup Çizelge 4.1'de verilmiştir. Ayrıca kum örneklerinin toplandığı bölgeler Şekil 4.1'de harita üzerinde gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 Toplanan Kum Örneklerinin Koordinatları

Sahil	Örnek	Koordinatlar	
Filyos	1	N 41°33'17,1"	E 32°00'34,9"
	2	N 41°33'36,2"	E 32°01'04,8"
	3	N 41°33'44,4"	E 32°01'12,2"
Türkali	1	N 41°32'40,1"	E 31°58'57,3"
	2	N 41°32'41,1"	E 31°59'05,1"
	3	N 41°32'40,1"	E 31°59'16,2"
	4	N 41°32'40,1"	E 31°58'22,9"
Göbü	1	N 41°32'06,7"	E 31°57'00,9"
	2	N 41°32'07,5"	E 31°57'05,2"
	3	N 41°32'09,0"	E 31°57'13,7"
	4	N 41°32'10,2"	E 31°57'20,4"
Hisararkası	1	N 41°29,9'45"	E 31°49'48,6"
	2	N 41°29'5,01"	E 31°5'44,08"
Uzunkum	1	N 41°28'29,0"	E 31°48'31,5"
Kapuz	1	N 41°28'18,3"	E 31°48'11,3"
	2	N 41°28'16,6"	E 31°48'10,9"
	3	N 41°28'18,1	E 31°48'09,9"
Ortakapuz	1	N 41°28'09,6"	E 31°48'02,0"
Tersane	1	N 41°28'08,1"	E 31°48'59,3"
	2	N 41°28'07,3"	E 31°48'00,2"
Demirpark	1	N 41°26'18,1"	E 31°46'00,7"
	1	N 41°26'56,1"	E 31°45'08,2"
Kozlu	2	N 41°26'51,0"	E 31°45'07,5"
	3	N 41°26'43,8"	E 31°45'07,4"
	4	N 41°26'35,3"	E 31°45'07,2"
Değirmenağzı	1	N 41°26'29,7"	E 31°44'58,1"
Hıksu	1	N 41°24'29,8"	E 31°40'50,11"
	2	N 41°24'28,5"	E 31°40'56,94"





Şekil 4.3 Kum rnekerinin toplandığı sahiller.

Kum rnekerinin alınacağı noktalar arasındaki uzaklık sahillerin büyüklüğüne göre en az 50 m ve en fazla 200 m olacak Şekilde belirlenmiştir. Bu konumlarda 1 m<sup>2</sup> 'lık kare bir alan oluŐturulmuŐtur. Bu alanın ortası ve köŐelerinden, yüzeyden 5 cm derinlikte olacak Şekilde yaklaşık 4 kg kum rnekeri alınıp tek bir poŐet içinde toplandı ve karıŐtırılarak tek bir örnek elde edildi. Kum rnekerinin hangi sahilden alındıkları, kaçıncı örnek oldukları ve koordinatları üzerlerine etiketlendi.

### 4.3 KUM ÖRNEKLERİN HAZIRLANMASI

Toplanan kum rnekerinde gamma spektroskopisi ile <sup>238</sup>U, <sup>232</sup>Th ve <sup>40</sup>K'ın aktivitelerinin ölçülebilmesi için rnekerin belli hazırlık aŐamalarından geçmesi gerekmektedir. İlk olarak toplanan kum rnekerinin içindeki yabancı maddeler (ağaç parçası, yosun, midye kabukları, cam vs...) temizlendi. Bu iŐlemden sonra toplanan her örnek 50 santigrat derece de kurutularak kum değirmeninde ğtlme işlemi yapılmadan önce kuru olmaları sağlandı.

Ayrıca her örnek değirmende öğütülmeden önce derin bir kapta iyice karıştırıldı. Karıştırma işlemi bittikten sonra örnekler temiz bir yüzey üzerine dökülerek yaklaşık herbiri 4 kg olan kum örnekleri 5'e bölündü. Her parça kendi içinde tekrar karıştırıldıktan sonra bu parçaların her birinden 200 g kum örnekleri alınarak değirmende öğütülmek üzere 1 kg'lık kum örneği elde edildi. 1 kg'lık kum örnekleri değirmende öğütülerek boyutları  $200\mu m$  mertebesine getirildi. Öğütülen 1 kg'lık kum örnekleri tekrar 105 santigrat derecede 1 gün boyunca kurutulup karıştırıldıktan sonra vida kapaklı numune kaplarına 90-110 gr öğütülmüş kum örnekleri koyuldu ve kütleleri kaydedildi. Ayrıca numune kaplarının kapakları kapatıldıktan sonra parafilm ile kaplandı ve kaplar etiketlenerek gamma spektroskopisi ile ölçüm yapılmak üzere kap içinde bulunan radyoaktif çekirdeklerin kendi ürünleriyle dengeye gelmesi için yaklaşık 40 gün radyoaktif dengeye bırakıldı.

#### **4.4 GAMMA SPEKTROMETRİK YÖNTEMLER**

Bir gamma spektrometresi ile elde edilen örnek spektrumunda bulunan piklerin hangi radyoaktif çekirdeklere ait olduklarını belirlemek ve spesifik aktivitelerini hesaplayabilmek için ilk olarak enerji ve verim kalibrasyonlarının yapılması gerekmektedir.

##### **4.4.1 Enerji Kalibrasyonu**

Enerji kalibrasyonunun amacı, gamma spektrometresi ile elde edilen spektrumlarda gözlenen piklerin kanal numaralarının hangi enerjiye karşılık geldiğini belirlemektir. Bu işlemi yapabilmek içinde enerjileri bilenen piklere sahip standart kaynaklarımızın olması gerekmektedir. Standart kaynağın spektrumunu elde ettikten sonra hangi kanalın hangi enerjiye karşılık geldiği belirlenip bu piklere ait enerji değerleri bir fonksiyona fit edilerek kalibrasyon eğrisinin denklemi elde edilir. Böylelikle numunelerin spektrumunda bulunan radyoaktif çekirdeklerin türleri enerjilerine bakılarak belirlenebilir. Enerji kalibrasyonunun yapılabilmesi için gamma enerjileri bilinen standart gamma kalibrasyon kaynakları kullanılır. Bu çalışma için yapılan enerji kalibrasyonunda IAEA (International Atomic Energy Agency ) referanslı RGU-1 uranyum, RGTh-1 toryum, RGK-1 potasyum kaynakları ile  $^{60}C$  nokta kaynağı kullanılmıştır. Kullanmış olduğumuz RGU-1, RGTh-1, RGK-1 kaynaklarının kum örnekleri ile aynı geometriye sahip olmaları için kum örneklerinin konulduğu kaplara konularak hazırlanmıştır. Çizelge 4.2 RGU-1, Çizelge 4.3 RGTh-1, ve Çizelge4.4 RGK-1'te kullanmış olduğumuz standart kaynakların sertifika bilgileri verilmiştir.

Çizelge 4.2 RGU-1 Kalibrasyon kaynağının sertifika bilgileri.

Bulunan elementler	Miktar	Birim
<sup>232</sup> Th	< 4 <sup>?</sup>	Bq/kg
<sup>235</sup> U	228 <sup>?</sup>	Bq/kg
<sup>238</sup> U	4940 <sup>?</sup>	Bq/kg
<sup>40</sup> K	< 0,63 <sup>?</sup>	Bq/kg
K	< 20	mg/kg
Th	< 1	mg/kg
U	400	mg/kg

Çizelge 4.3 RGTh-1 kalibrasyon kaynağının sertifika bilgileri

Bulunan elementler	Miktar	Birim
<sup>232</sup> Th	3250 <sup>?</sup>	Bq/kg
<sup>235</sup> U	3,6 <sup>?</sup>	Bq/kg
<sup>238</sup> U	78 <sup>?</sup>	Bq/kg
<sup>40</sup> K	6,3 <sup>?</sup>	Bq/kg
K	200	mg/kg
Th	800	mg/kg
U	6,3	mg/kg

Çizelge 4.4 RGK-1 kalibrasyon kaynağının sertifika bilgileri

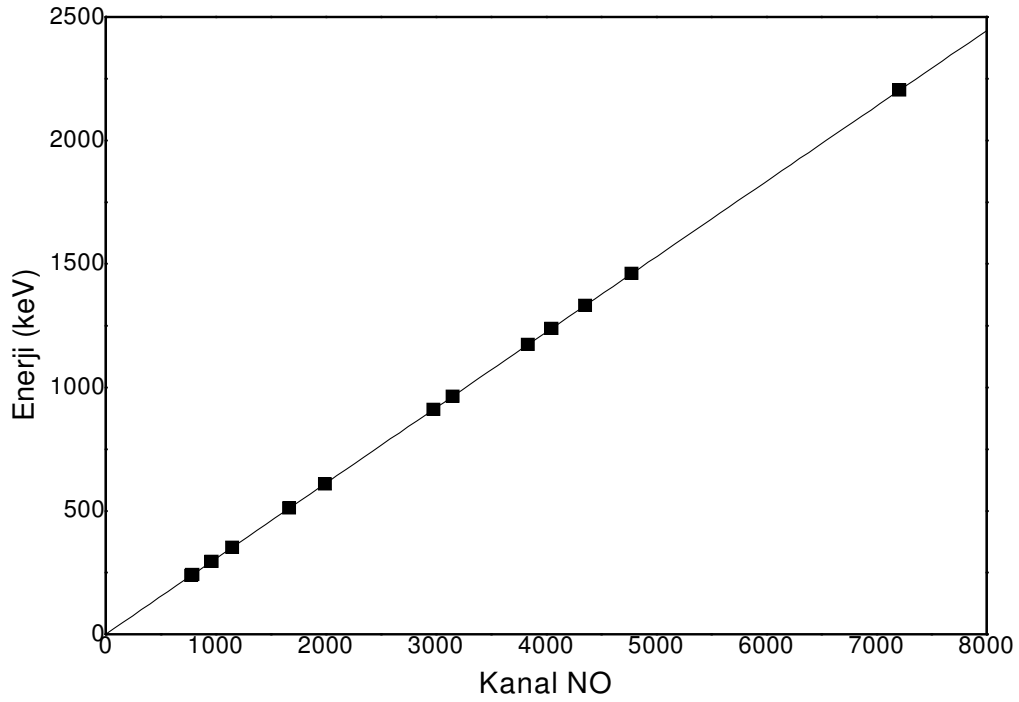
Bulunan elementler	Miktar	Birim
<sup>40</sup> K	14000 <sup>?</sup>	Bq/kg
K	448000	mg/kg
Th	< 0,01	mg/kg
U	< 0,001	mg/kg

Kullanılan standart RGU-1 ve RGTh-1 kaynağı için HPGe dedektöründe elde edilen enerji-kanal numarası değerleri Çizelge 4.5’ de verilmiştir. Şekil 4.4’de de enerjisinin kanala göre değişim grafiği gösterilmiştir.



Çizelge 4.5 Enerjinin kanallara göre değişimi (HPGe)

Enerji (keV)	Kanal Numarası
238,63	779,04
241,98	790,09
295,21	963,91
351,92	1149,36
510,77	1668,9
609,31	1991,32
911,2	2978,32
964,9	3153,38
1173,23	3835,79
1238,11	4047,31
1332,51	4356,77
1461	4775,62
2204,21	7207,28



şekil 4.4 HPGe dedektöründe enerjinin kanal numaralarına göre değişimi

Eneji kalibrasyon grafiğinden eğrinin denklemi ;

$$E(keV) = 0,1612 + 0,306137 \times K - 4,82842e^{-008K^2} \quad (4.1)$$

elde edildi. Burada E; ilgilenilen pikin keV cinsinden enerjisi, K; kanal numarasını temsil etmektedir.

#### 4.4.2 Verim Kalibrasyonu

Verim kalibrasyonu, kaynaktan yayılan gamma ışınlarının sayısı ile gamma spektrometresi ile elde edilen spektrumda sayılan sayımlar arasında bir ilişki kurmaktadır. Gamma spektrometre sisteminde ilgilendiğimiz pikin altında kalan alan radyoaktivite miktarını temsil etmekte olduğundan dolayı, radyoaktivite miktarını belirlemek için pik alanına ve verime ihtiyacımız vardır. Pik verimi ise aktivitesi kesin olarak bilinen standart kaynaklar kullanılarak elde edilir. Pik verimi, aşağıda verilen (4.1) denklemi ile gamma enerjileri için elde edilir.

$$\epsilon_{\gamma} = \frac{N_{net}}{AI_{\gamma}t} \quad (4.2)$$

(4.2) denklemindeki  $\epsilon_{\gamma}$ ; E $\gamma$  enerjisi için sayım verimi, N<sub>net</sub>; E $\gamma$  enerjili fotonun oluşturduğu net pik alanı, t; standart kaynağın dedektördeki sayım süresi, A; kullanılmış olan gamma standart kaynağında bulunan radyoaktif çekirdeklerin bilinen aktiviteleri, I $\gamma$ ; radyoaktif çekirdeklerin bozunumunda yayınlanan fotonun yayınlanma olasılığıdır (Gilmore 2008).

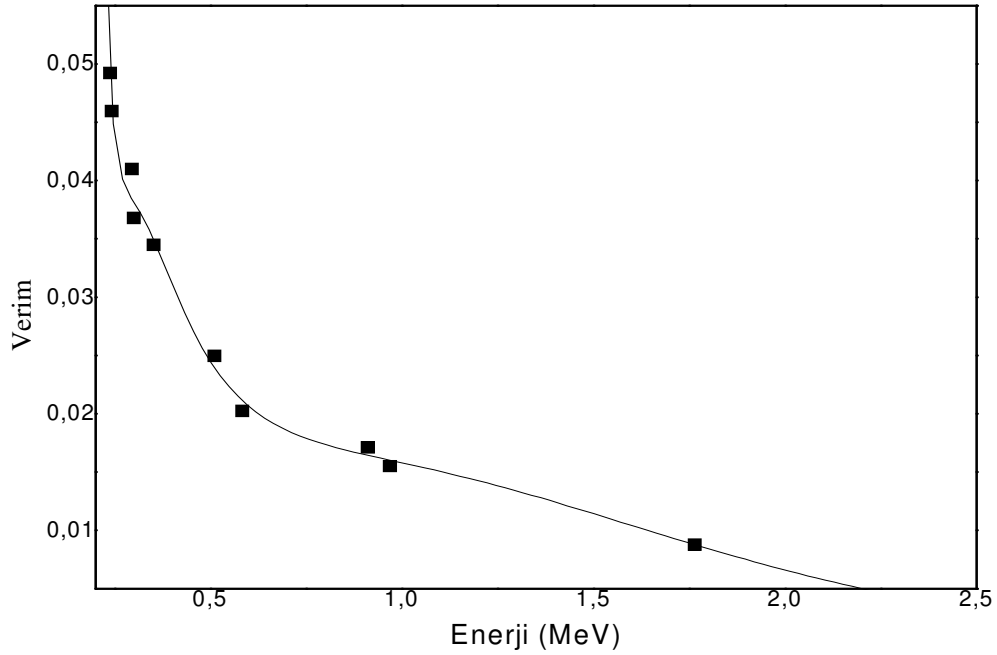
HPGe dedektörüne sahip gamma spektrometre sisteminde kullanılmakta olan Gama Vision ve Scintivision yazılım programlarında interpolative, lineer, kuadratik ve polinomal olmak üzere dört adet fit tipi bulunmaktadır. Elde edilmiş olan verilere göre verim bunlardan birine fit edilir ve kalibrasyon eğrisinin denklemi elde edilir. Yapmış olduğumuz bu çalışmada verim değerleri polinoma fit edildi ve verim kalibrasyon grafiği çizilip verim-enerji denklemi elde edildi.

HPGe dedektörü spektrometre sisteminde standart kaynaklar kullanılarak Çizelge 4.6'da verilmiş olan enerji- verim değerleri hesaplandı ve bu değerler kullanılarak enerji verim fonksiyonu oluşturulup Şekil 4.5'de ki verim-enerji grafiği elde edildi.

$$\text{Verim}=\exp(-2,327861 * E+2,52182-7,650028/E+4,236990/E^2-1,018459/E^3+0,089532/E^4) \quad (4.3)$$

Çizelge 4.6 Standart kaynağın gamma enerjilerindeki HPGe dedektörünün verim değerleri

Enerji (keV)	Verim
238,63	0,04922
241,98	0,04597
295,21	0,04099
300,09	0,03679
351,92	0,03448
510,77	0,02495
583,19	0,02025
911,2	0,01711
968,97	0,01551
1764,49	0,00877



Şekil 4.5 HPGe dedektöründe verim değerlerinin enerjiye göre değişim grafiği.

#### 4.4.3 Minimum Dedeksiyon Limiti

Minimum dedeksiyon limiti, ölçüm sisteminin dedekte etme kapasitesini ifade etmek için kullanılmakta olan bir terimdir. Minimum Dedeksiyon Limiti (MDL) aşağıda verilen (4.4) bağıntısı ile hesaplanır (IAEA 1989).

$$MDL = 4.66 \left[ \frac{\sqrt{Background}}{tYm\eta} \right] \quad (4.4)$$

(4.4) eşitliğinde Background; arkaplan radyasyon değeri, t; sayım süresi, Y; bolluk, m; kütle ve  $\eta$  fotopik verimidir.

#### 4.4.4 Aktivite Konsantrasyonu

Gamma spektroskopisinde sayım sonrasında elde edilen spektrumda ilgilenilen piklerin net alanları arka fon sayımı düzeltilmesi yapılarak hesaplanır ve aşağıdaki (4.5) eşitliği ile elde edilen değerler kullanılarak aktiviteleri hesaplanır.

$$A \left( \frac{Bq}{kg} \right) = \frac{N_{net}}{\epsilon_{\gamma} t I_{\gamma} m} \quad (4.5)$$

(4.5) ifadesinde A; hesaplanan aktivite,  $N_{net}$ ; net pik alanı,  $\epsilon_{\gamma}$ ; ilgilenilen pik için dedektör verimi, t sayım süresi, m; numunenin kütlesi (kg) ve  $I_{\gamma}$ ; gamma enerjisinin yayınlanma olasılığıdır.

### 4.5 HESAPLANAN RADYASYON PARAMETRELERİ

#### 4.5.1 Soğurulan Gamma Doz Hızı (D)

Yapmış olduğumuz bu çalışmada  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$ 'dan kaynaklanan ve yüzeyden 1 m yükseklikte havada soğurulan gama doz hızını hesaplamak için spesifik aktivite konsantrasyonları,  $^{137}\text{Cs}$  aktivite konsantrasyonu yokken bir de  $^{137}\text{Cs}$  aktivite konsantrasyonu

varken hesaplanabilmektedir. Soğurulan gama doz hızı  $^{137}\text{Cs}$  konsantrasyonu yokken (Saito 1995);

$$D = [0,604A_{Th} + 0,463A_U + 0,0417A_K] nGy/sa \quad (4.6)$$

$^{137}\text{Cs}$  aktivite konsantrasyonu varken (Markkanen 1995);

$$D = [0,572A_{Th} + 0,470A_U + 0,0421A_K + 0,156A_{Cs}] nGy/sa \quad (4.7)$$

ifadeleri ile hesaplandı. (4.6) ve (4.7) eşitliklerinde kullanılan  $A_U$ ,  $A_{Th}$ ,  $A_K$  ve  $A_{Cs}$  sırasıyla  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  ve  $^{137}\text{Cs}$ 'un Bq/kg biriminde spesifik aktiviteleridir.

#### 4.5.2 Yıllık Etkin Doz Hesabı

Soğurulan doz için dönüşüm (0,7 Sv/Gy) ve dış ortamda maruz kalma faktörü (0,2) dikkate alınarak yıllık etkin doz miktarı aşağıda verilen (4.8) ifadesi ile hesaplanabilmektedir (UNSCEAR 2000).

$$\text{Etkin Doz Hızı(mSv/y)} = \text{Doz Hızı(nGy/sa)} \times 8760\text{h} \times 0,2 \times 0,7(\text{Sv/Gy}) \times 10^{-6} \quad (4.8)$$

#### 4.5.3 Dış Tehlike İndeksi ( $H_{ex}$ )

Beretka ve Mathew tarafından 1985 yılında tanımlanan dış tehlike indisi aşağıda verilen (4.9) ifadesi ile hesaplanmaktadır (UNSCEAR 2000).

$$H_{ex} = A_U/370 + A_{Th}/259 + A_K/4810 \quad (4.9)$$

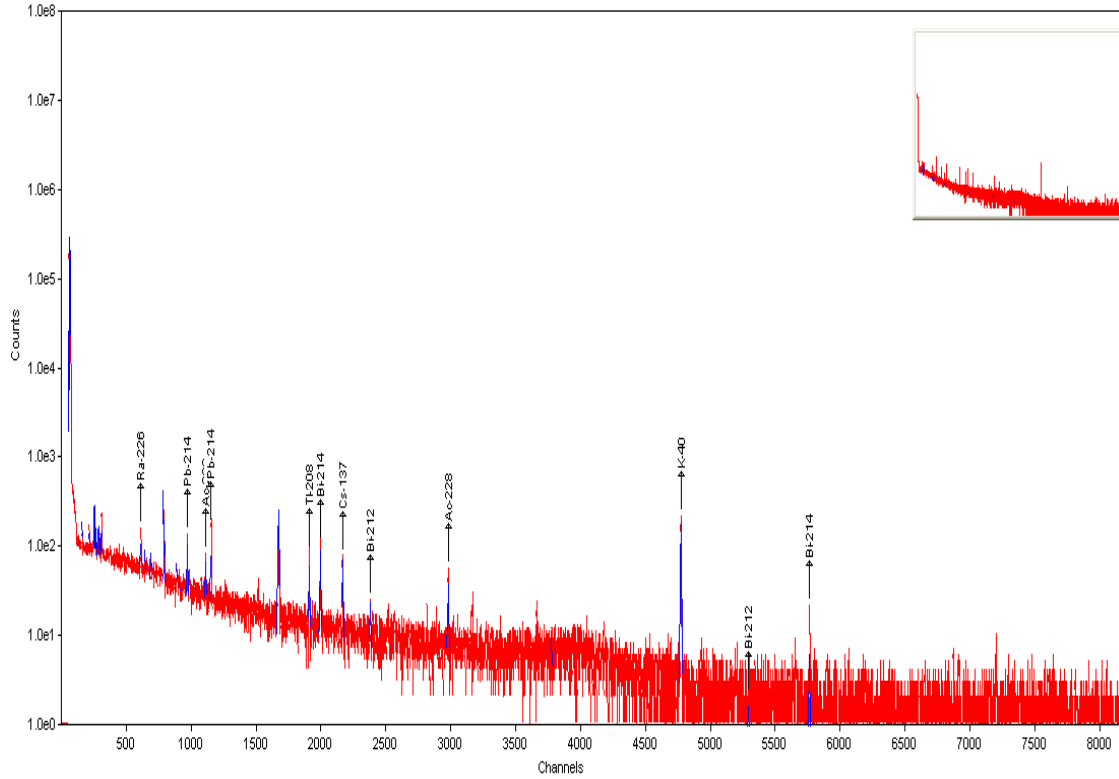
(4.7) eşitliğinde kullanılan  $A_U$ ,  $A_{Th}$  ve  $A_K$  sırasıyla  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$ 'ın Bq/kg biriminde spesifik aktiviteleridir ve radyasyon zararının önemsiz bir değere sahip olması için dış tehlike indisi ( $H_{ex}$ ) 1'den küçük bir değere sahip olmalıdır.

## BÖLÜM 5

### DENEYSEL BULGULAR

#### 5.1 HPGe DEDEKTÖRÜ İLE ELDE EDİLEN GAMA RADYOAKTİVİTE DEĞERLERİ

Kum örnekleri HPGe dedektörüne yerleştirilerek her bir örnek için sayımlar alındı ve bu sayımlar sonrasında elde edilen spektrumların analizleri yapılarak  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  radyoaktif çekirdeklerinin aktivite konsantrasyonları belirlenmiştir. Ayrıca bulunan bu değerler yardımıyla soğurulan doz hızları, etkin doz hızları ve dış tehlike indeksleri hesaplanmıştır. Şekil 5.1’de HPGe dedektörü ile elde edilmiş olan Göbü S-1 örneğine ait olan tipik bir gamma spektrum örneği verilmiştir.



Şekil 5.1 HPGe dedektöründe elde edilmiş Göbü S-1örneğine ait olan tipik bir gama spektrumu.

HPGe Dedektörü ile elde edilen spektrumlarda  $^{238}\text{U}$  serisinin bozunma ürünlerinden  $^{214}\text{Pb}$  (295, 351keV),  $^{214}\text{Bi}$  (609keV, 1764keV) ve  $^{226}\text{Ra}$  (185keV)'nin pikleri,  $^{232}\text{Th}$  serisi için ise  $^{212}\text{Bi}$  (727, 1621keV),  $^{208}\text{Tl}$  (583keV) ve  $^{228}\text{Ac}$  (338, 911keV)'in pikleri gözlemlendi.  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$ 'nin bozunum ürünlerinin aktivite konsantrasyon değerleri Çizelge 4.7'de,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  radyoaktif çekirdeklerinin aktivite konsantrasyon değerleri Çizelge 4.8'de sayım süreleri ile birlikte verilmiştir. Çizelge 5.2'de kum örnekleri için hesaplanmış olan  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  ve  $^{137}\text{Cs}$ 'nin aktivite konsantrasyonları değerlerinden bu radyoaktif çekirdeklerin ortalama aktiviteleri hesaplanmıştır.  $^{238}\text{U}$ 'in aktivite konsantrasyonu  $6,10\pm 1,32$  Bq/kg ile  $59,65\pm 3,23$  Bq/kg arasında değişmekte olup, ortalama aktivite konsantrasyonu değeri  $18,88\pm 1,16$  Bq/kg'dır.  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonu  $4,99\pm 2,18$  Bq/kg ile  $49,53\pm 12,30$  Bq/kg aralığında değişmekte ve ortalama aktivite konsantrasyon değeri  $8,35\pm 6,18$  Bq/kg'dır.  $^{40}\text{K}$ 'in aktivite konsantrasyonu ise  $113,83\pm 6,66$  Bq/kg ile  $889,43\pm 6,22$  Bq/kg aralığında değişmekte olup ortalama aktivite konsantrasyonu  $167,66\pm 12,17$  Bq/kg'dır.  $^{137}\text{Cs}$ 'nin aktivite konsantrasyonu da  $0,28\pm 0,00$  Bq/kg ile  $5,93\pm 0,53$  Bq/kg aralığında değişmekte ve ortalama değeri  $3,38\pm 0,34$  Bq/kg'dır. Şekiller 5.1-4'de her bir örnek için hesaplanan  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  aktivite konsantrasyon değerleri grafikler üzerinde karşılaştırılmalı olarak verilmektedir.

HPGe dedektörü ile elde edilen  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  aktivite konsantrasyonları yardımıyla soğurulan gamma doz hızları, etkin doz hızları ve dış tehlike indeksi değerleri hesaplandı ve değerler Çizelge 5.3'de verilmektedir. Soğurulan gamma doz hızı değerleri  $13,65\pm 3,44$  nGy/h ile  $82,77\pm 9,81$  nGy/h arasında değişmekte olup ortalama değeri ise  $31,27\pm 5,34$  nGy/h'dir. Etkin doz hızı ise  $0,016\pm 0,004$  mSv/y ile  $0,101\pm 0,01$  mSv/y değerleri arasında değişmekte olup ortalama değeri  $0,028\pm 0,0056$  mSv/y'dir. Her bir örnek için hesaplanmış olan soğurulan gamma doz hızı ile etkin doz hızı değerleri sırasıyla Şekil 5.7 ve Şekil 5.8'de verilmektedir.

Çizelge 5.1  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$ 'nin bozunum ürünlerinin aktivite konsantrasyonları (HPGe)

Kum Örneği	Aktivite Konsantrasyonları (Bq/kg)					
	$^{238}\text{U}$			$^{232}\text{Th}$		
	$^{214}\text{Pb}$	$^{214}\text{Bi}$	$^{226}\text{Ra}$	$^{212}\text{Bi}$	$^{208}\text{Tl}$	$^{228}\text{Ac}$
Filyos S-1	6,62±0,62	8,09±0,95	8,06±3,20	5,37±2,02	3,34±0,36	7,45±1,28
Filyos S-2	6,80±0,74	6,99±0,83	9,63±2,89	5,50±2,04	7,54±1,01	1,98±0,42
Filyos S-3	10,93±0,85	10,89±0,84	21,48±3,49	10,28±2,14	11,99±1,52	4,66±0,45
Türkali S-1	8,170±0,85	7,25±1,05	10,73±3,73	11,42±3,88	8,03±1,49	2,53±0,43
Türkali S-2	10,01±0,90	8,86±1,11	11,48±3,34	5,88±2,63	9,07±2,63	3,32±0,33
Türkali S-3	8,96±0,77	7,31±0,79	10,23±3,64	6,20±2,68	9,67±1,35	3,96±0,40
Türkali S-4	8,53±0,70	8,15±0,90	12,72±3,32	9,85±2,78	8,92±1,06	3,47±0,36
Göbü S-1	6,08±0,61	6,33±0,71	10,67±2,37	7,14±2,14	6,13±0,90	1,81±0,30
Göbü S-2	7,06±0,81	7,28±0,95	9,95±3,86	12,87±3,71	7,78±1,27	2,51±0,41
Göbü S-3	9,16±0,92	7,19±0,85	6,60±3,67	6,23±3,12	7,90±1,42	2,71±0,60
Göbü S-4	8,02±0,79	7,33±0,87	8,88±3,14	13,25±2,28	8,63±1,04	2,87±0,34
Hisararkası S-1	47,48±1,56	47,21±1,78	63,50±6,97	31,49±4,99	46,61±2,80	15,37±0,90
Hisararkası S-2	55,08±2,26	49,12±2,26	79,61±7,23	46,93±6,02	43,18±3,30	21,02±1,07
Uzunkum S-1	9,26±0,85	8,55±0,87	9,10±3,46	5,40±2,38	11,23±1,27	3,07±0,39
Kapuz Pilajı-1	9,10±0,87	8,58±0,90	12,91±3,67	10,86±2,98	11,06±1,42	3,52±0,43
Kapuz Pilajı-2	8,53±0,89	7,67±1,00	9,93±3,92	9,67±2,94	8,60±1,30	3,18±0,45
Kapuz Pilajı-3	8,81±0,82	7,77±1,19	14,22±3,83	5,21±2,14	7,33±1,19	2,92±0,45
OrtaKapuz S-1	9,39±0,90	9,30±1,06	8,62±3,83	9,85±2,90	11,68±1,39	2,74±0,38
Tersane S-1	33,85±1,58	34,63±1,70	41,33±5,75	12,99±4,75	24,95±1,87	10,34±0,68
Tersane S-2	33,42±1,70	32,69±5,93	36,54±5,93	13,83±4,14	23,77±2,00	8,85±0,69
Demirpark S-1	34,16±1,56	32,68±1,94	43,16±4,78	21,26±3,72	26,98±2,21	834±0,61
Kozlu S-1	47,03±2,04	44,91±2,24	60,69±6,33	23,55±5,39	45,619±2,82	13,52±1,55
Kozlu S-2	45,24±1,98	41,85±2,13	57,38±6,89	27,30±5,41	40,95±2,48	16,14±0,98
Kozlu S-3	56,71±2,43	54,74±2,65	72,60±6,61	4,95±0	46,27±2,64	19,07±1,05
Kozlu S-4	68,23±2,67	65,33±2,75	79,55±7,50	41,16±5,86	51,77±,63	19,45±1,17
Değirmenağzı S-1	11,54±0,78	11,42±0,97	16,19±3,16	6,22±2,68	7,57±1,07	2,55±0,76
Ilıksu S-1	13,12±0,94	14,34±1,17	19,96±4,20	2,78±0	8,31±1,25	2,83±0,40
Ilıksu S-2	8,90±0,86	6,66±±1,01	13,08±3,47	2,37±0	5,97±1,7	2,37±0,36

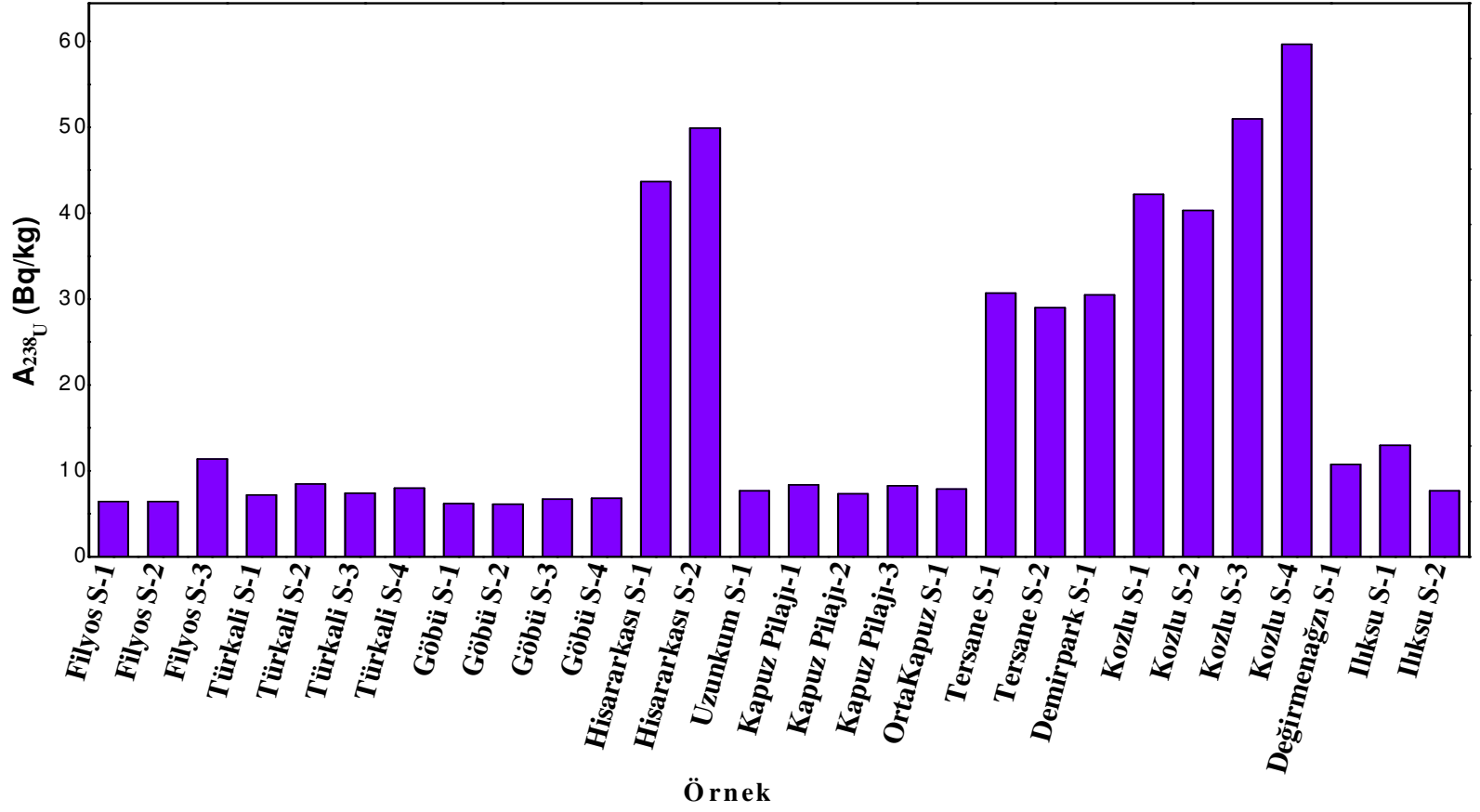


Çizelge 5.2  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  ve  $^{137}\text{Cs}$ 'nin aktivite konsantrasyonları ve sayım süreleri (HPGe)

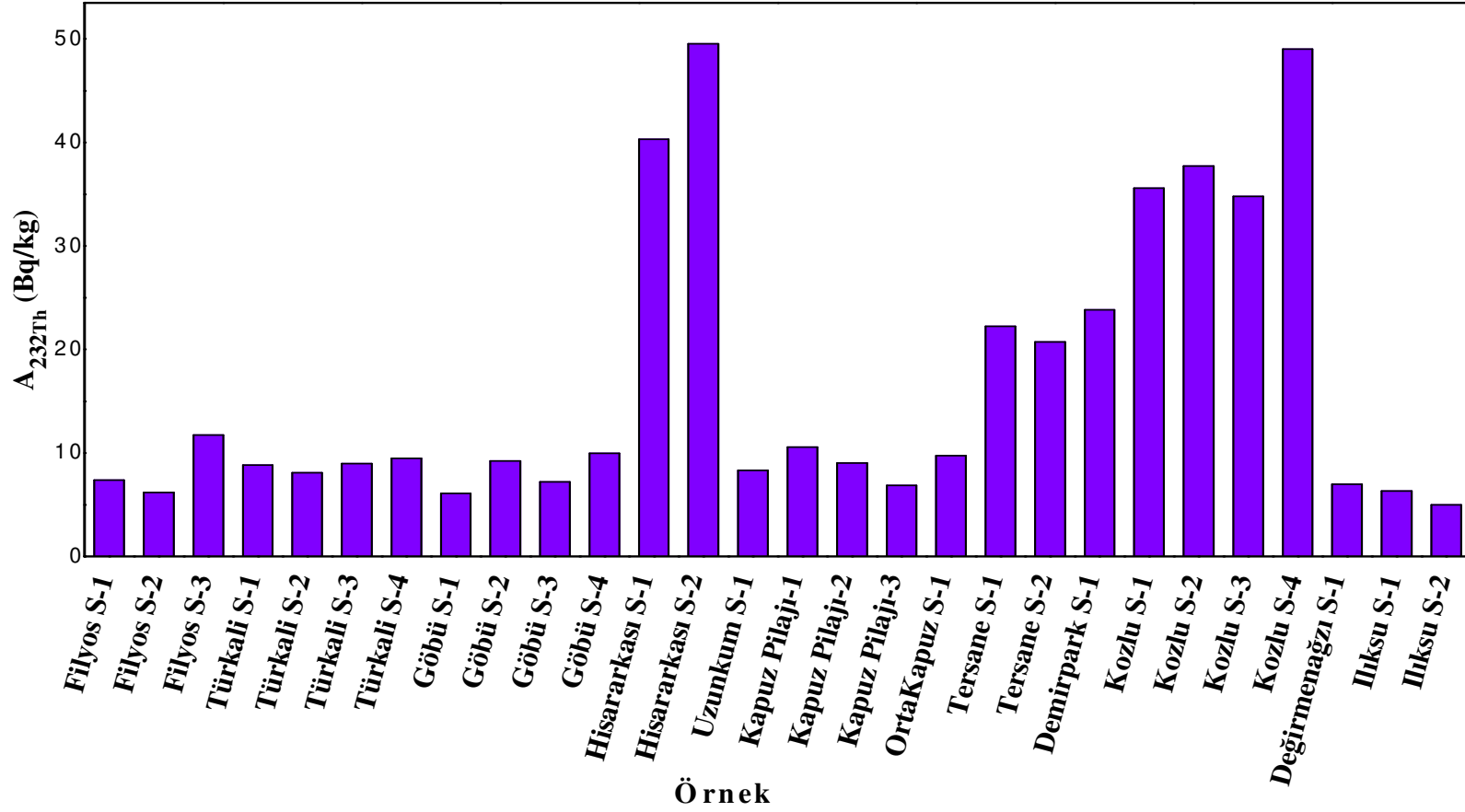
Kum örneği	Aktivite konsantrasyonları(Bq/kg)				Sayım süresi (s)
	$^{238}\text{U}$	$^{232}\text{Th}$	$^{40}\text{K}$	$^{137}\text{Cs}$	
Filyos S-1	6,44±1,13	7,37±4,32	168,01±8,52	2,24±0,35	40123
Filyos S-2	6,43±1,07	6,18±4,20	167,31±8,20	0,28±0,00	47171
Filyos S-3	11,31±1,23	11,75±4,92	198,75±9,28	2,92±0,36	39050
Türkali S-1	7,18±1,34	8,83±6,60	203,11±10,29	4,13±0,54	46836
Türkali S-2	8,47±1,30	8,06±4,84	173,04±9,04	4,38±0,43	50433
Türkali S-3	7,37±1,21	8,96±5,16	185,53±9,71	5,93±0,53	41584
Türkali S-4	7,98±1,17	9,48±4,87	191,17±9,13	5,36±0,40	62751
Göbü S-1	6,16±0,95	6,10±3,89	164,79±7,66	3,50±0,29	51519
Göbü S-2	6,10±1,32	9,21±6,12	163,16±9,03	3,17±0,58	33865
Göbü S-3	6,70±1,29	7,22±6,21	217,41±10,54	4,78±0,46	43219
Göbü S-4	6,80±1,15	9,96±4,27	178,65±9,01	4,99±0,47	42292
Hisararkası S-1	43,64±2,43	40,29±10,30	535,08±22,12	3,50±0,48	32819
Hisararkası S-2	49,88±2,88	49,53±12,30	685,92±26,36	6,00±0,62	39857
Uzunkum S-1	7,67±1,23	8,32±4,69	155,17±8,34	2,01±0,31	39167
Kapuz Pilajı-1	8,34±1,29	10,57±5,60	153,99±8,07	2,48±0,48	45133
Kapuz Pilajı-2	7,29±1,26	9,04±5,50	140,21±8,83	2,74±0,41	39196
Kapuz Pilajı-3	8,23±1,40	6,89±4,60	157,77±8,42	1,76±0,37	45761
OrtaKapuz S-1	7,87±1,38	9,72±5,36	150,64±8,44	2,65±0,41	43153
Tersane S-1	30,69±2,19	22,23±8,53	307,4±13,70	5,56±0,51	45486
Tersane S-2	28,99±2,32	20,73±8,08	252,14±13,40	3,73±0,61	35298
Demirpark S-1	30,49±2,08	23,82±7,62	281,50±12,7	0,41±0,00	45888
Kozlu S-1	42,19±2,63	35,60±12,51	502,78±20,96	3,16±0,55	38496
Kozlu S-2	40,28±2,68	37,71±10,64	470,71±19,86	1,91±0,61	45749
Kozlu S-3	50,96±2,95	34,76±5,56	611,29±24,75	2,28±0,58	36512
Kozlu S-4	59,65±3,23	49,01±11,75	625,47±24,43	2,31±0,58	49312
Değirmenağı S-1	10,73±1,18	6,96±5,87	113,83±6,66	1,94±0,32	53211
Ilıksu S-1	12,95±1,50	6,32±2,35	117,0±7,22	4,88±0,45	39498
Ilıksu S-2	7,679±1,28	4,99±2,18	889,43±6,22	5,60±0,55	41116
<b>Ortalama</b>	18,88±1,16	8,35±6,18	167,66±12,17	3,38±0,34	-

Çizelge 5.3 Hesaplanan radyasyon parametreleri (HPGe).

Kum örneği	Soğurulan Doz Hızı (D, nGy/h)	Etkin Doz Hızı (mSv/y)	Dış Tehlike İndeksi (H <sub>ex</sub> )
Filyos S-1	14,67±3,56	0,017±0,004	0,08±0,02
Filyos S-2	13,65±3,44	0,016±0,004	0,07±0,02
Filyos S-3	20,88±4,01	0,025±0,004	0,12±0,02
Türkali S-1	17,62±5,15	0,022±0,006	0,09±0,03
Türkali S-2	16,56±3,99	0,020±0,005	0,09±0,02
Türkali S-3	17,33±4,17	0,021±0,005	0,09±0,03
Türkali S-4	18,06±3,95	0,022±0,004	0,09±0,02
Göbü S-1	13,87±3,17	0,017±0,004	0,07±0,02
Göbü S-2	15,50±4,79	0,019±0,005	0,085±0,03
Göbü S-3	17,18±4,89	0,021±0,006	0,091±0,03
Göbü S-4	17,19±3,56	0,021±0,004	0,094±0,02
Hisararkası S-1	66,63±8,44	0,081±0,01	0,384±0,05
Hisararkası S-2	81,59±10,07	0,100±0,01	0,468±0,06
Uzunkum S-1	15,20±3,83	0,018±0,004	0,085±0,02
Kapuz Pilajı-1	16,84±4,41	0,020±0,005	0,095±0,02
Kapuz Pilajı-2	14,93±4,36	0,018±0,005	0,083±0,03
Kapuz Pilajı-3	14,73±3,85	0,018±0,004	0,082±0,02
OrtaKapuz S-1	16,01±4,32	0,019±0,005	0,090±0,03
Tersane S-1	40,95±6,88	0,050±0,008	0,232±0,04
Tersane S-2	36,68±6,65	0,044±0,008	0,210±0,04
Demirpark S-1	39,87±6,22	0,048±0,007	0,232±0,03
Kozlu S-1	61,86±9,86	0,075±0,01	0,356±0,06
Kozlu S-2	60,62±8,67	0,074±0,01	0,352±0,05
Kozlu S-3	69,93±5,85	0,085±0,00	0,399±0,03
Kozlu S-4	82,77±9,81	0,101±0,01	0,480±0,06
Değirmenazı S-1	14,12±4,47	0,017±0,01	0,079±0,02
Ilıksu S-1	15,39±2,45	0,018±0,00	0,083±0,01
Ilıksu S-2	44,78±2,21	0,054±0,00	0,224±0,01
<b>Ortalama</b>	31,27±5.34	0,028±0,0056	0,175±0,03

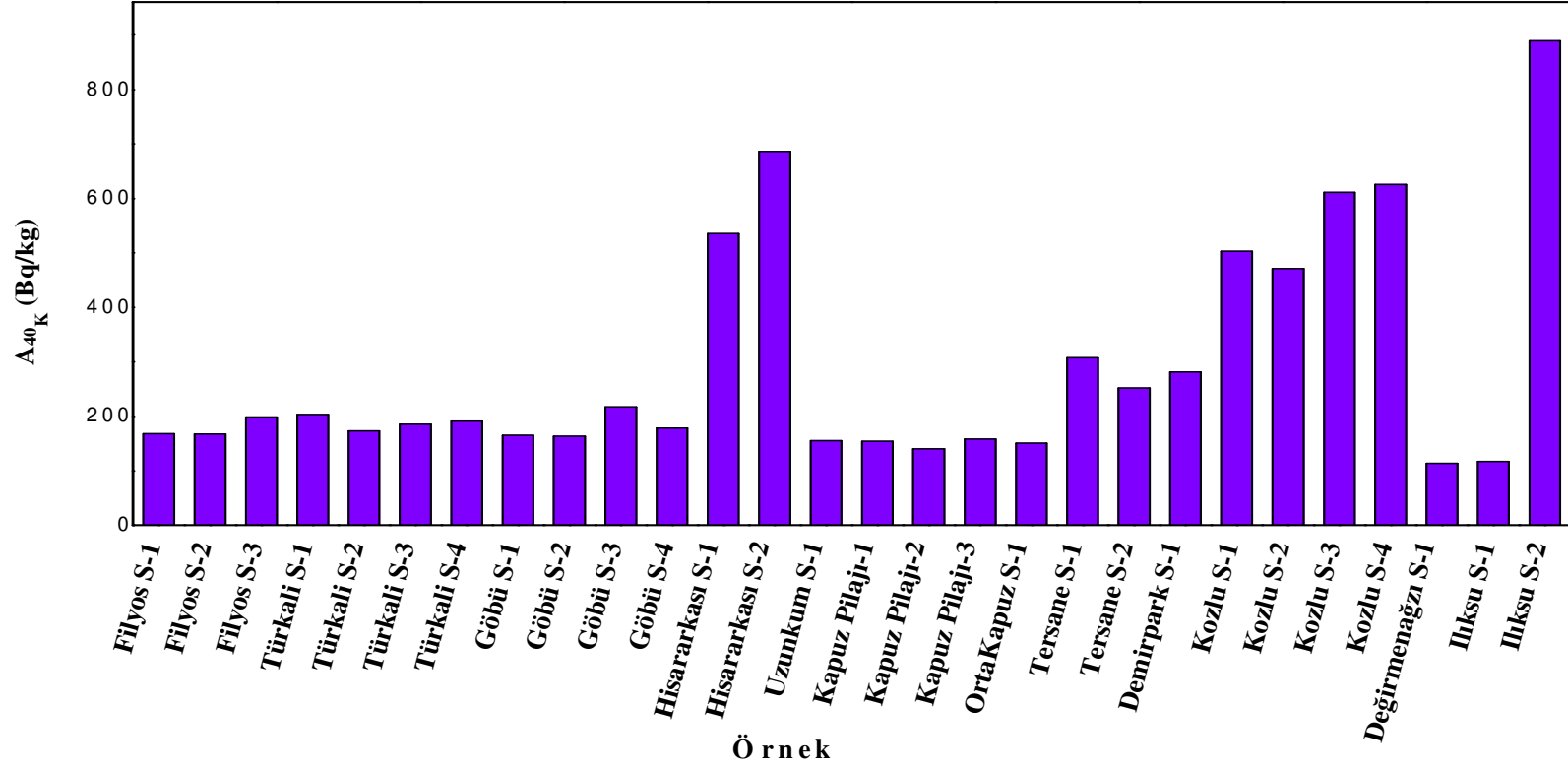


Şekil 5.2 Kum örneklerindeki  $^{238}\text{U}$  aktivite konsantrasyonlarının dağılımı (HPGe).

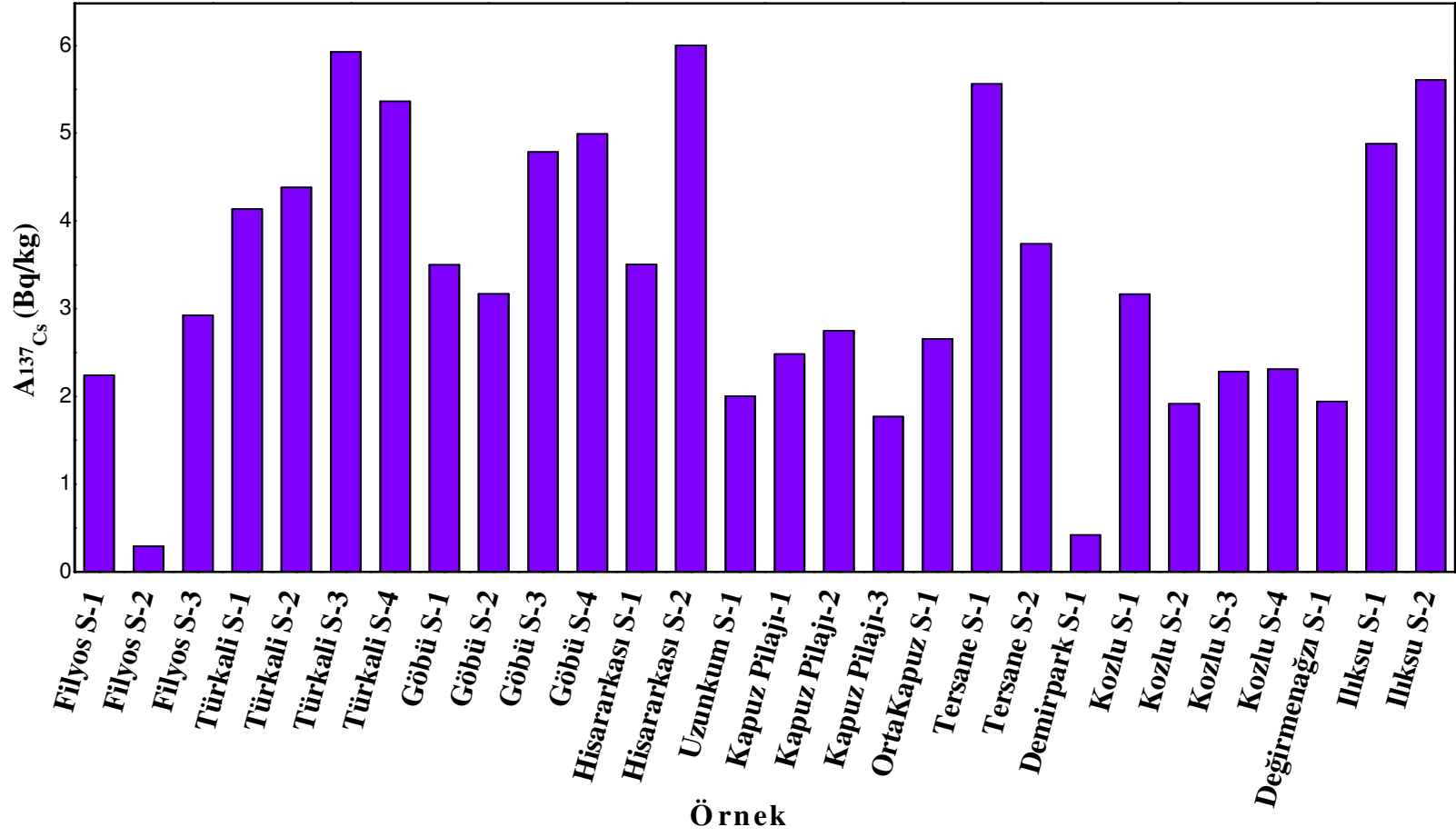


Şekil 5.3 Kum örneklerindeki  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonlarının dağılımı (HPGe).

Şekil 5.2’de kum örneklerindeki  $^{238}\text{U}$ ’e ait aktivite konsantrasyonlarının dağılım grafiği verilmektedir.  $^{238}\text{U}$ ’in spesifik aktivite değerleri sahillere göre karşılaştırıldığında en küçük değer 6,10 Bq/kg ile Göbü S-2 adlı örneğe, en yüksek değer ise 59,65 Bq/kg ile Kozlu S-4 adlı örneğe ait olduğu görülmektedir. Yine grafiğimizden anlaşılıyor ki Hisararkası S-1,2, Tersane S-1,2 ve Kozlu S-1,2,3,4 örneklerinin değerleri 30 Bq/kg ile 60 Bq/kg arasında değişmekte olup diğer kum örneklerindeki  $^{238}\text{U}$ ’e ait spesifik aktivite değerleri 20 Bq/kg’ın altında kalmıştır. Şekil 5.3’de ise  $^{232}\text{Th}$ ’e ait aktivite konsantrasyonlarının dağılım grafikleri verilmektedir. Bu grafikte spesifik aktivite değerleri karşılaştırıldığında ise, en küçük değer 4,99 Bq/kg ile Ilıksu S-2 örneğine ait olup en büyük değer ise 49,53 Bq/kg ile Hisararkası S-2 adlı örneğe aittir. Grafiğimize baktığımızda Hisararkası S-1,2, Tersane S-1,2 ve Kozlu S-1,2,3,4 örneklerindeki  $^{232}\text{Th}$ ’e ait spesifik aktivite konsantrasyonlarının 20 Bq/kg ile 50 Bq/kg arasında değişmekte olduğunu diğer örneklerin aktivite değerlerinin ise 10 Bq/kg değerinin altında kaldığı görülmektedir.



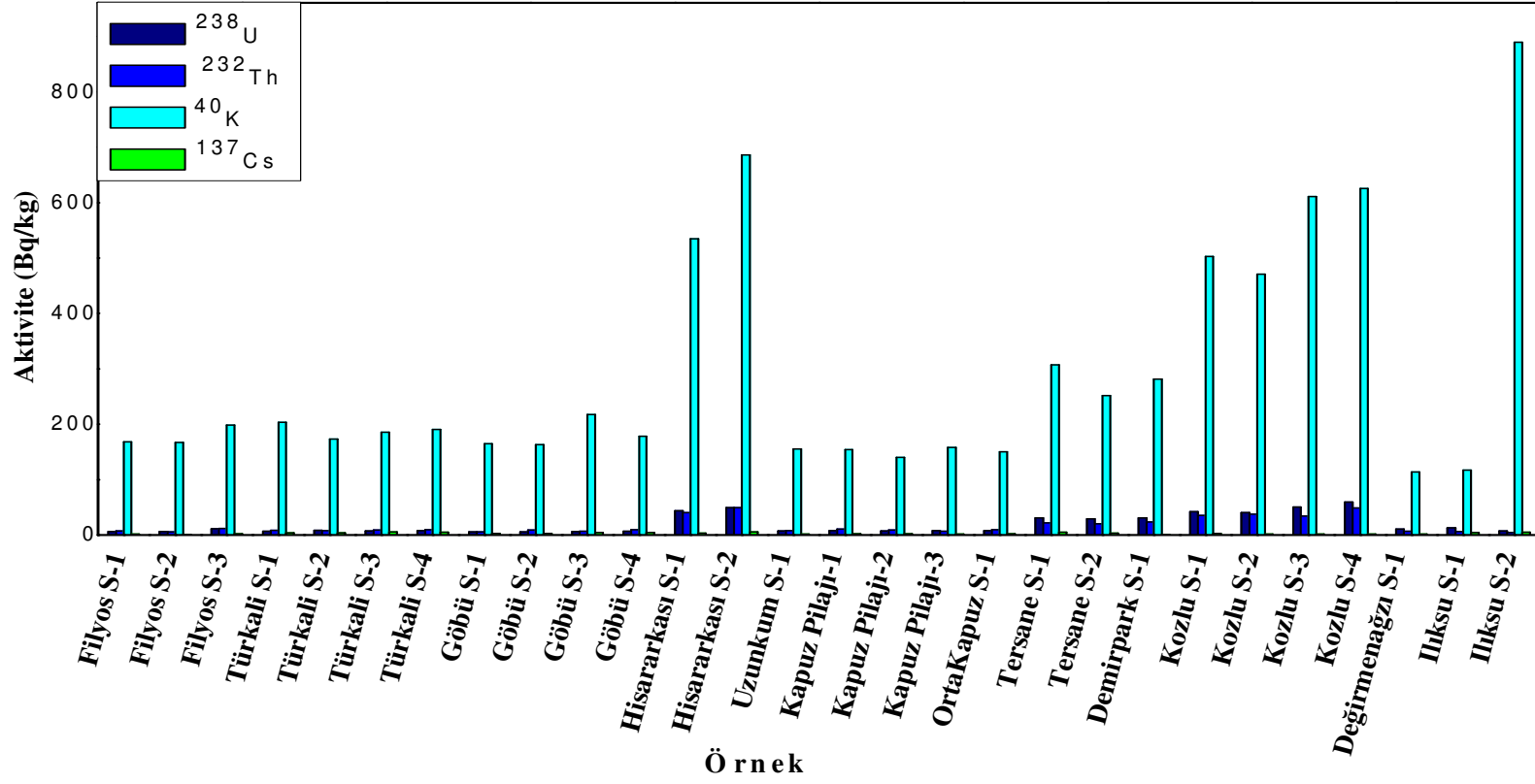
Şekil 5.4 Kum örneklerindeki <sup>40</sup>K aktivite konsantrasyonlarının dağılımı (HPGe).



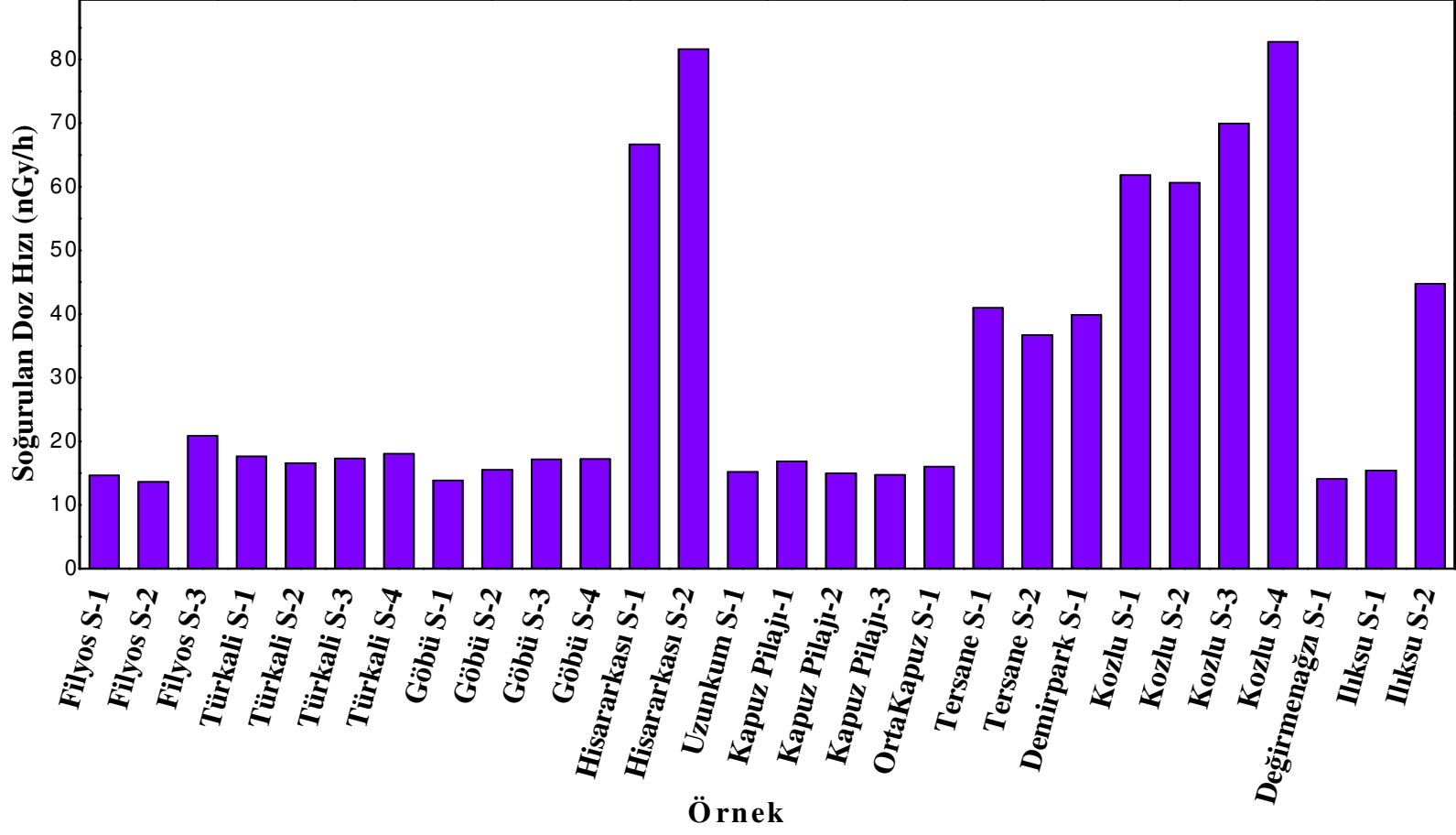
Şekil 5.5 Kum örneklerindeki  $^{137}\text{Cs}$  aktivite konsantrasyonlarının dağılımı (HPGe).

Şekil 5.4'de kum örneklerinde ki  $^{40}\text{K}$ 'a ait aktivite konsantrasyonlarının dağılımı verilmektedir. Grafiğe baktığımızda  $^{40}\text{K}$ 'a ait en küçük spesifik aktivite değeri 113,83 Bq/kg ile Değirmenağzı S-1 örneğine en yüksek değeri ise 889 Bq/kg ile Ilıksu S-2 adlı örneğe aittir. Yine grafiğimizden anlaşılıyor ki Hisararkası S-1,2, Tersane S-1,2 Kozlu S-1,2,3,4 ve Ilıksu S-2 örneklerinin değerleri 400 Bq/kg ile 900 Bq/kg arasında değişmekte olup diğer örneklerimizin 200 Bq/kg'ın altında kaldığı görünmektedir. Şekil 5.5'de ise  $^{137}\text{Cs}$ 'ye ait spesifik aktivite konsantrasyonlarının grafiği verilmektedir.  $^{137}\text{Cs}$ 'nin en küçük spesifik aktivite değeri de 0,28 Bq/kg ile Filyos S-2 örneğine, en yüksek değeri ise 5,93 Bq/kg ile Türkali S-3 örneğine aittir.

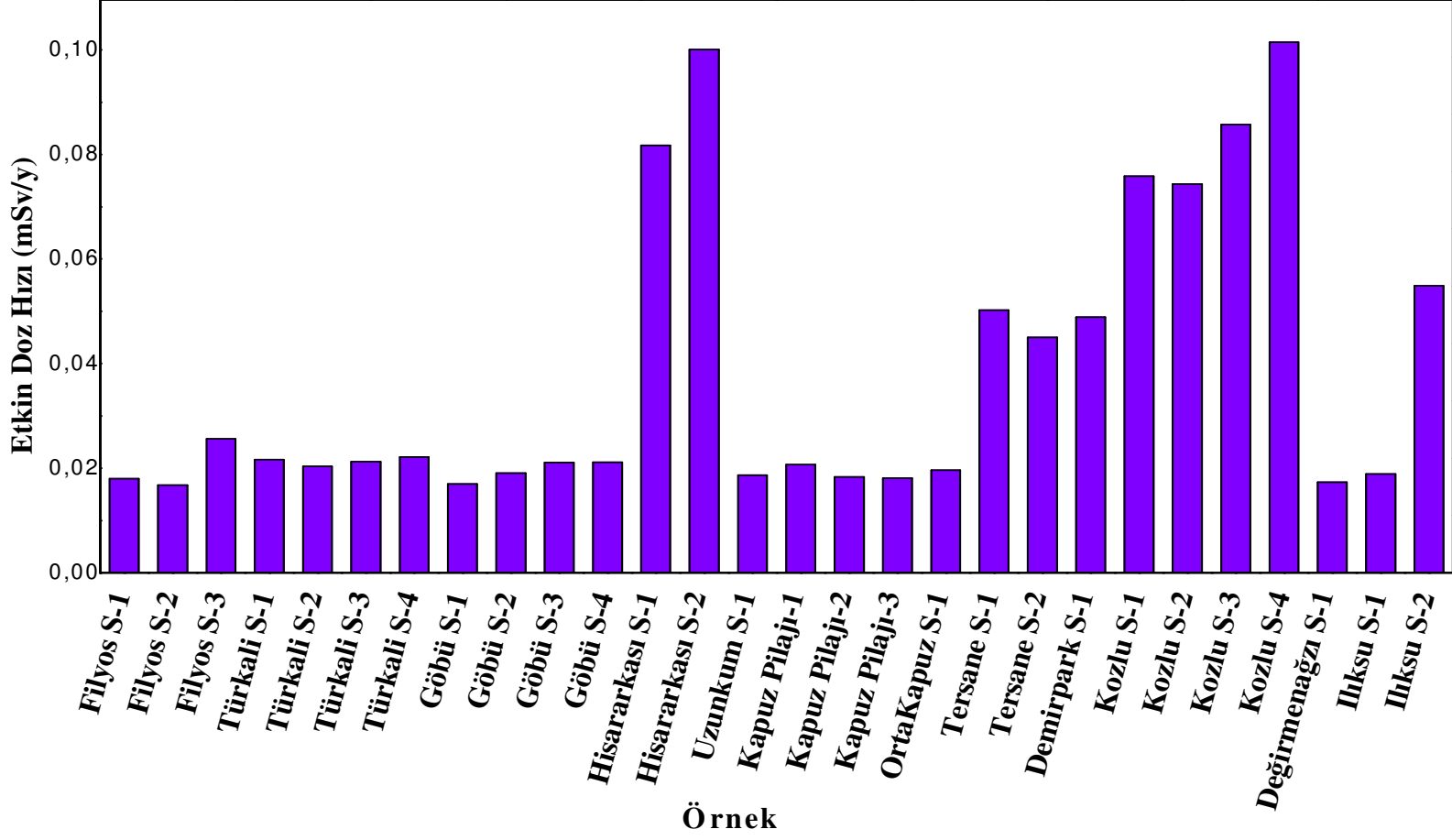




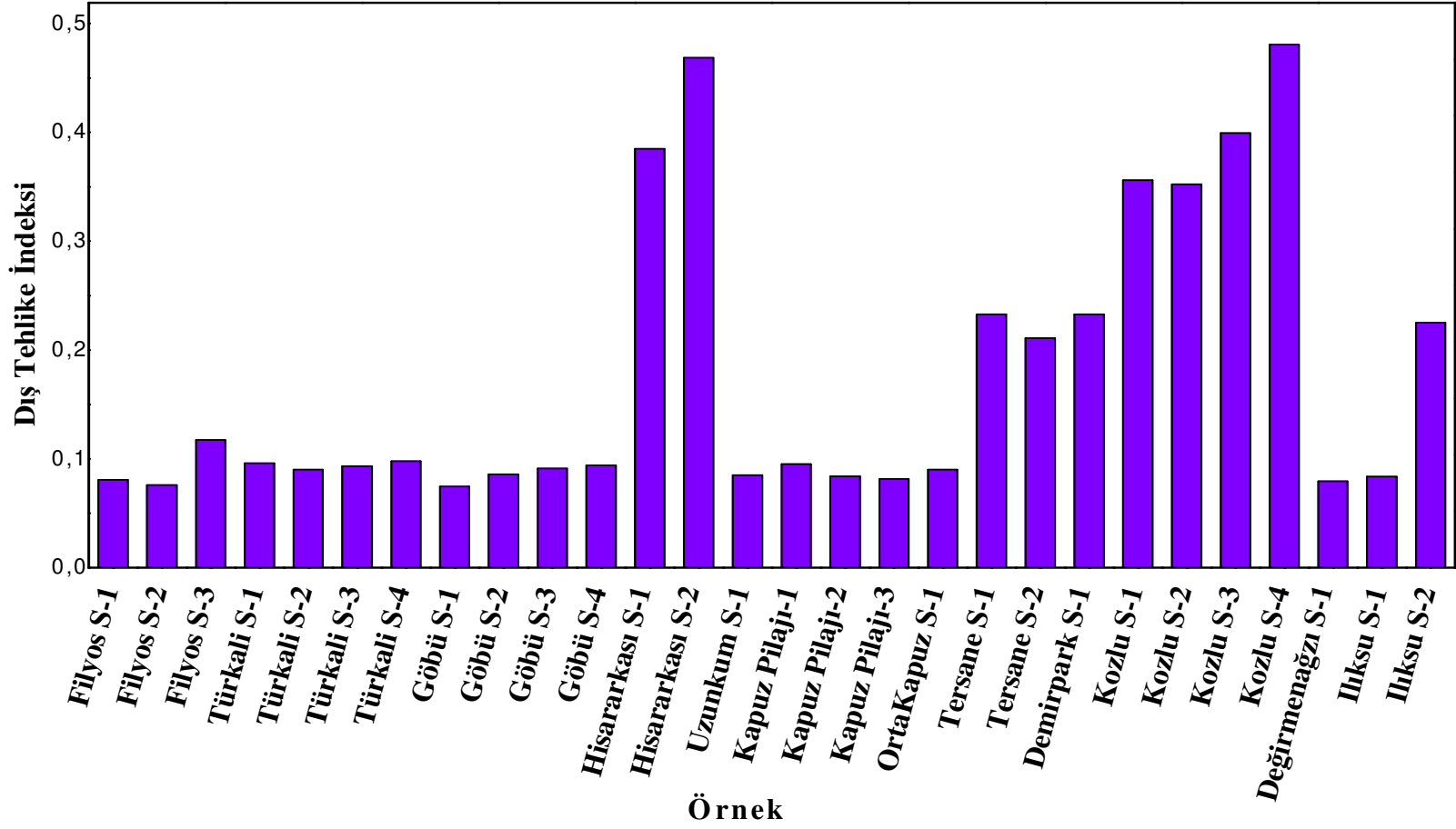
Şekil 5.6 Kum örneklerindeki  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{40}\text{K}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  aktivite konsantrasyonlarının birlikte gösterimi (HPGe).



Şekil 5.7 Kum örneklerindeki soğurulan doz hızı dağılımı (HPGe).



Şekil 5.8 Kum örneklerindeki etkin doz hızı dağılımı (HPGe).



Şekil 5.9 Kum örneklerinde dış tehlike indeksi dağılımı (HPGe).

Şekil 5.7’de soğurulan doz hızına ait olan grafikler verilmektedir. Grafiğimiz incelendiğinde soğurulan doz hızı değerlerinin 13,65nGy/h (Filyos S-2) ile 82,77nGy/h (Kozlu S-4) arasında değişmekte olduğu görülmektedir. Hisararkası S-1,2, Tersane S-1,2 Kozlu S-1,2,3,4 ve Ilıksu S-2 örneklerinin soğurulan doz hızı değerleri diğer örneklere göre daha yüksek çıkmıştır. Bunun nedeninde soğurulan doz hızı hesaplarında kullanılan  $^{40}\text{K}$ ’a ait spesifik aktivite değerlerinin diğer sahillere göre daha yüksek olmasıdır. Şekil 5.8’de ise etkin doz hızı dağılımı verilmekte olup Hisararkası S-1,2, Tersane S-1,2 Kozlu S-1,2,3,4 ve Ilıksu S-2 örneklerinin değerleri bu sahillerdeki  $^{40}\text{K}$ ’a ait spesifik aktivite değerlerinin diğer sahillere göre daha yüksek olmasından dolayı daha yüksek çıkmıştır. Ayrıca Şekil 5.8’de de Dış tehlike indeksleri verilmiştir. Bütün sahilleri için dış tehlike indeksi 1’in altında olduğundan dolayı insan sağlığını etkileyecek bir radyasyonun ortamda olmadığı anlaşılmaktadır.

## BÖLÜM 6

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında Zonguldak ili sahil kumlarının doğal radyoaktivite seviyelerinin belirlenmesi amacıyla deneysel bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışma için farklı 12 sahilden toplam 28 adet kum örneği toplanıp, HPGe dedektörlü gamma spektrometresinde analizleri yapılarak elde edilen veriler Çizelgeler halinde verilmiştir.

HPGe dedektöründen elde edilen analiz sonuçlarına göre,  $^{238}\text{U}$ 'in spesifik aktivite değeri  $6,10\pm 1,32$  Bq/kg (Göbü S-2) ile  $59,65\pm 3,23$  Bq/kg (Kozlu S-4) aralığında değişmekte olup ortalama spesifik aktivite değeri ise  $18,88\pm 1,16$  Bq/kg'dır.  $^{232}\text{Th}$ 'nin spesifik aktivite değeri  $4,99\pm 2,18$  Bq/kg (Ilıksu S-2) ile  $49,53\pm 12,30$  Bq/kg (Hisararkası S-2) aralığında değişmekte olup ortalama spesifik aktivite değeri  $8,35\pm 6,18$  Bq/kg olarak elde edilmiştir.  $^{40}\text{K}$ 'ın ise spesifik aktivite değeri  $113,83\pm 6,66$  Bq/kg (Değirmenağzı S-1) ile  $889,43\pm 6,22$  Bq/kg (Ilıksu S-2) aralığında değişmekte olup ortalama spesifik aktivite değeri  $167,66\pm 12,17$  Bq/kg'dır. Ayrıca  $^{137}\text{Cs}$ 'nin spesifik aktivite değeri de  $0,28\pm 0,00$  Bq/kg (Filyos S-2) ile  $5,93\pm 0,53$  Bq/kg (Türkali S-3) aralığında değişmekte ve ortalama değeri ise  $3,38\pm 0,34$  Bq/kg'dır.

HPGe dedektörlü gamma spektroskopisi ile yapılan gamma spektrometrik analizler sonucu elde edilen soğurulan doz hızı değerleri  $13,65\pm 3,44$  nGy/h (Filyos S-2) ile  $82,77\pm 9,81$  nGy/h (Kozlu S-4) arasında değişmekte olup ortalama değeri ise  $31,27\pm 5,34$  nGy/h'dir. Ayrıca yıllık etkin doz hızı değerleri ise  $0,16\pm 0,004$  mSv/y (Filyos S-2) ile  $0,101\pm 0,01$  mSv/y (Kozlu S-4) değerleri arasında değişmekte olup ortalama değeri  $0,028\pm 0,0056$  mSv/y'dir.

Analizlerden elde ettiğimiz sonuçları TAEK'in hazırlamış olduğu Türkiye'deki Çevre Radyoaktivitesinin İzlenmesi, 2009, raporundaki sonuçlarla karşılaştırdığımızda  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  a ait spesifik aktivite değerlerinin Türkiye ortalamasının altında olduğu gözlenmiş olup bu değerler Çizelge 6.1 de verilmiştir. Doğada kendiliğinden var olmayan ve fisyon ürünü olan  $^{137}\text{Cs}$  tüm de örneklerde gözlenmiş olup bunun nedeni de 1986 yılında meydana gelen

Çernobil reaktör kazası sonucu radyoaktif çekirdeklerin atmosfere salınmış olmasıdır. Yine TAEK'in hazırlamış olduğu Çevre Radyoaktivitesinin İzlenmesi, 2009, raporundaki sonuçlarla karşılaştırdığımızda  $^{137}\text{Cs}$ 'nin spesifik aktivite değeri de Türkiye ortalamasının altındadır. Soğurulan doz hızı ile etkin doz hızının da ortalamasının altında kaldığı görülmüştür.

UNSCEAR 2000 raporu ile elde etmiş olduğumuz verileri karşılaştırdığımızda da,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  için elde edilen spesifik aktivite değerleri ile soğurulan doz hızı ve etkin doz hızının dünya ortalamasının altında görülmüştür.

Çizelge 5.1 de bu tez çalışması ile UNSCEAR 2000 raporu, TAEK'in hazırlamış olduğu Türkiye'deki Çevre Radyoaktivitesinin İzlenmesi, 2009, raporu ve Türkiye'de yapılan diğer çalışmalardan bazı örnekler verilmiştir (Değerliler vd 2008, Korkulu 2010, Karahan ve Bayülken 2000, TAEK 2009 b, UNSCEAR 2000).

Çizelge 6.1 Çeşitli çalışmalarda  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  ve  $^{137}\text{Cs}$ 'nin aktivite konsantrasyonları (Bq/kg) ile soğurulan doz (nGy/sa) ve yıllık etkin doz (mSv/y) değerleri.

ÇALIŞMALAR						
Radyonüklitler	Bu Çalışma (Zonguldak)	Değerler ve ark. 2008 (Adana)	Korkulu 2010 (Kocaeli)	Karahan ve Bayülken, 2000 (İstanbul)	TAEK 2009 (Türkiye)	UNSCEAR 2000 (Dünya)
$^{238}\text{U}$ (Bq/kg)	18,88	17,6	8,85	21	34,7	35
$^{232}\text{Th}$	8,35	21,1	8,93	37	35,4	30
$^{40}\text{K}$ (Bq/kg)	167,66	297,5	219,5	342	450	400
$^{137}\text{Cs}$ (Bq/kg)	3,38	0,1-28	2,6	1,8-81	11,8	-
Soğurulan doz hızı (nGy/sa)	31,27	44	18,7	49	54,6	60
Etkin doz hızı (mSv/y)	0,028	0,067	0,0023	0,065	0,070	0,070

Bütün bu sonuçlar incelendiğinde Zonguldak ili sahil kumları için elde edilen doğal radyoaktivite seviyeleri dünya ve Türkiye ortalamaları ile hemen hemen aynı olduğu görülmüştür. Ayrıca gamma radyasyon tehlikesini belirlemek için hesaplamış olduğumuz dış

tehlike indeksi ( $H_{ex}$ ) değeri her bir örnek için 1'den küçük olduğundan dolayı bir radyasyon riski teşkil etmemektedir.

Zonguldak ili çevresinde ilk defa yapılan bu çalışma ile sahil kumlarında doğal radyoaktivite seviyeleri belirlenerek bu ortamlardaki radyasyon miktarı arasındaki farklılıklar ortaya konulmuş olup, Zonguldak ili için ortalama doğal radyoaktivite seviyeleri belirlendi. Ayrıca bu çalışma ortamda meydana gelebilecek radyasyon miktarındaki değişim hakkında bilgi vermeyi mümkün kılacak ve Türkiye'de oluşturulabilecek radyasyon haritası için katkı sağlayacaktır.





## KAYNAKLAR

- Akbaş B, Altun İ ve Aksay A** (2002) Zonguldak-E28 Paftası Jeoloji Haritası, Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye.
- Akkoyun S** (2007) Uzayda Gama Işını Ölçümleri-Bir Geant Simülasyonu. Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış), Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, 58 s.
- Alam M N, Chowdhury M I, Kamal M, Ghose S, Islam M N, Mustafa M N, Miah M M H and Ansary M M** (1999) The  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  and  $^{40}\text{K}$  activities in beach sand minerals and beach soils of Cox's Bazar, Bangladesh. *Journal of Environmental Radioactivity*, 46: 243-250.
- Alan İ ve Aksay A** (2002) Zonguldak E27-E28 Paftaları Jeoloji Haritası, Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye.
- Alencar A S and Freitas A C** (2005). Reference levels of natural radioactivity for the beach sands in a Brazilian southeastern coastal region. *Radiation Measurements*, 40: 76-83.
- Al-Trabulsy H A, Khater A E M and Habbani F I** (2011) Radio activity levels and radiological hazard in dices at the Saudi coastline of the Gulf of Aqaba. *Radiation Physics and Chemistry*, 80: 343-348.
- Arya A P** (1999) Çekirdek Fiziğinin Esasları. Çeviri Editörü Şahin Y, Aktif Yayınevi, İstanbul, 427 s.
- Canbaz B** (2007) Ezine/Çanakkale Granit Alanının Radyolojik Risk Açısından Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış), Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, İzmir, 73 s.
- Coelho F D S, Couceiro P R D C, Lopes A L and Fabris J D** (2005) Iron oxides and monazite from sands of two beaches in Espirito Santo, Brazil. *Quim. Nova*, 28: 233.
- Değerlier M, Karahan G and Özger G.** (2008) Radioactivity concentrations and dose assessment for soil samples around Adana, Turkey. *Journal of Environmental Radioactivity*, 99: 1018-1025.
- Değerliler M** (2007) Adana İli Çevresinin Doğal Radyoaktivitesinin Saptanması ve Doğal Radyasyonların Yıllık Etkin Doz Eşdeğerlerinin Bulunması. Doktora Tezi (yayımlanmamış), Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Ana Bilim Dalı, Adana, 175 s.
- Dikici M** (1993) Katıhal Fiziğine Giriş. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Yayınları, Yayın No:71, Samsun, 276 s.
- Freitas A C and Alencar A S** (2004). Gamma dose rates and distribution of natural radionuclides in sand beaches-Ilha Grande, Southeastern Brazil. *Journal of Environmental Radioactivity*, 75: 211-223.
- Gedikoglu A** (1988) Çekirdek Fizigine Giriş. K.T.Ü. Basımevi, Trabzon, s. 187-190.

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Gilmore G R** (2008) Practical Gamma-Ray Spectrometry. 2nd Edition, *John Wiley and Sons*, New York, 2-38.
- Hassan A M, Abdel-Wahab M, Nada A, El-Dine N W and Khazbak A** (1997) Determination of uranium and thorium in Egyptian monazite by gamma-ray spectrometry. *Application Radiation. Isotopes*, 48: 149-152.
- IAEA** (1989) *Measurement of Radionuclides in Food and Environment*, International Atomic Energy Agency, TRS, No. 295. Vienna
- Kannan V, Rajan M P, Iyengar M A R and Ramesh R** (2002) Distribution of natural and anthropogenic radionuclides in soil and beach sand samples of Kalpakkam (India) using hyper pure germanium (HPGe) gamma ray spectrometry. *Applied Radiation and Isotopes*, 57: 109–119.
- Karahan G** (1997) İstanbulun Çevresel doğal Radyoaktivitesinin Tayini ve Doğal radyasyonların Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri. Doktora Tezi (yayımlanmamış) İTÜ Nükleer Enerji Enstitüsü, İstanbul, 118 s.
- Karahan G ve Bayulken A** (2000) Assessment of Gamma Dose Rates Around Istanbul. *Journal of Environmental Radioactivity*, 47: 213-221.
- Knoll G F** (2000) Radiation Detection and Measurement. 3 nd ed, *John Wiley and Sons*, New York, 70-400.
- Korkulu Z** (2010) Kocaeli İli Karadeniz Sahil Kumlarının Doğal Radyoaktivite Seviyelerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış), Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Kocaeli, 90 s.
- Krane K S** (2001) Nükleer Fizik I. Çeviri Editörü Şarer B, *Palme Yayıncılık*, Ankara, 404 s.
- Malanca A, De Pieri R and Gazzola A** (1998) Radiogenic heavy minerals in Brazilian beach sand. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 230: 257-260.
- Markkanen M** (1995) Radiation Dose Assessments for Materials With Elevated Natural Radioactivity. Helsinki.
- Mızrak E** 2007 Çevresel Radyoaktivite Ölçüm Amaçlı Gama Spektroskopi Sisteminin Kalibrasyonu ve Test Amaçlarının Yapılması. Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış), Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Ana Bilim Dalı, Kocaeli, 43-65
- Mohanty A K, Sengupta D, Das S K, Saha S K and Van K V** (2010), 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.
- Mohanty A K, Sengupta D, Das S K, Vijayan V and Saha S K** (2004) Natural radioactivity in the newly discovered high background radiation area on the eastern coast of Orissa, India. *Radiation Measurements*, 38: 153-165.
- NCRP Report 45** (1975) *Natural Background Radiation in the U.S. Soil Radioactivity*. National Council on Radiation Protection and Measurement No.45, p.54.
- NCRP Report 98** (1989) *Guidance on Radiation Received in Space Activities*. National Council on Radiation Protection and Measurement.

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- O'brien K, Friedberg F E, Duke F E, et.al.** (1992) The Exposure of Aircraft Crews to Radiation of Extraterrestrial Origin. *Radiatio Protection Dosimeter*, 45:145-166.
- Önen S** (1997) *Radyasyon Biyofiziği*. 2.Baskı, Dilek Ofset, İstanbul, s. 4-23.
- Radhakrishna A P, Somashekarappa H M, Narayana Y and Siddappa K** (1993) A new natural background radiation area on the southwest coast of India. *Health Physics*, 65: 390-395.
- Sayre W W, Guy H p and Chamberlan A R 1963** Uptake and Transport of Radionuclides by Stream Sediments, U.S. *Survey Professional Paper* 433-A.
- Sedlet J, Colcharth M W and Duffy T L** (1973) Environmental Monitoring at Argon National Laboratory-1972 USAEC Report ANL-8007.
- Singh S, Rani A and Mahajan R K** (2005)  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  and  $^{40}\text{K}$  analysis in soil samples from some areas of Punjab and Himachal Pradesh, India using gamma ray spectrometry. *Radiation Measurements*, 39: 431–439.
- Soyberk Ö** (1998) *Radyasyon Fiziği*. Cilt 1-2, Türkiye Enerjisi Kurumu Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi Sağlık Fiziği Bölümü
- TAEK** (2009a) Doğal Radyasyon Kaynakları, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, <http://www.taek.gov.tr/bilgi-kosesi/radyasyon-insan-ve-cevre/81-radyasyonla-birlikte-yasiyoruz/181-dogal-radyasyon-kaynaklari.html> (04.02. 2012)
- TAEK** (2009b) Türkiye'deki Çevre Radyoaktivitesinin İzlenmesi, 2009 Teknik Raporu. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, 25 s.
- UNSCEAR** (1993) *Sources and effects of ionizing radiation*. United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation, New York.
- UNSCEAR** (2000) *Sources and effects of ionizing radiation Report to the general assembly with scientific annexes*. United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation, New York
- UNSCEAR 88 Report** (1988) *Annex A Terrestrial Sources of Radiation*. United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation, p.57.
- URL-1** (2012) [http://www.zonguldak.gov.tr/default\\_b0.aspx?content=1022](http://www.zonguldak.gov.tr/default_b0.aspx?content=1022), T.C. Zonguldak Valiliği, (30.03.2012)
- Van Duong P, Tschurlovits M, Buchtela K and Dien P Q** (1996) Enrichment of radioactive materials in sand deposits of Vietnam as a result of mineral processing. *Environ. Int.*, 22: p. 71.
- Vassas C, Pourcelot L, Vella C, Carpe'na J, Pupin J P, Bouisset P and Guillot L** (2006) Mechanisms of enrichment of natural radioactivity along the beaches of the Camargue, France. *Journal of Environmental Radioactivity*, 91: 146-159.
- Veiga R, Sanches N, Anjos R M, Macario K, Bastos J, Iguatemy M, Aguiar J G, Santos A M A, Mosquera B, Carvalho C, Filho M B and Umisedo N K** (2006) Measurements of natural radioactivity in Brazilian beach sands. *Radiation Measurements*, 41: 189–196.



## **EK AÇIKLAMALAR**

### **EK A. <sup>238</sup>U KALİBRASYON KAYNAĞININ SERTİFİKA BİLGİLERİ**



## IAEA-RGU-1

Reference Material Online Catalog Radionuclides

**IAEA-RGU-1 , Uranium Ore***Inorganic , Ores*

- Unit Size: 500g
- Price per Unit: 50 EUR
- Report: IAEA/RL/148
- Date of Release: 1987-01-01

Both, IAEA-RGU-1 and IAEA-RGTh-1 reference materials were prepared on behalf of the International Atomic Energy Agency by the Canada Centre for Mineral and Energy Technology by dilution of a uranium ore BL-5 (7.09% U) and a thorium ore OKA-2 (2.89% Th, 219 µg U/g) with floated silica powder of similar grain size distribution, respectively. No evidence for between-bottles inhomogeneity was detected after mixing and bottling. BL-5 has been certified for uranium, <sup>226</sup>Ra and <sup>210</sup>Pb confirming that it is in radioactive equilibrium. The agreement between radiometric and chemical measurements of thorium and uranium in OKA-2 shows both series to be in radioactive equilibrium.

Analyte	Value	Unit	95% C.I.	N	R/I/C
<sup>232</sup> Th	< 4 <sup>?</sup>	Bq/kg	-	None	I
<sup>235</sup> U	228 <sup>?</sup>	Bq/kg	226 - 230	None	R
<sup>238</sup> U	4940 <sup>?</sup>	Bq/kg	4910 - 4970	None	R
<sup>40</sup> K	< 0.63 <sup>?</sup>	Bq/kg	-	None	I
K	< 20	mg/kg	-	None	I
Th	< 1	mg/kg	-	None	I
U	400	mg/kg	398 - 402	None	R

(Value) Concentration calculated as a mean of the accepted laboratory means

(N) Number of accepted laboratory mean values which are used to calculate the recommended or information values and their respective confidence intervals

(R/I/C) Classification assigned to the property value for analyte (Recommended/Information/Certified)

(?) Natural radionuclide activity concentrations derived from the elemental concentrations on basis of isotopic abundance and half-life data

The values listed above were established on the basis of a gravimetric dilution of materials with known uranium, thorium and potassium composition. The details concerning the criteria for qualification as a recommended or information value can be found in the respective report (attached).





## **EK AÇIKLAMALAR**

### **EK B. <sup>232</sup>Th KALİBRASYON KAYNAĞININ SERTİFİKA BİLGİLERİ**



## IAEA-RGTh-1

Reference Material Online Catalog Radionuclides

## IAEA-RGTh-1 , Thorium Ore

*Inorganic , Ores*

- ◊ Unit Size: 500g
- ◊ Price per Unit: 50 EUR
- ◊ Report: IAEA/RL/148
- ◊ Date of Release: 1987-01-01

Both, IAEA-RGU-1 and IAEA-RGTh-1 reference materials were prepared on behalf of the International Atomic Energy Agency by the Canada Centre for Mineral and Energy Technology by dilution of a uranium ore BL-5 (7.09% U) and a thorium ore OKA-2 (2.89% Th, 219 µg U/g) with floated silica powder of similar grain size distribution, respectively. No evidence for between-bottles inhomogeneity was detected after mixing and bottling. BL-5 has been certified for uranium, Ra-226 and Pb-210 confirming that it is in radioactive equilibrium. The agreement between radiometric and chemical measurements of thorium and uranium in OKA-2 shows both series to be in radioactive equilibrium.

Analyte	Value	Unit	95% C.I.	N	R/I/C
<sup>232</sup> Th	3250 <sup>?</sup>	Bq/kg	3160 - 3340	155	R
<sup>235</sup> U	3.6 <sup>?</sup>	Bq/kg	3.3 - 3.9	145	R
<sup>238</sup> U	78 <sup>?</sup>	Bq/kg	72 - 84	145	R
<sup>40</sup> K	6.3 <sup>?</sup>	Bq/kg	3.1 - 9.5	45	I
K	200	mg/kg	100 - 300	45	I
Th	800	mg/kg	784 - 816	155	R
U	6.3	mg/kg	5.9 - 6.7	145	R

(Value) Concentration calculated as a mean of the accepted laboratory means

(N) Number of accepted laboratory mean values which are used to calculate the recommended or information values and their respective confidence intervals

(R/I/C) Classification assigned to the property value for analyte (Recommended/Information/Certified)

(?) Natural radionuclide activity concentrations derived from the elemental concentrations on basis of isotopic abundance and half-life data

The values listed above were established on the basis of a gravimetric dilution of materials with known uranium, thorium and potassium composition. The details concerning the criteria for qualification as a recommended or information value can be found in the respective report (attached).



## **EK AÇIKLAMALAR DİZİNİ**

### **EK C. <sup>40</sup>K KALİBRASYON KAYNAĞININ SERTİFİKA BİLGİLERİ**



## IAEA-RGK-1

Reference Material Online Catalog Radionuclides

**IAEA-RGK-1 , Potassium Sulfate***Inorganic , Ores*

- ◊ Unit Size: 500g
- ◊ Price per Unit: 50 EUR
- ◊ Report: IAEA/AL/148
- ◊ Date of Release: 1987-01-01

The IAEA-RGK-1 material is produced from high purity (99.8%) potassium sulphate supplied by the Merck Company. The potassium property value and its uncertainty were obtained from repeated measurements performed at the IAEA Laboratories Seibersdorf and the results confirmed the value certified by Merck. The upper limits for the uranium and thorium property values were estimated by the IAEA Laboratories Seibersdorf using fluorimetry and activation analysis, respectively.

Analyte	Value	Unit	95% C.I.	N	R/I/C
<sup>40</sup> K	14000 <sup>?</sup>	Bq/kg	13600 - 14400	20	R
K	448000	mg/kg	445000 - 451000	20	R
Th	< 0.01	mg/kg	-	20	I
U	< 0.001	mg/kg	-	20	I

(Value) Concentration calculated as a mean of the accepted laboratory means

(N) Number of accepted laboratory mean values which are used to calculate the recommended or information values and their respective confidence intervals

(R/I/C) Classification assigned to the property value for analyte (Recommended/Information/Certified)

(?) Natural radionuclide activity concentrations derived from the elemental concentrations on basis of isotopic abundance and half-life data

The values listed above were established on the basis of a gravimetric dilution of materials with known uranium, thorium and potassium composition. The details concerning the criteria for qualification as a recommended or information value can be found in the respective report (attached).





## **ÖZGEÇMİŞ**

Ceyhun KÜÇÜK 1986'da Zonguldak'ta doğdu. İlk öğretim ve liseyi aynı şehirde tamamladı. Yabancı dil ağırlıklı Kilimli Lisesinden mezun olduktan sonra 2007 yılında Ondokuz Mayıs Üniversitesi (OMÜ) Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümüne girdi. 2010 yılında lisans eğitimini tamamladıktan sonra aynı yıl Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı.

### **ADRES BİLGİLERİ**

Adres: Güney Mah. Lalegül Sok. Kilimli  
Merkez – ZONGULDAK

Tel: 05413694677

E-posta: cyhncucuk@hotmail.com