

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

FİZİK ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**İZMİT KÖRFEZİNDEKİ ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K VE ^{137}Cs SPESİFİK
AKTİVİTELERİNİN ÖLÇÜLMESİ**

İBRAHİM ÖKSÜZ

KOCAELİ 2016

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FİZİK ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

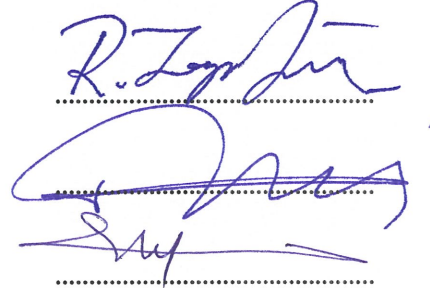
İZMİT KÖRFEZİNDEKİ ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K VE ^{137}Cs SPESİFİK
AKTİVİTELERİNİN ÖLÇÜLMESİ

İBRAHİM ÖKSÜZ

Doç.Dr. Recep Taygun GÜRAY
Danışman, Kocaeli Üniv.

Doç.Dr. Hayriye SUNDU PAMUK
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.

Yrd.Doç.Dr. Mehtap YALÇINKAYA
Jüri Üyesi, İstanbul Üniv.



Tezin Savunulduğu Tarih: 21.06.2016

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Kocaeli ve İzmit endüstriyel faaliyetler açısından ülkemizde ön sıralarda bulunduğundan çevre kirliliği bakımından da Türkiye ortalamasının üzerinde bulunmaktadır. Radyoaktif materyallerin bu kirlilikteki payının ne kadar olduğu hakkında yeterli bilgi bulunmamaktadır. Bu konuda son on yılda çalışmalar yapılmakla birlikte bu bilgi açığı henüz kapatılmış değildir. Bu tezin amacı İzmit körfezindeki radyoaktivite seviyelerinin kısmen belirlenerek bu konuda literatüre katkıda bulunmaktır.

Bu çalışmada benden yardımlarını esirgemeyen ve yardıma ihtiyaç duyduğum her konuda bana değerli fikirler veren değerli tez danışmanım R. Taygun GÜRAY'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Deney süresince ve tez yazımında bana daima yardımcı olan sevgili Caner YALÇIN'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

BAP 2014/022 numaralı "Yaşayan ve Yaşatan Kocaeli İçin Çevre Durum Analizi" adlı projenin yürütücüsü olan ve bu projenin hayata geçirilmesinde büyük emekleri olan değerli hocam Nalan Özkan GÜRAY'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma kapsamındaki deniz suyu ve sedimenti örneklerinin toplanması konusunda büyük emekleri olan sayın Halim Aytekin ERGÜL'e teşekkürlerimi sunarım.

Haziran - 2016

İbrahim ÖKSÜZ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ÖZET.....	viii
ABSTRACT	ix
GİRİŞ	1
1. LİTERATÜR ÖZETİ	2
2. TEMEL KAVRAMLAR.....	5
2.1. Doğal Radyasyonun Kökeni.....	5
2.1.1. Karasal-primordial radyasyon	6
2.1.2. Kozmik radyasyon.....	7
2.2. Doğal Radyoaktif Seriler.....	7
2.3. Yapay Radyasyon.....	10
2.4. Radyasyonun Sağlığa Etkisi	12
2.4.1. Radyasyon birimleri	14
2.5. Radyoaktivite.....	15
2.6. Radyoaktif Bozunma Yasası	16
2.7. Radyoaktif Denge.....	17
2.7.1. Kalıcı denge.....	19
2.7.2. Geçici denge.....	20
3. DENEYSEL YÖNTEM	22
3.1. Ölçüm Sahası ve Örneklerin Toplanması.....	22
3.2. Örneklerin Hazırlanması	23
3.2.1. Sediment örneklerinin hazırlanması	23
3.2.2. Su örneklerinin hazırlanması.....	24
3.3. Gama Spektroskopi Sistemi ve Kalibrasyonu	25
3.3.1. Detektör	26
3.3.2. Elektronik birim	27
3.3.3. Çıktı birimi ve yazılım	28
3.3.4. Soğutma sistemi ve zırhlama.....	28
3.3.5. Enerji kalibrasyonu	29
3.3.6. Detektör verimi	32
3.3.7. Fotopik verimi ve kalibrasyonu.....	34
3.4. Veri Analizi	37
3.4.1. Fotopik alanının belirlenmesi.....	37
3.4.2. Spesifik aktivite hesabı ve belirsizlik.....	40
4. SONUÇLAR ve TARTIŞMA	44
4.1. Sediment Örnekleri.....	44
4.2. Deniz Suyu Örnekleri	46
4.3. Tartışma.....	50
KAYNAKLAR	51

EKLER.....	54
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER	56
ÖZGEÇMİŞ	57



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Dünya doğal radyasyon dozuna katkı veren kaynakların oransal değerleri	6
Şekil 2.2.	^{238}U serisi	8
Şekil 2.3.	^{235}U serisi	9
Şekil 2.4.	^{232}Th serisi.....	10
Şekil 2.5.	Doğal ve yapay radyasyon kaynaklarının küresel radyasyon dozuna oransal katkıları	11
Şekil 2.6.	^{137}Cs 'nin β^- bozunması yaparak ^{137}Ba 'ye dönüşmesi.....	11
Şekil 2.7.	Küresel yapay radyasyon dozuna katkı veren kaynaklar	12
Şekil 2.8.	İyonlaştırıcı olan ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon tipleri.....	13
Şekil 2.9.	^{238}U izotopunun alfa parçacığı yayarak ^{234}Th izotopuna bozunması	16
Şekil 2.10.	Üstel bozunma yasasına göre radyoaktif çekirdek sayısının zamana göre değişimi	17
Şekil 2.11.	Ana, birincil ve ikincil ürün çekirdeklerin bulunduğu ardışık radyoaktif bozunma	18
Şekil 2.12.	^{132}I ile ^{132}Te arasındaki kalıcı dengenin kurulması	20
Şekil 2.13.	^{230}Th ile ^{234}U arasında geçici dengenin kurulması.....	21
Şekil 3.1.	İzmit Körfezi ve örneklerin alındığı noktalar	22
Şekil 3.2.	S5 noktasından alınan sediment örneği	24
Şekil 3.3.	S3 noktasında 10 metre derinlikten alınan su örneği	25
Şekil 3.4.	Ölçümlerde kullanılan HpGe detektörü	26
Şekil 3.5.	Gama spektroskopisi sisteminin şematik gösterimi	27
Şekil 3.6.	Gama Spektroskopi Sistemindeki Kompakt elektronik birim (ORTEC DSPEC jr 2.0-POSGE).....	27
Şekil 3.7.	Çıktı birimi olarak kullanılan bilgisayar	28
Şekil 3.8.	HpGe detektöründe artalan etkisini azaltmak için kullanılan zırh	29
Şekil 3.9.	Enerji kalibrasyon eğrisi	31
Şekil 3.10.	Radyoaktif bir kaynaktan yayınlanan fotonların detektör ile olası etkileşimleri.....	33
Şekil 3.11.	Kaynak-Detektör geometrisi.....	34
Şekil 3.12.	Standart kaynağın sayımı sonucu elde edilen spektrum	35
Şekil 3.13.	Verim kalibrasyon eğrisi.....	37
Şekil 3.14.	Gama ışınlarının madde ile etkileşimi	38
Şekil 3.15.	Artalan ve net fotopik alan.....	39
Şekil 4.1.	Sediment örneklerindeki ^{238}U 'in spesifik aktivitesi.....	44
Şekil 4.2.	Sediment örneklerindeki ^{232}Th 'nin spesifik aktivitesi	45
Şekil 4.3.	Sediment örneklerindeki ^{40}K 'in spesifik aktivitesi.....	45
Şekil 4.4.	Sediment örneklerindeki ^{137}Cs 'nin spesifik aktivitesi	45
Şekil 4.5.	Su örneklerindeki ^{238}U 'in spesifik aktivitesi	48
Şekil 4.6.	Su örneklerindeki ^{232}Th 'nin spesifik aktivitesi	49
Şekil 4.7.	Su örneklerindeki ^{40}K 'in spesifik aktivitesi	49

Şekil 4.8. Su örneklerindeki ^{137}Cs 'nin spesifik aktivitesi..... 49



TABLULAR DİZİNİ

Tablo 1.1. Sediment örneklerindeki doğal ve yapay radyoizotopların spesifik aktiviteleri ($Bqkg^{-1}$).....	2
Tablo 1.2. Sediment örneklerindeki ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K 'ın spesifik aktivite değerleri.....	3
Tablo 1.3. Sediment ve su örnekleri içerisindeki doğal ve yapay radyoizotopların spesifik aktiviteleri.....	4
Tablo 2.1. Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan ortalama radyasyon doz değerleri.....	15
Tablo 3.1. Sediment ve deniz suyu örneklerinin alındığı noktaların koordinatları.....	23
Tablo 3.2. Sediment ve Al_2O_3 kütleleri.....	24
Tablo 3.3. Deniz suyu örneklerinin ve eklenen HCL kütleleri.....	25
Tablo 3.4. Ölçümlerde kullanılan HpGe detektörünün özellikleri.....	26
Tablo 3.5. Zırlama için kullanılan maddeler ve kalınlıkları.....	29
Tablo 3.6. Enerji ve verim kalibrasyonunda kullanılan standart kaynağın içerisindeki izotoplar.....	30
Tablo 3.7. Enerji kalibrasyonu sonucu elde edilen kanal numaralarına karşılık enerji değerleri.....	32
Tablo 3.8. Gama ışını enerjisine göre hesaplanan ve fit işlemi sonucu elde edilen verim değerleri.....	37
Tablo 3.9. Aktivite hesabından kullanılan izotoplar.....	41
Tablo 4.1. Sediment örneklerindeki ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K , ^{137}Cs spesifik aktiviteleri.....	44
Tablo 4.2. S1 noktasından alınan su örneklerindeki ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K , ^{137}Cs spesifik aktiviteleri.....	46
Tablo 4.3. S2 noktasından alınan su örneklerindeki ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K , ^{137}Cs spesifik aktiviteleri.....	47
Tablo 4.4. S3 noktasından alınan su örneklerindeki ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K , ^{137}Cs spesifik aktiviteleri.....	47
Tablo 4.5. S4 noktasından alınan su örneklerindeki ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K , ^{137}Cs spesifik aktiviteleri.....	48
Tablo 4.6. S5 noktasından alınan su örneklerindeki ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K , ^{137}Cs spesifik aktiviteleri.....	48

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	: Aktivite
E	: Enerji
e^-	: Elektron
KN	: Kanal Numarası
ε	: Verim
I_γ	: Gama yayınlama olasılığı
Ω	: Katı açı
M	: Kütle
N	: Radyoaktif çekirdek sayısı
N_i	: i. Kanaldaki sayım
n	: Nötron
t	: Zaman
α	: Alfa parçacığı
ν_{e^-}	: Elektron nötrinosu
λ	: Bozunma sabiti
β	: Beta
γ	: Gama ışını
σ	: Belirsizlik

Kısaltmalar

Bg	: Background (Artalan)
Bq	: Becquerel
CS	: Compton Scattering (Compton Saçılması)
MDA	: Minimum Detectable Activity (Minimum Ölçülebilir Aktivite)
MeV	: Mega Elektron Volt
mSv	: mili Sievert
PE	: Photoelectric Effect (Fotoelektrik Etki)
PP	: Pair Production (Çift Oluşumu)
SA	: Spesifik Aktivite

İZMİT KÖRFEZİNDEKİ ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K VE ^{137}Cs SPESİFİK AKTİVİTELERİNİN ÖLÇÜLMESİ

ÖZET

Kocaeli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Programının BAP 2014/022 numaralı “Yaşayan ve Yaşatan Kocaeli İçin Çevre Durum Analizi” adlı projesi kapsamında çevresel kirleticilerin belirlenmesi amacıyla hava, deniz suyu ve deniz tabanı sedimentlerinde incelemeler yapılmıştır. Bu proje kapsamında Nükleer Fizik Araştırma Grubu olarak Kocaeli İzmit Körfezinin doğal ve ^{137}Cs radyoaktivite seviyesinin ölçülmesi amacı ile beş farklı noktadan deniz tabanı sedimenti ve deniz suyu örnekleri toplanmıştır. ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs 'nin spesifik aktiviteleri Kocaeli Üniversitesi Nükleer Fizik Araştırma Laboratuvarında bulunan Gama Spektroskopi Sistemi ile ölçülmüştür. Deniz tabanı sedimenti örneklerinin tümünde ^{40}K 'ın spesifik aktivitesi dünya ortalamasının üstünde bulunmuş, ancak ^{238}U ve ^{232}Th 'nin spesifik aktiviteleri dünya ortalamasının altında kalmıştır. Sediment örneklerinin tümünde ^{137}Cs 'nin varlığına rastlanmıştır. Deniz suyu örneklerin bazılarında spesifik aktivite değerleri ölçülebilir minimum aktivitenin altında kalmıştır.

Anahtar kelimeler: Deniz Suyu ve Sedimenti, Doğal Radyoaktivite, Gama Spektroskopisi, Spesifik Aktivite, ^{137}Cs .

MEASUREMENT OF SPESIFIC ACTIVITIES ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K AND ^{137}Cs AT IZMIT BAY

ABSTRACT

In the framework of Kocaeli University Scientific Research Program, under the project “ The analysis of environmental status of Kocaeli for a livable city” (Project No: BAP 2014/022) air, sea water and bottom sediment were analyzed in order to determine the level of environmental polluters. As a partner of this project, Nuclear Physics Research Group collected bottom sediment and sea water samples from five different locations from the İzmit Bay in order to natural and ^{137}Cs radioactivity levels. The specific activities of ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K and ^{137}Cs were measured using the Gamma Spectroscopy system in our Nuclear Physics Research Laboratory. While ^{40}K specific activities in all sediment samples were measured higher than the world mean value, the specific activities of ^{238}U and ^{232}Th were found lower than the world mean values. The existence of ^{137}Cs was observed in all sediment samples. The specific activities in some sea water samples were found to be lower than the minimum detectable activity.

Key words: Sea Water and Bottom Sediment, Natural Radioactivity, Gamma Spectroscopy, Specific Activity, ^{137}Cs .

GİRİŞ

Tüm canlılar yaşamları süresince sürekli radyasyona maruz kalırlar. Bu radyasyonun kökeni doğal olabileceği gibi, yapay da olabilmektedir. Radyasyonun canlı üzerindeki etkisi göz önünde bulundurulduğunda, bir yaşam alanında ki radyasyon dozunun belirlenmesi, bu yaşam alanı içinde bulunan canlılar için büyük bir önem teşkil etmektedir. Nükleer bomba denemeleri veya nükleer kazalar gibi olağan dışı durumlarda, radyoaktif kirlenmenin boyutunun ne derece olduğunu belirlemek için söz konusu bölgede daha önce yapılan ölçümler referans alınabilir.

Deniz ekosistemi bir yaşam alanıdır ve içerisinde barındırdığı canlılar hem deniz tabanından gelen hem de su içerisinde var olan radyoaktif izotoplar nedeniyle belirli bir radyasyona maruz kalır. İzmit Körfezinde balıkçılık yapılmaktadır ve balıkçılık belirli bir bölgede yoğunlaşmaktadır. Bununla beraber Körfezin hemen her noktasında balıkçılık yapılabilmektedir. Son tüketici olan insan bazında bakıldığında Körfezdeki doğal ve yapay radyasyona, bölgede yaşayan halk dolaylı olarak maruz kalmaktadır. Kocaeli ili genel olarak bölgede sanayinin yoğunlaştığı bir ildir. Özellikle Körfez kıyısında yoğun bir fabrikalaşma görülmekte ve bu fabrikaların atıkları Körfezi hem kimyasal hem de radyoaktif olarak kirletmektedir.

Bu çalışmanın ana amacı İzmit Körfezde deniz tabanı sedimenti ve deniz suyu radyasyon seviyesi ile ilgili genel bir durum analizi yapmaktır. Bununla beraber bu çalışmanın sonuçları yukarıda açıklandığı gibi olası bir nükleer kazanın boyutlarını belirlemede referans olarak kullanılabilir.

1. LİTERATÜR ÖZETİ

İzmit Körfezinde 2013 yılında yapılan doğal ve yapay radyoaktivite konsantrasyonu ölçümünde, körfezin doğu kısmından alınan sediment örneklerindeki spesifik aktivite değerleri Tablo 1.1’de verilmiştir.

Tablo 1.1. Sediment örneklerindeki doğal ve yapay radyoizotopların spesifik aktiviteleri (Bqkg-1) [1]

Örnekleme Noktası	¹³⁷ Cs	⁴⁰ K	²²⁶ Ra	²²⁸ Ra
D73	79 ± 4	703 ± 37	15 ± 1	31 ± 3
D74	48 ± 3	551 ± 29	11 ± 1	24 ± 2
D76	24 ± 2	506 ± 27	12 ± 1	13 ± 2
D82	24 ± 1	501 ± 26	12 ± 1	18 ± 2

²²⁶Ra ve ²²⁸Ra izotopları sırası ile ²³⁸U ve ²³²Th bozunma serilerinin üyeleridir. Yapılan bu çalışmada bu izotopların spesifik aktiviteleri ²³⁸U ve ²³²Th’nin spesifik aktivite değerine karşılık gelmektedir.

Tayland körfezinin üst kısmı boyunca 2010 ile 2011 yılları arasında deniz sedimenti içerisindeki ağır metal ve radyoizotop ölçümü yapılmıştır. Ölçümler Gama spektroskopisi yöntemi ile yapılmış ve HpGe detektör kullanılmıştır. Çalışma sonucu elde edilen ²³⁸U, ²³²Th ve ⁴⁰K’ın spesifik aktivite değerleri Tablo 1.2’de verilmiştir.

Tablo 1.2. Sediment örneklerindeki ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K 'ın spesifik aktivite değerleri [2]

Örnekleme Noktası	İzotop	Spesifik Aktivite (Bq/kg)			Ortalama \pm SS
		Yağmurlu mevsim 2010	Kış 2010	Yaz 2011	
1	^{238}U	38	56	66	53 ± 7
	^{232}Th	63	86	92	80 ± 7
	^{40}K	524	572	589	562 ± 16
2	^{238}U	14	19	27	20 ± 3
	^{232}Th	14	19	23	19 ± 2
	^{40}K	977	954	223	718 ± 202
3	^{238}U	128	22	41	63 ± 27
	^{232}Th	208	25	23	85 ± 50
	^{40}K	986	649	628	754 ± 95
4	^{238}U	66	73	30	56 ± 11
	^{232}Th	95	110	39	81 ± 18
	^{40}K	443	556	481	493 ± 27
5	^{238}U	18	20	20	$19 \pm 0,5$
	^{232}Th	18	22	24	22 ± 1
	^{40}K	99	120	132	117 ± 8
6	^{238}U	24	26	33	29 ± 6
	^{232}Th	28	30	37	27 ± 6
	^{40}K	151	153	184	494 ± 14
7	^{238}U	24	26	33	27 ± 2
	^{232}Th	28	30	37	31 ± 2
	^{40}K	151	153	184	163 ± 9
8	^{238}U	37	45	41	41 ± 2
	^{232}Th	41	53	49	48 ± 3
	^{40}K	287	381	366	345 ± 24
9	^{238}U	37	69	42	49 ± 8
	^{232}Th	48	78	50	58 ± 8
	^{40}K	547	817	700	688 ± 64
10	^{238}U	45	40	75	54 ± 9
	^{232}Th	40	38	62	47 ± 6
	^{40}K	409	379	401	396 ± 7
Ortalama \pm SS	^{238}U	44 ± 10	41 ± 6	39 ± 6	
	^{232}Th	59 ± 17	50 ± 19	41 ± 7	
	^{40}K	463 ± 94	484 ± 83	472 ± 81	

*SS: Standart Sapma

Adriyatik denizinde doğal ve yapay radyoizotopların belirlenmesi amacı ile 2007 ile 2011 yılları arasında on bir deniz tabanı sedimenti ve on deniz suyu örneği toplanmıştır. Toplanan örneklerdeki ^{40}K , ^{137}Cs , ^{226}Ra , ^{228}Ra ve ^{238}U radyoizotopların spesifik aktiviteleri gama spektroskopisi kullanılarak ölçülmüştür. Tablo 1.3

sediment ve su örnekleri içerisindeki bu radyoizotopların aktivite değerlerinin değişim aralıklarını göstermektedir.

Tablo 1.3. Sediment ve su örnekleri içerisindeki doğal ve yapay radyoizotopların spesifik aktiviteleri [3]

	Spesifik Aktivite (Bq/kg)				
	⁴⁰ K	¹³⁷ Cs	²²⁶ Ra	²²⁸ Ra	²³⁸ U
Deniz suyu	6063–10519	1,6–3,8	23–31	1–25	64–490
Sediment	87–593	0,8–7,3	18–35	4–29	14–120

Bengal körfezinde deniz suyundaki ²²²Rn, ²²⁶Ra ve ²²⁸Ra konsantrasyonlarının belirlenmesi amacıyla 1995 ile 1996 yılları arasında körfezin nehir ağzı, kıyı şeridi ve açık deniz bölgelerinden alınan su örnekleri üzerinde ölçümler yapılmıştır. Burada ²²⁶Ra ve ²²⁸Ra konsantrasyonları sırası ile ²³⁸U ve ²³²Th konsantrasyonlarına karşılık gelmektedir. Çalışmada ²²⁸Ra'nın aktivitesinin en yüksek değeri 5,4 metre derinlikte ölçülürken en düşük değeri 20,2 metre derinlikte ölçülmüştür. Ortalama ²²⁸Ra aktivitesi nehir ağzında $4,4 \pm 1,0$, kıyı şeridinde $4,8 \pm 1,7$ ve açık denizde $4,3 \pm 1,0$ mBq⁻¹ olarak ölçülmüştür. ²²⁶Ra'nın aktivitesi 5,4 ile 29,0 mBq⁻¹ arasında değiştiği gözlenirken nehir ağzındaki aktivite değeri $16,1 \pm 4,6$, kıyı şeridinde $14,9 \pm 7,9$, açık denizde ise $13,2 \pm 7,3$ mBq⁻¹ olarak tespit edilmiştir [4].

2. TEMEL KAVRAMLAR

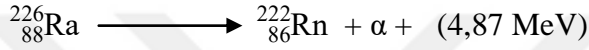
2.1. Doğal Radyasyonun Kökeni

Büyük patlamadan hemen sonra kütlece %75 oranında Hidrojen, yaklaşık % 25 oranında Helyum ve eser miktarda Lityum, Berilyum ve bazı radyoaktif hafif çekirdekler oluşmuştur [5]. Bu çekirdekler zaman içerisinde yıldızların merkezlerinde daha ağır çekirdeklere dönüşmüş ve süpernova patlamaları sırasında oluşan radyoaktif çekirdekler ile birlikte uzaya dağılmıştır.

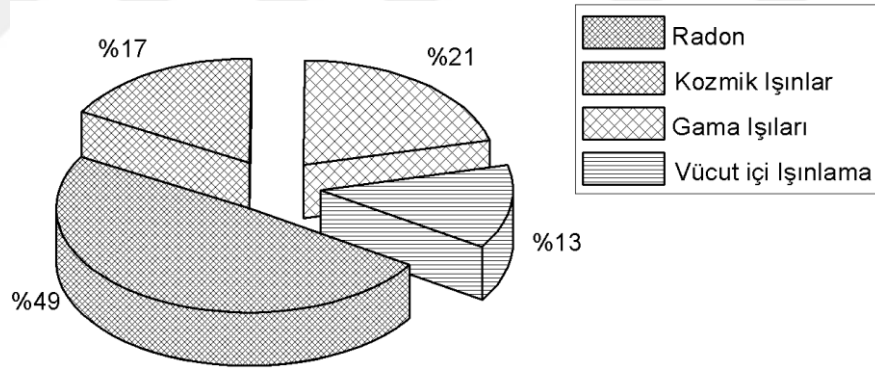
Güneş sistemi ve içinde barındırdığı gezegenler uzayın büyük bir bölgesine yayılmış gaz ve toz bulutunun kütle çekimi etkisi altında çökmesi sonucu oluşmuştur. Gaz ve toz bulutunun içinde barındırdığı radyoaktif çekirdekler bu sistemdeki gezegenlerin ve dolayısıyla dünyanın yapısına katılmıştır. Bu radyoaktif çekirdekler bozunmalar sonucu yayınladıkları parçacık ve ışınlar ile doğal radyasyonun önemli bir kısmını oluştururlar. Diğer bir kısmı ise Güneş’de süregelen patlamaların uzaya yüksek enerjili parçacıklar püskürtmesi ile oluşmaktadır. Dünyanın sahip olduğu manyetik alan yüksek enerjili yüklü parçacıklar için bir kalkan görevi görmekte ve parçacıkları kuzey ve güney kutup noktalarına doğru yönlendirerek parçacıkların büyük bir kısmının insan nüfusunun çoğunlukta olduğu bölgelere ulaşmasını engellemektedir [6]. Ayrıca atmosferin, dış uzaydan gelen yüklü parçacık ve yüksek enerjili ışınların soğurulup, enerji kaybetmelerinde ve böylece yeryüzüne ulaşmalarının engellenmesinde büyük bir payı vardır. Bu nedenle atmosferde alt katmanlara doğru inildikçe bu parçacıklardan kaynaklı doğal radyasyon dozunda bir azalma meydana gelmektedir [7]. Bununla beraber, derin uzayda meydana gelen süpernova ve gama ışını patlamaları gibi yüksek enerjili patlamaların oluşturduğu yüksek enerjili ışın ve parçacıkların (kozmetik ışınlar) dünyaya ulaşması, doğal radyasyon dozuna azda olsa bir katkı yapar [8].

2.1.1. Karasal-primordial radyasyon

Karasal radyasyonun kaynağı Bölüm 2.1.'de belirtildiği gibi dünyanın oluşum süreci içerisinde yapısına katılmış radyoaktif çekirdeklerdir. Bu radyoaktif çekirdeklerden bazıları Kesim 2.2.'de incelemek olan doğal radyoaktif seriler oluşturmaktadır. Doğal radyoaktif serilerde, kararlı Kurşun izotopuna kadar olan bütün bozunma ürünleri radyoaktiftir ve karasal radyasyona katkıda bulunurlar. Karasal radyasyona en büyük katkı ise ^{238}U doğal radyoaktif serisinin bir üyesi olan ve aynı zamanda bir alfa kaynağı olan (^{222}Rn) radon izotopundan gelmektedir. ^{222}Rn izotopu ^{226}Ra izotopunun bir alfa parçacığı yayınlaması ile oluşur.



Dünya ortalama etkin doğal radyasyon dozu olan yıllık 2,4 mSv' in 1,26 mSv'lik kısmı radon-222 kaynaklıdır ve bu değer, radon gazı konsantrasyonuna bağlı olarak artabilmektedir [9]. Doğal radyasyon dozuna katkı veren kaynaklar Şekil 2.1'de verilmektedir.



Şekil 2.1. Dünya doğal radyasyon dozuna katkı veren kaynakların oransal değerleri [10]

Doğal radyasyon dozuna katkı veren bir başka radyoaktif izotop yarılanma ömrü $1,248 \times 10^9$ yıl olan ^{40}K izotopudur. Dünyanın oluşum sürecinde yapısına katılmış olan ^{40}K izotopu bir gama kaynağıdır ve yapı malzemelerindeki varlığı nedeniyle canlıları dıştan ışınlar, besinlerdeki varlığı ile canlıları içten ışınlar.

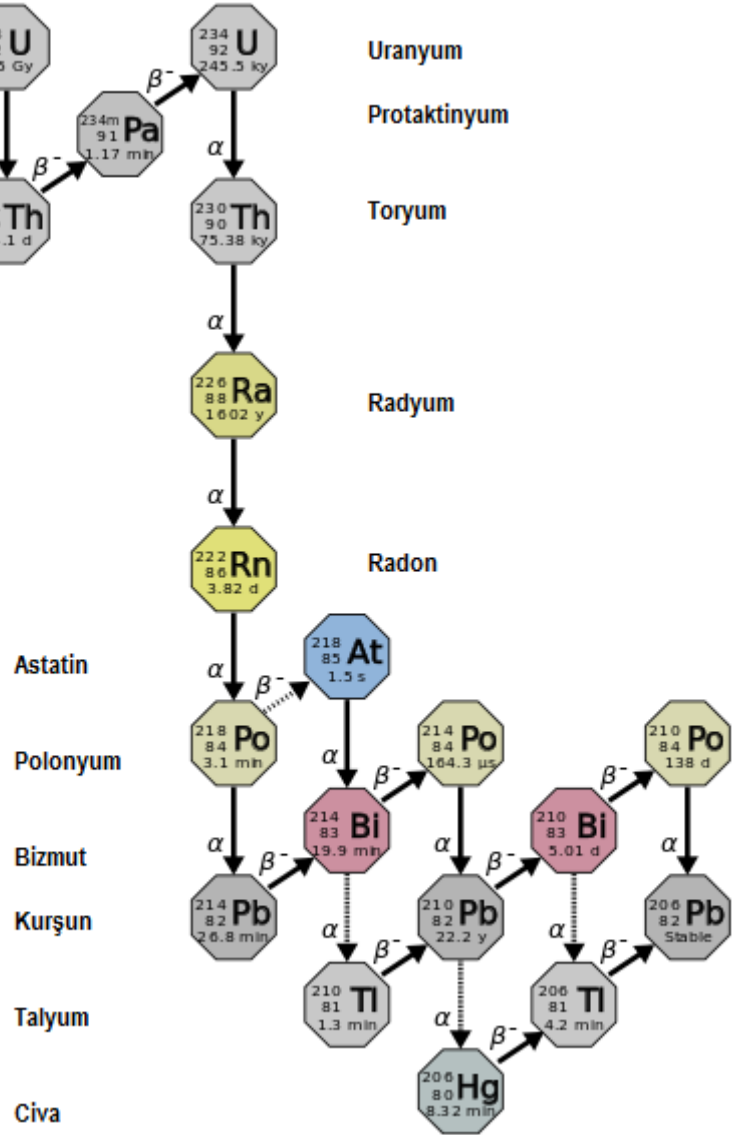
Radon-222 ve Potasyum-40 izotoplarına ek olarak, doğal bozunma serilerindeki diğer üyelerin parçalanmalarıyla ortaya çıkan gama ışınları, alfa ve beta parçacıkları karasal radyasyon dozuna az da olsa katkıda bulunurlar [11].

2.1.2. Kozmik radyasyon

Dünya dış uzaydan gelen sürekli bir radyasyona maruz kalmaktadır. Güneş’de meydana gelen patlamaların uzaya püskürttüğü yüksek enerjili protonlar ve gama ışınları bu radyasyona katkıda bulunurlar. Atmosferin üst katmanlarında kozmik ışın yoğunluğu, gama ışınlarının büyük bir kısmının atmosferin iç katmanlarına doğru yol alırken atmosferdeki diğer parçacıklar tarafından soğurulması nedeniyle, alt katmanlardaki kozmik ışın yoğunluğundan daha fazladır. Bu nedenle atmosferde yükseldikçe maruz kalınan radyasyon dozu artar. Bununla beraber protonlar elektriksel olarak yüklü parçacıklar olduğundan dünyanın manyetik alanı tarafından saptırılırlar ve kutup noktalarına yönlendirilirler. Bu nedenle ekvatordan kutuplara gidildikçe kozmik ışın kaynaklı doğal radyasyon dozu artar [10]. Atmosferin alt katmanlarına ulaşan yüksek enerjili protonlar ise, burada atmosferdeki diğer atom çekirdekleri ile nükleer reaksiyona girerek radyoaktif izotoplar oluştururlar. Örneğin uzaydan gelen kozmik ışınlar atmosferdeki elementleri parçalayıp nötron üretir ve bu nötronlar ^{14}N ile reaksiyona girerek ^{14}C üretir. ^{14}C radyoaktif bir izotoptur ve canlılar tarafından alınır ve böylelikle canlıları içten ışınlar. ^{14}C aynı zamanda yaş tayini için kullanılır. Canlının ölümü ile canlı tarafından Karbon alımı durur. Örnek içerisinde ^{12}C miktarı zaman içerisinde sabit kalırken ^{14}C bozunmaya devam eder. ^{14}C ile ^{12}C arasındaki kütlece oran örneğin yaşının belirlenmesinde kullanılır. Kozmik ışınların yıllık etkin doğal radyasyon dozuna olan katkısı 0,39 mSv’dir [12].

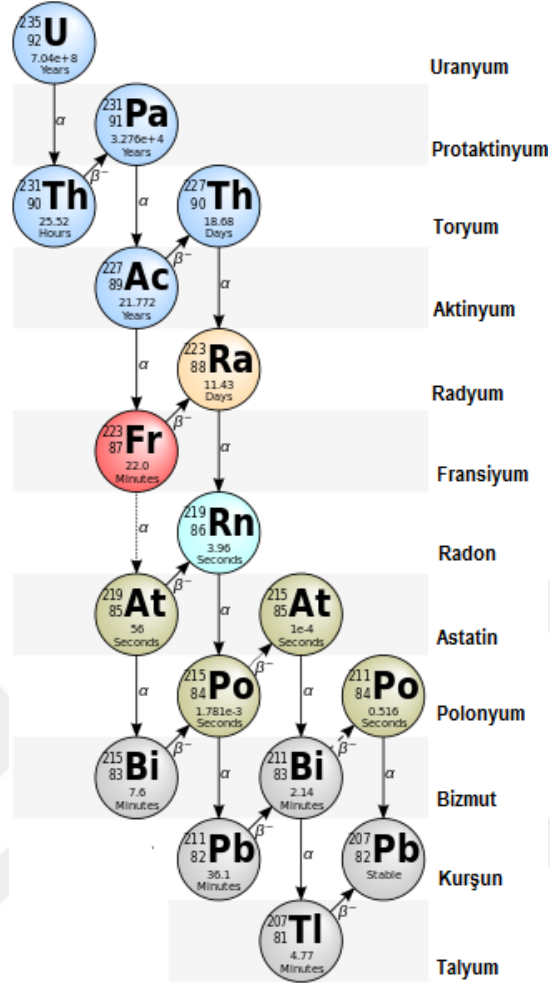
2.2. Doğal Radyoaktif Seriler

Dünyanın yaklaşık 4,5 milyar yıllık yaşı göz önünde bulundurulduğunda, doğal radyasyonun varlığı, dünyanın oluşum süreci içerisinde yapısına girmiş olan radyoaktif çekirdeklerin yarı ömrünün dünyanın yaşı ile kıyaslanabilir büyüklükte olması sonucunu doğurmuştur.

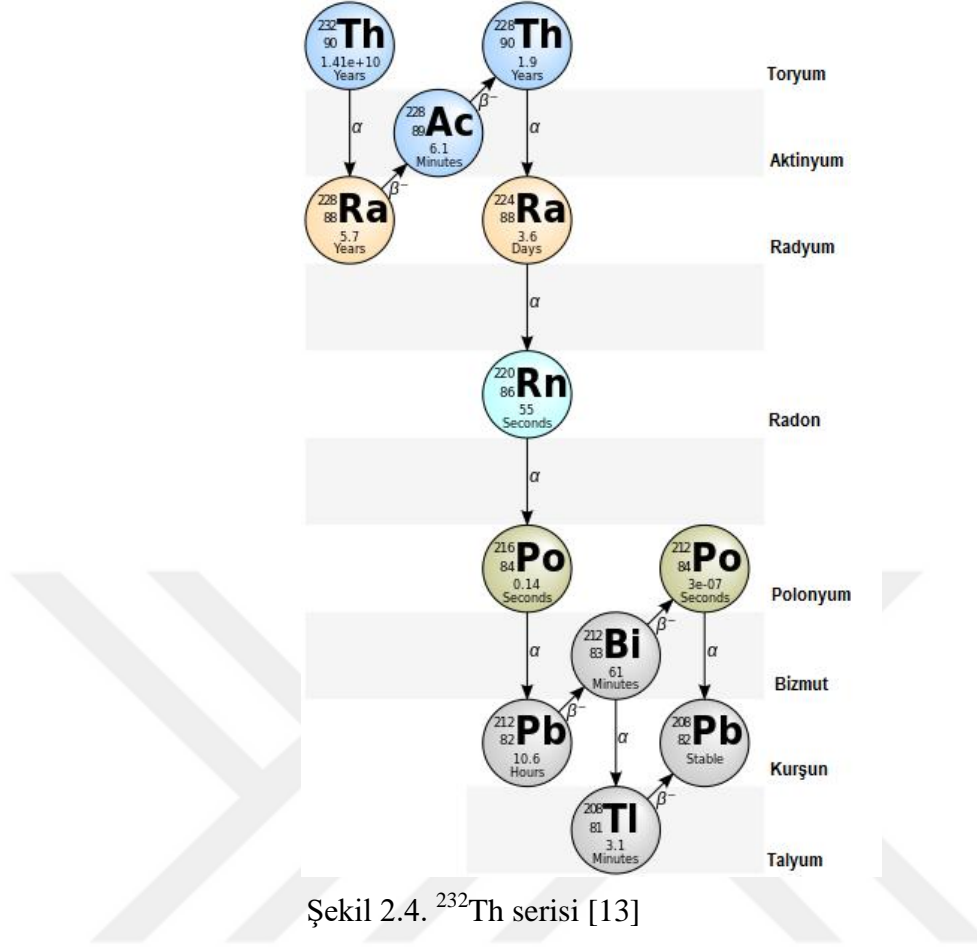


Şekil 2.2. ^{238}U serisi [13]

Dünyanın oluşum süreci içerisinde yapısına katılmış, yarı ömürleri diğer radyoaktif izotoplara göre oldukça uzun olan ^{235}U , ^{238}U , ^{232}Th ve ^{237}Np izotopları ve bu izotopların bozunma ürünleri, radyoaktif serileri oluşturur ve bu serilere “doğal radyoaktif seriler” denir. Bu serilerden ilk üçü, ^{235}U , ^{238}U ve ^{232}Th ’nin yarı ömürleri dünyanın yaşı ile kıyaslanabilir büyüklüktedir. Fakat ^{237}Np serisinde bulunan izotoplar dünyanın yapısında bulunmaz. Bunun nedeni, serinin en uzun ömürlü izotopu olan ve aynı zamanda seriye ismini veren ^{237}Np izotopunun yarı ömrünün dünyanın yaşına kıyasla çok küçük olmasıdır. Neptünyum serisinin son üyesi kararlı bir izotop olan ^{209}Bi ’ dir. Diğer seriler ise kurşunun kararlı bir izotopunda son bulmaktadır.



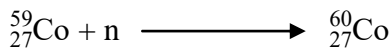
Şekil 2.3. ^{235}U serisi [13]



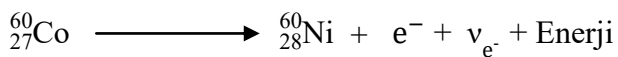
Şekil 2.4. ^{232}Th serisi [13]

2.3. Yapay Radyasyon

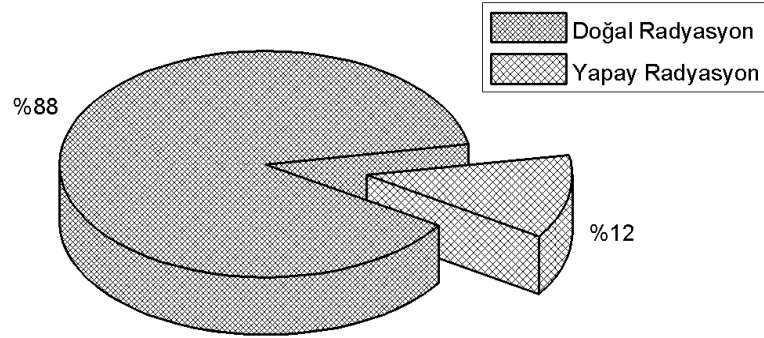
Doğada kararlı halde bulunan izotoplar nükleer reaksiyonlar ile kararsız izotoplara dönüştürülebilir. Bu kararlı izotopların belirli enerjilerdeki yüklü ve yüksüz parçacıklar ile bombardıman edilmesi ile elde edilir ve böylece yapay radyoaktiflik gerçekleştirilmiş olur. Oluşan yeni radyoizotop bozunur ve yayınlamış olduğu alfa, beta gibi parçacıklar veya gama ışını gibi yüksek enerjili elektromanyetik dalgalar sayesinde küresel radyasyon dozunu artırır. Yapay bir radyoizotop olan ^{60}Co , kararlı bir izotop olan ^{59}Co 'un nükleer reaktörlerde termal nötron ile bombardıman edilmesiyle oluşur.



Oluşan ^{60}Co , β^- bozunması yaparak ^{60}Ni izotopuna dönüşür.

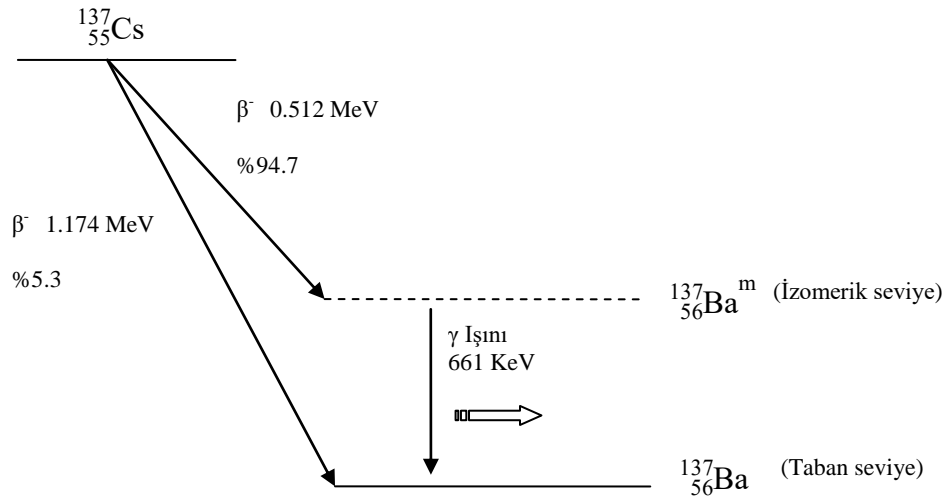


Yapay radyasyon kaynaklarından alınan yıllık etkin doz doğal kaynaklardan alınan yıllık etkin doza kıyasla düşüktür. Şekil 2.5 doğal ve yapay radyasyon kaynaklarının küresel radyasyon dozuna oransal katkılarını göstermektedir.



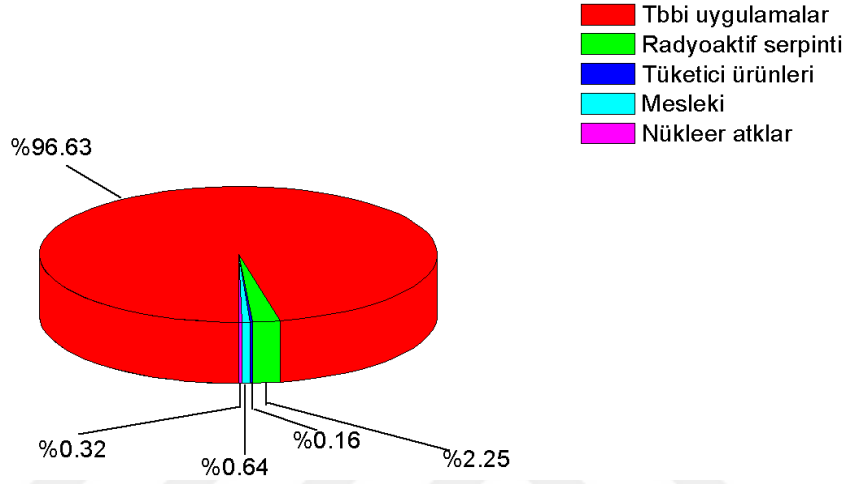
Şekil 2.5. Doğal ve yapay radyasyon kaynaklarının küresel radyasyon dozuna oransal katkıları [14]

Nükleer reaktörlerde ^{235}U 'in fisyonunun yan ürünleri olan ^{137}Cs ve ^{90}Sr , üretilen diğer radyoizotoplara kıyasla daha uzun yarı ömürlü olmaları dolayısı ile uzun dönemli etkiler açısından tehlike arz etmektedirler. Bu izotoplardan özellikle ^{137}Cs 30,08 yıllık yarı ömrü ile doğada oldukça uzun süre aktivitesini koruyabilmesinin yanında canlı organizmalar tarafından hücrelerde elektrolit olarak kullanılmak üzere potasyum yerine alınabilir. Böylece ^{137}Cs besin zincirine girmiş olur ve canlıları içten ışınyabilir [15,16]. ^{137}Cs β^- bozunması yaparak ^{137}Ba dönüşür ve beraberinde iyonize edici elektronlar ve gama ışınları açığa çıkar. Şekil 2.6 ^{137}Cs 'nin ^{137}Ba 'ye bozunumunu göstermektedir.



Şekil 2.6. ^{137}Cs 'nin β^- -bozunması yaparak ^{137}Ba 'ye dönüşmesi [17]

Nükleer bomba denemeleri ve nükleer kazalar sonucu çevreye yayılan ^{137}Cs ve ^{90}Sr gibi yapay radyoizotopların yanında, tıbbi, zirai ve endüstriyel amaçlı kullanılan X ışınları, madencilik faaliyetleri ve yapay radyoaktif maddeler küresel radyasyon dozunu arttıran başlıca yapay radyasyon kaynaklarıdır [10]. Yapay radyasyon kaynaklarının küresel yapay radyasyon dozuna katkılarının oransal değerleri Şekil 2.7’de gösterilmektedir.

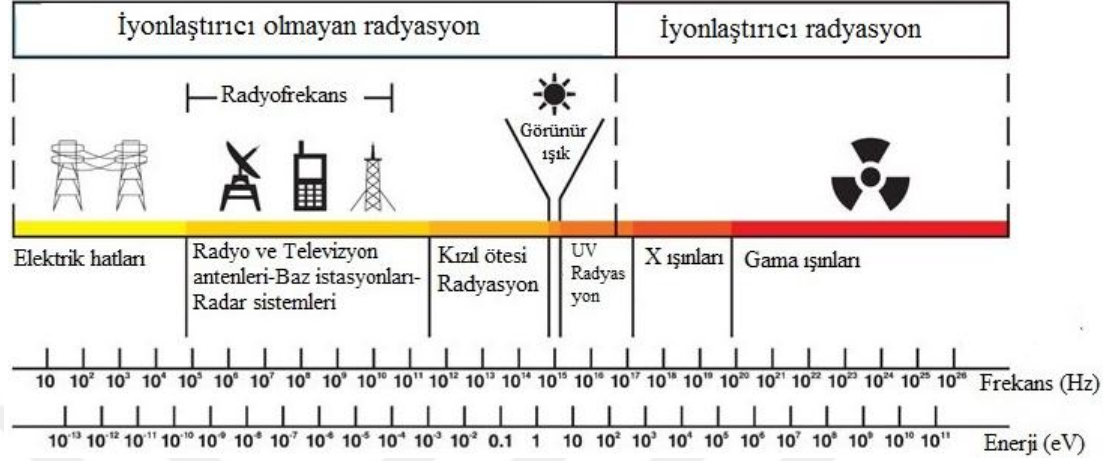


Şekil 2.7. Küresel yapay radyasyon dozuna katkı veren kaynaklar [10]

2.4. Radyasyonun Sağlığa Etkisi

Canlılar yaşamları süresince bir radyasyon denizi içerisinde yaşamaktadırlar. Bu radyasyon denizi içerisinde, sağlığa etkisi açısından iyonlaştırıcı olan ve iyonlaştırıcı olmayan olmak üzere iki çeşit radyasyon türü vardır. Vücuttaki hücreler tarafından soğurulduğunda iyon oluşturmeyen radyasyona iyonlaştırıcı olmayan radyasyon denilmektedir. Görünür ışık, mikrodalgalar ve radyo dalgaları iyonlaştırıcı olmayan radyasyon çeşidine örnektir ve bunlar hücredeki atomun elektronlarını atomdan kopartabilecek kadar enerjiye sahip olmayan elektromanyetik dalgalardır. İyonlaştırıcı radyasyon ise vücut hücreleri tarafından soğurulduğunda iyon oluşturan radyasyon çeşididir. Alfa (Helyum çekirdeği) ve Beta (elektron, pozitron) gibi parçacıklar, X ışınları ve Gama ışınları gibi yüksek enerjili elektromanyetik dalgalar bu tür radyasyona örnektir ve insan sağlığı açısından büyük bir önem teşkil etmektedir. İyonlaştırıcı radyasyon, hücrenin genetik materyali olan DNA’da bilgi kaybına neden olur ve bu bilgi kaybı hücrede mutasyona neden olarak kansere yakalanma riskini artırır [18]. Bu nedenle iyonlaştırıcı radyasyonun tespiti ve

ölçümü, canlıların yaşam kalitesini ve uzunluğunun artırılması açısından önem arz etmektedir. Şekil 2.8’de iyonlaştırıcı olan ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon tiplerini ve olası kaynakları görülmektedir.



Şekil 2.8. İyonlaştırıcı olan ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon tipleri [19]

İyonlaştırıcı radyasyonun büyük bir kısmı doğal çevreden, geri kalan kısmı ise tıbbi çalışmalar, nükleer denemeler ve nükleer kazalar gibi yapay kaynaklardan gelmektedir. Özellikle ¹³⁷Cs izotopu doğal radyoaktif bozunma serilerinin bir ürünü değildir ve ancak nükleer denemeler veya nükleer kazalar sonucu oluşabilir. Canlının maruz kaldığı radyasyon dozunun büyüklüğü birçok etken tarafından belirlenir. Yaşanılan yerin deniz seviyesine göre yüksekliği, toprak ve yapı malzemelerinin karışımı, radon gazı konsantrasyonu, yiyecek ve içme sularındaki radyo izotop konsantrasyonu, yaşanılan yerin iklimi ve kutuplara olan uzaklık bu etkenlerden bazılarıdır [20].

Kesim 2.3.1.’de belirtildiği gibi ²³⁸U serisinin bir üyesi olan ²²²Rn, doğal radyasyon dozuna en büyük katkıyı veren ve bu nedenle canlılar için en büyük riski oluşturan radyoaktif izotoptur. Radon renksiz, kokusuz, tatsız bir soy gazdır. Doğada gaz formunda bulunduğundan, oluşması ile birlikte dünyanın iç katmalarından yüzeye doğru çıkmaya başlar. Hareketi esnasında, bir kısmı yolu üzerinde bulunan doğal su kaynaklarında çözünür, diğer bir kısmı ise yüzeye ulaşarak kapalı mekânlarda birikir ve solunum yolu ile insanları içten ışınlar.

2.4.1.Radyasyon birimleri

Aktivite birimi, SI birim sisteminde Bequerel olarak verilir. Bir bequerel saniyede bir parçalanma yapan çekirdeğin aktivitesi olarak tanımlanır. Kullanılan diğer radyasyon birimleri aşağıda açıklanmıştır [21].

Işınlama birimi;

Özel birimi Röntgen olan ışınlama birimi, normal şartlar altında havanın bir kilogramında 2.58×10^{-4} Coulomb'luk pozitif ve negatif elektriksel yük oluşturan X ve gama ışını miktarıdır. SI birim sisteminde ışınlama birimi Coulomb/kg olarak verilir.

Soğurulma Doz Birimi;

SI birim sisteminde soğurulma doz birimi Gray olarak verilir ve ışınlanan maddenin bir kilogramına bir Joule'lük enerji aktaran radyasyon miktarı olarak tanımlanır. Soğurulma dozunun özel birimi Rad'dır ve ışınlanan maddenin bir kilogramına 10^{-4} jolule'lük enerji veren radyasyon miktarıdır.

Doz Eşdeğer Birimi;

Soğurulan radyasyon parçacık veya dalga formunda olabilir ve soğurulan radyasyon enerjisi her iki form içinde eşit olabilir fakat canlı dokuda bıraktıkları biyolojik etkiler farklı olabilir. Örnek olarak 1 Rad'lık alfa parçacıkları, 1 Rad'lık gama ışınlarına göre yirmi kat daha fazla zararlıdır. Bunun nedeni alfa parçacıklarının elektriksel olarak yüklü olması ve madde ile elektromanyetik olarak etkileşmesi nedeniyledir [22]. SI birim sisteminde Doz Eşdeğer Birimi Sievert olarak verilir ve bir Gray'lık X veya Gama ışını ile aynı biyolojik etkiyi meydana getiren radyasyon miktarı olarak tanımlanır [21]. Tablo 2.1 Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan ortalama radyasyon doz değerlerini vermektedir.

Tablo 2.1. Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan ortalama radyasyon doz değerleri [10]

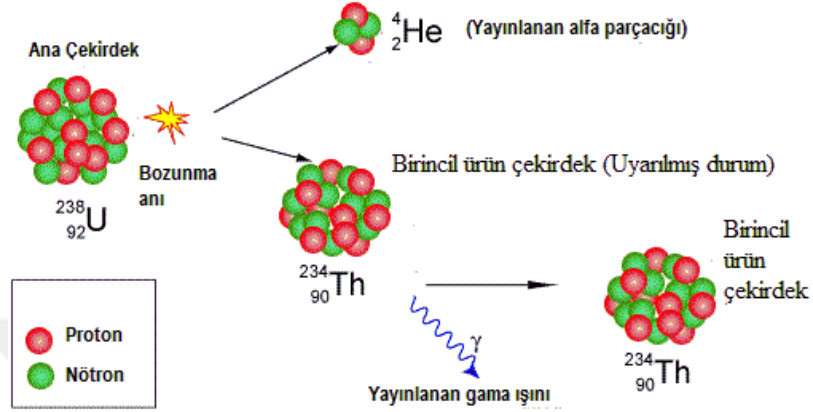
İŞINLAMA KAYNAĞI	Yıllık Etkin Doz Değeri (mSv)	
Ortalama		Değişim aralığı
KOZMİK RADYASYON		
• Foton bileşeni	0,28	
• Nötron bileşeni	0,10	
KOZMOJENİK RADYOİZOTOPLAR	0,01	
Toplam	0,39	0,3 – 1,0
YERYÜZÜ KAYNAKLI DIŞ		
• Bina dışı	0,07	
• Bina içi	0,41	
Toplam	0,48	0,3 – 0,6
SOLUNUM YOLU İLE İŞINLANMA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

2.5. Radyoaktivite

Atom çekirdeği artı yüklü proton ve yüksüz nötrondan oluşur. Artı yüklü protonlar birbirlerine elektrostatik itme uygularlar. Bununla birlikte, çekirdek güçlü nükleer kuvvet sayesinde parçalanmadan bir arada kalabilir. Fakat çekirdekteki proton sayısı ile nötron sayısı arasındaki oran belli bir değerin üstüne çıktığında, elektrostatik itme kuvveti güçlü nükleer kuvvete baskın hale gelir ve çekirdek kararsız bir duruma geçer.

Radyoaktivite, kararsız bir atom çekirdeğinin alfa (helyum çekirdeği), beta (elektron-pozitron) gibi parçacıklar veya elektromanyetik dalga (gama ışınları) yayarak kararlı hale geçmesi olayıdır. Çekirdeğin kararlı hale geçmesi için yayımlayacağı parçacık ve yayınlaması için gereken süre çekirdeğe özgüdür ve çekirdeğin ne kadar kararsız olduğu ile yakından ilişkilidir. Bozunma olayı kuantum yasalarınca yönetilir ve

tamamı ile olasılıksaldır. Şekil 2.9'da ^{238}U izotopunun alfa parçacığı (helyum çekirdeği) yayınlarak ^{234}Th izotopuna bozunması gösterilmiştir. Bozunma sonucunda ^{234}Th izotopu uyarılmış durumdadır ve en düşük enerjili taban durumuna geçmek için bir gama ışını yayınlar.



Şekil 2.9. ^{238}U izotopunun alfa parçacığı yayarak ^{234}Th izotopuna bozunması [23]

2.6. Radyoaktif Bozunma Yasası

Çevresi ile izole edilmiş bir yerde bulunan N tane radyoaktif çekirdeğin dt süresi içinde bozunan dN çekirdek sayısı N ile orantılıdır ve bu durum Denklem (2.1)'de gösterildiği gibi verilir.

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

Buradaki ifadeye bir orantı sabiti eklendiğinde birinci derece diferansiyel denklem elde edilir ve Denklem (2.2)'deki gibi verilir.

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

Burada; orantı sabiti, lamda (λ) bozunma sabitidir ve çekirdeğin bozunma olasılığının bir ölçüsüdür.

$t=0$ anında $N=N_0$ olarak alınır,

Denklem (2.2)'nin çözümü ile radyoaktif bozunmanın üstel yasa elde edilir ve Denklem (2.3)'deki gibi verilir.

$$N(t)=N_0e^{-\lambda t} \quad (2.3)$$

Radyoaktif N_0 tane çekirdeğin sayısının yarıya düşmesi için geçen süre $t_{1/2}$ olarak alınırsa

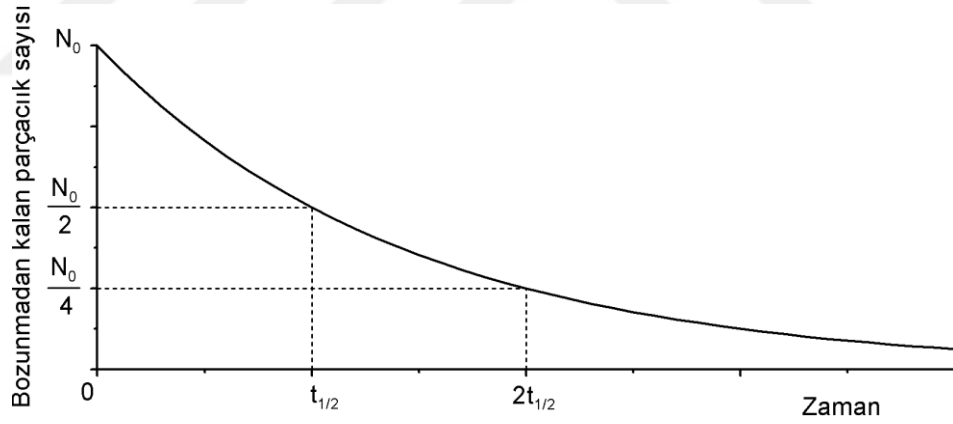
$$t=t_{1/2} \quad (2.4)$$

$$N(t_{1/2})=\frac{1}{2}N_0 \quad (2.5)$$

Denklem (2.4) ve (2.5), (2.3) denkleminde yerine konulduğunda, λ bozunma sabiti Denklem (2.6)'daki gibi elde edilir.

$$\lambda=\frac{\ln 2}{t_{1/2}} \quad (2.6)$$

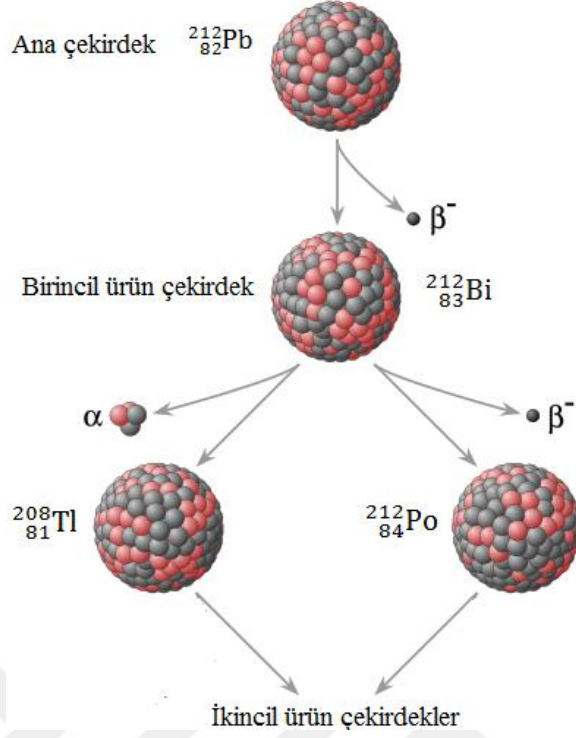
Şekil 2.10, $t=0$ anında N_0 tane radyoaktif çekirdeğin zaman ilerledikçe, bozunmadan kalan miktarını göstermektedir.



Şekil 2.10. Üstel bozunma yasasına göre radyoaktif çekirdek sayısının zamana göre değişimi

2.7. Radyoaktif Denge

Bir radyoaktif bozunma olayında, ürün çekirdek de radyoaktif olabilmektedir. Böyle bir ardışık bozunma olayında ilk çekirdek ana çekirdek, ikinci çekirdek birincil ürün çekirdek, üçüncü çekirdek ise ikincil ürün çekirdek olarak isimlendirilir. Şekil 2.11 ana çekirdek, birincil ve ikincil ürün çekirdeklerin gösterildiği ^{232}Th radyoaktif bozunma serisinin bir kısmıdır.



Şekil 2.11. Ana, birincil ve ikincil ürün çekirdeklerin bulunduğu ardışık radyoaktif bozunma [24]

Radyoaktif bozunma kanuna göre, birincil ürün çekirdeklerin sayısındaki zamana bağlı değişim Denklem (2.7) ile verilen diferansiyel denklem çözülerek elde edilebilir.

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

Burada;

N_1 : Ana çekirdek sayısı

N_2 : Birincil ürün çekirdek sayısı

λ_1 : Ana çekirdeğin bozunma sabiti

λ_2 : Birincil ürün çekirdeğin bozunma sabiti

Ana çekirdek bozunurken birincil ürün çekirdek sayısı artar. Bununla beraber oluşan birincil ürün çekirdekler de radyoaktiftir ve bozunmaları birincil ürün çekirdek sayısını azaltır. Bu nedenle diferansiyel denklemdeki $\lambda_2 N_2$ ifadesi negatif işaretlidir.

Denklem (2.7) çözüldüğünde birincil ürün çekirdeğin zamana bağlı değişimini veren Denklem (2.8) elde edilir.

$$N_2(t) = N_0 \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) \quad (2.8)$$

Burada, N_0 ana çekirdeğin $t=0$ anındaki sayısıdır.

Radyoaktif denge, bozunma serisi içerisindeki ardışık seri üyelerinin aktivitelerinin arasındaki oranın sabit olması durumudur. Ana ve birincil ürün çekirdeklerin yarı ömürleri arasındaki büyüklük ilişkisine göre ardışık bozunum radyoaktif dengeye gelebilmektedir.

2.7.1. Kalıcı denge

Kalıcı denge ana çekirdeğin yarı ömrünün birincil ürün çekirdeğin yarı ömrüne kıyasla çok büyük olduğu durumda görülür. Yarı ömür ile bozunma sabiti arasında ters bir ilişki olduğundan ana ve birincil ürün çekirdeğin bozunma sabitleri arasındaki ilişki İfade (2.9) deki gibi,

$$\lambda_1 \ll \lambda_2 \quad (2.9)$$

verilir.

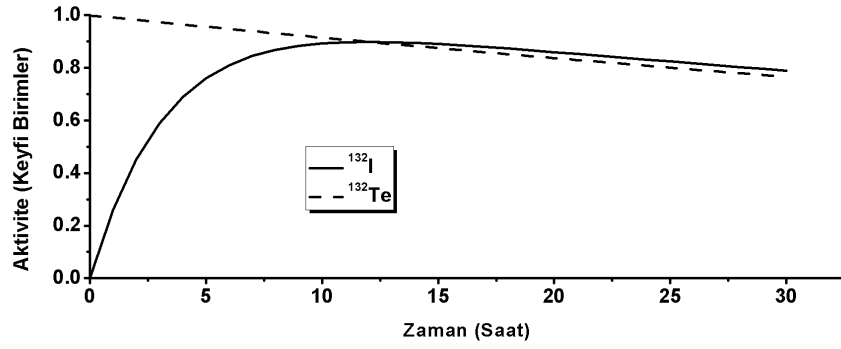
Bu durumda,

$$e^{-\lambda_1 t} \cong 1$$

olarak alınabilir ve Denklem (2.8) aşağıda verilen Denklem (2.10) gibi elde edilir.

$$N_2(t) = N_0 \frac{\lambda_1}{\lambda_2} (1 - e^{-\lambda_2 t}) \quad (2.10)$$

Şekil 2.12 2,3 saatlik yarı ömrü olan ^{132}I ile 76,9 saatlik yarı ömrü olan ^{132}Te arasındaki kalıcı denge durumunu ve zaman içinde aktivitelerinin değişimini göstermektedir. Kalıcı denge başlangıçtan yaklaşık 12 saat sonra kurulmuştur.



Şekil 2.12. ¹³²I ile ¹³²Te arasındaki kalıcı dengenin kurulması

Burada görüldüğü gibi zaman ilerledikçe birincil ürün çekirdeğin aktivitesi ana çekirdeğin aktivitesine yaklaşır ve kalıcı denge kurulduğunda birincil ürün ve ana çekirdeklerin aktiviteleri birbirine eşit olur. Bu durum Denklem (2.11) ile verilmektedir. Bu noktadan sonra birincil ürün çekirdekler oluştuğu hızda bozunmaya başlarlar.

$$\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2 \quad (2.11)$$

2.7.2. Geçici denge

Ana çekirdeğin yarı ömrünün birincil ürün çekirdeğin yarı ömründen büyük olduğu fakat birincil ürün çekirdeğin yarı ömrünün ihmal edilebilecek kadar küçük olmadığı durumda geçici denge durumu oluşur. Bu durumda bozunma sabitleri arasındaki ilişki (2.12) ifadesindeki gibi verilir.

$$\lambda_1 < \lambda_2 \quad (2.12)$$

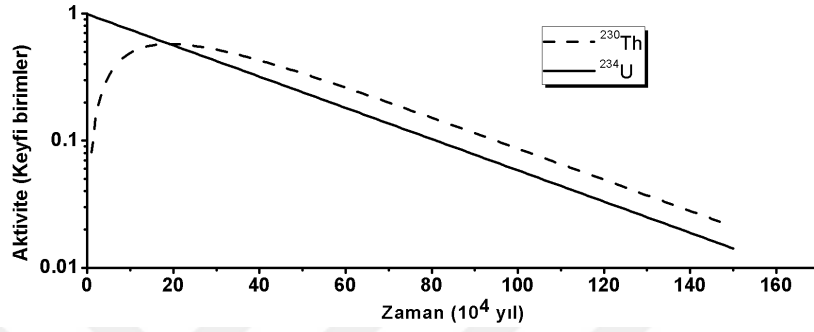
Radyoaktif bozunma yasası ve Denklem (2.8) kullanılarak geçici denge durumunda ana ve birincil ürün çekirdeklerin aktivitelerinin oranları elde edilebilir ve bu Denklem (2.13) ile verilir.

$$\frac{\lambda_2 N_2}{\lambda_1 N_1} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} (1 - e^{-\lambda_2 t + \lambda_1 t}) \quad (2.13)$$

Zaman ilerledikçe üstel terim sıfır değerine yaklaşırken birincil ürün çekirdeklerin aktivitesinin ana çekirdeklerin aktivitesine oranı $\frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1}$ sabit sınır değerine yaklaşır

ve aktivite değerleri sabit olmamakla birlikte birincil ürün çekirdek, ana çekirdeğin bozunma sabiti ile parçalanır [25].

Şekil 2.13 yarı ömrü $7,54 \times 10^4$ yıl olan ^{230}Th ile yarı ömrü $2,455 \times 10^5$ yıl olan ^{234}U arasındaki geçici denge durumunu ve zaman içinde aktivitelerinin değişimini göstermektedir.



Şekil 2.13. ^{230}Th ile ^{234}U arasında geçici dengenin kurulması

3. DENEYSEL YÖNTEM

Bu çalışmada toplanan tüm örneklerin spesifik aktivite değerleri gama spektroskopisi sistemi kullanılarak elde edilmiştir.

3.1. Ölçüm Sahası ve Örneklerin Toplanması

İzmit Körfezi Marmara Bölgesi'ndeki Marmara Denizi'nin doğu ucunda yer almaktadır. Kocaeli ilinin nüfusu 2015 yılı verilerine göre yaklaşık 1 780 000 dir ve bu nüfusun büyük çoğunluğu İzmit Körfezine kıyısı olan ilçelerde yaşamaktadır [26]. Kıyıya sınırı olan bazı bölgelerde ileri düzeyde sanayileşme görülmektedir [27].

Kocaeli ili İzmit Körfezindeki beş farklı noktadan, beşi deniz tabanı sedimenti, on altısı deniz suyu olmak üzere toplamda yirmi bir örnek alınmıştır. Örnek alınma işlemi 28 Kasım 2014 tarihinde Ekman tip grab sampler cihazı ile yapılmıştır. Su örnekleri deniz yüzeyinden, yüzeyden beş, on ve on beş metre derinlikten alınmıştır. Şekil 3.1'de İzmit Körfezi ve örnekleme işleminin yapıldığı noktalar gösterilmektedir. Deniz tabanı sedimenti ve deniz suyu örneklerinin alındığı noktalar S1, S2, S3, S4, S5 olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.1. İzmit Körfezi ve örneklerin alındığı noktalar

Deniz tabanı sedimenti ve deniz suyu örneklerinin alındığı noktaların koordinatları Tablo 3.1’de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Sediment ve deniz suyu örneklerinin alındığı noktaların koordinatları

Örnek	Koordinatlar
S1	40° 44' 26.52" N 29° 55' 28.62" E
S2	40° 44' 23.71" N 29° 54' 11.37" E
S3	40° 43' 4.26" N 29° 53' 30.24" E
S4	40° 44' 7.38" N 29° 49' 58.98" E
S5	40° 45' 19.19" N 29° 52' 52.10" E

3.2. Örneklerin Hazırlanması

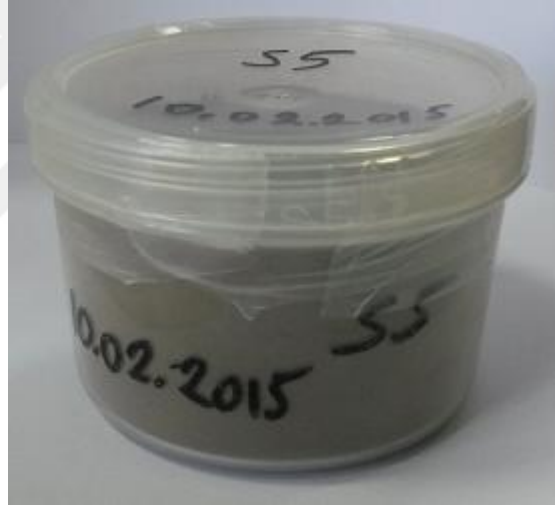
3.2.1. Sediment örneklerinin hazırlanması

Sediment örnekleri, içinde barındırdığı suyun arındırılması için 40°C sıcaklıktaki fırında kurutuldu. Kurutma işlemi sonrasında sediment örnekleri içinde bulunan yabancı maddeler uzaklaştırıldı, büyük parçalar ufalandı ve elendi. Daha sonra her bir sediment örneği 170 cc’lik kaplara konuldu. Kaplara transfer işlemi sırasında bazı sediment örneklerine verim kalibrasyonu için kullanılan standart kaynağın sayımı sırasındaki detektör-kaynak geometrisinin elde edilmesi amacıyla ve sediment örnekleri ile benzer kütle yoğunluğuna sahip olduğu için Al₂O₃ eklenerek homojen olacak şekilde karıştırıldı. Sediment örneklerinin net kütlelerini belirlemek amacı ile kaplar boş olduğu ve sediment ile dolu olduğu durumlar ayrı ayrı tartıldı. Kaplardaki Al₂O₃ miktarları ise ekleme işlemi öncesinde tartıldı. Sediment örnekleri ve eklenen Al₂O₃ kütleleri Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2. Sediment ve Al₂O₃ kütleleri

Örnek	Sediment (g)	Al ₂ O ₃ (g)	Sediment+Al ₂ O ₃ (g)
S1	190,42	-	190,42
S2	108,26	86,68	194,94
S3	179,36	34,6	213,96
S4	81,23	128,8	210,03
S5	183,09	-	183,09

Her bir örnek için kütlelerin belirlenmesi işleminden sonra bütün kaplar sıkıca kapatılarak parafilm ile hava almayacak bir biçimde sarıldı ve ²³⁸U serisinin bir üyesi olan ²²²Rn'nin ve bu izotopunun bozunma ürünleri olan ²¹⁴Pb ve ²¹⁴Bi'ün ²³⁸U ile radyoaktif dengeye gelebilmesi için bir ay boyunca bekletildi. Şekil 3.2'de S5 noktasından alınan sediment örneği görülmektedir.



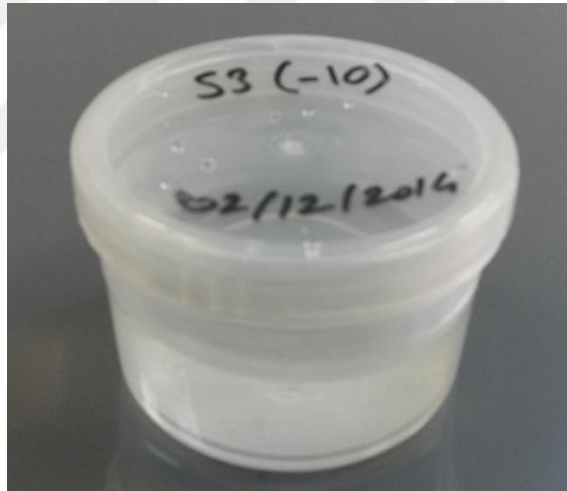
Şekil 3.2. S5 noktasından alınan sediment örneği

3.2.2. Su örneklerinin hazırlanması

28 Kasım 2014 tarihinde alınan 16 deniz suyu örneği 2 Aralık 2014 tarihinde 170 cc'lik kaplara konuldu. Asitlendirme işlemi için her kaba belli miktarda HCl ilave edildi. Her bir kaptaki net su kütlesini belirleyebilmek için kaplar ilk önce boş iken sonra su örneği ile dolu iken tartıldı. Daha sonra kaplar sıkıca kapatılıp parafilm ile sarıldı ve radyoaktif dengeye gelmesi için bir ay boyunca bekletildi. Su örnekleri ve örneklerin içindeki HCl miktarları Tablo 3.3'de verilmiştir. Şekil 3.3'de S3 noktasında 10 metre derinlikten alınan su örneği görülmektedir.

Tablo 3.3. Deniz suyu örneklerinin ve eklenen HCL kütleleri

Örnek	Derinlik (m)	Su (g)	HCL (g)	Su + HCL (g)
S1	Yüzey	173,04	1,35	174,39
	5	173,05	1,48	174,53
	10	173,02	1,49	174,51
S2	Yüzey	173,03	1,65	174,68
	5	173,02	1,63	174,65
	10	173,01	1,78	174,79
	15	173,02	1,39	174,41
S3	Yüzey	173,02	1,68	174,70
	5	173,02	1,40	174,42
	10	173,03	1,18	174,21
S4	Yüzey	173,04	1,42	174,46
	5	173,01	1,31	174,32
	10	170,02	1,45	171,47
S5	Yüzey	169,95	1,53	171,48
	5	173,12	1,26	174,38
	10	172,96	1,31	174,27



Şekil 3.3. S3 noktasında 10 metre derinlikten alınan su örneği

3.3. Gama Spektroskopi Sistemi ve Kalibrasyonu

Gama spektroskopisi, bir gama spektrometresinde oluşturulan gama-ışın enerji spektrumunun analizi ile radyoizotopların ve miktarlarının belirlenmesini sağlayan bir yöntemdir. Çevresel radyoaktivite ölçümü, nükleer tıp, reaktörlerdeki korozyon ölçümü, jeoloji ve mineraloji gibi alanlarda oldukça yaygın bir şekilde kullanılır [28]. Bu çalışmada kullanılan gama spektroskopi sistemi aşağıdaki kısımlardan oluşmaktadır.

3.3.1. Detektör

Radyoaktif bir kaynaktan yayınlanan gama ışınlarının tespit edilebilmesi için bu gama ışınlarının uygun bir ortamla etkileşmesi gerekir. Bu çalışmada kullanılan ve bir katıhal detektörü olan HpGe detektörünün sahip olduğu yüksek saflıktaki germanyum kristaline giren gama ışınları kristal atomları ile etkileşir ve gama ışını enerjisi ile orantılı bir elektrik sinyali üretilir. Şekil 3.4’de spesifik aktivite ölçümünde kullanılan HpGe detektörü görülmektedir. Tablo 3.4’de ise bu detektörün özellikleri verilmektedir.



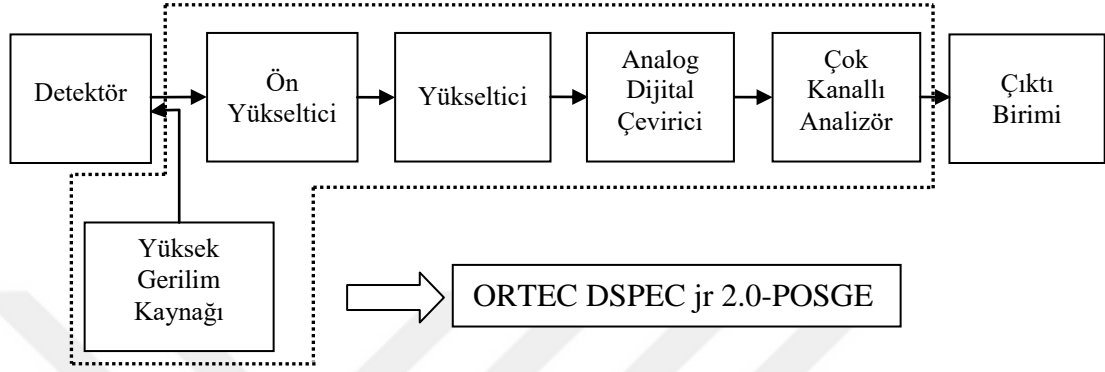
Şekil 3.4. Ölçümlerde kullanılan HpGe detektörü

Tablo 3.4. Ölçümlerde kullanılan HpGe detektörünün özellikleri

Detektör Modeli	ORTEC GEM25P4-70
Bağıl verim	%25,2
Çözünürlük (FWHM)	1,71 (1332KeV, ⁶⁰ Co)
Çözünürlük (FWHM)	0,65 (122KeV, ⁵⁷ Co)
Pik/Compton Oranı	58/1 (⁶⁰ Co için)
Detektör Çapı	57,7 mm

3.3.2. Elektronik birim

Detektör kristalinin yüksek gerilim altında tutulması ve kristalde üretilen bir elektrik sinyalinin işlenerek sayım olarak kayıt edilebilmesi için gerekli olan elektronik kısımlar ve birbirleri ile bağlantıları Şekil 3.5’de gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Gama spektroskopisi sisteminin şematik gösterimi

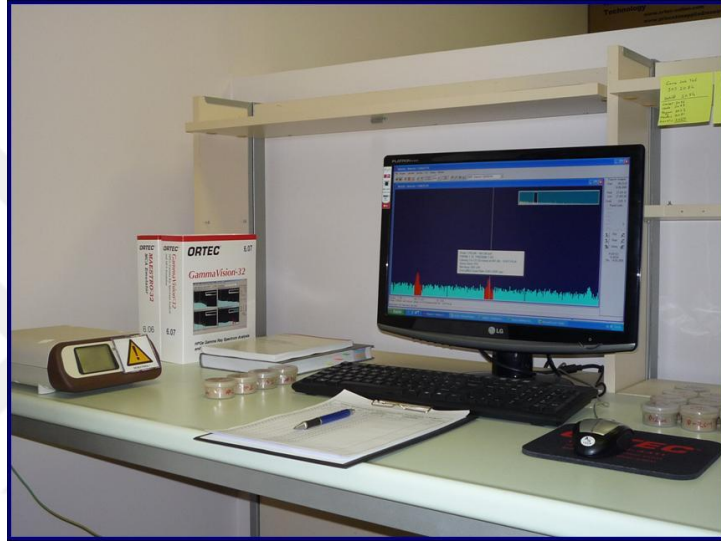
Yüksek gerilim kaynağı, detektör kristali içerisindeki serbest elektronları uzaklaştırmak için kullanılır. Ön yükseltici, detektör kristaline giren fotonun kristal ile etkileşimi sonucu üretilen yükleri toplar. Yükseltici, ön yükselticiden gelen elektrik sinyalinin şeklini düzeltir ve sinyali büyütür. Analog-Dijital çevirici, yükselticiden gelen elektrik sinyalini sayısal forma çevirir. Çok kanallı analizörün görevi, ön yükselticiden gelen şekli düzeltilmiş ve iyi durumdaki fakat yükseklikleri farklı sinyallerin yüksekliklerini ölçmek ve bu ölçülen sinyal yüksekliklerine göre sinyalleri bir spektrumda kaydetmektir. Şekil 3.6’de ön yükseltici, yükseltici, analog-dijital çevirici ve çok kanallı analizörü içinde barındıran ORTEC DSPEC jr 2.0-POSGE cihazı görülmektedir.



Şekil 3.6. Gama Spektroskopi Sistemindeki Kompakt elektronik birim (ORTEC DSPEC jr 2.0-POSGE)

3.3.3. Çıktı birimi ve yazılım

Detektör kristalinde elektrik sinyalinin üretilmesi ve elektronik kısımda işlenmesinden sonra sinyal bir çıktı birimi ile dışarı alınır. Bu çıktı birimi bir bilgisayar olabilir. Bu bilgisayarda kurulu bir yazılım programı ile spektrumlar elde edilebilir ve bu spektrumlar üzerinde analiz yapılabilir. Bu çalışmada spektrumlarım elde edilmesinde ve analizlerin yapılmasında Ortec GammaVision-32 programı kullanılmıştır. Şekil 3.7’de çıktı birimi olarak kullanılan bilgisayar görülmektedir.



Şekil 3.7. Çıktı birimi olarak kullanılan bilgisayar

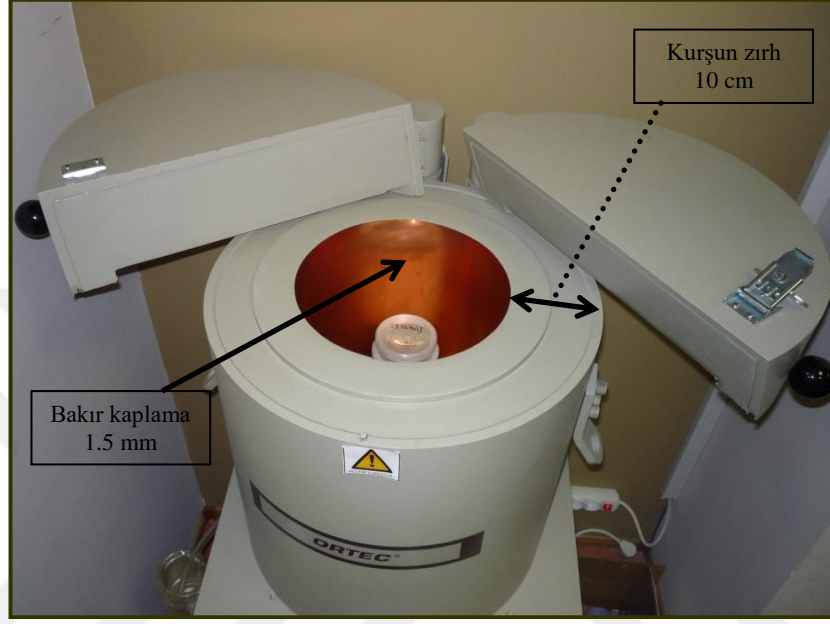
3.3.4. Soğutma sistemi ve zırlama

HpGe Detektör kristaline yüksek gerilim verildiğinde kristal içinde oluşacak akımın kristale zarar vermemesi için gerilim verme işleminden önce kristal soğutulmalıdır. Bu çalışmada kullanılan detektörün soğutulmasında kaynama noktası -196°C olan Azot (N_2) gazının sıvı formu kullanılmıştır.

Örneklerin sayımı sırasında artalan radyasyonunun etkisinin en aza indirilmesi ölçüm belirsizliğinin azaltılması açısından önemlidir. Bu çalışmada zırlama ve kaynaktan çıkan gama ışınlarının kurşun zırh ile etkileşmesi sonucu üretilen X ışınlarının soğurulması için kullanılan maddeler ve kalınlıkları Tablo 3.5’de verilmiştir. Şekil 3.8’de zırh görülmektedir.

Tablo 3.5. Zırhlama için kullanılan maddeler ve kalınlıkları

Kurşun Zırh kalınlığı	10 cm
Kalay Zırh Kalınlığı	1 mm
Bakır Zırh Kalınlığı	1,5 mm



Şekil 3.8. HpGe detektöründe artalan etkisini azaltmak için kullanılan zırh

3.3.5. Enerji kalibrasyonu

Detektör kristaline giren her foton, enerjisi ile doğru orantılı bir elektrik sinyali üretir. Sinyal şeklinin düzeltilmesi, büyütülmesi ve dijital forma dönüştürülmesinden sonra bu elektrik sinyali çok kanallı analizörde bir kanalda sayım olarak kayıt edilmektedir. Çok kanallı analizörde her kanal bir enerji değerine karşılık gelmektedir fakat detektör kristaline uygulanan yüksek gerilim ve elektrik sinyalinin büyültme faktörü bir fotonun enerjisine karşılık gelen kanal numarasını değiştirmektedir. Bu nedenle sayım sisteminin enerji kalibrasyonunun yapılması yani çok kanallı analizörde kanal numaralarına karşılık gelen enerji değerlerinin tayin edilmesi, detektör kristaline gelen bir fotonun enerjisinin tam olarak belirlenebilmesi için gereklidir.

Enerji kalibrasyonu, standart kaynak olarak adlandırılan ve yayınladıkları gama ışınlarının enerjileri ile birlikte bu gama ışınlarının yayınlanma olasılıkları da bilinen

radyoaktif izotoplar ile yapılır. Radyoaktif kaynak, sayım istatistiğinin yüksek olması için uygun geometride ve yeterince uzun bir süre sayılır. Sayım sonucu elde edilen spektrumda bilinen enerjilere karşılık gelen fotopiklerin merkezlerinin kanal numaraları belirlenir. Daha sonra elde edilen bu değerler ile kanal numarası-enerji grafiği oluşturur. Oluşan grafik birinci veya ikinci dereceden bir polinoma fit edilir ve böylece enerji kalibrasyonu denklemi elde edilir.

Bu çalışmada enerji ve verim kalibrasyonu için kullanılan standart kaynağın (Ek-A) içerdiği izotoplar Tablo 3.6'de gösterilmiştir. Standart kaynak 1 Ağustos 2011 yılında üretilmiştir ve içerisindeki ana kaynak kütlesi 0,019226 gramdır.

Tablo 3.6. Enerji ve verim kalibrasyonunda kullanılan standart kaynağın içerisindeki izotoplar

İzotop	Gama ışını Enerjisi (KeV)	Yarı Ömür (Gün)	Gama yayınlama Olasılığı I_{γ} (%)	Aktivite (Bq)
Am-241	59,5	1,580E+05	35,90	2,160E+03
Cd-109	88	4,626E+02	3,63	1,918E+04
Co-57	122,1	2,718E+02	85,56	4,735E+02
Ce-139	165,9	1,376E+02	79,89	6,896E+02
Sn-113	391,7	1,151E+02	64,97	1,091E+03
Cs-134	604,7	7,542E+02	97,62	2,407E+03
Cs-137	661,7	1,098E+04	85,10	5,693E+02
Cs-134	795,9	7,542E+02	85,46	2,407E+02
Mn-54	834,9	3,121E+02	99,98	1,358E+03
Y-88	898	1,066E+02	93,70	2,489E+03
Zn-65	1115,6	2,441E+02	50,60	3,639E+03
Y-88	1836,1	1,066E+02	99,20	2,489E+03

Bu çalışmada enerji kalibrasyonu Ortec GammaVision 32 programı ile yapılmıştır ve fit işleminde ikinci dereceden bir polinom kullanılmıştır. Denklem (3.1) bu ikinci dereceden polinomun genel formudur.

$$E=a_0+ a_1KN+ a_2KN^2 \quad (3.1)$$

Burada;

E, KeV cinsinden enerji

KN, kanal numarası

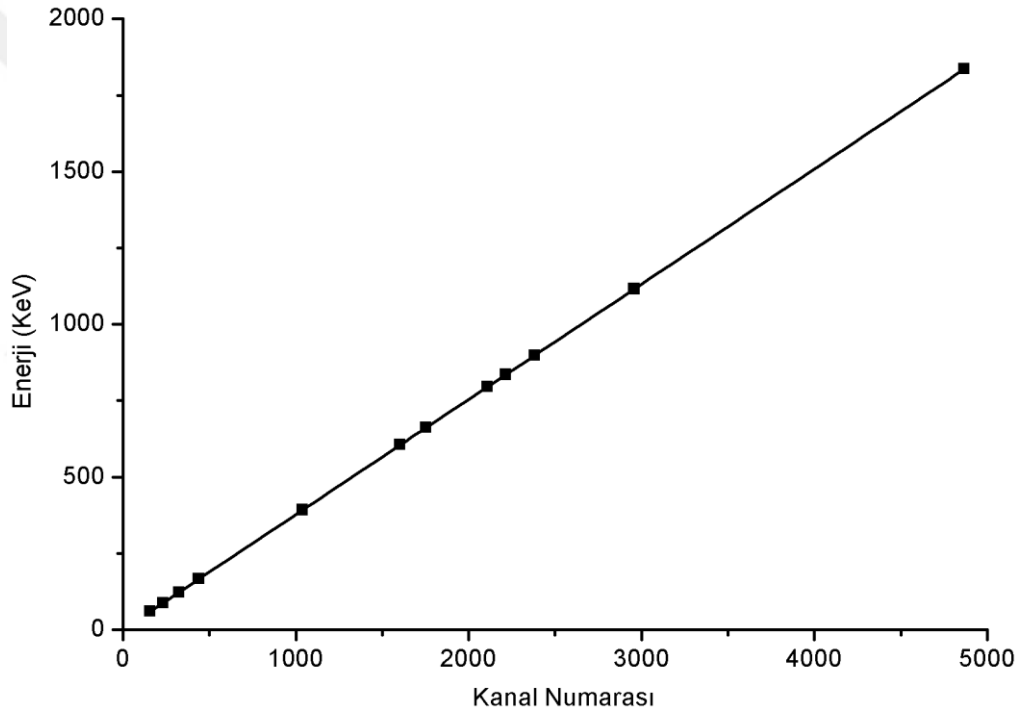
a_0 , a_1 , a_2 fit katsayılarıdır ve değerleri aşağıda verilmiştir.

$$a_0 = 0,229 \text{ KeV}$$

$$a_1 = 0,377 \text{ KeV/kanal}$$

$$a_2 = 1,003 \times 10^{-8} \text{ KeV/kanal}^2$$

Enerji kalibrasyonu sonucu elde edilen Kanal numarası-Enerji eğrisi Şekil 3.9'da verilmiştir.



Şekil 3.9. Enerji kalibrasyon eğrisi

Enerji kalibrasyonu yapıldıktan sonra kanal numaralarına karşılık gelen enerji değerleri elde edilmiştir ve sonuçlar Tablo 3.7'de verilmiştir.

Tablo 3.7. Enerji kalibrasyonu sonucu elde edilen kanal numaralarına karşılık enerji değerleri

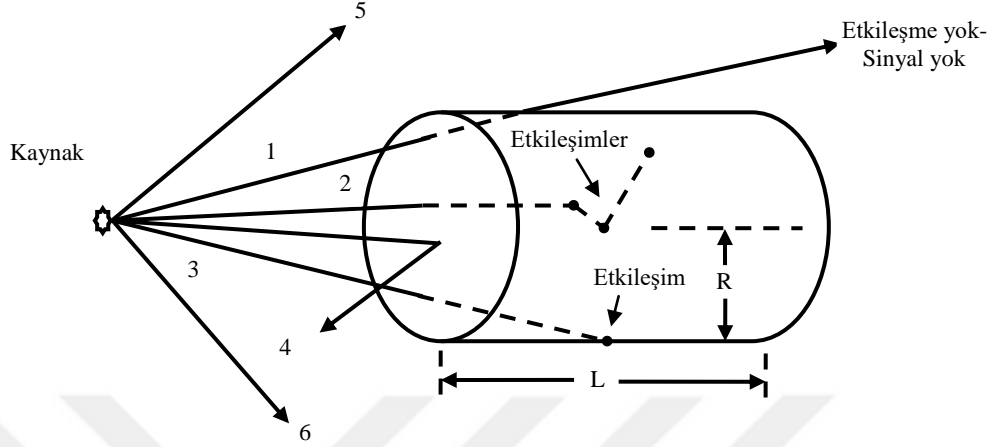
İzotop	Gama ışını Enerjisi (KeV)	Kanal Numarası
Am-241	59,54	157,32
Cd-109	88	232,81
Co-57	122,1	323,27
Ce-139	165,9	439,45
Sn-113	391,7	1038,37
Cs-134	604,7	1603,32
Cs-137	661,7	1754,49
Cs-134	795,9	2110,43
Mn-54	834,9	2213,86
Y-88	898	2381,21
Zn-65	1115,6	2958,32
Y-88	1836,1	4869,06

3.3.6. Detektör verimi

Radyoaktif bir kaynaktan yayınlanan bir gama ışınının detektör ile etkileşip bir sayım üretmesi olasılığına detektörün verimi denilmektedir. Verim boyutsuz bir büyüklüktür ve genel olarak yüzde (%) cinsinden verilir.

Radyoaktif bir kaynaktan yayınlanan bir fotonun detektöre girip sayım üretmesi kesin değildir. Parçacığın enerjisine, tipine, kullanılan detektörün tipine ve boyutuna bağlı olabilir. Kaynaktan yayınlanan fotonlar tüm yönlerde yayınlanırlar bu nedenle ancak detektöre doğru yayınlanan fotonların algılanma olasılığı vardır. Bununla birlikte detektöre giren fotonlar detektör kristali ile etkileşmeksizin detektörden kaçabilirler. Şekil 3.10'da radyoaktif bir kaynaktan yayınlanan fotonların detektör ile olası etkileşimleri gösterilmiştir. Burada, 1 numaralı foton detektör kristali ile etkileşmez ve sinyal üretmez. 3 numaralı foton bir sinyal üretebilir fakat bu sinyal her hangi bir elektronik cihazın ölçemeyeceği kadar küçüktür. 2 numaralı foton detektör penceresi tarafından detektör kristaline girmesi önlenir ve bu nedenle sinyal üretmez. 5 ve 6 numaralı fotonlar detektör doğrultusunda yayınlanmadığından detektör tarafından algılanma gibi bir olasılıkları yoktur. Burada bir sinyal üretme

olasılığı en yüksek olan foton 2 dir. 2 numaralı foton ardışık etkileşmeler ile tüm enerjisini detektör kristaline bırakır ve bir sinyal üretebilir.



Şekil 3.10. Radyoaktif bir kaynaktan yayımlanan fotonların detektör ile olası etkileşimleri [21]

Detektörün kullanım amacına göre farklı verimler tanımlanmıştır.

Bunlar;

Mutlak verim;

Bir kaynaktan tüm yönlerde yayımlanan gama ışını sayısının ne kadarının detektör tarafından algılandığını gösterir. Detektörün algıladığı gama ışını sayısının kaynaktan yayımlanan gama ışını sayısına oranı olarak ifade edilir.

Öz (Intrinsic) verim;

Detektör tarafından üretilen sayımın detektör kristaline çarpan gama ışını sayısına oranı olarak ifade edilir. Öz verim her hangi bir kaynak-detektör geometrisinden bağımsızdır.

Bağıl verim;

HpGe detektör verimi, kaynak-detektör uzaklığı 25 cm olan ve 1332 KeV lik fotopik enerjisine sahip kaynak ile 3x3 inç² lik Sodyum İyodür (NaI) detektörde elde edilen verim değeri baz alınarak elde edilir.

3.3.7. Fotopik verimi ve kalibrasyonu

Fotopik verim, belirli bir detektör-kaynak geometrisi için E enerjisine sahip fotopik teki sayım sayısının ($N_p(E)$), kaynak tarafından yayınlanan E enerjili foton sayısına ($F(E)$) oranı tanımlanır ve Denklem (3.2) ile verilir.

$$\varepsilon_p(E) = \frac{N_p(E)}{F(E)} \quad (3.2)$$

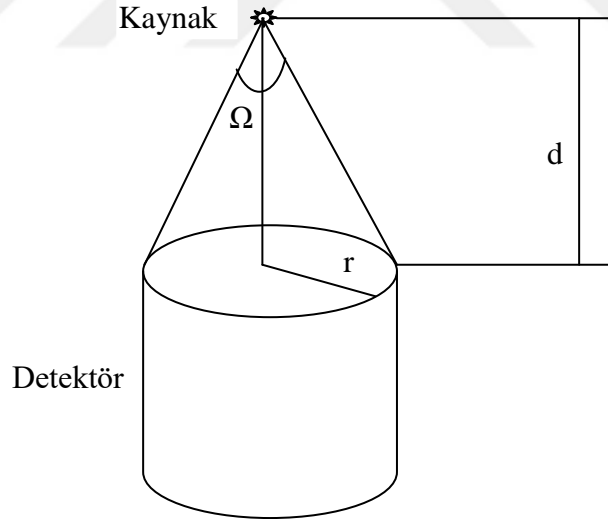
Fotopik verim kaynak-detektör geometrisine ve enerjiye bağlıdır. Bu bağıklık Denklem (3.3)'de gösterilmiştir.

$$\varepsilon_p(E) = \varepsilon_G \cdot \varepsilon_1(E) \quad (3.3)$$

Burada;

$\varepsilon_1(E)$, öz verimdir ve enerjiye bağımlı olarak değişir.

ε_G , geometrik verimdir.



Şekil 3.11. Kaynak-Detektör geometrisi

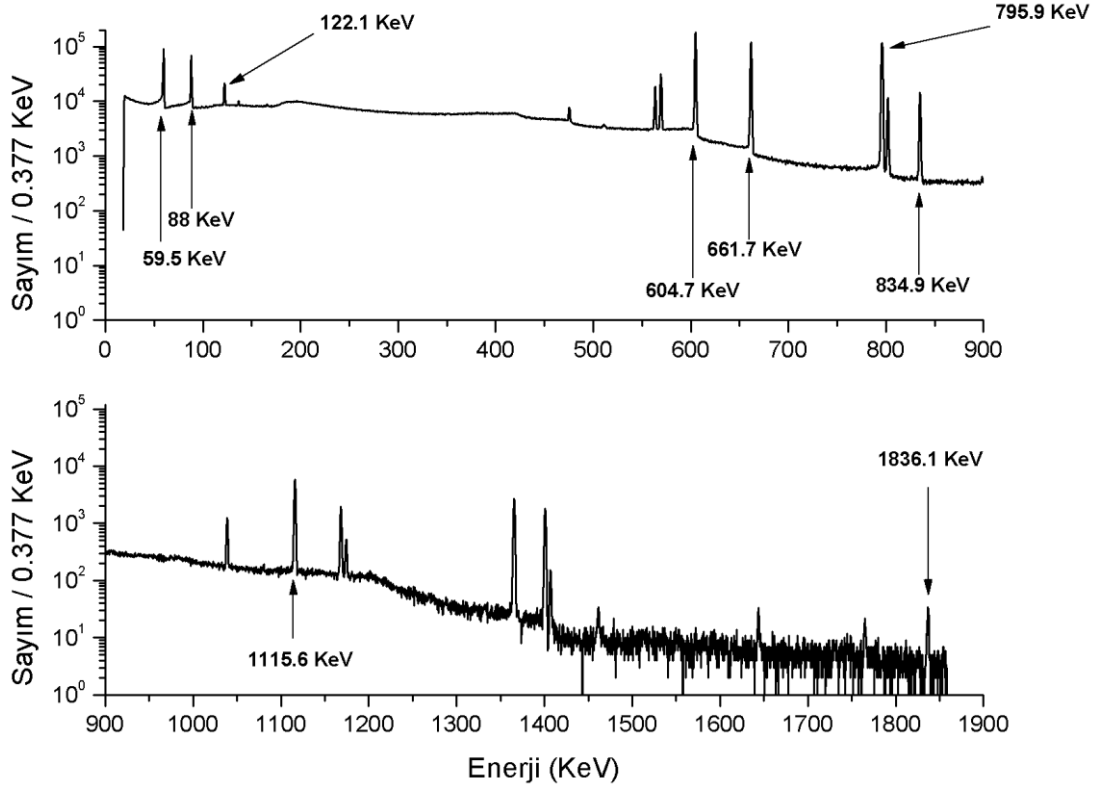
Noktasal bir kaynak için kaynak ile detektör arasındaki katı açı olan Ω Denklem (3.4) ile verilir.

$$\Omega = 2\pi \left(1 - \frac{1}{\sqrt{d^2 + r^2}} \right) \quad (3.4)$$

Geometrik verim detektöre doğru yayınlanan foton sayısının kaynak tarafından yayınlanan foton sayısına oranı olan ifade edilir. Yalnızca detektör-kaynak geometrisine bağlı olan geometrik verim Denklem (3.5) ile verilir.

$$\varepsilon_G = \frac{\Omega}{4\pi} \quad (3.5)$$

Bu çalışmada HpGe detektörün verim kalibrasyonu için Kesim 3.3.5’de verilen standart kaynak kullanılmıştır. Standart kaynak, spesifik aktivite ölçümü yapılacak olan örnekler ile aynı detektör-kaynak geometrisinde sayılmıştır. Standart kaynak yaklaşık 90 000 saniye sayılmıştır. Sayım sonucu elde edilen spektrum Şekil 3.12’de gösterilmektedir.



Şekil 3.12. Standart kaynağın sayımı sonucu elde edilen spektrum

Standart kaynağın sayılması sonucu elde edilen spektrumdan Tablo 3.6’da verilen izotopların fotopik alanları hesaplanmış ve Denklem (3.6) göre verim değerleri elde edilmiştir.

$$\varepsilon(E) = \frac{N_{net}}{AtI_\gamma} \quad (3.6)$$

Burada;

ϵ , E enerjisindeki verim

N_{net} , E enerjisine ait fotopikteki net sayım

A, aktivite

t, sayım zamanı

I_γ , gama yayınlama olasılığı

Deneysel olarak elde edilen enerjiye karşılık verim değerleri Denklem (3.7)'de verilen altıncı dereceden bir polinoma fit edilmiştir.

$$\epsilon(E) = e^{\left[\sum_{i=1}^6 (a_i E^{2-i}) \right]} \quad (3.7)$$

Burada;

ϵ , E enerjisindeki verim

a_i , fit katsayıları

E, MeV cinsinden enerji

Fit işlemi sonucunda elde edilen fit katsayıları aşağıda verilmiştir.

$$a_1 = -0,154445$$

$$a_2 = -5,542704$$

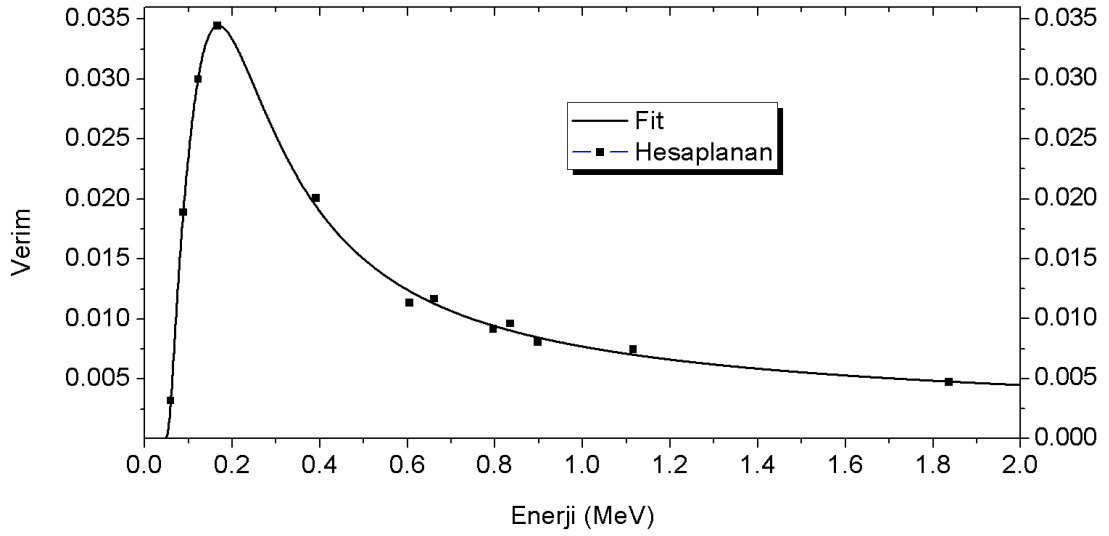
$$a_3 = 0,969403$$

$$a_4 = -0,146312$$

$$a_5 = 0,008991$$

$$a_6 = -0,000224$$

Şekil 3.12'da Denklem (3.7)'ye göre fit edilmiş verim kalibrasyon eğrisi görülmektedir. Tablo 3.8 standart kaynakta bulunan izotopların yayınlamış olduğu gama-ışını enerjileri için hesaplanmış verim değerlerini ve fit işlemi sonrasındaki verim değerlerini göstermektedir.



Şekil 3.13. Verim kalibrasyon eğrisi

Tablo 3.8. Gama ışını enerjisine göre hesaplanan ve fit işlemi sonucu elde edilen verim değerleri

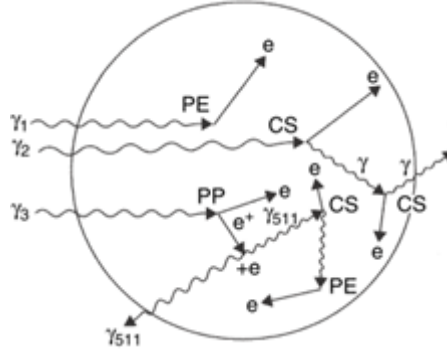
Enerji (KeV)	Verim (Hesaplanan)	Verim (Fit)
59,5	3,16E-03	3,0991E-03
88	1,89E-02	1,8767E-02
122,1	3,00E-02	3,0053E-02
165,9	3,45E-02	3,4470E-02
391,7	2,01E-02	1,9412E-02
604,7	1,13E-02	1,2350E-02
661,7	1,17E-02	1,1286E-02
795,9	9,16E-03	9,4539E-03
834,9	9,61E-03	9,0457E-03
898	8,05E-03	8,4698E-03
1115,6	7,45E-03	7,0320E-03
1836,1	4,73E-03	4,7945E-03

3.4. Veri Analizi

3.4.1. Fotopik alanının belirlenmesi

Elektromanyetik dalgalar fotoelektrik olay, Compton saçılması ve çift oluşumu olmak üzere madde ile üç farklı şekilde etkileşebilir. Detektör kristaline giren bir foton bu üç etkileşmeden herhangi birini, ikisini veya her üçünü de yaparak tüm enerjisini detektör kristaline aktarabilir. Şekil 3.14 gama ışınlarının madde ile olası

etkileşimlerini göstermektedir. Bununla beraber foton detektör kristaline girdiği halde tüm enerjisini aktarmadan kristali terk etmesi de olasılık dahilindedir.



Şekil 3.14. Gama ışınlarının madde ile etkileşimi

Şekilde;

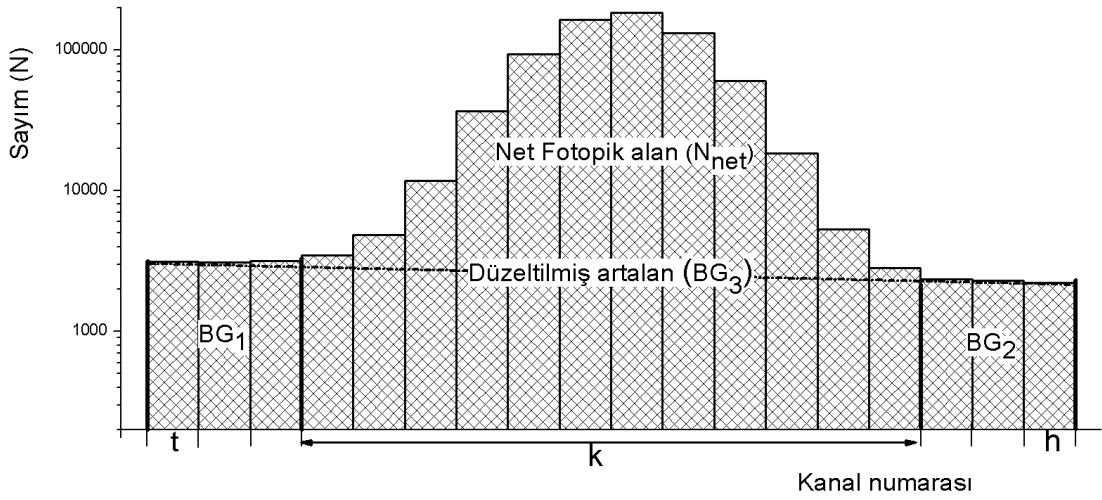
PE: Fotoelektrik etki

CS: Compton saçılması

PP: Çift oluşumu

Fotopik, detektör kristaline giren bir fotonun yukarıda bahsi geçen etkileşimler ile soğurularak tüm enerjini kristale aktarması sonucu oluşur. Sayım sonucu elde edilen spektrumda net fotopik alanının hesaplanması için artalan düzeltmesinin yapılması gerekir. Bu işlem aşağıdaki şekilde yapılır.

Spektrumda fotopikin bulunduğu bölge civarında başka fotopiklerden gelen sayım katkılarını barındırmayacak biçimde ve yeterince geniş bir şekilde seçilir. Daha sonra seçilen bölgede ilk üç kanal ve son üç kanaldaki sayımların ortalamaları alınarak bu bölge için artalan değeri elde edilir. Seçili bölgeden ilk ve son üç kanal çıkarılarak belirlenen fotopik için düzeltilmiş artalan değeri hesaplanır. Fotopik alanı, fotopikin tüm kanallarındaki sayım değerleri toplanarak elde edilir ve bu değerden düzeltilmiş artalan değeri çıkartılarak net fotopik alanına ulaşılır [29]. Şekil 3.15 spektrumdaki seçilen bölgede artalan ve net fotopik alanı göstermektedir.



Şekil 3.15. Artalan ve net fotopik alan

Seçili bölgede ilk üç kanaldaki sayım Denklem (3.8) ile hesaplanır.

$$BG_1 = \sum_{i=t}^{t+2} N_i \quad (3.8)$$

son üç kanaldaki sayım ise Denklem (3.9) ile hesaplanır.

$$BG_2 = \sum_{i=h-2}^h N_i \quad (3.9)$$

Burada;

t : seçilen bölgedeki ilk kanal numarası

h : seçilen bölgedeki son kanal numarası

N_i : i . Kanaldaki sayım sayısı

Denklem (3.8) ve Denklem (3.9) kullanılarak seçilen bölgedeki toplam artalan değeri Denklem (3.10) ile elde edilir.

$$BG = \left(\frac{BG_1 + BG_2}{3} \right) \left(\frac{h-t+1}{2} \right) \quad (3.10)$$

Fotopikin bulunduğu toplam kanal sayısı Denklem (3.11) ile verilir ve BG_3 ile gösterilen düzeltilmiş artalan değeri Denklem (3.12) ile hesaplanır.

$$k=h-t-5 \quad (3.11)$$

$$BG_3=BG \left(\frac{h-t-5}{h-t+1} \right) \quad (3.12)$$

Toplam fotopik alanını elde etmek için Denklem (3.13) kullanılır.

$$N_{\text{Top}} = \sum_{i=t+3}^{h-3} K_i \quad (3.13)$$

Net Fotopik alanı, toplam fotopik alanından düzeltilmiş artalan değeri çıkartılarak elde edilir ve Denklem (3.14) ile verilir.

$$N_{\text{Net}}=N_{\text{Top}}-BG_3 \quad (3.14)$$

Net alandaki belirsizlik, toplam fotopik alanının belirsizliğinin karesi ile düzeltilmiş artalan değerinin ağırlıklı ortalamasının karesinin toplamının karekökü alınarak elde edilir ve Denklem (3.15) ile hesaplanır.

$$\sigma_{N_{\text{Net}}} = \sqrt{N_{\text{Top}} + BG \left(\frac{h-t-5}{6} \right) \left(\frac{h-t-5}{h-t+1} \right)} \quad (3.15)$$

3.4.2. Spesifik aktivite hesabı ve belirsizlik

^{238}U ve ^{232}Th izotoplarının yarı ömürleri sırasıyla $4,468 \times 10^9$ ve $1,40 \times 10^{10}$ yıldır. Uzun yarı ömürleri göz önünde bulundurulduğunda bu izotopların aktivitelerinin hesaplanması için radyoaktif denge kavramından yararlanılmıştır. Bunun için bu bozunma serilerinin üyeleri olan ve gama yayınlama olasılıkları yüksek olan izotoplar seçilmiştir. Tablo 3.9 aktivite hesabı için kullanılan izotopların gama ışını enerjilerini, yarılanma ömürlerini ve gama yayınlama olasılığını göstermektedir.

Tablo 3.9. Aktivite hesabından kullanılan izotoplar

Seri	İzotop	Yarılanma ömrü	Gama ışını enerjisi (KeV)	Yayınlanma olasılığı (%)
²³⁸ U	²¹⁴ Bi	19,9 Dakika	609,32	45,49
			1120,29	14,92
			1764,49	15,30
	²¹⁴ Pb	26,8 Dakika	295,22	18,42
			351,93	35,60
²³² Th	²⁰⁸ Tl	3,053 Dakika	583,19	85,00
			2614,51	99,75
	²¹² Pb	10,64 Saat	238,63	43,60
	⁴⁰ K	1,248x10 ⁹ Yıl	1460,82	10,66
	¹³⁷ Cs	30,08 Yıl	661,66	85,10

Tablo 3.9’da verilen izotopların aktivite değerlerinin hesaplanması için Denklem (3.16) kullanılmıştır.

$$A = \frac{N_{\text{net}}}{\varepsilon(E)tI_{\gamma}} \quad (3.16)$$

Burada;

N_{net} , E enerjisine ait fotopikteki net sayım

A, spesifik aktivite (Bq/kg)

t, sayım zamanı (sn)

I_{γ} , gama yayınlama olasılığı

ε , E enerjisindeki verim

Sediment örneklerinin spesifik aktivite değerleri hesaplanırken, her bir sediment örneğinin kütlesi için Tablo 3.2’de verilen sediment kütleleri dikkate alınmış Al₂O₃ kütleleri hesaba katılmamıştır.

Spesifik aktivite birim kütlede birim zamanda parçalanmış çekirdek sayısı olarak tanımlanmaktadır ve Denklem (3.17)’deki gibi;

$$SA = \frac{A}{M} \quad (3.17)$$

verilmektedir.

Burada;

A, Bq biriminde Aktivite

M, örneğin kütlesi (kg)

olarak verilmektedir.

Bir bozunma serisi içerisindeki tüm bozunma ürünlerinin aktiviteleri birbirine eşittir. Bozunma serisinde ana çekirdeğin aktivitesinin hesabında birden fazla bozunma ürünü kullanılıyorsa, ana çekirdeğin aktivitesi bu bozunma ürünlerinin aktivitelerinin ağırlıklı ortalaması alınarak elde edilir ve bunun için Denklem (3.17) kullanılır.

$$\bar{A} = \frac{\sum_i \left[\frac{A_i}{\sigma_i^2} \right]}{\sum_i \left[\frac{1}{\sigma_i^2} \right]} \quad (3.18)$$

Ana çekirdeğin aktivite değerinin belirsizliği, bozunma ürünlerinin aktivite değerlerinin belirsizlikleri hesaba katılarak elde edilir ve bu hesap Denklem (3.18) ile yapılır.

$$\sigma^2 = \frac{1}{\sum_i \left[\frac{1}{\sigma_i^2} \right]} \quad (3.19)$$

Yapılan tüm deneysel ölçümlerin sonuçlarında bir belirsizlik vardır. Ölçümlerdeki belirsizliğin nedeni genel olarak üç nedenden kaynaklanır bunlar; ölçüm sisteminin sınırlı duyarlılığı, ölçüm yöntemindeki sınırlamalar ve kontrol edilmesi güç olan sıcaklık ve nem gibi çevresel etkenlerdir. Bir deneysel ölçümde doğrudan ölçülebilen nicelikler ve bu niceliklerin hata payları bilindiğinde, bu niceliklerin bir fonksiyonu olan herhangi başka bir nicelik için belirsizlik hesabı aşağıdaki gibi verilir.

x, y ve z doğrudan ölçülebilen nicelikler, σ_x , σ_y ve σ_z bu niceliklerin belirsizlikleri, F ise bu niceliklerin bir fonksiyonu olsun. F niceliğinin belirsizliğinin hesaplanmasında Denklem (3.19) kullanılır ve genel olarak Denklem (3.20) ile verilir

$$\sigma_F = \sqrt{\left(\frac{\partial F}{\partial x}\right)^2 \sigma_x^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial y}\right)^2 \sigma_y^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial z}\right)^2 \sigma_z^2 \dots} \quad (3.19)$$

$$\sigma_F = \sqrt{\sum_i \left(\frac{\partial F}{\partial x_i}\right)^2 \sigma_{x_i}^2} \quad (3.21)$$

4. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

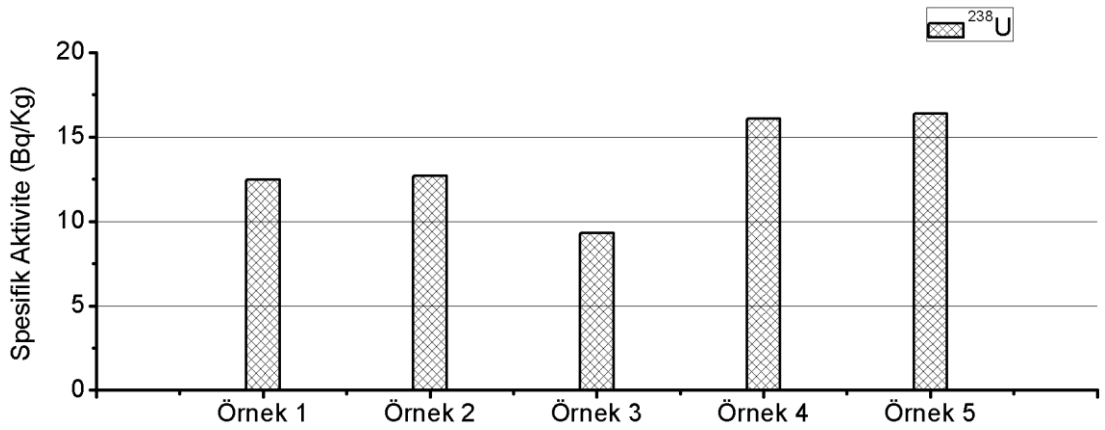
4.1. Sediment Örnekleri

Kocaeli ili İzmit Körfezindeki beş farklı noktadan toplanan beş deniz tabanı sedimenti içerisindeki doğal olarak yer kabuğunda bulunan ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K 'ın ve yapay olarak üretilen ^{137}Cs 'nin spesifik aktiviteleri ölçülmüştür. Tablo 4.1'de bu radyoizotopların spesifik aktivite değerleri verilmektedir. Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4 sırası ile ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs 'nin toplanan beş örnek için spesifik aktivite değerlerini sütun grafik biçiminde göstermektedir.

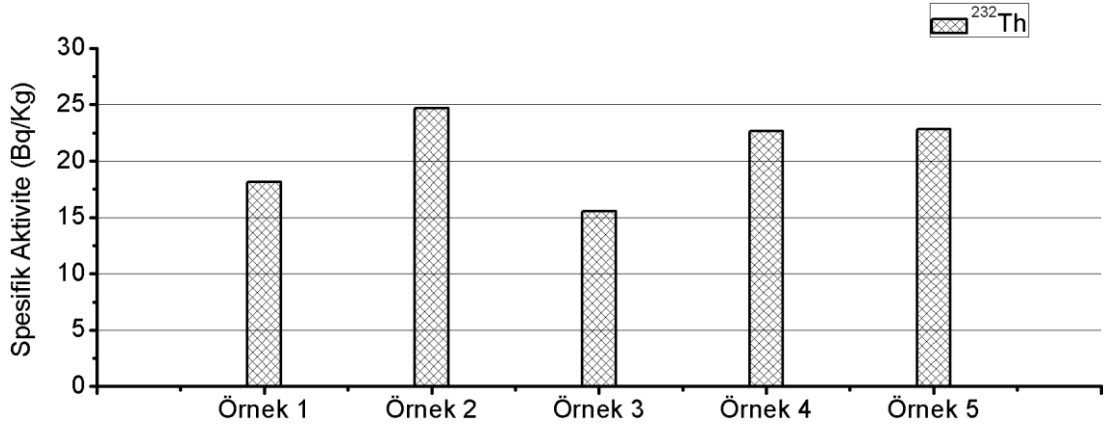
Tablo 4.1. Sediment örneklerindeki ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K , ^{137}Cs spesifik aktiviteleri

	Örnek 1	Örnek 2	Örnek 3	Örnek 4	Örnek 5
	SA (Bq/kg)	SA (Bq/kg)	SA (Bq/kg)	SA (Bq/kg)	SA (Bq/kg)
^{40}K	$502,59 \pm 15,93$	$576,9 \pm 9,42$	$403,05 \pm 2,91$	$614,27 \pm 19,81$	$548,35 \pm 17,54$
^{238}U	$12,46 \pm 0,38$	$12,68 \pm 0,48$	$9,3 \pm 0,29$	$16,09 \pm 0,51$	$16,37 \pm 0,49$
^{232}Th	$18,16 \pm 0,25$	$24,66 \pm 0,37$	$15,56 \pm 0,24$	$22,64 \pm 0,32$	$22,82 \pm 0,33$
^{137}Cs	$29,31 \pm 0,92$	$32,45 \pm 1,11$	$5,87 \pm 0,26$	$9,01 \pm 0,4$	$33,15 \pm 1,04$

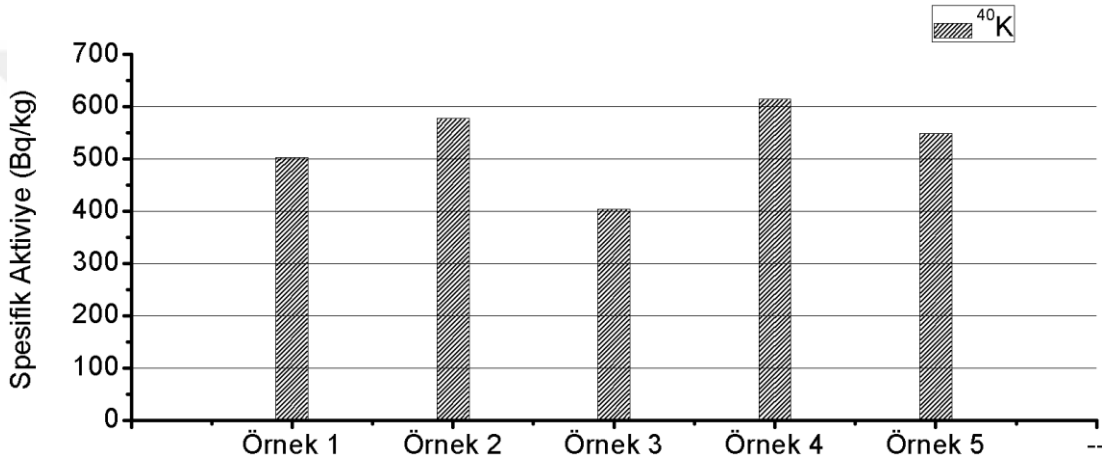
*SA: Spesifik Aktivite.



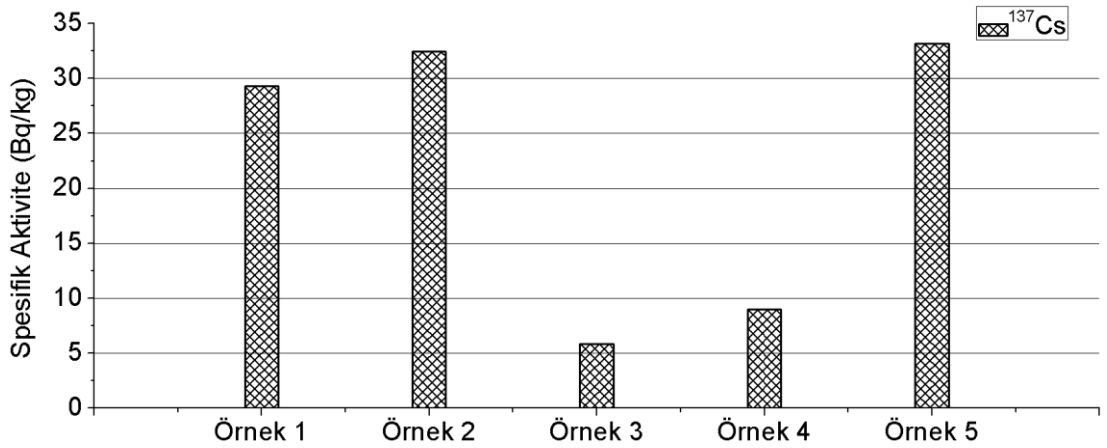
Şekil 4.1. Sediment örneklerindeki ^{238}U 'in spesifik aktivitesi



Şekil 4.2. Sediment örneklerindeki ^{232}Th 'nin spesifik aktivitesi



Şekil 4.3. Sediment örneklerindeki ^{40}K 'in spesifik aktivitesi



Şekil 4.4. Sediment örneklerindeki ^{137}Cs 'nin spesifik aktivitesi

4.2. Deniz Suyu Örnekleri

Deniz suyundaki radyoizotopların konsantrasyonu birçok parametreye bağlıdır. Bunların arasında; radyoizotopların fizikokimyasal durumu, sediment tipi ve konsantrasyonu, su akışı, suyun fizikokimyasal özellikleri ve derinliği bu parametreler arasında sayılabilir. Bunların yanında su-sediment ara yüzünden yatay ve dikey uzaklık radyoizotop konsantrasyonunu etkilemektedir [30].

Kocaeli ili İzmit Körfezindeki beş farklı noktadan farklı derinliklerde toplanan on altı deniz suyu örneği içerisindeki doğal olarak yer kabuğunda bulunan ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K 'ın ve yapay olarak üretilen ^{137}Cs 'nin spesifik aktiviteleri ölçülmüştür. Sonuçlar aşağıda verilmiştir.

S1 noktasında üç farklı derinlikten su örneği alınmıştır. Bu noktadan alınan örneklerindeki ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs 'nin spesifik aktivite değerleri Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.2. S1 noktasından alınan su örneklerindeki ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K , ^{137}Cs spesifik aktiviteleri

Derinlik	5 metre	10 metre	Yüzey
	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)
^{40}K	$12,26 \pm 0,77$	$12,32 \pm 0,91$	$9,56 \pm 0,82$
^{238}U	$0,26 \pm 0,04$	$0,29 \pm 0,05$	$1,37 \pm 0,06$
^{232}Th	<MDA	$0,13 \pm 0,03$	$0,16 \pm 0,02$
^{137}Cs	$0,08 \pm 0,02$	$0,07 \pm 0,04$	<MDA

*MDA: Minimum Detectable activity (Minimum Ölçülebilir Aktivite).

S2 noktasında diğer noktalardan farklı olarak on beş metre derinliğe kadar inilmiştir ve toplamda dört farklı derinlikten su örneği alınmıştır. Bu noktadan alınan örneklerindeki ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs 'nin spesifik aktivite değerleri Tablo 4.3'de verilmiştir.

Tablo 4.3. S2 noktasından alınan su örneklerindeki ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K , ^{137}Cs spesifik aktiviteleri

Derinlik	5 metre	10 metre	15 metre	Yüzey
	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)
^{40}K	$10,42 \pm 0,76$	$10,67 \pm 0,59$	$8,13 \pm 0,78$	$7,49 \pm 0,48$
^{238}U	$0,11 \pm 0,04$	$0,42 \pm 0,03$	$0,20 \pm 0,05$	$1,00 \pm 0,05$
^{232}Th	$0,20 \pm 0,05$	$0,06 \pm 0,02$	$0,09 \pm 0,01$	$0,25 \pm 0,02$
^{137}Cs	<MDA	$0,03 \pm 0,01$	<MDA	<MDA

S3 noktasında üç farklı derinlikten su örneği alınmıştır. Bu noktadan alınan örneklerindeki ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs 'nin spesifik aktivite değerleri Tablo 4.4'de verilmiştir.

Tablo 4.4. S3 noktasından alınan su örneklerindeki ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K , ^{137}Cs spesifik aktiviteleri

Derinlik	5 metre	10 metre	Yüzey
	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)
^{40}K	$8,82 \pm 0,58$	$11,11 \pm 0,66$	$8,7 \pm 0,6$
^{238}U	$0,22 \pm 0,05$	<MDA	$1,22 \pm 0,06$
^{232}Th	$0,010 \pm 0,009$	$0,06 \pm 0,05$	$0,22 \pm 0,03$
^{137}Cs	<MDA	$0,07 \pm 0,02$	$0,03 \pm 0,01$

S4 noktasında üç farklı derinlikten su örneği alınmıştır. Bu noktadan alınan örneklerindeki ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs 'nin spesifik aktivite değerleri Tablo 4.5'de verilmiştir.

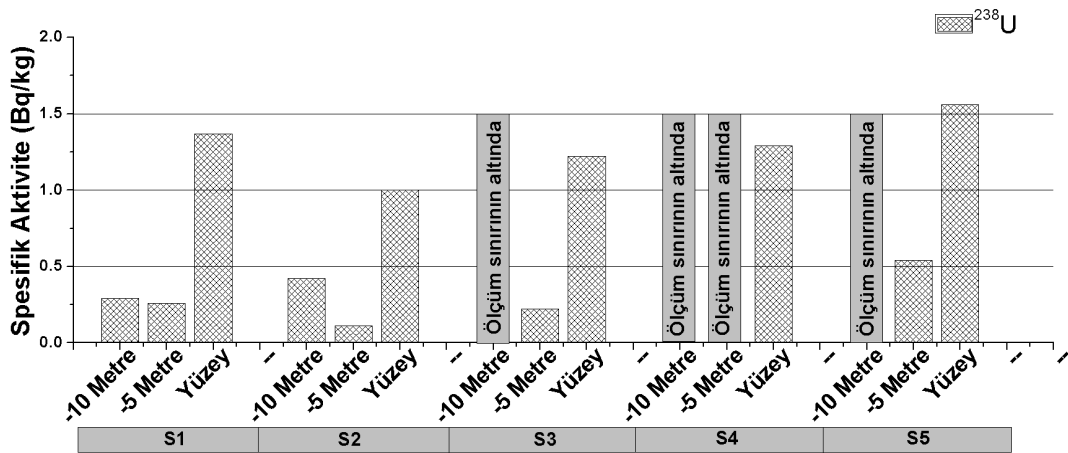
Tablo 4.5. S4 noktasından alınan su örneklerindeki ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K , ^{137}Cs spesifik aktiviteleri

Derinlik	5 metre	10 metre	Yüzey
İzotop	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)
^{40}K	$10,55 \pm 0,66$	$6,60 \pm 0,74$	$9,49 \pm 0,64$
^{238}U	<MDA	<MDA	$1,29 \pm 0,06$
^{232}Th	<MDA	$0,45 \pm 0,07$	<MDA
^{137}Cs	$0,03 \pm 0,01$	<MDA	<MDA

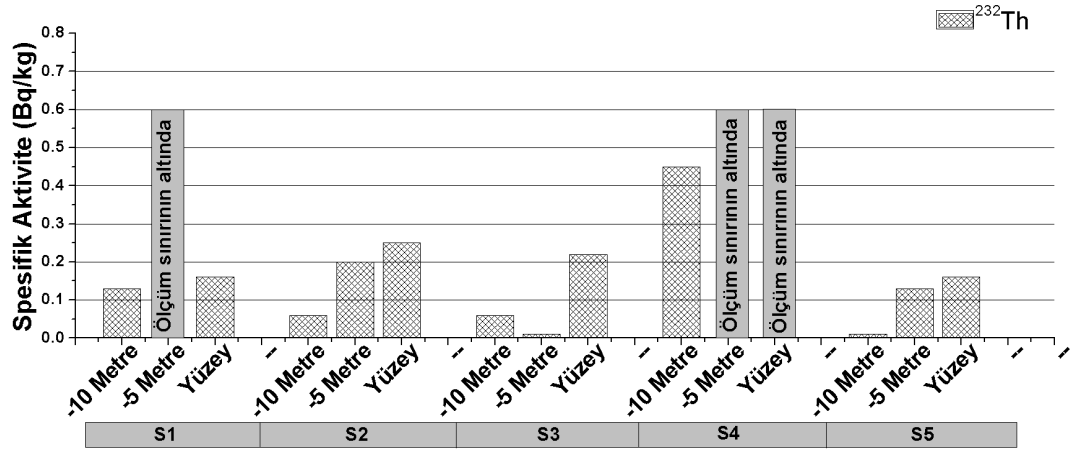
S5 noktasında üç farklı derinlikten su örneği alınmıştır. Bu noktadan alınan örneklerindeki ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs 'nin spesifik aktivite değerleri Tablo 4.6'de verilmiştir.

Tablo 4.6. S5 noktasından alınan su örneklerindeki ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K , ^{137}Cs spesifik aktiviteleri

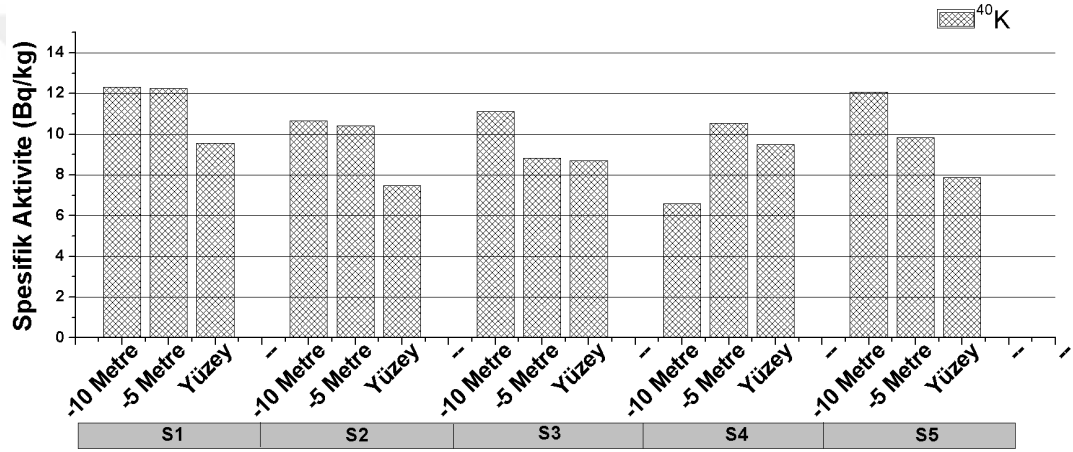
Derinlik	5 metre	10 metre	Yüzey
İzotop	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)
^{40}K	$9,83 \pm 0,73$	$12,07 \pm 0,73$	$7,89 \pm 0,64$
^{238}U	$0,54 \pm 0,05$	<MDA	$1,56 \pm 0,06$
^{232}Th	$0,13 \pm 0,01$	$0,01 \pm 0,01$	$0,16 \pm 0,03$
^{137}Cs	<MDA	<MDA	$0,04 \pm 0,02$



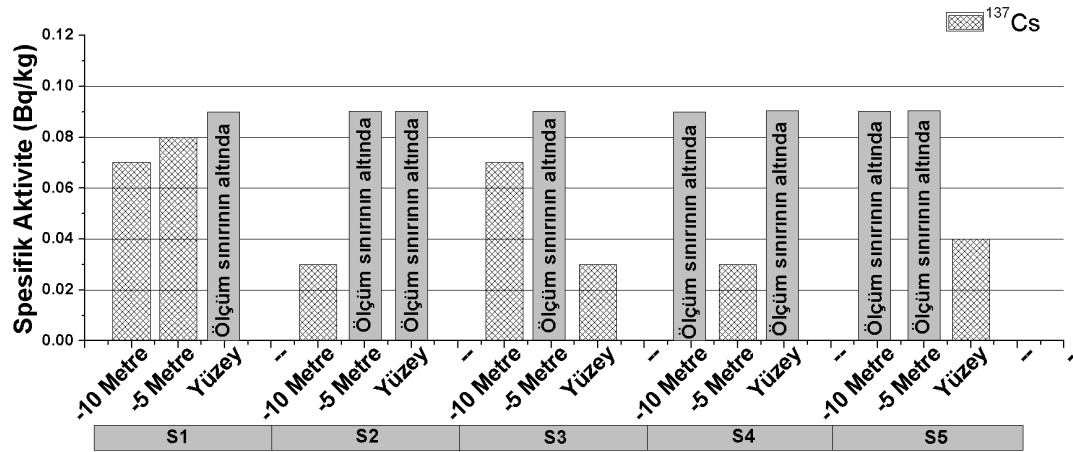
Şekil 4.5. Su örneklerindeki ^{238}U 'in spesifik aktivitesi



Şekil 4.6. Su örneklerindeki ^{232}Th 'nin spesifik aktivitesi



Şekil 4.7. Su örneklerindeki ^{40}K 'in spesifik aktivitesi



Şekil 4.8. Su örneklerindeki ^{137}Cs 'nin spesifik aktivitesi

4.3. Tartışma

Doğal radyasyon dozuna en büyük katkıyı veren izotoplar olan ^{232}Th , ^{238}U , ^{40}K , ve yapay olarak üretilen ^{137}Cs 'nin spesifik aktiviteleri gama spektroskopisi kullanılarak hesaplanmıştır. ^{232}Th ve ^{238}U 'in spesifik aktivite değerlerinin dünya ortalaması sırası ile 30 Bq/kg ve 35 Bq/kg dir. Bu açıdan bakıldığında tüm sediment örneklerinde ^{232}Th ve ^{238}U izotoplarının spesifik aktivite değerleri dünya ortalama değerlerinin altındadır. Buna karşın tüm sediment örneklerinde ^{40}K 'ın spesifik aktivite değerleri, dünya ortalaması olan 400 Bq/kg den yüksek çıkmıştır [11]. Tüm sediment örneklerinde ^{137}Cs spesifik aktivitesi minimum ölçülebilir aktivite değerinden büyük çıkmıştır.

Su örneklerinde bulunan ^{232}Th , ^{238}U , ^{40}K ve ^{137}Cs izotoplarının spesifik aktiviteleri sediment örneklerindekiyle kıyasla oldukça düşük çıkmıştır. Su örneklerinde derinliğe bağlı olarak spesifik aktivite değerlerinde düzgün bir değişim gözlenmemiştir. Körfez'deki su sirkülasyonunun yüksek olması bunun bir nedeni olabilir. Su örneklerinin bir çoğunda izotopların spesifik aktiviteleri minimum ölçülebilir aktivitenin altında kalmıştır. Su ve sediment örneklerindeki ^{137}Cs nin varlığının nedeninin Çernobil kazası sonucunda Türkiye'nin kuzey bölgesinde gerçekleşen nükleer serpinti olduğu düşünülebilir. S1, S2 ve S5 noktalarından alınan sediment örneklerindeki ^{137}Cs aktivitesinin diğer noktalardan alınan örneklerdekine göre yüksek olması, S1, S2 ve S5 noktalarının körfezin endüstrileşmiş bölgelerine yakın olmasından kaynaklanabilir. Mevsimsel etkilerin gözlemlenebilmesi için yılın farklı zamanlarında toplanan örnekler üzerinde ölçümler yapılmalıdır. Doğal ve yapay radyasyon düzeyi üzerinde Körfez kıyısı boyunca bulunan fabrikaların etkisinin daha iyi anlaşılabilmesi için Körfez kıyı şeridi boyunca daha fazla örnek toplanıp ölçüm yapılmalıdır.

Bu çalışma 9. Balkan Fizik Birliği Konferansında sözlü sunum olarak sunulmuş ve bildiri olarak yayınlanmıştır [1].

KAYNAKLAR

- [1] Ergül H. A., Belivermis M., Kılıç M., Topcuoglu S., Çotuk Y., Natural and artificial radionuclide activity concentrations in surface sediments of Izmit Bay, Turkey, *Journal of Environmental Radioactivity*, DOI:10.1016/j.jenvrad.2013.07.015.
- [2] Khuntong S., Phaophang C., Sudprasert W., Assessment of radionuclides and heavy metals in marine sediments along the Upper Gulf of Thailand, *Journal of Physics: Conference Series*, DOI:10.1088/1742-6596/611/1/012023.
- [3] Petrinec B., Strok M., Franic Z., Smodis B., Pavicic-Hamer D., Radionuclides in the adriatic sea and related dose-rate assessment from marine biota, *Radiation Protection Dosimetry*, DOI:10.1093/rpd/ncs234.
- [4] Ghose S., Alam M. N., Islam M. N., Concentrations of ^{222}Rn , ^{226}Ra and ^{228}Ra in surface sea water of the Bay of Bengal, *Journal of Environmental Radioactivity*, 2000, **47**, 291-300.
- [5] <http://arxiv.org/abs/astro-ph/9903300> (Ziyaret tarihi: 6 Mayıs 2016)
- [6] http://web.ua.es/docivis/magnet/earths_magnetic_field2.html (Ziyaret tarihi: 5 Mayıs 2016).
- [7] www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/radiation/comsic-cosmique-eng.php (Ziyaret tarihi: 7 Mayıs 2016).
- [8] <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11906138> (Ziyaret tarihi: 7 Mayıs 2016).
- [9] <http://www.unscear.org/unscear/en/faq.html> (Ziyaret tarihi: 8 Mayıs 2016).
- [10] UNSCEAR, Sources and Effects of Ionizing Radiation 2008 Report to the General Assembly with Annex B: Exposure from Natural Source of Radiation, *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation*, ISBN: 92-1-1-142238-8, 2008.
- [11] UNSCEAR, Sources and Effects of Ionizing Radiation 2008 Report to the General Assembly on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly, *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation*, ISBN: 92-1-1-142238-8, 2008.

- [12] <http://www.unscear.org/unscear/en/faq.html> (Ziyaret tarihi: 10 Mayıs 2016).
- [13] www.metadata.berkeley.edu/nuclear-forensics/Decay%20Chains.html (Ziyaret tarihi: 12 Mayıs 2016)
- [14] <http://www.taek.gov.tr/ogrenci/r05.htm> (Ziyaret tarihi: 26 Mayıs 2016).
- [15] <https://www.epa.gov/radiation> (Ziyaret tarihi: 13 Mayıs 2016).
- [16] <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/nucene/fisfrag.html> (Ziyaret tarihi: 13 Mayıs 2016).
- [17] <http://www.nndc.bnl.gov/nudat2/replotdec.jsp> (Ziyaret tarihi: 15 Mayıs 2016).
- [18] IAEA, *Radiation, people and the environment*, International Atomic Energy Agency, IAEA/PI/A.75 / 04-00391, Vienna, 2004.
- [19] http://en.eeae.gr/?menu=0&fvar=html/president/_info_radiation (Ziyaret tarihi: 16 Mayıs 2016).
- [20] <http://www.taek.gov.tr/bilgi-kosesi/184-radyasyonla-birlikte-yasiyoruz/501-dogal-radyasyon-kaynaklari.html> (Ziyaret tarihi: 16 Mayıs 2016).
- [21] Tsoufanidis N., *Measurement and Detection of Radiation*, 2nd ed, Taylor and Francis, Washington, 1995.
- [22] http://www.orcbs.msu.edu/radiation/programs_guidelines/radmanual/13rm_radionunits.htm (Ziyaret tarihi: 17 Mayıs 2016).
- [23] <http://www.cyberphysics.co.uk/topics/radioact/Radio/alpha.html> (Ziyaret tarihi: 18 Mayıs 2016).
- [24] https://en.wikipedia.org/wiki/Decay_product (Ziyaret tarihi: 20 Mayıs 2016).
- [25] K. S. Krane, *Introductory Nuclear Physics*, 2nd ed., John Wiley & Sons, Singapore, 1987.
- [26] <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=95&locale=tr> (Ziyaret tarihi: 19 Mayıs 2016)
- [27] <http://kosano.org.tr/wp-content/uploads/2015/03/kentsel-donusum-rapor2.pdf> (Ziyater tarihi: 25 Mayıs 2016)
- [28] <http://www.ortec-online.com/Solutions/gamma-spectroscopy.aspx> (Ziyaret tarihi: 21 Mayıs 2016)

- [29] ORTEC, *GammaVision Software Version 7 User's Manual*, 1th ed., ORTEC, U.S.A., 2013.
- [30] IAEA, Assessing the impacts of deep sea disposal of the level radioactivity wastes on living Marine Resources, *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation*, ISBN: 92-0-125488-1, 1988.



EKLER

EK-A



1380 Seaboard Industrial Blvd.
Atlanta, Georgia 30318
Tel 404-352-8677
Fax 404-352-2837
www.analyticinc.com

CERTIFICATE OF CALIBRATION
Standard Radionuclide Source

85548A-443
170 mL High Density Solid in 0.2 L PP Bora Jar

Customer: EZN/NEL Elektronik Cihazlar
P.O. No.: P622276, Item 1 (QCRA18256)
Reference Date: 01-Aug-2011 12:00 PM EST **Grams of Master Source:** 0.019226

This standard radionuclide source was prepared gravimetrically from a master radionuclide solution. The master radionuclide solution was prepared gravimetrically by addition of radionuclides calibrated by an ionization chamber or a liquid scintillation counter. Calibration and purity were checked using a germanium gamma spectrometer system. At the time of calibration no interfering gamma-ray emitting impurities were detected. The gamma-ray emission rates for the most intense gamma-ray lines are given. Eckert & Ziegler Analytics (EZA) maintains traceability to the National Institute of Standards and Technology through a Measurements Assurance Program as described in USNRC Regulatory Guide 4.15, Revision 1, February, 1979, and compliance with ANSI N42.22-1995, "Traceability of Radioactive Sources to NIST." EZA is accredited by the Health Physics Society (HPS) for the production of NIST-traceable sources, and this source was produced in accordance with the HPS accreditation requirements. Customers may report any concerns with the accreditation program to the HPS Secretariat, 1313 Dolley Madison Blvd., Ste. 402, McLean, VA 22101.

Density of solid matrix 1.6 g/cc.

Nuclide	Gamma-Ray Energy (keV)	Half-Life, Days	Activity, Bq	Branching Ratio	γ ps	Uncertainty, %		
						u_A	u_B	U
Am-241	59.5	1.580E+05	2.160E+03	0.3590	7.753E+02	0.1	1.7	3.4
Cd-109	88.0	4.626E+02	1.918E+04	0.0363	6.963E+02	0.5	2.3	4.7
Co-57	122.1	2.718E+02	4.735E+02	0.8556	4.051E+02	0.5	2.0	4.1
Ce-139	165.9	1.376E+02	6.896E+02	0.7989	5.509E+02	0.5	1.9	3.9
Hg-203	279.2	4.661E+01	1.627E+03	0.8146	1.325E+03	0.4	1.9	3.9
Sn-113	391.7	1.151E+02	1.091E+03	0.6497	7.091E+02	0.5	1.9	3.9
Cs-134	604.7	7.542E+02	2.407E+03	0.9762	2.349E+03	0.1	1.7	3.4
Cs-137	661.7	1.098E+04	5.693E+02	0.8510	4.844E+02	0.6	1.9	4.0
Cs-134	795.9	7.542E+02	2.407E+03	0.8546	2.057E+03	0.1	1.7	3.4
Mn-54	834.9	3.121E+02	1.358E+03	0.9998	1.358E+03	0.1	1.7	3.4
Y-88	898.0	1.066E+02	2.489E+03	0.9370	2.332E+03	0.4	1.9	3.9
Zn-65	1115.6	2.441E+02	3.639E+03	0.5060	1.841E+03	0.1	1.7	3.4
Y-88	1836.1	1.066E+02	2.489E+03	0.9920	2.469E+03	0.5	1.9	3.9

* Master Source refers to Analytics' TCC mixture which is calibrated three times a year.

Uncertainty: U - Relative expanded uncertainty, k = 2. See NIST Technical Note 1297, "Guidelines for Evaluating and Expressing the Uncertainty of NIST Measurement Results."

(Certificate continued on reverse side)



KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

- [1] **Öksüz İ.**, Güray R. T., Özkan N., Yalçın C., Ergül H. A., Aksan S., Measurement of natural and ^{137}Cs radioactivity concentrations at Izmit Bay (Marmara Sea), Turkey, *American Institute of Physics*, DOI: 10.1063/1.4944133.



ÖZGEÇMİŞ

1985 yılında Rize de doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini aynı ilde aldı. 2004 ile 2008 yılları arasında Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Öğretmenliği bölümünde eğitim gördü. 2009 ile 2013 yılları arasında Kocaeli Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik bölümünde eğitim aldı. 2013 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim dalında eğitim almaya başladı. 2014 yılında Macar Bilimler Akademisinde (MTA-ATOMKI) NIC School-2014 adlı yaz okuluna katıldı. Aynı yıl Almanya Dresden de bulunan Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (HZDR) araştırma merkezinde yaz okulu öğrencisi olarak bulundu ve altı hafta süre ile laboratuvar çalışmaları yaptı. Yine aynı yıl Macar Bilimler Akademisinde beş ay süre ile ERASMUS öğrencisi olarak bulundu.