KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FİZİK ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KOCAELİ İLİ KARADENİZ SAHİLLERİ TOPRAK NUMUNELERİNDEKİ RADYASYON SEVİYELERİNİN ÖLÇÜLMESİ

Mustafa ÇUBUKÇU

KOCAELİ 2018

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FİZİK

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KOCAELİ İLİ KARADENİZ SAHİLLERİ TOPRAK NUMUNELERİNDEKİ RADYASYON SEVİYELERİNİN ÖLÇÜLMESİ

MUSTAFA ÇUBUKÇU

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

Prof. Dr. Seda SAĞDINÇ
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi .....

Doç. Dr. Hakan YAKUT
Jüri Üyesi, Sakarya Üniversitesi .....

Tezin Savunulduğu Tarih: 04.01.2018

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Günlük yaşantımızda ürktüğümüz uzak durmak için mücadele verdiğimiz hatta çeşitli sivil toplum örgütlerince istenmeme propagandası yapılan nükleer enerji, radyasyonla aslında iç içe yaşıyoruz. Çevremizde yerkabuğundan kaynaklanan radyasyon, uzaydan atmosfere giren kozmik ışınlar bununla beraber radyoaktivitenin sağlık alanında kullanımı, nükleer enerji santralleri birer radyasyon kaynağı. Çevre radyoaktivitesi dediğimiz bu radyoaktivitenin ölçülüp kamuoyuna anlatılmasını görev kabul ederek bu çalışmayı yaptım.

Çalışma süresince yakınlığını her zaman hissettiğim bilgisini ve desteğini esirgemeyen tez danışmanım R. Taygun GÜRAY ‘a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar çalışmalarım süresince her zaman yanımda olan değerli arkadaşım Caner YALÇIN’a sabırlarından dolayı teşekkür ederim.

Çalışmamda moral ve destek veren sevgili eşim Sevilay’a gönülden teşekkür ederim.

Tabi ki sevgilerini ilgilerini üzerimden eksik etmeyen anne ve babama en derin minnettarlarımı sunuyorum.

ŞUBAT - 2018 Mustafa ÇUBUKÇU

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER ii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
TABLOLAR DİZİNİ vi
SİMGELER DİZİNİ vii
ÖZET ix
ABSTRACT x
GİRİŞ 1
1.LİTERATÜR ÖZETİ 2
2.TEMEL BİLGİLER 5
2.1. Radyoaktivite 5
2.2. Bağlanma Enerjisi 7
2.3. Radyoaktif BozunmaYasası 8
2.4 Zincirleme Radyoaktif Yasası 8
2.5. Yarı Ömür, Ortalama Ömür 9
2.6. Radyoaktif Bozunma Türleri 10
2.6.1. Alfa(α) bozunumu 10
2.6.2. Beta bozunumu (β) 11
2.6.3. Gama ışıması (ɣ) 13
2.7. Radyasyon Kaynakları 13
2.7.1 Doğal radyasyon kaynakları 14
2.7.2 Yapay radyasyon kaynakları 16
2.8. Radyoaktif Seriler 17
2.9. Radyoaktif Serilerde Denge 20
2.1 Radyoaktivite ve Radyasyon Doz Birimleri 25
2.10.1 Aktivite birimleri 25
2.10.2 Soğurulma doz birimi 26
2.10.3 Işınlama doz birimi 26
2.10.4 Biyolojik eşdeğer doz birimi 26
3. RADYASYON ÖLÇÜMÜ 27
3.1 Gama Işınlarının Madde ile Etkileşimi 27
3.1.1 Fotoelektrik olay 27
3.1.2 Compton saçılması 28
3.1.3 Çift oluşumu 29
3.2. Dedektörler 32

3.2.1 Sintilasyon dedektörleri 32
3.2.2 Yarı İletken dedektörler 33
3.3. Gama Spektroskopisi 34
3.3.1 HpGe gama spektrometresi ve özellikleri 35
3.3.2 HPGe gama spektrometresi kalibrasyonları, enerji kalibrasyonu, verim kalibrasyonu 36
3.4. Pik Alanının Hesabı 39
3.5. Hata Hesabı 40
3.6. Ağırlıklı Ortalama 41
3.7. Gama Doz Hızı 41
3.8. Radyum Eşdeğer Aktivitesi 42
4. DENEY VE HESAPLAMALAR 43
4.1. Çalışma Alanının Coğrafi Yapısı 43
4.2. Örneklerin Toplanması 44
4.3. Hesaplamalar 48
4.3.1 Net toprak kütlesinin bulunması 48
4.3.2 Enerji kalibrasyonu 49
4.3.3 Verim kalibrasyonu 50
4.3.4 Aktivite hesabı 53
4.3.5 Hata hesabı 54
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 56
5.1. Numunelerin aktivite ve spesifik aktivite değerleri 56
5.2. Bölgedeki gama doz hızı ve yıllık gama doz hızı 66
5.3. Yorum 68
KAYNAKLAR 70
EKLER 72
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER 74
ÖZGEÇMİŞ 75

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Kararlılık eğrisi …….…..... 6
Şekil 2.2. Kütle numarasına göre nükleon başına düşen bağlanma enerjisi ……..… 7
Şekil 2.3. Radyoaktif bir örnekteki N çekirdek sayısının zamanla değişimi …… 9
Şekil 2.4. Alfa bozunumu …….……..... 11
Şekil 2.5. β- bozunumu …….…….. 12
Şekil 2.6. β+ bozunumu ……...… 12
Şekil 2.7. Elektron yakalama ……...… 13
Şekil 2.8. Gama ışıması ……...… 13
Şekil 2.9. Radyasyon kaynaklarının çevre radyasyonuna oransal katkıları ….…...… 14
Şekil 2.10. Dünya genelinde doğal radyasyon oranları …… 14
Şekil 2.11. ^{210}Po'nun bozunum şeması …….…..... 15
Şekil 2.12. ^{40}K ' nın bozunum şeması ……..….. 16
Şekil 2.13. ^{137}Cs' nin bozunum şeması …….. 16
Şekil 2.14. Dünya genelinde yapay radyasyon oranları ……...… 17
Şekil 2.15. ^{232}Th serisi ……..... 18
Şekil 2.16. ^{238}U serisi …….. 19
Şekil 2.17. ^{235}U (Aktinyum) serisi …….. 20
Şekil 3.1. Fotoelektrik olayı …….. 28
Şekil 3.2. Compton saçılması ……..... 28
Şekil 3.3. Çift oluşumu ……. 30
Şekil 3.4. Gama fotonunun enerji değerine göre dedektör ile etkileşiminin değişimi ……...……. 31
Şekil 3.5. Dedektöre gelen gamaların kristalle etkileşimi …… 32
Şekil 3.6. Sintilasyon dedektörü …….…….. 33
Şekil 3.7. Yarı iletken dedektör …….…… 34
Şekil 3.8. Dedektör sistemi şeması …….…….. 35
Şekil 3.9. Germanyum dedektörlü gama spektrometresi …….……. 35
Şekil 3.10. Gama spektroskopisi sistemi ……... 36
Şekil 3.11. Enerji kalibrasyon grafiği ……... 38
Şekil 3.12. Pik alan hesabında net alanın eldesi …… 39
Şekil 4.1. Kandıra …….…. 43
Şekil 4.2. Örneklerin alındığı bölgelerin haritadaki yerleri …….…….. 44
Şekil 4.3. MagellaneXplorist GPS cihazı …….…. 44
Şekil 4.4. Toprak örnekleri alımında kullanılan araç gereçler …….. 45
Şekil 4.5. Demir halka ile toprak örneklerinin alınması ve etiketlenmesi …….. 46

Şekil 4.6. 1mm genişlikli elek ve standart kaplara yerleştirilen örnekler ……. 46
Şekil 4.7. Etüve yerleştirilen örnekler …….……. 47
Şekil 4.8. Standart kap …….…….47
Şekil 4.9. Toprak örneklerin sayımında kullanılan HpGe gama spektrometresi ……. 48
Şekil 4.10. Enerji- kanal numarası grafiği …….. 50
Şekil 4.11. Standart kaynağın sayımı sonucu elde edilen grafik …… 51
Şekil 4.12. Enerji-verim grafiği …….. 52
Şekil 4.13. Çamkonak örneğinin fon ve sayımından elde edilen grafik …….. 53
Şekil 4.14. Fon sayım grafiği …….……. 53
Şekil 5.1. Tüm bölgeler için ^{238}U spesifik aktivite değerleri …….. 63
Şekil 5.2. Tüm bölgeler için ^{232}Th spesifik aktivite değerleri …….. 64
Şekil 5.3. Tüm bölgeler için ^{40}K spesifik aktivite değerleri ……... 64
Şekil 5.4. Tüm bölgeler için ^{137}Cs spesifik aktivite değerleri ……..... 65
Şekil 5.5. Tüm bölgeler için ^{238}U, ^{232}Th, ^{40}K ,^{137}Cs spesifik değerlerinin birlikte gösterimi …….. 65
Şekil 5.6. Tüm bölgeler için gama doz hızı grafik gösterimi ……... 67
Şekil 5.7. Tüm bölgeler için yıllık gama doz hızı grafik gösterimi ……. 67
Şekil 5.8. Tüm bölgeler için radyum eşdeğer aktivite grafik gösterimi …..…..... 68

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1.1. Trakya ve Marmara Bölgesi'nde spesifik radyooaktivite değerler 2
Tablo 1.2. İstanbul ve Çevresi spesifik radyoaktivite değerleri 3
Tablo 1.3. Kandıra ve Çevresi sahil kumları spesifik aktivite değerleri ……..…… 4
Tablo 2.1. ^{232}Th Serisi bozunumları …….....21
Tablo 2.2. ^{238}U Serisi bozunumları …….....22
Tablo 2.3. ^{214}Pb bozunumundan yayınlanan gamaların listesi ...……...……. 23
Tablo 2.4. ^{214}Bi bozunumundan yayınlanan gamaların listesi…….....23
Tablo 2.5. ^{228}Ac bozunumundan yayınlanan gamaların enerji ve yayınlanma olasılıkları…….....24
Tablo 2.6. ^{212}Pb bozunumundan yayınlanan gamaların enerji ve yayınlanma olasılıkları…….....24
Tablo 2.7. ^{208}Tl bozunumundan yayınlanan gamaların enerji ve yayınlanma olasılıklar…….....25
Tablo 2.8. Radyasyon birimleri …...……..... 26
Tablo 3.1. Enerji kalibrasyonunda kullanılan referans kaynaklar…….....37
Tablo 4.1. Örneklerin alındığı bölgelerin koordinatları……..... 45
Tablo 4.2. Toprak örneklerinin boş kap ve net kütlesi……..... 48
Tablo 4.3. Enerji kalibrasyonunda kullanılan radyoizotopların bozunum türleri ve enerjileri …...…….……49
Tablo 4.4. Verim hesaplamasında kullanılan radyoizotoplar ve verim değerleri ….....52
Tablo 4.5. Çamkonak örneği ağırlıklı spesifik aktivite değerleri…….....54
Tablo 4.6. Çamkonak örneği ağırlıklı spesifik aktivite değerleri…….....55
Tablo 5.1. Kerpe 120801001 nolu numunenin 86197 saniye sayımı ile elde edilen aktivite ve spesifik aktivite değerleri 56
Tablo 5.2. Sarısu 120801002 nolu numunenin 102759 saniye sayımı ile elde edilen aktivite ve spesifik aktivite değerleri…… 57
Tablo 5.3. Seyrek 120801003 nolu numunenin 66696 saniye sayımı ile elde edilen aktivite ve spesifik aktivite değerleri ……..... 57
Tablo 5.4. Uzunkum 120802004 nolu numunenin 96657 saniye sayımı ile elde edilen aktivite ve spesifik aktivite değerleri……..... 58
Tablo 5.5. Cebeci_1 120802005 nolu numunenin 149468 saniye sayımı ile elde edilen aktivite ve spesifik aktivite değerleri 58
Tablo 5.6. Cebeci_2 120802006 nolu numunenin 195077 saniye sayımı ile elde edilen aktivite ve spesifik aktivite değerleri ……..... 59
Tablo 5.7. Kovanağzı 120802007 nolu numunenin 67009 saniye sayımı ile elde edilen aktivite ve spesifik aktivite değerleri……..…… 59

Tablo 5.8. Kumcağaz 120802008 nolu numunenin 87198 saniye sayımı ile elde edilen aktivite ve spesifik aktivite değerleri ……..... 60
Tablo 5.9. Bağırganlı 120802009 nolu numunenin 84229 saniye sayımı ile elde edilen aktivite ve spesifik aktivite değerleri……..... 60
Tablo 5.10.Çamkonak 130819010 nolu numunenin 83674 saniye sayımı ile elde edilen aktivite ve spesifik aktivite değerleri 61
Tablo 5.11.Dikili_1 130819011 nolu numunenin 87198 saniye sayımı ile elde edilen aktivite ve spesifik aktivite değerleri …….……..... 61
Tablo 5.12.Dikili_2 130819012 nolu numunenin 90329 saniye sayımı ile elde edilen aktivite ve spesifik aktivite değerleri …….……..... 62
Tablo 5.13.Hamidiye 130819013 nolu numunenin 104770 saniye sayımı ile elde edilen aktivite ve spesifik aktivite değerleri ..……..……... 62
Tablo 5.14.Tüm bölgelerin spesifik aktivite değerleri……..... 63
Tablo 5.15.Bölgelerin gama doz hızı ve yıllık gama doz hızı ve radyum eşdeğer aktivitesi……..... 66
Tablo 5.16.Radyonüklidlerin Türkiye, Dünya ve bölge ortalama değerleri…..... 69

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	: Aktivite
A_0	: Başlangıç radyoaktivitesi
E	: Enerji
Th	: Toryum
U	: Uranyum
K	: Potasyum
Cs	: Sezyum
N	: Nötron sayısı
Z	: Atom numarası
I	: İyot
N	: Radyoaktif çekirdek sayısı
λ	: Bozunma sabiti
$t_{1/2}$	: Yarı ömür
τ	: Ortalama ömür
$t_{1/2\ B}$	: Biyolojik yarı ömür
$t_{1/2\ etkin}$	: Etkin yarı ömür
α	: Alfa
β	: Beta
γ	: Gama
e-	: Elektron
e^+	: Pozitron
n	: Nötron
ν	: Nötrino
ε	: Verim
p	: Proton
Te	: Elektronun kinetik enerjisi
$E\gamma$	: Foton enerjisi
Be	: Elektronun bağlanma enerjisi
$K\alpha$	: Karakteristik X ışını
m	: Kütle
c	: Işık hızı
ADC	: Analog dijital çevirici
MCA	: Çok kanallı analizör
Ge	: Germanyum
HPGe	: Yüksek saflıkta Germanyum
FWHM	: Pikin maksimum yarı tam genişliği
MeV	: Milyon elektron volt
keV	: Kiloelektronvolt
$I\gamma$	: Fotonun yayınlanma olasılığı

KOCAELİ İLİ KARADENİZ SAHİLLERİ TOPRAK NUMUNELERİNDEKİ RADYASYON SEVİYELERİNİN ÖLÇÜLMESİ

ÖZET

Günümüzde insanların maruz kaldığı radyasyonun kaynağı doğal radyasyon olup, bu radyasyon oranlarının bilinmesi oluşabilecek zararların önceden belirlenmesi açısından önem taşımaktadır. Yakın gelecekte ülkemizde iki bölgede nükleer santraller hizmete açılacaktır. Farklı bölgelerin çevre radyasyonun bilinmesi bu santrallerin çevreye etkilerini belirlemede önem teşkil edecektir.

Bu sebeplerden dolayı Kocaeli ili Karadeniz sahil bölgelerinde radyasyon riskini belirlemek, veri tabanı oluşturmak ve var olan radyoaktivite miktarını ölçmek için 13 toprak numunesi alınarak, doğal ve (^{226}Ra, ^{232}Th, ^{238}U, ^{40}K) ve doğal olmayan (^{137}Cs) radyasyon düzeyleri gama spektroskopisi ile ölçüldü. Sonuçlar daha önce aynı bölgede yapılan diğer ölçüm değerleri ile karşılaştırıldı.

Anahtar Kelimeler: Çevresel Radyoaktivite, Gama Spektrometresi, Kocaeli

DETERMINATION OF RADIOACTIVITY LEVELS OF BEACH SOILS IN THE BLACK SEA COAST OF KOCAELİ

ABSTRACT

Today, the source of radiation that people are exposed is natural radiation and knowing these radiation rates is important for predicting potantial damage.In the near future, nuclear power plants will be opened in our country in two regions. Knowing the environmental radiation of different regions will be important in determining the environmental impact of these plants.

Because of the reasons in Kocaeli Blacksea beach, 13 soil samples were taken to determine the radiation risk, create the database ,and measure the amount of radioactivity present, natural (^{226}Ra, ^{232}Th, ^{238}U, ^{40}K) and unnatural (^{137}Cs) radiation levels were measured by gamma spectroscopy.The results were compared with the radiation values from the coastals and previously taken from the same regions.

Keywords: Environmental Radioactivity, Gamma Spectroscopy, Kocaeli

GİRİŞ

Evrenin oluşumundan itibaren günümüze kadar yeryüzündeki atomlar değişime uğrayarak bir başka atom halini almaktadır. Bu Dünya'nın yaşıyla kıyaslanacak kadar uzun ya da saniyenin milyonda biri kısalıkta bir zaman diliminde meydana gelebilecek bu değişim sürecinde aktif çekirdekler dış ortama ışıma yapmaktadır. Ayrıca uzaydan gelen kozmik ışınlar yeryüzünü radyoaktif bombardımanına tutmaktadır.

Çevre Radyoaktivitesinin ilgi alanı olan bu duru uzun yıllardır çalışma çalışılmakta ise de önem kazandığı olay 1986 yılında meydana gelen Çernobil nükleer kazasıdır. Bu kaza sonucu Dünya'nın büyük kesimi radyoaktif kirlenmeye maruz kalmıştır. Bu olay radyoktivitenin yayılımı, ölçümü etkileri, alınacak önlemler konusunda uygarlığa doğal bir laboratuvar şartları sağlamıştır.

Çevrenin doğal ve yapay radyasyon seviyesindeki önemli değişimlerin tespit edilmesi, herhangi bir kaza sonrasında radyoaktif kirlenmenin boyutlarının değerlendirilmesi ve çevresel radyoaktivitenin insan sağlığı ile çevre üzerindeki etkilerinin doğru şekilde belirlenebilmesi amacıyla yeryüzünün çeşitli yerlerinde radyoaktif ölçümler yapılmaktadır [1].

Kocaeli Ülkemizin fabrika ve endüstri tesislerinin yoğun olduğu bir bölge olup aynı zamanda çevre kirliliğinin sık olarak yaşandığı ilimizdir.

Bu kirlilik içerisinde radyoaktif kirliliğin ne oranda olduğu konusunda bilgi edinmek bu çalışmanın amaçlarından biridir.

Kocaeli Bölgesinde, topraktaki radyoizotop değerleri kullanarak, ülkemizin radyasyon haritasının çıkarılmasına katkıda bulunmak çalışmalarımızın hedefleri arasındadır. Aynı bölgede bu çalışma öncesi grup arkadaşlarımız ölçümler yapmış olup bu çalışma onların yaptığı ölçümlerin zaman içerisindeki değişimini göstermeye katkıda bulunmaktadır.

1. LİTERATÜR ÖZETİ

Doğal radyoaktivitenin seviyesinin belirlenmesi amacıyla ülkemizde Dünya'da çeşitli ölçümler yapılmaktadır.

2014 yılında Filistin'de 24 farklı bölgede ölçümler yapılmıştır. Ölçümlerde ^{238}U spesifik aktivitesi 12,7 ile 122,3 Bq kg $^{-1}$ arasında olup ortalama değer 41,4 Bq kg $^{-1}$, ^{232}Th aktivitesi 2,0 ile 32,2 Bq kg $^{-1}$ olup ortalama değer 19,5 Bq kg $^{-1}$, ^{40}K aktivitesi 12,0 ile 183,8 Bq kg $^{-1}$ arasında olup ortalama değer 113,3 Bq kg $^{-1}$,^{137}Cs 1,0 ile 12,2 Bq kg $^{-1}$ olup ortalama değer 2,8 Bq kg^{-1} olarak ölçülmüştür [2].

2009 yılında Trakya ve Marmara Bölgesinde yapılan bir çalışmada elde edilen aktivite değerleri Tablo 1.1'de verilmiştir.

Tablo 1.1. Trakya ve Marmara Bölgesinde spesifik radyoaktivite değerleri [3]

Bölge	İzotop	En düşük (Bq kg -1)	En Yüksek (Bq kg -1)	Median (Bq kg -1)	Standart Sapma (Bq kg -1)	Ortalama (Bq kg -1)
Trakya	**^{137}Cs**	0,9	140,6	22,7	29,2	32,7
	^{40}K	234,3	1128,3	481,5	160,1	509,0
	^{232}Th	12,8	56,3	23,2	8,8	24,7
	^{238}U	10,8	45,5	20,0	7,9	22,3
Doğu - Güney Marmara	**^{137}Cs**	0,9	153,7	22,2	21,8	27,5
	^{40}K	69,2	1085,6	433,7	189,9	442,5
	^{232}Th	4,6	88,9	23,3	15,9	26,6
	^{238}U	5,1	87,0	20,2	12,1	21,8

2007 yılında Adana ili çevresi topraklarında yapılan ölçümlere göre ortalama aktivite değerleri ^{238}U için, 16,66 Bq kg $^{-1}$ ^{232}Th için, 21,69 Bq kg $^{-1}$ ^{40}K için 305,53 Bq kg $^{-1}$ ^{137}Cs için 7,00 Bq kg $^{-1}$ olarak bulunmuştur [4].

1998-1999 yılları arasında İstanbul çevresindeki toprak örneklerinde radyonüklidlerin analizi yapılmıştır. Bu ölçüm değerleri Tablo 1.2'de gösterilmiştir.

Tablo 1.2. İstanbul ve Çevresi spesifik aktivite değerleri [5]

Bölge	^{238}U			^{232}Th			^{40}K	^{137}Cs
	^{226}Ra	^{214}Pb	^{214}Bi	^{228}Ac	^{212}Pb	^{208}Tl		
Silivri	23±9	16±1	16±4	34±8	42±3	27±4	404±20	9±2
B.Çekmece	33±4	28±3	25±2	29±7	28±4	31±3	343±7	3±0,3
Mimarsinan	14±3	10±2	11±2	37±6	41±3	26±3	375±17	6±1
Çatalca	26±8	10±2	19±3	30±3	43±3	25±3	256±14	19±1
Kayabaşı Köyü	20±8	17±2	19±4	44±7	55±4	36±4	355±20	15±1
Bağcılar	37±3	18±1	26±1	47±6	42±5	43±6	318±4	21±0,3
Mahmutbey	26±7	17±3	22±5	41±4	53±4	38±3	394±19	14±1
Arnavutköy	37±5	14±1	25±2	35±3	45±1	24±1	333±8	11±0,4
Kanallar	46±9	16±1	34±2	36±3	49±2	30±1	235±7	41±1
Habipler	21±8	13±3	20±6	34±6	44±3	31±4	239±9	51±2
Arnavutköy	48±8	22±3	34±4	18±2	17±3	18±3	426±20	20±1
Terkos	17±7	12±1	16±4	38±5	45±3	31±3	290±14	26±1
Yedikule	15±3	9±2	12±4	35±6	47±4	27±4	423±20	7±1
Kınalıada	18±3	14±3	15±5	34±4	45±5	28±4	117±20	81±3
Şişli	26±6	17±2	20±2	40±4	52±3	35±3	251±13	6±1
Sarıyer	41±8	23±1	29±3	50±5	83±2	48±4	421±55	
Kavak	7±1	3±1	6±2	22±3	22±3	19±4	190±18	11±1
Tarabya	19±6	12±2	17±4	23±7	32±3	17±3	632±23	2±1
Rumeli Feneri	14±4	9±2	11±3	16±3	21±4	12±3	1204±31	3±1
Kilyos(kum)	8±4	3±1	3±1	10±1	10±1	9±2	152±10	12±1
Beylerbeyi	20±6	10±2	17±4	42±6	53±4	36±4	555±27	15±1
Orta Çeşme	37±9	15±2	27±6	53±8	68±4	44±4	572±22	13±1
Çubuklu	19±6	11±2	16±5	47±7	69±3	46±5	453±19	
Ömerli	56±6	23±1	40±2	57±4	80±1	59±5	213±6	
Sultanbeyli	48±11	18±2	34±5	68±14	78±4	51±4	354±17	11±1
Acısu Köyü	10±3	6±2	8±3	16±2	21±2	11±3	240±14	34±1
Ümraniye	54±11	31±3	40±5	59±16	91±4	56±4	253±16	7±1
Çamlıca	32±8	23±1	23±6	61±6	62±4	80±10	171±14	42±2
Kartal	59±7	26±2	40±3	48±3	79±10	51±2	474±13	9±1

Kocaeli Kandıra Bölgesinde 2010 yılında sahil kumlarının spesifik aktivite ölçümü yapılmıştır. Tablo 5.2'de bu ölçüm sonucu elde edilen spesifik aktivite değerleri gösterilmiştir.

Tablo 1.3. Kandıra ve çevresi sahil kumları spesifik aktivite değerleri [6]

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

2. TEMEL BİLGİLER

2.1. Radyoaktivite

Atom 10^{-15} m kadar olan pozitif yüklü bir çekirdek ve bu çekirdeğin çevresinde yörüngelerde bulunan elektronlardan oluşur. Atomun kütlesi hemen hemen çekirdeğin kütlesine eşittir.

1896 yılında Henry Bequerel çekmecesinde bulunan uranyum tuzunun yanındaki fotoğraf filmlerinde izler bıraktığını gözlemledi. Bequerel bunu uranyum tuzunun kendiliğinden ışımalar yapması olarak yorumlayarak bu olaya "radyoaktivite" adını verdi.

1898 de Marie Curie radyum ve polonyum elementlerinin de radyoaktif olduğunu keşfederek radyoaktiviteyi sistematik ve ölçülebilir hale getirdi.

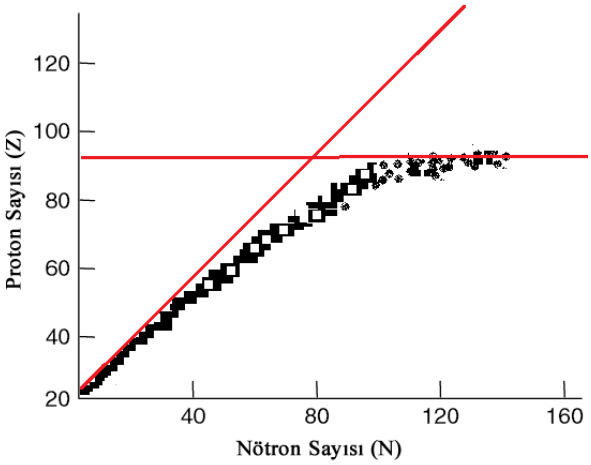
1911 yılında E. Rutherford a göre atomun pozitif yükü ve kütlesi, çekirdek olarak adlandırılan bir merkezde toplanmıştı.

Rudherford 1919 da azot gazı üzerine alfa parçacıkları gönderdiğinde, gazdan (+) yüklü parçacıkların salındığını gözlemledi. Bu parçacıklara proton adını verdi. Tepkime sonunda azot gazı oksijene dönüşüyordu.

$$^{14}_{7}N + ^{4}_{2}\alpha \rightarrow ^{17}_{8}O + ^{1}_{1}p \qquad (2.1)$$

1934 yılında İrena Curie-Frederic Juliet çifti laboratuvar ortamında alüminyumu, polonyumun radyoaktif bozunmasından ortaya çıkan α parçacıklarıyla bombardıman etmesi sonucu $^{30}_{15}P$ elde ederek, radyoaktifliği yapay olarak elde ettiler [7].

$$^{27}_{13}Al + ^{4}_{2}\alpha \rightarrow ^{30}_{15}P \qquad (2.2)$$



Şekil 2.1. Kararlılık eğrisi

Radyoaktif olarak bilinen atomların çekirdeği kararsız olup radyoaktif özelliğe sahiptir. Nötron (N) ve proton (Z) sayılarına göre atomların kararlı, kararsız olduklarını gösteren Şekil 2.1'e bakılırsa, hafif elementlerin kararlı izotoplarında nötron sayısı proton sayısına eşittir. Proton sayısı arttıkça protonlar arası elektriksel itme kuvveti artar. Nükleonlar arası çekim kuvvetine üstün gelir. Bu durumda proton sayısı arttıkça nötron sayısı proton sayısına eşit olsa dahi N=Z olan çekirdekler kararsız hale gelir. Kararlılık eğrisi bu durumda N>Z bölgesine kayar. Atom numarası 80'den yukarı olan çekirdeklerde çekirdek yarıçapı yeterince büyük olduğu için bu atomlar genelde kararsızdır.

Kararsız çekirdeklerin radyasyon yayınlayarak çekirdeğin uğradığı değişikliğe bozunma denir. Bozunan çekirdeğin nükleon sayısı değiştiği durumda yeni çekirdekler oluşur. Oluşan yeni çekirdeklere ürün çekirdek denir. Denklem (2.3) 'te radyum (Ra) çekirdeği bozunarak radon (Rn) gazına dönüşmüştür.

$$^{226}_{88}Ra \rightarrow \alpha + {}^{222}_{86}Rn \qquad (2.3)$$

Radyoaktiflik olayının çekirdekle ilgili bir dönüşüm olduğu radyumun toprak alkali metal olduğu halde, radon soy gazlar grubunda bulunan bir gaz olmasıdır.

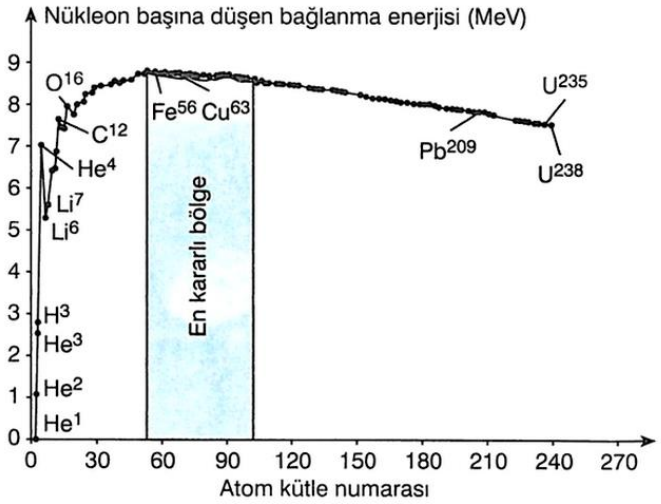
Ürün çekirdek de kararsız olması durumunda 2. ürün çekirdek oluşur. Böylece kararsız çekirdek kararlı hale gelene dek bozunuma uğrar. Meydana gelen bu seriye bozunum serisi denir.

2.2. Bağlanma Enerjisi

Bir atom Z kadar proton (A-Z) kadar nötron ve Z kadar elektrondan oluşur. Bir çekirdeği nükleonlarına ayırabilmek için verilmesi gereken enerjiye çekirdek bağlanma enerjisi denir. Bir çekirdeğin B bağlanma enerjisi , ${}^{A}_{Z}X_{N}$ çekirdeği ile bunu oluşturan Z proton ve N tane nötronun kütle enerjileri arasındaki farka eşittir.

$$B = \{Zm_p + Nm_n - m({}^{A}_{Z}X_{N})\} \tag{2.4}$$

Çekirdek bağlanma enerjisinin (B) nükleon sayısına (A) bölümü ile nükleon başına düşen bağlanma enerjisi bulunur. Nükleer bağlanma enerjisinin nükleon sayısına oranı ${}^{B}/_{A}$'nın nükleon sayısına göre değişimi çekirdek kararlılığı hakkında bilgi verir. Şekil 2.2'deki grafik incelendiğinde eğri çok hafif çekirdekler hariç oldukça sabittir. Bu aralıkta nükleon başına bağlanma enerjisi yaklaşık 8 MeV civarındadır. Bu aralık dışında A>60 olan elementler kararlı hale geçebilmek için olabildiğince kütle numarasını azaltarak kararlı hale geçmeye çalışırken, küçük çekirdekli elementlerde kütle numarasını arttırarak kararlı hale geçmeye çalışır. Küçük kütleli çekirdeklerin kaynaşarak büyük çekirdek oluşumu tepkimelerine füzyon denir. Büyük kütleli çekirdeklerin ayrışarak küçük kütleli çekirdeklere dönüşümüne fisyon denir [8].



Şekil 2.2. Kütle numarasına göre nükleon başına düşen bağlanma enerjisi [9]

2.3. Radyoaktif Bozunma Yasası

Radyoaktif bir maddenin bozunması istatistiksel olup hangi atomun ne zaman bozunacağı belirsizdir. Bu bozunmada kütle miktarı üstel fonksiyona uygun olarak azalır. Eğer bir t anında N kadar radyoaktif çekirdek varsa dt süresince bozunan çekirdek sayısı dN çekirdek sayısı N ile orantılı olup

$$dN = -\lambda N dt \tag{2.5}$$

Burada λ, bozunma sabiti olarak adlandırılır.

$$\int_{N_0}^{N} \frac{dN}{N} = -\int_0^t \lambda dt \tag{2.6}$$

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \tag{2.7}$$

elde edilir. Burada N_0 ,t=0 anındaki radyoaktif çekirdek sayısı N(t) ise t anındaki radyoaktif çekirdek sayısıdır.

Bir elementin birim zamanda bozunan çekirdek sayısına aktivite denir.

$$A(t) = A_0 e^{-\lambda t} \tag{2.8}$$

formülü ile hesaplanır.

Burada A_0 başlangıç anındaki aktivite (mCi), A ise t anındaki aktivitedir.

2.4. Zincirleme Radyoaktif Bozunma

Zincirleme radyoaktif bozunma, ürün çekirdeğinde radyoaktif olduğu durumlarda gerçekleşir. Buna ($^{238}_{92}U \rightarrow {}^{234}_{90}Th \rightarrow {}^{234}_{91}Pa$ örnek denklemi verilebilir. N_1 başlangıçtaki çekirdek sayısı ise, N_2 ürün çekirdek sayısı N_3 ürün çekirdekten oluşan ikinci ürün çekirdek ise,

$$\frac{dN_1}{dt} = -\lambda_1 N_1 \tag{2.9}$$

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2 \tag{2.10}$$

$$\frac{dN_3}{dt} = \lambda_2 N_2 \tag{2.11}$$

ile verilir.

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

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

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

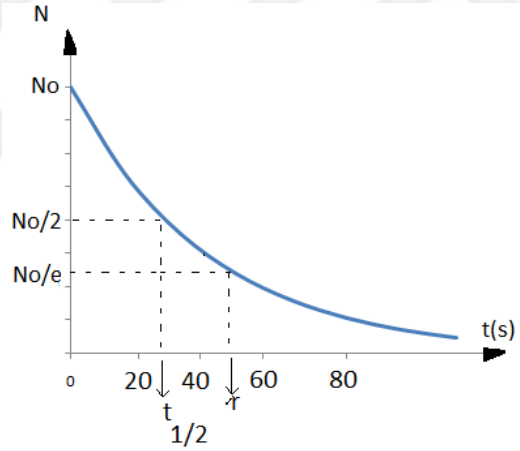
elde edilir.

Burada, N_{10} t=0 anında 1. çekirdek sayısı

N_{20} t=0 anında 2. çekirdek sayısı

N_{30} t=0 anında 3. çekirdek sayısı [10] .

2.5. Yarı Ömür ve Ortalama Ömür



Şekil 2.3. Radyoaktif bir örnekteki N çekirdek sayısının zamanla değişimi [11]

Şekil 2.3'te görüldüğü gibi radyoaktif bir örnekte başlangıçtaki bozunmamış çekirdek sayısı No ise yarı ömür bozunmamış çekirdek sayısının No/2 olana dek geçen süredir.

$$t_{1/2} = \frac{0{,}693}{\lambda} \tag{2.15}$$

Yine Şekil 2.3'e göre bozunmamış çekirdek sayısının No/e değerine düşene dek geçen süreye ortalama ömür denir. Ortalama ömür τ,

$$\tau = \frac{1}{\lambda} \tag{2.16}$$

ile verilir.

λ ,radyoaktif maddenin bozunma sabitidir [8].

2.6. Radyoaktif Bozunum Türleri

Radyoaktif çekirdekler kararsız halde olup, kararlı hale geçebilmek için çeşitli şekilde fazla enerji ve nükleonu çekirdekten uzaklaştırır. Radyoaktif çekirdek bunu enerji seviyesine göre alfa(α), beta(β) ve gama bozunumu şeklinde yaparak kararlı hale geçmeye çalışır.

2.6.1 Alfa(α) bozunumu

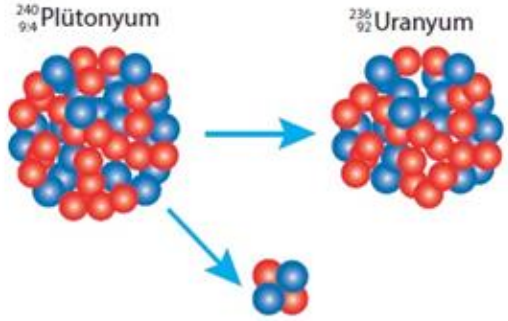
Genelde ağır çekirdeklerde görülen bu bozunum kararsızlık proton ve nötron sayılarının fazla oluşundan ileri geliyorsa gerçekleşir.

Atomun yüklerine ayrılmasına iyonlaşma denir. Herhangi bir etkiyle atomdan elektron koparılırsa pozitif yüklü atom ve negatif yüklü elektronlar oluşur. Radyoaktif ışınlar madde içerisinden geçtiğinde çarptıkları atomda elektronların serbest hale geçmesine maddenin iyonlaşmasına sebep olur. Bu tür radyasyonlara iyonlaştırıcı radyasyon denir.

Bu bozunumda çekirdek dışarıya, iki proton (p) ve iki nötrondan (n) oluşan pozitif yüklü bir helyum (He) çekirdeği atarak kararlı hale geçmeye çalışır.

Bozunum sonucu atomun kütle numarası 4 azalırken atom numarası 2 azalarak ürün çekirdek oluşur.

$$^{240}_{94}Pu \rightarrow {}^{236}_{92}U + {}^{4}_{2}He \tag{2.17}$$



Şekil 2.4. Alfa bozunumu [12]

Alfa parçacıklarının enerjileri 4-10 MeV aralığındadır. Fazla yükünden dolayı yoğun bir iyonlaşma yaparak enerjisini kısa bir menzilde kaybeder. Ağır kütlesinden dolayı menzili kısa olup havada 6-7 cm dir. Bir kağıt kalınlığı alfa parçacığını durdurabilir. Radyasyon etkisi bu yüzden az olduğu halde sahip olduğu +2 yükten dolayı madde içerisinde zincirleme iyonlaşmaya yol açar. Şekil 2.4'te örnek alfa bozunumu gösterilmiştir.

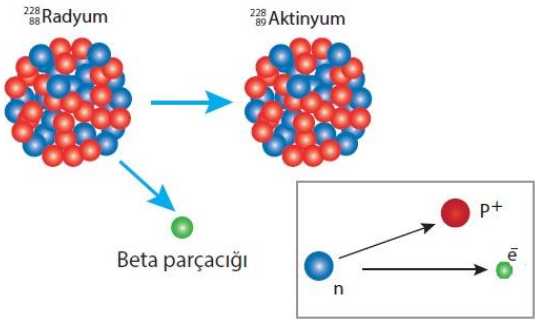
2.6.2. Beta bozunumu (β)

Pozitif veya negatif yüklü elektronlardır. Çekirdeğin kararsızlığı nötron fazlalığından ise çekirdek nötronlardan biri proton ve elektrona dönüşür. Proton içeride kalırken elektron büyük bir hızla dışarı fırlar. Açığa çıkan elektron hızlı olmasına rağmen yükü az olduğu için iyonlaşma etkisi azdır. Beta bozunumu üç farklı şekilde oluşur.

β^- bozunumu

Eğer kararsızlık nötron fazlalığından ileri geliyorsa nötronlardan biri proton ve elektrona dönüşür. Bunun sonucu oluşan ürünçekirdek atom numarası bir fazla iken kütlenumarası değişmez. Kütle numarası aynı olduğu için oluşan ürün çekirdekle ana çekirdek izobardır.

$$n \rightarrow p^+ + e^- + \bar{\gamma} \qquad (2.18)$$

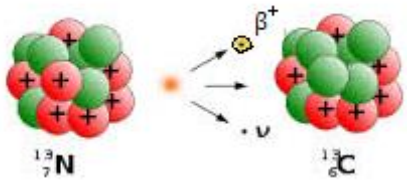


Şekil 2.5. β- bozunumu

Şekil 2.5' te örnek β^- bozunumu gösterilmiştir [12].

β^+ bozunumu

Çekirdeğin kararsızlığı nötron azlığından dolayı ise protonlardan biri nötron ve pozitif yüklü elektron ve nütrinoya dönüşür. Çekirdeğin proton sayısı bir azalırken kütle sayısı değişmez.



Şekil 2.6. β+ bozunumu [12]

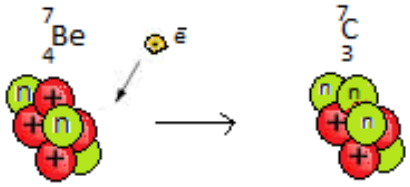
β^+ reaksiyonunda artı yüklü elektron olan pozitron ortamdaki bir elektronla birleşerek yok olur. Bunların yerine elektronun kütle enerjisine denk, 0.511 MeV büyüklünde iki foton meydana gelir. β parçacığının yükü alfa parçacığına göre düşük olduğu için iyonlaşma etkisi azdır. Bu yüzden menzili havada birkaç metre, madde içerisinde birkaç cm civarındadır.

Şekil 2.6' da örnek β^+ bozunumu verilmiştir [14].

Elektron yakalama (Ɛ)

Çekirdek proton fazlalığından dolayı kararsız ise, çekirdeğe yakın yörüngelerden elektron çekirdek tarafından yutulur. Elektronla birleşen proton, nötron ve nütrino haline dönüşür.

$$p^+ + e^- \rightarrow n + \gamma \qquad (2.19)$$



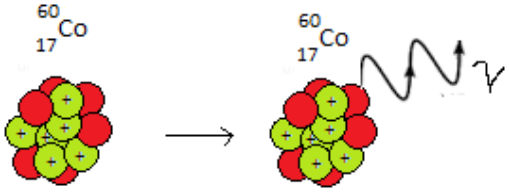
Şekil 2.7. Elektron yakalama

Boşalan elektronun yörüngesine üst yörüngeden başka bir elektron gelir, fazla enerji dışarıya X ışını olarak yayınlanır. Şekil 2.7'de elektron yakalamaya olayı gösterilmiştir.

2.6.3. Gama ışıması (ɤ)

Kararsız çekirdek alfa, beta ışıması ile radyasyon yayınladıktan sonra hemen kararlı hale geçemez. Kararlı duruma geçebilmek için fazla enerjisini foton yayınlayarak kararlı hale gelebilir. Yayınlanan bu fotona gama fotonu (ɤ) denir. Bu durumda çekirdeğin atom numarası (Z) ve kütle numarası(A) değişmez.

Gama ışını yüke sahip olmadığı için elektrik ve manyetik alandan etkilenmez. Menzilleri sonsuzdur. Giricilik gücü alfa ve beta ışımasına göre çok fazladır. Enerjileri 0.1MeV ile arasında olabilir. Yüksek enerjilerinden ve yüksüz olmalarından dolayı madde içerisinde menzilleri oldukça fazladır.



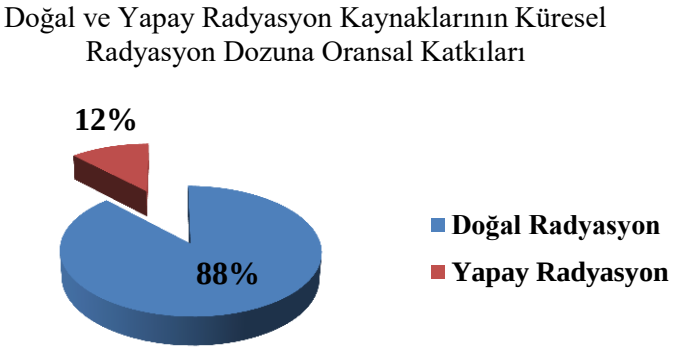
Şekil 2.8. Gama ışıması

Şekil 2.8'de gama ışıması gösterilmiştir.

2.7. Radyasyon Kaynakları

Doğanın oluşumu ile beraber meydana gelen çok uzun ömürlü radyoizotoplar çevremizdeki radyoaktifliğin en büyük sebebidir. Bu radyoizotopların yarılanma süreleri milyarlarca yıl olup günümüzde hala aktivitesini korumaktadırlar.

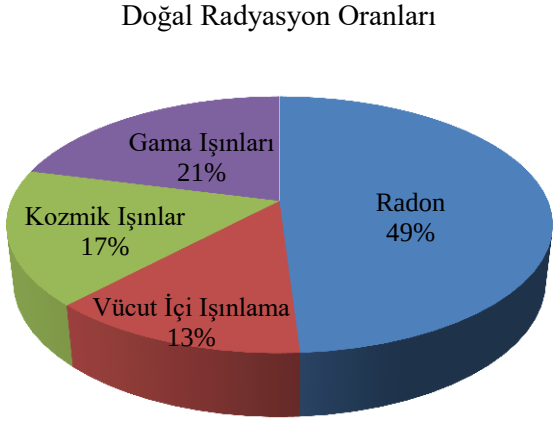
Ayrıca insanoğlunun nükleer enerjiyi keşfi ve bunu silah yapımında kullanması çevre radyasyonuna ek katkı yapmıştır. Buna göre çevremizdeki radyasyon kaynaklarını doğal ve yapay radyasyon kaynakları olarak ikiye ayırabiliriz. Şekil 2.9'da bu kaynakların oranları gösterilmiştir [14].



Şekil 2.9. Radyasyon kaynaklarının çevre radyasyonuna oransal katkıları [15]

2.7.1. Doğal radyasyon kaynakları

Çevremizdeki doğal ortamımız en büyük radyasyon kaynağımızdır. Dünyanın oluşumuyla birlikte var olan çok uzun ömürlü radyoizotoplar radyasyon yayarak günümüze kadar aktifliğini korumuşlardır. Ayrıca uzaydan gelen kozmik ışınlar çevremizde doğal radyasyon düzeyi oluşturur. Doğal radyasyon dozlarının oranı Şekil 2.10'da gösterilmiştir.



Şekil 2.10. Dünya genelinde doğal radyasyon oranları [14]

Kozmik radyasyon uzaydan gelen yüksek enerjili parçacıklardır. Kozmik ışınların %90'ı hidrojen %9'u helyum ve %1'i elektronlardan oluşur. Bu parçacıklar

atmosferdeki diğer parçacıklarla etkileşerek ikincil bir radyonüklid grubu oluşturur. Örnek tepkime denklem (2.19) da verilmiştir. Atmosferde oluşan serbest nötronlar ^{14}N atomları ile çarpışarak radyoaktif ^{14}C izotopunu oluştururlar.

$$^{14}_{7}N + n \rightarrow {}^{14}_{6}C + p \qquad (2.20)$$

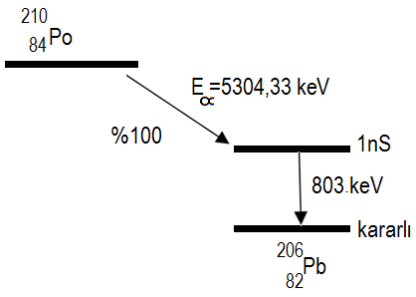
Toprakta bulunan radyoaktif $^{238}_{92}U$, $^{232}_{90}Th$, $^{40}_{19}K$ radyoizotoplar yarı ömürleri çok uzun olup bu süre içerisinde toprağın radyoaktif olmasına sebep olurlar. Topraktaki oranları toprağın yapısına bağlı olarak değişir. Volkanik ve fosfat içeren toprakta yüksek konsantrasyonda bulunurken tortul kaya içeren topraklarda bu konsantrasyon daha azdır. Bu kayalar zamanla aşınarak parçalanır, toprağa geçerler. Böylece toprağın radyoaktifliğini sağlar. Ayrıca tarımda kullanılan gübre de toprağın radyoaktivitesini arttırmaktadır. Granit türü kayalar yüksek oranda toryum içerir. Yapılan ölçümlerde bu kayaların gama radyasyon oranları yüksek çıkmaktadır [18].

Topraktan elde ettiğimiz besin ve yapı malzemelerine geçen bu radyoaktivite vücudumuza girerek vücut içi radyasyona sebep olur. Radon; renksiz, kokusuz, gözle görülemeyen doğal radyoaktif asal bir gazdır. Yerkürede, taş ve toprak içinde bulunan uranyum ve radyum gibi doğal radyoizotopların radyoaktif bozunması sonucu oluşur. Radon aktif bir element olmamasına rağmen bulunduğu ortamda bozunmaya uğrayarak kısa ömürlü Po elementinin birikmesiyle radyoaktivite artar.

$^{210}_{84}Po$ aktivitesi çok yüksek bir radyonüklidtir. Alfa bozunması yaparak

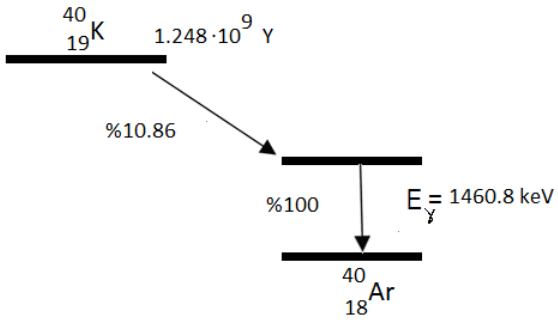
$^{206}_{82}Pb$ 'a dönüşür. Çekirdek fazla enerjisini atmak için gama ışıması yapar [4].

Şekil 2.11'de Po'nun bozunum şeması verilmiştir.



Şekil 2.11. ^{210}Po'nun bozunumu

^{40}K yarılanma ömrü 1.2 milyar yıldır. Yeryüzünde en bol bulunan elementlerden biridir. ^{40}K nın bozunum şekli Şekil 2.12 de verilmiştir.



Şekil 2.12. ^{40}K'nın bozunumu

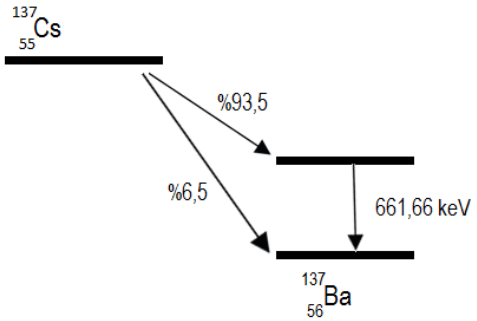
Potasyum beta bozunması yaparak Argona dönüşür. Bu arada 1460.8 eVluk gama ışını yayınlar [4].

2.7.2 Yapay radyasyon kaynakları

Nükleer Teknolojinin tıpta, enerji sektöründe kullanılması ve yeryüzünde yapılan nükleer bomba denemeleri sonucu oluşan radyoaktif maddeler çevremizde radyoaktif seviyesinin artmasına sebep olur. Atmosferde ve yeraltında yapılan nükleer bomba patlamalarından ve nükleer santral kazalarından ^{137}Cs toprağa geçer. Yarılanma süresi yaklaşık 30 yıl olup iyi bir gama kaynağıdır. Bozunum yaparak 661,66 keV enerjili gamalar yayınlar.

$$^{137}_{55}Cs \rightarrow {}^{137}_{56}Ba + {}^{0}_{-1}\beta + \gamma + \bar{\nu} \qquad (2.21)$$

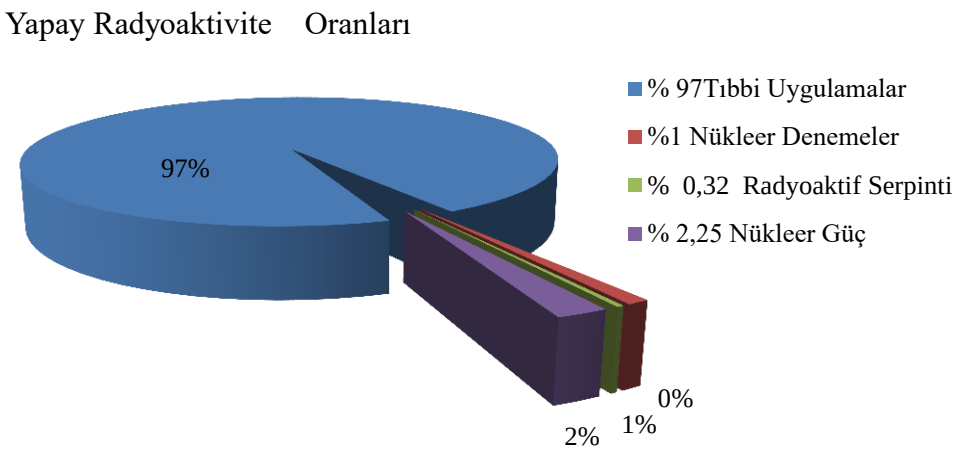
Şekil 2.20 de ^{137}Cs nin radyoaktif bozunum şeması verilmiştir.



Şekil 2.13. ^{137}Cs nin bozunum şeması

Radyoaktivitenin kullanım alanlarından biri de tıbbi uygulamalardır. Bu alanda kullanılan ^{60}Co, ^{131}I gibi radyoaktif maddeler kullanım sonrası çevremizdeki

radyoaktivitenin artmasına sebep olur. Nükleer enerji üretimi ve nükleer silah yapımında kullanılan trityum (^{3}H),Plütonyum (^{239}Pu), Stronsiyum (^{90}Sr) gibi yapay maddelerin radyoaktiviteleri yapay radyoaktivitenin az olmasına rağmen etkisi vardır [21]. Şekil 2.14' de çevremizdeki yapay radyoaktivite oranları gösterilmiştir.



Şekil 2.14. Dünya genelinde yapay radyasyon oranları [15]

2.8. Radyoaktif Seriler

Evrenin oluşumundan itibaren hafif ve ağır radyoizotoplar zincirleme ışımalar yaparak günümüze kadar süren bir süreçte kararlı olmaya çalışırlar.

Bu radyoizotoplar kütle numaralarına göre,

4n,4n+1, 4n+2, 4n+3 olacak şekilde dört seri oluşturur.

Bu seriler;

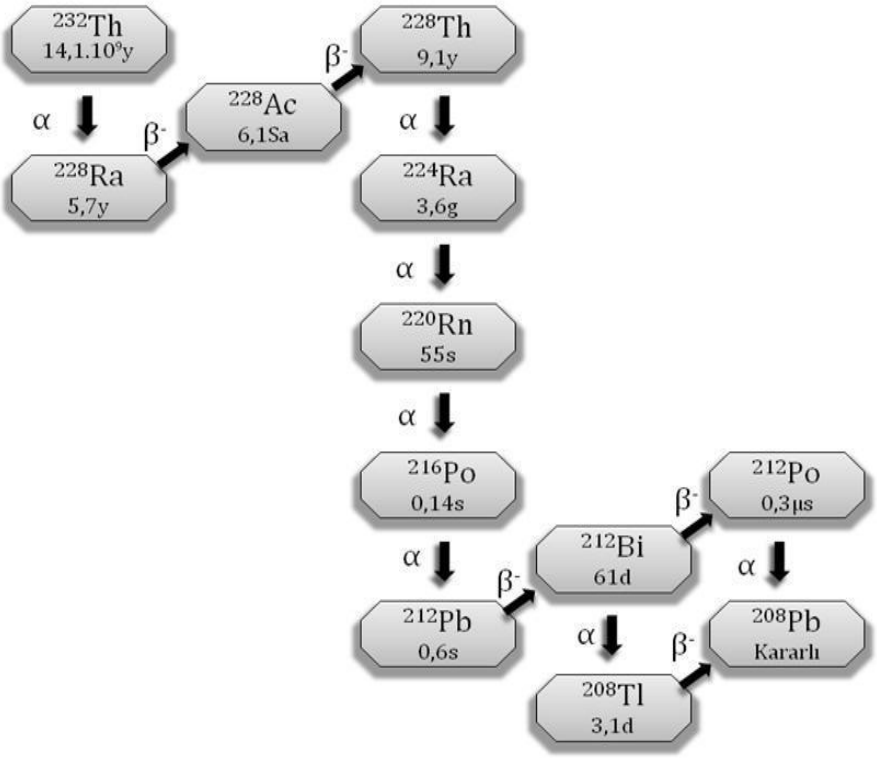
Toryum serisi, 4n

Neptinyum, 4n+1

Uranyum serisi, 4n+2

Aktinyum (^{235}U) 4n+3 olarak verilir.

Neptinyum haricinde diğer seri elementleri aktif olup aktiviteleri bugün hala ölçülebilir durumdadır. Neptinyum yarı ömrü dünya yaşından küçük olduğu için bu seri gözlenmez.

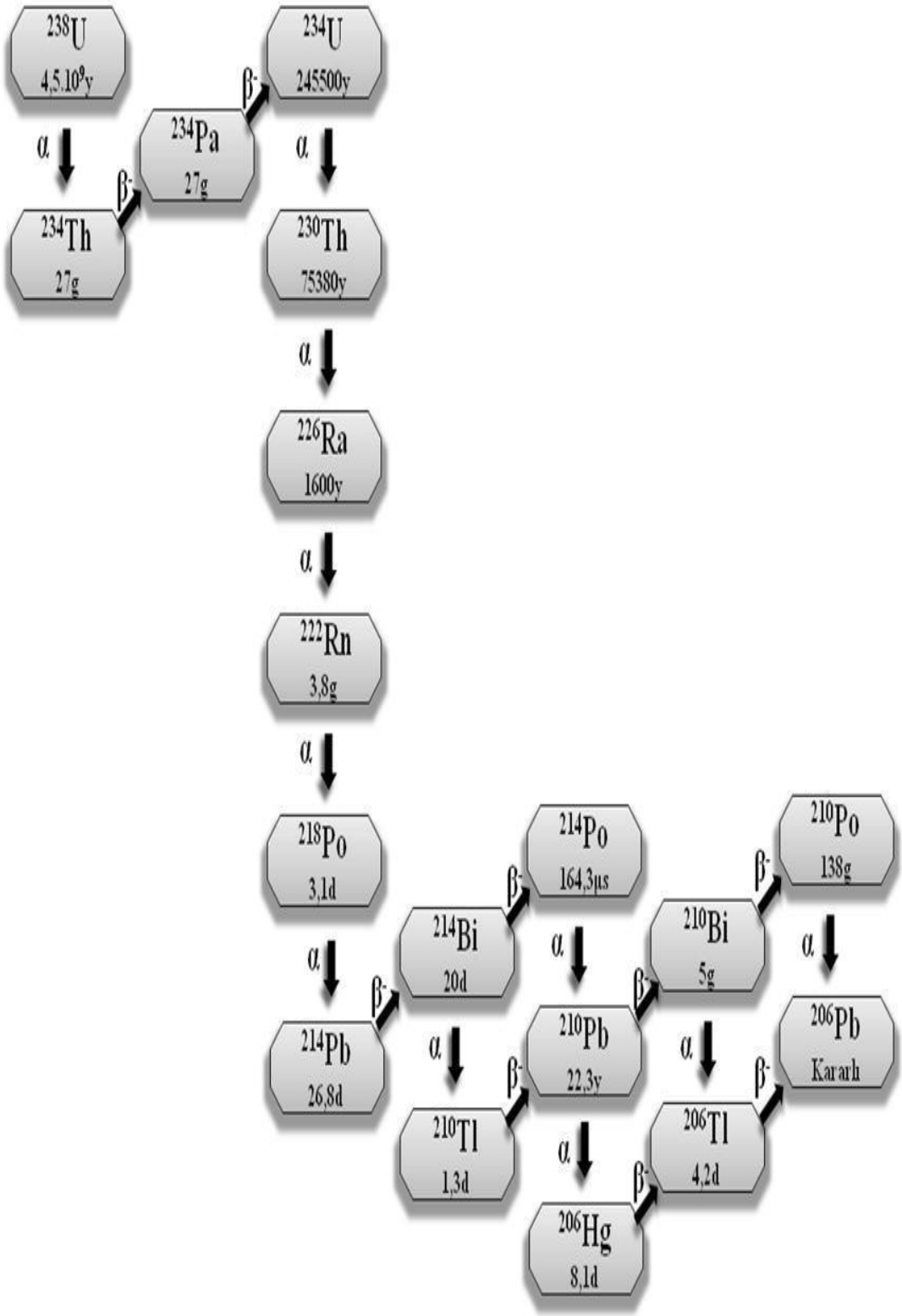


Şekil 2.15. ^{232}Th serisi [4]

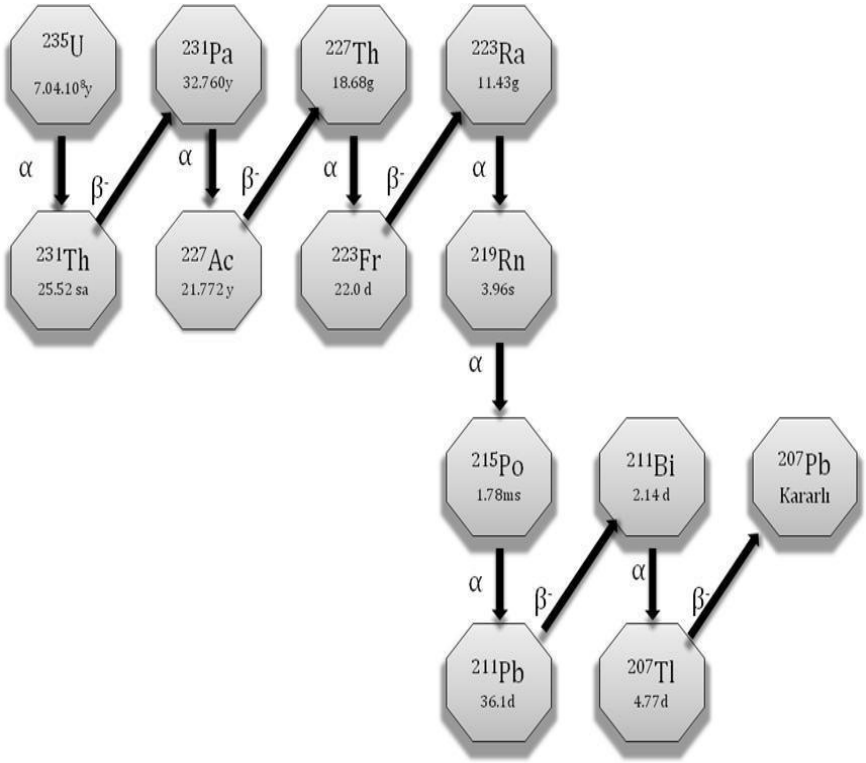
4n serisi olan toryum alfa ve beta ışımaları yaparak 11 radyoizotopa bozunur. En son ^{208}Pb'ye bozunup kararlı hale geçer Şekil 2.15 de bozunum şeması verilmiştir.

4n+2 serisi olan ^{238}U alfa ve beta ışımaları yaparak 14 radyoizotopa bozunur. En son ^{206}Pb ye bozunup kararlı hale geçer. Şekil 2.16'da ^{238}U bozunum şeması verilmiştir.

Aktinyum serisi, alfa ve beta ışımaları yaparak 11 radyoizotopa bozunur. Bu bozunum sonucunda ^{207}Pb ile kararlı hale geçer. Şekil 2.17'de aktinyum bozunum şeması verilmiştir [4].



Şekil 2.16. ^{238}U serisi [4]



Şekil 2.17. ^{235}U serisi [4]

2.9. Radyoaktif Serilerde Denge

Radyoaktif serilerde oluşan radyonüklidlerin yarı ömürleri birbirinden farklı olabilir. Ana çekirdeğin yarı ömrünün ürün çekirdeğe oranla çok uzun olduğu durumlarda en uzun ömürlü ürünün yarı ömrünün 7-8 katı bir sürede radyoaktif denge sağlanır. Radyoaktif dengede parçalanma yolu ile oluşan ürün çekirdek sayısı ile parçalanma sonucu kaybolan çekirdek sayısı birbirine eşitlenir. Bu durumda seri içindeki aktiflikler,

$$\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2 \qquad (2.22)$$

Bu eşitlikten yararlanarak ana elementin aktivitesi herhangi bir ürüne ait elementin aktivitesi ölçülerek hesaplanabilir. Uranyumun ve toryumun aktivitesi yarı ömürlerinin çok uzun olmasından dolayı direk olarak ölçülemez. Bunun için seriler denge halinde iken içerisindeki ürün aktiviteleri ölçülerek uranyumun ve toryumun aktiviteleri bulunur.

Uranyum analizinde en büyük sorun ortamda gaz halinde bulunan radonun ortamdan uzaklaşabilmesidir. Radonun yarı ömrü 3,82 gün olup diğer ürünlerin ölçülebilmesi

için radonun ortamda kalması gerekir. Bu yüzden örnekler kapalı kaplarda bir ay süre süre ile bekletilerek denge sağlanır. Tablo 2.1'de toryumun bozunumu sonucu oluşan radyoizotoplar bu radyo izotopların enerjileri ve bozunma olasılıkları verilmiştir.

Tablo 2.1. ^{232}Th Serisi Bozunumları [6]

		Enerji (keV) ve Yayınlanma Olasılıkları (%)		
Çekirdek	Yarı Ömür	Alfa (α)	Beta (β)	Gama (γ)
^{232}Th	14,05x10^{9} y *6*	3947 *20* (%21,7 *13*) 4012,3 *14* (%78,2 *13*)		
^{228}Ra	5,75 y *3*		3,21 23 (% 30 *10*) 6,48 23 (%20 6) 9,94 15 (%40 4) 10,04 25 (%10 10)	
^{228}Ac	6,15 sa*2*		126,7 10 (%2,45 16) 140,5 10 (%4,16 20) 178,7 11 (%8,0 4) 307,6 11 (%3,08 7) 313,1 11 (%5,1 8) 324,4 12 (%5,92 14) 362,0 12 (%3,10 15) 382,3 12 (%29,9 10) 606,9 *12* (%11,66 *24*)	209,253 *6* (%3,89 *7*) 270,245 *2* (%3,46 *6*) 338,32 *3* (%11,27 *19*) 463,004 *6* (%4,40 *7*) 794,947 5 (%4,25 *7*) 911,204 *4* (%25,8 *4*) 964,766 *10* (%4,99 *9*) 968,971 *17* (%15,8 *3*)
^{228}Th	1,912 y *2*	5340,36 *15* (%27,2 10) 5423,15 *22* (%72,2 *11*)		
^{224}Ra	3,66 g 4	5448,6 12 (%5,06 4) 5685,37 *15*(%94,92 4)		240,986 6 (%4,10 *5*)
^{220}Rn	55,6 s *1*	6288,08 *10* (99,8 17)		
^{216}Po	0,145 s *2*	6778,3 *5*(%99,9981 *3*)		
^{212}Pb	10,64 sa*1*		41,1 *6* (%5,08 9) 93,5 *7* (%83,1 *16*) 171,7 7 (%11,9 *16*)	238,632 (%43,6 *5*) 300,087 10 (%3,30 *4*)
^{212}Bi	60,55 dak	6050,78 *3* (%25,13 7) 6089,88 *3* (%9,75 5)		
^{208}Tl	3,053 dak*4*		441,53 68 (%24,2 3) 535,39 70 (%22,2 5 649,48 71 (%49,1 7)	277,371 5(%6,6 *3*) 510,77 10 (%22,6 *20*) 583,187 2 (%85 *3*) 860,557 4 (%12,5 *10*) 2614,511 *10* (%99,7 *4*)
^{212}Bi	60,55 dak 6		533,1 7 (%4,47 *11*) 834,2 8 (%55,37 *11*)	727,330 9 (%6,67 *9*)
^{212}Po	0,299 µs 2	8784,86 *12* (%100)		
^{208}Pb	KARARLI			

Tablo 2.2. ^{238}U Bozunum Serisi [6]

		Enerji (keV) ve Yayınlanma Olasılıkları (%)		
Çekirdek	Yarı Ömür	Alfa(α)	Beta (β)	Gama (γ)
^{238}U	4,468x10^{9} y 3	4151 *5 (%21 3)* 4198 *3 (%79 3)*		
^{234}Th	24,10 g 3		27,7 *9 (% 6,4 9)* 27,8 *9* (% 14 *20*) 53,6 *9* (% 78 *20*)	
^{234}Pa	1,159 dak 11		820,5 *17* (% 97,576)	
^{234}U	2,455x10^{5} y 6	4722,4 *14 (% 28,42 9)* 4774,6 *14 (% 71,38 16)*		
^{230}Th	7,538x10^{4} y *30*	4620,5 *15* (% 23,40 *10*) 4687 *15* (% 76,3 *3*)		
^{226}Ra	1600 y 7	4601 *1* (% 5,55 *5*) 4784,34 *25* (% 94,45 *5*)		
^{222}Rn	3,8235 g 2	5489,48 30 (%99,9 10)		
^{218}Po	3,098 dak 12	6002,35 9 (%99,97 23)		
^{214}Pb	26,8 dak 9		205,5 *39* (% 45,9 *9*) 225,6 *40* (% 40,2 *6*) 334,9 *42* (% 11 *10*)	241,9950 *23* (% 7,25 *16*) 295,2228 *18* (% 18,42 *4*) 351,9321 *18* (% 35,60 *7*)
^{214}Bi	19,9 dak 4			
^{210}Tl	1,30 dak 3		571 *14* (% 7,0 *20*) 677 *10* (% 24 *5*) 746 *11* (% 10 *3*) 880 *7* (% 10 *3*) 1639 *17* (% 30 *6*) 1766 *5* (% 20.0 *20*)	296 *3* (% 79 *10*) 799,6 *3* (% 98,96) 860 *30* (% 6,9 *20*) 1070 *10* (% 12 *5*) 1110 *20* (% 6,9 *20*) 1210 *20* (% 17 *4*) 1316 *13* (% 21 *5*) 2010 *30* (% 6,9 *20*) 2360 *30* (% 8 *3*) 2430 *30* (% 9 *3*)
^{214}Bi	19,9 dak 4		352,1 *42* (%5,60 *3*) 492,0 *44* (% 8,14 *3*) 525,3 *45* (% 16,96 *5*) 539,4 *45* (% 17,57 *4*) 683,7 *46* (% 7,35 *5*) 1268,8 *48* (% 19,10 *17*)	609,320 *5* (% 45,49 *16*) 1120,294 *6* (% 14,92 *3*) 1238,122 *7* (% 5,834 *15*) 1764,491 *10* (% 15,30 *3*)
^{214}Po	164,3 µs 20	7686,82 *7* (% 99,98 *6*)		
^{210}Pb	22,20 y 22		4,16 *13* (% 84 *3*) 16,16 *13* (% 16 *3*)	
^{210}Bi	5,012 g 5		389 *4* (% 100)	
^{210}Po	138,376 g 2	5304,33 *7 (% 100*)		
^{210}Bi	3,04x10^{6}	4909 *1 (% 39,5)* 4946 *1 (% 55)*		265,6 *5* (% 51) 304,6 *5* (% 28)
^{206}Tl	4,202 dak 11		538,86 *25* (% 99,89 *14*)	
^{206}Pb	KARARLI			

Tablo 2.2.'de ^{238}U un bozunumu ile oluşan radyoizotoplar enerjileri ve bozunum olasılıkları verilmiştir. Uranyumun aktivitesi bozunma zinciri içindeki $^{214}_{83}Bi$ (609,3 keV ve 1120,3 keV) ve $^{214}_{82}Pb$ (242, 295,2 ve 351,9 keV) ürünlerinin aktivitelerinden hesaplanır.

$$^{214}_{82}Pb \rightarrow {}^{214}_{83}Bi + {}^{0}_{-1}\beta + \gamma + \bar{\nu} \qquad (t_{1/2} = 26{,}8 \text{ dakika}) \qquad (2.23)$$

^{14} Pb bozunumdan yayınlanan gamalar Tablo 2.3'de verilmiştir. Burada E gamanın enerjisi, I gamanın yayınlanma olasılığını göstermektedir.

Tablo 2.3. ^{214}Pb bozunumdan yayınlanan gamaların listesi[20]

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

$^{214}_{83}$Bi bozunarak ^{214}Po ya dönüşür. Bu bozunumdan yayınlanan gamalar Tablo 2.4'de enerjileri ve yayınlanma olasılıkları listelenmiştir.

$$^{214}_{83}\text{Bi} \rightarrow {}^{214}_{84}\text{Po} + {}^{0}_{-1}\text{e} + \bar{\gamma} \qquad (t_{1/2} = 19{,}9 \text{ dakika}) \qquad (2.24)$$

Tablo 2.4.^{214}Bi bozunumundan yayınlanan gamaların enerjileri ve yayınlanma olasılıkları [20].

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

$^{232}_{90}$Th aktivite hesabını yapabilmek için yine bu seride bulunan $^{228}_{89}Ac$ bozunumu dikkate alınır.

$$^{228}_{89}\text{Ac} \rightarrow {}^{228}_{90}\text{Th} + {}^{0}_{-1}\text{e} + \bar{\gamma} \quad (t_{1/2}=6{,}15 \text{ saat}) \tag{2.25}$$

$^{228}_{89}Ac$ bozunumunda yayınlanan gamaların enerji değerleri ve yayınlanma olasılıkları Tablo 2.5 te verilmiştir.

Tablo 2.5. ^{228}Ac bozunumundan yayınlanan gamaların enerji ve yayınlanma olasılıkları [20]

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

Yine ^{232}Th serisinde $^{212}_{82}$Pb bozunarak $^{212}_{83}$Bi a dönüşür.

$$^{212}_{82}\text{Pb} \rightarrow {}^{212}_{83}\text{Bi} + {}^{0}_{-1}\text{e} + \bar{\gamma} \quad (t_{1/2}=10{,}64 \text{ saat}) \tag{2.26}$$

$^{212}_{82}Pb$ bozunumundan yayınlanan gamalar Tablo 2.6'da verilmiştir.

Tablo 2.6. ^{212}Pb nin bozunumundan yayınlanan gamaların enerji ve yayınlanma olasılıkları [20]

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

^{208}Tl bozunarak beta ışıması yaparak ^{208}Pb a dönüşür.

$$^{208}_{81}\text{Tl} \rightarrow {}^{208}_{82}\text{Pb} + {}^{0}_{-1}\text{e} + \bar{\gamma} \quad (t_{1/2}=3{,}053 \text{ dakika}) \tag{2.27}$$

$^{208}_{81}$Tl bozunumundan, yayınlanan gamalar Tablo 2.7'de verilmiştir.

Tablo 2.7.^{208}Tl bozunumundan yayınlanan gamaların enerjileri ve yayınlanma olasılıkları [20]

E (keV)	I (%)
277,371 5	6,6 *3*
510,77 10	22,6 *20*
583,187 2	85 *3*
860,557 4	12,5 *10*
2614,511 10	99,75 *4*

Bu şekilde uzun ömürlü uranyum ve toryumun aktivitesi, ürünleri olan kısa ömürlü Aktinyum ve Bizmutun aktivitelerinden yararlanılarak hesaplanır [6].

2.10. Radyoaktivite ve Radyasyon Doz Birimleri

Radyoaktivite birimleri radyasyon şiddeti ve radyasyonun yol açtığı iyonlaşma etkisini belirlemek için kullanılır.

2.10.1. Aktivite birimleri

Radyoaktif bir örneğin saniyedeki bozunma sayısı o örneğin aktivitesidir. Aktivite birim zamanda bozunan çekirdek sayısıdır.

$$\text{Aktivite} = \frac{\text{Bozunum}}{\text{Zaman}} \tag{2.28}$$

1 saniyedeki 1 bozunum, 1 Bq (bekarel) dir. Kullanılan bir diğer birim Radyumun aktivitesidir. 1 g Radyumun aktivitesi $3.7\text{x}10^{10}$ bq (boz/s) dir. Bu aktivite değerine1 Curie (Ci) denir. 1 Ci büyük bir değer olduğundan araştırma, teknik ve tedavide mili Curie (mCi) ve mikro Curie (μCi kullanılır).

1 mCi=$1\text{x}10^{-3}$Ci , 1 μCi=$1\text{x}10^{-6}$ Ci

2.10.2. Soğurulma doz birimi

Radyasyonun birim kütlede maddeye verdiği enerji miktarıdır. Soğurulma birimi Rad, 1kg maddeye 10^{-2} J enerji veren radyasyon miktarıdır. Bir başka soğurulma birimi Gray (Gy) dir.1Gy,1 kg maddeye 1 J enerji veren radyasyon miktarıdır. Buna göre 1Gy= 100 Rad dır.

2.10.3. Işınlama doz birimi

X ve gama ışınlarının havada oluşturdukları iyonizasyon etkisidir. Birim olarak röntgen (R) kullanılır.1 R, normal şartlarda 1 kg havada $2,58x10^{-4}$ C iyonlaşma oluşturan doz değeridir.

2.10.4. Biyolojik eşdeğer doz birimi

Aynı radyasyon, farklı biyolojik yapılarda farklı etkiye sebep olabilir. Biyolojik doz birimi olan rem, 1 röntgenlik X ve gama ışınının meydana getirdiği etkiye eşdeğer radyasyon miktarıdır. Doz eşdeğer birimi Joule /kg olup, İsveçli sağlık fizikçisi Rolf Sievert adına sievert (sV) olarak isimlendirilmiştir. 1 sV= 1 j/kg dır. Tablo 2.8 'de radyoaktivite birimleri dönüşüm değerleri ile birlikte gösterilmiştir.

Tablo 2.8. Radyasyon Birimleri [15]

Büyüklük	SI Birimi	Özel Birim	Dönüşüm
Aktivite	Bq, (Boz./saniye)	Ci	1Bq = 27,03 x 10^{-12} Ci 1 Ci = 3,7 x 10^{10} Bq
Soğurulma	Gy J / kg	Rad	1 Gy = 100 rad 1 rad = 10^{-2} Gy
Doz Eşdeğeri	SvJ / kg	Rem	1Sv = 100 rem 1 rem = 10^{-2} Sv
Işınlanma	C / kg	R	1 C / kg = 3,876 x 10^{3} R 1 R = 2,58 x 10^{-4} C / kg

3. RADYASYON ÖLÇÜMÜ

Radyoaktivite duyu organları ile hissedebileceğimiz sıcaklık basınç kuvvet gibi fiziksel bir büyüklük olmadığı için onu ölçülebilecek bir büyüklüğe, elektrik sinyaline çevirerek ölçülür.

3.1.Gama Işınlarının Madde ile Etkileşimi

Gelen gama ışınları madde atomları ile etkileşerek enerji kaybına uğrar. Bu enerji kaybı madde elektronlarına aktarımı üç şekilde olur.

1.Fotoelektrik Olay

2.Compton Saçılması

3.Çift Oluşumu

3.1.1.Fotoelektrik olay

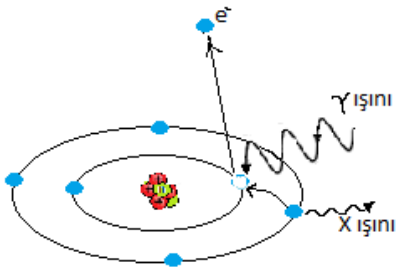
Gelen gama fotonu enerjisini elektrona aktararak yok olur. Elektron atomdan dışarıya belirli bir kinetik enerjiyle fırlar. Burada fotonun enerjisinin bir kısmı elektronu atomdan kurtarmak için verilen bağlanma enerjisidir. Açığa çıkan elektrona fotoelektron denir.

$$E_f = E_b + E_k \quad (3.1)$$

Burada, E_f gelen fotonun enerjisi

E_b Elektronun bağlanma enerjisi

E_k Elektronun kinetik enerjisi

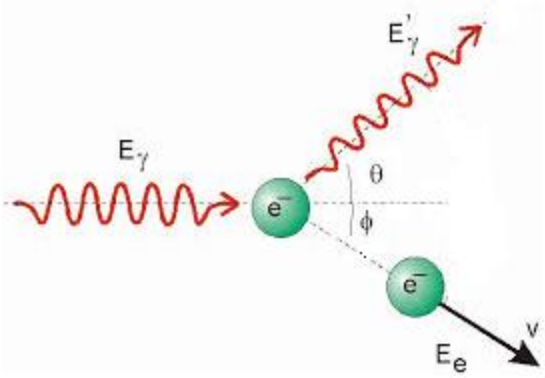


Şekil 3.1. Fotoelektrik olayı

Şekil 3.1'de görüldüğü gibi gelen gama ışını elektrona çarparak elektronu yörüngesinden koparır. Boşalan elektronun yeri üst yörüngedeki elektron tarafından doldurulur. Bu durumda atom karakteristik X ışını yayınlayarak kararlı hale geçer. Gelen foton bu olaydan sonra yok olacağı için fotonun enerjisi arttıkça bu olayın olma olasılığı azalır [8].

3.1.2.Compton saçılması

Compton saçılmasında gelen gama fotonu serbest halde bulunan elektrona çarparak saçılır. Bu olay sonucunda foton enerjisinin ve momentumunun bir kısmını



Şekil 3.2. Compton saçılması

elektrona aktarır. Şekil 3.2'deki açı değerlerini kullanıp enerji ve momentum korunumundan yararlanarak,

$$E_\gamma = E_{\gamma'} + E_e \tag{3.2}$$

Eşitliği yazılabilir. Burada;

E_γ, gelen fotonun enerjisi

$E_{\gamma'}$, Saçılan fotonun enerjisi

E_e, Elektronun kinetik enerjisi

Momentumun korunumundan

$$P_\gamma = P_{\gamma'} cos\theta + P_e cos\emptyset \tag{3.3}$$

$$0 = P_{\gamma'} sin\theta - P_e sin\emptyset \tag{3.4}$$

Bir fotonun lineer momentumu,

$$E_\gamma = P_\gamma c \tag{3.5}$$

Elektronun momentumu rölativistik hız değeri yerine konulursa,

$$P_e = \frac{m_e c\beta}{\sqrt{1-\beta^2}} \quad , \quad \beta = \frac{v}{c} \tag{3.6}$$

Burada,

P_e, elektronun momentumu

m_e, elektronun durgun kütlesi

v, elektronun rölativistik hızı

c, ışık hızı

Denklem (3.2), (3.3), (3.4), (3.5) ve (3.6) kendi aralarında düzenlenirse saçılan fotonun enerjisi

$$E_{\gamma'} = \frac{E_\gamma}{1+(\frac{E_\gamma}{mc^2})(1-cos\theta)} \quad , \tag{3.7}$$

olarak elde edilir [8].

3.1.3. Çift oluşumu

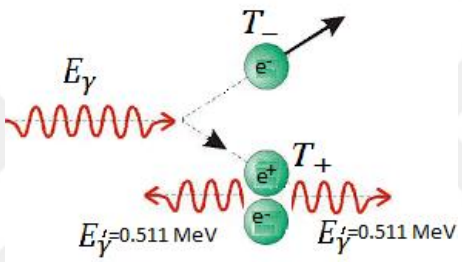
Bu olayda gama fotonu, elektron pozitron çifti üretir. Pozitron kararsız bir yapıya sahip olduğu için ortamdaki bir elektronla birleşerek yok olur. Bu esnada dışarıya

0.511 MeVlik iki foton yayınlanır. Enerjinin korunumu ilkesinden yararlanarak gama fotonunun enerjisi

$$E_\gamma = T_+ + T_- + 2mc^2 \tag{3.8}$$

olarak hesaplanır.

Burada T_+ ,T_- sırasıyla pozitron ve elektronun kinetik enerjisi mc^2,elektron ve pozitronun durgun kütle enerjisidir. Şekil 3.3'te gösterilen çift oluşumunun reaksiyonunun oluşabilmesi için gelen fotonun enerjisinin 5 MeV düzeyinde olması gerekir.



Şekil 3.3. Çift Oluşumu [8]

.

Bir fotonun madde içerisinde yok olması için birim uzunluk başına olasılık μ ise, fotoelektrik soğurma katsayısı (τ), Compton saçılması (σ) ve çift oluşum (K) olasılıklarının toplamına eşittir ve

$$\mu = \tau + \sigma + K \tag{3.9}$$

ile verilir

Compton soğurma katsayısı σ ,

$$\sigma = \sigma_c NZ \tag{3.10}$$

Burada σ_c,elektron başına tesir kesiti

Z, atom numarası

N,birim hacimdeki atom sayısı

Hedef materyalin kalınlığından dolayı radyasyonda oluşacak azalma miktarı,

$$\frac{dI}{I} = -\mu dx \tag{3.11}$$

$$I = I_o e^{-\mu x} \tag{3.12}$$

Burada

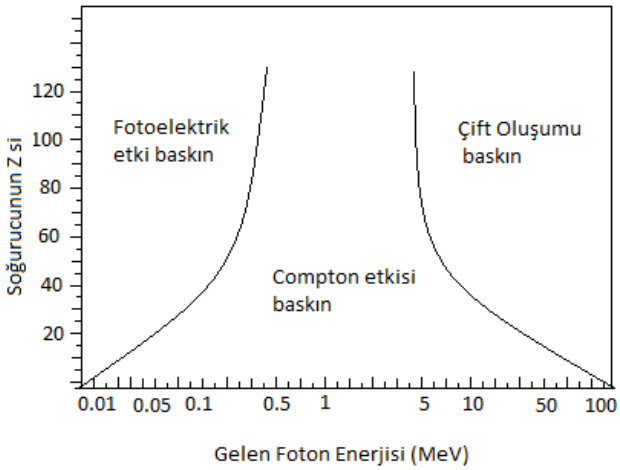
x , kalınlık

μ, birim uzunluk başına toplam olasılık

I , radyasyon şiddetindeki azalma miktarı

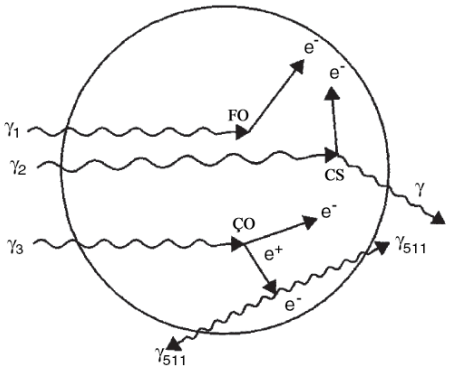
I_o ,radyasyon şiddetini gösterir.

Her üç olayda gelen fotonun enerjisine bağlı olarak düşük foton enerjisinde fotoelektrik olay olasılığı daha fazla enerji arttıkça Compton Saçılma olasılığı artmaktadır. 5 MeV üzeri enerjilerde çift oluşumu daha baskındır.



Şekil 3.4. Gama fotonunun enerji değerine göre dedektör ile etkileşiminin değişimi [8]

Şekil 3.4'de gama fotonunun enerjisi ile fotoelektrik olayı, Compton saçılması ve çift oluşumu, olaylarının oluşma ihtimalleri gösterilmiştir. Dedektöre gelen gama fotonunun enerjisi dedektör kristali ile fotoelektrik olay, compton saçılması ve çift oluşumu yaparak enerjisini kaybeder [6].



Şekil 3.5. Dedektöre gelen gamaların kristalle etkileşimi [8]

Şekil 3.5'te gama ışınlarının dedektörle etkileşmesinde, FO, Fotoelektrik olay, ÇO, Çift oluşumu, CS:Compton Saçılmasını ifade etmektedir.

Dedektöre gelen foton;

- Fotoelektrik olay sonucu bütün enerjisini kaybederek yok olur.
- Compton saçılması yaparak enerjisinin bir kısmını kaybeder, dedektörden çıkar.
- Compton saçılması yapar ve enerjisi belirli değerin altına düşünce fotoelektrik olay sonucu yok olur.
- Çift oluşturur. Çift oluşum sonucu oluşan fotonlar enerjilerini fotoelektrik olay yaparak dedektöre aktarırlar.
- Çift oluşum sonucu oluşan fotonların biri ya da her ikisi dedektörü terk eder.

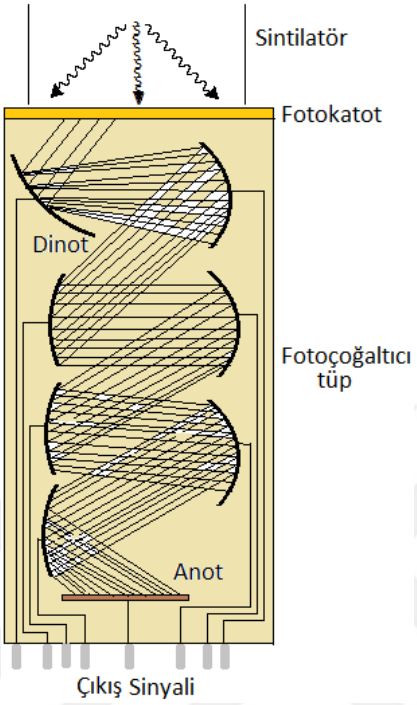
3.2. Dedektörler

Gama Işını dedektörleri benzer prensiple çalışır. Dedektöre gelen gama fotonu dedektörle etkileşerek dedektör atomlarına enerjinin bir kısmını ya da tamamını aktarır. Bunun sonucunda açığa çıkan artı ve eksi yüklü iyonlar elektrik sinyaline çevrilir. Elektrik sinyali yükselticilerde yükseltilir. En son sayım elektroniğinde anlamlı sayısal değerlere dönüştürülerek bilgisayar ortamında depolanır.

3.2.1. Sintilasyon dedektörleri

Dedektöre gelen radyasyon dedektör atomlarını uyarır. Uyarılmış atomlar taban durumuna inerken dışarıya görünür bölgeye denk gelen ışıma yapar. Bu ışıma foto duyarlı bir yüzeye çarpıtılarak yüzeyin fotoelektron üretmesine sebep olur. Her bir

foton bir fotoelektron üretir. Bu elektronlar foto çoğaltıcı tüpte çoğaltılır, hızlandırılır. Elektrik sinyaline çevrilir. Şekil 3.6'da sintilasyon dedektörünün yapısı gösterilmiştir.

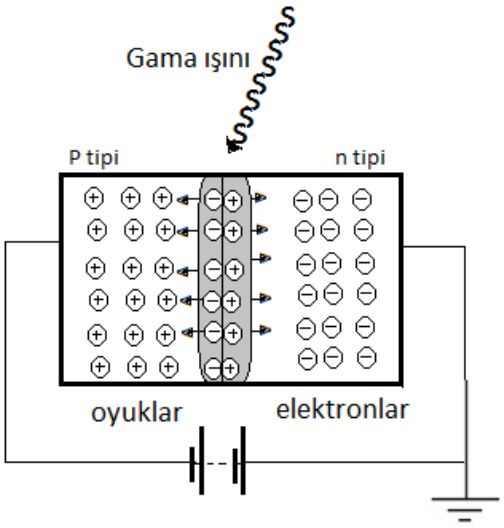


Şekil 3.6. Sintilasyon dedektörü [18]

3.2.2. Yarı iletken dedektörler

Yarı iletken madde belirli akım şiddetine kadar yalıtkan, bu akımın üzerindeki akımlarda iletken olan maddelerdir. Akım taşıyıcılar pozitif ise P tipi yarı iletken, negatif ise N tipi yarı iletken olarak isimlendirilir. P ve N tipi yarı iletkenler birleştirildiğinde temas yüzeyinde negatif ve pozitif taşıyıcılar birleşerek nötr bir bölge oluştururlar. Yarı iletkene ters besleme (1000V-3000V) voltajı uygulanırsa bu voltaj nötr bölgede oluşan elektrik alanını arttırır [8].

Dedektör veriminin yüksek olması derin hassas bölgeye ihtiyaç vardır. Böyle bir hassas bölge elde etmek için de saf madde gerekir. Oluşturulan elektrik alanı yardımıyla açığa çıkan elektrik yükleri kutuplara doğru hareket ederler. Devreden geçen elektron sayısı gelen radyasyon ile doğru orantılıdır [6].



Şekil 3.7. Yarı iletken dedektör [19]

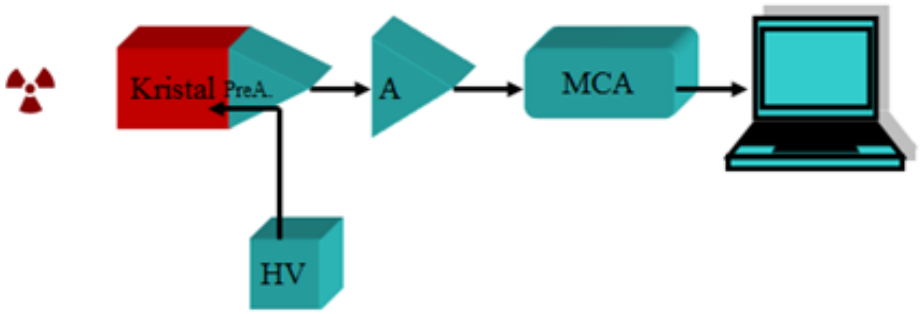
Şekil 3.7'de görüldüğü gibi radyasyon nötr bölgeye düşürülürse pozitif ve negatif taşıyıcılar ayrışarak devreden bir akımın geçişine sebep olur. Elektronlar anoda doğru, oyuklar katoda doğru giderler. Elektronların toplam sayısı ile oluşan akımın genliği radyasyon enerjisi ile orantılıdır. Yarıiletken detektörler soğuk tutulmalıdır. Aksi halde ortam sıcaklığından etkilenerek iletim bandına geçer ve buda istenmeyen akımların oluşmasına, dedektörün veriminin bozulmasına sebep olur [19].

3.3. Gama Spektroskopisi

Yarı iletken dedektöre gelen gama ışınlarının dedektörle etkileşmeye girebilmesi için seçilen yarı iletkenin yapılacak analiz özelliklerine uygun olması gerekir.Gama spektrometrelerinde kullanılan yarıiletken dedektör genelde Ge ve NaI dır.Gama ışınının soğurulabilmesi için yarıiletken madde atom numarasının büyük olması gerekir. Bu durumda NaI dedektör daha uygundur. Ancak NaI yarıiletken dedektörün çözme gücü düşüktür. Bu yüzden gama spektrometrelerinde genelde çözme güzü yüksek olan Ge yarı iletkenli dedektör kullanılır.

Gama spektroskopisi Şekil 3.10 da görüldüğü gibi yarı iletken kristal, yükselteç devreleri, yüksek voltaj kaynağı, çok kanallı analizör (MCA) ve veri toplama biriminden oluşur. Kristalde radyasyonun oluşturduğu serbest yükler yüksek voltaj yardımıyla toplanır. Oluşan sinyal önyükseltici ve yükselticide şekli ve büyüklüğü ayarlanarak çok kanallı analizöre gönderilir. Çok kanallı analizör bu sinyalleri

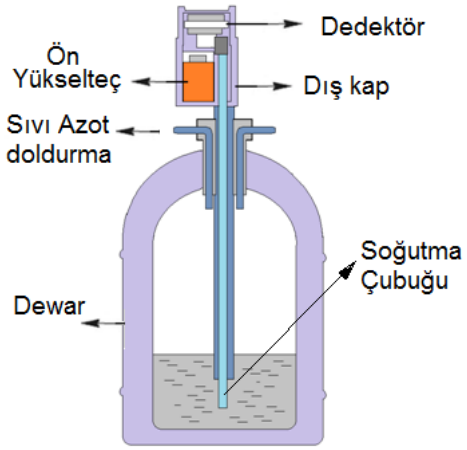
büyüklüğüne göre uygun kanallara yerleştirir ve toplar. Dijital haldeki veriler bilgisayara aktarılır.



Şekil 3.8. Dedektör sistemi şeması

3.3.1. HpGe gama spektrometresi ve özellikleri

İç yapısı Şekil 3.9'da verilen germanyum dedektörlü gama spektrometresinin yüksek voltaj nedeniyle oluşabilecek elektrik yükü geçişlerini engellemek için dedektör soğutulmalıdır. Dedektörü soğutmak için içinde sıvı azot bulunan dewara daldırılan bir bakır çubuk (cryostat) kullanılır. Dışarıdan gelebilecek dış radyasyonu engellemek için 10 cm kalınlığında kurşun zırh kullanılmıştır. Zırh içinde örnekten yayınlanan gama ışınlarının yüzeydeki kurşun atomuyla etkileşmesinden oluşabilecek X ışınlarının dedektöre etkisini azaltmak için zırhın iç yüzeyi 1 mm kalınlığında kalay ve bakırla kaplanmıştır[21].



Şekil 3.9. Germanyum dedektörlü gama spektrometresi [21]

Şekil 3.10’da gösterilen ORTEC GEM25P4-70 model HPGe Gama dedektör sisteminin teknik özellikleri,

Dedektör Özellikleri; Dedektör çapı: 57,7 mm

Dedektör uzunluğu: 44,5 mm

Dedektörün Al kabının kalınlığı: 3 mm

Bias voltajı: + 4400 V

Bağıl verimi :%25.2

Çözünürlük (FWHM) (1.33 MeV): 1.71 keV

Çözünürlük (FWHM) (122 keV): 0.65 keV [21]



Şekil 3.10. Gama spektroskopisi sistemi

3.3.2. HPGe gama spektrometresi kalibrasyonları, enerji kalibrasyonu, verim kalibrasyonu

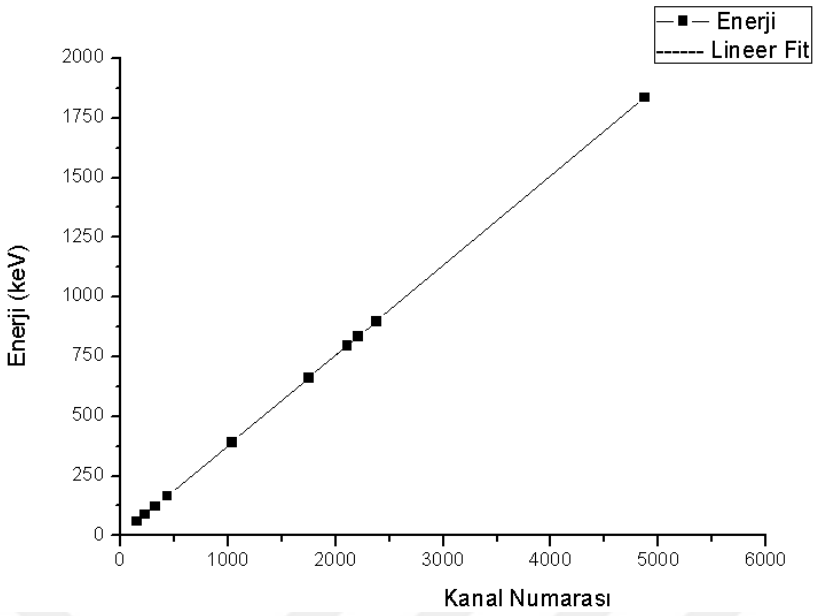
HPGe gama spektrometresinde aktivitelerin belirlenmesinden önce spektrometrenin bilinen standart kaynaklarla kalibre edilmesi gerekir. Bu kalibrasyonlar, enerji ve verim kalibrasyonudur.

Enerji kalibrasyonu

Enerji kalibrasyonu için referans kaynaklar kullanılır. Bu kaynakların yarı ömürleri yayınladıkları gama ışınlarının enerjileri belirlidir. Gama ışınlarının enerjileri referans kaynak yardımıyla piklerin kanalları ile enerjileri arasında ilişki kurulur. Standart kaynak yardımıyla ölçülen pik karşılaştırılarak hangi kanalın hangi enerjiye karşılık geldiği belirlenir. Enerji kalibrasyonunda yaygın olarak kullanılan referans kaynaklar Tablo 3.1' de verilmiştir.

Tablo 3.1. Enerji kalibrasyonunda kullanılan referans kaynaklar [20]

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



Şekil 3.11. Enerji kalibrasyon grafiği

Örnek kalibrasyon grafiği Şekil 3.11'de gösterilmiştir.

Bu grafikten eğim (B) ve doğrunun y eksenini kestiği değer (A), kanal numarası (K.N) belirlenir. Bu değerlerden

$$E(keV) = A + B * K.N \tag{3.13}$$

kullanılarak istenilen kanal numarasına karşılık gelen enerji değeri hesaplanabilir.

Verim kalibrasyonu

Kaynaktan yayılan gama ışınlarının tamamı detektörde sayılamaz. Bunun sebeplerinden bir tanesi kaynaktan yayılan gama ışınları 4π' lik çevresel açıda yayılırken dedektör bu ışınların ancak belirli bir kısmını alabilecek bir açıya sahiptir. Açıya bağlı olarak oluşan bu verime geometrik verim denir. Yine detektöre gelen gama ışınlarının bir kısmı fotoelektrik olay oluşturup sayılırken, bir kısmı Compton saçılması oluşturur. Saçılan gamalar dedektörde sayılamadıkları için oluşan bu verime içsel verim denir. Pik verimi, aktivitesi bilinen bir kaynakla yapılır. Bu standart kaynak ile sayımı yapılacak örnekler aynı geometrik yapıya ve yoğunluğa sahip olmalıdır.

Pik verimi ,(ε_γ)

$$\mathcal{E}_\gamma = \frac{N_{net}}{AI_\gamma t} \tag{3.14}$$

ile hesaplanır.

Burada N_{net} .$E_\gamma$enerjili gamaların oluşturduğu pik alanı, t kaynağın sayım süresi

A radyonüklidlerin aktivitesi, I_γ fotonun yayınlanma olasılığıdır. Buna göre radyonüklidin gama aktivitesi A,

$$A = \frac{N_{net}}{\varepsilon_\gamma I_\gamma t} \tag{3.15}$$

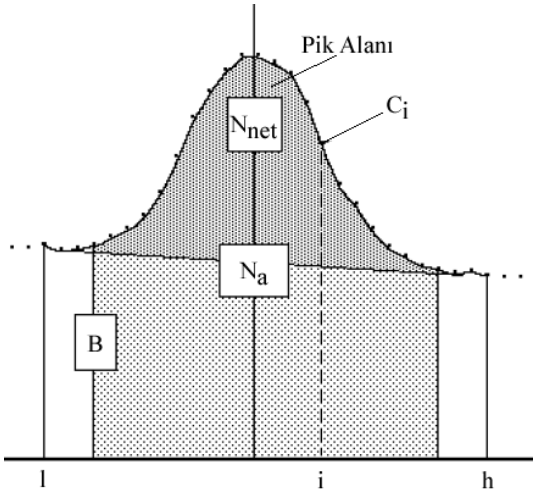
formülü ile bulunur. Spesifik aktivite aktivitesi ölçülen örneğin kilogram başına aktivitesidir. Spesifik aktivite,

$$SA = \frac{A}{m} \tag{3.16}$$

Burada A aktivite (Bq), m, örneğin kütlesi (kg) dir.

3.4. Pik Alanının Hesabı

Dedektörde aktivite hesabı yapılabilmesi için herhangi bir enerjiye karşılık gelen net pik alanının hesaplanması gerekir.



Şekil 3.12. Pik alan hesabında net alanın eldesi [18]

Pik alan hesabında net alanın bulunabilmesi için pik alanından fon alanının çıkarılması gerekir. Bunun için önce fon alanı B nin hesaplanması gerekir.

Fon alanı l. Kanal ile h. Kanal arasında olup alanı

$$B = \frac{\sum_{i=l}^{l+2} c_i + \sum_{i=h-2}^{h} c_i}{6}(h - l + 1) \quad (3.17)$$

Burada

B, fon radyasyon alanı

l, kanal alt sınırı

h, kanal üst sınırı

Ci, kaçıncı kanal olduğu

h -l+1, kanal sayısı

Pikin altındaki brüt alan N_a,

$$N_a = \sum_{i=l}^{h} c_i \quad (3.18)$$

Net pik alanı

$$N = N_a - B\frac{(h-l-5)}{(h-l+1)} \quad (3.19)$$

olarak elde edilir.

Net alandaki hata hesabı,

$$\Delta N = \sqrt{N_a - B\frac{(h-l-5)}{6} - \frac{(h-l-5)}{(h-l+1)}} \quad (3.20)$$

İle verilir [18].

3.5. Hata Hesabı

Deneysel çalışmalarda ölçümler belirli bir hata içerir. Bir f fonksiyonunun

$f = (x_1, x_{2,} \dots, x_n)$ hatalarıΔx ise fonksiyonda oluşan hata Δf,

$$\Delta f = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} (\frac{\partial f}{\partial x} \Delta x)^2} \quad (3.21)$$

İle verilir. Burada aktivite hesabında oluşabilecek hata kaynakları

- Pik alanındaki hata, ΔN
- Enerji veriminde oluşabilecek hata, $\Delta \varepsilon$
- Yayınlanma olasılığında oluşabilecek hata, ΔI
- Sayım süresinde oluşabilecek hata, Δt dir.

Bu değerler Denklem (3.21) de yerine konulursa

$$\Delta A = A \sqrt{(\frac{\partial N_{net}}{N_{net}})^2 + (\frac{\partial I_\gamma}{I_\gamma})^2 + (\frac{\partial \varepsilon_\gamma}{\varepsilon_\gamma})^2} \quad (3.22)$$

3.6. Ağırlıklı Ortalama

Aktiviteleri hesaplanan numunelerin ağırlıklı ortalama değerlerini bulabilmek için

$$A = \frac{\frac{A_1}{\Delta A_1^2} + \frac{A_2}{\Delta A_2^2}}{\frac{1}{\Delta A_1^2} + \frac{1}{\Delta A_2^2}} \quad (3.23)$$

formülünden yararlanılır. Burada

A_1 , A_2 aktivite değerleri

ΔA_1 , ΔA_2 hata değeri

A, ağırlıklı ortalamadır.

3.7. Gama Doz Hızı

Doğal radyasyona katkısı olan ^{232}Th,^{238}U, ^{40}K ortamdaki doğal radyasyona katkısı aktivite değerleri biliniyorsa yerden 1 metre yükseklikte havada oluşturdukları doz değerine gama doz değeri denir. Bunun için aktiviteler her radyoizotopun etkin değerine göre belirlenmiş sabitlerle çarpılarak gama doz hızı hesaplanır.

Buna göre gama doz hızı, G.D.H ,

G.D.H=SA x Dönüşüm Faktörü (3.24)

SA, Spesifik Aktivite

Dönüşüm faktörü,

^{40}K için, 0,417

^{232}Th için, 0,604

^{238}U için, 0,462 olarak alınır.

1 metre yükseklikteki doğal radyasyon hızı,

$$Doğal\ Radyasyon\ Hızı = 0{,}0417xSA_K + 0{,}604xSA_{Th} + 0{,}462xSA_U \quad (3.25)$$

Doğal Radyasyon hız birimi n.Gy.sa^{-1} dir

Bir yerdeki yıllık doz hızı hesaplanması isteniyorsa

Yıllık Doz Hızı= 365x24x0,2x0,7xDoğal Radyasyon Hızı (3.26)

Burada 0,2, ortamda geçirilen zamanla ilgili katsayı

0,7, yetişkin bir insanı içeren katsayı

365 ve 24 zaman çevriminde kullanılan katsayıdır [15].

3.8. Radyum Eşdeğer Aktivitesi

Bir yerdeki radyasyon etkisinin radyum karşılığı değeridir. Bunu için o yerdeki radyasyon değerleri çeşitli katsayılarla çarpılarak radyum eşdeğerleri hesaplanır.

Radyum eşdeğer doz,

$$Radyum\ Eşdeğer\ Dozu = SA_U + \frac{10}{7}SA_{Th} + \frac{10}{130}SA_K \quad (3.27)$$

ile hesaplanır. Burada SA_U,SA_{Th} ,SA_K Bqkg^{-1} cinsinden sırasıyla uranyum , toryum ve potasyumun spesifik aktivite değerleridir [15].

4. DENEY VE HESAPLAMALAR

4.1. Çalışma Alanının Coğrafi Yapısı

Kandıra Kocaeli iline bağlı Karadeniz sahil şeridinde bulunan bir ilçedir. Batısında İstanbul, doğusunda Adapazarı, güneyinde İzmit kuzeyinde Karadeniz vardır. Kocaeli merkeze uzaklık 46 km'dir. Ulaşım karayoluyla yapılmaktadır. Kocaeli sanayi bölgesi olmasına rağmen Kandıra'da sanayi gelişmemiştir. Halk daha çok tarım ve hayvancılıkla uğraşır. Sezonu kısa olmasına rağmen Karadeniz kıyılarında turizm faaliyetleri yapılmaktadır. Karadeniz kıyısı boyunca geniş kumsalı ve temiz bir denizi vardır. Kefken, Cebeci, Babalı, Bağırganlı ve Uzunkum sahilde bulunan beldelerdir. Kandıra-Cebeci civarında gözlenen toprak yapısı gri-yeşilimsi siyah renkli bazaltik volkanitler ile mor renkli andezitlerden oluşan kırıntılı kireçtaşlarıdır. Sarısu formasyonu metamorfik kayalar üzerinde genellikle 5-10 m kalınlıkta bir çökel düzeyi ile başlar. Bu düzey, çamurtaşı, kumtaşı ve kireçtaşı gibi taşlardan oluşur. Bütün bu istif, özellikle üst düzeylerinde gözlenen bazalt katmanları ile kesilir. Sarısu köyü çevresinde gözlenen masif lav oldukça kalın bir lav örtüsü oluşturur. Bu kesim yeşil renkli ve sert andezitiktüf ve lav, zeolitli andezit ve tüflerden oluşur [22].



Şekil 4.1. Kandıra

4.2. Örneklerin Toplanması

Kandıra bölgesinin Bağırganlı, Seyrek, Sarısu, Kerpe, Kumcağız, Kovanağzı, Cebeci, Uzunkum, Çamkonak ve Dikili sahillerinden toplam 13 adet kum numunesi toplanmıştır.



Şekil 4.2. Örneklerin alındığı bölgelerin haritadaki yerleri

Örneklerin alındığı bölgeler Şekil 4.2'de, bölge koordinatları Tablo 4.1'de gösterilmiştir. Koordinatları belirlemede Şekil 4.3'te gösterilen Magellan eXplorist GPS cihazı kullanılmıştır.



Şekil 4.3. Magellan eXplorist
GPS cihazı

Tablo 4.1. Örneklerin alındığı bölge koordinatlar

Mevkii	Örnek Kodu	Koordinatlar		Rakım
Kerpe	120801001	41°09'26"K	30°12'10"D	13
Sarısu	120801002	41°08'22"K	30°08'42"D	15
Seyrek	120801003	41°08'05"K	30°06'15"D	12
Uzunkum	120802004	41°11'44"K	30°17'14"D	10
Cebeci	120802005	41°11'21"K	30°15'36"D	26
Cebeci	120802006	41°11'09"K	30°15'12"D	18
Kovanağzı	120802007	41°10'34"K	30°15'05"D	10
Kumcağız	120802008	41°09'29"K	30°13'23"D	8
Bağırganlı	120802009	41°08'02"K	30°02'49"D	9
Çamkonak	130819010	41°11'27"K	30°19'33"D	33
Dikili	130819011	41°11'08"K	30°20'16"D	29
Dikili	130819012	41°11'00"K	30°20'32"D	29.4
Hamidiye	130819013	41°11'11"K	30°18'31"D	114

Örnekler kıyı şeridinden yaklaşık 50-100 metre içeride ormanlık bölgelerden toplanmıştır. Şekil 4.4'te gösterilen 10 cm çapında 5 cm derinliğinde demir halka ile toprağın 0-5 cm derinliğine çekiçle çakılarak her bölgeden ikişer örnek alınıp naylon poşetlere konularak, Şekil 4.5'teki gibi etiketlenmiştir.



Şekil 4.4. Toprak örnekleri alımında kullanılan araç gereçler

Toprak örnekleri alımında Şekil 4.4'teki demir halka, çekiç ve el küreği kullanılmıştır. Şekil 4.6'daki gibi torbalara konularak etiketlenmiştir.



Şekil 4.5. Demir halka ile toprak örneklerinin alınması ve etiketlenmesi

Toplanan numuneler, laboratuvara getirilip iki gün boyunca oda sıcaklığında kurutuldu. Kuruyan örnekler Şekil 4.6'daki gibi 1mm genişlikte gözeneklere sahip çelik elek yardımıyla elenip, içinde bulunan taş, canlı artıkları gibi yabancı maddelerden ayıklanmıştır. Her işlemden sonra elek ve kaplar, su ve alkolle temizlenerek kontaminasyon engellenmiştir.



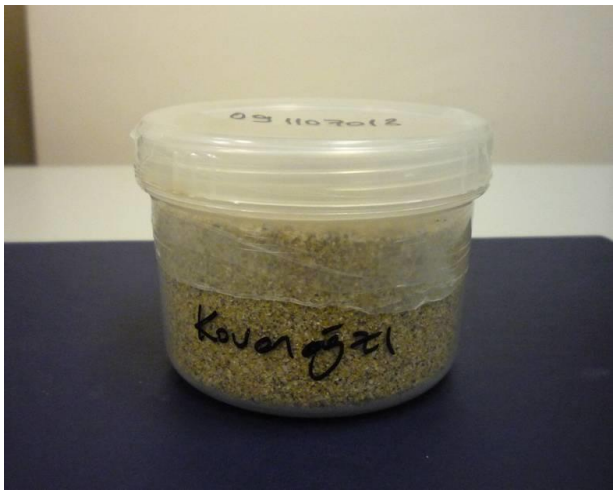
Şekil 4.6. 1mm genişlikli elek ve standart kaplara yerleştirilen örnekler

Elenen toprak örnekleri Şekil 4.6'daki gibi standart kaplara konularak numaralandırılmıştır. Bu arada örneklerin çevreyle temas etmemesine özen gösterilmiştir. Aktivitesi hesaplanacak saf toprak kütlesini elde edebilmek için standart kaplara yerleştirilen örnekler Şekil 4.7'deki gibi etüve konulup 60 °C de 48 saat bekletilerek toprak içerisindeki nemin uzaklaştırılması sağlanmıştır.



Şekil 4.7. Etüve yerleştirilen örnekler

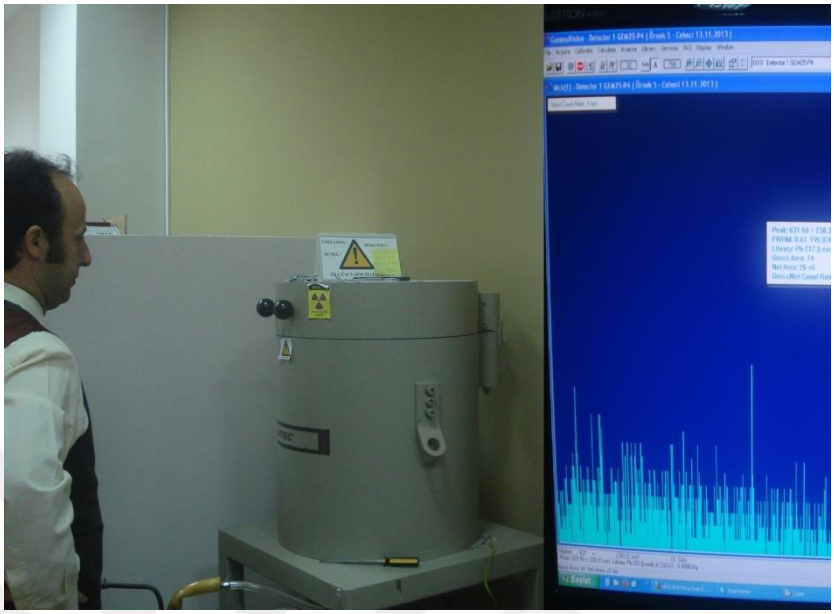
Kurutulan örnekler darası ölçülmüş Şekil 4.8'deki standart sayım kaplarına konulmuştur. Daha sonra tartılarak.net ağırlıkları belirlenmiştir.



Şekil 4.8. Standart kap

Uranyum serisindeki elementlerin tespiti için radonun dengeye gelmesi gerekir. Radonun ortamdan kaçmaması için sayım kapları parafinle izole edilerek hava almayacak hale getirilmiştir. Sayım kapları 1 ay süre ile bekletilerek radonun

dengelenmesi sağlanmıştır. Sayıma hazır hale gelen örnekler Şekil 4.9'daki ORTEC GEM25P4-70 model HPGe gama dedektörüne konulup sayım alınmıştır.



Şekil 4.9. Toprak örneklerin sayımında kullanılan HpGe gama spektrometresi

4.3. Hesaplamalar

4.3.1. Net toprak kütlesinin bulunması

Tablo 4.2.Toprak örneklerinin boş kap ve net kütlesi

Örnek Kodu	Mevkii	Boş kap	Kap + Toprak	Toprak
120801001	Kerpe	29.91	256.61	226.7
120801002	Sarısu	30.12	304.16	274.04
120801003	Seyrek	30.35	288.24	257.89
120802004	Uzunkum	30.13	251.14	221.01
120802005	Cebeci	29.93	305.44	275.51
120802006	Cebeci	30.35	301.26	270.91
120802007	Kovanağzı	30.3	293.71	263.41
120802008	Kumcağız	29.93	245.52	215.59
120802009	Bağırganlı	29.94	313.82	283.88
130819010	Çamkonak	30.35	302.79	272.44
130819011	Dikili	30.05	224.62	194.57
130819012	Dikili	30.29	288.16	257.87
130819013	Hamidiye	30.1	273.6	243.5

Standart kaplar işlem öncesi tartılarak daralar bulundu. Standart kaplar taşma seviyesine kadar kurutulmuş ve nemi alınmış toprakla dolduruldu. Tekrar tartılarak toprağın net kütlesi hesaplandı. Tablo 4.2'de hesaplanan net toprak kütleleri verilmiştir.

4.3.2. Enerji kalibrasyonu

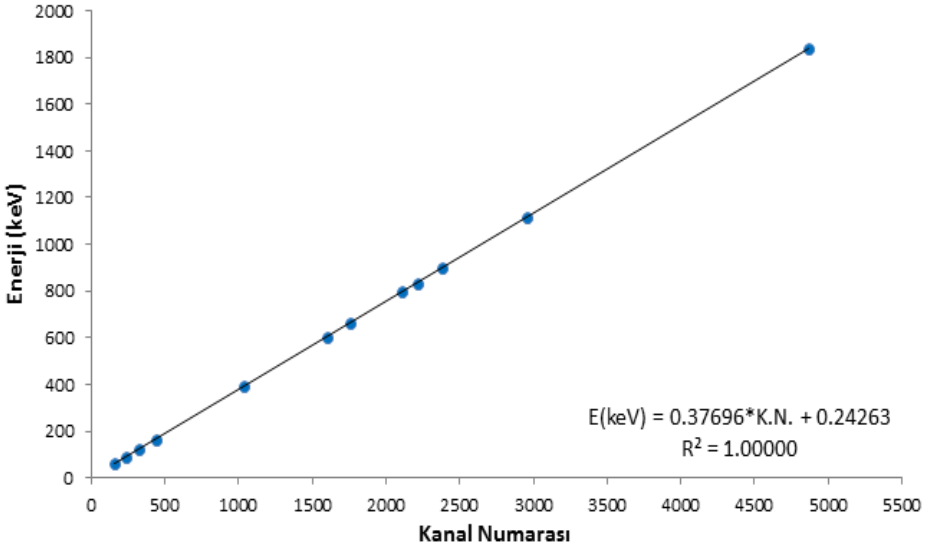
Çalışmada, enerji ve verim kalibrasyonu için An Eckert&Zeigler Company Isotope Product Laboratuar firmasına ait 85548A numaralı 01.08.2011 tarihli saat 12:00:00 1.6 g/cc yoğunluğa sahip kaynak kullanılmıştır (Ek-A).

Tablo 4.3. Enerji Kalibrasyonunda kullanılan radyoizotopların bozunum türleri ve enerjileri

Radyoizotop	Enerji (keV)	Bozunum Türleri	Kanal Numarası
^{241}Am	59,5409	α	157,62
^{109}Cd	88,0336	ε	233
^{57}Co	122,1	ε	323,16
^{139}Ce	165,9	ε	439,01
^{113}sn	391,7	ε	1038,51
^{134}Cs	604,7	ε	1603,63
^{137}Cs	661,7	ε	1754,63
^{134}Cs	795,9	ε	2110,5
^{54}Mn	834,9	ε	2213,93
^{88}Y	898	β^+	2381,6
^{65}Zn	1115,6	β^-	2958,65
^{88}Y	1836	β^+	4870,15

Kaynak ^{241}Am ,^{109}C,^{56}Co ^{139}Ce „ ^{113}Sn, ^{137}Cs ^{134}Cs , ^{54}Mn ,^{88}Yu radyoizotoplarını içerir. Tablo 4.3'te enerji kalibrasyonunda kullanılan radyoizotoplar, bu radyoizotopların bozunum türleri ve enerjilerine karşılık gelen kanal numaraları verilmiştir. Enerji kalibrasyonu enerji değerleri bilinen standart kaynağın dedektörde belirli bir süre sayılarak elde edilen spektrumda enerjilere karşılık gelen kanal numaraları belirlenmiştir.

Bu enerjilere karşılık gelen kanal numaraları birbiri ile doğru orantılı olup enerji-kanal grafiği Şekil 4.10'daki gibi oluşturulmuştur.



Şekil 4.10. Enerji- kanal numarası grafiği

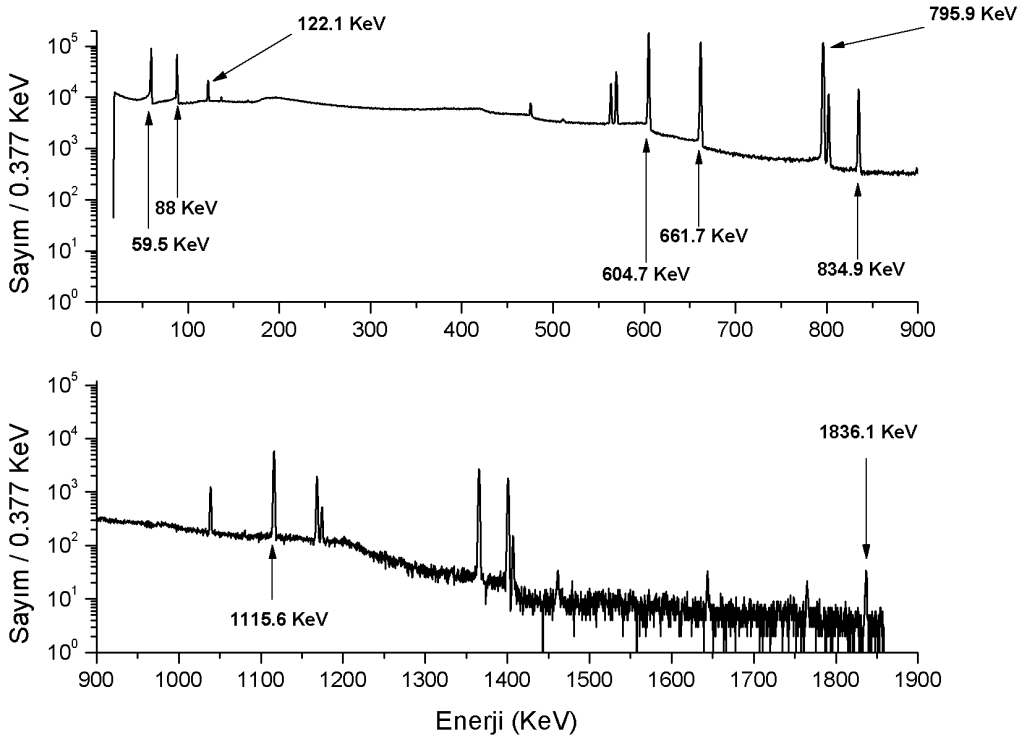
elde edilen denklemde (E) ,enerji (K.N), kanal numarası olup

$$E(keV) = 0{,}37696\ x\ K.N + 0{,}24263 \quad (4.1)$$

olarak belirlenmiştir.

4.3.3. Verim kalibrasyonu

HpGe dedektörünün verim kalibrasyonu için bölüm 4.3.2'de verilen standart kaynak kullanılmıştır. Standart kaynak ölçümü yapılacak örneklerle aynı dedektör geometrisinde yaklaşık 22000 saniye sayılmıştır. Ölçüm sonucu elde edilen enerji-sayım grafiği Şekil 4.11'de gösterilmektedir.



Şekil 4.11. Standart kaynağın sayımı sonucu elde edilen grafik

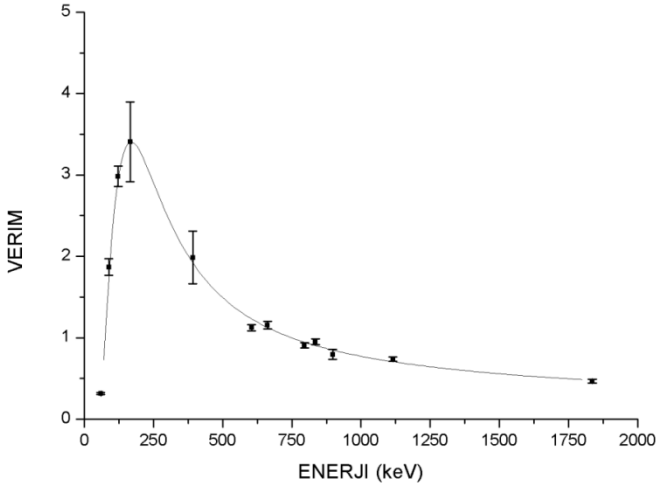
Aktivitesi belirlenen standart kaynağın sayım sonucu Denklem (3.14) yerine konulup verim değerleri elde edilmiştir. Deneysel olarak elde edilen verim değerleri fit edilerek altıncı dereceden bir polinom elde edilmiştir. Bu polinom katsayıları aşağıda verilmiştir.

a_1=-0.17064, a_2=-5,49297, a_3=0,9370, a_4=-013773 a_5=0,008282 a_6=-0,00021

Bu değerlere göre verim değeri ε,

$$\varepsilon = e^{-0,17064E^{1}-5,49297+0,93705E^{-1}-0,13773E^{-2}+0,008282E^{-3}-0,00021E^{-4}} \quad (4.2)$$

Denklem (4.2)'de "E "radyonüklid enerji değerlerini göstermektedir.



Şekil 4.12. Enerji-verim grafiği

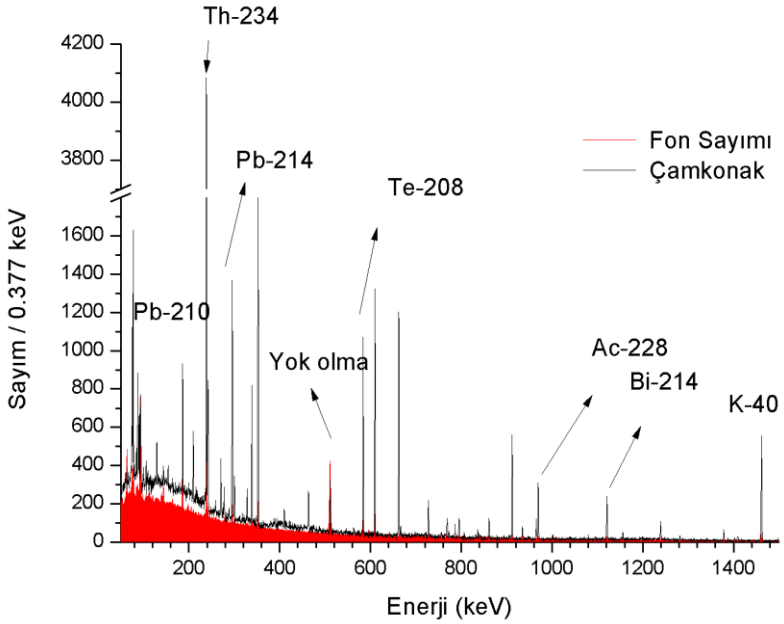
Şekil 4.12'de fit edilen enerji- verim kalibrasyon eğrisi görülmektedir. Denklem (4.2)'ye göre standart kaynak verim değerleri hesaplanmıştır. Tablo 4.4'de verim eldesinde kullanılan standart radyoizotoplar hesaplanan verim değerleri ve fit edilen verim değerleri gösterilmiştir.

Tablo 4.4.Verim hesaplamasında kullanılan radyoizotoplar ve verim değerleri

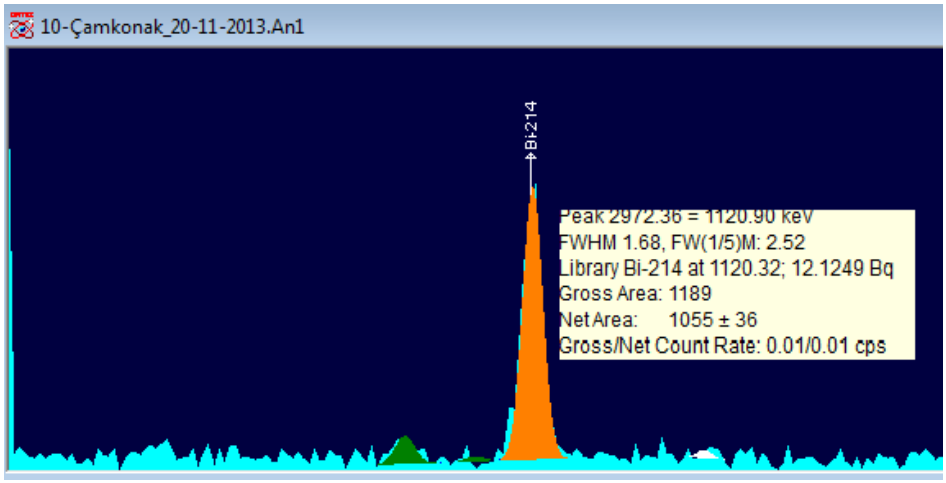
İzotop	Enerji (keV)	Verim (Hesaplanan)	Verim (Fit edilen)
^{241}Am	59,54	3,15E-03	3,15E-03
^{109}Cd	88,03	1,89E-02	1,88E-02
^{57}Co	122,06	3,00E-02	3,02E-02
^{139}Ce	165,85	3,43E-02	3,43E-02
^{113}Sn	391,69	2,01E-02	1,92E-02
^{134}Cs	604,7	1,13E-02	1,23E-02
^{137}Cs	661,66	1,17E-02	1,13E-02
^{134}Cs	795,86	9,16E-03	9,46E-03
^{54}Mn	834,9	9,60E-03	9,05E-03
^{88}Y	898,02	8,02E-03	8,48E-03
^{65}Zn	1115,54	7,45E-03	7,06E-03
^{88}Y	1836,01	4,71E-03	4,80E-03

4.3.4. Aktivite hesabı

Fon Sayımı ortamdaki doğal radyoaktiviteye karşılık gelen sayımdır. Örnek aktivitesini hesaplayabilmek için ortamdaki doğal radyoaktivitenin hesaplanması gerekir. Bunu için boş bir kap dedektöre yerleştirilerek 78658 saniye sayım yapılmıştır. Sayım sonucu elde edilen fon sayım değerleri pik alanlarından çıkarılarak net pik alanları elde edilmiştir. Şekil 4.13'de örnek fon sayımı sayımı ve sayım grafiği görülmektedir.



Şekil 4.13. Çamkonak örneğinin fon ve sayımından elde edilen enerji sayım grafiği.



Şekil 4.14. Fon sayım grafiği

Aktivite hesaplamada, Şekil 4.14' de görülen fon sayım ve net alan değerleri

Denklem (3.15)'te yerine konulup ^{214}Bi için aktivite değeri

A= 12,1 Bq olarak hesaplanmıştır.

Spesifik aktivite eldesinde kütle değerleri kullanılmıştır. Denklem(3.16) kütle değerleri yerine konularak

Çamkonak için spesifik aktivite (SA),

SA= 44,5 Bq/kg olarak hesaplanmıştır.

4.3.5. Hata hesabı

Değerler Denklem (3.18) 'de yerine konularak

$\Delta SA = 1{,}94$ Bq/kg olarak belirlenmiştir.Buna göre Çamkonak için spesifik aktivite değeri,

SA= 44,5 ± 1,94 Bq/kg

Aktiviteleri hesaplanan örneklerin ağırlıklı ortalamaları Denklem (3.19)'da yerine konularak hesaplanmıştır. Çamkonak için hesaplanan ağırlıklı ortalama değerleri Tablo 4.5'de verilmiştir. Tablo 4.6'da aktivite hesaplamasında kullanılan veriler tablo halinde gösterilmiştir.

Tablo 4.5. Çamkonak örneği ağırlıklı ortalama spesifik aktivite değerleri

Çamkonak	Spesifik Aktivite Değerleri (Bq/kg)	
^{238}U	40,01	0,64
^{232}Th	42,80	0,72
^{40}K	200,03	7,12
^{137}Cs	21,58	0,67

Tablo 4.6. Çamkonak örneğine ait verilerin enerji değerlerine göre gösterimi.

Çamkonak 130819010		Enerji (keV)	Net Sayım	Sayım Hata	Olasılık	Olasılık Hata	Verim (%)	Verim Hata(%)	Aktivite (Bq)	Aktivite Hata	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Spesifik Aktivite Hata	Ağırlıklı Ortalama		Sayım Süresi (s)
													Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Hata	
^{238}U	^{214}Pb	295	3940	89,04	18,50	0,04	0,03	2,68	10,06	0,35	36,92	1,30	40,01	0,64	83674
		242	2277	76,28	7,50	0,02	0,03	2,68	12,22	0,52	44,86	1,93			83674
		352	6884	104,64	35,80	0,07	0,02	2,68	10,74	0,33	39,41	1,22			83674
	^{214}Bi	609	4945	73,19	44,80	0,16	0,01	2,68	10,80	0,33	39,65	1,22			83674
		1120	1055	36,40	14,80	0,03	0,01	2,68	12,12	0,53	44,47	1,94			83674
^{232}Th	^{228}Ac	969	1340	41,54	15,80	0,30	0,01	2,68	12,76	0,58	46,85	2,12	42,80	0,72	83674
		911	2384	73,67	25,80	0,40	0,01	2,68	13,18	0,58	48,39	2,12			83674
		338	2377	74,64	11,27	0,02	0,02	2,68	11,33	0,47	41,57	1,72			83674
	^{212}Pb	239	12080	122,01	43,60	0,50	0,03	2,68	11,05	0,34	40,55	1,25			83674
	^{208}Tl	583	3747	78,69	85,00	0,30	0,01	2,68	11,49	0,39	42,17	1,44			83674
^{40}K	^{40}K	1462	2773	64,89	10,67	0,02	0,01	2,68	54,50	1,94	200,03	7,12	200,03	7,12	83674
^{137}Cs	^{137}Cs	662	4715	73,08	85,10	0,02	0,01	2,68	5,88	0,18	21,58	0,67	21,58	0,67	83674

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Numunelerin Aktivite ve Spesifik Aktivite Değerleri

Bu çalışma Kocaeli Kandıra ilçesi Karadeniz Sahil kesimindeki toprakta radyoaktivite seviyesinin belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Sahil kesiminden 13 ayrı bölgeden alınan numuneler gama spektroskopisinde sayımları yapılarak, aktiviteleri hesaplanmıştır. Ayrıca her bir sahil için doz hızı, yıllık efektif doz hızı, radyum eşdeğer aktivitesi ve harici radyasyon riski hesaplanmıştır.

Bölgelerin aktivite değerleri Tablo (5.1) den, Tablo (5.13)'e kadar verilmiştir. Tablo 5.14'de tüm bölgelerin aktivite değerleri verilmiştir.

Tablodaki bilgilerden yararlanılarak Şekil 5.2, 5.3, 5.4, 5.5'deki grafikler çizilerek değer karşılaştırmaları yapılmıştır.

Tablo 5.1. Kerpe120801001 Nolu Numunenin 86197 saniye sayımı ile elde edilen aktivite ve spesifik aktivite değerleri

Kerpe 120801001		Enerji (keV)	Net Sayım	Aktivite (Bq)	Spesifik Aktivite (Bq kg $^{-1}$)	Ağırlıklı Ortalama (Bq kg -1)
^{238}U	^{214}Pb	295,21	3935 ± 82,24	9,75 ± 0,33	43,02 ± 1,46	44,71 ± 1,43
		241,98	2133 ± 72,52	11,11 ± 0,48	49,02 ± 2,12	
		351,93	6537 ± 75,18	9,90 ± 0,29	43,66 ± 1,28	
	^{214}Bi	609,31	4771 ± 72,04	10,12 ± 0,31	44,63 ± 1,38	
		1120,29	958 ± 35,45	10,68 ± 0,49	47,11 ± 2,15	
^{232}Th	^{228}Ac	968,97	1245 ± 39,59	11,51 ± 0,53	50,78 ± 2,32	43,80 ± 1,32
		911,2	2038 ± 70,31	10,94 ± 0,51	48,26 ± 2,24	
		338,32	2169 ± 70,71	10,03 ± 0,42	44,26 ± 1,87	
	^{212}Pb	238,63	10718 ± 112,54	9,51 ± 0,30	41,97 ± 1,30	
	^{208}Tl	583,19	3144 ± 67,60	9,36 ± 0,32	41,28 ± 1,43	
^{40}K	^{40}K	1461,5	2808 ± 67,67	53,57 ± 1,93	236,30 ± 8,53	236,30 ± 8,53
^{137}Cs	^{137}Cs	661,66	5761 ± 80,08	6,97± 0,21	30,76 ± 0,93	30,76 ± 0,93

Tablo 5.2. Sarısu 120801002 nolu numunenin 102759 saniye sayımı ile elde edilen aktivite ve spesifik aktivite değerleri

Sarısu 120801002		Enerji (keV)	Net Sayım	Aktivite (Bq)	Spesifik Aktivite (Bq kg $^{-1)}$	Ağırlıklı Ortalama (Bq kg -1)
^{238}U	^{214}Pb	295,21	2131 ± 72,03	4,43 ± 0,19	16,17 ± 0,70	17,49 ± 2,90
		241,98	1194 ± 60,77	5,22 ± 0,30	19,04 ± 1,10	
		351,93	3770 ± 78,79	4,79 ± 0,16	17,47± 0,59	
	^{214}Bi	609,31	2746 ± 67,00	4,88 ± 0,18	17,82 ± 0,65	
		1120,29	581 ± 50,95	5,43 ± 0,50	19,83 ± 1,82	
^{232}Th	^{228}Ac	968,97	844 ± 33,51	6,55 ± 0,34	23,89 ± 1,23	21,11 ± 2,26
		911,2	1591 ± 49,80	7,16 ± 0,32	26,14 ± 1,15	
		338,32	1379 ± 60,81	5,35 ± 0,28	19,52 ± 1,01	
	^{212}Pb	238,63	7200 ± 95,04	5,36 ± 0,17	19,56 ± 0,63	
	^{208}Tl	583,19	2194 ± 65,60	1,97 ± 0,79	19,99 ± 2,70	
^{40}K	^{40}K	1461,5	1828 ± 44,79	29,3 ± 1,06	106,75 ± 3,88	106,75 ± 3,88
^{137}Cs	^{137}Cs	661,66	1909 ± 51,92	1,94 ± 0,07	7,07 ± 0,27	7,07 ± 0,27

Tablo 5.3. Seyrek 120801003 nolu numunenin 66696 saniye sayımı ile elde edilen aktivite ve spesifik aktivite değerleri

Seyrek 120801003		Enerji (keV)	Net Sayım	Aktivite (Bq)	Spesifik Aktivite (Bq kg $^{-1)}$	Ağırlıklı Ortalama (Bq kg -1)
^{238}U	^{214}Pb	295,21	2722 ± 74,31	8,72 ± 0,33	33,81 ± 1,30	34,65 ± 1,60
		241,98	1374 ± 63,34	9,25 ± 0,49	35,87 ± 1,91	
		351,93	4454 ± 88,19	8,71 ± 0,29	33,79 ± 1,13	
	^{214}Bi	609,31	3244 ± 68,77	8,89 ± 0,31	34,47 ± 1,18	
		1120,29	712 ± 36,60	10,3 ± 0,60	39,78 ± 2,31	
^{232}Th	^{228}Ac	968,97	725 ± 32,19	8,66 ± 0,48	33,59 ± 1,86	31,54 ± 1,67
		911,2	1359 ± 40,63	9,43 ± 0,41	36,56 ± 1,57	
		338,32	1209 ± 57,79	7,23 ± 0,40	28,02 ± 1,54	
	^{212}Pb	238,63	6841 ± 95,77	7,85 ± 0,25	30,43 ± 0,98	
	^{208}Tl	583,19	2116 ± 61,15	8,14 ± 0,32	31,57 ± 1,25	
^{40}K	^{40}K	1461,5	2195 ± 48,07	54,12 ± 1,88	209,85 ± 7,27	209,85 ± 7,27
^{137}Cs	^{137}Cs	661,66	3264 ± 61,36	5,11 ± 0,17	19,80 ± 0,65	19,80 ± 0,65

Tablo 5.4. Uzunkum120802004nolu numunenin 96657 saniye sayımı ile elde edilen aktivite ve spesifik aktivite değerleri

Uzunkum 120802004		Enerji (keV)	Net Sayım	Aktivite (Bq)	Spesifik Aktivite (Bq kg $^{-1)}$	Ağırlıklı Ortalama (Bq kg -1)
^{238}U	^{214}Pb	295,21	1770 ± 46,55	3,91 ± 0,15	17,7 ± 0,67	18,93 ± 0,34
		241,98	979 ± 44,94	4,55 ± 0,24	20,58 ± 1,09	
		351,93	2954 ± 59,08	3,99 ± 0,13	18,05 ± 0,60	
	^{214}Bi	609,31	2270 ± 48,35	4,29 ± 0,15	19,42 ± 0,67	
		1120,29	508 ± 23,22	5,05 ± 0,27	22,85 ± 1,21	
^{232}Th	^{228}Ac	968,97	752 ± 27,82	6,20 ± 0,31	28,05 ± 1,39	24,09 ± 0,42
		911,2	1317 ± 36,74	6,30 ± 0,26	28,53 ± 1,19	
		338,32	1338 ± 38,94	5,52 ± 0,22	24,97 ± 0,99	
	^{212}Pb	238,63	6106 ± 82,43	4,83 ± 0,16	21,87 ± 0,70	
	^{208}Tl	583,19	1915 ± 45,00	5,08 ± 0,18	23,00 ± 0,82	
^{40}K	^{40}K	1461,5	1565 ± 39,59	26,6 ± 0,99	120,47 ± 4,44	120,47 ± 4,44
^{137}Cs	^{137}Cs	661,66	727 ± 30,68	0,78 ± 0,04	3,55 ± 0,18	3,55 ± 0,18

Tablo 5.5. Cebeci_1 120802005 nolu numunenin 149468 saniye sayımı ile elde edilen aktivite ve spesifik aktivite değerleri

Cebeci_1 120802005		Enerji (keV)	Net Sayım	Aktivite (Bq)	Spesifik Aktivite (Bq kg $^{-1)}$	Ağırlıklı Ortalama (Bq kg -1)
^{238}U	^{214}Pb	295,21	2875 ± 54,34	4,11 ± 0,14	14,91 ± 0,49	15,57 ± 0,25
		241,98	1549 ± 51,74	4,65 ± 0,20	16,89 ± 0,72	
		351,93	4912 ± 72,70	4,29 ± 0,13	15,57 ± 0,48	
	^{214}Bi	609,31	3324 ± 59,50	4,06 ± 0,13	14,75 ± 0,48	
		1120,29	791 ± 30,77	5,09 ± 0,24	18,46 ± 0,87	
^{232}Th	^{228}Ac	968,97	1174 ± 37,22	6,26 ± 0,29	22,72 ± 1,04	19,86 ± 0,32
		911,2	2203 ± 48,25	6,82 ± 0,26	24,75 ± 0,94	
		338,32	2068 ± 45,50	5,52 ± 0,19	20,02 ± 0,70	
	^{212}Pb	238,63	9761 ± 104,44	5,00 ± 0,16	18,14 ± 0,56	
	^{208}Tl	583,19	2999 ± 56,38	5,15 ± 0,17	18,69 ± 0,62	
^{40}K	^{40}K	1461,5	7304 ± 85,46	80,36 ± 2,35	291,67 ± 8,54	291,67 ± 8,54
^{137}Cs	^{137}Cs	661,66	2594 ± 52,40	1,81 ± 0,06	6,57 ± 0,22	6,57 ± 0,22

Tablo 5.6. Cebeci_2 120802006 nolu numunenin 195077 saniye sayımı ile elde edilen aktivite ve spesifik aktivite değerleri

Cebeci_2 120802006		Enerji (keV)	Net Sayım	Aktivite (Bq)	Spesifik Aktivite (Bq kg $^{-1}$)	Ağırlıklı Ortalama (Bq kg $^{-1}$)
^{238}U	^{214}Pb	295,21	1068 ± 35,24	1,17 ± 0,05	4,32 ± 0,18	4,81 ± 0,10
		241,98	636 ± 30,21	1,46 ± 0,08	5,40 ± 0,29	
		351,93	2063 ± 45,80	1,38 ± 0,05	5,09 ± 0,18	
	^{214}Bi	609,31	1338 ± 36,66	1,25 ± 0,05	4,63 ± 0,18	
		1120,29	312 ± 23,31	1,54 ± 0,12	5,67 ± 0,45	
^{232}Th	^{228}Ac	968,97	522 ± 28,19	2,13 ± 0,14	7,87 ± 0,50	6,09 ± 0,12
		911,2	958 ± 34,87	2,27 ± 0,11	8,39 ± 0,40	
		338,32	846 ± 29,61	1,73 ± 0,08	6,38 ± 0,28	
	^{212}Pb	238,63	3765 ± 62,88	1,48 ± 0,05	5,45 ± 0,18	
	^{208}Tl	583,19	1191 ± 34,54	1,57 ± 0,06	5,78 ± 0,23	
^{40}K	^{40}K	1461,5	8706 ± 93,15	73,4 ± 2,12	271 ± 7,83	271± 7,83
^{137}Cs	^{137}Cs	661,66	1553 ± 41,31	0,83 ± 0,03	3,07 ± 0,12	3,07 ± 0,12

Tablo 5.7. Kovanağzı 120802007nolu numunenin 67009 saniye sayımı ile elde edilen aktivite ve spesifik aktivite değerleri

Kovanağzı 120802007		Enerji (keV)	Net Sayım	Aktivite (Bq)	Spesifik Aktivite (Bq kg $^{-1}$)	Ağırlıklı Ortalama (Bq kg -1)
^{238}U	^{214}Pb	295,21	3011 ± 76,18	9,60 ± 0,35	36,44 ± 1,35	38,06 ± 0,64
		241,98	1806 ± 63,93	12,10 ± 0,54	45,95 ± 2,04	
		351,93	5100 ± 83,64	9,93 ± 0,31	37,71 ± 1,19	
	^{214}Bi	609,31	3567 ± 63,85	9,73 ± 0,32	36,94 ± 1,20	
		1120,29	702 ± 30,61	10,10 ± 0,52	38,22 ± 1,96	
^{232}Th	^{228}Ac	968,97	1090 ± 36,52	13,00 ± 0,61	49,21 ± 2,31	41,25 ± 0,71
		911,2	1830 ± 49,96	12,63 ± 0,52	47,97 ± 1,98	
		338,32	1736 ± 53,82	10,33 ± 0,42	39,21 ± 1,61	
	^{212}Pb	238,63	9129 ± 104,98	10,42 ± 0,33	39,58 ± 1,24	
	^{208}Tl	583,19	2654 ± 65,55	10,16 ± 0,37	38,58 ± 1,41	
^{40}K	^{40}K	1461,5	2675 ± 55,64	65,65 ± 2,23	249,22 ± 8,47	249,22 ± 8,47
^{137}Cs	^{137}Cs	661,66	3567 ± 63,85	5,55 ± 0,18	21,09 ± 0,68	21,09 ± 0,68

Tablo 5.8. Kumcağaz 120802008 nolu numunenin 87198 saniye sayımı ile elde edilen aktivite ve spesifik aktivite değerleri

Kumcağaz 120802008		Enerji (keV)	Net Sayım	Aktivite (Bq)	Spesifik Aktivite (Bq kg $^{-1}$)	Ağırlıklı Ortalama (Bq kg -1)
^{238}U	^{214}Pb	295,21	2341 ± 51,74	5,73 ± 0,20	26,60 ± 0,93	27,16 ± 0,46
		241,98	1231 ± 49,36	6,34 ± 0,31	29,41 ± 1,42	
		351,93	3909 ± 64,50	5,85 ± 0,18	27,13 ± 0,86	
	^{214}Bi	609,31	2651 ± 51,69	5,56 ± 0,19	25,78 ± 0,86	
		1120,29	603 ± 26,35	6,65 ± 0,34	30,82 ± 6,56	
^{232}Th	^{228}Ac	968,97	899 ± 30,84	8,22 ± 0,39	38,11 ± 1,81	31,89 ± 0,54
		911,2	1474 ± 40,24	7,82 ± 0,32	36,28 ± 1,50	
		338,32	1495 ± 42,31	6,84 ± 0,27	31,71 ± 1,24	
	^{212}Pb	238,63	7301 ± 87,61	6,41 ± 0,20	29,72 ± 0,94	
	^{208}Tl	583,19	2235 ± 48,28	6,58 ± 0,23	30,50 ± 1,06	
^{40}K	^{40}K	1461,5	3661 ± 60,77	69,04 ± 2,18	320,23 ± 10,11	320,23 ± 10,11
^{137}Cs	^{137}Cs	661,66	5040 ± 72,07	6,03 ± 0,18	27,97 ± 0,85	27,97 ± 0,85

Tablo 5.9. Bağırganlı 120802009 nolu numunenin 84229 saniye sayımı ile elde edilen aktivite ve spesifik aktivite değerleri

Bağırganlı 120802009		Enerji (keV)	Net Sayım	Aktivite (Bq)	Spesifik Aktivite (Bq kg $^{-1)}$	Ağırlıklı Ortalama (Bq kg -1)
^{238}U	^{214}Pb	295,21	2921 ± 57,84	7,41 ± 0,25	26,10 ± 0,87	27,48 ± 0,44
		241,98	1624 ± 56,52	8,66 ± 0,38	30,50 ± 1,34	
		351,93	4982 ± 74,73	7,72 ± 0,24	27,19 ± 0,84	
	^{214}Bi	609,31	3522 ± 60,23	7,64 ± 0,25	26,92 ± 0,86	
		1120,29	747 ± 28,01	8,52 ±0,39	30,02 ± 1,39	
^{232}Th	^{228}Ac	968,97	1194 ± 35,94	11,30 ± 0,50	39,80 ± 1,77	33,01 ± 0,53
		911,2	1949 ± 46,19	10,71 ± 0,42	37,72 ± 1,42	
		338,32	1939 ± 8,48	9,18 ± 0,34	32,33 ± 1,19	
	^{212}Pb	238,63	9606 ± 101,82	8,73 ± 0,27	30,74 ± 0,95	
	^{208}Tl	583,19	2939 ± 56,43	8,95 ± 0,30	31,54 ± 1,05	
^{40}K	^{40}K	1461,5	2847 ± 54,09	55,58 ± 1,83	195,80 ± 6,44	195,80 ± 6,44
^{137}Cs	^{137}Cs	661,66	220 ± 19,40	0,27 ± 0,025	0,96 ± 0,09	0,96 ± 0,009

Tablo 5.10. Çamkonak 130819010 nolu numunenin 83674 saniye sayımı ile elde edilen aktivite ve spesifik aktivite değerleri

Çamkonak 130819010		Enerji (keV)	Net Sayım	Aktivite (Bq)	Spesifik Aktivite (Bq kg $^{-1)}$	Ağırlıklı Ortalama (Bq kg -1)
^{238}U	^{214}Pb	295,21	3940 ± 89,04	10,06 ± 0,35	36,92 ± 1,30	40,01 ± 0,64
		241,98	2277 ± 76,28	12,22 ± 0,52	44,86 ± 1,93	
		351,93	6884 ± 104,64	10,74 ± 0,33	39,41 ± 1,22	
	^{214}Bi	609,31	4945 ± 73,19	10,80 ± 0,33	39,65 ± 1,22	
		1120,29	1055 ± 36,40	12,12 ± 0,53	44,47 ± 1,94	
^{232}Th	^{228}Ac	968,97	1340 ± 41,54	12,76 ± 0,58	46,85 ± 2,12	42,80 ± 0,72
		911,2	2384 ± 73,67	13,18 ± 0,58	48,39 ± 2,12	
		338,32	2377 ± 74,64	11,32 ± 0,47	41,57 ± 1,72	
	^{212}Pb	238,63	12080 ± 122,01	11,05 ± 0,34	40,55 ± 1,25	
	^{208}Tl	583,19	3747 ± 78,69	11,49 ± 0,39	42,17 ± 1,44	
^{40}K	^{40}K	1461,5	2773 ± 64,89	54,50 ± 1,94	200,03 ± 7,12	200,03 ± 7,12
^{137}Cs	^{137}Cs	661,66	4715 ± 73,08	5,88 ± 0,18	21,58 ± 6,68	21,58 ± 0,67

Tablo 5.11.Dikili_1 130819011nolu numunenin 87198 saniye sayımı ile elde edilen aktivite ve spesifik aktivite değerleri

Dikili_1 130819011		Enerji (keV)	Net Sayım	Aktivite (Bq)	Spesifik Aktivite (Bq kg -1)	Ağırlıklı Ortalama (Bq kg -1)
^{238}U	^{214}Pb	295,21	1959 ± 49,95	4,80 ± 0,18	24,67± 1,30	27,07± 0,48
		241,98	1109 ± 47,11	5,71 ± 0,29	29,35 ± 1,93	
		351,93	3562 ± 70,53	5,33 ± 0,18	27,40 ± 1,22	
	^{214}Bi	609,31	2593 ± 52,38	5,44 ± 0,18	27,94 ± 1,22	
		1120,29	497 ± 23,11	5,48 ± 0,29	28,15 ± 1,94	
^{232}Th	^{228}Ac	968,97	566 ± 26,32	5,17 ± 0,29	26,59 ± 2,12	25,00± 0,47
		911,2	1103 ± 35,74	5,85 ± 0,24	30,08 ± 2,12	
		338,32	1004 ± 46,18	4,59 ± 0,24	23,59 ± 1,72	
	^{212}Pb	238,63	5247 ± 77,66	4,60 ± 0,15	23,67 ± 1,25	
	^{208}Tl	583,19	1633 ± 42,62	4,81 ± 0,18	24,70 ± 1,44	
^{40}K	^{40}K	1461,5	1035 ± 32,60	19,52 ± 0,81	100,32 ± 7,12	100,32 ± 4,15
^{137}Cs	^{137}Cs	661,66	5678 ± 76,09	6,79 ± 0,20	34,92 ± 0,67	34,92 ± 1,05

Tablo 5.12. Dikili_2 130819012 nolu numunenin 90329 saniye sayımı ile elde edilen aktivite ve spesifik aktivite değerleri

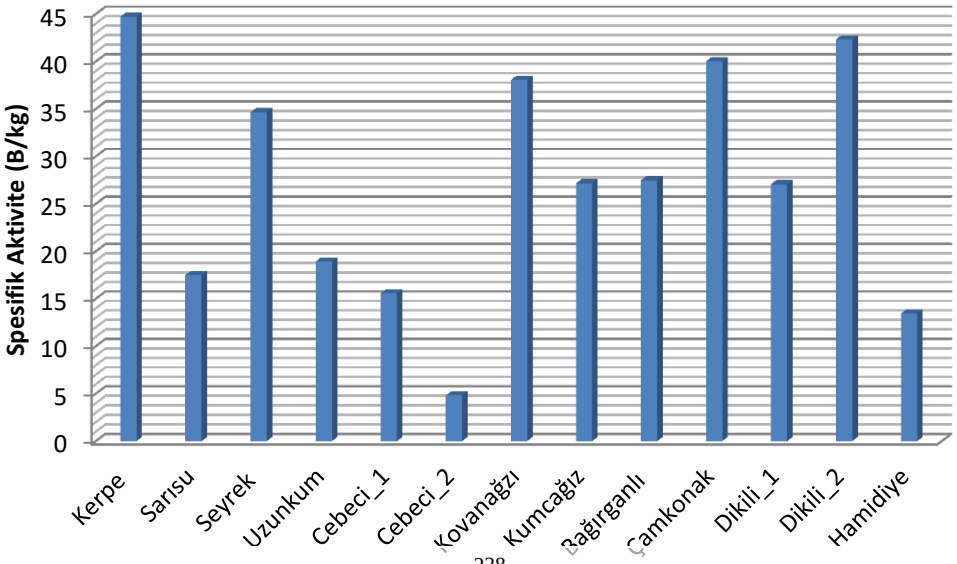
Dikili_2 130819012		Enerji (keV)	Net Sayım	Aktivite (Bq)	Spesifik Aktivite (Bq kg $^{-1)}$	Ağırlıklı Ortalama (Bq kg -1)
^{238}U	^{214}Pb	295,21	4506 ± 88,77	10,66± 0,36	41,32± 1,38	42,32 ± 0,66
		241,98	2335 ±76,35	11,61 ± 0,49	45,02 ± 1,91	
		351,93	7324 ± 104,73	10,58 ± 0,32	41,03 ± 1,25	
	^{214}Bi	609,31	5282 ± 80,81	10,69 ± 0,33	41,45 ± 1,29	
		1120,29	1128 ± 35,42	12,00 ± 0,50	46,53 ± 1,92	
^{232}Th	^{228}Ac	968,97	1216 ± 38,18	10,73 ± 0,49	41,60 ± 1,89	41,80 ± 0,71
		911,2	2135 ± 49,32	10,94 ± 0,42	42,41 ± 1,64	
		338,32	2195 ± 77,04	9,69 ± 0,43	37,57 ± 1,66	
	^{212}Pb	238,63	10851 ± 115,02	9,19 ± 0,29	35,65 ± 1,11	
	^{208}Tl	583,19	7324 ± 104,73	20,80± 0,64	80,68 ± 2,47	
^{40}K	^{40}K	1461,5	2324 ± 50,43	42,31 ± 1,46	164,07 ± 5,66	164,07 ± 5,66
^{137}Cs	^{137}Cs	661,66	6642 ± 85,02	7,67 ± 0,23	29,75 ± 0,88	29,75 ± 0,88

Tablo 5.13. Hamidiye 130819013 nolu numunenin 104770 saniye sayımı ile elde edilen aktivite ve spesifik aktivite değerleri

Hamidiye 130819013		Enerji (keV)	Net Sayım	Aktivite (Bq)	Spesifik Aktivite (Bq kg -1)	Ağırlıklı Ortalama (Bq kg -1)
^{238}U	^{214}Pb	295,21	1593 ± 45,72	3,25 ± 0,13	13,34 ± 0,52	13,45± 0,26
		241,98	1004 ±44,08	4,30 ± 0,22	17,67± 0,91	
		351,93	2644 ±56,32	3,29 ± 0,11	13,53 ± 0,46	
	^{214}Bi	609,31	1805 ± 44,76	3,15 ± 0,12	12,93 ± 0,47	
		1120,29	295 ± 23,28	2,71 ± 0,23	11,11± 0,93	
^{232}Th	^{228}Ac	968,97	753 ± 27,94	5,73 ± 0,28	23,52 ± 0,28	19,51 ± 0,34
		911,2	1264 ± 35,90	5,58 ± 0,23	22,93 ± 0,96	
		338,32	1201 ± 38,19	4,57 ± 0,19	18,77 ± 0,78	
	^{212}Pb	238,63	6074 ± 81,39	4,44 ± 0,14	18,22± 0,58	
	^{208}Tl	583,19	1864 ± 45,30	4,56 ± 0,17	18,75 ± 0,68	
^{40}K	^{40}K	1461,5	1935 ± 43,92	30,37 ± 1,07	124,73 ± 4,39	124,73 ± 4,39
^{137}Cs	^{137}Cs	661,66	3185 ± 57,33	3,17 ± 0,10	13,03 ± 0,42	13,03 ± 0,42

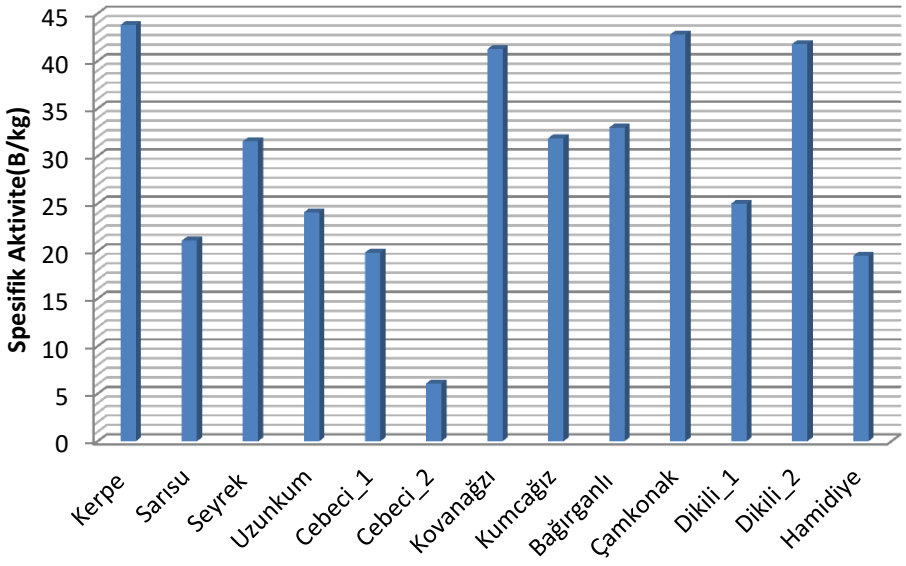
Tablo 5.14. Tüm bölgelerin spesifik aktivite değerleri

Mevkii	^{238}U (Bq kg^{-1})	^{232}Th (Bq kg^{-1})	^{40}K (Bq kg^{-1})	^{137}Cs (Bq kg^{-1})
Kerpe	44,71 ± 1,43	43,80 ± 1,32	236,30 ± 8,53	30,76 ± 0,93
Sarısu	17,49 ± 2,90	21,11 ± 2,26	106,75 ± 3,88	7,07 ± 0,27
Seyrek	34,65 ± 1,60	31,54 ± 1,67	209,85 ± 7,27	19,80 ± 0,65
Uzunkum	18,93 ± 0,34	24,09 ± 0,42	120,47 ± 4,44	3,55 ± 0,18
Cebeci_1	15,57 ± 0,25	19,86 ± 0,32	291,67 ± 8,54	6,57 ± 0,22
Cebeci_2	4,81 ± 0,10	6,09 ± 0,12	268,13 ± 7,78	3,07 ± 0,12
Kovanağzı	38,06 ± 0,64	41,25 ± 0,71	249,22 ± 8,47	21,09 ± 0,68
Kumcağız	27,16 ± 0,46	31,89 ± 0,54	320,23 ±10,11	27,97 ± 0,85
Bağırganlı	27,48 ± 0,44	33,01 ± 0,53	195,80 ± 6,44	0,96 ± 0.09
Çamkonak	40,01 ± 0,64	42,80 ± 0,72	200,03 ± 7,12	21,58 ± 0,67
Dikili_1	27,07 ± 0,48	25,00 ± 0,47	100,32 ± 4,15	34,92 ± 1,05
Dikili_2	42,32 ± 0,66	41,80 ± 0,71	164,07 ± 5,56	29,75 ± 0,88
Hamidiye	13,45 ± 0,26	19,51 ± 0,34	124,73 ± 4,39	13,03 ± 0,42



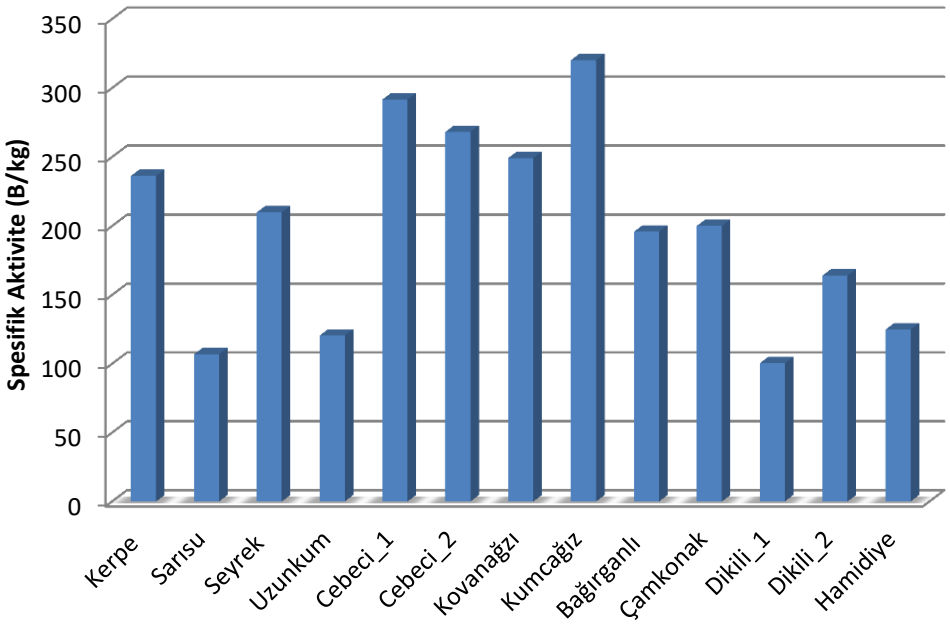
Şekil 5.1. Tüm bölgeler için ^{238}U spesifik aktivite değerleri

Şekil 5.1'de tüm bölgelerin ^{238}U spesifik aktivite değerleri gösterilmiştir. Grafiğe göre Kerpe'de radyoaktivite en fazla, Cebeci_2 de en azdır.



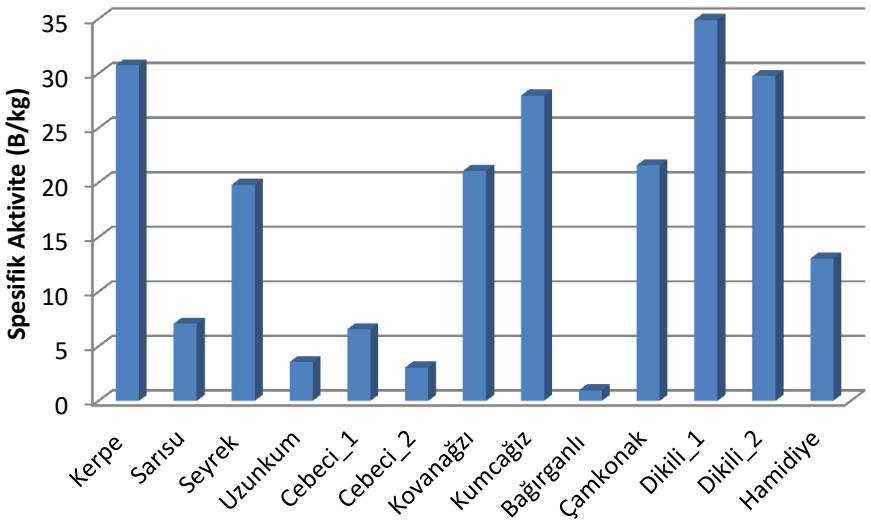
Şekil 5.2. Tüm bölgeler için ^{232}Th spesifik aktivite değerleri

Şekil 5.3'te tüm bölgelerin ^{232}Th spesifik aktivite değerleri verilmiştir. Bu grafiğe göre Kerpe'de aktivite enfazla Cebeci_2 de en azdır.



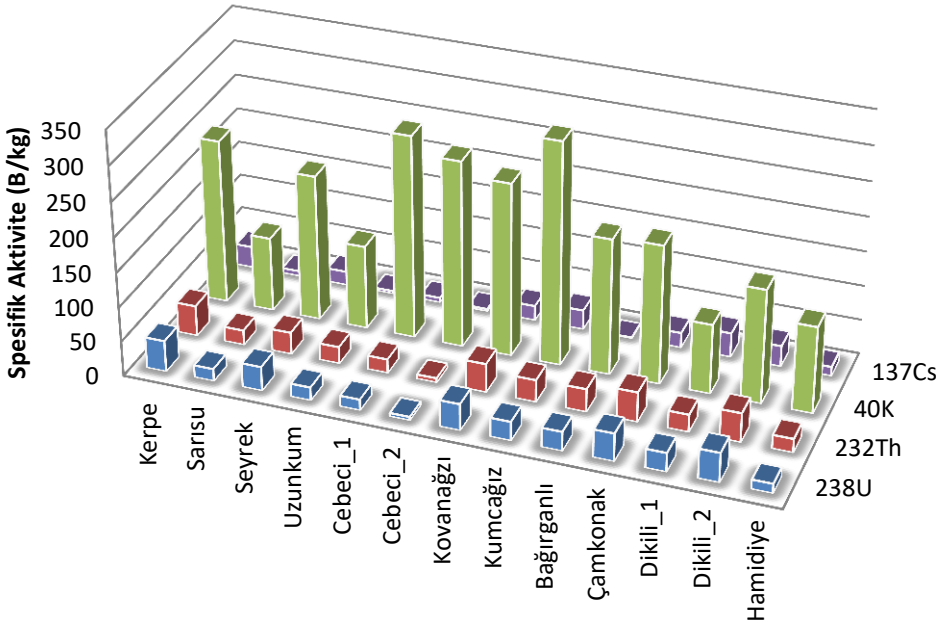
Şekil 5.3. Tüm bölgeler için ^{40}K spesifik aktivite değerleri

Şekil 5.3' te tüm bölgelerin ^{40}K aktiviteleri verilmiştir. Bölgeler içinde ^{40}K aktivitesi en yüksek Kumcağaz, en düşük Dikili_1 dir.



Şekil 5.4. Tüm bölgeler için ^{137}Cs spesifik aktivite değerleri

Şekil 5.4'te tüm bölgeleri için ^{137}Cs spesifik aktivite değerleri gösterilmiştir. Bu değerlere göre en yüksek aktivite Dikili_1, en düşük aktivite Bağırganlı'da çıkmıştır.



Şekil 5.5. Tüm bölgeler için ^{238}U, ^{232}Th, ^{40}K ,^{137}Cs spesifik aktivite değerlerinin birlikte gösterimi.

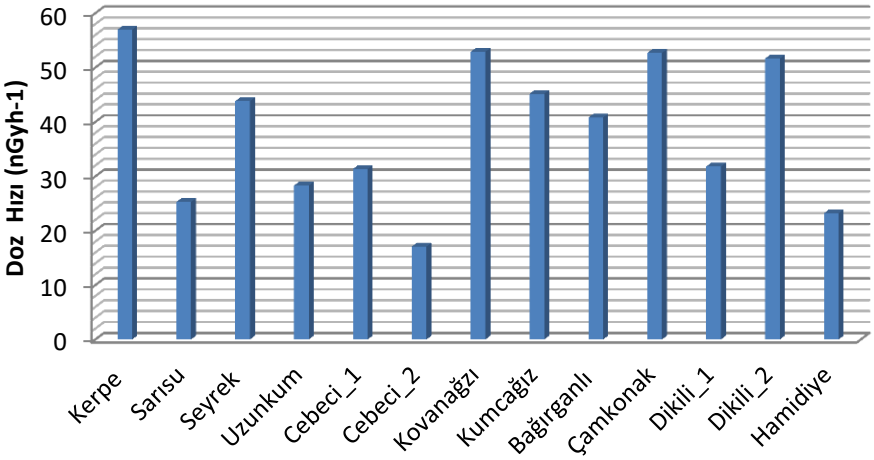
Şekil 5.5 'te tüm bölgelerin ^{238}U,^{232}Th, ^{40}K ve ^{137}Cs spesifik aktivite değerleri karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

5.2. Bölgedeki Gama Doz Hızı ve Yıllık Gama Doz Hızı

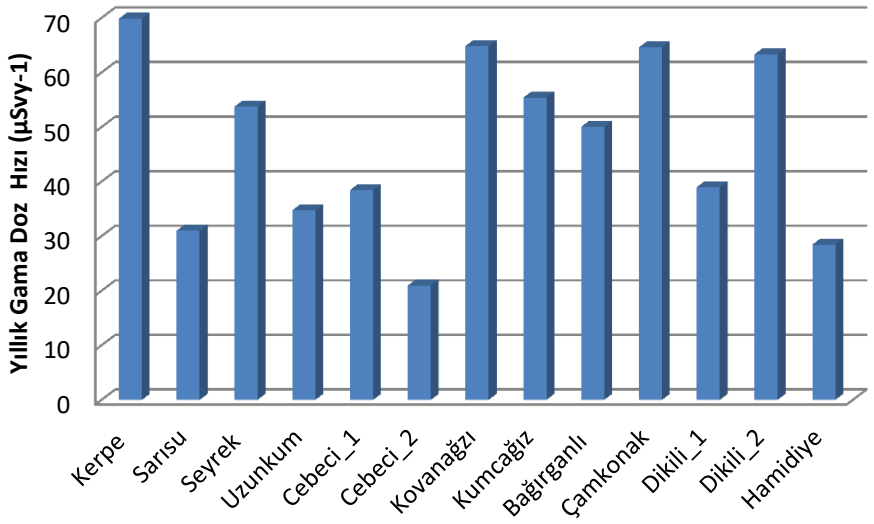
Gama doz hızı bölgede radyasyonun etkisini anlık ve yıllık olarak görmede önemlidir. Denklem(3.25) de spesifik aktivite değerleri yerine konularak gama doz hızı, Denklem(3.26)'da yerine konularak yıllık gama doz hızı, Denklem(3.27)'de yerine konularak radyum eşdeğer aktivitesi hesaplandı. Hesaplanan değerler Tablo 5.17'de gösterilmiştir. Bu değerlerin grafikleri Şekil 5.6, Şekil 5.7, Şekil 5.8 de gösterilmiştir.

Tablo 5.15. Bölgelerin gama doz hızı, yıllık gama doz hızı ve radyum eşdeğer aktivitesi

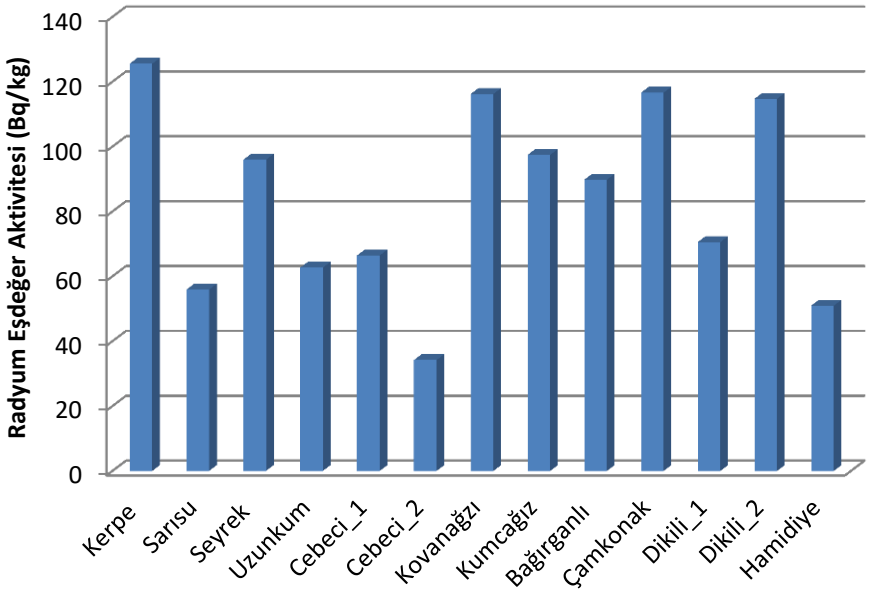
Bölge	Gama Doz Hızı (nGy sa^{-1})	Yıllık Gama Doz Hızı (μSv y^{-1})	Ra_{eq} (Bq/kg)
Kerpe	56,96	69,86	125,53
Sarısu	25,28	31,00	55,89
Seyrek	43,81	53,73	95,91
Uzunkum	28,32	34,73	62,65
Cebeci_1	31,35	38,45	66,43
Cebeci_2	17,08	20,95	34,17
Kovanağzı	52,89	64,86	116,24
Kumcağız	45,17	55,39	97,43
Bağırganlı	40,80	50,04	89,77
Çamkonak	52,68	64,60	116,62
Dikili_1	31,79	38,99	70,55
Dikili_2	51,64	63,33	114,73
Hamidiye	23,20	28,45	50,95
Ortalama	38,54	47,26	84,37



Şekil 5.6. Tüm bölgeler için gama doz hızı grafik gösterimi.



Şekil 5.7. Tüm bölgeler için yıllık gama doz hızı grafik gösterimi.



Şekil 5.8. Tüm bölgeler için radyum eşdeğer aktivite grafik gösterimi.

5.4. Yorum

Bu çalışmada Kocaeli ili Kandıra İlçesi sahillerinden alınan toprak örneklerinin radyonüklid oranları aktiviteleri gama spektroskopi yöntemiyle belirlenmiştir. Bu aktivitelerden yararlanarak havadaki gama doz hızı ve radyum eş değer aktivitesi hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Türkiye'nin diğer bölgeleri ve Dünya'daki diğer bölgelerle karşılaştırılmıştır.

Sonuçlara göre bölge genelinde ^{238}U aktivite değerleri en yüksek 44,71± 1,43 Bq/kg (Kerpe) ile en düşük 4,81 ± 0,10 Bq/kg (Cebeci_2) ^{232}Th aktivite değerleri en yüksek 43,80 ±1,32 Bq/kg (Kerpe), en düşük 6,09 ± 0,12 Bq/kg (Cebeci_2) olarak ölçülmüştür.

^{40}K için spesifik aktivite değerleri en yüksek 320,23 ± 10,11 Bq/kg (Kumcağaz) ile en düşük 100,32 ± 4,15 Bq/kg (Dikili_1) olarak ölçülmüştür.^{137}Cs spesifik aktivite değerleri en yüksek 34,92 ± 1,05 Bq/kg (Dikili_1) ile en düşük 0,96 ±0,09 Bq/kg (Bağırganlı) değerleri arasında değişmektedir.

Toprak örneklerindeki radyonüklitlerin aktivite değerleri, Türkiye, Dünya ve bölge ortalama değerleri Tablo5.16'da verilmiştir.

Tablo 5.16. Radyonüklidlerin Türkiye, Dünya ve bölge ortalama değerleri

Radyonüklid	Türkiye Ortalaması B/kg	Dünya Ortalaması B/kg	Kocaeli Ortalaması B/kg	Kandıra İlçesi Ortalaması B/kg (Bu Çalışma)
Radyum-226	27,56	32	20,74	27.05
Toryum-232	32,65	45	28,87	29,37
Potasyum-40	439,93	420	410,35	199,04
Sezyum-137	12,03		5,30	16,93

Dünya genelinde yüzey toprağı için belirlenen spesifik aktivite değerleri, ^{238}U için 32, Bq kg^{-1}, ^{232}Th için 45 Bq kg^{-1} ve ^{40}K için 420 Bq kg^{-1}'dır. TAEK tarafından verilen Türkiye ortalama değerleri, ^{238}U için 37,56, Bq kg^{-1}, ^{232}Th için 32,65 Bq kg^{-1} ve ^{40}K için 439,93 Bq kg^{-1}'dır[16]. Ölçümler sonunda elde edilen spesifik aktivite değerleri, ^{238}U ve ^{232}Th için bu değerlere yakındır.^{40}K için bulunan sonuçlar ise Dünya ve Türkiye ortalamasından daha düşük bulunmuştur.

Tüm bölgeler için hesaplanan gama doz hızları 17,08 nGy $saat^{-1}$ (Cebeci_2) ile 56,96 nGy $saat^{-1}$ (Kerpe) arasında değer almaktadır. Hesaplanan yıllık efektif doz hızları ise, 20,95 µSv y-1 Cebeci_2) ile 69,86 µSv y^{-1} (Kerpe) arasında bulunmuştur. UNSCEAR tarafından Dünya genelinde ortalama gama doz hızı 60 nGy saat-1 olarak, yıllık efektif doz hızı ise 70µSv y-1 olarak belirlenmiştir [23]. Hesaplanan gama doz ve yıllık efektif doz hızları bu değerlerden düşük çıkmıştır.

Bölge toprağında ölçülen spesifik aktivite değerleri aynı bölgede kumda yapılan ölçüm değerlerinden ortalama olarak yüksek çıkmıştır. Bunun sebebi kumun deniz tarafından devamlı yıkanması ve toprağın yapısında doğal radyoaktiviteyi arttıracak minerallerin olması kuvvetle muhtemeldir.

KAYNAKLAR

[1] http://www.taek.gov.tr/radyasyon-izleme/Turkiye-cevresel-radyasyon-atlasi.html, (Ziyaret tarihi :13 Temmuz 2017).

[2] M. Mahmud, Samreh A. , T. Khalil Mohammed , K. Fatima Waleed, Measurement of activity concentration levels of radionuclides in soil samples collected from Bethlehem Province, West Bank, Palestine , *Turkish Journal of Engineering &Environmental Sciences* , 38: 113 – 125 , (2014).

[3] Belivermiş M., Kılıç Ö.,Topcuoğlu S., Çotuk Y.,Kalaycı G.,Peştreli D. Toprak Örneklerinde Radyoaktivite Kontominasyon Konusunda Yapılan ve Yapılması Gerekli Araştırmalar, *X. Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi*, Muğla ,Türkiye ,6-9 Ekim 2009.

[4] Değerlier M., Adana İli ve Çevresinin Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Saptanması ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerin Bulunması, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi , Adana,2007. 212520

[5] www.researchgate.net/publication/223818142/ Assesment of gama dose rates arround İstanbul ,Turkey , (Ziyaret tarihi: 19 Temmuz 2017).

[6] Korkulu Z. Kocaeli İli Karadeniz Sahil Kumlarının Doğal Radyoaktivite Seviyelerinin Belirlenmesi ,Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi ,Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli ,2010 ,275781

[7] Atom ve Çekirdek Fiziği, Anadolu Üniversitesi Açıköğretim Fakültesi, Yayın No:443 .

[8] Krane, K. S., ‘‘Nükleer Fizik I’’, Çeviri Editörü Başer Şarer *Palme Yayıncılık*, 160-203, Ankara ,(2001).

[9] http://www.fizik.net.tr/site/atom cekirdegi/ (Ziyaret tarihi: 24 Temmuz 2017).

[10] Tanyel B. Nükleer Fizik, Ege Üniversitesi Basımevi 1994 ,Yayın No:14

[11] Taylor J. Chris Zafaritos C. Modern Fizik Bölüm13.

[12] http://kbrn.afad.gov.tr/ iyonlastirici radyasyon çesitleri, (Ziyaret tarihi: 14 Mayıs 2017).

[13] Mızrak E. Çevresel Radyoaktivite Ölçüm Amaçlı Gama Spektroskopi Kalibrasyon ve Test Ölçümlerinin Yapılması ,Yüksek Lisans Tezi Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli 2010, 275784.

[14] http://www.taek.gov.tr/ogrenci/bolum4_04.html (Ziyaret tarihi: 4 Temmuz 2017).

[15] http://www.taek.gov.tr/bilgi-kosesi/184-radyasyonla-birlikte-yasiyoruz/501-dogal-radyasyon-kaynaklari.html (Ziyaret tarihi: 14 Temmuz 2017).

[16] http://www.taek.gov.tr/saglik-fizigi/712-radon-nedir-nasil-olusur-nasil-tespit-edilir.html (Ziyaret tarihi: 23 Temmuz 2017).

[17] T.A.E.K, http://www.taek.gov.tr/ogrenci/r05.html (Ziyaret tarihi: 14 Temmuz 2017).

[18] Gilmore, G. R., ‘‘Practical Gamma-Ray Spectrometry’’, 2nd Edition, *JohnWileyandSons*, New York, 2-38, (2008)

[19] http://nsspi.tamu.edu/nssep/courses/basic-radiation-detection/semiconductor-detectors (Ziyaret tarihi: 5 Temmuz 2017).

[20] http://www.nndc.bnl.gov/nudat2/decaysearchdirect, (Ziyaret tarihi: 12 Temmuz 2017).

[21] Ortec, Gama Vision Software Version 7 User’s Manuel ,1th ed. Ortec U.S.A, 2013

[22] http://www.csb.gov.tr/turkce/dosya/ced/icdr2011/kocaeli_icdr2011.pdf Ziyaret tarihi: 5 Temmuz 2017).

[23] www.unscear.org UNSCEAR 2000 Report-Annex B Sources And Effects Of Ionizing Radiation, (Ziyaret tarihi: 11 Temmuz 2017).

EKLER

EK-A

Eckert & Ziegler
Analytics

1380 Seaboard Industrial Blvd.
Atlanta, Georgia 30318
Tel 404·352·8677
Fax 404·352·2837
www.analyticsinc.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	γps	Uncertainty, % Type 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)

ACCREDITED SOURCE CALIBRATION LABORATORY
HEALTH PHYSICS SOCIETY
FOUNDED 1956

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

21-24 Temmuz 2014 Türk Fizik Derneği 31.Uluslararası Fizik Kongresi Bodrum-Türkiye Kod No:04-OP14 Kocaeli İli Karadeniz Sahil Bölgesi Topraklarında Radyoaktivite Seviyesinin Belirlenmesi sayfa 170.

ÖZGEÇMİŞ

1968 yılında İzmit'te doğdu. İlk orta ve lise eğitimini İzmit'te tamamladıktan sonra Samsun 19 Mayıs Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümünü bitirdi. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim dalında yüksek lisans yaptı.