

**T.C.  
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KARADENİZ BÖLGESİ, RİZE İLİ TOPRAK VE ÇAY NUMUNELERİNDE DOĞAL  
RADYASYON ÖLÇÜMLERİ**

**MERYEM YILDIRIM**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
FİZİK ANABİLİM DALI  
FİZİK PROGRAMI**

**DANIŞMAN  
DOÇ. DR. AYŞE DURUSOY**

**İSTANBUL, 2015**

T.C.  
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KARADENİZ BÖLGESİ, RİZE İLİ TOPRAK VE ÇAY NUMUNELERİNDE DOĞAL  
RADYASYON ÖLÇÜMLERİ**

Meryem YILDIRIM tarafından hazırlanan tez çalışması 11.03.2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı**

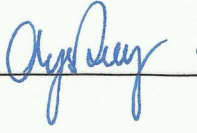
Doç. Dr. Ayşe DURUSOY  
Yıldız Teknik Üniversitesi

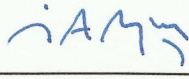
**Jüri Üyeleri**

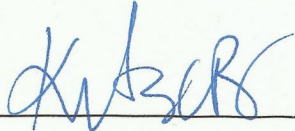
Doç. Dr. Ayşe DURUSOY  
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. İskender A. REYHANCAN  
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Kutsal BOZKURT  
Yıldız Teknik Üniversitesi

  
\_\_\_\_\_

  
\_\_\_\_\_

  
\_\_\_\_\_

Bu alışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü' nün 2012-01-01-YL05 numaralı YÜLAP projesi ile desteklenmiştir.

## ÖNSÖZ

---

“Karadeniz Bölgesi, Rize İli Toprak ve Çay Numunelerinde Doğal Radyasyon Ölçümleri” adlı bu tez Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Nükleer Fizik Laboratuvar’ında gerçekleştirilmiştir. Tez danışmanım Y.T.Ü. Fizik Bölümü Öğretim Üyesi Sayın Doç. Dr. Ayşe DURUSOY’a lisans eğitimimden bu yana bana sağlamış olduğu destek ve tez çalışmamı yürütebilmem için yaptığı yardımlar adına içtenlikle teşekkür ederim. Ayrıca çalışmam boyunca bana yol gösteren yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen Y.T.Ü. Fizik Bölümü Öğr. Gör. Dr. Özgür AKÇALI’ya teşekkürü bir borç bilirim.

Benden desteklerini ve sevgilerini hiç esirgemeyen bu çalışmamda devamlı yanımda olan sevgili aileme, tez yazımdaki yardımlarından ve aydınlatıcı fikirlerinden dolayı kardeşim G.T.Ü. Arş. Gör. Meral YILDIRIM YALÇIN’a sonsuz teşekkür ederim.

Tez yazımım sırasındaki yardımları ve manevi desteği için arkadaşım Arel Üniv. Arş. Gör. Makbule TAMKAŞ’a ve devamlı yanımda olan Canan AKTAŞ’a çok teşekkür ederim.

Mart, 2015

Meryem YILDIRIM

## İÇİNDEKİLER

---

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vii
KISALTMA LİSTESİ .....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ .....	xi
ÖZET.....	xii
ABSTRACT .....	xiv
<b>BÖLÜM 1</b>	
GİRİŞ.....	1
1.1    Literatür Özeti .....	1
1.2    Tezin Amacı .....	2
1.3    Hipotez .....	3
<b>BÖLÜM 2</b>	
TEMEL BİLGİ.....	4
2.1    Radyasyon ve Radyoaktivite .....	4
2.1.1    Doğal ve Yapay Radyoaktivite.....	5
2.1.2    İyonlaştırıcı ve İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon .....	5
2.2    Radyoaktif Bozunma Yasası ve Radyoaktivitenin Üretilmesi (Aktivasyon Hesabı) .....	6
2.3    Bozunma Türleri.....	9
2.3.1    Alfa Bozunması .....	9
2.3.2    Beta Bozunması .....	11
2.3.3    Gama Bozunması .....	13
2.4    Gama Işınlarının Madde Tarafından Soğurulması (Absorpsiyonu) .....	13
2.5    Gama Işınının Madde ile Etkileşmesi .....	14
2.5.1    Fotoelektrik Olay.....	15

2.5.2	Compton Saçılması.....	16	
2.5.3	Çift Oluşumu .....	18	
2.6	Doğal Radyoaktif Seriler .....	19	
<b>BÖLÜM 3</b>			
<b>DENEYSEL ÇALIŞMA .....</b>			<b>23</b>
3.1	Sintilasyon Detektör .....	23	
3.2	Gama Spektroskopisi.....	26	
3.3	Ölçüm ve Sayım Sistemi.....	30	
3.3.1	Detektör Kalibrasyonları.....	32	
3.3.1.1	Enerji Kalibrasyonu .....	32	
3.3.1.2	Şekil Kalibrasyonu .....	33	
3.3.1.3	Verim Kalibrasyonları .....	35	
3.4	Numunelerin Elde Edilmesi ve Hazırlanması .....	43	
3.4.1	Çalışılan Bölgenin Coğrafi Yapısı .....	43	
3.4.2	Numunelerin Toplanması .....	45	
3.4.3	Toprak Numunelerinin Ölçüme Hazırlanması .....	47	
3.4.4	Çay Numunelerinin Ölçüme Hazırlanması.....	48	
3.5	Toprak ve Çay Numunelerinin Sayımı .....	49	
3.6	Spektrumların Analizi .....	51	
3.6.1	Toprak Spektrumlarının Analizi.....	51	
3.6.2	Çay Spektrumlarının Analizi.....	54	
3.7	Hesaplamalar ve Sonuçlar .....	56	
3.7.1	Toprak Spektrumları için Aktivite Hesabı .....	56	
3.7.2	Çay Spektrumları için Aktivite Hesabı .....	67	
<b>BÖLÜM 4</b>			
<b>SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>			<b>71</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>			<b>78</b>
<b>EK-A</b>			
<b>EK-B</b>			
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>			<b>100</b>

## SİMGE LİSTESİ

---

Bi	Bizmut
$\lambda$	Bozunma Sabiti
$t_{1/2}$	Yarı Ömür
$\tau$	Ortalama Ömür
A	Aktivite
P	Pik Altında Kalan Alan
$\epsilon$	Verim
$f_{\gamma}$	Yayınlanma Olasılığı
t	Sayım Süresi
m	Kütle
$\Omega$	Katı Açısı
Z	Atom Numarası
f	Frekans
$\mu$	Absorpsiyon Katsayısı
$\sigma$	Tesir Kesit
h	Planck Sabiti
c	Işık Hızı
$\alpha$	Alfa Parçacığı
$\beta$	Beta Parçacığı
$\gamma$	Gama Parçacığı

## KISALTMA LİSTESİ

---

ADC	Analog-to-Digital Converter
ÇNAEM	Çekmece Nükleer Araştırma Ve Eğitim Merkezi
HpGe	High Purity Germanium
MCA	Multi Channel Analyzer
NIM	Nuclear Instrumentation Modules
TAEK	Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
UNSCEAR	United Nation Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation



## ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Alfa ışınımı[6].	10
Şekil 2.2 Beta ışınımı[6].	11
Şekil 2.3 Fotoelektrik Olay[12]	15
Şekil 2.4 Compton saçılması[13]	16
Şekil 2.5 Çift Oluşumu[12]	18
Şekil 2.6 $\gamma$ ışınının madde ile etkileşiminde izlediği üç yolun baskın olduğu enerji bölgelerinin gösterimi[8]	19
Şekil 2.7 $^{235}\text{U}$ (Aktinyum)'in bozunum serisi[14]	20
Şekil 2.8 $^{238}\text{U}$ Bozunum Serisi[10]	21
Şekil 2.9 $^{232}\text{T}$ Bozunum Serisi[14]	22
Şekil 3.1 Sintilasyon sayacı [16].	24
Şekil 3.2 Foto çoğaltıcı tüp[11].	24
Şekil 3.3 Kristaldeki enerji bantları: Sol taraf NaI, sağ taraf NaI(Tl) aktivatör[17].	26
Şekil 3.4 Detektöre giren gama ışınının etkileşme yolları[19]	27
Şekil 3.5 Detektörün tek enerjili gama ışınları için vereceği cevap[19]	28
Şekil 3.6 Çoklu Compton saçılmaları sonucunda oluşan Compton bölgesi[19]	29
Şekil 3.7 (a) Detektör ve çevresindeki materyallere çarpan gama ışınları (b) düşük enerji bölgesinde oluşan pikler[19]	29
Şekil 3.8 NaI(Tl) sintilasyon detektörü ve sayım odası	30
Şekil 3.9 NIM modüllerden oluşan gama spektrometre sistemi[3]	31
Şekil 3.10 Nükleer Ölçüm Sistemi (NIM)	31
Şekil 3.11 Enerji Kalibrasyon Eğrisi	33
Şekil 3.12 Şekil Kalibrasyon Eğrisi	34
Şekil 3.13 Marinelli ölçüm kabının geometrisi[20]	35
Şekil 3.14 Boş Marinelli Ölçüm Kabı	35
Şekil 3.15 700 g/cc ve 1300 g/cc yoğunluklu standart gama kaynaklarının enerjilerine karşılık elde edilen verim değerleri	39
Şekil 3.16 700 g/cc ve 1300 g/cc yoğunluklu standart gama kaynakları için verim kalibrasyon eğrileri ve denklemleri	40
Şekil 3.17 Doğrusal İnterpolasyon	42
Şekil 3.18 Rize İlinin Türkiye'deki Yeri Ve İlçeleri[24]	44
Şekil 3.19 Bekleme sürecine alınan toprak numuneleri	48
Şekil 3.20 Bekleme sürecine alınan çay numuneleri	49
Şekil 3.21 15 nolu toprak örneği ve background spektrumu	52

Şekil 3.22 15 nolu toprak numunesi üzerinde Cs-137, Ra-226, Ac-228, K-40 piklerinin gösterilmesi.....	53
Şekil 3.23 14. ve 15 toprak spektrumlarında Cs-137 karşılaştırması.....	54
Şekil 3.24 Çay spektrumları için background ortalaması.....	55
Şekil 3.25 3nolu çay örneğine ait spektrum incelemesi .....	55
Şekil 4.1 Toprak Örneklerinde K-40 Aktivite Değerlerinin Dağılımı .....	72
Şekil 4.2 Toprak Örneklerinde Cs-137 Aktivite Değerlerinin Dağılımı.....	72
Şekil 4.3 Toprak Örneklerinde U-238 (Ra-226) Aktivite Değerlerinin Dağılımı .....	73
Şekil 4.4 Toprak Örneklerinde Th-232 (Ac-228) Aktivite Değerlerinin Dağılımı .....	73
Şekil 4.5 Çay Örneklerinde K-40 Aktivite Değerlerinin Dağılımı .....	74
Şekil 4.6 Çay Örneklerinde Cs-137 Aktivite Değerlerinin Dağılımı .....	75

## ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 3.1 Enerjileri bilinen kaynakların enerji değerlerine karşılık gelen kanal numaraları	33
Çizelge 3.2 Enerjileri bilinen kaynakların enerji değerlerine karşılık gelen yarı yükseklikteki tam genişlikleri	34
Çizelge 3.3 700 g/cc için kaynakların gama enerjilerine karşılık gelen mutlak verim değerleri	37
Çizelge 3.4 1300 g/cc için kaynakların gama enerjilerine karşılık gelen mutlak verim değerleri	38
Çizelge 3.5 Verim denklemleri için $\alpha$ ve $\beta$ değerleri	40
Çizelge 3.6 Toprak numunelerinin net kütleleri ve yoğunlukları	41
Çizelge 3.7 Toprak numunelerinin temin edildiği koordinatlar ve yükseklik	46
Çizelge 3.8 Çay numunelerinin temin edildiği koordinatlar ve yükseklik	47
Çizelge 3.9 Toprak örneklerinde aktivitesi hesaplanan radyonüklidler	50
Çizelge 3.10 Çay örneklerinde aktivitesi hesaplanan radyonüklidler	50
Çizelge 3.11 K-40 için toprak örneklerinde aktivite sonuçları	58
Çizelge 3.12 K-40 için toprak örneklerinde aktivite hata sonuçları	59
Çizelge 3.13 U-238 (Ra-226) için toprak örneklerinde aktivite sonuçları	60
Çizelge 3.14 U-238 (Ra-226) için toprak örneklerinde aktivite hata sonuçları	61
Çizelge 3.15 228Ac (964.766keV) ve 228Ac (968.971keV) için verim x gama olasılığı hesabı	62
Çizelge 3.16 Th-232 (Ac-228) için toprak örneklerinde aktivite sonuçları	63
Çizelge 3.17 Th-232 (Ac-228) için toprak örneklerinde aktivite hata sonuçları	64
Çizelge 3.18 Cs-137 için toprak örneklerinde aktivite sonuçları	65
Çizelge 3.19 Cs-137 için toprak örneklerinde aktivite hata sonuçları	66
Çizelge 3.20 K-40 için çay örneklerinde aktivite sonuçları	68
Çizelge 3.21 K-40 için çay örneklerinde aktivite hata sonuçları	68
Çizelge 3.22 C-137 için çay örneklerinde aktivite sonuçları	69
Çizelge 3.23 Cs-137 için çay örneklerinde aktivite hata sonuçları	69
Çizelge 4.1 Toprak örneklerinin numaralandırılması ve alındıkları bölgeler	71
Çizelge 4.2 Çay örneklerinin numaralandırılması ve alındıkları bölgeler	74
Çizelge 4.3 Dünyanın farklı bölgelerinde ölçülen topraktaki ortalama radyonüklid konsantrasyonu[26]	75
Çizelge 4.4 Rize ili ilçelerinin toprak numunelerinde yapılan aktivite hesaplamaları[27]	76

---

## KARADENİZ BÖLGESİ, RİZE İLİ TOPRAK VE ÇAY NUMUNELERİNDE DOĞAL RADYASYON ÖLÇÜMLERİ

Meryem YILDIRIM

Fizik Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ayşe DURUSOY

Yerkabuğu var olduğu ilk günden beri K-40, U-238, Th-232 gibi uzun yarı ömürlü radyoaktif çekirdeklere sahiptir. Bu radyoaktif çekirdeklerin doğada kendiliğinden ışıma yapması sonucu doğal radyasyon oluşur. Doğal radyasyonun en önemli kaynakları yerkabuğu içerisindeki toprak, kaya, yeraltı suyu gibi kaynaklardır. Bundan dolayı, bir bölgenin doğal radyoaktivitesinin belirlenmesi, o bölgenin toprağında, suyunda, yerel bitki örtüsünde ve havasında bulunan doğal radyoaktivite düzeyinin belirlenmesi ile gerçekleştirilebilir.

Bu çalışmada, Rize merkez ve ilçelerinden alınan toprak ve çay örneklerinde, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fizik Bölümü, Nükleer Fizik Araştırma laboratuvarında bulunan NaI(Tl) detektörlü gama spektrometre sistemi kullanılarak, K-40, U-238, Th-232 radyonüklidlerinden kaynaklanan doğal radyoaktiviteler ile 1985 yılında Ukrayna'da meydana gelen Çernobil Nükleer Santrali kazası kaynaklı olan Cs-137 elementinin radyoaktivitesi belirlendi. Aktivite ölçümlerinden önce farklı yerlerden alınan çay ve toprak örnekleri gerekli işlemlerden geçirildikten sonra Marinelli sayım kaplarına konuldu. Böylece çay ve toprak örnekleri ölçüme hazır hale getirildi.

Bu örneklerde, K-40, U-238, Th-232 doğal radyonüklidlerin ve Cs-137 radyonüklidinin aktivite konsantrasyonları, radyonüklidlere ait analiz değerleri ve gerekli veriler kullanılarak hesaplandı ve sonuçlar Atomik Radyasyonun Etkileri Üzerine Birleşmiş

Milletler Bilimsel Komitesi (UNSCEAR 2000)'in toprakta K-40, U-238, Th-232 radyonüklitlerinin ortalama kütle konsantrasyon verileri ile karşılaştırıldı.

**Anahtar Kelimeler:** Doğal Radyasyon, NaI(Tl) detektörlü gama spektrometre, K-40, U-238, Th-232, Cs-137, toprak örneği, çay örneği.

**NATURAL RADIATION MEASUREMENTS IN SOIL and TEA SAMPLES from  
THE PROVINCE of RIZE, BLACK SEA REGION, TURKEY**

Meryem YILDIRIM

Department of Physics

MSc. Thesis

Adviser: Assoc. Prof. Ayşe DURUSOY

From the very beginning, the earth's crust has long living radioactive nuclei such as K-40, U-238, Th-232. The natural radiation occurs as a result of spontaneous radiation of these radioactive nuclei in nature. The most important resources of natural radiation are soil, rock, groundwater and other natural resources in the earth's crust. Therefore determination of the radioactivity level of soil, water, native flora and air in one location determines the natural radioactivity of that location.

In this study, the environmental and artificial radioactivity levels of Rize is measured. All the measurements are taken at Nuclear Physics Research Laboratory at Yıldız Technical University Physics Department by gamma ray spectrometry system using NaI(Tl) detector. Various soil and tea samples which are taken from Rize center and districts are deried, sifted and filled in Marinelli Counting Pots for determination of activity distribution of the region. Soil and tea samples' natural radioactivity concentration due to the K-40, U-238, Th-232 radionuclides and the Cs-137 nuclide activity resulting from Chernobyl Nuclear Power Plant accident in Ukraine were determined by gamma ray measurements.

The activity concentrations and analysis results of K-40, U-238, Th-232 natural radioactive nuclei and Cs-137 radioactive nuclei calculated and finally the results

compared with the United Nation Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation's (UNSCEAR 2000) average mass concentration data for K-40, U-238, Th-232 in soil.

**Keywords:** Natural radiation, gamma spectrometry with NaI(Tl) detector, K-40, U-238, Th-232, Cs-137, soil sample, tea sample.

#### 1.1 Literatür Özeti

İnsanlar tüm hayatları boyunca radyasyonla iç içe bulunmuşlardır. Radyasyon kaynakları var olduğu sürece bundan kaçınmak mümkün olmayacaktır. Radyasyonu ortamda yol alan enerji olarak ifade edebiliriz. Doğal veya yapay çekirdeklerin kararlı yapıya geçebilmek için dışarı bıraktıkları hızlı parçacıklar ve elektromanyetik dalga olarak taşınan fazla enerji radyasyon olarak tanımlanabilir. 19. yüzyılın sonlarına doğru X ışınları ve radyoaktivitenin keşfedilmesiyle tıbbi ve endüstriyel alanlardaki kullanımıyla radyasyon yaşantımızın bir parçası olmuştur [1].

Çevresel radyasyon ölçümlerinin öncelikli amacı, çevresel kaynaklardan insanların aldıkları radyasyon dozunu belirlemek ve bu radyasyon değerinin oluşturabileceği sağlık riskinin değerlendirilmesidir. Bunun içinde radyonüklidlerin çevresel ortamdaki konsantrasyonları ve insanların maruz kaldıkları toplam radyasyon dozuna, radyonüklidlerin katkılarının ayrı ayrı belirlenmesi gerekmektedir.

Ana materyalde bulunan radyoaktif elementler nedeniyle topraklar bir miktar radyasyon içermektedirler. Toprakta bulunan bu elementlerin suda çözünerek su kaynaklarına ve bitkilere geçtiği bilinmektedir. Radyoaktif maddeler atmosferdeki kozmik ışınlardan da kaynaklanır ve bitkiler tarafından özümленerek bitkinin organik yapısına geçerler. Radyonüklidli bitkileri yiyen hayvan ve insanlar için büyük tehlike oluştururlar ve bu yolla insanlara geçiş yapmış olurlar.

Ayrıca insanların çevresel ortamda bulunan radyonüklidlerden aldıkları radyasyon ile çevrede bulunan radyonüklidler arasındaki ilişki belirlenmelidir. Bu çeşit sistematik bir



araştırma sonucunda bölgenin doğal radyasyonunun sağlıklı yaşama uygun olup olmadığı kararına varılabilir [2].

2006 yılında Dumlupınar niversitesinde yapılan bir çalışmada NaI(Tl) detektörü ile topraktaki radyasyonun ölçümü ve maruz kalınan dozların hesapları yapılmıştır. Bu alışmada Kütahya merkezden farklı bölgelerden 20 adet toprak numunesi alınmıştır. Daha sonrasında hazırlanan toprak numunelerinin doğal radyasyonu ölçülmüştür. Ayrıca evresel radyasyonu ölçebilen gama spektrometre sistemi tanıtılmış ve bu sistemle yapılan deneyler sonucunda gama radyasyonunun madde ile etkileşimi ve etkileşimin insan sağlığı üzerine etkileri incelenmiştir. Böylece insanların Kütahya ilinde karasal radyasyonlardan aldıkları radyasyon dozu araştırılmıştır [3].

Benzer bir araştırmada Celal Bayar niversitesinde 2002 yılında gerçekleştirilmiştir. Muradiye kampüsü ve kampüs çevresindeki yerleşim alanlarından alınan toprak numuneleri örneklerinde analizler yapılmıştır. Bu analizler sırasında NaI(Tl) detektörü ve çok kanallı analizör kullanılarak örneklerin toplam gama sayımları ve K-40, U-238 ve Th-232'ye ait enerjilere karşılık gelen gama piklerinin altındaki alanlardan gidilerek elementlere ait gama sayımları elde edilmiştir [4].

Başka bir çalışmada Çukurova niversitesinde 2007 yılında yapılmıştır. Bu alışmada Adana ili ve çevresindeki kaynaklarda bulunan doğal radyoaktivite ve doğal radyonüklid konsantrasyonları belirlenmiştir. Adana bölgesindeki farklı tipteki radyasyonların ölçümleri ile doğal temel radyasyon seviyeleri bulunmuştur. Yzeyeye yakın atmosferde portatif gama detektörü ile havada soğurulmuş gama doz oranları; gama spektrometrik analiz sistemi ile toprakta bulunan nklidlerin radyoaktivite konsantrasyonları hesaplanmıştır. Ayrıca alfa ve beta sayım sistemi ile içme, deniz, gl ve nehir sularındaki toplam alfa ve beta radyoaktivite konsantrasyonları ve Cr-39 nükleer iz detektörü ve Radosys lm sistemi ile de Adana ili şehir merkezinde bulunan evlerdeki radon gazı konsantrasyonları ölçülmüştür. Böylece insanların bir yılda maruz kaldıkları radyasyon dozları hesaplanmıştır [5].

## **1.2 Tezin Amacı**

Dünyada yaşayan canlıların çoğu çeşitli yollarla radyasyona maruz kalırlar. İnsanların yaşadıkları evre içerisinde maruz kaldıkları radyasyonun temel kaynağı doğal

radasyondur. U-238, Th-232 ve K-40 gibi radyonüklidler doğal radyasyona katkı sağlarlar. Bu çalışma, Rize merkez ve ilçelerinden alınan toprak ve çay örneklerinde, NaI(Tl) detektörlü gama spektrometre sistemi kullanılarak, K-40, U-238, Th-232 radyonüklidlerinden kaynaklanan doğal radyoaktiviteler ile Çernobil Nükleer Santrali kazası kaynaklı olan Cs-137 radyonüklidinin bugünkü radyoaktivitesini belirlemeyi amaçlamaktadır. Doğal radyoaktif çekirdekler tarafından oluşturulan çevresel dozun hesaplanmasının hem insanlar tarafından alınan toplam çevresel dozun bilinmesi hem de ilgilenilen yörenin önemli tarım üretim maddesi olan çay bitkisine etkilerinin bilinmesi açısından büyük bir önemi vardır.

### **1.3 Hipotez**

Çevresel radyasyon ölçümleri insanların çevrelerindeki kaynaklardan aldığı radyasyon dozunu belirlemeyi ve oluşturabileceği sağlık riskini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Bu tip çalışmaların belirli periyotlar ile tekrarlanıyor olmasının sebebi var olan çalışmaları güncellemek ve değişimleri değerlendirmektir. K-40, U-238, Th-232 radyonüklitlerinden kaynaklanan doğal radyoaktiviteler ile özellikle 1986'da Ukrayna'nın Kiev iline bağlı Çernobil kentinde bulunan nükleer güç reaktöründeki kaza kaynaklı olan Cs-137 radyonüklidinin topraktaki radyoaktivitesinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Çernobil nükleer santral kazasının ardından radyolojik açıdan Cs-137 (Sezyum) insanlar tarafından en çok alınan radyonüklittir. Özellikle Doğu Karadeniz bölgesinin Çernobil'e yakın olması ve ülkemiz çay üretimine yüksek katkısı nedeniyle bu bölgenin seçilmesi ve çalışmaların tekrarlanması Cs izotopunun zaman içerisinde nasıl bir değişime uğradığı görebilme imkanı sunabileceği gibi sağlık açısından riskini değerlendirmeyi de sağlayacaktır.

#### 2.1 Radyasyon ve Radyoaktivite

Radyasyon, ortamda yol alan enerji olarak tanımlanmaktadır. Doğal ya da yapay radyoaktif çekirdeklerin kararlı yapıya geçebilmek için dışarı saldıkları hızlı parçacıklar ve elektromanyetik dalga şeklinde taşınan fazla enerjileri de bu tanım doğrultusunda radyasyon olarak tanımlanabilir.

Doğada bulunan elementlerin atomlarının bir kısmı kararlı, bir kısmı ise kararsız çekirdeklere sahiptirler. Genellikle kararlı bir çekirdekte nötron sayısı (N), proton sayısından (P) daha yüksektir ve yaklaşık olarak N/P oranı 1,50 seviyesindedir. Kararlı bir çekirdekte, proton ve nötronlar birbirlerine nükleer kuvvetlerle bağlıdır. Bundan dolayı çekirdek dengededir. Fakat çekirdek dengede değilse yani çekirdek kararsızsa, bu çekirdek fazla enerjiye sahip olacak ve parçacıkları bir arada kalamayacaktır. Bu yüzden çekirdek, bir süre sonra fazla enerjisini boşaltacaktır.

N/P oranı hafif izotoplarda 1 iken, ağır çekirdeklere doğru gidildikçe bu oran artmaktadır. Bu oranın artmasıyla çekirdeklerin kararlı olmadığı değerlere ulaşılır. En ağır kararlı çekirdek, bir Bizmut izotopudur (Bi) ve ağır çekirdekler, sahip oldukları fazla enerji nedeniyle kararsızdır. Kararsız olan bu çekirdeklere, radyoaktif çekirdek veya radyoizotop denilir. Bu çekirdekler, var olan fazla enerjilerinden kurtulmaya ve kararlı duruma geçmeye çalışırlar. Gerçekleşen bu olaya radyoaktivite veya radyoaktif parçalanma denir. Radyoaktivite kontrol edilemeyen bir olaydır. Bu yüzden herhangi bir müdahaleyle durdurulması mümkün değildir. Üstel bir fonksiyon şeklinde azalarak

kendiliğinden tükeninceye kadar devam eder [6].

### **2.1.1 Doğal ve Yapay Radyoaktivite**

Radyoaktivite doğal ve yapay olmak üzere iki farklı şekilde meydana gelebilir. Doğada bulunan kararsız elementler, kararlı yapıya geçmek için herhangi bir dış müdahale yapılmadan, sahip oldukları fazla enerjilerini çekirdeklerinden dışarı atarlar. Bu elementlere doğal radyoaktif elementler, bu elementlerin fazla enerjilerini dışarıya atma olayına da doğal radyoaktivite denir. Doğada kararlı olarak bulunan izotoplar da, yapay yollarla kararsız yani radyoaktif hale getirilebilirler. Radyoaktif hale getirilen çekirdek parçalanmaya uğrar. Bu olay, yapay radyoaktivite olarak adlandırılır [6].

### **2.1.2 İyonlaştırıcı ve İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon**

Radyasyonun parçacık ve dalga tipi olmak üzere iki çeşidi vardır. Belirli bir kütle ve enerjiye sahip olup çok hızlı hareket eden parçacıkları parçacık radyasyonu ifade eder. Bu parçacıklar hızla giden mermiye benzer, fakat gözle görülemeyecek kadar küçüktürler. Dalga tipi radyasyon ise belli bir enerjiye sahip olan ancak kütsüz radyasyon şeklindedir. Dalga tipi radyasyon, titreşim yayarak ilerleyen elektrik ve manyetik enerji dalgalarıdır. Görünür ışık, dalga tipi radyasyonun bir çeşididir. Bütün dalga tipi radyasyonlar, ışık hızıyla yani  $3 \times 10^8$  m/s hızla hareket ederler.

Parçacık ve dalga tipi radyasyonlar da, kendi içlerinde iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olmak üzere ikiye ayrılır. İyonlaştırıcı radyasyon, çarptığı maddede yüklü parçacıklar oluşturan radyasyon olarak tanımlanır. İyon meydana gelmesi yani iyonizasyon olayı herhangi bir madde de ve insanlar da dahil tüm canlılarda oluşabilir. Bu yüzden iyonlaştırıcı radyasyon, önlem alınmadığı takdirde tüm canlılar için zararlı olabilecek bir radyasyon çeşididir. Başlıca beş iyonlaştırıcı radyasyon çeşidi vardır. Bunlar, alfa parçacıkları, beta parçacıkları, X ışınları, gama ışınları ve nötronlardır [6].

## 2.2 Radyoaktif Bozunma Yasası ve Radyoaktivitenin Üretilmesi (Aktivasyon Hesabı)

Radyoaktifliğin keşfinden sonra, radyoaktif bozunma üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda, radyoaktif bozunmanın eksponansiyel yasaya uyduğunu göstermişlerdir. Buna radyoaktif bozunma yasası denilmiştir.

Bir radyoaktif madde içindeki çekirdeklerin ne zaman bozunacağı kesin olarak bilinemez. Radyoaktif bozunum olayı zamana göre rastgele bir olaydır. Çünkü atomlar biyolojik sistemlerde olduğu gibi belirli bir yaşa sahip değildirler. Maddenin içindeki her bir atomun bozunması maddenin toplam bozunmasını etkiler. Bu yüzden bir radyoaktif maddenin bozunması tümüyle maddeye ait değildir.

Radyoaktif bozunum olayı varsayımlarla zaman göre belirlenebilen bir olay olarak göz önüne alınır. Radyoaktif maddenin herhangi bir  $t$  anında  $N(t)$  radyoaktif çekirdek olursa,  $\Delta t$  süresi içinde  $\Delta N$  tane çekirdek bozunur. Bozunan çekirdek sayısı  $N(t)$  ile orantılıdır. Buradaki amacımız  $N(t)$ 'nin zamana bağlı değişimlerini bulmaktır.

Bu bilgilerden yola çıkarak Rutherford ve Soddy,  $\lambda$  (bozunum/s) bozunma veya parçalanma sabitini tanımlamışlardır. Bir atomun birim zaman başına atom çekirdeği parçalanma olasılığına  $\lambda$  bozunma (parçalanma) sabiti denir.  $\lambda$  bozunma sabiti atomun bir karakteristiğidir ve sıcaklık, basınç gibi fiziksel veya kimyasal bir olaydan etkilenmez.

Yukarıda bahsedildiği gibi kararsız bir çekirdeğin bozunması tamamıyla rastgele bir işlemdir ve bir atomun ne zaman bozunacağını kesin olarak tahmin etmek imkansızdır. Bununla birlikte herhangi bir zamanda bozunması eşit derecede muhtemeldir.  $t$  ile  $t+dt$  zaman aralığında bozunan çekirdeklerin  $dN(t)$  sayısı  $t$  anındaki radyoaktif çekirdeklerin sayısı  $N(t)$  ve  $dt$  bozunum süresi ile doğru orantılıdır.

$$dN(t) \sim N(t) \cdot dt \quad (2.1)$$

Bu orantılılığı eşitlik şeklinde yazmak için  $\lambda$  bozunum sabiti orantı katsayısı olarak alınır,

$$dN(t) = -\lambda \cdot N(t) \cdot dt \quad (2.2)$$

diferansiyel denklemini kurulabilir. Radyoaktif çekirdekler farklı hızlarda bozunurlar ve her birinin kendisine has bozunma sabiti ( $\lambda$ ) bulunur. Yukarıdaki eşitlikte eksi (-) işareti

radyoaktif bozunumla radyoaktif çekirdeklerin sayısındaki azalmayı ifade etmektedir. Bu birinci dereceden diferansiyel denklemin çözümü (2.2) Eşitliğinin integrali alınarak C bir integrasyon sabiti olmak üzere,

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

şeklinde bulunur. Başlangıç şartı olarak, t=0 anında (başlangıç anı olarak kabul edilir) madde içerisindeki radyoaktif çekirdeklerin sayısı  $N_0$  olduğu varsayılırsa  $C=N_0$  bulunur.

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

şeklinde yazılır.

Bir radyoaktif maddenin başlangıçtaki atom sayısının yarısının bozunması için gerekli süreye ise **yarılanma süresi** denir. Eşitlik (2.4)'te  $N = N_0/2$  yazılarak yarı ömür,

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \quad (2.5)$$

elde edilir.

Yarı-ömür ile bozunma sabiti arasındaki bu ilişki fazla radyoaktif maddelerin daha kısa, az radyoaktif olanların ise daha uzun zamanda tükenenlerini gösterir. Bilinen radyoaktif çekirdeklerin yarı-ömürleri neredeyse kararlı çekirdekler için  $10^{19}$  yıl ile oldukça kararsız çekirdekler için  $10^{-23}$  saniye arasında değişmektedir.

Radyoaktif bozunma bazen ortalama ömür ile de karakterize edilebilir. Her atom çekirdeği bozunana kadar sonlu bir süre yaşar ve **ortalama ömür** ise tüm atomların ömürlerinin aritmetik ortalamasıdır. Bir çekirdeğin bozununcaya kadar geçirdiği süre olarak da bilinir. Ortalama ömür  $\tau$  ile gösterilir ve bozunma sabiti ile

$$\tau = \frac{1}{\lambda} \quad (2.6)$$

şeklinde ilişkilidir. Radyoaktif bozunma yasası, bozunumdan kalan çekirdek sayısını vermektedir. Radyoaktif bir numunedeki radyasyonu belirlerken radyasyon sayısını detekte ederek dolaylı yoldan bozunmuş çekirdeklerin sayısına ulaşılabilir. Bir numunedeki bozunmamış çekirdeklerin sayısını ölçmek yerine  $t_1$  ve  $t_2$  arasındaki

yayınlanan radyasyonları gözlemleyerek bozunumların sayısını ölçmek daha kolaydır. t ile t+Δt zaman aralığında çekirdek sayısındaki değişikliğe ΔN dersek

$$|\Delta N| = N(t) - N(t + \Delta t) = e^{-\lambda t}(1 - e^{-\lambda \Delta t}) \quad (2.7)$$

ifadesi elde edilir. Eğer  $\Delta t \ll t_{1/2}$  yani  $\Delta t$  aralığı  $\lambda^{-1}$ 'den çok küçük ise exponansiyel ifadenin açılımı;

$(1 - e^{-\lambda t}) = 1 - 1 + \lambda \Delta t = \lambda \Delta t$  olur. Bu ifade (2.7)' da yerine konulursa

$$\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} \quad (2.8)$$

$$|\Delta N| = \lambda N_0 e^{-\lambda t} \cdot \Delta t \quad (2.9)$$

elde edilir. İfadenin sonsuz küçük limiti alınırsa;

$$\frac{dN}{dt} = \lambda N_0 e^{-\lambda t} \quad (2.10)$$

elde edilir. Radyoaktif bir maddenin aktivitesi birim zaman başına bozunma sayısı olarak tanımlanır. SI sisteminde aktifliğin birimi Becquerel' dir. Becquerel saniyede bir parçalanmaya eşittir. Diğer bir aktiflik birimi ise Curie' dir. Bir Curie saniyede  $3.7 \times 10^{10}$  bozunmaya karşılık gelir. Aktiflik A ile gösterilirse, eşitlik (2.10)'dan

$$A(t) = \lambda N(t) = A_0 e^{-\lambda t} \quad (2.11)$$

t anındaki aktivite hesabı için bağıntı elde edilir. Burada,

$$A_0 = \lambda N_0 \quad (2.12)$$

t=0 anındaki aktiviteyi göstermektedir.

Çekirdeğin aktivitesi,

$$A = \frac{P}{\epsilon \cdot f \cdot \gamma \cdot t \cdot \Omega} \quad (2.13)$$

olmak üzere, birim kütle başına aktivite,

$$A = \frac{P}{\epsilon \cdot f \cdot \gamma \cdot t \cdot \Omega \cdot m} \quad (2.14)$$

ifadesi ile aktivite konsantrasyonu bulunur. Burada,

P: Radyoaktif ürün çekirdeğin aktivitesi (~pik altında kalan alan)

$\epsilon$ : Detektör verimi (ilgilenilen enerjide)

$f_\gamma$ : Yayınlanan enerjinin yayınlanma olasılığı

t: Sayım süresi (s)

m: örneğin net kütlesi

$\Omega$ : Katı açısı ( yayınlanan ışınların detektörle yaptığı açı) dir [7], [8], [9], [10].

### 2.3 Bozunma Türleri

$\alpha$ ,  $\beta$  ve  $\gamma$  bozunmaları olmak üzere üç önemli bozunma türü vardır.  $\alpha$  ve  $\beta$  bozunma işlemlerinde, kararsız bir çekirdek bir  $\alpha$  veya bir  $\beta$  parçacığı yayınlamaya çalışır. Yani kütle numarasına göre en kararlı izobara yaklaşır.  $\gamma$  bozunumunda ise uyarılmış bir durum çekirdeğin cinsi değişmeden taban duruma bozunur.

#### 2.3.1 Alfa Bozunması

Alfa parçacığı, iki proton ve iki nötrondan oluşmuş pozitif yüklü bir Helyum ( ${}^4_2\text{He}$ ) çekirdeğidir.  $\alpha$  işaretiyle gösterilirler. Çekirdeğin, alfa çıkararak parçalanması olayı atom numarası büyük izotoplarda ve genellikle doğal radyoaktif atomlarda görülür.

Alfa parçacıklarını, çok küçük kalınlıklardaki maddelerle durdurmak mümkündür. Çünkü diğer radyasyon çeşitlerine göre daha büyük elektrik yüklerine sahip olmalarıdır. Alfa parçacıklarının sahip oldukları bu elektrik yükü, herhangi bir madde içerisinden geçerken yolları üzerinde yoğun bir iyonlaşma meydana getirmelerine ve bu yüzden de enerjilerini hızlıca kaybetmelerini sağlar. Enerjilerini bu şekilde çabucak kaybeden alfa parçacıklarının erişme uzaklıkları da bu yüzden çok kısadır. Bu nedenle, dış radyasyon tehlikesi yaratmazlar. Şekil 2.1' de, alfa bozunumu gösterilmiştir [6].

$\alpha$  bozunum denklemi;

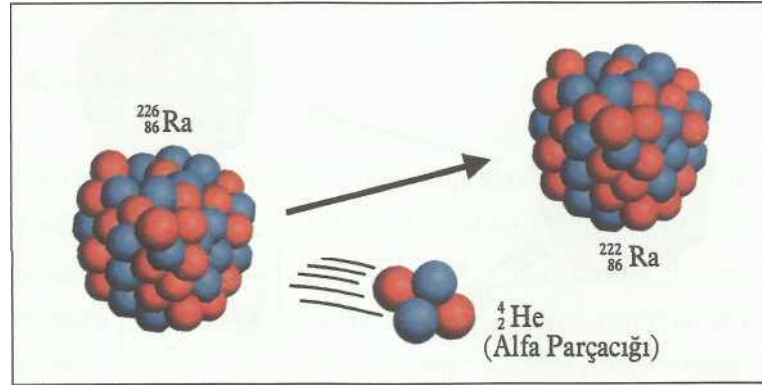




dir. Burada X, ana çekirdeği, X' ürün çekirdeğin kimyasal simgelerini göstermektedir. A; çekirdeğin kütle numarasını, Z; atom numarasını göstermektedir. Bozunma işleminde proton ve nötron sayılarının ayrı ayrı korunması gerektiğine dikkat edilmelidir.  $\alpha$  bozunumuna bir örnek,



dir. Burada Yarı ömür 1600 yıldır ve  $\alpha$  parçacığının kinetik enerjisi yaklaşık 4,8 MeV'dir.



Şekil 2.1 Alfa ışıınıımı[6].

Eşitlik (2.15)'e göre öncelikli olarak göz önünde bulundurulması gereken enerjinin korunumudur. Sistemin başlangıçtaki enerjisi X'in  $m_x c^2$  durgun kütle enerjisidir. Son durum X' ve  $\alpha$ 'yı içermektedir ve her biri hareketlidir. Böylece son toplam enerji  $m_{x'} c^2 + T_{x'} + m_\alpha c^2 + T_\alpha$  dır. Burada T son parçacıkların kinetik enerjisidir. Enerjinin korunumundan,

$$m_x c^2 = m_{x'} c^2 + T_{x'} + m_\alpha c^2 + T_\alpha \quad (2.17)$$

$$T_{x'} + T_\alpha = [m_x - m_{x'} - m_\alpha] c^2 \quad (2.18)$$

$$Q = T_{x'} + T_\alpha \quad (2.19)$$

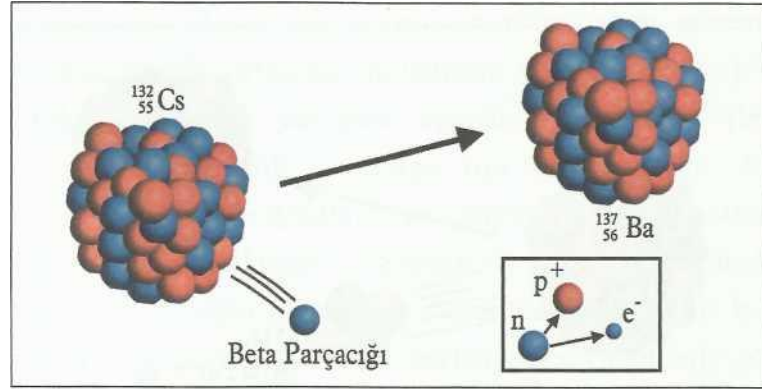
$$Q = [m_x - m_{x'} - m_\alpha] c^2 \quad (2.20)$$

şeklinde yazılır. Kendiliğinden bozunmanın olabilmesi için  $Q > 0$  olması gerekir [8].

### 2.3.2 Beta Bozunması

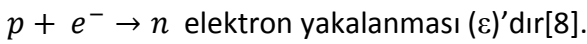
Çekirdekteki enerji fazlalığı çekirdek etrafında bir kütle oluşturur. Bu kütle, çekirdekteki fazla yükü alır ve dışarıya bir beta ışını olarak çıkar. Bu ışınlar, pozitif veya negatif yüklü elektronlardır. Pozitif yüklü elektronlar  $\beta^+$  ile negatif yüklü iyonlar ise  $\beta^-$  işaretiyle gösterilirler. Çekirdekteki enerji fazlalığı proton fazlalığından meydana geliyorsa  $\beta^+$ , nötron fazlalığından meydana geliyorsa  $\beta^-$  ortaya çıkar.

Beta parçacıkları da, alfa parçacıkları gibi belli bir yük ve kütleyle sahip olduklarından madde içerisinde geçerken yolları üzerinde iyonlaşmaya sebep olurlar. Fakat bu iyonlaşma, alfa parçacıklarının oluşturduğu iyonlaşmadan daha azdır. Çünkü bu parçacıklar alfa parçacıklarına göre daha hafiftir. Şekil 2.2' de, beta ışınımı gösterilmiştir [6].

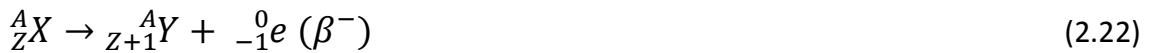


Şekil 2.2 Beta ışınımı[6].

Temel  $\beta$  bozunma işlemleri,



- **Negatif  $\beta$  Bozunumu( $\beta^-$ ):**  $\beta^-$  yayınlanmasında bir nötronun bir protona dönüşmesi elektrik yükünün korunmasını sağlar. Yayınlanma işleminde atom numarasının bir artmasını gerekir. Bozunma denklemi,



şeklindedir. Burada nötronun bozunarak bir proton, bir elektron ve bir nötrino parçacığı meydana getirmektedir. Buna nötronun radyoaktif dönüşümü olarak bakılabilir. Nötrinin elektrik yükü olmadığından, varlığı diğer son parçacıkları etkilemez. Bozunma enerjisi,

$$Q = [m_x - \{m_y + m_e\}]c^2 \quad (2.23)$$

çekirdek kütlelerini atomik kütlelere çevirmek için Z tane elektron kütlesi eklenecek olursa,

$$Q = [m_x + Zm_e - \{m_y + Zm_e + m_e\}]c^2 \quad (2.24)$$

$$Q = [m_x - m_y]c^2 \quad (2.25)$$

şeklinde bulunur.

- **Pozitif  $\beta$  Bozunumu( $\beta^+$ ):** Bu bozunum pozitron bozunumu olarak da adlandırılır ve pozitif yüklü bir elektron yayınlanır.  $\beta^+$  bozunması bir protonun bir nötrona dönüşmesidir. Bu olay sonucunda çekirdeğin atom numarası bir azalır. Bozunma denklemi,

$$p \rightarrow n + e^+ + \bar{\nu} \quad (2.26)$$

$${}^A_ZX \rightarrow {}^A_{Z-1}Y + {}^0_{+1}e (\beta^+) \quad (2.27)$$

şeklindedir. Bozunma enerjisi,

$$Q = (m_x - \{m_y + m_{+e}\})c^2 \quad (2.28)$$

$$Q = (m_x + Zm_e - \{m_y + Zm_e + m_{+e}\})c^2 \quad (2.29)$$

$$Q = [m_x - m_y - 2m_e]c^2 \quad (2.30)$$

bulunur. Pozitron parçalanmasının enerjisi, iki elektron kütlesine eşdeğer enerji kadar daha küçüktür. Bunun nedeni çekirdek tarafından bir pozitron yayınlanınca atomun nötr kalabilmesi için dış kabuktan da bir elektronun yayınlanmasıdır.

- **Elektron Yakalama:**  $\beta^+$  bozunması için ikinci bir yöntemde elektron yakalamadır. Elektron yakalama işleminde çekirdek etrafında en yakın yörüngede dönen elektron çekirdek tarafından yakalanır. Bu işlemde bir proton bir nötrona dönüşür.

Bu olayda açığa çıkan enerji sadece ana çekirdekle ürün çekirdek arasındaki kütle farkına denktir. Elektron yakalama enerjisi,

$$Q = [m_x - m_y]c^2 \quad (2.31)$$

şeklinde yazılabilir. Bu enerjinin  $\beta^+$  bozunmasındaki (2.30) enerjisinden iki elektron kütlesi kadar fazla olduğu görülmektedir [10].

### 2.3.3 Gama Bozunması

Gama ışınlarının kaynağı, atomun çekirdeğidir. Gama ışınları, atom çekirdeğindeki enerji seviyelerinin farklılıklarından meydana gelirler. Çekirdek bir alfa veya bir beta parçacığı yayınladıktan sonra, kararlı bir durumda olmayabilir yani radyoaktif parçalanmadan sonra geride kalan çekirdek uyarılmış halde kalabilir. Fazla kalan çekirdek enerjisini bir elektromanyetik radyasyon halinde yayınlayarak kararlı hale gelir. Gama ışınları, beta ışınlarından daha yüksek enerjili ışınlardır.

$\gamma$  ile gösterilirler. Gama ve X ışınlarının, alfa ve beta parçacıklarına göre madde içerisine nüfuz etme özellikleri daha fazla, iyonlaşmaya sebep olma etkileri ise daha azdır. Gama ışınları madde içerisinden geçerken, üstel fonksiyon şeklinde şiddetleri azalır. Gama ışınları yüksüz olduklarından elektrik ve manyetik alanda sapma göstermezler [6].

$\lambda$  dalga boyu ya da  $f$  frekansı ile temsil edilen  $\gamma$  ışınları  $E=h.f$  enerjili fotonlardır. Yüksek bir enerji durumundan ( $E_i$ ) daha düşük bir enerji durumuna ( $E_f$ ) geçen bir çekirdekten yayınlanan gama ışınının enerjisi;

$$E = h.f = E_i - E_f \quad (2.32)$$

bağıntısı ile verilir. Buradaki  $E_f$  temel hale karşılık ise daha fazla foton yayınlanması mümkün olmayacaktır. Fakat tersi bir durumda çekirdek temel hale gitmeden önce bir veya daha fazla foton yayınlayacaktır [10].

### 2.4 Gama Işınlarının Madde Tarafından Soğurulması (Absorpsiyonu)

Gama ışınlarının absorpsiyonunun temel özelliği; bir homojen gama ışını demetinin, madde kalınlığının arasından geçerken radyasyonun şiddetinde deneysel olarak gözlenen azalmasıdır.  $I$  şiddetinde bir  $\gamma$  ışını demeti  $\Delta x$  kalınlığında bir kalıp üzerine

geldiği zaman, demet kalıp arasından geçerken şiddette meydana gelen değişme kalınlıkla ve gelen şiddetle doğru orantılıdır.

$$\Delta I = -\mu \cdot I \cdot \Delta x \quad (2.33)$$

buradaki  $\mu$  orantı sabitine absorpsiyon katsayısı denir. Eğer  $\gamma$  ışını fotonlarının hepsi aynı enerjiye sahip ise,  $\mu$  katsayısı  $x$ 'den bağımsız olur ve Eşitlik (2.33)'ün integrasyonu,la,

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\mu x} \quad (2.34)$$

bulunur. Bu denklem, ilk şiddeti  $I_0$  olan bir demetin verilen bir malzemenin  $x$  kalınlığı arasından geçtikten sonra radyasyonunun  $I$  şiddetini vermektedir. Şiddet,

$$I = B \cdot h \cdot \nu \quad (2.35)$$

şeklinde yazılabilir. Burada  $B$  birim zamanda yüzey kesiti arasından geçen fotonların sayısı ve  $h \cdot \nu$  bir fotonun enerjisidir.  $B$ 'ye akı denilmektedir ve bir saniyede bir santimetre kareden geçen foton sayısı olarak da ifade edilebilir. Buna göre Eşitlik (2.34),

$$\frac{B}{B_0} = e^{-\mu x} \quad (2.36)$$

şeklinde yazılabilir.

## 2.5 Gama Işınının Madde ile Etkileşmesi

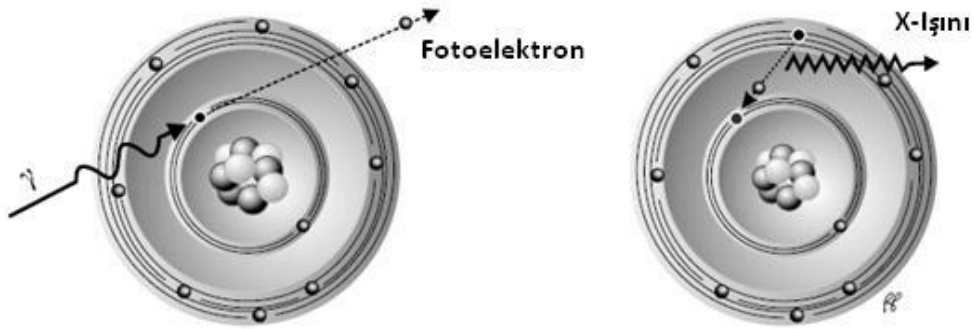
Gama ışınlarının madde ile etkileşmesi  $\alpha$  ve  $\beta$  parçacıklarının madde ile etkileşiminden büyük ölçüde farklıdır.  $\gamma$  ışınları çok büyük bir girişkenliğe sahiptir. Elektromanyetik radyasyonlar olan  $\gamma$  ışınları ve  $x$  ışınları madde içerisinde karakteristik bir exponansiyel absorpsiyon gösterirler ve  $\alpha$  ve  $\beta$  parçacıkları gibi belirli bir uzaklığa sahip değillerdir. Özellikle ağır olan  $\alpha$  ve  $\beta$  parçacıkları enerjilerini, atomik elektronlarla büyük sayıda çarpışmalar sonucunda kaybederler. Parçacıklar git gide yavaşlayıp sonunda tamamen dururlar ve soğurulurlar. Bir  $\gamma$  ışını fotonlarının demeti, ince bir soğurucu üzerine geldiği zaman demetten alınan her bir foton bir olaydan alınmıştır. Bu olay fotonun kayb olduğu gerçek bir absorpsiyon olabilir veya foton demet dışarısına saptırılmış

bulunabilir. Bir  $\Delta x$  soğurucu kalınlığından geçerken fotonların sayısı,  $\Delta x$  ve  $\Delta x'$ 'e gelen fotonların sayısı ile orantılıdır. Bu olay Eşitlik (2.33) ve (2.34) ile gösterilebildiği gibi eksponansiyel absorpsiyon kanunu olarak da ifade edilir.

Gama ışınlarının absorpsiyonunda üç işlem gerçekleşir. Bunlar fotoelektrik olay, Compton Saçılması,  $\gamma$  ışınları ile atom çekirdeklerinin elektrik alanları arasındaki karşılıklı etkileşim sonucunda elektron-pozitron çiftlerinin oluşması yani Çift Oluşumu olaylarıdır [11].

### 2.5.1 Fotoelektrik Olay

Fotoelektrik olayda, foton atom tarafından soğurulur ve atomun elektronlarından birinin yayınlanmasına neden olur. Yayınlanan bu elektrona foto elektron denir. Atomun iç tabakalarından elektron yayınlanırsa, dış tabakalardaki elektronlardan biri bu daha düşük boş seviyeyi doldurur ve bunun sonucunda elektrona birlikte X-ışını da yayınlanır.



Şekil 2.3 Fotoelektrik Olay[12]

Elektronun kinetik enerjisi, fotonun enerjisi ile elektronun bağlanma enerjisinin farkına eşittir.

$$T_e = E_\gamma - B_e \quad (2.37)$$

Fotoelektrik olay, X-ışını enerji aralığında (keV) büyük tesir kesitine sahiptir. Bu tesir kesiti yaklaşık olarak aşağıdaki şekilde tanımlanır;

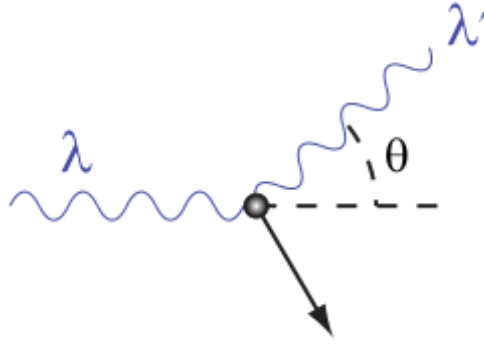
$$\sigma \approx \frac{Z^5}{(h\nu)^{7/2}} \quad E_\gamma < m_e c^2 \quad \text{için} \quad (2.38)$$

$$\sigma \approx \frac{Z^5}{(hv)} \quad E_\gamma > m_e c^2 \text{ için} \quad (2.39)$$

Bu etkileşme mekanizması yüksek atom numaralı (Z) atomlar için oldukça önemlidir ve 1 MeV'lik foton enerjilerinde önemini kaybetmektedir[12].

### 2.5.2 Compton Saçılması

Yüksek enerjili X ışınlarının fotonu ile karbon atomunun serbest elektronunun çarpıştırılması sonucu elektronun ve fotonun Şekil 2.4'deki gibi saçılması olayına Compton saçılması denir.



Şekil 2.4 Compton saçılması[13]

20. yüzyılın başlarında, X-ışınlarının madde ile etkileşimi araştırılmaya devam edildi. Bilinen bir dalga boyunun X-ışınları atomlar ile etkileşime girdiğinde, X-ışınlarının  $\theta$  açısı ile farklı bir dalga boyunda dağılmış olduğu gözlemlendi. Klasik elektromanyetizmaya göre dağınık ışınların dalga boyunun, ilk dalga boyuna eşit olması gerektiği tahmin edilse de, birden fazla deneyle dağınık ışınların dalga boyunun, ilk dalga boyundan daha büyük olduğunu bulmuştur. Dalga boyundaki değişim,

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos \theta) \quad (2.40)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada,

$\lambda'$  : saçılma sonrasında fotonun dalga boyu,

$\lambda$  : saçılma öncesinde fotonun dalga boyu

h: Planck sabiti

$m_e$ : elektronun durgun haldeki kütlesi

c: ışık hızı

$\theta$  :fotonun saçılma açısıdır.

Eşitlik (2.40)'da  $\frac{h}{m_e c}$  sabit bir sayıdır ve Compton dalga boyu olarak bilinir. Değeri 0.024 Ångströmdür. Compton dalga boyunun metre cinsinden birimi ise  $2.43 \times 10^{-12}$  metredir.

Compton olayında enerji korunur. Enerji korunum formülü,

$$E_\gamma + E_e = E_{\gamma'} + E_{e'} \quad (2.41)$$

olur. Burada,

$E_\gamma$  : Gelen fotonun enerjisi

$E_e$  : Elektronun enerjisi

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

$E_{e'}$  : Saçılan elektronun enerjisidir.

Gelen foton ve saçılan fotonun hızı ışık hızı (c) kadardır.

$$c = v \cdot \lambda \quad (2.42)$$

formülünü alırsak dalga boyu ( $\lambda$ ) ile frekansın ( $\nu$ ) ters orantılı olduğu sonucuna ulaşılır.

Eşitlik (2.42)'den yola çıkılarak Eşitlik (2.40)'da  $\lambda$  yerine  $c/\nu$  yazılırsa,

$$\frac{c}{\nu'} - \frac{c}{\nu} = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos \theta) \quad (2.43)$$

veya

$$\frac{1}{\nu'} = \frac{1}{\nu} + \frac{h}{m_e c^2} (1 - \cos \theta) \quad (2.44)$$

şeklinde yazılabilir. Eşitlik (2.44)'de eşitliğin iki tarafı da ters çevrilirse,

$$\nu' = \frac{1}{\frac{1}{\nu} + \frac{h}{m_e c^2} (1 - \cos \theta)} \quad (2.45)$$

elde edilir ve bu denklemin sağ tarafının üstü ve altı  $\nu$  ile çarpılır ve elde edilen denklemin iki tarafı  $h$  ile çarpılırsa,

$$h\nu' = \frac{h\nu}{1 + \frac{h\nu}{m_e c^2} (1 - \cos \theta)} \quad (2.46)$$



şeklinde saçılan fotonun enerjisi, ilk enerji ve saçılma açısı ( $\theta$ ) cinsinden bulunmuş olur. Geri tepen elektron,

$$T = hv' - hv = \frac{\frac{hv}{m_e c^2}(1 - \cos \theta)}{1 + \frac{hv}{m_e c^2}(1 - \cos \theta)} \quad (2.47)$$

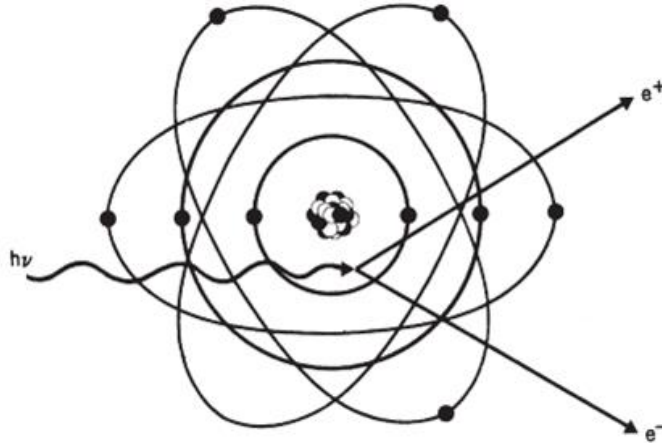
ile verilen bir kinetik enerjiye sahiptir. Elektronun kinetik enerjisi  $\cos \theta = -1$  veya  $\theta = 180^\circ$  olduğunda maksimum değere sahip olur ve bu durumda foton doğrudan geriye saçılmıştır. Bu durumda elektronun enerjisi,

$$T_{max} = \frac{hv}{1 + \frac{m_e c^2}{2hv}} \quad (2.48)$$

olur [11],[13].

### 2.5.3 Çift Oluşumu

Foton yeterli enerjiye sahip olduğunda, madde tarafından soğurulur ve zıt elektrik yüklü parçacıklar meydana getirir. Kısaca, çift oluşumu fotonun elektron-pozitron çiftine dönüşmesidir.



Şekil 2.5 Çift Oluşumu[12]

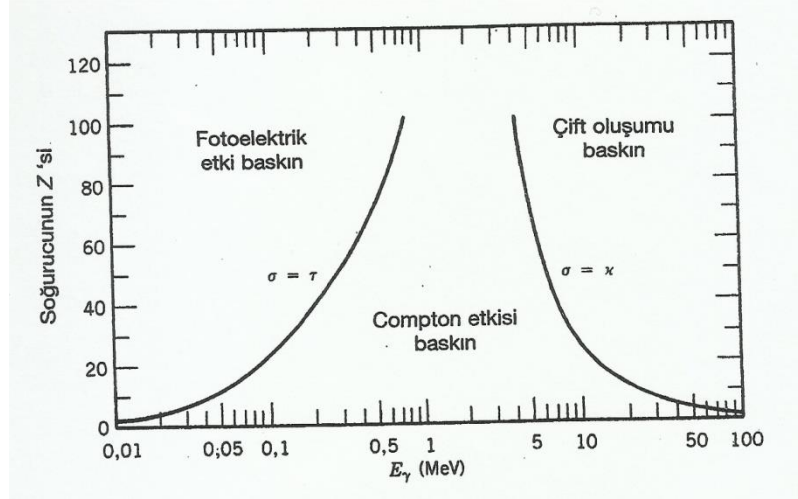
Enerjinin korunumu,

$$E_\gamma = T_+ + mc^2 + T_- + mc^2 \quad (2.49)$$

dir. Burada  $T_+$  ve  $T_-$  pozitron ve elektronun enerjileridir.

Bu olayda, momentum korunumunun sağlanması için ağır bir atomun varlığına ihtiyaç vardır, fakat atoma verilen geri tepme enerjisi Eşitlik (2.49)'daki diğer terimlerle karşılaştırıldığında ihmal edilebilmektedir.

Pozitronun kütlesi elektronun kütlesine eşit olduğundan, elektron-pozitron çift oluşumu için eşik enerjisi  $h\nu \approx 2m_e c^2 = 1,02 \text{ MeV}$  olacaktır.



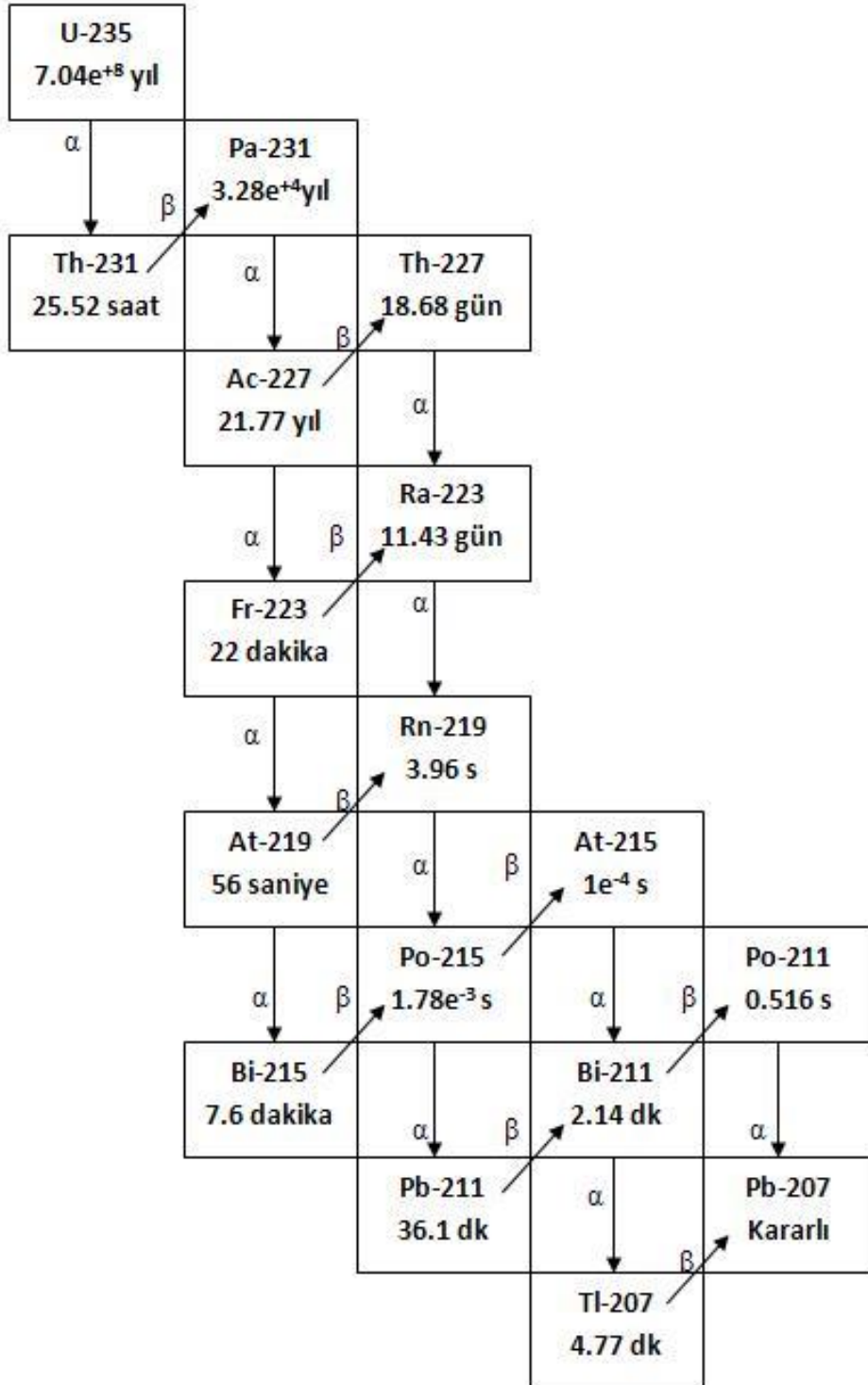
Şekil 2.6  $\gamma$  ışınının madde ile etkileşiminde izlediği üç yolun baskın olduğu enerji bölgelerinin gösterimi[8]

Genellikle çift oluşumu sadece yüksek enerjili fotonlar için önem kazanmaktadır. Şekil 2.6 çift oluşumunun, fotoelektrik olay ve Compton saçılmasına göre daha önemli olduğunu göstermektedir. Çift oluşum tesir kesiti  $Z^2$  ile değişir, burada Z ortamın atom numarasıdır. Çift oluşum eşikten hızlıca yükselir ve foton enerjilerinin 10 MeV den büyük olduğu durumlarda enerji kaybı mekanizmalarında baskın olur [8],[12].

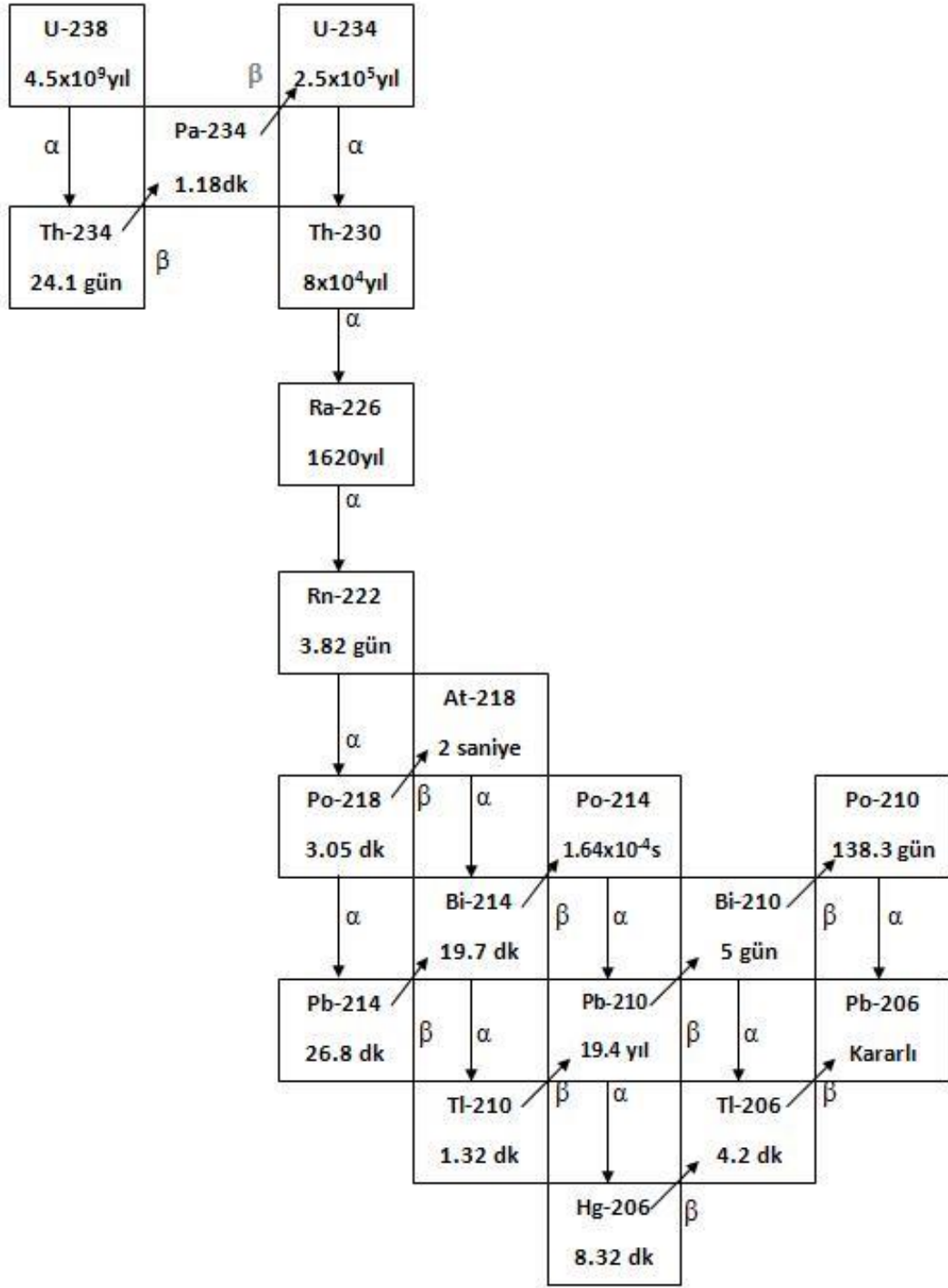
## 2.6 Doğal Radyoaktif Seriler

Doğada mevcut radyoaktif elementler üzerinde yapılan fiziksel ve kimyasal araştırmalar sonucunda, her radyoaktif nüklidin periyodik sistemin son kısımlarında bulunan üç radyoaktif seriden birinin üyesi olduğu görülmektedir. Bu serilere, serinin başında veya serinin başının yakınında bulunan elementlere dayanarak, **uranyum**, **aktinyum** ve **toryum** serileri adları verilmektedir. Uranyum serisinde her üyenin kütle sayısı, n bir tam sayı olmak üzere  $(4n+2)$  olarak ifade edilebilir ve uranyum serisine “ $4n+2$ ” serisi adı da verilir. Aktinyum ve toryum serilerinde, kütle sayılarını veren ifadeler aktinyum

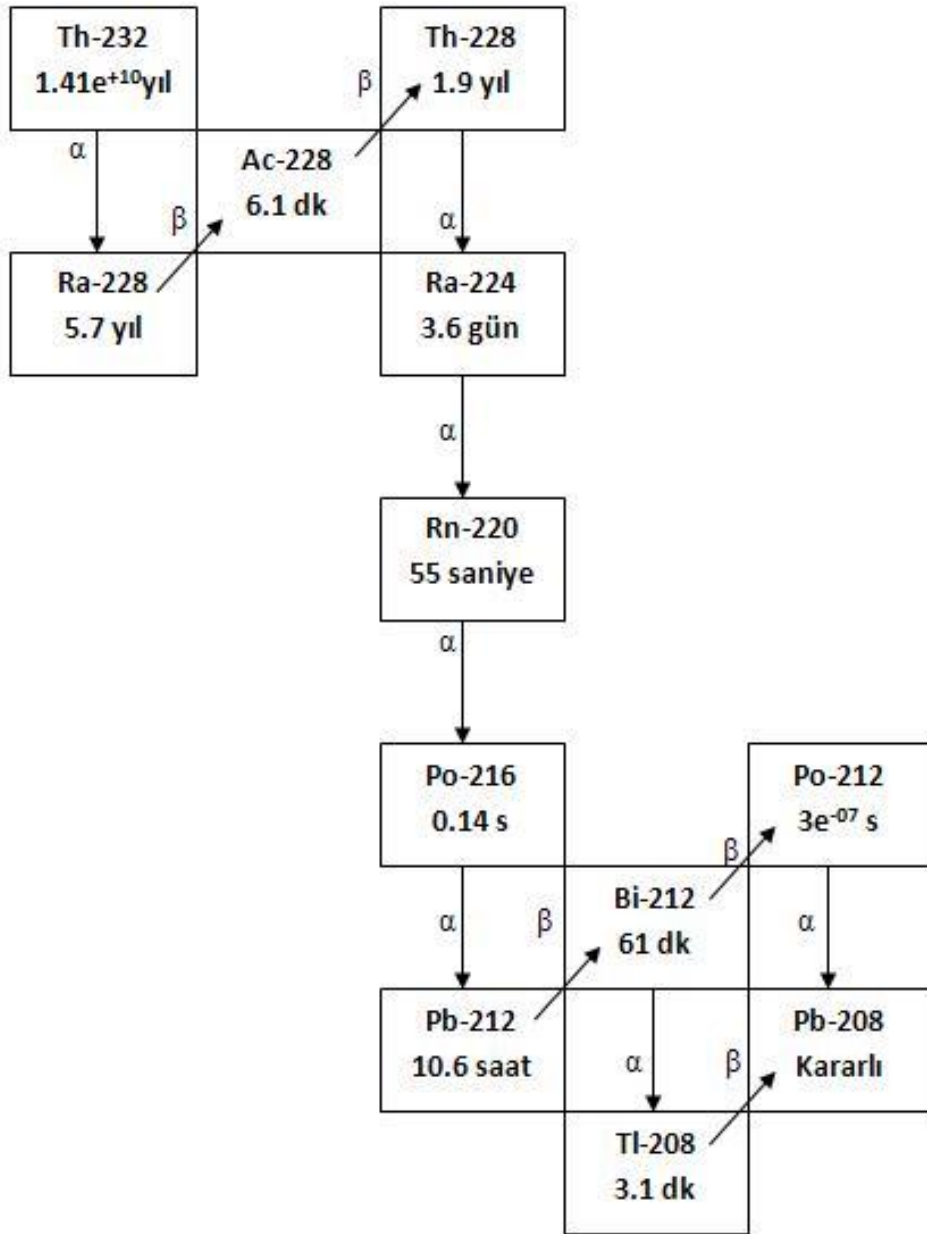
için  $(4n+3)$ , toryum için  $(4n)$ 'dir. Kütle sayıları  $(4n+1)$  olan doğal radyoaktif nüklidler serisi yoktur [11].



Şekil 2.7  $^{235}\text{U}$  (Aktinyum)'in bozunum serisi[14]



Şekil 2.8  $^{238}\text{U}$  Bozunum Serisi[10]



Şekil 2.9  $^{232}\text{T}$  Bozunum Serisi[14]

### DENEYSEL ÇALIŞMA

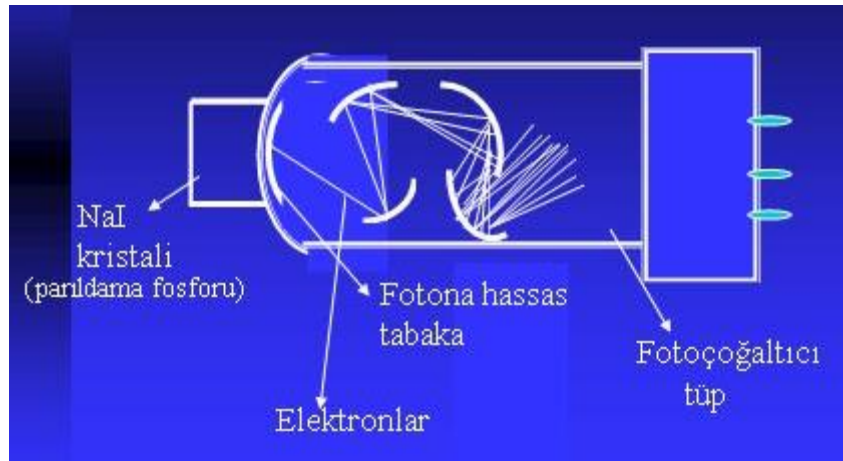
Çalışmanın deneysel incelemeleri Yıldız Teknik Üniversitesi Nükleer Spektroskopi Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Burada kullanılan cihazlar, ölçüm sistemi ve deneysel yöntem hakkında detaylı bilgi bu başlık altında anlatılmıştır.

#### 3.1 Sintilasyon Detektör

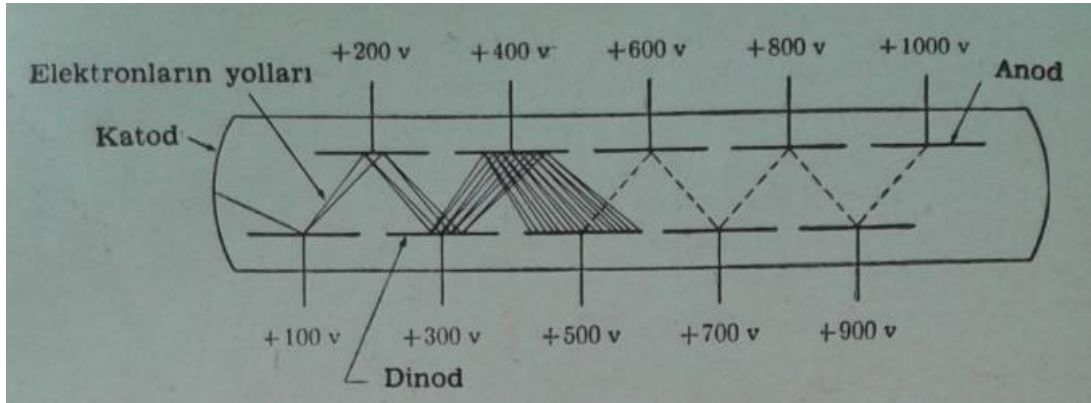
Nükleer radyasyonu tespit etmek için kullanılan tüm detektörler benzer çalışma özelliklerine sahiptirler. Radyasyon detektöre girer, detektör materyalinin atomlarıyla etkileşir, enerjisinin bir kısmını veya tamamını kaybeder ve atom yörüngelerinden daha düşük enerjili elektronların salınmasına neden olur. Bu elektronlar toplanır ve analiz edilmek için elektronik devre tarafından ya akım pulsu ya da voltaj şekline dönüştürülür. Detektör materyalinin seçimi ise detekte etmeye çalıştığımız radyasyonun tipine ve bizim radyasyon hakkında elde etmek istediğimiz bilgiye bağlıdır. Bu deneyde de ölçümler gama ışınları üzerinde yapıldığı için gama ışınları ölçümünde kullanılan detektör tiplerinden biri olan NaI(Tl) kristal yapılı sintilasyon detektörden yararlanılmıştır.

Genel olarak gama ışınlarının ölçümünde kullanılan detektörlerin çalışması, gama ışınlarının kullanılan materyal içinde iyonlaşarak enerji kaybetmesi şeklinde açıklanabilir [15]. Gama ışınlarının kristal ile yaptığı etkileşimden meydana gelen foto elektronlar, Compton elektronları ve pozitron-elektron çiftleri kendi kinetik enerjilerini kristalin atomlarına vererek bu atomları iyonize edip uyarırlar. Uyarılan bu atomlar tekrar eski durumlarına bir ışık fotonu yayınlayarak dönerler [5].

Sintilasyon detektör, sintilatör veya fosfor olarak bilinen katı, sıvı veya gaz madde kullanımına dayanır. Gelen bir parçacığın çarpmasıyla sintilatör atomları uyarılır ve taban durumlarına döndükleri zaman görünür ışık yayarlar. Genellikle sintilatörler NaI kristalleri ve belli plastiklerdir. Katı sintilatörün bir yüzü bir foto çoğaltıcı tüpe yapıştırılmıştır ve tamamı ışığa karşı korunumlu bir kılıfla kapatılmıştır. Foto çoğaltıcı tüp, sintilatörden yayınlanan foton enerjilerini elektrik sinyaline dönüştürür ve 8 ile 14 arasında elektrot içerir, bunlara dinotlar (dynode) denir. Bu dinotlar peş peşe yüksek voltajlarda olacak şekilde montaj edilmişlerdir.



Şekil 3.1 Sintilasyon sayacı [16].



Şekil 3.2 Foto çoğaltıcı tüp[11].

Foto çoğaltıcı tüpün tepesi bir fotoelektrik yüzevidir ve foto katot olarak bilinir. İş fonksiyonu yeteri kadar düşük olduğundan sintilatöre bir foton çarptığında bir elektron kolayca açığa çıkar. Bunun sonucunda bir elektron ilk dinota doğru hızlandırılır ve dinota çarptığında elektron yeteri kadar kinetik enerjiye ulaşır ve 2-5 kat daha fazla elektron yayılır. Böylece bu elektronlar ikinci dinota doğru hızlandırılırlar ve çoklu olay

baslar. Son dinota çarpan elektronların sayısı  $10^6$  veya daha büyük bir sayıyı bulur. Böylece bir parçacığın bir sintilatör boyunca geçmesi foto çoğaltıcı tüp çıkışında elektrik sinyaline dönüşür. Gelen radyasyonun enerjisi ile orantılı olarak biriken yük analizörde ölçülebilen bir voltaj pulsu (darbesi) meydana getirir. Oluşan pulsun genliği radyasyonun enerjisi ile orantılıdır. Sintilasyon detektörlerinin önemli özelliği ölçme verimlerinin diğer dedektörlere göre daha yüksek olmasıdır.

Sintilatör kristalinin katı olması,  $\beta$ - ısınları için maddeyle daha az etkilesen,  $\gamma$ - ışınları için daha verimli bir dedektör oluşturur. İzleme için sıvı sintilatörler de kullanılabilir. Farklı zamanlarda alınan örnekler veya bir organizmanın farklı parçaları direkt olarak sıvı sintilatör içeren küçük şişelere konur. Bu durum özellikle, çok daha düşük enerjili olan  ${}^3_1H$  ve  ${}^{14}_6C$  dan çıkan ve sintilatör koruyucusunu zorlukla geçen  $\beta$ - ışınlarının deteksiyonu için uygundur. Bir foto çoğaltıcı tüp burada da bir elektrik sinyali üretimi için kullanılabilir [15].

Bu detektörler sayım ve aynı zamanda enerji ayırımı için kullanılabilirler. Detektörlerdeki foto çoğaltıcı tüpü ve kullanılan fosforu değiştirmek şartıyla değişik radyasyonların deteksiyonu mümkün olur. Bunlar;  $\alpha$ - parçacıklarını ölçmek için gümüşle aktive edilmiş ZnS fosforu,  $\beta$ - parçacıklarını ölçmek için naftalin ve stilben, düşük enerjili X ve  $\gamma$ - ısınını ölçmek için talyumla aktive edilmiş NaI kristali kullanılır [16].

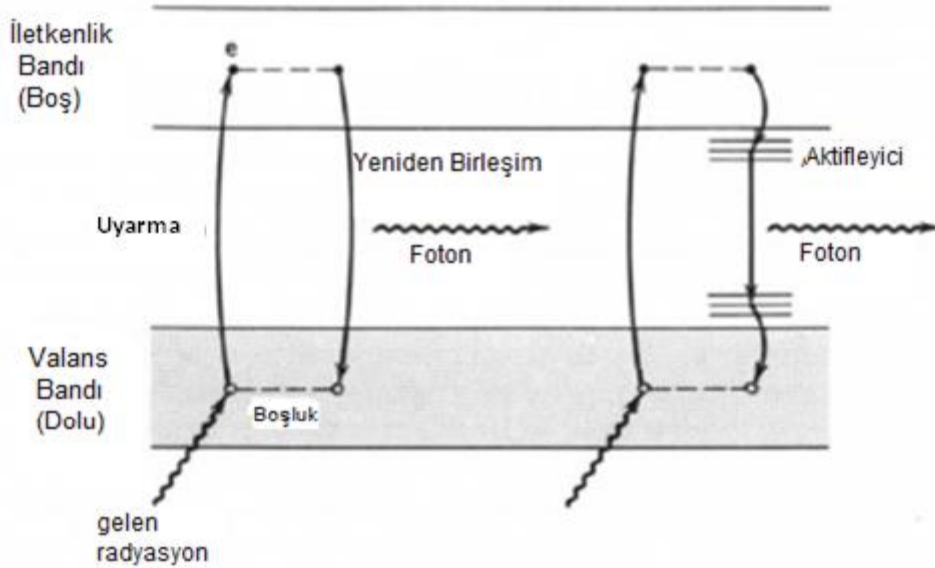
Sintilatörler organik ve inorganik olabilirler. Gama ışın detektörlerinde çoğunlukla kullanılan detektörler inorganik maddeler olan sodyum iyodür (NaI) veya sezyum iyodür (CsI) gibi alkali halinde (herhangi bir halojen asit tuzu) tuzlardır. Bu maddelere foton yayınlama olasılığını arttırmak ve ışığın kendisinin soğurulmasını azaltmak amacıyla bir miktar katkı eklenir. Bu maddeye, aktivatör (aktifleyici) denir. Talyum ve sodyum genellikle en çok kullanılan aktivatörlerdir. Genellikle pek çok detektör, NaI(Tl) yani talyum aktifleyici ile sodyum iyodür kristali, ya da CsI(Na) yani sodyum aktifleyici ile sezyum iyodürü şeklinde ifadelerle açıklanır [17].

İnorganik NaI kristali:

- NaI yalıtıcıdır.
- Değerlilik bandı dolu olur. İletim bandı boş olur.



- Bandlar arası enerji aralığı 4 eV civarındadır.
- Gelen bu ışın bir elektronu uyararak iletim bandına çıkartır.
- e- uyarılma enerjisini foton yayımlayarak değerlilik bandına geri döner.



Şekil 3.3 Kristaldeki enerji bantları: Sol taraf NaI, sağ taraf NaI(Tl) aktivatör[17].

### 3.2 Gama Spektroskopisi

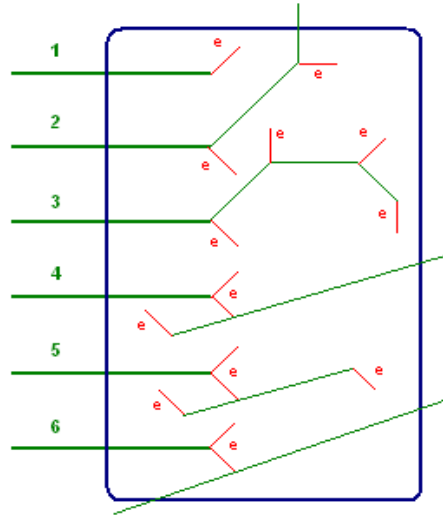
Radyoaktif çekirdek ayırma ve tespit etme yöntemleri arasında, gama spektroskopisi en hassas analitik ölçüm tekniğidir. Gama, maddeyle etkileşim sırasında enerjisini fotoelektrik olay, Compton saçılması ve çift oluşum olayları sonucunda maddedeki elektronlara aktarır. Gama ışınlarının enerjisi her bir çekirdek için kesikli ve karakteristiktir.

NaI(Tl) sintilasyon detektörü ve HPGe yarıiletken detektörleri gama spektroskopisinde en çok kullanılan detektörlerdir. Gama spektroskopisindeki esas amaç, detektörden gelen sinyallerin işlenmesiyle oluşan ve enerji soğurulmasına karşılık gelen pulslar için spektrumdaki piklerin analizinin yapılmasıdır [18].

Bu spektrumun oluşmasında detektöre giren fotonun detektör kristali ile etkileşimleri önemlidir. Detektöre giren foton, Şekil 3.4'de gösterildiği gibi, detektör kristali ile şu sıra ile etkileşebilir;

1. Fotoelektrik soğurma yoluyla enerjisini direk detektöre aktarabilir,

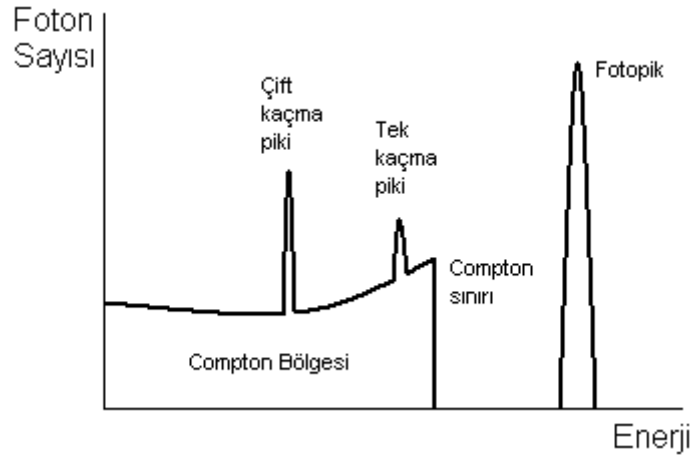
2. Birkaç kez Compton saçılması yapar ve enerjisinin tamamını kaybetmeden detektörü terk edebilir,
3. Birkaç Compton saçılmasından sonra fotoelektrik soğurma yapar ve enerjisinin tümünü kaybedebilir,
4. Çift üretim ile bir elektron pozitron çifti üretir, daha sonra oluşan pozitron bir elektron ile çift yok olur ve iki foton üretilir. Bu fotonlardan biri detektörü terk edebilir,
5. Çift üretim yoluyla oluşan iki foton da, enerjilerini fotoelektrik soğurma ile detektöre aktarabilir,
6. Çift yok olma fotonlarından her ikisi de detektörü terk edebilir.



Şekil 3.4 Detektöre giren gama ışınının etkileşme yolları[19]

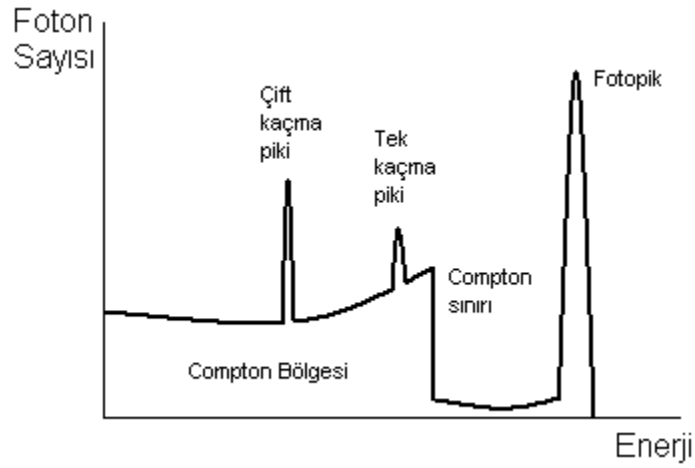
Eğer ilk foton, sonunda fotoelektrik soğurmaya maruz kalıyor ise, detektör kristaline aktarılan enerji orijinal gama ışını enerjisine eşit olur. Yani, detektöre giren gama ışını enerjisinde bir pik elde edilir. Tek bir Compton olayında saçılan elektronlar detektör içinde soğurulur ve bunlar detektörün enerji spektrumunun Compton bölgesine katkıda bulunur. Bu bölge,  $0'$  dan Compton sınırı olarak bilinen bir maksimuma kadar uzanır ve Şekil 3.5'de gösterilmiştir.

Bir pozitron elektron çifti,  $E_{\gamma-mc^2}$ 'lik toplam kinetik enerji ile yaratılır ve bu enerjinin detektördeki kaybı foto piki meydana getirir. Pozitron atom elektronu ile birleşerek çift yok olma meydana gelir ve iki tane 511 keV' lik foton üretilir. Bu iki foton hiçbir etkileşme yapmadan detektörden dışarı çıkabilir veya Compton saçılma işlemleri ile tamamen ya da kısmen soğurulabilir. Böylece,  $E_{\gamma-mc^2}$ ' de her iki foton kaçarsa,  $E_{\gamma-mc^2}$ ' de fotonlardan biri kaçarsa diğeri soğurulursa ve  $E_{\gamma}$ ' da her ikisi de soğurulursa pikler Şekil 3.5'deki gibi görülür.



Şekil 3.5 Detektörün tek enerjili gama ışınları için vereceği cevap[19]

Detektöre giren gama ışınları birden fazla, çoklu Compton saçılmaları yaparsa, Compton sınırı ile foto pik arasındaki enerji boşluğu doldurulacaktır. Bu durum Şekil 3.6'da gösterilmektedir. Foto pik, Compton bölgesi ve kaçma piklerinin bağlı genliklerine, detektörün şekline ve boyutlarına bağlıdır. Büyük bir detektörde Compton saçılması gerçekleştirmiş fotonların veya 511 keV'lik yok olma fotonlarının dışarı kaçma olasılıkları daha düşüktür.

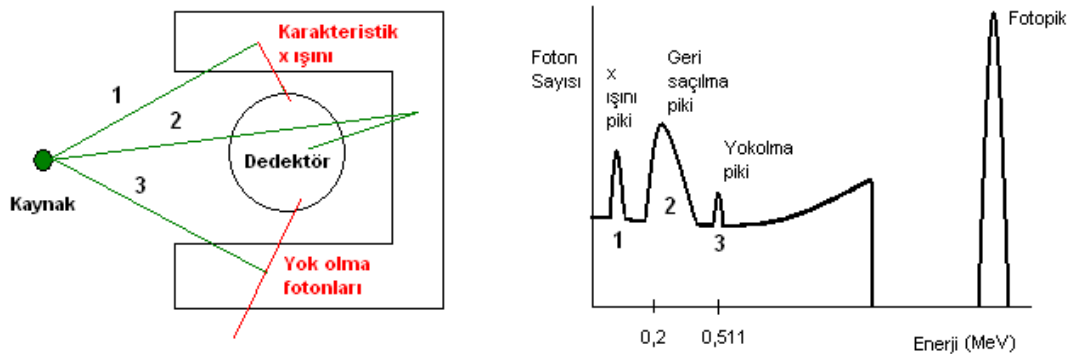


Şekil 3.6 Çoklu Compton saçılmaları sonucunda oluşan Compton bölgesi[19]

Bu spektrumun düşük enerji bölgesinde Şekil 3.7 (a)'da görüldüğü gibi çeşitli pikler oluşabilir. Bunlardan biri, geri saçılma pikidir. Kaynaktan çıkan gama ışınları, detektör civarındaki materyallerden Compton saçılması yapabilir ve enerjisinin düşüşü ile birlikte tekrar detektöre girebilir.

En düşük enerji değerinde gözlenen pik ise, detektör çevresindeki materyallerin gama ışınlarını fotoelektrik soğurması sonucunda, materyal çekirdeğinin foton yayınlamak yerine enerjisini atomun bir elektronuna aktarması yani iç dönüşüm yaparak boş kalan elektronun yerine başka bir elektronun gelmesi ile oluşan X ışınlarını göstermektedir.

Eğer kaynaktan çıkan gama ışınlarının enerjileri yüksek ise, detektör çevresindeki materyallerde çift oluşum olasılığı olacaktır. Bu çift oluşum fotonlarından bir tanesi detektöre girer ve 0,511 MeV değerinde yok olma piki gözlenir [19].



Şekil 3.7 (a) Detektör ve çevresindeki materyallere çarpan gama ışınları (b) düşük enerji bölgesinde oluşan pikler[19]

Gama spektrometresinin analizinin avantajları aşağıdaki gibidir:

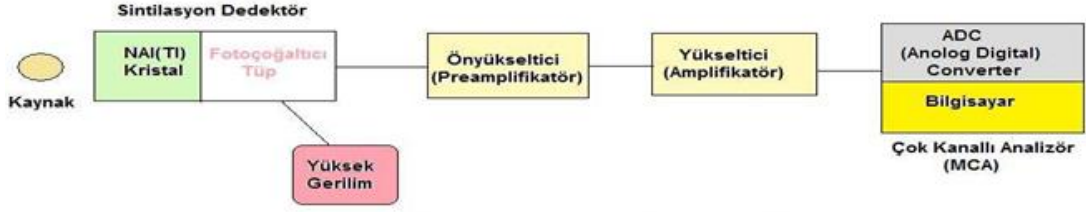
- Aynı örnekte, farklı radyoaktif çekirdekleri tek tek ve aynı anda analiz etmek mümkündür.
- Karmaşık kimyasal ayırma işlemi gerekmediğinden numune hazırlama işlemi kolay ve hızlıdır.
- Ölçümlerdeki yüksek kararlılık, veri islemedeki doğruluk ve analiz edilen bilgilerin güvenilirlik düzeyleri yüksektir.
- Düşük dedüksiyon limitine sahiptir. Bu yüzden çevre radyoaktivitelerinin ölçümünde, özellikle gama spektrometresi kullanılmaktadır [18].

### 3.3 Ölçüm ve Sayım Sistemi

Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Nükleer Spektroskopi Laboratuvarında yapılan çalışmalarda NaI(Tl) sintilasyon detektörlü (10cm kurşunla zırhlanmış) gama spektrometre sistemi kullanılmıştır.



Şekil 3.8 NaI(Tl) sintilasyon detektörü ve sayım odası



Şekil 3.9 NIM modüllerden oluşan gama spektrometre sistemi[3]

1950 lerin başlarında talyumla aktive edilmiş sodyum-iyodür NaI(Tl) detektörlerinin geliştirilmesi gama ışınlar spektroskopisinde yeni bir çağın açılmasını sağlamıştır.

Kaynaktan yayılan radyasyon detektörle etkileşim göstererek soğurulan enerji ile orantılı bir akım darbesi meydana getirir. Bu darbe yükselticiler yardımıyla voltaj darbesine çevrilir, yükseltilir, şekillendirilir ve çok kanallı analizöre gelir. Analizörden sayısal hale çevrilen bilgiler, ekranda spektrum olarak gözlemlenir [3,5].



Şekil 3.10 Nükleer Ölçüm Sistemi (NIM)

Sistemin çalışması ise şu şekildedir: Bir yüksek gerilim güç kaynağı (ORTEC 428) tarafından beslenen NaI(Tl) sintilasyon detektörünün (3x3 inç, ORTEC 905-4 model) arkasında bağlı bulunan ön yükseltici (ORTEC 276) bulunmaktadır. Ön yükselticiden

ıkan sinyal, ana yükselticiye (ORTEC 672) gelmekte ve burada sinyal yükseltmekte ve puls Őekillendirmesi yapılmaktadır. Ykselticiden çıkan sinyaller analog-dijital sinyal dönüŐtürücü (ADC) vasıtasıyla bilgisayar içindeki 2041 kanaldan oluşan ara-yüzey kartına gelmekte daha sonra çok-kanallı analizör (ORTEC 927 ASPEC MCA) ekranında spektrum olarak Őekillenmektedir. Analizör, "MAESTRO" adı verilen bilgisayar yazılım programı ile kontrol edilmektedir.

Çok kanallı analizöre gelen her puls, yüksekliklerine göre bir kanalda sayım olarak kaydedilir. Her kanal bir enerji değerine karşı gelmektedir. Ancak puls yükseklikleri, foto çoğaltıcı tbe uygulanan yüksek gerilim ve yükseltecin kazancı ile değişir. Bu değişim, bir kanala karşılık gelen enerji değerini deęiŐtirmektedir. Bu nedenle, sistemde enerji kalibrasyonu yapılması gerekmektedir [7].

### **3.3.1 Detektör Kalibrasyonları**

Deneyde lm geometrisi olarak detektör geometrisine uyumlu çapı 3 in olan Marinelli kabının geometrisi kullanılacağından, buna göre NaI(Tl) detektörün enerji, Şekil ve verim kalibrasyonları gerçekleştirilmiştir.

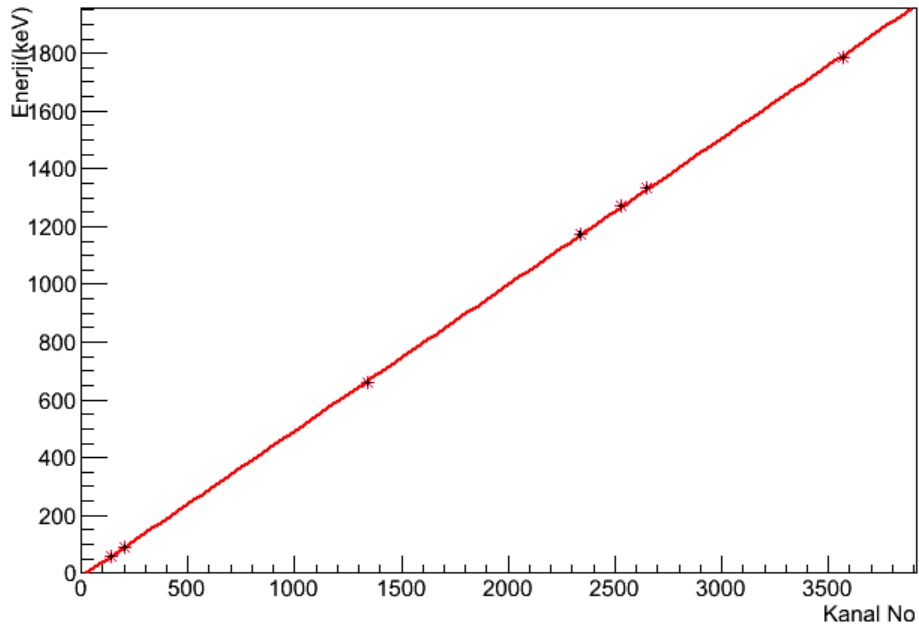
#### **3.3.1.1 Enerji Kalibrasyonu**

Sistem lm almaya hazırlandıktan sonra enerji kalibrasyonu yapmak amacı ile enerjileri bilinen standart kaynaklar (Am-241, Cd-109, Cs-137, Co-60, Na-22) detektör yüzeyine yerleŐtirilir ve 600 saniye kaynaktan yayınlanan gama iŐınlarının (detektör içerisinde foto elektronlara dönüŐtürülen ve gelen foton sayısı ile orantılı olan elektronların) sayımları toplanır. Kaynakların enerji değerlerine karşılık analizörün farklı kanal numaralarına kaydedilmiŐ foto pikler bilgisayar ekranında Maestro yazılım programı üzerinde gözlemlenir. Bu Şekilde enerjileri bilinen tüm kaynakların enerji değerlerine karşılık analizörün tayin ettiği kanal numaraları belirlenir. Kanal numaralarına karşı gelen enerji değerleri ikinci dereceden bir polinoma eğri uydurma yöntemi uygulanarak kalibrasyon yapılmıŐ olur.

Çizelge 3.1 Enerjileri bilinen kaynakların enerji değerlerine karşılık gelen kanal numaraları

Radyonüklid	Kanal No	Enerji(keV)
Am241	137,432	59,541
Cd109	200,919	88,034
Cs137	1340,520	661,657
Co60	2335,740	1173,228
Na22	2527,870	1274,537
Co60	2646,420	1332,492
Na22	3569,050	1785,537

Enerji Kalibrasyonu



Şekil 3.11 Enerji Kalibrasyon Eğrisi

### 3.3.1.2 Şekil Kalibrasyonu

Örneklerin ölçümleri yapılırken sistemde ortaya çıkan spektrumda enerjiye karşılık olarak bir foto pik belirlemektedir. Bu foto pikin şeklini düzeltmek amacıyla şekil kalibrasyonu



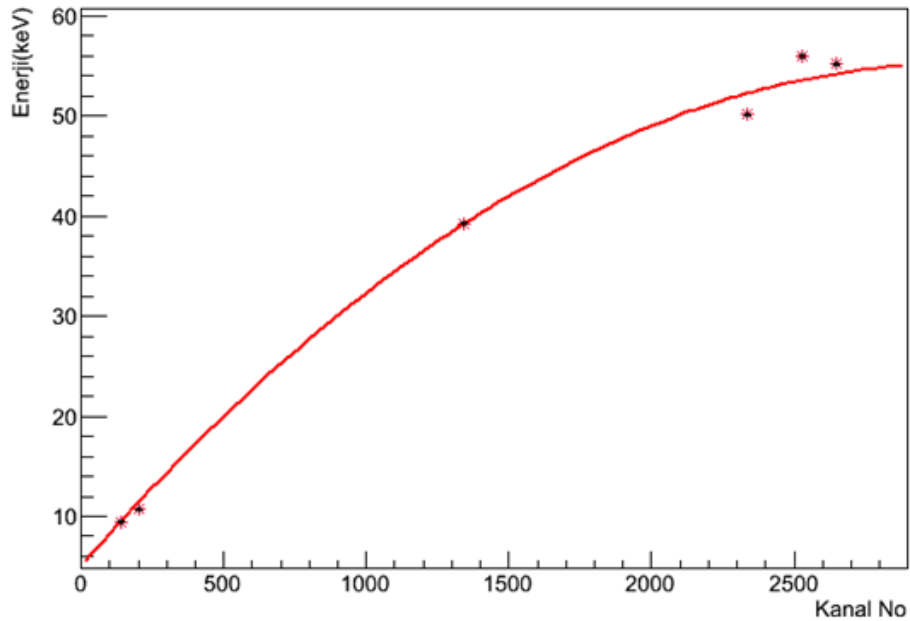
yapılmaktadır. Şekil kalibrasyonu enerjileri bilinen kaynakların foto piklerindeki yarı yükseklikteki tam genişlik değerleri ile yapılmaktadır.

Detektörün şekil kalibrasyonu için detektör üzerine yerleştirilen kaynakların (Am-241, Cd-109, Cs-137, Co-60, Na-22) aşağıdaki belirtilen enerjilerinden yararlanılmıştır.

Çizelge 3.2 Enerjileri bilinen kaynakların enerji değerlerine karşılık gelen yarı yükseklikteki tam genişlikleri

Radyonüklid	Enerji(keV)	FWHM (Yarı yükseklikteki tam genişlik)(keV)
Am241	59,541	9,460
Cd109	88,034	10,711
Cs137	661,657	39,266
Co60	1173,228	50,127
Na22	1274,537	55,954
Co60	1332,492	55,168

#### ŞEKİL KALİBRASYONU

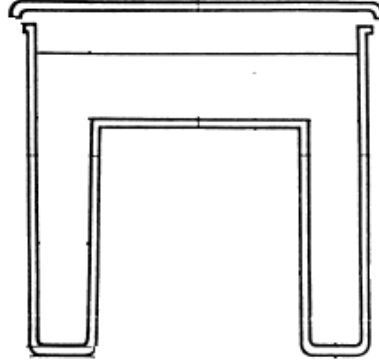


Şekil 3.12 Şekil Kalibrasyon Eğrisi

### 3.3.1.3 Verim Kalibrasyonları

#### Toprak Numuneleri için Verim Kalibrasyonu (Marinelli Geometrisi)

Çalışmamızda toprak numunelerinin ölçümü için Marinelli ölçüm kaplarından yararlanılmıştır. Ölçüm kabının geometrisi Şekil 3.13'de ve deneylerde kullanılan Marinelli kapları Şekil 3.14'de görülmektedir.



Şekil 3.13 Marinelli ölçüm kabının geometrisi[20]



Şekil 3.14 Boş Marinelli Ölçüm Kabı

Marinelli geometrisine sahip bu ölçüm kapları ile yapılan çalışmalarda verim kalibrasyonları bu geometriye uygun standart kaynaklar kullanılarak gerçekleştirilmelidir. Bu nedenle çalışmamızda, Türkiye Atom Enerji Kurumu (TAEK) Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezinde (ÇNAEM) bulunan Marinelli ölçüm kaplarına sıkıştırılmış iki farklı yoğunluktaki (700 g/cc, 1300 g/cc) karışık standart gama

kaynaklar kullanılmıştır. Bu kaynaklar Yıldız Teknik Üniversitesi Nükleer Spektroskopi Laboratuvarına getirilerek 8424 saniye (700g/cc) ve 79237 saniye (1300g/cc) süre ile sayılarak ve ölçümleri alınarak spektrumları kaydedilmiştir. Bu spektrumlarda gözlenen kaynaklar ve bunların enerji değerleri Çizelge 3.3 ve Çizelge 3.4’de gösterilmiştir.

Bir detektörün verimi en genel hali ile birim zamanda kaydedilen parçacıkların sayısının birim zamanda detektöre gelen parçacık sayısına oranı olarak ifade edilir.

$$\varepsilon = \frac{\text{Birim zamanda kaydedilen parçacık sayısı}}{\text{Birim zamanda dedektöre gelen parçacık sayısı}} \quad (3.1)$$

Belirli bir enerjiye karşılık detektörün mutlak verim hesabı Eşitlik (3.1) İle yapılmaktadır. Çalışmamızda da ele alınan standart kaynakların gama enerjilerine karşılık mutlak verim değerleri bu eşitlikten hesaplanarak sonuçlar Çizelge 3.3 ve Çizelge 3.4’de verilmiştir.

$$\varepsilon = \frac{P}{A \cdot f_{\gamma} \cdot t} \quad (3.2)$$

$\varepsilon$ : İlgili pikin etkinliği, mutlak verimi

P: Gama spektrumundan elde edilen net pik alanı

A: Kaynağın ölçüm anındaki aktivitesi

$f_{\gamma}$ : Göreli gama şiddeti

t: Sayım süresi

Bu spektrumların C programı ile desteklenen ROOT tabanlı “Theia” [21] analiz programı ile pik altında kalan alanları (P) belirlenmiştir. Ele alınan radyoaktif elementlerin bozunma sabitleri, standart gama kaynaklarının sertifikalarında belirtilen yarı ömür değerleri kullanılarak Eşitlik (2.8) aracılığı ile hesaplanmıştır. Standart gama kaynaklarının sayım esnasındaki aktivite değerleri (A), yine sertifikalarında belirtilen başlangıç aktivite değerleri kullanılarak Eşitlik (2.11) aracılığı ile hesaplanmıştır.

DeneySEL verilerle yapılan hesaplamaların sonucu, yapılan istatistiksel hatalarla beraber verilmelidir. Bunun için bu çalışmada yapılan deneySEL hesaplamaların hata hesabında, verim değeri için,

$$\frac{\sigma_{\varepsilon}}{\varepsilon} = \left( \left( \frac{\sigma_p}{P} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_A}{A} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_{f_Y}}{f_Y} \right)^2 \right)^{1/2} \quad (3.3)$$

ifadesinden yararlanılmıştır ve böylece bağıl hata (%) bulunmuştur.

Çizelge 3.3 700 g/cc için kaynakların gama enerjilerine karşılık gelen mutlak verim değerleri

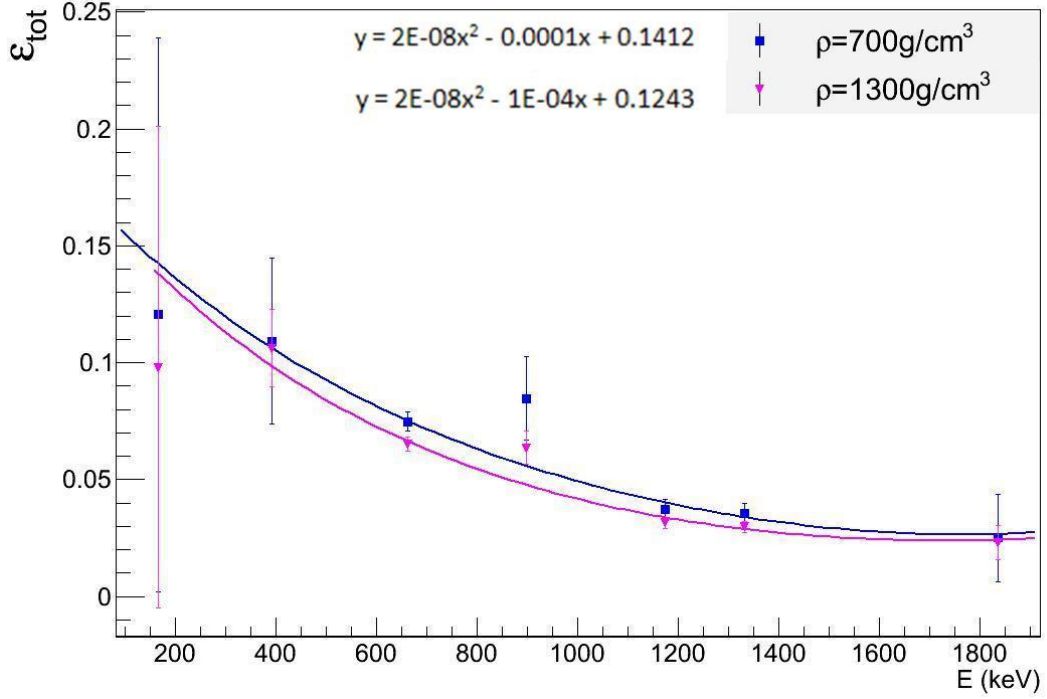
<b>700 g/cc</b>						
<b>Kaynak</b>	<b>Gama En.(keV)</b>	<b>±Gama En.Hata (keV)</b>	<b>f<sub>γ</sub></b>	<b>±f<sub>γ</sub> Hata (σ<sub>f</sub>)</b>	<b>Aktivite (boz/s)</b>	<b>Aktivitedeki Toplam Belirsizlik</b>
Ce-139	165,858	0,001	0,800	0,080	68,285	0,030
Sn-113	391,698	0,003	0,650	0,002	167,837	0,030
Cs-137	661,657	0,003	0,851	0,002	2443,184	0,030
Y-88	898,042	0,003	0,937	0,003	267,774	0,030
Co-60	1173,228	0,003	0,998	0,0003	2470,728	0,030
Co-60	1332,492	0,004	0,999	0,00001	2470,728	0,030
Y-88	1836,063	0,012	0,992	0,003	267,774	0,030
<b>700 g/cc için Verim Hesabı</b>						
<b>Kaynak</b>	<b>Net Alan</b>	<b>±Net Alan Hata (σ<sub>p</sub>)</b>	<b>Verim</b>	<b>Verim Mutlak Hata (±)</b>		
Ce-139	55473,555	3530,231	0,121	0,0143		
Sn-113	100327,697	3541,989	0,109	0,0039		
Cs-137	1310858,817	4017,799	0,075	0,0003		
Y-88	179102,462	3076,062	0,085	0,0015		
Co-60	772293,502	3204,267	0,037	0,0002		
Co-60	736267,497	2957,634	0,035	0,0002		
Y-88	56310,661	1024,460	0,025	0,0005		

Çizelge 3.4 1300 g/cc için kaynakların gama enerjilerine karşılık gelen mutlak verim değerleri

<b>1300 g/cc</b>						
<b>Kaynak</b>	<b>Gama En.(keV)</b>	<b>±Gama En.Hata (keV)</b>	<b><math>f_\gamma</math></b>	<b>±<math>f_\gamma</math> Hata (<math>\sigma_f</math>)</b>	<b>Aktivite (boz/s)</b>	<b>Aktivitedeki Toplam Belirsizlik</b>
Ce-139	165,858	0,001	0,800	0,080	68,676	0,030
Sn-113	391,698	0,003	0,650	0,002	168,756	0,030
Cs-137	661,657	0,003	0,851	0,002	2456,478	0,030
Y-88	898,042	0,003	0,937	0,003	269,210	0,030
Co-60	1173,228	0,003	0,999	0,000	2484,183	0,030
Co-60	1332,492	0,004	1,000	0,000006	2484,183	0,030
Y-88	1836,063	0,012	0,992	0,003	269,210	0,030
<b>1300 g/cc için Verim Hesabı</b>						
<b>Kaynak</b>	<b>Net Alan</b>	<b>±Net Alan Hata (<math>\sigma_p</math>)</b>	<b>Verim</b>	<b>Verim Mutlak Hata (<math>\pm</math>)</b>		
Ce-139	427055,400	10566,257	0,098	0,01011		
Sn-113	923532,115	15031,415	0,106	0,00176		
Cs-137	10804328,530	12801,977	0,065	0,00020		
Y-88	1272531,780	6933,910	0,064	0,00045		
Co-60	6191613,690	9310,374	0,032	0,00007		
Co-60	5869356,440	8374,399	0,030	0,00007		
Y-88	488717,520	2912,171	0,023	0,00017		

Yukarıda ( $\pm$ ) olarak bulunan mutlak verim hatasını elde edebilmek için, (3.3) Eşitliğinden elde edilen bağıl verim hatası (%) ile verim değerinin çarpılması gerekmektedir.

700 g/cc ve 1300 g/cc yoğunluklu standart gama kaynakların enerjilerine karşılık elde edilen verim değerleri ROOT çizim programı yardımı ile Şekil 3.15’de görülen verim eğrilerine dönüştürülmüştür.



Şekil 3.15 700 g/cc ve 1300 g/cc yoğunluklu standart gama kaynaklarının enerjilerine karşılık elde edilen verim değerleri

Marinelli geometrisi için yapılan bu verim kalibrasyonlarının yanında, toprak numunelerinde aktivitesi hesaplanacak enerjilere karşılık gelen verim değerlerinin bulunabilmesi için Şekil 3.15’de elde edilen denklemler yeterli görülmemiş ve başka çalışmalara gidilmiştir. Bu hesaplamalarda M Sudarshan, J Joseph ve R Singh tarafından yapılan “Full energy peak efficiency of NaI(Tl) gamma detectors and its analytical and semi-empirical representations” çalışma referans alınarak [22];

700 g/cc için,

$$\epsilon = \alpha_1 \cdot e^{(\beta_1 \cdot E_\gamma)} + \alpha_2 \cdot e^{(\beta_2 \cdot E_\gamma)} \quad (3.4)$$

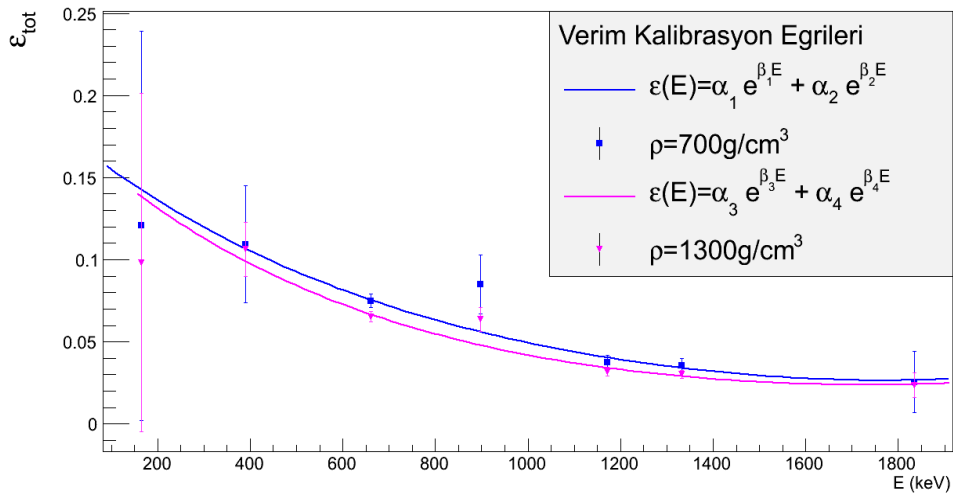
1300 g/cc için,

$$\epsilon = \alpha_3 \cdot e^{(\beta_3 \cdot E_\gamma)} + \alpha_4 \cdot e^{(\beta_4 \cdot E_\gamma)} \quad (3.5)$$

denklemleri elde edilmiştir. ROOT Programı yardımıyla denklemlerdeki  $\alpha$  ve  $\beta$  değerleri aşağıdaki gibi bulunmuş ve Şekil 3.16’de görülen verim eğrisi çizilmiştir.

Çizelge 3.5 Verim denklemleri için  $\alpha$  ve  $\beta$  değerleri

		Hata( $\pm$ )		Chi2
700 g/cc	$\alpha_1$	0,176254	0,00110138	3,34541
	$\beta_1$	-0,00129506	$5,2419 \cdot 10^{-6}$	
	$\alpha_2$	$7,538448 \cdot 10^{-5}$	0,000246998	
	$\beta_2$	0,00268047	0,00111406	
1300 g/cc	$\alpha_3$	0,000545263	0,00193056	6,76921
	$\beta_3$	0,00173905	0,00184875	
	$\alpha_4$	0,176843	0,0299382	
	$\beta_4$	-0,0015188	0,000314296	



Şekil 3.16 700 g/cc ve 1300 g/cc yoğunluklu standart gama kaynakları için verim kalibrasyon eğrileri ve denklemleri

Verim hesaplaması için yapılan bu çalışmalardan sonra aktivitesi hesaplanacak enerji değeri için 700 g/cc ve 1300 g/cc yoğunluklarında iki farklı verim değeri elde edilmiştir. Toprak numunelerini içinde bulunduran 24 Marinelli kabının her birinin içerisinde ise birbirinden farklı yoğunluklarda toprak numuneleri bulunmaktadır. Bu yüzden her bir

Marinelli kabının içerisindeki toprak numunesinin yoğunluğu hesaplanmış ve bu yoğunluk değerleri izelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.6 Toprak numunelerinin net kutleleri ve yoğunlukları

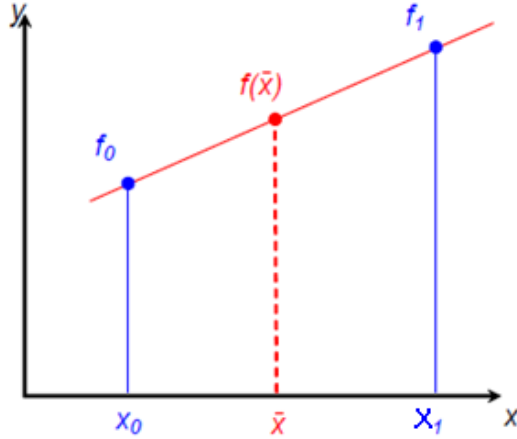
Numune No	ile	Net Kutle (g)	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )
1	İYİDERE	983,8	1,085
2	İYİDERE	963,809	1,209
3	DEREPAZARI	1204,166	1,303
4	DEREPAZARI	1032,3	0,954
5	RİZE MERKEZ	906	1,048
6	RİZE MERKEZ	1150,5	1,072
7	İKİZDERE	1412,7	1,320
8	İKİZDERE	1336,4	1,410
9	KALKANDERE	1073,6	1,079
10	KALKANDERE	1241	1,147
11	ÇAYELİ	1248,4	1,153
12	ÇAYELİ	1305	1,206
13	PAZAR	1212,6	1,120
14	PAZAR	1322,5	1,222
15	ARDEŞEN	1367	1,263
16	ARDEŞEN	1244,3	1,150
17	FINDIKLI	1338,1	1,236
18	FINDIKLI	1192,1	1,101
19	ÇAMLIHEMŞİN	686	1,116
20	ÇAMLIHEMŞİN	1020,3	1,280
21	HEMŞİN	1286,3	1,270
22	HEMŞİN	1254,9	1,159
23	GÜNEYSU	1048,9	1,108
24	GÜNEYSU	1187,9	1,097

İncelenen toprak numunesindeki yoğunluk değerlerine istenen enerjideki karşılık gelen verim değerlerinin bulunabilmesi için 700 g/cc - 1300 g/cc yoğunluklarına karşılık gelen



verim değerlerine, verim değeri bulunmak istenen yoğunluk için interpolasyon uygulanır. İnterpolasyon uygulanırken Eşitlik (3.6)'dan yararlanılmıştır.

$$f(x) = \left( \frac{f_0 \cdot x_1 - f_1 \cdot x_0}{x_1 - x_0} \right) + \left( \frac{f_1 - f_0}{x_1 - x_0} \right) \cdot x \quad (3.6)$$



Şekil 3.17 Doğrusal İnterpolasyon

İnterpolasyon işlemiyle numunenin yoğunluğuna uygun olan verim değeri bulunmuş olur. İstenen enerjiye karşılık gelen uygun verim değerinin bulunmasının ardından verim için hata hesabı yapılmıştır. Hata hesabı yapılırken Çizelge 3.3 ve Çizelge 3.4'de belirtilen standart kaynaklardaki enerjilere karşılık gelen verim değerleri (ölçülen verim), Çizelge 3.3 ve Çizelge 3.4'de belirtilen verim hata değerleriyle birlikte standart kaynaklardaki enerjiler Eşitlik 3.4 ve Eşitlik 3.5'de yerine yazılarak elde edilen verim (hesaplanan verim) değerleri arasında,

$$(\text{Hata})^2 = (\text{Verim Hata} \times (\text{Ölçülen Verim} - \text{Hesaplanan Verim}))^2 \quad (3.7)$$

denklemini uygulanarak her bir enerji için (hata)<sup>2</sup> değeri bulunmuştur. Tüm enerjiler için bulunan (hata)<sup>2</sup> değerleri toplanarak karekökleri alınmış ve 700 g/cc ve 1300 g/cc yoğunlukları için birer hata değeri bulunmuştur. Daha sonra bu iki yoğunluk değerine karşılık gelen hata değerleriyle birlikte Çizelge 3.6' da belirtilen her bir numunenin yoğunluğuna Eşitlik (3.6)'da belirtilen interpolasyon denklemini uygunlaştırmıştır ve bunun sonucunda tüm numunelerin yoğunluklarına karşılık gelen bağıl verim hata değerleri (%) bulunmuştur. Her bir toprak numunesi için aktivite hesabı yapılırken K-40, U-238, Th-232, Cs-137 radyonüklidlerinin hesaplanan enerjileri için aynı bağıl verim hata

değerleri (%) alınmıştır. Bağıl verim hata değerlerini (%), mutlak verim hata değerlerine ( $\pm$ ) çevirirken her bir toprak numunesi için aktivitesi hesaplanacak enerjiye karşılık gelen verim değeri ile bağıl verim hata değeri (%) çarpılmıştır.

### **Çay Numuneleri için Verim Kalibrasyonu (Disk Geometrisi)**

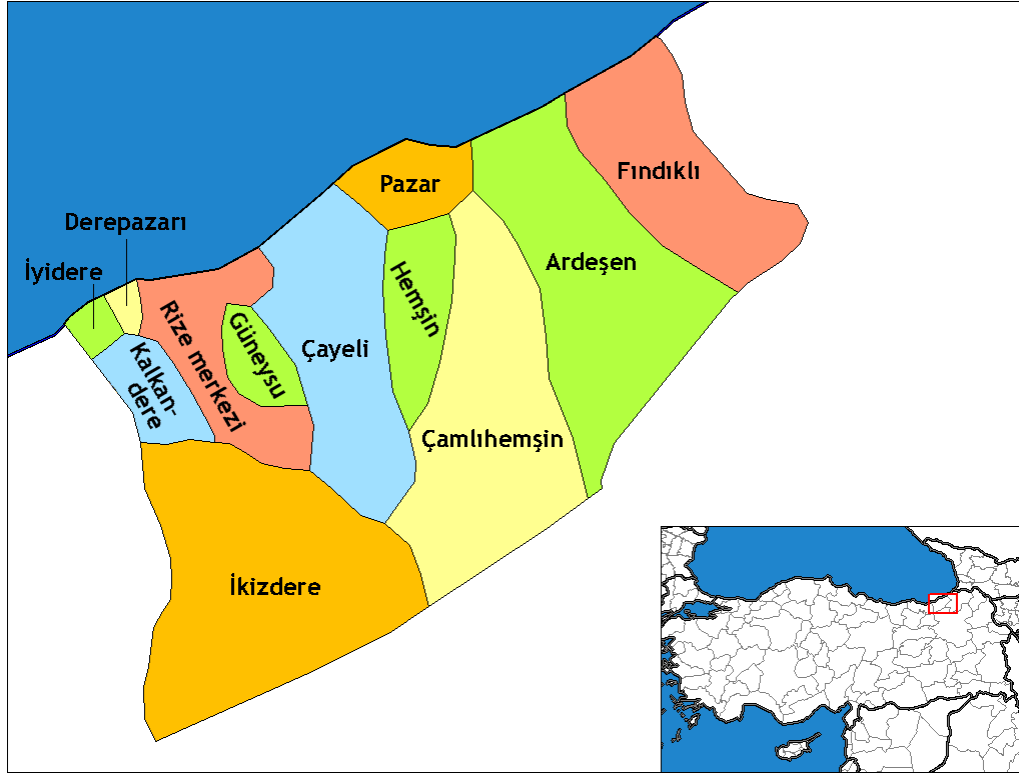
Çay numuneleri için yapılan verim hesaplamasında A. Hamzawy tarafından yapılan "Validation of analytical formula for the efficiency calibration of gamma detectors using coaxial and off-axis extended sources" çalışma referans alınmıştır. Çay verimi için yapılan hesaplamalarda Şekil 3.20'de görülen numune kaplarının ölçüleri kullanılmıştır ve tüm çay numune kapları ağzına kadar çay numuneleri ile dolu olduğundan tek bir yoğunluk için ROOT ve C Programlarıyla hesaplamalar yapılmıştır.

Çay numunelerinde sadece K-40 ve Cs-137 radyonüklidleri için aktivite hesaplaması gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle sadece bu iki radyonüklidin enerjilerine karşılık gelen verim değerleri hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda K-40 (1460.82 keV) için verim 0,0448641, Cs-137 (661,657 keV) için verim 0,066366 olarak bulunmuştur. Bu hesaplamalarda verim değerlerinin hatası binde bir gibi küçük bir değer olduğundan çay numuneleri için ihmal edilmiştir [23].

## **3.4 Numunelerin Elde Edilmesi ve Hazırlanması**

### **3.4.1 Çalışılan Bölgenin Coğrafi Yapısı**

Rize kuzeydoğu Anadolu'da; Doğu Karadeniz kıyı şeridinin doğusunda, 40°-22' ve 41°-28' doğu meridyenleri ile 40°-20' ve 41°-20' kuzey paralelleri arasında yer alan bir ildir. Batıdan Trabzon'un Of, güneyden Erzurum'un İspir, Doğudan Artvin'in Yusufeli ve Arhavi ilçeleri ile Kuzeyden Karadeniz tarafından çevrilidir. Rize'nin göller hariç yüzölçümü 3922 km<sup>2</sup> dir.



Şekil 3.18 Rize İlinin Türkiye’deki Yeri Ve İlçeleri[24]

Doğu Karadeniz kıyı sıradağlarının kuzey yamacında yer alan Rize toprakları dağlık ve engebeldir. Rize’nin topografik durumunda dikey yönde bazı farklılıklar gözükmemektedir. Bu nedenle Rize’nin topografyası üç bölümde incelenebilir.

#### **Kıyı Şeridi ve Alüvyon Düzlekler**

Ortalama 80 km uzunluğundaki kıyı şeridinin genişliği akarsu vadileri dışında ortalama 20-150 m. arasında değişmektedir. Bu şeridin en geniş düzlüklerini taban seviyesindeki ovalar oluşturur. Bu düzlükler tümüyle akarsuların getirdiği alüvyonlardan oluşur ve akarsuların denize kavuştuğu noktadan itibaren iç kısımlara doğru 500-600 metreye kadar taban seviyesi ovası şeklinde, 9-10 km’ye kadar ise taraça düzlükleri şeklinde uzanmaktadır. Bu düzlüklerin kıyı boyunca olan genişlikleri ise yaklaşık olarak 200 m ile 1000 m arasında değişmektedir. Rize kıyıları yüksek kıyılar sınıflandırmasına girmekte ve genellikle sade bir görünüş sergilemektedir. Kıyı çizgisi küçük boyutlu, asimetrik girinti ve çıkıntılardan oluşmaktadır. Kıyıda 5- 25 m, bazen 150 m. uzaklıkta ve boyutları 5–10–15 m arasında, geniş ölçüde tahrip edilmiş, taraça ve falezlere rastlanmaktadır.

### **Derin Vadilerle Yarılmış Dağlık Saha**

Topografyanın kıyı düzlüğünün hemen gerisinde yükselti 150–200 m'yi bulmaktadır. Buradan itibaren arazi, giderek daralan akarsuların sayısız kolları araziye şiddetle aşındırmıştır. Keskin ve birbirine yakın sırtlar, dik yamaçlı V profilli vadiler, yaklaşık 2000 m yüksekliğe kadar olan bu bölgenin karakteristik topografik görünüşünü oluşturmaktadır.

### **Yüksek Dağlık Saha ve Buzul Topografyası**

2000 m yükseklikten başlayan ve bölgenin 3000-3200 m yüksekliğe kadar olan kısımlarında topografya basık sırtlar, dik yamaçlı U profilli vadilerden oluşmaktadır. Bu bölümde çok sayıda küçük boyutlu buz yalağı ve moren set gölleri mevcuttur. Bu bölgenin yüksekliği 3000 m'yi aşan kısımları Rize'nin en sarp kısımlarını oluşturmaktadır. Geniş ölçüde çıplak ve tamamen kayalık zirveler ile bunların arasındaki keskin sırtların yamaçları insanın gezmesini engelleyecek kadar diktir. Rize'nin en yüksek noktalarını bu sırtlar arasındaki zirveler oluşturmaktadır.

Üzerinde buzul bulunan ve Rize topraklarının en yüksek noktası olan Kaçkar Tepesi (3937 m) ile Verçenik (üç doruk) Tepesi (3709 m), Koyun sokağı Vacakar dağı (3458 m), Çaymakçur Tepesi (3420 m), Marsis Tepesi (3334 m) ve Aşağı Karataş Tepesi (3322 m) bu zirvelerden bazılarıdır. Bu zirvelerin bulunduğu topografya Fındıklı ilçe merkezinin güneyinden itibaren sarplığını ve yüksekliğini kaybetmeye başlamaktadır [25].

Rize'nin topografik yapısı çok engebeli olmakla beraber subtropikal iklim özelliklerine sahiptir. Bu nedenle monokültür (bir bitkinin bir bölgede çok uzun yıllar yetiştirilmesi) özellik gösteren çay bölgede hakim bitkidir. Rize'nin toprakları çay ziraatından dolayı asidik özelliktedirler fakat çay üretimine uygundur. Rize ilinin tarım arazilerinin büyük bir bölümü (%85) çay ve fındık tarımı için ayrılmıştır. Bu nedenle, çay ilin en önemli tarımsal ürünüdür ve ülke çay üretiminin %60'ı Rize'den karşılanmaktadır [24].

#### **3.4.2 Numunelerin Toplanması**

Doğal radyasyon ölçümü yapılacak olan toprak numuneleri Rize ili Derepazarı, İyidere, Rize Merkez, İkizdere, Kalkandere, Çayeli, Pazar, Ardeşen, Fındıklı, Çamlıhemşin,

Hemşin, Güneysu ilçelerinden bölgelerin koordinatları belirlenerek her ilçeden ikişer numune alınarak toplam 24 tane toprak numunesi temin edilmiştir. Çay örnekleri ise Güneysu, Ardeşen, Kalkandere, Derepaşarı, İyidere ilçelerinden ikişer tane, Fındıklı ilçesinden birer tane olmak üzere bölgelerin koordinatları belirlenerek toplam 11 tane çay numunesi temin edilmiştir. Çay ve toprak numunelerinin temin edildiği koordinatlar Çizelge 3.7 ve Çizelge 3.8’de belirtilmiştir.

Çizelge 3.7 Toprak numunelerinin temin edildiği koordinatlar ve yükseklik

Örnek No	İlçe	N	E	Yükseklik(m)
1. Örnek	İYİDERE	41° 0' 50,9"	40° 22' 16,6"	120
2. Örnek	İYİDERE	41° 0' 35,7"	40° 22' 17,2"	129
3. Örnek	DEREPAZARI	41° 1' 29,4"	40° 23' 44,0"	49
4. Örnek	DEREPAZARI	41° 1' 11,8"	40° 23' 21,8"	196
5. Örnek	RİZE MERKEZ	41° 1' 15,1"	40° 30' 40,4"	107
6. Örnek	RİZE MERKEZ	41° 2' 1,8"	40° 28' 25,9"	31
7. Örnek	İKİZDERE	40° 51' 45,5"	40° 28' 7,9"	200
8. Örnek	İKİZDERE	40° 47' 0,3"	40° 36' 31,3"	776
9. Örnek	KALKANDERE	40° 57' 37,1"	40° 24' 26,9"	75
10. Örnek	KALKANDERE	40° 56' 20,7"	40° 25' 50,5"	122
11. Örnek	ÇAYELİ	41° 6' 0,6"	40° 44' 16,2"	19
12. Örnek	ÇAYELİ	41° 7' 25,4"	40° 45' 33,5"	35
13. Örnek	PAZAR	41° 10' 27,5"	40° 51' 7,1"	34
14. Örnek	PAZAR	41° 10' 57,6"	40° 53' 40,1"	19
15. Örnek	ARDEŞEN	41° 11' 38,6"	40° 58' 50,7"	16
16. Örnek	ARDEŞEN	41° 11' 37,6"	41° 0' 16,1"	63
17. Örnek	FINDIKLI	41° 15' 15,5"	41° 7' 18,1"	5
18. Örnek	FINDIKLI	41° 16' 55,1"	41° 9' 30,8"	26
19. Örnek	ÇAMLIHEMŞİN	41° 2' 24,1"	41° 2' 16,4"	303
20. Örnek	ÇAMLIHEMŞİN	41° 3' 10,5"	41° 0' 9,7"	204
21. Örnek	HEMŞİN	41° 4' 0,9"	40° 53' 35,9"	264
22. Örnek	HEMŞİN	41° 2' 41,7"	40° 54' 7,4"	348
23. Örnek	GÜNEYSU	40° 59' 2,6"	40° 36' 37,7"	151
24. Örnek	GÜNEYSU	40° 58' 13,1"	40° 37' 24,2"	212

Çizelge 3.8 Çay numunelerinin temin edildiği koordinatlar ve yükseklik

Örnek No	İlçe	N	E	Yükseklik(m)
1. Örnek	İYİDERE	41° 0' 50,9"	40° 22' 16,6"	120
2. Örnek	İYİDERE	41° 0' 35,7"	40° 22' 17,2"	129
3. Örnek	DEREPAZARI	41° 1' 29,4"	40° 23' 44,0"	49
4. Örnek	DEREPAZARI	41° 1' 11,8"	40° 23' 21,8"	196
5. Örnek	KALKANDERE	40° 57' 37,1"	40° 24' 26,9"	75
6. Örnek	KALKANDERE	40° 56' 20,7"	40° 25' 50,5"	122
7. Örnek	ARDEŞEN	41° 11' 37,6"	41° 0' 16,1"	63
8. Örnek	ARDEŞEN	41° 9' 6,2"	41° 0' 13,4"	82
9. Örnek	FINDIKLI	41° 16' 55,1"	41° 9' 30,8"	26
10. Örnek	GÜNEYSU	40° 59' 2,6"	40° 36' 37,7"	151
11. Örnek	GÜNEYSU	40° 58' 13,1"	40° 37' 24,2"	212

### 3.4.3 Toprak Numunelerinin Ölçüme Hazırlanması

Alınan toprak ve çay numuneleri üniversitemizin Nükleer Fizik Laboratuvarına getirilmiştir. Numuneler nemli olduklarından dolayı yaklaşık 1 ay süreyle kuruması amaçlı bekletilmiştir. Bekleme süreci bitiminde kuruyan ve kitle halinde olan toprak numuneleri metal bir plaka ile ezilerek toz haline getirilmiştir. Ezilen ve toz haline gelen toprak parçalarının homojen ve eş büyüklükte olması için 300 mikronluk elekten elenmiştir. Elekten geçirilirken toprak içerisindeki kök parçaları, dal parçaları, taş gibi ürünler ayıklanmıştır. Elek aracılığı ile elenemeyen parçacıkların yok edilmesi amacıyla toprak numuneleri fırınlanmıştır. Fırınlanma süreci için öncelikle uygun sıcaklık belirlenmeye çalışılmıştır. Bunun için uygun sıcaklığın 250°C-350°C olduğu belirlenmiştir. Belirlenen sıcaklıkta fırınlanan numune ertesi gün aynı saatlerde fırından alınmıştır. Bu süreç her toprak numunesi için tekrarlanmıştır.

Bir gün süreyle fırınlanan toprak numunesi soğuması amacı ile bir gün daha kapalı fırın içerisinde bekletilmiştir. Soğuyan toprak numunesi sonraki günlerde fırından alınmıştır. Toprak numunesinin net ağırlığını belirlemek amacı ile önce boş sayım kabının ağırlığı belirlenmiş sonrasında ise sayım kabının içerisine toprak numunesi yerleştirilerek toplam ağırlığı belirlenmiştir. Belirlenen bu ölçümler not edilerek toprağın net ağırlığı hesaplanmıştır. Toprak numunesi sayım kabına yerleştirildikten sonra kabın kapağı

sıkıca kapatılıp radon gazı çıkışına karşın parafilm ile kaplanmıştır. Ağırlıkları ölçülen toprak numuneleri içinde bulunan radon gazının dengeye gelmesi amacı ile yaklaşık olarak 20-30 günlük bekleme sürecine alınmıştır.



Şekil 3.19 Bekleme sürecine alınan toprak numuneleri

#### 3.4.4 Çay Numunelerinin Ölçüme Hazırlanması

Laboratuvar ortamına getirilen ve kuruması için bekletilen çay numuneleri öncelikle infrared lamba altında yaklaşık olarak 2-3 saat yakın mesafede bekletilerek kurutulmuştur. İnfrared lamba altında yeterince kurumadığı görülen ve içerisinde bolca kalın dal parçaları içeren numuneler 100°C-150°C sıcaklıkta yaklaşık olarak bir saat süreyle fırınlanmıştır. İnfrared ve fırın aracılığı ile kurutulan numuneler bir günlük soğuma süresine alınmıştır. Sonraki günlerde istenilen hale gelen çay numunesi seramik havanda ezilerek toz haline getirilmiştir. Nükleer Fizik Laboratuvarında bulunan analizimize uygun  $8,605 \pm 0,005$  cm çaplı ve 1,59 cm yükseklikli ölçüm kabına alınmadan önce yine net ağırlığın belirlenmesi amacı ile boş analiz kabı ölçülmüştür. Sonrasında hazır hale getirilen çay numunesi ölçüm kabına yerleştirilmiş ve ölçüm

kabının ağız sıkıca parafilm ile sarılmıştır. Numunenin toplam ağırlığı da ölçülerek not edilmiş ve net ağırlık hesaplanmıştır. Toprak numunelerinde olduğu gibi çay numuneleri de 20-30 günlük bekleme sürecine alınmıştır.



Şekil 3.20 Bekleme sürecine alınan çay numuneleri

Böylelikle toprak ve çay numuneleri sayıma hazır hale getirilmiştir.

### 3.5 Toprak ve Çay Numunelerinin Sayımı

Çalışmamızın temeli toprak örneklerinde K-40, U-238, Th-232 doğal radyonüklidlerinin aktivite konsantrasyonlarını ölçmeye dayandığından burada ilk olarak hangi enerji değerleri üzerinden ölçüm yapılması gerektiği incelenmiştir. Gama sayım sisteminde yapılan ölçümlerde K-40'ın aktivite konsantrasyonu, tek gama enerjisi olan 1460,822 keV üzerinden ölçülmüştür. U-238 ve Th-232 radyonüklidlerinin aktiviteleri düşük olduğundan bunların gama enerjileri üzerinden tayini oldukça güçtür. Bu nedenle U-238 ve Th-232 radyonüklidlerinin aktivite konsantrasyonları bu bozunum serilerinde ortaya çıkan kız ürünlerin enerjileri üzerinden tayin edilmiştir. Bu



enerjiler U-238 için 186,211 keV (Ra-226), ve Th-232 için 964,766 ve 968,971 keV (Ac-228) gama enerjileridir.

Toprak örneklerinde Cs-137'nin aktivite konsantrasyonu 661,657 keV enerjisi için ölçülmüştür.

Çizelge 3.9 Toprak örneklerinde aktivitesi hesaplanan radyonüklidler

<b>Radyonüklid</b>	<b>Enerji</b>
U-238	186,211 keV (Ra-226)
Th-232	964,766 ve 968,971 keV (Ac-228)
K-40	1460,822 keV
Cs-137	661,657 keV

Çay örneklerinde ise K-40 (1460,822 keV) ve Cs-137 (661,657 keV) için aktivite konsantrasyonu hesaplanması kararlaştırılmıştır.

Çizelge 3.10 Çay örneklerinde aktivitesi hesaplanan radyonüklidler

<b>Radyonüklid</b>	<b>Enerji</b>
K-40	1460,822 keV
Cs-137	661,657 keV

Enerji kalibrasyonu yapıldıktan sonra öncelikle çay numunelerinin ölçümünün alınması amaçlanmıştır. Çay ve toprak numunelerinin ölçümü alınmaya başlamadan önce background ölçümü alınmıştır. Background ölçümü alınmasındaki temel amaç ortamın ölçüm üzerindeki etkisinin belirlenmesidir ve içerisinde çay bulunmayan ölçüm kabının detektöre yerleştirilmesiyle ölçüm alınarak tespit edilmiştir. Her bir çay ve toprak numunesi toplamda 172800 saniye yani 2 gün ölçülürken bir background 345600 saniye yani 4 gün ölçülmüştür. Background ölçümü, çay ölçümleri alınmaya başladıktan sonra belli aralıklarla tekrarlanmıştır. Maestro programı yardımıyla alınan çay ölçümleri foto pik alanı altındaki sayımların daha sonra aktiviteleri hesaplanmak üzere kaydedilip

analize hazır hale getirilmiştir. Benzer işlemler toprak numuneleri içinde tekrarlanmıştır.

Çay ve toprak numuneleri böylelikle analize hazır hale getirilmiştir.

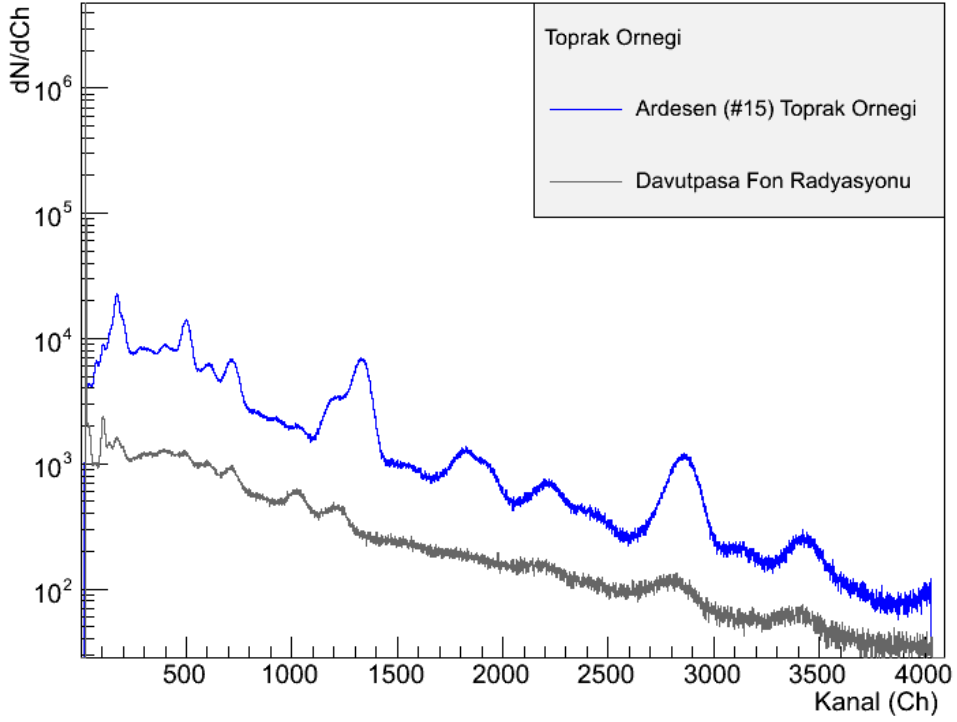
### **3.6 Spektrumların Analizi**

#### **3.6.1 Toprak Spektrumlarının Analizi**

Analize hazır hale getirilen toprak numunelerinin net spektrumlarının elde edilebilmesi için öncelikle toprak numunelerinden 2 kat fazla süre ile sayılan background (fon radyasyonu) spektrumu toprak spektrumlarından çıkarılmıştır. Burada kullanılan background spektrumları, 24 adet toprak numunesinin sayımına başlanmadan bir tane, 12. numunenin sayımından sonra bir tane, 24. numunenin sayımından sonra bir tane olmak üzere 3 tanedir. 1-12 toprak spektrumlarından ilk iki background spektrumunun ortalaması, 13-24 toprak spektrumlarından ise son iki background spektrumunun ortalaması çıkarılarak net toprak spektrumları elde edilmiştir. Backgroundların ortalamasının alınması ve toprak spektrumlarından çıkartılarak net toprak spektrumlarının elde edilmesi Theia Programı ile gerçekleştirilmiştir ve net toprak spektrumları Ek-A'da verilmiştir.

Toprak spektrumlarının üzerinde inceleme yapmak amacıyla 15 nolu toprak örneği seçilmiştir. 15 nolu toprak spektrumu ve bu spektruma uygulanan ortalama background spektrumu Şekil 3.21'de gösterilmiştir.

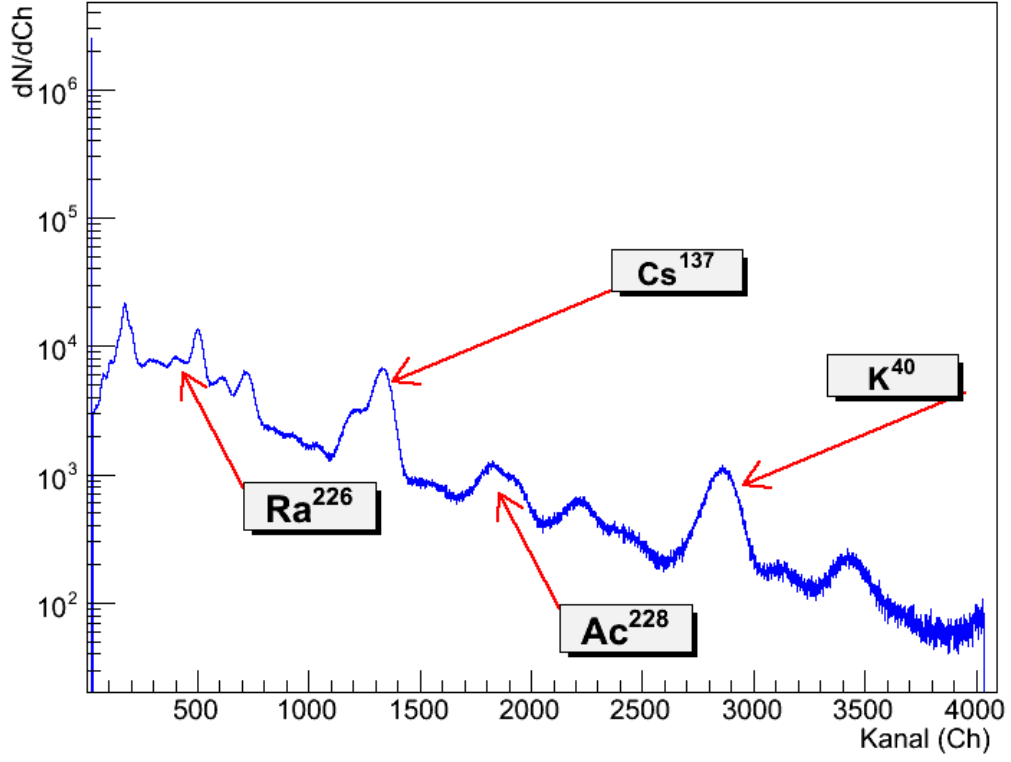
## 15 Nolu Toprak Ornegi



Şekil 3.21 15 nolu toprak örneği ve background spektrumu

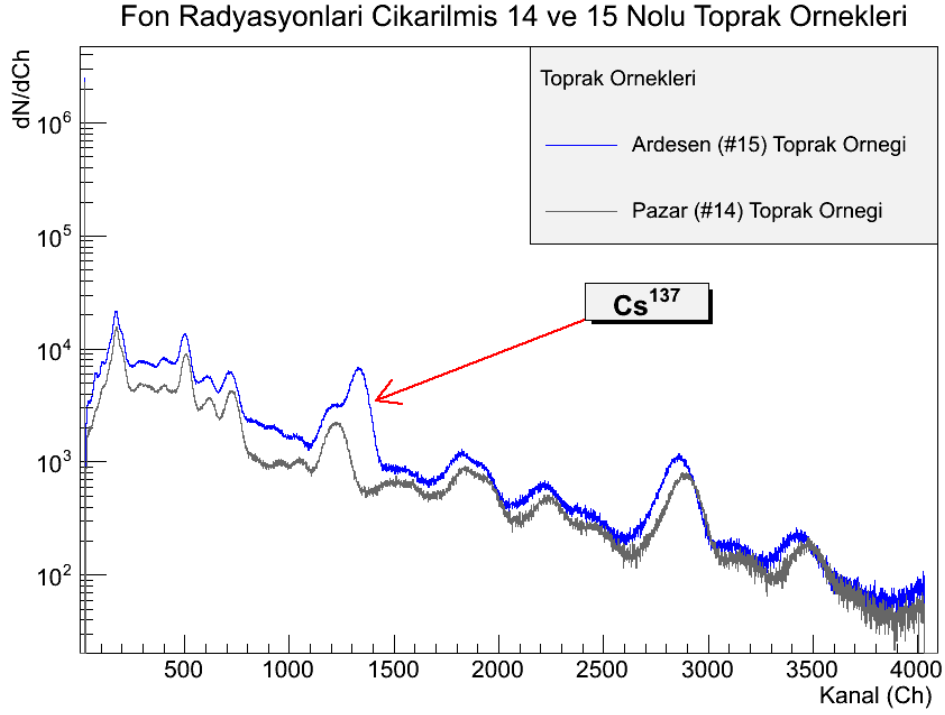
15 nolu toprak spektrumundan uygun background ortalaması çıkartılarak net toprak spektrumu elde edilmiştir. 15 nolu net toprak spektrumu Şekil 3.22’de gösterilmektedir. Şekil 3.22’de spektrum üzerinde U-238 için 186,211 keV (Ra-226), Th-232 için 964,766 ve 968,971 keV (Ac-228), Cs-137 için 661,657 keV, K-40 için 1460,822 keV pikleri belirtilmiştir. Bunların seçilmesindeki temel sebep bu pikler üzerinden aktivite değerlerinin daha doğru analiz yapılabileceğinin düşünülmesidir.

### Fon radyasyonu Cikarilmis 15 Nolu Toprak Ornegi



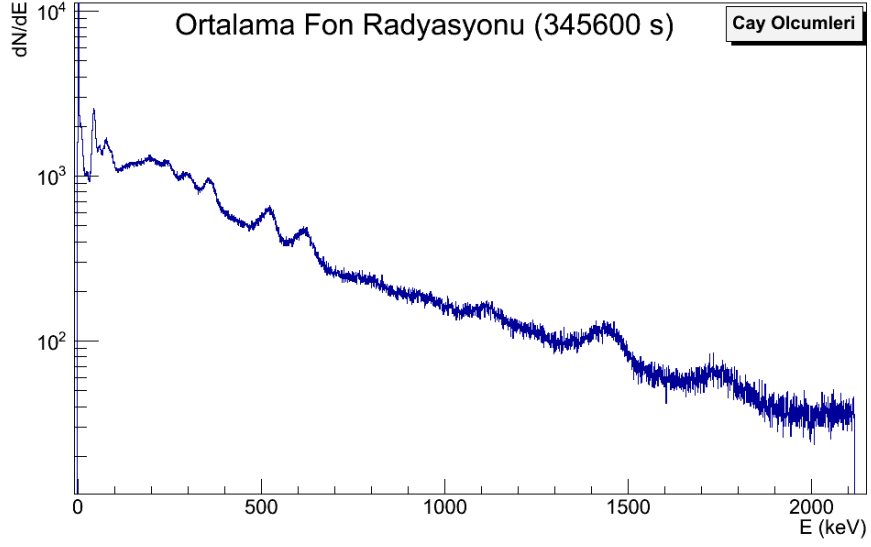
Şekil 3.22 15 nolu toprak numunesi üzerinde Cs–137, Ra–226, Ac–228, K–40 piklerinin gösterilmesi

Toprak spektrumları üzerinde önemli olan yapay çevresel Cs–137 radyonüklidinin analizidir. Cs–137 varlığının gösterilmesi amacıyla 14. ve 15. net toprak spektrumları karşılaştırılmıştır. Şekil 3.23’de bu karşılaştırma görülmektedir ve burada 15. toprak spektrumundaki Cs–137 varlığı net bir şekilde görülmektedir.



### 3.6.2 Çay Spektrumlarının Analizi

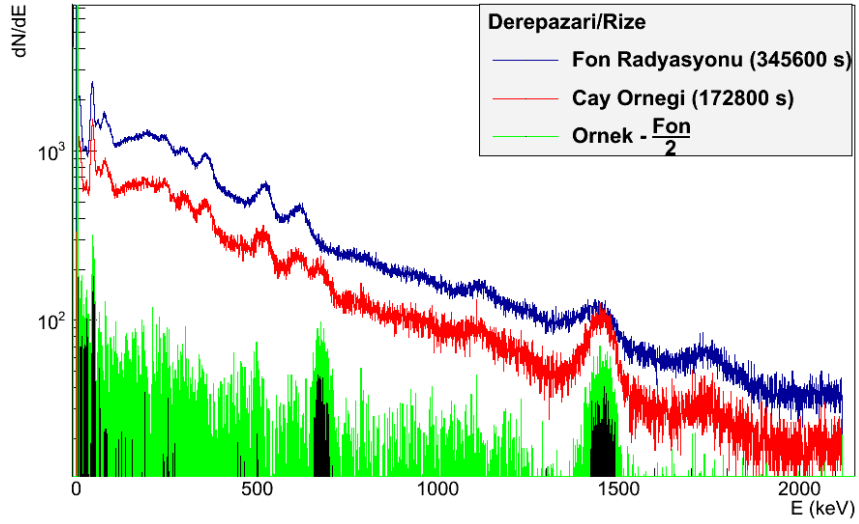
Toprak numunelerine yapıldığı gibi çay numunelerinde de benzer işlemler yapılmıştır. Analize hazır hale getirilen çay numunelerinin net spektrumlarının elde edilebilmesi için öncelikle çay numunelerinden 2 kat fazla süre ile sayılan background (fon radyasyonu) spektrumu çay spektrumlarından çıkarılmıştır. Burada kullanılan background spektrumları çay ölçümleri alınmadan önce ve çay ölçümleri alındıktan sonra olmak üzere iki tanedir. Yine Theia Programı yardımıyla Şekil 3.24’de gösterildiği gibi iki backgroundun ortalaması alınmış ve çay spektrumlarından bu background ortalaması çıkartılarak net çay spektrumları oluşturulmuştur. Net çay spektrumları Ek-B’de verilmiştir.



Şekil 3.24 Çay spektrumları için background ortalaması

Çay spektrumlarının üzerinde inceleme yapmak amacıyla 3 nolu çay örneği seçilmiştir. 3 nolu çay spektrumu, bu spektruma uygulanan ortalama background spektrumu ve 3 nolu çay örneğine ait net spektrum Şekil 3.25’de gösterilmiştir.

### 3 nolu Çay Örneği



Şekil 3.25 3nolu çay örneğine ait spektrum incelemesi

Çay spektrumlarında Cs-137 (661,657 keV), K-40 (1460,822 keV) radyonüklidleri için aktivite hesaplaması yapılmıştır. Şekil 3.25’de bu iki radyonüklide ait pikler ve alan net bir şekilde görülmektedir. Burada yeşil renk ile belirtilen spektrum, backgroundu çıkarılmış net çay spektrumudur ve üzerinde 1500 keV’lik enerji bölgesinde görülen pik

K-40 radyonüklidinde aitken, 500 keV'in ilerisinde görülen pik Cs-137 radyonüklidinde aittir.

### 3.7 Hesaplamalar ve Sonuçlar

#### 3.7.1 Toprak Spektrumları için Aktivite Hesabı

İncelenen toprak örneklerinde, U-238, Th-232, K-40 doğal radyonüklidleri ve Cs-137 yapay radyonüklidi için aktivite değerleri hesaplandı. Aktivitelerin hesaplanmasında 2. bölümde bulunan aktivite denklemi (Eşitlik 2.14) kullanıldı. Burada P pik altında kalan alan, ilgilenilen enerjideki detektör verimine ( $\epsilon$ ), radyonüklidin yayınlanma olasılığına ( $f_y$ ), sayım süresine (t) ve örneğin net kütlesine (m) bölünerek aktivite hesaplanmıştır. U-238 için 186,211 keV (Ra-226), Th-232 için 964,766 ve 968,971 keV (Ac-228), Cs-137 için 661,657 keV, K-40 için 1460,822 keV gama enerjilerine göre aktivite hesaplamaları toprak numuneleri için yapılmıştır.

Toprak numuneleri için yapılan aktivite hesaplamalarında kullanılan verim ve verim hata değerlerinin nasıl elde edildiği yukarıdaki verim kalibrasyonları başlığı altında anlatılmış ve sonuçları hesaplanan her gama enerjisi için aşağıdaki çizelgede belirtilmiştir. Toprak numunelerinin net kütleleri Çizelge 3.6'da verilmiştir.

1 numaralı toprak örneğinde K-40 elementinin aktivite hesabı örnek olarak aşağıda anlatılmıştır.

Bölüm 2'de belirtilen  $A = \frac{P}{\epsilon \cdot f_y \cdot t \cdot m}$  aktivite denkleminde; 1460,822 keV enerjisinde alınan pik altında kalan alan P=125578, detektör verimi  $\epsilon=0.0277$ , yayınlanma olasılığı  $f_y=0.1066$ , sayım süresi  $t=172632.78$  saniye ve 1 numaralı toprak örneğinin net kütlesi  $m=0.9838$  kg yerine yazılarak,

$$A = \frac{(125578)}{(0.0277) \cdot (0.1066) \cdot (172632.78) \cdot (0.9838)}$$

$A = 250.8$  Bq/kg olarak bulunur.

Eşitlik (2.14)'de belirtilen aktivite denklemindeki katı açılı ihmal edilmiştir. Çünkü verim hesaplamalarında ve örneklerin ölçümlerinde aynı geometriye sahip Marinelli kapları kullanıldığından katı açının hesaba katılmasına gerek duyulmamıştır.

Aktivitenin hesaplanmasının ardından aktivitedeki hata hesabı yapılmıştır.

$$\frac{\sigma_A}{A} = \left( \left( \frac{\sigma_\varepsilon}{\varepsilon} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_P}{P} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_m}{m} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_{f_Y}}{f_Y} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_t}{t} \right)^2 \right)^{1/2} \quad (3.8)$$

Aktivitenin hata hesabı yapılırken Eşitlik (3.8) kullanılmıştır.

Buradaki tüm hatalar ( $\pm$ ) değerlerdir. Verimin hatası  $\sigma_\varepsilon=0.00055$ , net alanın hatası  $\sigma_P=1189.83$ , kütlenin hatası  $\sigma_m=0,1$  (tartının hassasiyeti 0,1'dir), yayınlanma olasılığının hatası  $\sigma_{f_Y}=0.0018$ , zamanın hatası  $\sigma_t=1$  (saniyede yapılan hata olarak hesaplanmıştır) ve yukarıda belirtilen verim( $\varepsilon$ ), net alan (P), yayınlanma olasılığı ( $f_Y$ ), sayım süresi (t), kütle (m) değerleri Eşitlik (3.8)'de yerine yazılarak  $\sigma_A/A$  yani aktivite hatasının yüzdesi (bağıl hata),  $\frac{\sigma_A}{A}=0.0277$  olarak bulunur.

Aktivite hatasını ( $\pm$ ) olarak yazmak için bulunan aktivite değeriyle yüzde aktivite değerini çarpmak gerekmektedir. Yani yukarıdaki eşitlik  $\sigma_A=A \cdot 0,0277$  şekline getirilir. Bu işlem yapılırsa, aktivitenin ( $\pm$ ) hatası  $\sigma_A=250,786 \cdot 0,0277=6,9$  olarak bulunur.

Aynı işlemler diğer toprak numuneleri ve diğer nüklidler içinde uygulanıp hesaplamalar yapılmıştır. Bu hesaplamaların sonuçları aşağıdaki tablolarda belirtilmiştir.

Sonuç ve Öneriler (4.bölüm) kısmında ilçelerdeki aktiviteler radyonüklid bazında karşılaştırmalı olarak histogram şeklinde verilmiştir.



Çizelge 3.11 K-40 için toprak örneklerinde aktivite sonuçları

Numune No	Net Alan (P)	Verim (ε)	Yayınlanma Olasılığı (f <sub>γ</sub> )	Zaman (t) (live)	Aktivite (Bq/kg)	Aktivite Hata (±)
1	125578	0,0277	0,1066	172632,78	250,8	6,9
2	275326	0,0268	0,1066	172691,6	579,3	16,3
3	383483	0,0261	0,1066	172664,8	662,3	19,5
4	127569	0,0286	0,1066	172698,32	234,9	6,3
5	85151,9	0,0279	0,1066	172509,12	183,1	5,8
6	78425,2	0,0278	0,1066	172642,12	133,5	4,2
7	295325	0,0260	0,1066	172628,98	436,8	12,9
8	510830	0,0254	0,1066	172465,76	819,4	25,5
9	366102	0,0277	0,1066	172599,24	669,0	17,6
10	92249,1	0,0272	0,1066	172667,64	148,3	4,2
11	138449	0,0272	0,1066	172720,32	221,6	6,1
12	36264,2	0,0268	0,1066	172728,04	56,3	1,8
13	138830	0,0274	0,1066	172720,92	226,9	6,1
14	85321,3	0,0267	0,1066	172695,02	131,3	3,8
15	126759	0,0264	0,1066	172647,3	190,8	5,6
16	10891,2	0,0272	0,1066	172730,84	17,5	0,9
17	99154,8	0,0266	0,1066	172718,3	151,3	4,4
18	83959,8	0,0275	0,1066	172664,34	138,9	3,8
19	175306	0,0274	0,1066	172664,78	505,9	13,6
20	280010	0,0263	0,1066	172682,96	567,1	16,5
21	43870,8	0,0264	0,1066	172701,26	70,3	4,3
22	54966,9	0,0271	0,1066	172718,54	87,7	2,5
23	173374	0,0275	0,1066	172681,52	326,6	8,8
24	256514	0,0276	0,1066	172642,78	425,6	11,3
5 Kontrol	46756,9	0,0279	0,1066	86215	201,1	5,5
12Kontrol	20430,3	0,0268	0,1066	86326	63,5	2,0
21Kontrol	26215,2	0,0264	0,1066	86313	84,0	2,6

Çizelge 3.12 K-40 için toprak örneklerinde aktivite hata sonuçları

Numune No	±Net Alan Hata( $\sigma_p$ )	±Verim Hata ( $\sigma_\epsilon$ )	±Yayınlanma Olasılığı Hata ( $\sigma_f$ )	±Zaman Hata( $\sigma_t$ )	±Kütle Hata ( $\sigma_m$ )	Aktivite Hata (%)
1	1189,83	0,0005	0,0018	1	0,1	0,028
2	1115,39	0,0006	0,0018	1	0,1	0,028
3	1227,28	0,0006	0,0018	1	0,1	0,029
4	1388,64	0,0005	0,0018	1	0,1	0,027
5	1583,37	0,0005	0,0018	1	0,1	0,032
6	1438,39	0,0005	0,0018	1	0,1	0,032
7	1129,88	0,0006	0,0018	1	0,1	0,030
8	1859,24	0,0007	0,0018	1	0,1	0,031
9	1320,75	0,0005	0,0018	1	0,1	0,026
10	763,214	0,0006	0,0018	1	0,1	0,028
11	744,915	0,0006	0,0018	1	0,1	0,028
12	573,866	0,0006	0,0018	1	0,1	0,032
13	718,102	0,0006	0,0018	1	0,1	0,027
14	681,551	0,0006	0,0018	1	0,1	0,029
15	831,441	0,0006	0,0018	1	0,1	0,029
16	456,292	0,0006	0,0018	1	0,1	0,050
17	617,177	0,0006	0,0018	1	0,1	0,029
18	707,989	0,0006	0,0018	1	0,1	0,028
19	819,237	0,0006	0,0018	1	0,1	0,027
20	952,738	0,0006	0,0018	1	0,1	0,029
21	2378,48	0,0006	0,0018	1	0,1	0,061
22	553,211	0,0006	0,0018	1	0,1	0,029
23	804,861	0,0006	0,0018	1	0,1	0,027
24	1057,05	0,0006	0,0018	1	0,1	0,027
5 Kontrol	454,635	0,0005	0,0018	1	0,1	0,027
12Kontrol	322,149	0,0006	0,0018	1	0,1	0,032
21Kontrol	306,242	0,0006	0,0018	1	0,1	0,031

Çizelge 3.13 U-238 (Ra-226) için toprak örneklerinde aktivite sonuçları

Numune No	Net Alan (P)	Verim (ε)	Yayınlanma Olasılığı (f <sub>γ</sub> )	Zaman (t) (live)	Aktivite (Bq/kg)	Aktivite Hata (±)
1	39038,4	0,1357	0,0364	172632,78	46,5	2,3
2	14014,8	0,1347	0,0364	172691,6	17,2	1,4
3	25408,7	0,1340	0,0364	172664,8	25,1	2,8
4	18217,6	0,1367	0,0364	172698,32	20,5	1,6
5	37960,9	0,1360	0,0364	172509,12	49,1	1,9
6	46254	0,1358	0,0364	172642,12	47,1	2,9
7	30674,5	0,1339	0,0364	172628,98	25,8	2,1
8	30508,9	0,1332	0,0364	172465,76	27,3	1,9
9	27123,8	0,1357	0,0364	172599,24	29,6	2,3
10	19120,8	0,1352	0,0364	172667,64	18,1	1,4
11	7664,08	0,1352	0,0364	172720,32	7,2	0,8
12	18390,4	0,1348	0,0364	172728,04	16,6	2,2
13	17372,3	0,1354	0,0364	172720,92	16,8	3,7
14	48852,9	0,1346	0,0364	172695,02	43,6	4,0
15	43869,6	0,1343	0,0364	172647,3	38,0	2,1
16	6215,38	0,1352	0,0364	172730,84	5,9	0,8
17	11107	0,1345	0,0364	172718,3	9,8	1,6
18	23263	0,1355	0,0364	172664,34	22,9	1,5
19	13564,2	0,1354	0,0364	172664,78	23,2	2,2
20	10494,6	0,1342	0,0364	172682,96	12,2	1,2
21	15454,6	0,1343	0,0364	172701,26	14,2	2,6
22	12581,7	0,1351	0,0364	172718,54	11,8	1,1
23	11885	0,1355	0,0364	172681,52	13,3	1,2
24	26994,5	0,1356	0,0364	172642,78	26,7	1,7
5 Kontrol	19575,3	0,1360	0,0364	86215	50,6	4,0
12Kontrol	8961,72	0,1348	0,0364	86326	16,2	2,3
21Kontrol	4712,18	0,1343	0,0364	86313	8,7	1,2

Çizelge 3.14 U–238 (Ra–226) için toprak örneklerinde aktivite hata sonuçları

Numune No	±Net Alan Hata( $\sigma_p$ )	±Verim Hata ( $\sigma_\varepsilon$ )	±Yayınlanma Olasılığı Hata ( $\sigma_f$ )	±Zaman Hata( $\sigma_t$ )	±Kütle Hata ( $\sigma_m$ )	Aktivite Hata (%)
1	1686,61	0,0027	0,0004	1	0,1	0,049
2	1073,01	0,0030	0,0004	1	0,1	0,080
3	2785,11	0,0032	0,0004	1	0,1	0,113
4	1408,33	0,0024	0,0004	1	0,1	0,080
5	1234,06	0,0026	0,0004	1	0,1	0,039
6	2710,3	0,0027	0,0004	1	0,1	0,063
7	2404,66	0,0032	0,0004	1	0,1	0,083
8	2053,12	0,0034	0,0004	1	0,1	0,073
9	2009	0,0027	0,0004	1	0,1	0,077
10	1442,87	0,0028	0,0004	1	0,1	0,079
11	802,527	0,0029	0,0004	1	0,1	0,107
12	2411,68	0,0030	0,0004	1	0,1	0,133
13	3804,81	0,0028	0,0004	1	0,1	0,220
14	4339,2	0,0030	0,0004	1	0,1	0,092
15	2171,92	0,0031	0,0004	1	0,1	0,056
16	793,819	0,0028	0,0004	1	0,1	0,130
17	1788,86	0,0030	0,0004	1	0,1	0,163
18	1386,62	0,0027	0,0004	1	0,1	0,064
19	1216,6	0,0028	0,0004	1	0,1	0,093
20	1010,52	0,0031	0,0004	1	0,1	0,100
21	2775,79	0,0031	0,0004	1	0,1	0,181
22	1104,09	0,0029	0,0004	1	0,1	0,091
23	1031,21	0,0027	0,0004	1	0,1	0,090
24	1605,06	0,0027	0,0004	1	0,1	0,064
5 Kontrol	1501,91	0,0026	0,0004	1	0,1	0,080
12Kontrol	1225,58	0,0030	0,0004	1	0,1	0,139
21Kontrol	646,445	0,0031	0,0004	1	0,1	0,140

Th–232 için aktivite hesaplamalarını yapmak amacıyla seçilen pik içerisinde (Ac–228) için iki farklı enerjide iç içe geçmiş tek bir pik görünmektedir. Şekil 3.24’de iç içe geçen

Ac-228 pikleri net olarak görülmektedir. Bu iki pikin aktivitesi birlikte hesaplanacağından Çizelge 3.15’de verilen işlemler gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3.15 228Ac (964.766keV) ve 228Ac (968.971keV) için verim x gama olasılığı hesabı

Numune No	228Ac (964.766keV)		228Ac (968.971keV)		Verim x Gama Olasılığı (f <sub>γ</sub> ) Toplamları
	Verim	Gama Olasılığı (f <sub>γ</sub> )	Verim	Gama Olasılığı (f <sub>γ</sub> )	
1	0,0466	0,0499	0,0463	0,158	0,010
2	0,0449	0,0499	0,0447	0,158	0,009
3	0,0437	0,0499	0,0435	0,158	0,009
4	0,0482	0,0499	0,0480	0,158	0,010
5	0,0470	0,0499	0,0468	0,158	0,010
6	0,0467	0,0499	0,0465	0,158	0,010
7	0,0435	0,0499	0,0433	0,158	0,009
8	0,0423	0,0499	0,0421	0,158	0,009
9	0,0466	0,0499	0,0464	0,158	0,010
10	0,0458	0,0499	0,0455	0,158	0,009
11	0,0457	0,0499	0,0454	0,158	0,009
12	0,0450	0,0499	0,0447	0,158	0,009
13	0,0461	0,0499	0,0458	0,158	0,010
14	0,0448	0,0499	0,0445	0,158	0,009
15	0,0443	0,0499	0,0440	0,158	0,009
16	0,0457	0,0499	0,0455	0,158	0,009
17	0,0446	0,0499	0,0444	0,158	0,009
18	0,0463	0,0499	0,0461	0,158	0,010
19	0,0461	0,0499	0,0459	0,158	0,010
20	0,0440	0,0499	0,0438	0,158	0,009
21	0,0442	0,0499	0,0439	0,158	0,009
22	0,0456	0,0499	0,0453	0,158	0,009
23	0,0463	0,0499	0,0460	0,158	0,010
24	0,0464	0,0499	0,0461	0,158	0,010
5Kontrol	0,0470	0,0499	0,0468	0,158	0,010
12Kontrol	0,0450	0,0499	0,0447	0,158	0,009
21Kontrol	0,0442	0,0499	0,0439	0,158	0,009

Çizelge 3.16 Th–232 (Ac–228) için toprak örneklerinde aktivite sonuçları

Numune No	Net Alan (P)	Verim ( $\epsilon$ ) x Yayınlanma Olasılığı ( $f_{\gamma}$ )	Zaman (t) (live)	Aktivite (Bq/kg)	Aktivite Hata ( $\pm$ )
1	84315,7	0,010	172632,78	51,5	2,3
2	35885	0,009	172691,6	23,2	1,2
3	52258,3	0,009	172664,8	27,8	1,4
4	31134,6	0,010	172698,32	17,5	0,9
5	43805,2	0,010	172509,12	28,8	1,5
6	73074,1	0,010	172642,12	38,0	1,6
7	49306,9	0,009	172628,98	22,4	1,9
8	146620	0,009	172465,76	72,6	3,5
9	77949,9	0,010	172599,24	43,6	1,9
10	42758,7	0,009	172667,64	21,1	1,4
11	15557,5	0,009	172720,32	7,6	0,5
12	3846,88	0,009	172728,04	1,8	0,2
13	11178,3	0,010	172720,92	5,6	0,4
14	33533,2	0,009	172695,02	15,8	0,8
15	39733,4	0,009	172647,3	18,4	0,9
16	4275,96	0,009	172730,84	2,1	0,2
17	12514,5	0,009	172718,3	5,8	0,4
18	34649	0,010	172664,34	17,5	0,9
19	31147,9	0,010	172664,78	27,5	1,4
20	19490,1	0,009	172682,96	12,1	1,2
21	16465	0,009	172701,26	8,1	1,8
22	16612,8	0,009	172718,54	8,1	0,5
23	23686,2	0,010	172681,52	13,7	0,8
24	41024,6	0,010	172642,78	20,8	1,1
5 Kontrol	34445,5	0,010	86215	45,3	3,2
12Kontrol	3399,91	0,009	86326	3,2	0,4
21Kontrol	8102,3	0,009	86313	7,9	0,7

Çizelge 3.17 Th–232 (Ac–228) için toprak örneklerinde aktivite hata sonuçları

Numune No	±Net Alan Hata ( $\sigma_p$ )	228Ac (964.766keV)		228Ac (968.971keV)		± Zaman Hata ( $\sigma_t$ )	± Kütle Hata ( $\sigma_m$ )	Aktivite Hata (%)
		± Verim Hata ( $\sigma_\varepsilon$ )	± Yayınlanma Olasılığı Hata ( $\sigma_{f,\gamma}$ )	± Verim Hata ( $\sigma_\varepsilon$ )	± Yayınlanma Olasılığı Hata ( $\sigma_{f,\gamma}$ )			
1	1967,98	0,0009	0,0009	0,0009	0,003	1	0,1	0,045
2	1021,47	0,0010	0,0009	0,0010	0,003	1	0,1	0,050
3	1510,83	0,0010	0,0009	0,0010	0,003	1	0,1	0,052
4	1197,39	0,0008	0,0009	0,0008	0,003	1	0,1	0,053
5	1522,04	0,0009	0,0009	0,0009	0,003	1	0,1	0,051
6	1325,75	0,0009	0,0009	0,0009	0,003	1	0,1	0,042
7	3580,62	0,0011	0,0009	0,0010	0,003	1	0,1	0,084
8	257035	0,0011	0,0009	0,0011	0,003	1	0,1	0,048
9	1442	0,0009	0,0009	0,0009	0,003	1	0,1	0,043
10	2363,09	0,0010	0,0009	0,0010	0,003	1	0,1	0,068
11	833,643	0,0010	0,0009	0,0010	0,003	1	0,1	0,067
12	495,477	0,0010	0,0009	0,0010	0,003	1	0,1	0,135
13	704,811	0,0009	0,0009	0,0009	0,003	1	0,1	0,074
14	1056,06	0,0010	0,0009	0,0010	0,003	1	0,1	0,052
15	935,832	0,0010	0,0009	0,0010	0,003	1	0,1	0,048
16	456,025	0,0010	0,0009	0,0010	0,003	1	0,1	0,114
17	566,062	0,0010	0,0009	0,0010	0,003	1	0,1	0,061
18	1176,32	0,0009	0,0009	0,0009	0,003	1	0,1	0,051
19	1015,06	0,0009	0,0009	0,0009	0,003	1	0,1	0,051
20	1761,31	0,0010	0,0009	0,0010	0,003	1	0,1	0,100
21	3514,08	0,0010	0,0009	0,0010	0,003	1	0,1	0,218
22	651,49	0,0010	0,0009	0,0010	0,003	1	0,1	0,056
23	972,622	0,0009	0,0009	0,0009	0,003	1	0,1	0,057
24	1452,41	0,0009	0,0009	0,0009	0,003	1	0,1	0,052
5Kontrol	2016,86	0,0009	0,0009	0,0009	0,003	1	0,1	0,070
12Kontrol	340,009	0,0010	0,0009	0,0010	0,003	1	0,1	0,108
21Kontrol	568,101	0,0010	0,0009	0,0010	0,003	1	0,1	0,082

Çizelge 3.18 Cs-137 için toprak örneklerinde aktivite sonuçları

Numune No	Net Alan (P)	Verim ( $\epsilon$ )	Yayınlanma Olasılığı ( $f_y$ )	Zaman (t) (live)	Aktivite (Bq/kg)	Aktivite Hata ( $\pm$ )
1	364749	0,0696	0,851	172632,78	36,3	1,7
2		0,0678	0,851	172691,6		
3	39194,6	0,0664	0,851	172664,8	3,3	0,2
4	23976,5	0,0715	0,851	172698,32	2,2	0,2
5	1439950	0,0702	0,851	172509,12	154,3	4,7
6		0,0698	0,851	172642,12		
7	47364	0,0662	0,851	172628,98	3,4	0,2
8		0,0648	0,851	172465,76		
9	40360,5	0,0697	0,851	172599,24	3,7	0,3
10	101799	0,0687	0,851	172667,64	8,1	0,3
11	18641,2	0,0686	0,851	172720,32	1,5	0,1
12	243989	0,0678	0,851	172728,04	18,7	0,7
13	79505,8	0,0691	0,851	172720,92	6,5	0,2
14		0,0676	0,851	172695,02		
15	577800	0,0670	0,851	172647,3	42,9	1,4
16	179308	0,0687	0,851	172730,84	14,3	0,5
17	201994	0,0674	0,851	172718,3	15,2	0,6
18	491293	0,0694	0,851	172664,34	40,4	1,3
19	581830	0,0692	0,851	172664,78	83,5	2,6
20	305425	0,0668	0,851	172682,96	30,5	1,1
21	47841,3	0,0669	0,851	172701,26	3,8	0,3
22	23391,5	0,0685	0,851	172718,54	1,9	0,2
23	595832	0,0693	0,851	172681,52	55,8	1,7
24	7436,84	0,0694	0,851	172642,78	0,6	0,1
5 Kontrol	991373	0,0702	0,851	86215	212,6	6,5
12Kontrol	154712	0,0678	0,851	86326	23,8	0,8
21Kontrol	21738,8	0,0669	0,851	86313	3,4	0,2



Çizelge 3.19 Cs-137 için toprak örneklerinde aktivite hata sonuçları

Numune No	±Net Alan Hata( $\sigma_p$ )	±Verim Hata ( $\sigma_e$ )	±Yayınlanma Olasılığı Hata ( $\sigma_f$ )	±Zaman Hata( $\sigma_t$ )	±Kütle Hata ( $\sigma_m$ )	Aktivite Hata (%)
1	12413	0,0014	0,02	1	0,1	0,046
2		0,0015	0,02	1	0,1	
3	2601,61	0,0016	0,02	1	0,1	0,074
4	2168,36	0,0012	0,02	1	0,1	0,095
5	7096,99	0,0013	0,02	1	0,1	0,031
6		0,0014	0,02	1	0,1	
7	2349,34	0,0016	0,02	1	0,1	0,060
8		0,0017	0,02	1	0,1	
9	3154,21	0,0014	0,02	1	0,1	0,084
10	2227,42	0,0014	0,02	1	0,1	0,038
11	824,499	0,0014	0,02	1	0,1	0,054
12	3744,3	0,0015	0,02	1	0,1	0,036
13	1112,21	0,0014	0,02	1	0,1	0,034
14		0,0015	0,02	1	0,1	
15	3497,62	0,0015	0,02	1	0,1	0,034
16	2638,91	0,0014	0,02	1	0,1	0,035
17	3119,77	0,0015	0,02	1	0,1	0,036
18	3245,04	0,0014	0,02	1	0,1	0,032
19	2370,37	0,0014	0,02	1	0,1	0,031
20	3520,15	0,0016	0,02	1	0,1	0,035
21	3467,89	0,0016	0,02	1	0,1	0,080
22	2007,14	0,0015	0,02	1	0,1	0,091
23	1807,25	0,0014	0,02	1	0,1	0,031
24	727,056	0,0014	0,02	1	0,1	0,103
5 Kontrol	2892,65	0,0013	0,02	1	0,1	0,030
12Kontrol	1798,58	0,0015	0,02	1	0,1	0,034
21Kontrol	751,716	0,0016	0,02	1	0,1	0,048

### 3.7.2 Çay Spektrumları için Aktivite Hesabı

İncelenen çay örneklerinde, K-40 doğal radyonüklidi ve Cs-137 yapay radyonüklidi için aktivite değerleri hesaplanmıştır. Cs-137 için 661,657 keV, K-40 için 1460,822 keV gama enerjilerine göre aktivite hesaplamaları çay numuneleri için yapılmıştır.

Çay numuneleri için yapılan aktivite hesaplamalarında kullanılan verim değerlerinin nasıl elde edildiği yukarıdaki verim kalibrasyonları başlığı altında anlatılmış ve sonuçları hesaplanan gama enerjileri için belirtilmiştir.

1 numaralı çay örneğinde K-40 elementinin aktivite hesabı örnek olarak aşağıda anlatılmıştır.

Bölüm 2'de belirtilen  $A = \frac{P}{\epsilon \cdot f_y \cdot t \cdot m}$  aktivite denkleminde; 1460,822 keV enerjisinde alınan pik altında kalan alan  $P= 1815.124$ , detektör verimi  $\epsilon= 0.0448$ , yayınlanma olasılığı  $f_y= 0.1066$ , sayım süresi  $t= 172771$  saniye ve 1 numaralı toprak örneğinin net kütlesi  $m= 0.0203$  kg yerine yazılarak,

$$A = \frac{(1815.124)}{(0.0448) \cdot (0.1066) \cdot (172771) \cdot (0.0203)}$$

$A = 108,2$  Bq/kg olarak bulunur.

Aktivitenin hesaplanması yapıldıktan sonra aktivitedeki hata hesabı yapıldı. Aktivitenin hata hesabı yapılırken Eşitlik (3.8) kullanıldı. Hata hesabındaki tüm hatalar ( $\pm$ ) değerlerdir. Verimin hatası çok küçük bir değer olduğundan ihmal edilmiştir. Net alanın hatası  $\sigma_p= 42.157$ , kütlenin hatası  $\sigma_m=0,1$  (tartının hassasiyeti 0,1'dir), yayınlanma olasılığının hatası  $\sigma_f= 0.0018$ , zamanın hatası  $\sigma_t=1$  (saniyede yapılan hata olarak hesaplanmıştır) ve Eşitlik 3.18'de belirtilen net alan (P), yayınlanma olasılığı ( $f_y$ ), sayım süresi (t), kütle (m) değerleri yerine yazılarak  $\sigma_A/A$  yani aktivite hatasının yüzdesi,  $\frac{\sigma_A}{A} = 0.0291$  olarak bulunur.

Aktivite hatasını ( $\pm$ ) olarak yazmak için bulunan aktivite değeriyle yüzde aktivite değerini çarpmak gerekmektedir. Bu işlem yapılırsa, aktivitenin ( $\pm$ ) hatası  $\sigma_A=3.2$  olarak bulunur.

Aynı işlemler diğer çay numuneleri ve diğer nüklidler içinde uygulanıp hesaplamalar yapılmıştır. Bu hesaplamaların sonuçları aşağıdaki tablolarda belirtilmiştir.

Çizelge 3.20 K-40 için çay örneklerinde aktivite sonuçları

Numune No	Net Alan (P)	Yayınlanma Olasılığı ( $f_\gamma$ )	Zaman (t) (live)	Kütle (kg)	Aktivite (Bq/kg)	Aktivite Hata ( $\pm$ )
1	1815,12	0,1066	172771	0,0203	108,2	3,2
2	10452,78	0,1066	172765	0,0253	500,0	9,9
3	3482,92	0,1066	172763	0,026	162,1	3,9
4	10391,13	0,1066	172755	0,0275	457,3	9,1
5	3333,96	0,1066	172757	0,0223	180,9	4,5
6	2207,47	0,1066	172758	0,0209	127,8	3,5
7	5286,77	0,1066	172755	0,0193	331,5	7,4
8	5499,10	0,1066	172756	0,0209	318,5	7,0
9	4874,33	0,1066	172749	0,0198	297,9	6,8
10	2815,24	0,1066	172746	0,0218	156,3	4,0
11	2250,60	0,1066	172763	0,0204	133,5	3,7

Çizelge 3.21 K-40 için çay örneklerinde aktivite hata sonuçları

Numune No	$\pm$ Net Alan Hata ( $\sigma_p$ )	$\pm$ Yayınlanma Olasılığı Hata ( $\sigma_{f_\gamma}$ )	$\pm$ Zaman Hata ( $\sigma_t$ )	$\pm$ Kütle Hata ( $\sigma_m$ )	Aktivite Hata (%)
1	42,16	0,0018	1	0,1	0,029
2	102,23	0,0018	1	0,1	0,020
3	59,01	0,0018	1	0,1	0,024
4	101,90	0,0018	1	0,1	0,020
5	57,71	0,0018	1	0,1	0,025
6	46,91	0,0018	1	0,1	0,028
7	72,71	0,0018	1	0,1	0,022
8	74,13	0,0018	1	0,1	0,022
9	69,81	0,0018	1	0,1	0,023
10	52,78	0,0018	1	0,1	0,026
11	47,41	0,0018	1	0,1	0,027

Çizelge 3.22 C-137 için çay örneklerinde aktivite sonuçları

Numune No	Net Alan (P)	Yayınlanma Olasılığı ( $f_{\gamma}$ )	Zaman (t) (live)	Kütle (kg)	Aktivite (Bq/kg)	Aktivite Hata ( $\pm$ )
1		0,851	172771	0,0203		
2		0,851	172765	0,0253		
3	4155,08	0,851	172763	0,026	16,4	0,5
4	1988,97	0,851	172755	0,0275	7,4	0,2
5		0,851	172757	0,0223		
6		0,851	172758	0,0209		
7		0,851	172755	0,0193		
8		0,851	172756	0,0209		
9		0,851	172749	0,0198		
10		0,851	172746	0,0218		
11	9934,84	0,851	172763	0,0204	49,9	1,3

Çizelge 3.23 Cs-137 için çay örneklerinde aktivite hata sonuçları

Numune No	$\pm$ Net Alan Hata ( $\sigma_P$ )	$\pm$ Yayınlanma Olasılığı Hata ( $\sigma_{f_{\gamma}}$ )	$\pm$ Zaman Hata ( $\sigma_t$ )	$\pm$ Kütle Hata ( $\sigma_m$ )	Aktivite Hata (%)
1		0,02	1	0,1	
2		0,02	1	0,1	
3	64,44	0,02	1	0,1	0,028
4	44,42	0,02	1	0,1	0,033
5		0,02	1	0,1	
6		0,02	1	0,1	
7		0,02	1	0,1	
8		0,02	1	0,1	
9		0,02	1	0,1	
10		0,02	1	0,1	
11	99,67	0,02	1	0,1	0,026

## BÖLÜM 4

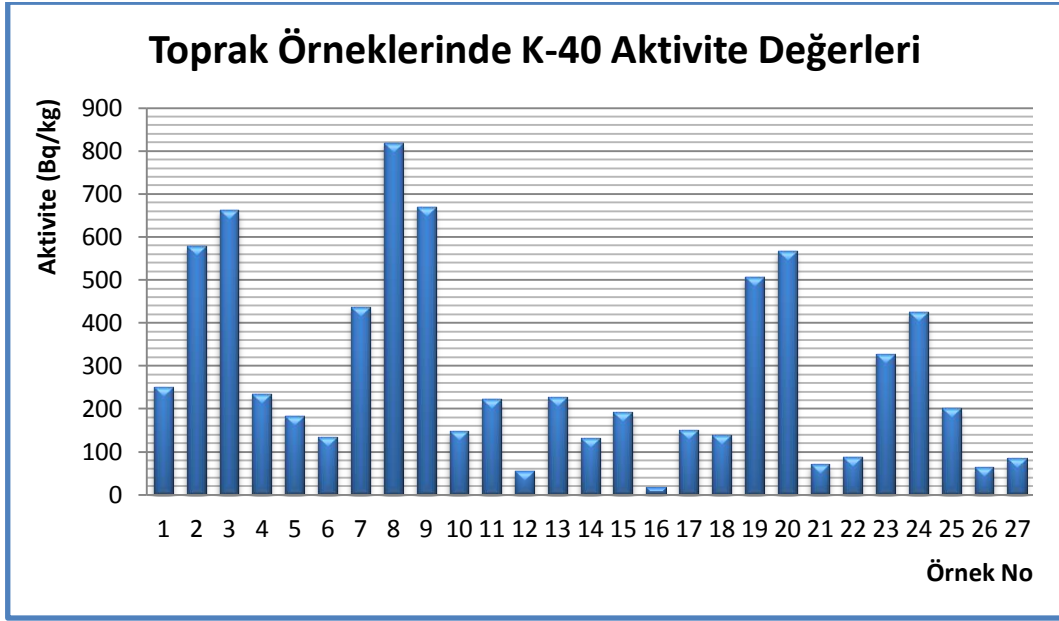
---

### SONUÇ VE ÖNERİLER

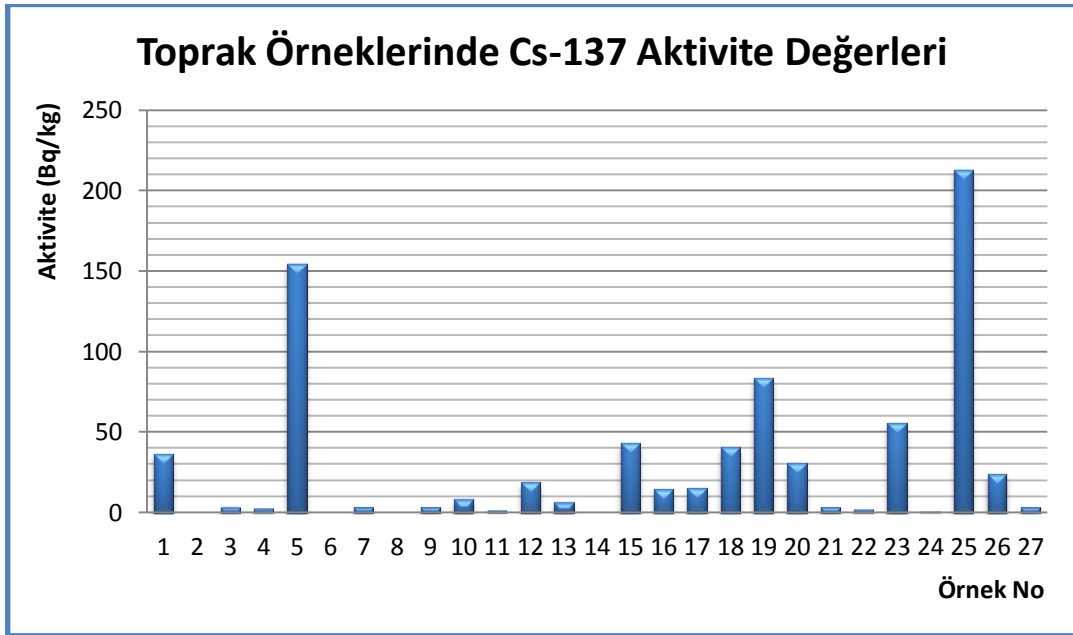
Bu çalışmada, Rize merkez ve ilçelerinden alınan toprak ve çay örneklerinde doğal kaynaklı olan K-40, U-238, Th-232 radyonüklidlerinin aktiviteleri ile yapay kaynaklı olan Cs-137 elementinin aktivitesi belirlenmiştir. Bu ölçümler Yıldız Teknik Üniversitesi, Fizik Bölümü, Nükleer Fizik Araştırma laboratuvarında bulunan NaI(Tl) detektörlü gama spektrometre sistemi kullanılarak yapılmıştır. Örneklerin hangi bölgelerden alındığı ve aktivitelerinin ne olduğu aşağıdaki çizelgelerde belirtilmiştir.

Çizelge 4.1 Toprak örneklerinin numaralandırılması ve alındıkları bölgeler

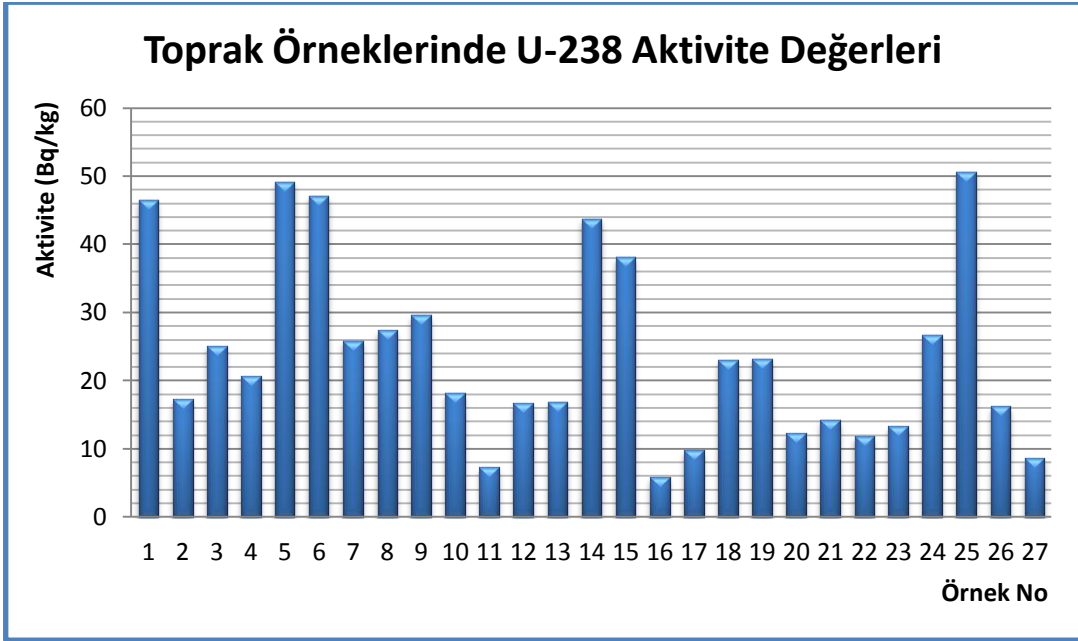
Örnek No	Örneğin Alındığı Bölge
1	İYİDERE
2	İYİDERE
3	DEREPAZARI
4	DEREPAZARI
5	RİZE MERKEZ
6	RİZE MERKEZ
7	İKİZDERE
8	İKİZDERE
9	KALKANDERE
10	KALKANDERE
11	ÇAYELİ
12	ÇAYELİ
13	PAZAR
14	PAZAR
15	ARDEŞEN
16	ARDEŞEN
17	FINDIKLI
18	FINDIKLI
19	ÇAMLIHEMŞİN
20	ÇAMLIHEMŞİN
21	HEMŞİN
22	HEMŞİN
23	GÜNEYSU
24	GÜNEYSU
25	5nolu numune kontrol ölçümü
26	12nolu numune kontrol ölçümü
27	21nolu numune kontrol ölçümü



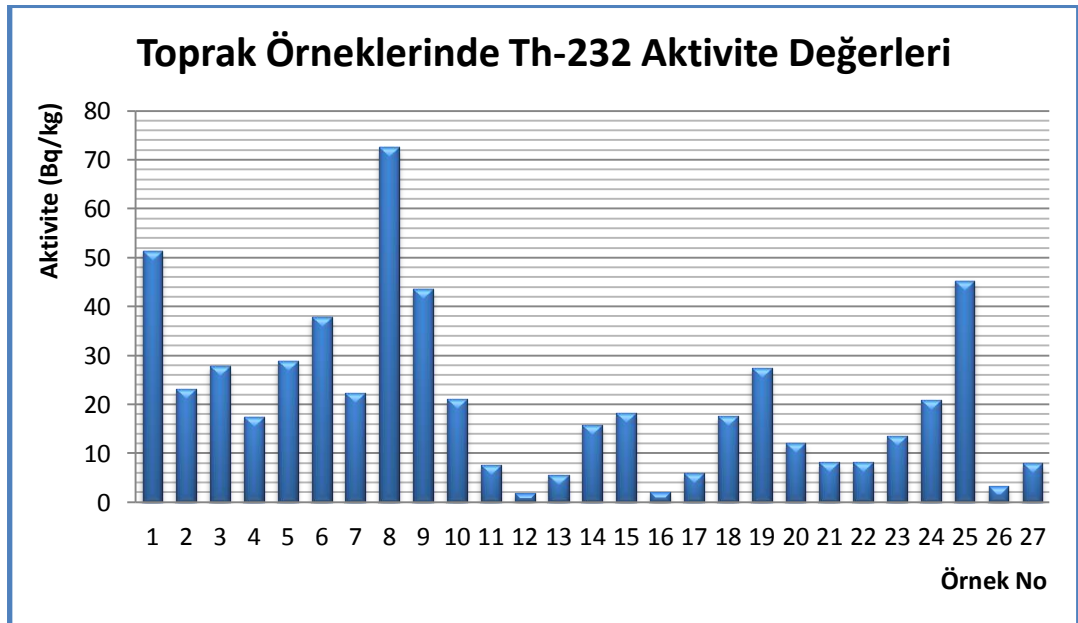
Şekil 4.1 Toprak Örneklerinde K-40 Aktivite Değerlerinin Dağılımı



Şekil 4.2 Toprak Örneklerinde Cs-137 Aktivite Değerlerinin Dağılımı



Şekil 4.3 Toprak Örneklerinde U-238 (Ra-226) Aktivite Değerlerinin Dağılımı

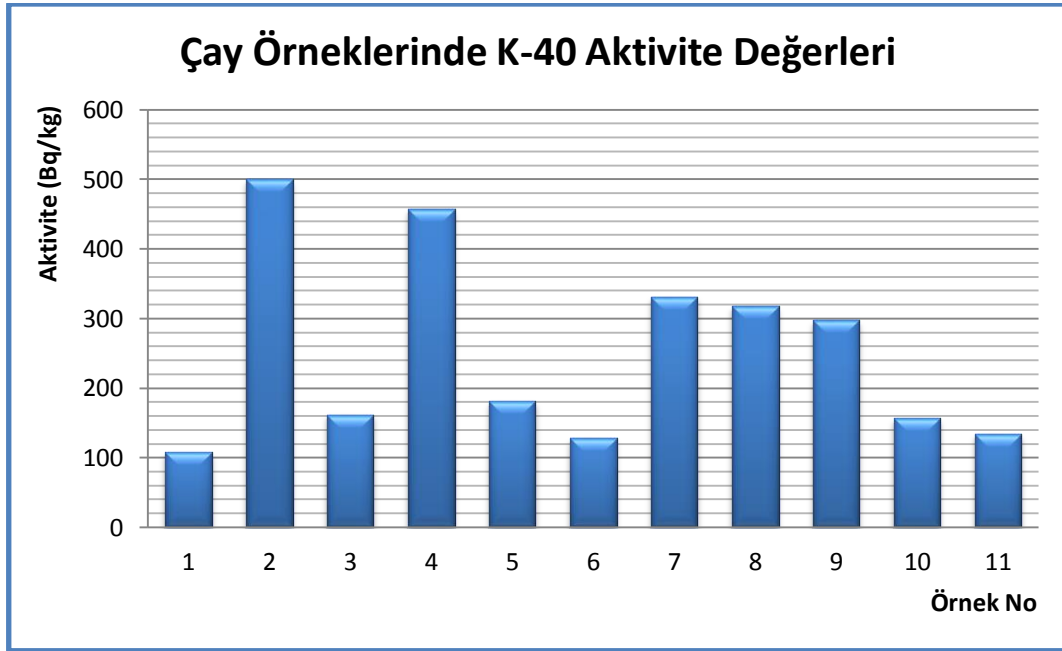


Şekil 4.4 Toprak Örneklerinde Th-232 (Ac-228) Aktivite Değerlerinin Dağılımı

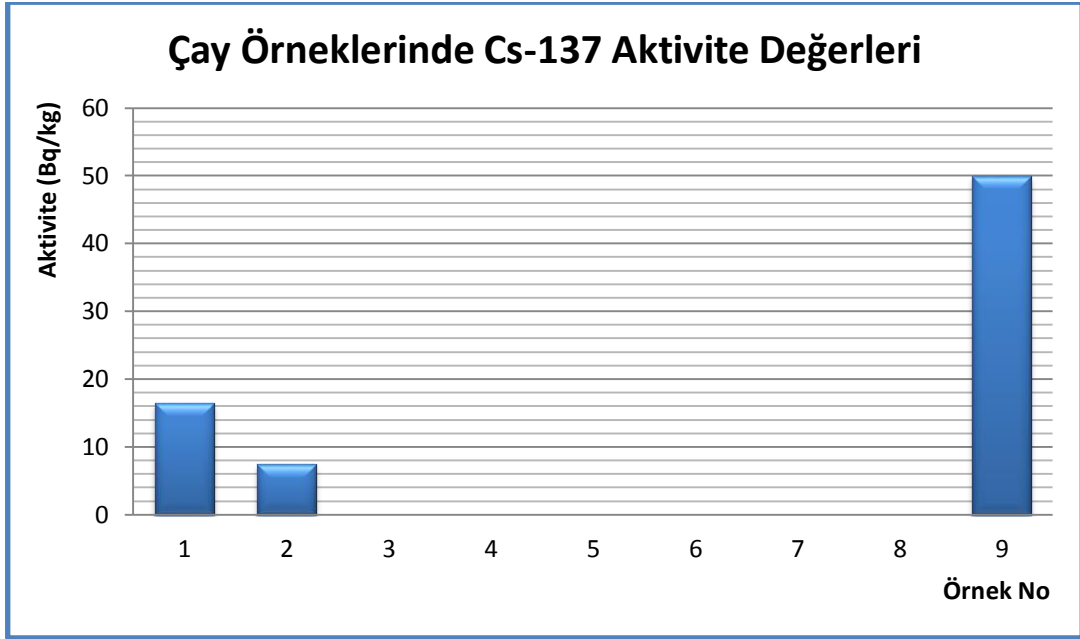


Çizelge 4.2 Çay örneklerinin numaralandırılması ve alındıkları bölgeler

Örnek No	Örneğin Alındığı Bölge
1	İYİDERE
2	İYİDERE
3	DEREPAZARI
4	DEREPAZARI
5	KALKANDERE
6	KALKANDERE
7	ARDEŞEN
8	ARDEŞEN
9	FINDIKLI
10	GÜNEYSU
11	GÜNEYSU



Şekil 4.5 Çay Örneklerinde K-40 Aktivite Değerlerinin Dağılımı



Şekil 4.6 Çay Örneklerinde Cs-137 Aktivite Değerlerinin Dağılımı

Bu çalışmaya benzer olarak dünyada ve Türkiye de birçok çalışma yapılmaktadır. Rize ili toprak numunelerinde yapılan bu çalışmada elde edilen değerlerin kıyaslanması açısından, Çizelge 4.3'de dünyanın 42 ülkesinin topraktaki doğal radyonüklidlerinin ortalama aktivitelerinin sonuçları incelenebilir.

Çizelge 4.3 Dünyanın farklı bölgelerinde ölçülen topraktaki ortalama radyonüklid konsantrasyonu[26]

Radyonüklid	U-238	Th-232	Ra-226	K-40
Aktivite (Bq/kg)	35	35	30	400

Rize bölgesinde toprak örnekleri üzerinde yapılan benzer bir çalışmada elde edilen aktivite değerleri Çizelge 4.4'de verilmiştir.

Çizelge 4.4 Rize ili ilçelerinin toprak numunelerinde yapılan aktivite hesaplamaları[27]

<b>Örneğin Alındığı Bölge</b>	<b>Ra-226</b>	<b>Th-232</b>	<b>K-40</b>	<b>Cs-137</b>
İyidere	45,4±5,7	56,4±7,8	1132,5±41,0	60,3±7,6
Derepazarı	27,2±3,2	36,3±4,7	675,3±38,2	148,4±8,5
Rize Merkez	12,5±3,2	53,6±5,9	656,7±36,6	209,5±9,2
İkizdere	88,3±8,4	35,0±4,3	369,9±23,5	234,3±13,9
Kalkandere	71,0±5,7	48,6±5,4	851,2±41,5	176,7±7,7
Çayeli	57,6±5,9	35,5±4,8	659,2±37,4	94,9±6,4
Pazar	59,8±6,6	57,0±5,7	1253,6±48,9	749,3±35,4
Ardeşen	49,2±5,3	33,2±4,7	532,1±32,6	89,3±7,1
Fındıklı	44,4±5,0	32,3±4,7	553,2±36,6	73,2±6,0
Çamlıhemşin	43,8±4,6	50,7±7,6	398,2±24,7	62,9±7,2
Hemşin	46,4±5,0	30,4±4,6	432,3±31,0	774,7±35,4

Yukarıdaki benzer çalışmalarda bulunan U-238, Th-232 aktivite değerleri ile bu çalışmada elde edilen aktivite değerleri kısmen benzerdir. Benzer olmayan durumların oluşmasında yüzeyden alınan toprakta sudan kaynaklı taşınımın olmamasının yani toprağın killi olmasının sebep olabileceği düşünülmüştür. Killi toprağın su geçirgenliğinin az olması radyonüklidlerin suyla taşınmasını mümkün kılmayacaktır.

K-40 doğal radyonüklidinin aktivite değerlerindeki farklılık ise bölgeden alınan toprakta bitki kalıntılarının ve taşların bulunması sebep olarak gösterilebilir. Ayrıca alınan toprak üzerinde daha önceden suni gübre kullanılmış olabilir ve hayvan leşi kalıntılarını içerebilir. Bu etkilerinde aktivite değerini değiştirebileceği söylenebilir.

Topraktaki Çernobil kazası kaynaklı Cs-137 radyonüklidinin varlığı kazanın üzerinden 30 yıl geçmesine rağmen halen etkilerini devam ettirdiği, Cs-137 radyonüklidinin aktivitesindeki farklılıkların sebebi olarak ise yağmurla taşınımın olabileceği düşünülmektedir. Rize ilinin fazla yağış alması ve yükselti farklılıklarının bulunmasından dolayı suyla taşınımın fazla olacağı düşünülmüştür. Suyla taşınım sonucunda

radyonüklidler taşındıkları bölgedeki toprak tarafından tutulacaktır ve bu o bölgedeki aktivite değerini değiştirecektir.

Sonuç olarak hesaplanan aktivite değerlerinin bazı ilçelerde yüksek bazı ilçelerde düşük çıkması o bölgenin coğrafi yapısına, bölgenin ne kadar yağmur aldığına, ve bölgenin yükseltisine bağlı olarak değişmektedir. Ayrıca toprağın içeriği ve önceden gübrelenmiş olup olmamasıda önemli değişkenlerdir. Elde edilen aktiviteler, Dünya aktivite ortalamaları ile kıyaslanığında çok yüksek olmadığı söylenebilir.

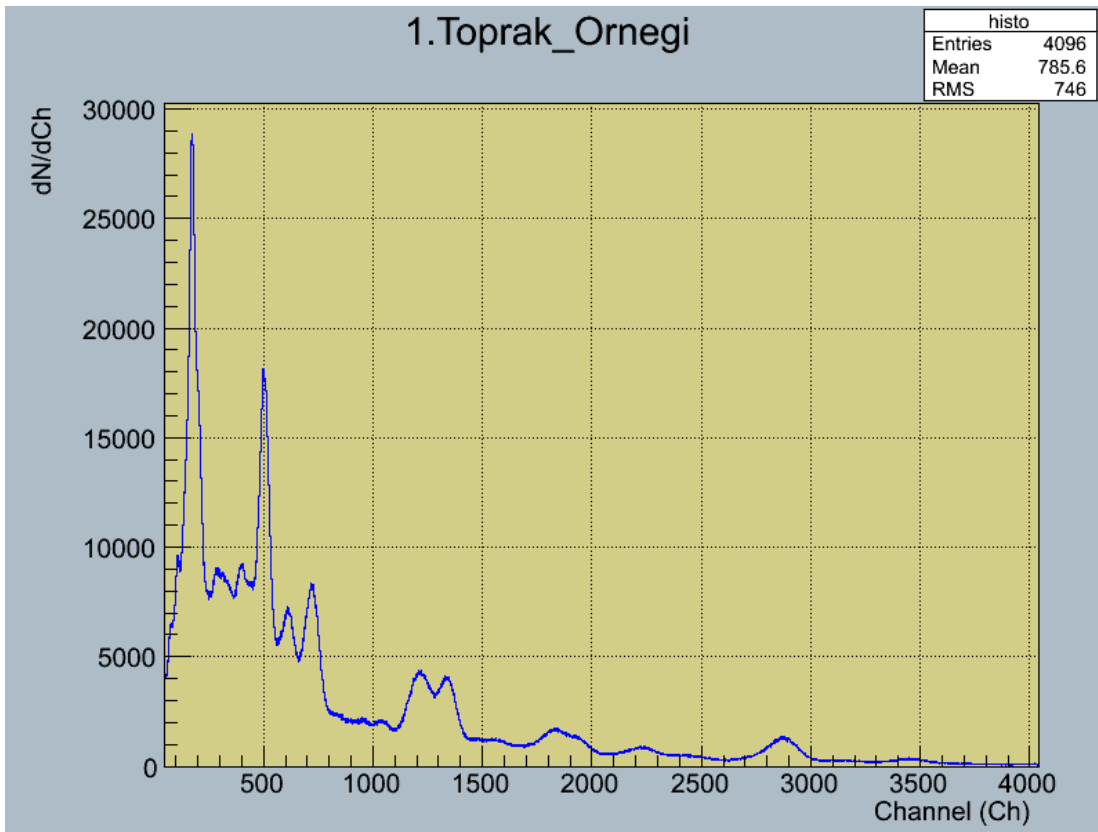
Ayrıca doğal radyasyon ölçümlerinin ve özellikle Çernobil reaktör kazası kaynaklı Cs-137 izotopunun belirlenmesinin periyodik olarak tekrarlanması hem bölgeyi izleme hem de bölge halk sağlığı açısından oldukça büyük önem teşkil etmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] Karayılanoğlu, T. ve Yaren, H., (2005). "Radyasyon ve İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri", TSK Koruyucu Hekim Bülteni, 4: 199-208.
- [2] Bakaç, M. ve Kumru, M. N., (1999). "Gediz Havzası Topraklarındaki Doğal Radyoaktivite Seviyesi", ÇEVKOR, 8(30): 18-21.
- [3] Çavaş, M., (2006). NaI(Tl) Detektörü ile Topraktaki Radyasyonun Ölçümü ve Maruz Kalınan Dozların Hesabı, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- [4] Aközcan, S., (2002). Manisa İli Yerleşim Alanı Topraklarında ICP-AES ve Gama Spektrometresi ile Element Analizleri, Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa.
- [5] Değerlier, M., (2007). Adana İli ve Çevresinin Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Saptanması ve Doğal Radyasyonların Yıllık Etkin Doz Eşdeğerinin Bulunması, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [6] İskender, S., (2005). Türkiye'de ve Dünya'da Enerji & Nükleer Enerji Gerçeği, Birinci Baskı, Türkiye Teknik Elemanlar Vakfı Yayınları, Ankara.
- [7] Tamkaş, M., (2013).  $C^{12}(p, \gamma)N^{13}$  Reaksiyonunun Tesir Kesiti Ölçümleri, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [8] Krane, K. S., (2011). Nükleer Fizik, 1, 2, Palme Yayıncılık, Ankara.
- [9] Şirin, M., (2006). Çekirdek Fiziği, Yıldız Teknik Üniversitesi Basım Yayın Merkezi, İstanbul.
- [10] Aybers, N. ve Karasulu, M., (1980). Nükleer Enerjiye Giriş, 1, İstanbul Teknik Üniversitesi Nükleer Enerji Enstitüsü Genel Yayınları, İstanbul.
- [11] Kaplan, I., (1965). Nükleer Fizik, Berksoy Matbaası, İstanbul Teknik Üniversitesi Kütüphanesi, 630, İstanbul.
- [12] Das, A., Ferrel, T., (2003). Introduction to Nuclear and Particle Physics, 2, World Scientific, Singapore.
- [13] Taylor, J.R., Zafiratos, C.D. ve Dubson, M.A., (2004). Modern Physics for Scientists and Engineers, 2, Prentice Hall.

- [14] Lederer C.M., Hollander J.M. ve Perlman I., (1968). Table of Isotopes, 6, John Wiley & Sons, New York.
- [15] Bayata, S., (2007). Çatalağzı Termik Santrali ve Çevresinde Radyoaktivite Ölçümü, Bilim Uzmanlığı Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- [16] Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, Radyasyon Ölçüm Sistemleri, <http://www.taek.gov.tr/ogrenci/sf5.html>, 27 Aralık 2014.
- [17] Krane, K.S., (2002). Nükleer Fizik, Ankara.
- [18] Şahiner, E., (2010). Doğal Radyoaktif İzotoplarda Gerçek Çakışma Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [19] Knoll, G. F., (1999). Radiation detection and Measurement, 3, John Wiley & Sons Inc., United States of America.
- [20] Abbas, M.I., (2001). "HPGe detector photopeak efficiency calculation including self-absorption and coincidence corrections for Marinelli beaker sources using compact analytical expressions", Applied Radiation and Isotopes, 54:761-768.
- [21] Tamkas, M., Akcali, O. ve Durusoy, A.,(submitted 2014). "Isomeric and ground state energy level measurements of natural tellurium isotopes via ( $\gamma$ , n reaction)", Journal of physics: conference series.
- [22] Sudarshan, M., Joseph, J. ve Singh, R., (1992). "Full energy peak efficiency of NaI(Tl) gamma detectors and its analytical and semi-empirical representations", Department of Physics, North-Eastern Hill University, 25: 1561-1567.
- [23] Hamzawy, A., (2010). "Validation of analytical formula for the efficiency calibration of gamma detectors using coaxial and off-axis extended sources", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 618:216-222.
- [24] T. C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Rize Çevre ve Şehircilik Müdürlüğü (2013). 2012 Yılı Rize İli Çevre Durum Raporu, Rize.
- [25] T. C. Rize Valiliği, İl Çevre ve Orman Müdürlüğü (2006). Çevre Durum Raporu, Rize.
- [26] UNSCEAR (2000). "United Nation Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Sources and Effects of Ionizing Radiation: Sources", United Nations New York, 116.
- [27] Çelik, N., Çevik, U., Çelik, A. ve Koz, B., (2009). "Natural and artificial radioactivity measurements in Eastern Black Sea region of Turkey", Journal of Hazardous Materials, 162: 146-153.

## BACKGROUND LARI ÇIKARILMIŞ TOPRAK SPEKTRUMLARI



## 2.Toprak\_Ornegi

histo	
Entries	4096
Mean	870.6
RMS	839



## 3.Toprak\_Ornegi

histo	
Entries	4096
Mean	888.2
RMS	853





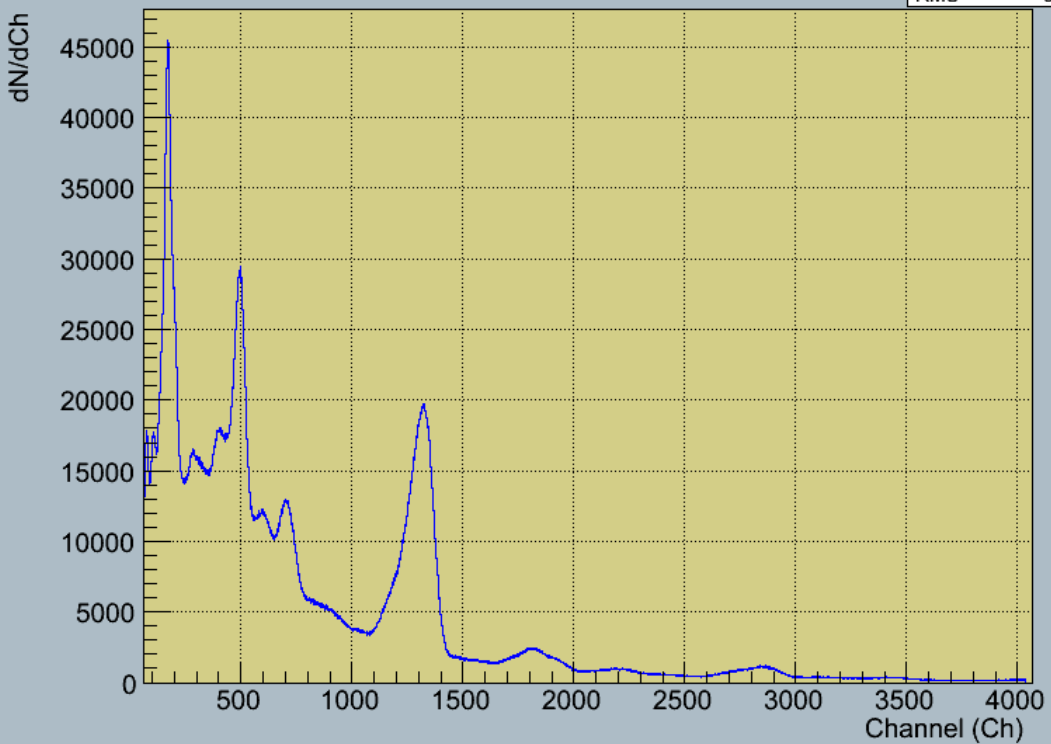
#### 4. Toprak Ornegi

histo	
Entries	4096
Mean	811.6
RMS	788.7



#### 5. Toprak\_Ornegi

histo	
Entries	4096
Mean	770
RMS	663.1



### 6.Toprak\_Ornegi

histo	
Entries	4096
Mean	757
RMS	737.9



### 7.Toprak\_Ornegi

histo	
Entries	4096
Mean	799.3
RMS	785.2



### 8.Toprak\_Ornegi

histo	
Entries	4096
Mean	764.3
RMS	763.3



### 9.Toprak\_Ornegi

histo	
Entries	4096
Mean	819.7
RMS	796.9



### 10.Toprak\_Ornegi

histo	
Entries	4096
Mean	775.2
RMS	746.9



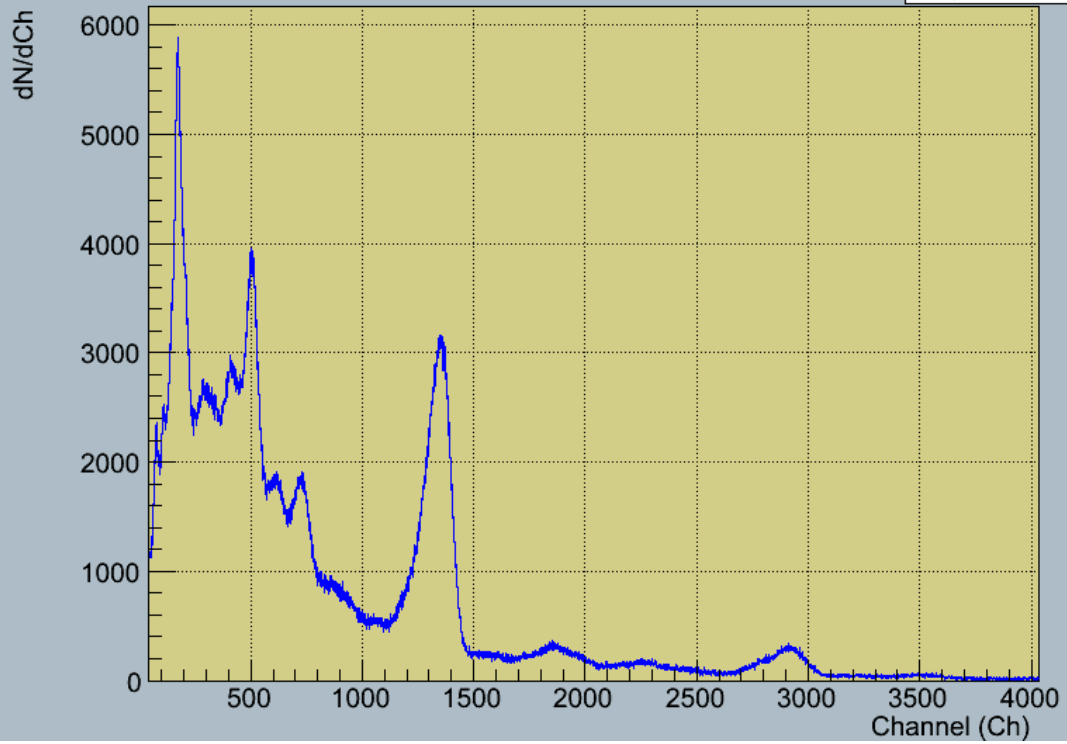
### 11.Toprak\_Ornegi

histo	
Entries	4096
Mean	858.2
RMS	827



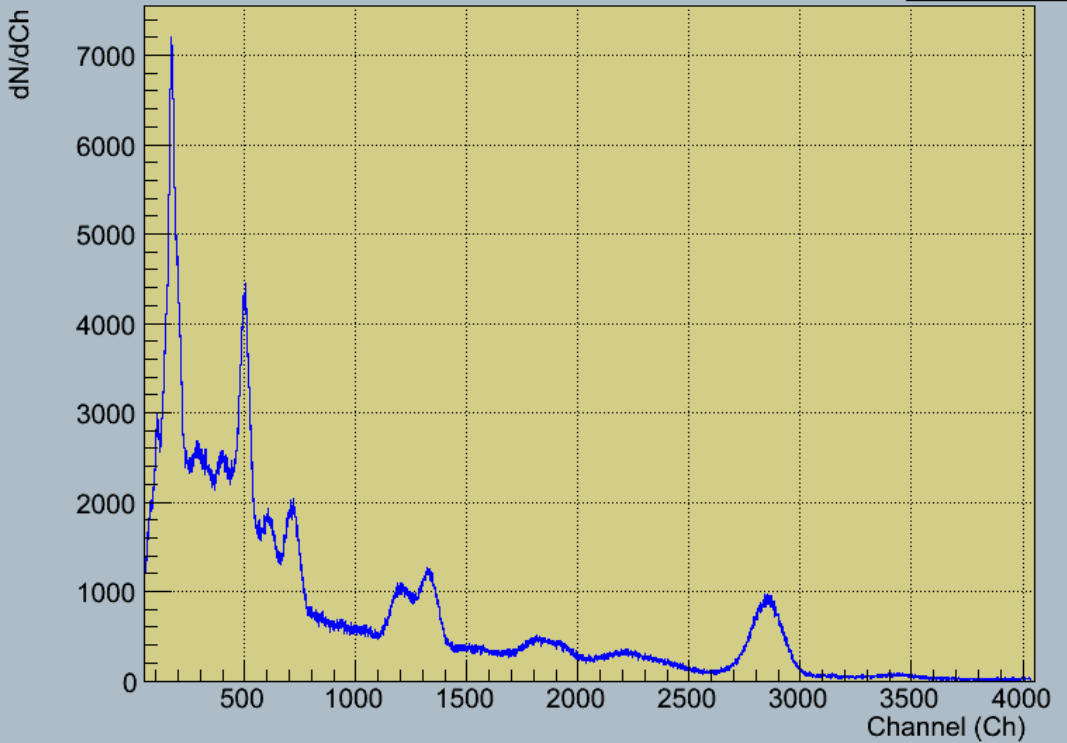
12.Toprak\_Ornegi

histo	
Entries	4096
Mean	795.6
RMS	686.1



13.Toprak\_Ornegi

histo	
Entries	4096
Mean	870.6
RMS	821.3



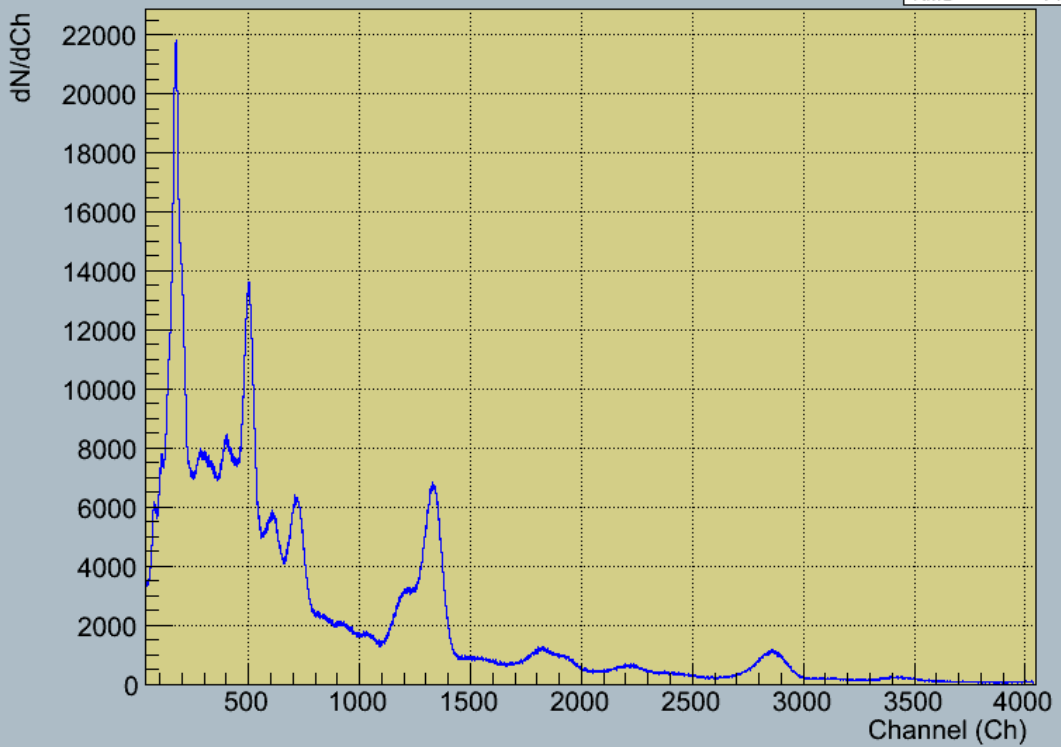
### 14.Toprak\_Ornegi

histo	
Entries	4096
Mean	776.1
RMS	766.4



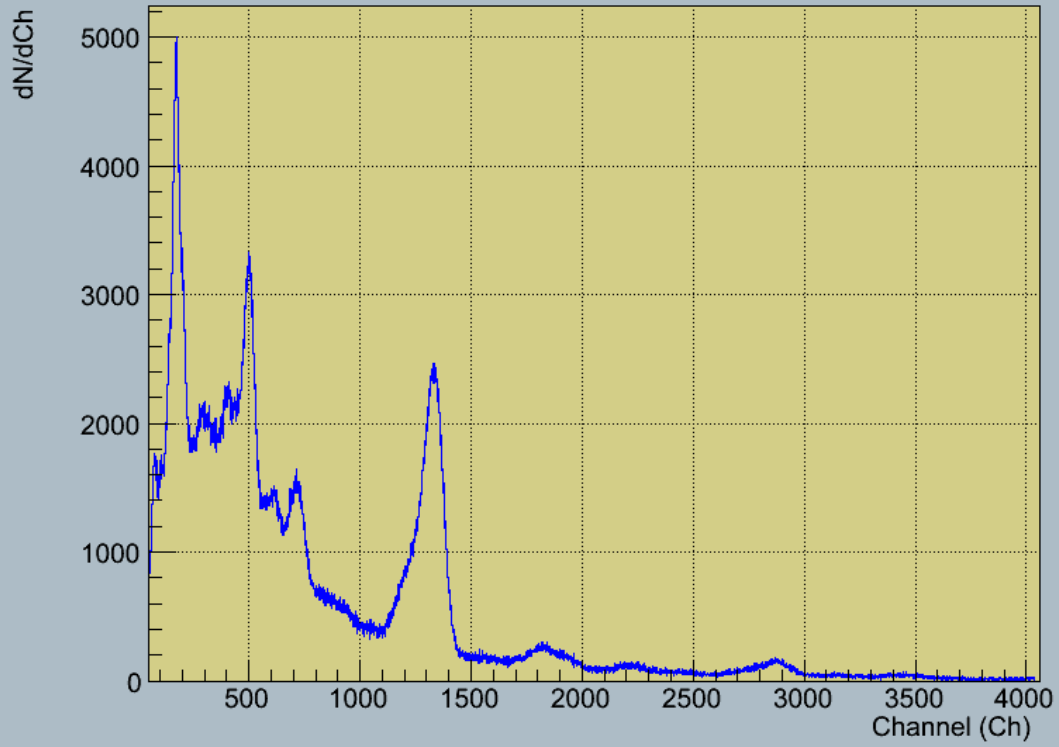
### 15.Toprak\_Ornegi

histo	
Entries	4096
Mean	773.1
RMS	713.3



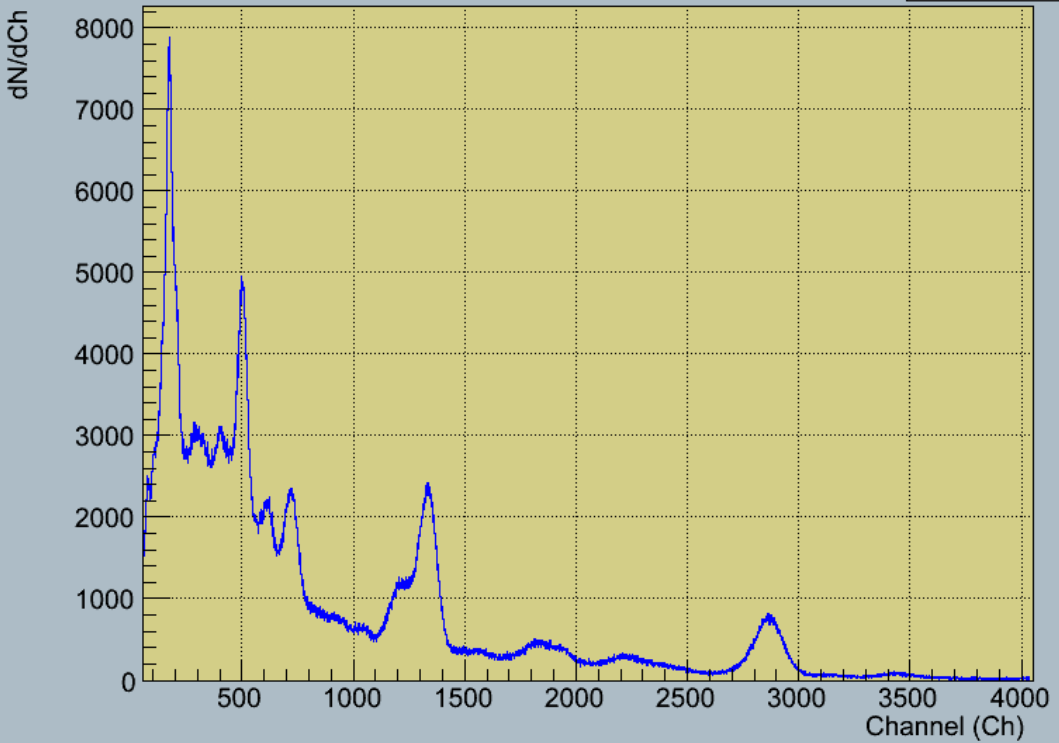
16.Toprak\_Ornegi

histo	
Entries	4096
Mean	766.2
RMS	660.6



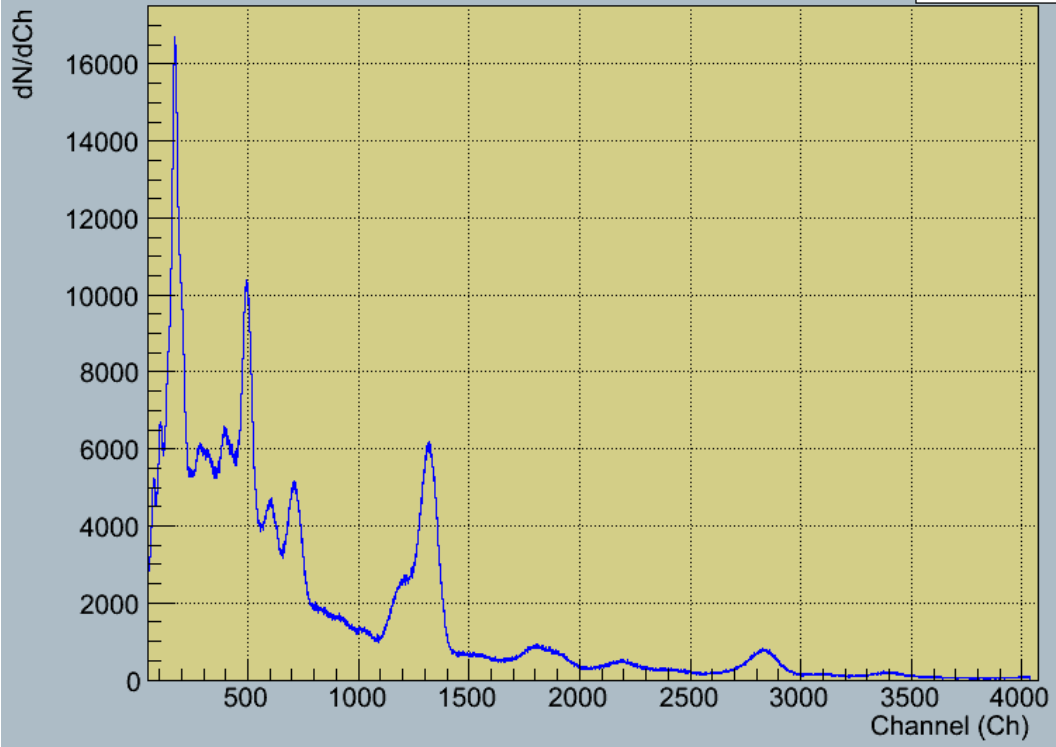
17.Toprak\_Ornegi

histo	
Entries	4096
Mean	827.5
RMS	763.3



### 18.Toprak\_Ornegi

histo	
Entries	4096
Mean	771.5
RMS	699.8



### 19.Toprak\_Ornegi

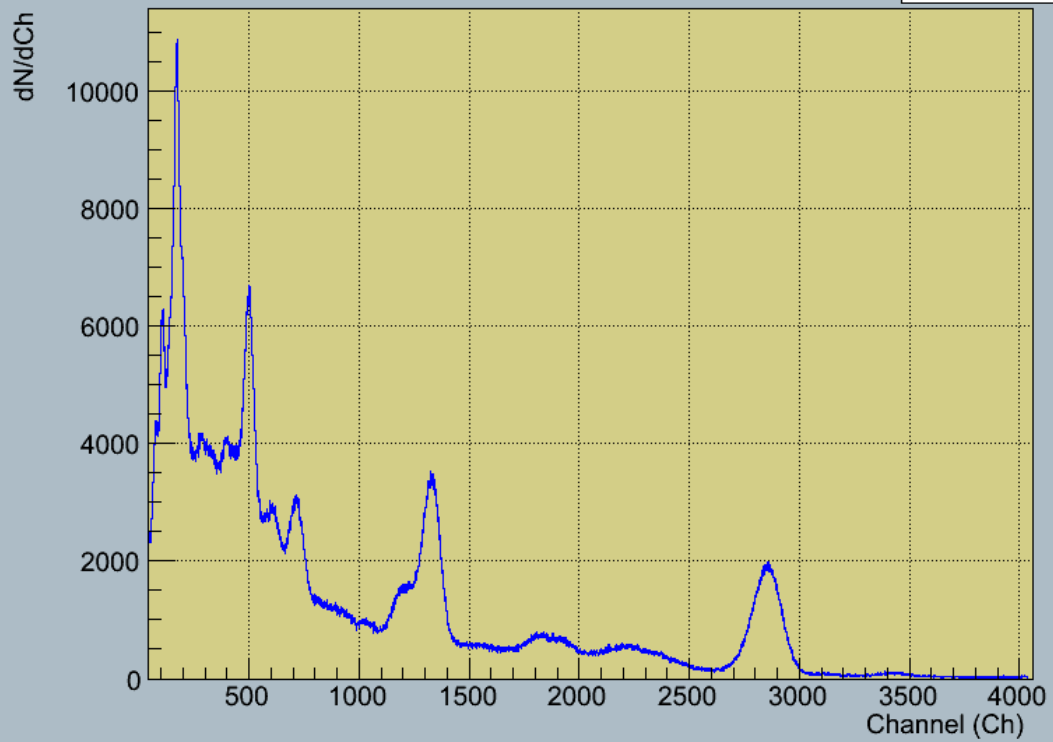
histo	
Entries	4096
Mean	830.7
RMS	748





20.Toprak\_Ornegi

histo	
Entries	4096
Mean	894.2
RMS	829.2



21.Toprak\_Ornegi

histo	
Entries	4096
Mean	769.9
RMS	758.1



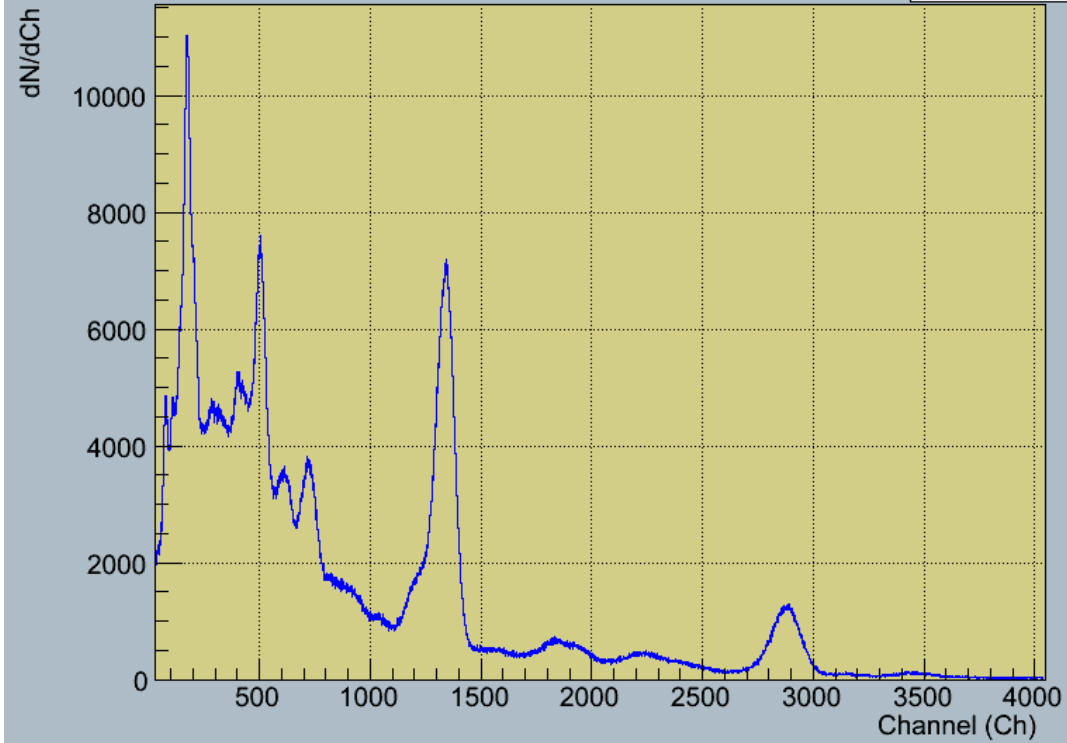
22.Toprak\_Ornegi

histo	
Entries	4096
Mean	774.4
RMS	765.2

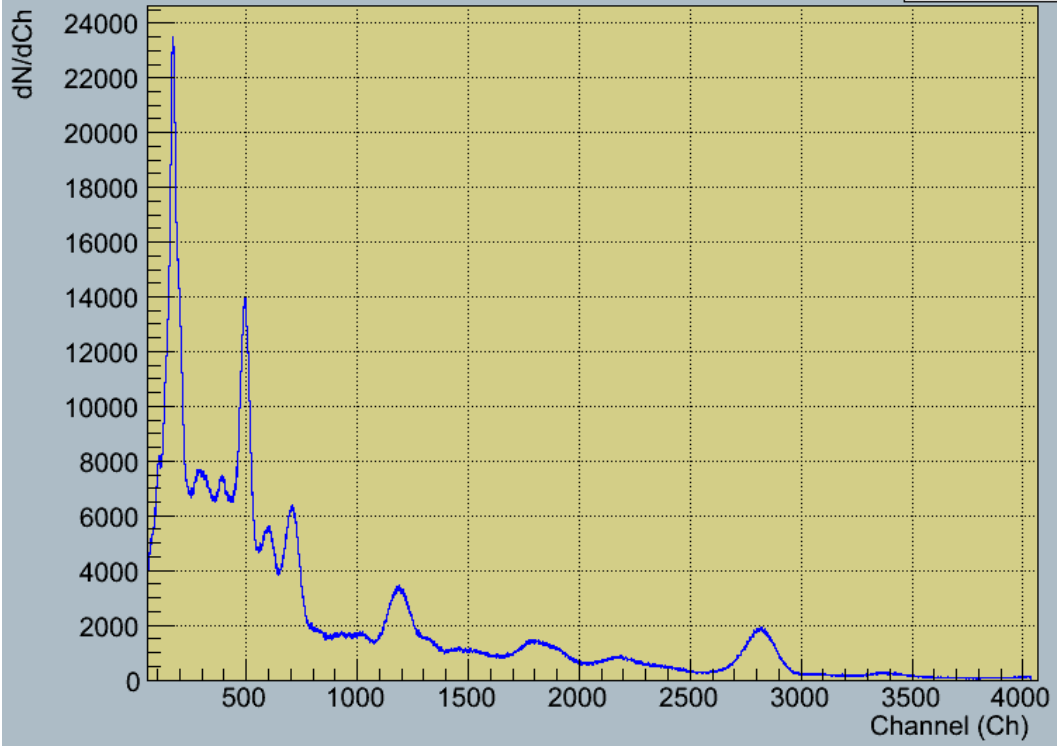


23.Toprak\_Ornegi

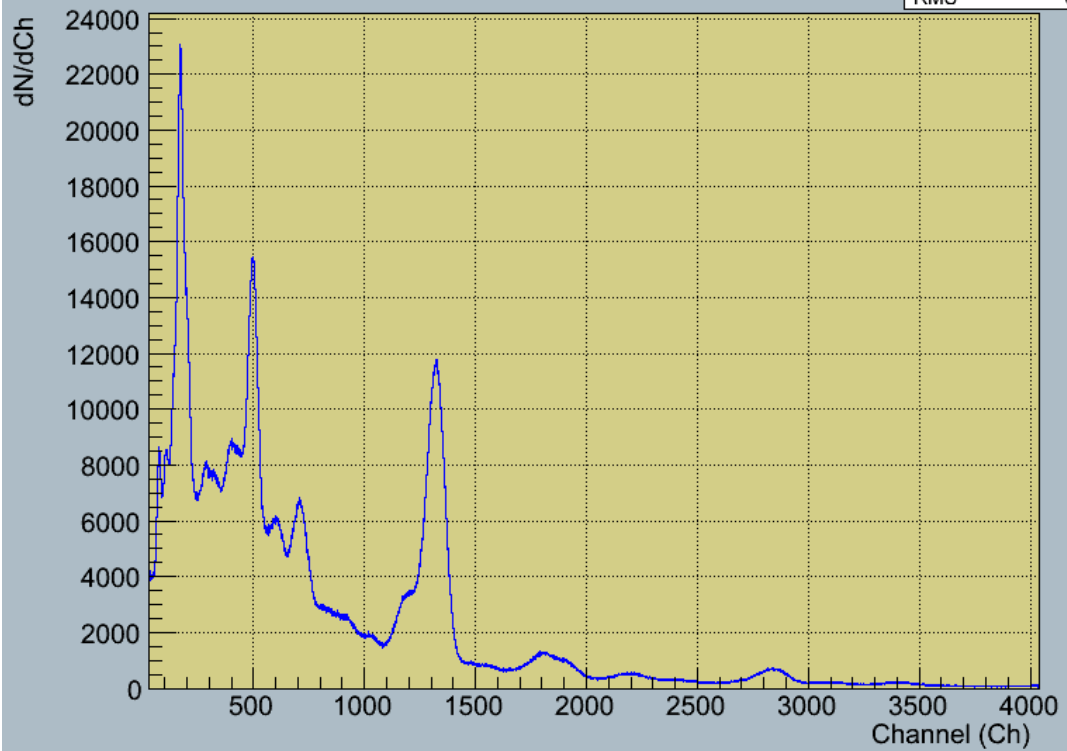
histo	
Entries	4096
Mean	846.9
RMS	740.2



## 24.Toprak\_Ornegi

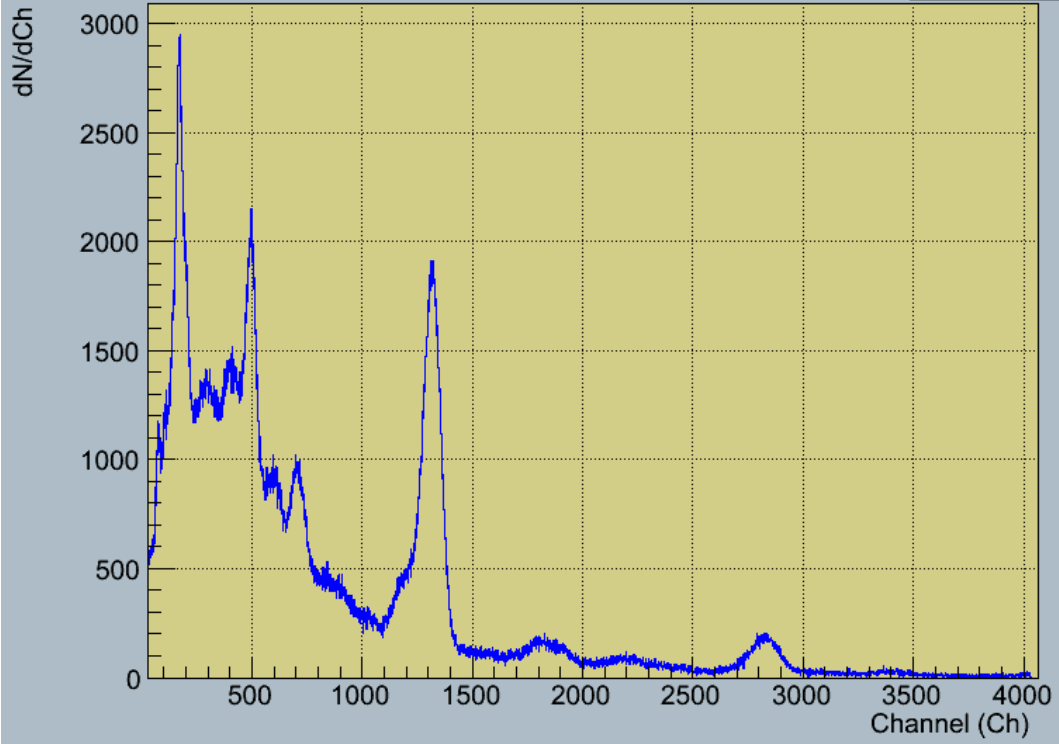


## 5.Toprak\_Ornegi\_Kontrol\_Olcumu



12.Toprak\_Ornegi\_Kontrol\_Olcumu

histo	
Entries	4096
Mean	775.2
RMS	678.7

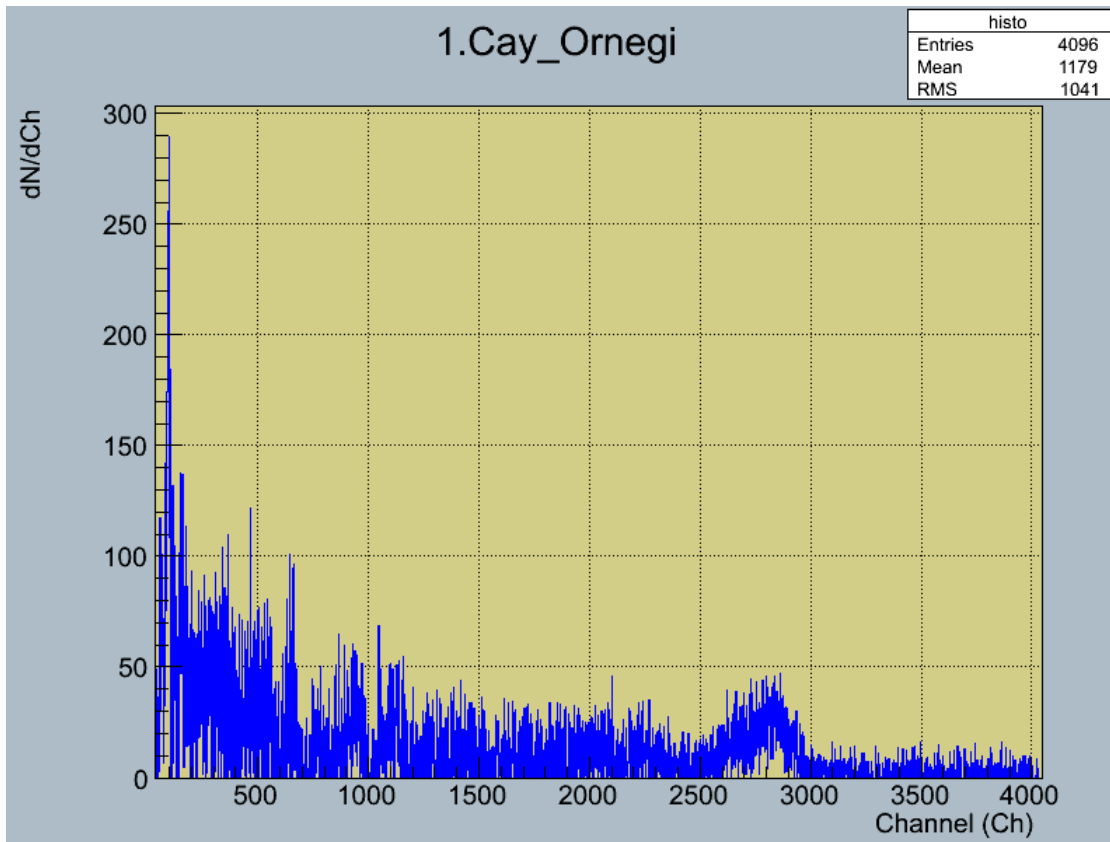


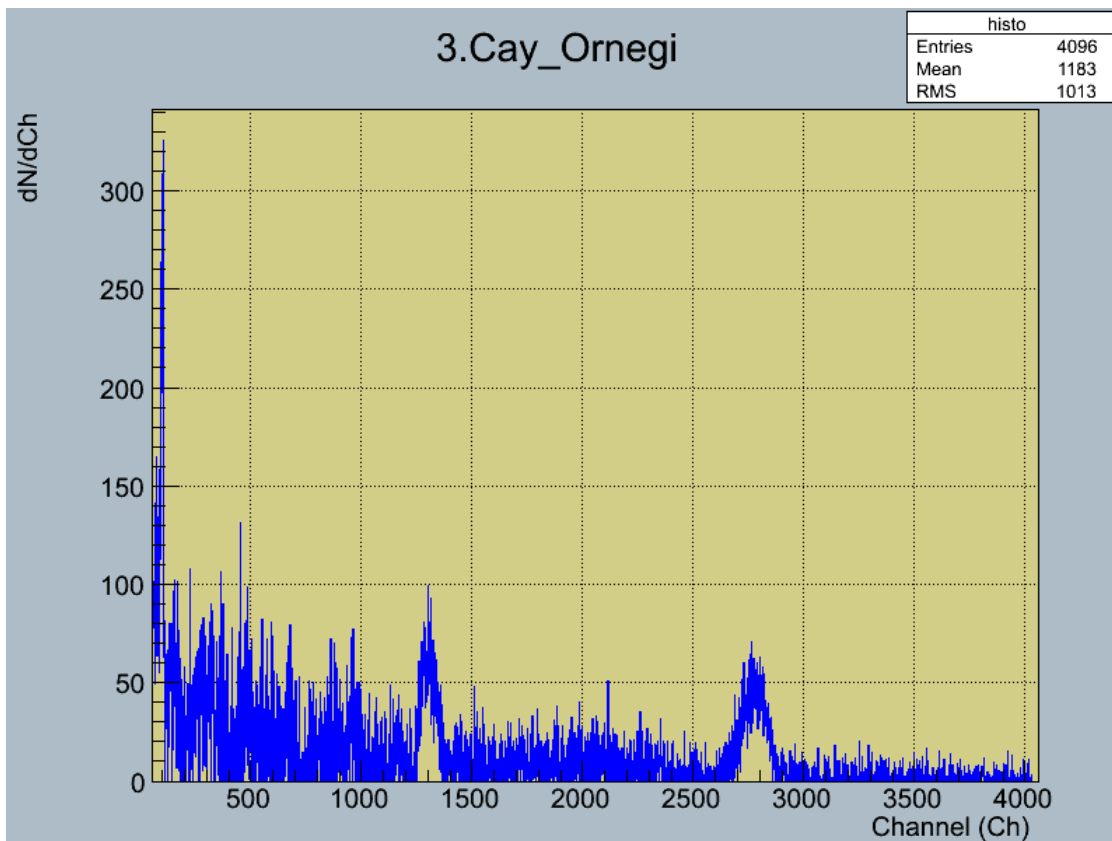
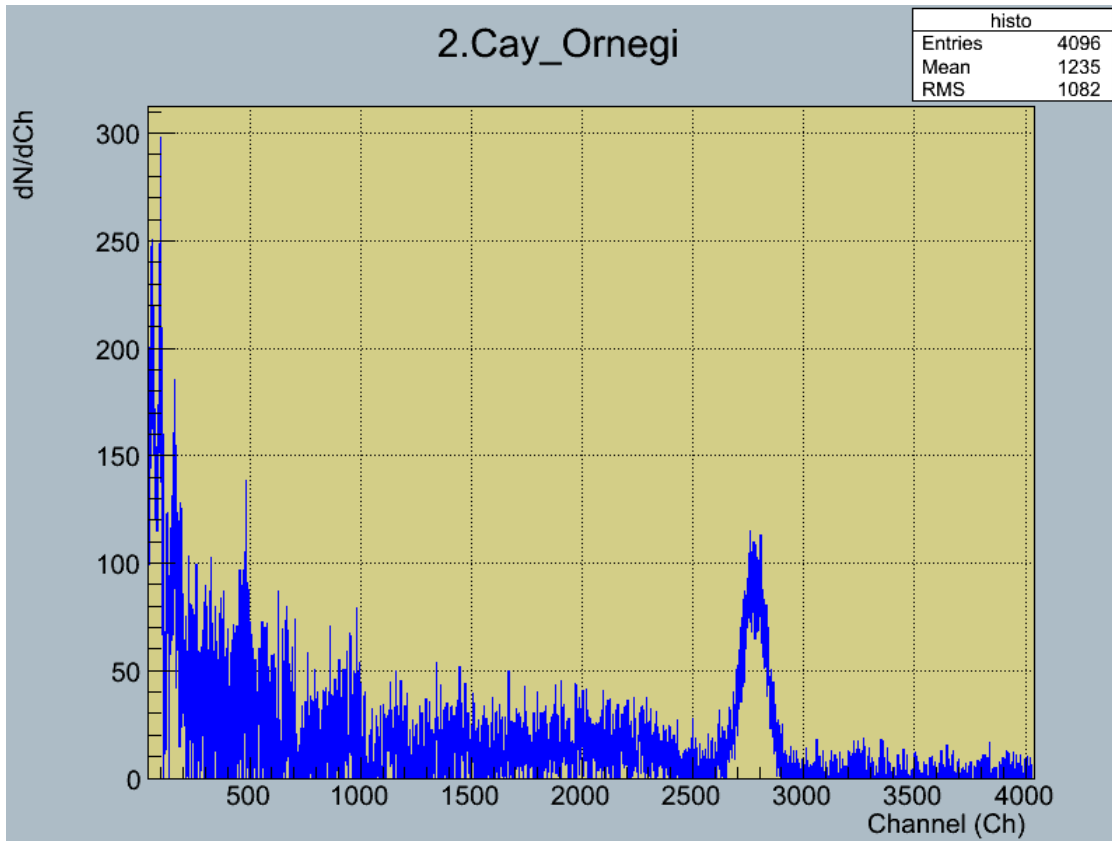
21.Toprak\_Ornegi\_Kontrol\_Olcumu

histo	
Entries	4096
Mean	771.5
RMS	760



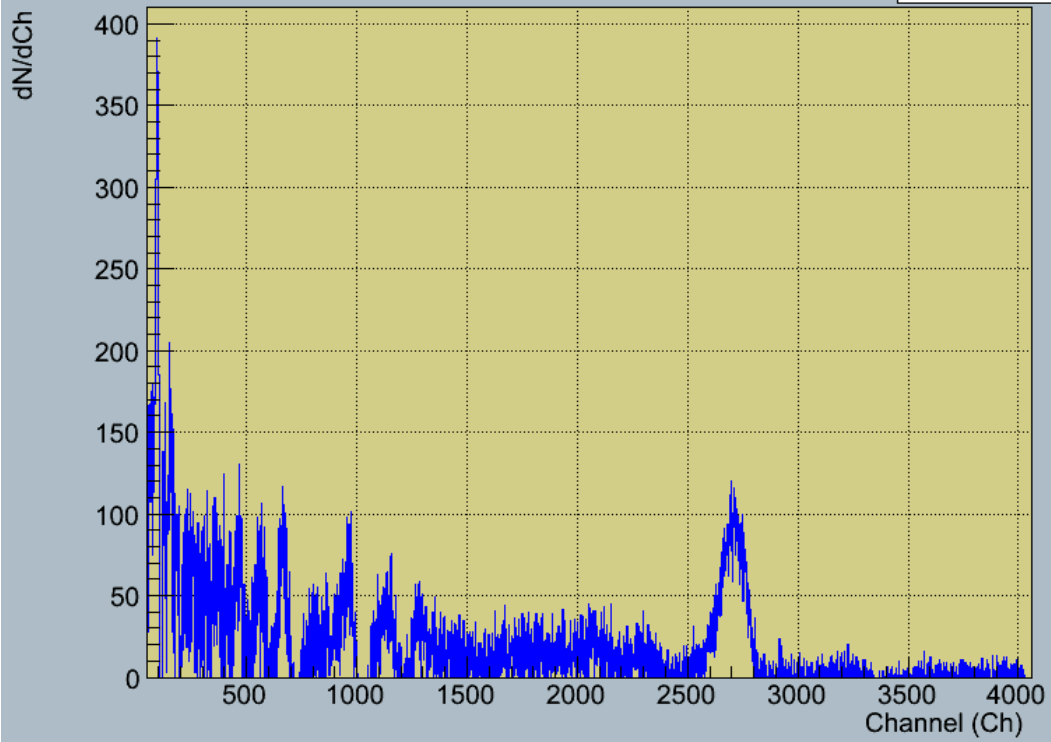
## BACKGROUNDLARI ÇIKARILMIŞ ÇAY SPEKTRUMLARI





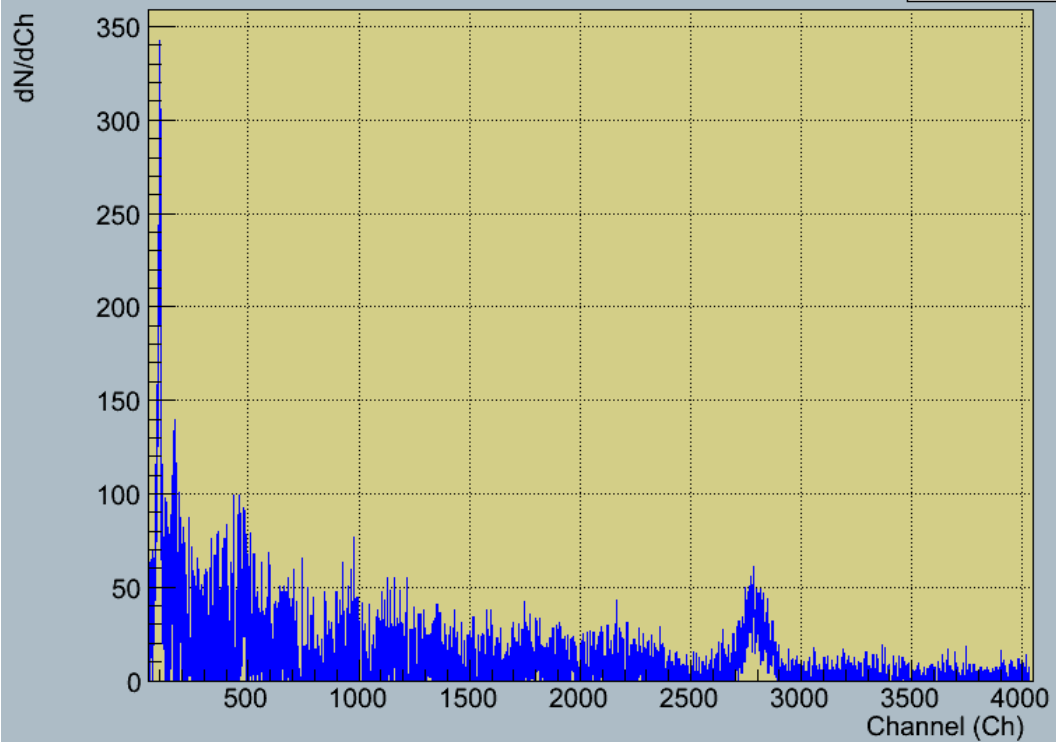
### 4.Cay\_Ornegi

histo	
Entries	4096
Mean	1157
RMS	1013



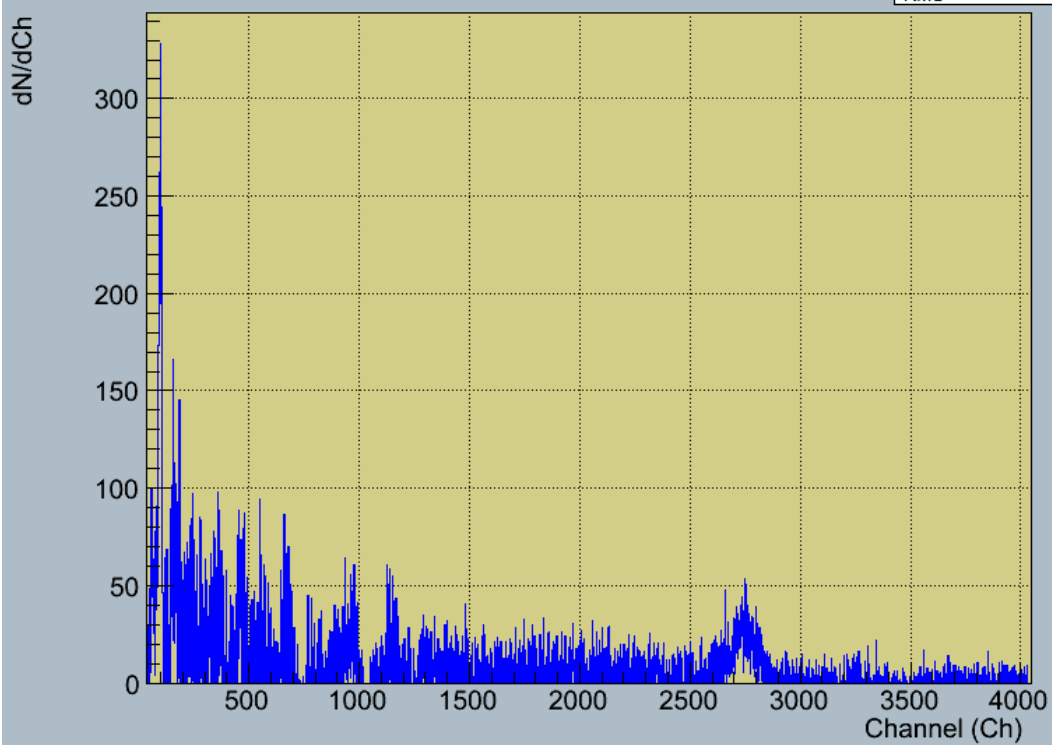
### 5.Cay\_Ornegi

histo	
Entries	4096
Mean	1170
RMS	1050



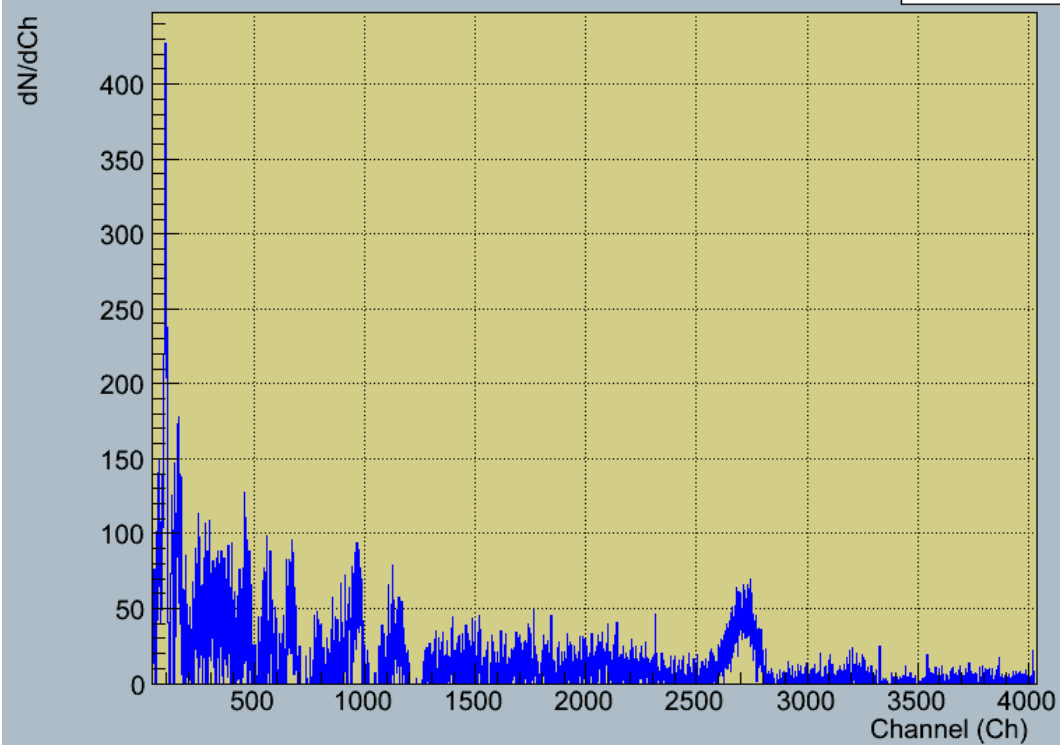
### 6.Cay\_Ornegi

histo	
Entries	4096
Mean	1106
RMS	1045

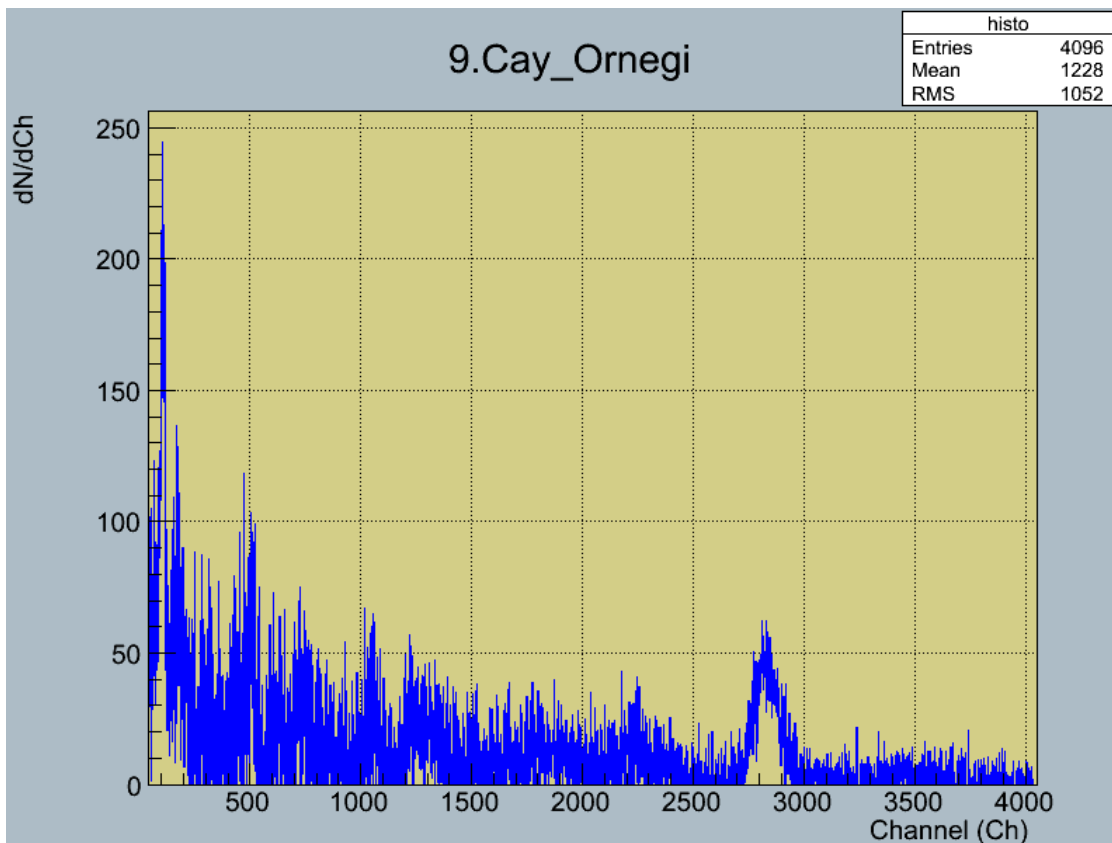
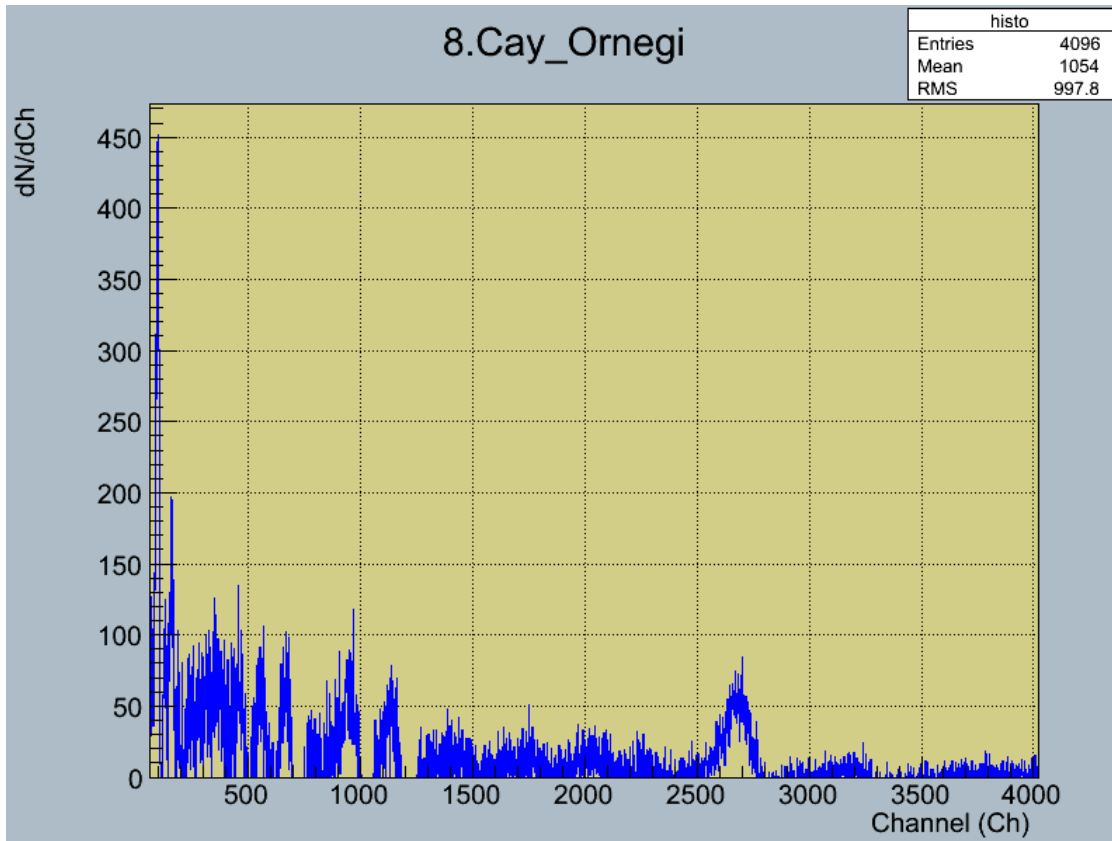


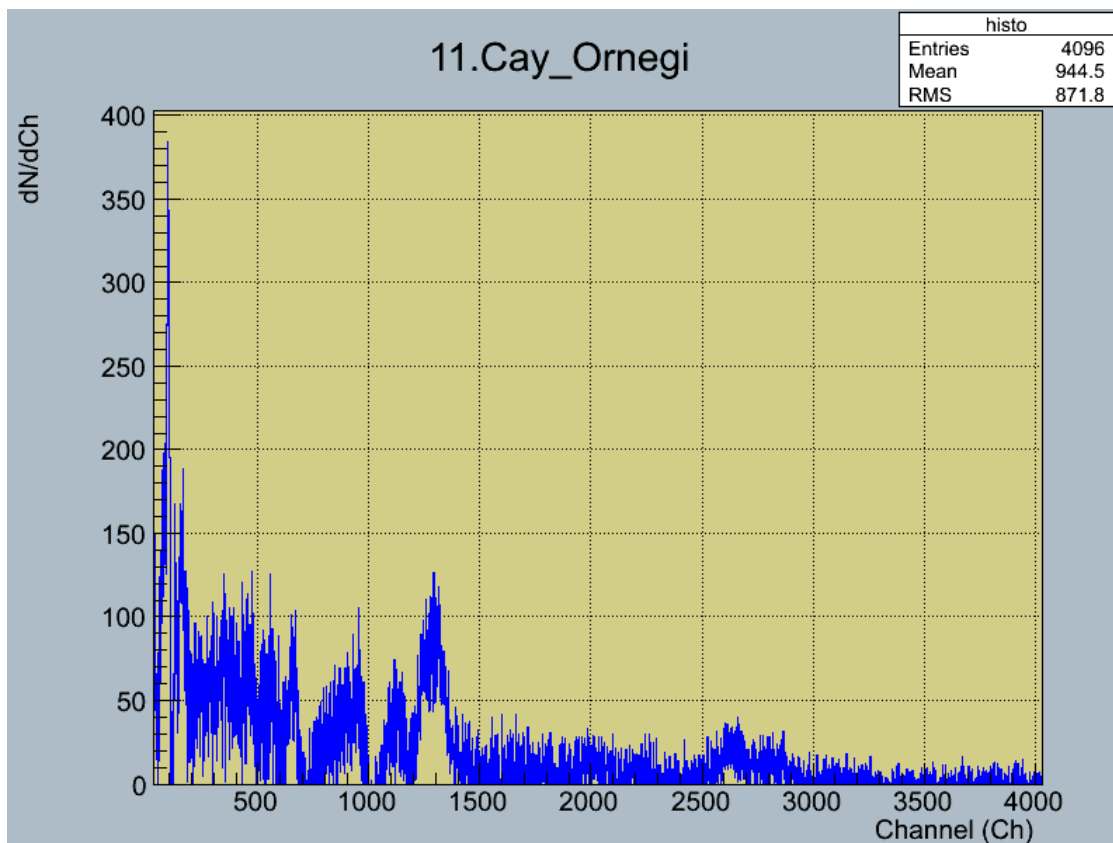
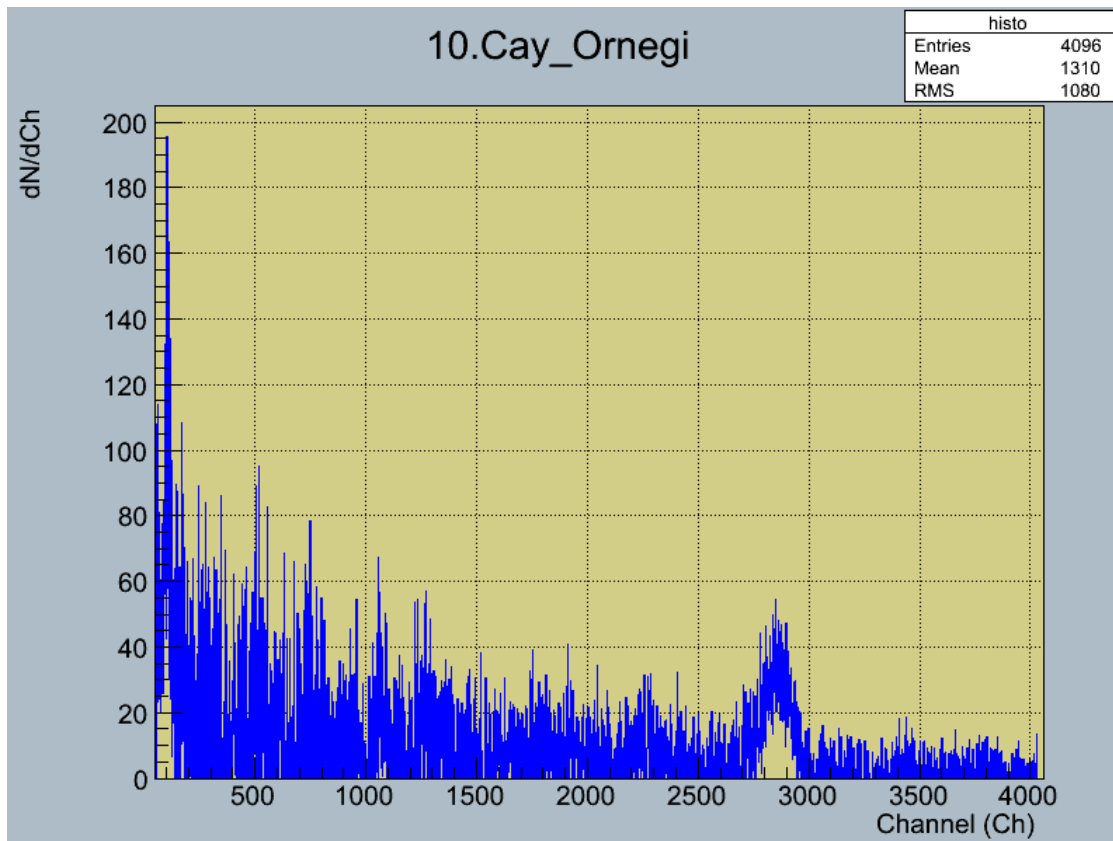
### 7.Cay\_Ornegi

histo	
Entries	4096
Mean	1072
RMS	1014









## ÖZGEÇMİŞ

---

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Meryem YILDIRIM  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 16.07.1986 / Bakırköy  
**Yabancı Dili** : İngilizce  
**E-posta** : mrym\_yldrm@hotmail.com

### ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Fizik	Y.T.Ü.	2015
Lisans	Fizik	Y.T.Ü.	2010
Lise	Fen Bilimleri	Özel Bahçelievler İhlas Ç.P.L.	2004

### İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2014-Devam	Özel Vital A.S.M.L.	Fizik Öğretmeni
2010-2014	Murat Dergisi Dershanesi	Fizik Öğretmeni

## **YAYINLAR**

### **Bildiriler**

- 1.** The Effect of Chernobyl on Major Agricultural Product (Tea) Of Rize, TPS 29. International Physics Congress 2012.
- 2.** The Environmental Residuals of Chernobyl at Rize Territory, TPS 29. International Physics Congress 2012.

### **Proje**

- 1.** Y.T.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü, YÜLAP 2012-01-01-YL05