



T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



YÜKSEK LİSANS TEZİ

TÜRKİYE'DE YETİŞEN TÜTÜNLERDEKİ RADYOAKTİF
ÇEKİRDEK KONSANTRASYONLARININ ÖLÇÜLMESİ

Güler AĞGEZ

Fizik Anabilim Dalı

Nükleer Fizik Programı

DANIŞMAN

Doç. Dr. Ela GANİOĞLU

Aralık, 2017

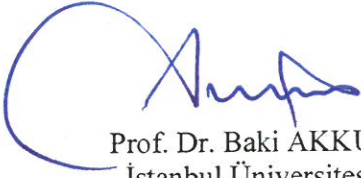
İSTANBUL

Bu çalışma, 22.12.2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Fizik Anabilim Dalı, Nükleer Fizik Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi



Doç. Dr. Ela GANİOĞLU(Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi



Prof. Dr. Baki AKKUŞ
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi



Prof. Dr. Latife ŞAHİN YALÇIN
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi



Doç. Dr. Lidya SUSAM
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi



Doç. Dr. Melahat BAYAR
Kocaeli Üniversitesi
Fen-Edebiyat Fakültesi



20.04.2016 tarihli resmi gazetede yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi'nin aboneli olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

ÖNSÖZ

Lisans ve yüksek lisans öğrenimim boyunca bana çok şey katan, hiçbir zaman desteğini esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım sevgili danışman hocam Doç. Dr. Ela GANİOĞLU'na en içten dileklerle teşekkür ederim.

Yüksek lisans dönemi boyunca çalışmalarına katkıda bulunan Prof. Dr. Latife ŞAHİN YALÇIN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmam için örnekleri bulmam konusunda beni yönlendiren Tütün ve Alkol Piyasası Düzenleme Kurumu'na ve örnekleri temin eden SOCOTAB Yaprak Tütün San. ve Tic. A.Ş.'ye katkılarından ve yardımlarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Lisans döneminden itibaren tanıdığım, maddi ve manevi yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen, tez çalışmamda bana çok yardımcı dokunan arkadaşım Orhan AYDİLEK'e teşekkür ederim.

Tez çalışmam konusunda bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım Nurgül HAFIZOĞLU'na, tezimi düzeltmemde bana yardımcı olan ve bu süreçte bana destek olan Arş. Gör. Fatma Çağla ÖZTÜRK'e ve yardımlarından dolayı Arş. Gör. Aziz KURT'a teşekkür ederim.

Son olarak, emeklerini hiçbir zaman göz ardı edemeyeceğim, her zaman her konuda bana inanan, beni destekleyen, haklarını hiçbir zaman ödeyemeyeceğim canım annem ve babama sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Aralık 2017

Güler AĞGEZ

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ.....	ix
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	x
ÖZET	xii
SUMMARY	xiv
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR	3
2.1. RADYASYON VE RADYOAKTİVİTE.....	3
2.1.1. Radyoaktif Bozunma Türleri	3
2.1.1.1. Alfa Bozunumu.....	4
2.1.1.2. Beta Bozunumu	4
2.1.1.3. Gama Bozunumu.....	6
2.1.2. Radyasyon Kaynakları.....	6
2.1.2.1. Doğal Radyasyon Kaynakları	7
2.1.2.2. Yapay Radyasyon Kaynakları.....	8
2.1.3. Radyasyon Birimleri	9
2.2. RADYOAKTİF SERİLER.....	10
2.2.1. Doğal Seriler.....	10
2.2.1.1. Toryum Serisi.....	11
2.2.1.2. Uranyum Serisi	12
2.2.1.3. Aktinyum Serisi	14
2.2.2. Yapay Seriler	17
2.2.2.1. Neptinyum Serisi.....	17
2.3. GAMA SPEKTROSKOPİ SİSTEMİ.....	18
2.3.1. Gama Işınlınının Madde İle Etkileşimi	18
2.3.1.1. Fotoelektrik Olay.....	19
2.3.1.2. Compton Olayı.....	19
2.3.1.3. Çift Oluşumu.....	21

2.3.2. HPGe Dedektörü ve Çalışma Prensibi.....	22
2.3.3. HPGe Dedektörü ile Bitkilerdeki Radyasyonun Ölçümü.....	26
2.4. TÜTÜN BİTKİSİ	26
2.4.1. Türkiye’de Tütün Bitkisi	27
2.4.2. Tütün Bitkisindeki Radyoaktif Çekirdekler	29
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	30
3.1. ÖRNEK HAZIRLAMA YÖNTEMİ.....	30
3.2. ÖLÇME İŞLEMİ.....	35
3.2.1. Ölçüm Cihazı	35
3.2.2. Enerji ve Verim Kalibrasyonu	36
3.3. ANALİZ YÖNTEMİ.....	38
3.3.1. Aktivite Hesabı	39
3.3.1.1. MDA Hesabı	40
3.3.2. Yıllık Etkin Doz Hesabı	41
4. BULGULAR.....	43
4.1. TÜTÜN YAPRAKLARINDAKİ AKTİVİTE KONSANTRASYONLARI	43
4.2. YILLIK ETKİN DOZLAR	46
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	49
KAYNAKLAR.....	52
ÖZGEÇMİŞ	55

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1: Doğal ve yapay radyasyon dağılımı [12].	7
Şekil 2.2: Doğal radyasyon dağılımı [13].	7
Şekil 2.3: Toryum serisi [16].	11
Şekil 2.4: Uranyum serisi [18].	13
Şekil 2.5: Aktinyum serisi [18].	15
Şekil 2.6: Neptinyum serisi [18].	17
Şekil 2.7: Üç γ ışınının baskın olduğu bölgeler [7].	18
Şekil 2.8: Fotoelektrik olay [20].	19
Şekil 2.9: Compton olayı [20].	20
Şekil 2.10: Compton saçılmasının geometrisi [6].	20
Şekil 2.11: Çift oluşumu [20].	21
Şekil 2.12: Ge (Li) dedektörü ile NaI dedektörleri ile alınan piklerin karşılaştırılması [21].	23
Şekil 2.13: Gama spektroskopisinin gösterimi.	25
Şekil 2.14: HPGe dedektörü ile alınan ²⁴ Na γ spektrumu [8].	25
Şekil 2.15: Tütün bitkisi.	27
Şekil 2.16: Türkiye’de yetiştirilen tütün çeşitlerinden bazıları.	28
Şekil 3.1: Tütün yaprakları örneklerinin çeşitleri.	31
Şekil 3.2: İncelenen tütün yaprağı örneklerinin yetiştiği şehirlerin harita üzerinde gösterimi.	32
Şekil 3.3: Kurutulmuş tütün yaprakları.	33
Şekil 3.4: Öğütülen tütün yaprakları.	34
Şekil 3.5: Paketlenen tütün yaprağı örnekleri.	34

Şekil 3.6: İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü Nükleer Fizik Anabilim Dalı Nükleer Fizik Araştırma Laboratuvarında bulunan gama spektroskopisi ölçüm sistemi.	35
Şekil 3.7: Enerji kalibrasyonu için kullanılan pikler.....	37
Şekil 3.8: Verim kalibrasyonu için kullanılan pikler.	38
Şekil 3.9: Örnek spektrum.	39
Şekil 4.1: ^{238}U Çekirdeğinin Ağırlıklı Aktivite Dağılımı.	44
Şekil 4.2: ^{232}Th Çekirdeğinin Ağırlıklı Aktivite Dağılımı.	44
Şekil 4.3: ^{40}K Çekirdeğinin Aktivite Dağılımı.....	45
Şekil 4.4: ^{137}Cs Çekirdeğinin Aktivite Dağılımı.	45
Şekil 4.5: ^{238}U Çekirdeğinin Yıllık Etkin Doz Dağılımı.....	47
Şekil 4.6: ^{232}Th Çekirdeğinin Yıllık Etkin Doz Dağılımı.	47
Şekil 4.7: ^{137}Cs Çekirdeğinin Yıllık Etkin Doz Dağılımı.	48

TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 2.1: Kalite Faktörü [11].	10
Tablo 2.2: Toryum serisinin bazı özellikleri [17].	12
Tablo 2.3: Uranyum serisinin bazı özellikleri [17].	14
Tablo 2.4: Aktinyum serisinin bazı özellikleri [17].	16
Tablo 2.5: 2014 ürünü Türkiye tütün üretimi [31].	28
Tablo 3.1: 25 Farklı Tütün Örneği.	30
Tablo 3.2: Toprak Standartının Özellikleri.	36
Tablo 3.3: ^{238}U , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K enerjileri ve gama ışını bozunma olasılıkları [35].	40
Tablo 3.4: Yetişkinlerde soluma için doz dönüşüm faktörleri [37,38].	42
Tablo 4.1: Tütün Yapraklarındaki Aktivite Konsantrasyonları (Bq/kg).	43
Tablo 4.2: Bir Günde Bir Paket (20 Adet) Sigara Dumanındaki Yıllık Etkin Dozlar.	46
Tablo 5.1: Türkiye' ye ait iki sigara markasındaki tütün için aktivite değerleri [34].	50
Tablo 5.2: ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs ortalama aktivite konsantrasyonlarının diğer çalışmalar ile karşılaştırılması.	50

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
α	: Alfa
β	: Beta
β^-	: Beta-Eksi Bozunması
β^+	: Beta-Artı Bozunması
e^+	: Pozitron
e^-	: Elektron
ϵ	: Elektron Yakalama
γ	: Gama
n	: Nötron
ν	: Nötrino
$\bar{\nu}$: Antinötrino
p^+	: Proton

Kısaltmalar	Açıklama
Bq	: Becquerel
C	: Coulomb
Ci	: Curie
cm	: Santimetre
g	: Gram
Gy	: Gray
HPGe	: High Purity Germanium Detector (Yüksek Saflıkta Germanyum Dedektörü)
J	: Joule
keV	: Kilo Elektron Volt
kg	: Kilogram
MDA	: Minimum Dedekte Edilebilir Aktivite
MeV	: Mega Elektron Volt
μm	: Mikro metre
mm	: Milimetre

μSv	: Mikro Sievert
nSv	: Nano Sievert
Q	: Kalite Faktörü
R	: Röntgen
s	: Saniye
sa	: Saat
Sv	: Sievert
UNSCEAR	: The United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi)



ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TÜRKİYE’DE YETİŞEN TÜTÜNLERDEKİ RADYOAKTİF ÇEKİRDEK KONSANTRASYONLARININ ÖLÇÜLMESİ

Güler AĞGEZ

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Ela GANİOĞLU

Türkiye tütün yetiştiriciliği bakımından Dünya’da 5. sırada yer almaktadır. Ülkemizin Ege, Karadeniz, Güneydoğu Anadolu, Doğu Anadolu, Marmara ve Akdeniz bölgesinde farklı türlerde tütün yetiştirilmektedir. Tütün ile ilgili yapılan çalışmalarda, tütün içerisinde doğal olarak oluşan radyoaktif maddelere rastlanmıştır. Bu radyoaktif maddelerin bazıları, tütünün ekildiği topraktan kaynaklanan ^{238}U (238-Uranyum), ^{232}Th (232-Toryum) ve ^{40}K (40-Potasyum) tır ve bölgeden bölgeye değişiklik gösterebilir. Dünya’da tütün ve tütün mamüllerini kullanmaktan dolayı çok sayıda insan ölmektedir. Tütünün insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerinin başlıca sebeplerinden biri de tütünün içerisindeki radyoaktif maddelerdir. Bu tez kapsamında Türkiye’de farklı bölgelerde yetişen farklı türdeki tütün örnekleri temin edilmiş ve bu örneklerdeki radyoaktif çekirdek konsantrasyonları hesaplanmıştır. Ayrıca coğrafi konumu nedeniyle Türkiye’nin Çernobil Reaktör Kazası’nda açığa çıkan fisyon ürünlerinin atmosferik yollarla taşınmasından etkilendiği düşünülmektedir. Bundan dolayı Türkiye’de yetişmekte olan tütün bitkisinde doğal radyoaktif maddeler dışında sezyum izotoplarının da olduğu düşünülmüş ve ^{137}Cs (137-Sezyum) nin radyoaktivitesi de incelenmiştir. ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyoaktif çekirdekleri ölçme işlemi son teknoloji ile üretilen p-tipi koaksiyel %35 verimlilikte yüksek saflıkta germanyum dedektörünü (HPGe) içeren Gama Spektroskopi Sistemi ile yapılmıştır. Hesaplanan bu veriler The United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR)’ın raporlarında sunulan sınır değerleri ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca elde edilen sonuçlara dayanarak sigara içenlerin maruz kaldığı yıllık etkin doz miktarı hesaplanmıştır.

Aralık 2017, 70 sayfa.

Anahtar kelimeler: Radyoaktivite, tütün, sezyum, gama spektroskopisi



SUMMARY

M.Sc. THESIS

MEASUREMENT OF THE CONCENTRATIONS OF RADIOACTIVE NUCLEI IN TOBACCO GROWN IN TURKEY

Güler AĞGEZ

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Science and Engineering

Department of Physics

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Ela GANİOĞLU

Turkey is ranked fifth in terms of tobacco growing in the world. Ege, Karadeniz, Güneydoğu Anadolu, Doğu Anadolu, Marmara and Akdeniz Regions are the main tobacco growing regions. In the studies on tobacco, naturally occurring radioactive substances were encountered. Some of these radioactive substances are ^{238}U , ^{232}Th and ^{40}K derived from the soil to which the tobacco is planted and may vary from region to region. A lot of people die because of using tobacco and tobacco products in the World. One of the lethal causes of tobacco is radioactive substances in tobacco. In this thesis, samples of different types of tobacco grown in different regions in Turkey were obtained and the concentrations of radioactive nuclei in these samples were calculated. It is also believed that due to its geographical location, Turkey has been affected by the atmospheric convection of its fission products, which were come out in the Chernobyl Reactor Accident. Therefore, it is thought that there are also cesium isotopes other than natural radioactive substances in the tobacco plant growing in Turkey, and the radioactivity of ^{137}Cs (137-Cesium) is also examined. The measurement of ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K and ^{137}Cs radioactive nuclei was performed with Gamma Spectroscopy System containing high purity germanium detector (HPGe) with p-type coaxial 35% efficiency. These calculated data are compared with the limit values presented in the UNSCEAR reports. In addition, based on the results obtained, the annual effective amount of dose to which smokers were exposed was calculated.

November 2017, 70 pages.

Keywords: Radioactivity, tobacco, cesium, gamma spectroscopy



1. GİRİŞ

Yaşayan her canlı doğal ya da yapay radyasyona maruz kalmaktadır. Canlıların maruz kaldıkları radyasyon buldukları bölgeden bölgeye farklılık göstermektedir. Canlıların maruz kaldığı yıllık etkin dozun %85'i doğal radyasyondan kaynaklanmaktadır. Doğal radyasyonun büyük bir kısmı ise topraktan gelmektedir.

Doğal radyoaktif serilerin içerisinde bulunan radyoaktif elementler toprakta bulunurlar ve toprağa ekilen bitkilerin kökleri vasıtasıyla bitkinin içine dahil olurlar. Ayrıca yapay olarak bulunan radyoaktif çekirdekler de çeşitli yollarla (nükleer reaktör kazası vb. nükleer olaylar sonucunda açığa çıkan fisyon ürünlerinin atmosferik yollarla bir bölgeye taşınması gibi) toprağa sızabilir ve benzer şekilde bitkinin yapısına dahil olurlar. Bu durum göz önüne alındığında bitkilerde bulunan radyoaktivite miktarının tespit edilmesi canlıların sağlığı açısından önem teşkil etmektedir.

Tütün bitkisi, ilk olarak 17. yüzyıl başlarında İngiliz, İspanyol ve Venedik gemicileri ve tacirleri tarafından Türkiye'ye getirilmiştir. Günümüzde ise Türkiye tütün yetiştiriciliği bakımından Dünya'da 5. Sırada yer almaktadır ve yetişkinler için tütün tüketim oranı yaklaşık % 27'dir [1].

Radyoaktif açıdan bakıldığında tütünün insan sağlığı üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla tütün bitkisinde bulunan radyoaktif çekirdek konsantrasyonlarının tespiti için Türkiye ve Dünya'da çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Tütünde bulunan bu radyoaktif çekirdeklerin bazıları, tütünün ekildiği topraktan kaynaklanan ^{238}U (238-Uranyum), ^{232}Th (232-Toryum), ^{40}K (40-Potasyum) tür ve bu çekirdekler bölgeden bölgeye değişiklik gösterebilir. Bunun dışında belirli bölgelerde Çernobil Reaktör Kazası'ndan sonra atmosferik yollarla taşınan sezyum izotoplarının da mevcut olduğu tespit edilmiştir.

Türkiye'de yapılan bir çalışmada, marketlerden alınan 14 farklı sigara tütünündeki doğal ve yapay radyoaktivite konsantrasyonları %20 rölatif verimli n-tipi yüksek saflıkta germanyum (HPGe) gama spektroskopisi kullanılarak belirlenmiştir. ^{226}Ra (226-Radyum), ^{232}Th , ^{40}K , ^{210}Pb (210-Kurşun) ve ^{137}Cs radyoaktivite konsantrasyonları ölçülmüştür. ^{137}Cs radyoaktivite konsantrasyonları ölçülebilir en düşük aktivite değerinin altında gözlenmiştir. ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{210}Pb ortalama radyoaktivite konsantrasyonları sırasıyla $11,9 \pm 1,4$, $11,7 \pm 1,4$, $1197,48 \pm$

143,7 ve $24,9 \pm 3,0$ Bq/kg olarak bulunmuştur. ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{210}Pb radyoaktivite konsantrasyonları değerleri dünyadaki diğer çalışmalarda elde edilen sonuçlarla uyuşmaktadır [2].

Yunanistan'da yapılan bir çalışmada 15 farklı bölgeden alınan 17 tütün örneğindeki doğal radyoaktif kaynaklar olan ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{228}Ra (228-Radyum), ^{40}K aktivite konsantrasyonları ölçülmüştür. Ayrıca, 1986 yılında meydana gelen Çernobil Reaktör Kazası'ndan sızan ^{134}Cs (134-Sezyum) ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonları da ölçülmüştür. Ölçümler HPGe dedektörü ile yapılmıştır. ^{226}Ra aktivite konsantrasyonu ortalama 3,38 Bq/kg, ^{228}Ra aktivite konsantrasyonu ortalama 3,83 Bq/kg, ^{210}Pb aktivite konsantrasyonu ortalama 14,12 Bq/kg, ^{137}Cs aktivite konsantrasyonu ortalama 3,40 Bq/kg, ^{40}K aktivite konsantrasyonu ortalama 822,76 Bq/kg olarak hesaplanmıştır. Sigara kullanan insanların maruz kaldığı yıllık etkin dozlar hesaplanmıştır [3].

Libya'da bir sigara fabrikasından temin edilen tütün yapraklarından üretilen sigaralardaki ^{40}K aktivitesi $1,30 \pm 0,40$ Bq/g bulunmuştur. Bunun yanında tütün yapraklarında, Çernobil Kazasından kaynaklanan ^{137}Cs aktivitesi 0,04 Bq/g ve ^{134}Cs aktivitesi 0,01 Bq/g bulunmuştur. Yıllık etkin doz eşdeğerleri ve tütün tüketimi ile solunan ^{134}Cs , ^{137}Cs ve ^{40}K doz eşdeğerleri bulunmuştur [4].

Bu tez çalışmasında Türkiye'nin farklı bölgelerinde yetişen farklı türdeki 25 tütün örneği temin edilmiş ve ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyoaktif çekirdek miktarı ölçülmüştür. ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyoaktif çekirdeklerinin ölçüm işleminde İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü Nükleer Fizik Anabilim Dalı Nükleer Fizik Araştırma Laboratuvarı'nda bulunan Gama Spektroskopi Sistemi kullanılmıştır. Bu sistem bir adet p-tipi koaksiyel %35 verimlilikte yüksek saflıkta germanyum dedektörü (HPGe) ve buna bağlı sayım sisteminden oluşmaktadır.

Windows işletim sistemi altında çalışan Gamma Vision 6.2 programı kullanılarak radyoaktif çekirdeklere ait piklerin analizi yapılmış ve sonrasında her bir çekirdek için aktivite değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu veriler UNSCEAR'ın raporlarında sunulan sınır değerleri ile karşılaştırılmış ve elde edilen sonuçlara dayanarak sigara içenlerin maruz kaldığı yıllık etkin doz miktarı hesaplanmıştır.

2. GENEL KISIMLAR

2.1. RADYASYON VE RADYOAKTİVİTE

Radyasyon, elektromanyetik dalgalar şeklinde ya da parçacıklar halinde yayılan enerjidir. Radyasyonun temel kaynağı atomlardır. Atomlar maddeyi oluşturan temel yapılardır. Bir atom, protonlar ve nötronlardan oluşan bir çekirdek ile bu çekirdeğin etrafında bulunan elektronlardan oluşmaktadır. Eğer bir atomun çekirdeğindeki nötron sayısı proton sayısından fazla ise bu çekirdek kararsızdır ve fazla nötronlar alfa parçacığı, beta parçacığı ya da gama ışını yayarak bozunmaktadır ve çekirdek kararlı yapıya geçene kadar sürekli olarak bu şekilde ışıma yapmaktadır. Diğer bir deyişle atom radyasyon yaymaktadır [5].

Atomun radyasyonu yayma olayına radyoaktivite denir. Radyoaktivite 1896 yılında Henri Becquerel tarafından keşfedilmiştir. Wilhelm Conrad Röntgen'in X-ışınlarını keşfetmesinden hemen sonra, Becquerel uranyum tuzlarıyla çalışmalar yapmıştır ve X-ışınlarına benzer sonuçlar elde etmiştir. Uranyum tuzlarının siyah kağıttan geçebilecek ışınlarını keşfetmiş ve hatta uranyum tuzları ve fotoğraf plakaları arasına yerleştirilen ince cam ve metal plakalardan yayılan bu ışınları fotoğraf plakaları üzerinde gözlemlemiştir. 1898 yılında Marie ve Pierre Curie, çalışmalarında diğer radyoaktif elementlerin de benzer şekilde davrandığını keşfetmişlerdir [6].

2.1.1. Radyoaktif Bozunma Türleri

Atom çekirdeğinin alfa parçacığı, beta parçacığı veya gama ışını yayınlaması olayına radyoaktif bozunma denir. Üç önemli bozunma türü alfa (α) bozunumu, beta (β) bozunumu ve gama (γ) bozunumudur. Alfa ve beta bozunmalarında, kararsız durumdaki bir atom çekirdeği alfa veya beta parçacığı yayınlamakla kararlı duruma geçmeye çalışır. Gama bozunumu ise uyarılmış haldeki bir çekirdeğin gama ışını yayınlamakla taban duruma geçmesi olayıdır [7].

Radyoaktif bozunma durumunda atom çekirdeği bu üç radyasyondan birini veya birden fazlasını yayınlamakla bozunabilir. Bu tür çekirdekleri içeren maddelere radyoaktif madde denir [8].

2.1.1.1. Alfa Bozunumu

Alfa bozunumunda çekirdek bir alfa (α) parçacığı yayınlar. Alfa parçacığı yüksek iyonlaştırıcı özelliği ve menzili düşük olan, kütle numarası 4, atom numarası 2 olan bir Helyum (${}^4_2\text{He}$) çekirdeğidir. Bu parçacıklar normal bir kağıt ile durdurulabilirler [8].

Alfa bozunumunda ana çekirdek ${}^A_Z\text{X}$, alfa parçacığı ${}^4_2\text{He}$ yayınlamaya ${}^{A-4}_{Z-2}\text{X}'$ ürün çekirdeği oluşur. Bozunum denklemi, denklem 2.1'de gösterilmiştir.



Alfa bozunmasına bir örnek, denklem 2.2'de gösterilmiştir.



Bu bozunmadaki yarılanma süresi yaklaşık 1600 yıldır ve alfa parçacığı 4,8 MeV'lik bir kinetik enerjiye sahiptir [7].

2.1.1.2. Beta Bozunumu

Beta bozunumu sırasında bir beta (β) parçacığı yayınlanır. Beta parçacığı, alfa parçacığına göre daha az iyonlaştırıcı ve daha fazla menzile sahiptir [8].

Beta bozunumunda, çekirdek fazla protonunu bir nötrona veya fazla nötronunu bir protona dönüştürür. Bunu üç farklı yolla yapabilir [7].

Beta-Eksi Bozunumu (β^-):

Çekirdeğin kararsızlığı nötron fazlalığından kaynaklanıyorsa, çekirdek kararlı hale geçmek için bir nötronunu proton ve elektrona dönüştürür. Oluşan elektron çekirdekten atılır. Atılan bu elektrona beta parçacığı denir. β^- bozunma denklemi, denklem 2.3'te gösterilmiştir.



Bu denklemde $\bar{\nu}$, antinötrünodur. Antinötrino yüksüzdür.

β^- bozunması gerçekleştiren ana çekirdeğin proton sayısı bir artarak kendisinden sonraki elementin izobar atomu olur. Bu bozunmada atomun kütle numarası yani atom ağırlığı değişmez [5].

β^- bozunumuna ait bir örnek, denklem 2.4'te gösterilmiştir.



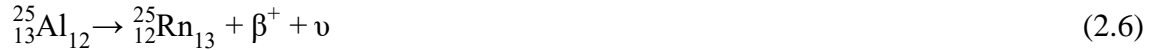
Beta-Artı Bozunumu (β^+):

Çekirdekte proton sayısı nötron sayısından fazla ise, çekirdek bir protonunu nötrona dönüştürerek kararlı yapıya geçecektir. Çekirdeğin kararlı yapıya geçmek için parçaladığı proton, nötron ve pozitrona dönüşür. β^+ bozunumu yapan ana çekirdeğin proton sayısı bir azalarak kendinden önceki elementin izobar atomu olur. Atomun, atom ağırlığı değişmez. β^+ bozunma denklemi, denklem 2.5'te gösterilmiştir.



Bu denklemde e^+ , β^+ parçacığdır. ν ise nötrinodur [9].

β^+ bozunumuna ait bir örnek, denklem 2.6'da gösterilmiştir.



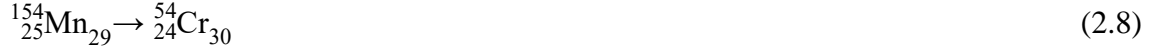
Elektron Yakalama (ϵ):

Çekirdekdeki kararsızlığın nedeni nötron eksikliği ise yani proton fazlalığı ise, çekirdek kararlı yapıya geçmek için atomun K veya L yörüngesindeki elektronu yakalar. Çekirdekdeki proton, nötrona dönüşür. Elektron yakalama olayının reaksiyonu, denklem 2.7'de gösterilmiştir.



Elektron yakalama olayında proton sayısı bir azalır, nötron sayısı bir artar. Kütle numarası ise değişmez. K veya L yörüngelerinden kopan elektron bir boşluk oluşturur. Bu boş kalan yer üst seviyelerdeki bir elektron tarafından doldurulur. İki enerji seviyesindeki farka eşit enerjide bir X-ışını yayınlanır [9].

Elektron yakalama olayına ait bir örnek, denklem 2.8’de gösterilmiştir.



2.1.1.3. Gama Bozunumu

Çekirdeğin yayınladığı elektromanyetik dalgalarıdır [10]. Çekirdek sahip olduğu fazla enerjisini gama (γ) ışını şeklinde yayınlar [9]. Gama ışınları α ve β parçacıklarına göre daha az iyonlaştırıcı etkiye sahiptir ve menzili yüksektir. Yüksek enerjiye sahiptir [8]. Genellikle α veya β bozunumlarında ortaya çıkar, uyarılmış durumdaki çekirdek temel hale geçmek için fazla enerjisini γ şeklinde yayınlar. γ yayınlanmasının yarı ömrü 10^{-9} saniyeden küçüktür. Bazı durumlarda γ ’nın yarı ömrü uzun süreli olabilir. Bu durumdaki geçişlere “izomerik geçişler” denir [7].

Gama bozunumu reaksiyonuna ait bir örnek, denklem 2.9’da gösterilmiştir.

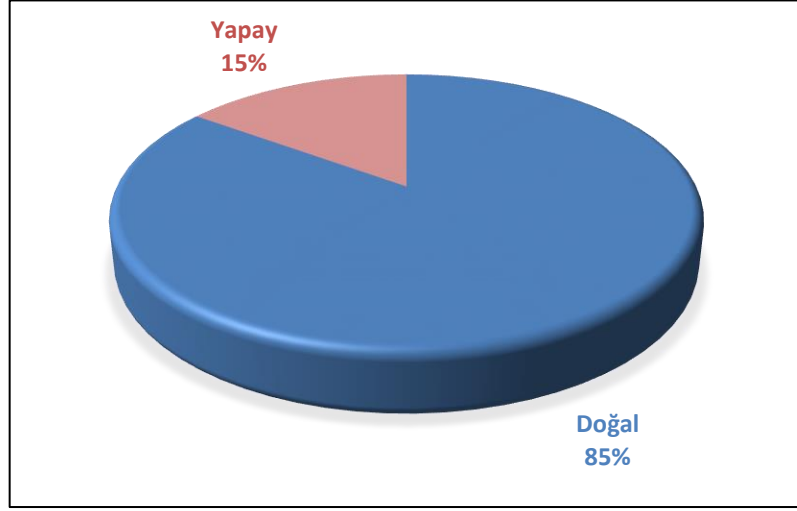


Bu reaksiyonda görüldüğü gibi β bozunumu sonucu meydana gelen ürün çekirdeğin (${}_{83}^{210}\text{Bi}$) gama bozunumu yaptıktan sonra kütle numarası ve proton sayısı değişmemiştir.

2.1.2. Radyasyon Kaynakları

19. yüzyıl sonlarında keşfedilen X-ışınlarından günümüze kadar radyoaktivite ile ilgili olarak yapılan çalışmalar canlıların yaşamları boyunca radyasyona maruz kaldığını ortaya koymuştur. Canlılar topraktaki, sudaki, havadaki doğal radyasyon kaynakları tarafından sürekli olarak radyasyona maruz kalırlar. Doğal kaynaklara ek olarak yapay kaynaklarda eklenebilir [9].

Radyoaktivite ile ilgili bulgular ve yapılan araştırmalar sonrasında, radyasyonun kullanım alanları geliştirilmiştir. Özellikle tıpta, kanser hastalığının erken teşhis edilmesi amacıyla kullanılmaktadır [11]. Bunun yanı sıra sanayide, enerji üretiminde, araştırmalarda yapay radyasyon kaynakları kullanılmaktadır [12].

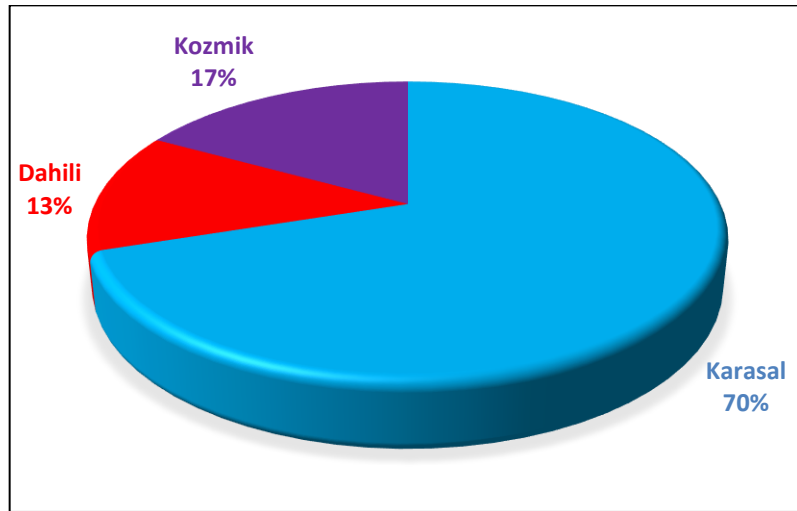


Şekil 2.1: Doğal ve yapay radyasyon dağılımı [12].

Dünya genelindeki radyasyon kaynaklarının %85'ini doğal radyasyon kaynakları, %15'ini yapay radyasyon kaynakları oluşturmaktadır.

2.1.2.1. Doğal Radyasyon Kaynakları

Doğal radyasyon kaynaklarını, kozmik radyasyon, karasal radyasyon ve dahili radyasyon olmak üzere 3 şekilde açıklayabiliriz.



Şekil 2.2: Doğal radyasyon dağılımı [13].

Kozmik Radyasyon:

Doğal radyasyonun yaklaşık %17'lik kısmını kozmik radyasyon oluşturmaktadır. Dünyadaki kozmik radyasyonun kaynağı güneş ve yıldızlardır. Güneş ve yıldızlar, Dünya'ya sürekli olarak kozmik radyasyon gönderirler ve bu kozmik radyasyonların geliş şekli yağmurun sürekli olarak yağmasına benzer. Atmosferik koşullar, Dünyanın manyetik alanındaki farklılıklar, yükseklik gibi koşullar canlıların maruz kaldığı radyasyonun dozunu değiştirebilir [14].

Karasal Radyasyon:

Doğal radyasyonun yaklaşık olarak % 70'lik kısmını oluşturmaktadır. Dünyanın kendisi bir karasal radyasyon kaynağıdır [14]. Karasal radyasyonun %49'unu radon gazı, %21'ini gama radyasyonu oluşturmaktadır. Radon gazı yeraltında oluşur ve yeryüzündeki çatlaklardan sızarak atmosfere ulaşır [9].

Yeryüzünü oluşturan toprak, kaya ve madenlerde toryum ve uranyum serisinden gelen ve ⁴⁰K radyoaktif maddeleri bulunmaktadır ve topraktaki radyoaktivitenin başlıca nedenleridir [9].

Dahili Radyasyon:

Doğal Radyasyonun yaklaşık %13'lük kısmını dahili radyasyon oluşturmaktadır. Bütün insanlar doğuştan itibaren bir dahili radyasyona sahiptir. Bu radyasyonun kaynağı Karbon-14 ve Potasyum-40 tır. Bir insanla başka bir insan arasındaki dahili radyasyon doz farklılığı, kozmik ve karasal radyasyonun doz farklılığından daha azdır [14].

2.1.2.2. Yapay Radyasyon Kaynakları

Doğal olarak doğada bulunmayan yapay olarak elde edilen radyasyondur. Canlıların maruz kaldığı radyasyonun yaklaşık %15'ini yapay radyasyon kaynakları oluşturur. Yapay radyasyon kaynakları endüstri, tıp, tarım ve nükleer merkezlerde kullanılır. Yapay radyasyon kaynaklarının %99'u tıbbi uygulamalar oluşturur. Hastalıkların erken teşhisinde ve tedavisinde, radyasyonla görüntü elde etmede, nükleer tıpta, radyoterapi uygulamalarında yapay radyasyon kaynakları kullanılır. Yapay radyasyon kaynaklarının yaklaşık %1'ini nükleer santrallerde kullanılan radyoizotoplar oluşturur [15].

2.1.3. Radyasyon Birimleri

Aktivite: Birim zamanda bozulan çekirdek sayısına Aktivite (A) denir. Önceleri radyoaktivite birimi olarak kullanılan Curie'nin (Ci) tanımında radyum ve radon gazı standart alınmıştır. 1 Ci, 1 gram radyum ile radyoaktif dengede olan radon gazının miktarıdır. Sonraları bu tanım içine bütün radyoaktif elementler dahil edilmiştir. 1 Ci, 1 saniyede $3,7 \times 10^{10}$ bozunma meydana getiren radyoaktif madde miktarıdır.

Günümüzde Curie yerine radyoaktivite birimi olarak Becquerel daha fazla kullanılmaktadır. Bir saniyede bozulan radyoaktif madde miktarı 1 Bq'dir.

Curie ile Becquerel arasındaki bağıntı, denklem 2.10'da gösterilmiştir.

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq} \quad (2.10)$$

Işınlama Birimi: Özel birimi Röntgendir (R). 1 R, normal şartlar altında 1 cm³ havada, 1 elektrostatik yük birimlik elektrik yükü taşıyan (+) ve (-) iyonlar meydana getiren X-ışını veya gama ışını miktarıdır.

Röntgen için M.K.S (Metre, Kilogram, Saniye) birim sistemindeki Coulomb/kg (C/kg) birimi kullanılır. 1 C/kg = 3876 R dir.

Absorblanan Doz: Özel birimi Rad'dır. 1 Rad, 1 g maddede 100 erg'lik enerji absorpsiyonu oluşturan radyasyonun miktarıdır.

Uluslararası Birim Sistemi (SI) ndeki birimi Gray(Gy)'dir. 1 Gy = 100 Rad dir.

Eşdeğer Doz: Vücuda yapılan ışınlamanın biyolojik etkisine Eşdeğer Doz denir [16]. Absorblanan doz ile kalite faktörünün (Q) çarpımıdır. Q değerleri Tablo 2.1'de gösterilmiştir. Özel birimi Rem, SI birimi Sievert (Sv)'dir. 1 Rem = 10⁻² Sv dir. 1 Sv = 1 J/kg dir.

Tablo 2.1: Kalite Faktörü [11].

Radyasyon Türleri	Kalite Faktörü (Q)
α ışınları	20
β ışınları	1
γ ışınları	1
X ışınları	1
Elektronlar	1
Protonlar	2
Nötronlar	5-20

2.2. RADYOAKTİF SERİLER

Doğada bulunan radyoaktif elementlerin çoğu $Z = 81 \rightarrow 92$ bölgesindedir. Bu elementler seriler halinde bulunurlar;

- Uranyum Serisi: ${}_{92}^{238}\text{U} \rightarrow {}_{82}^{206}\text{Pb}$
- Toryum Serisi: ${}_{90}^{232}\text{Th} \rightarrow {}_{82}^{208}\text{Pb}$
- Aktinyum Serisi: ${}_{92}^{235}\text{U} \rightarrow {}_{82}^{207}\text{Pb}$

Bir de yapay olarak bulunan;

- Neptinyum Serisi: ${}_{93}^{237}\text{Np} \rightarrow {}_{83}^{209}\text{Bi}$

vardır [10].

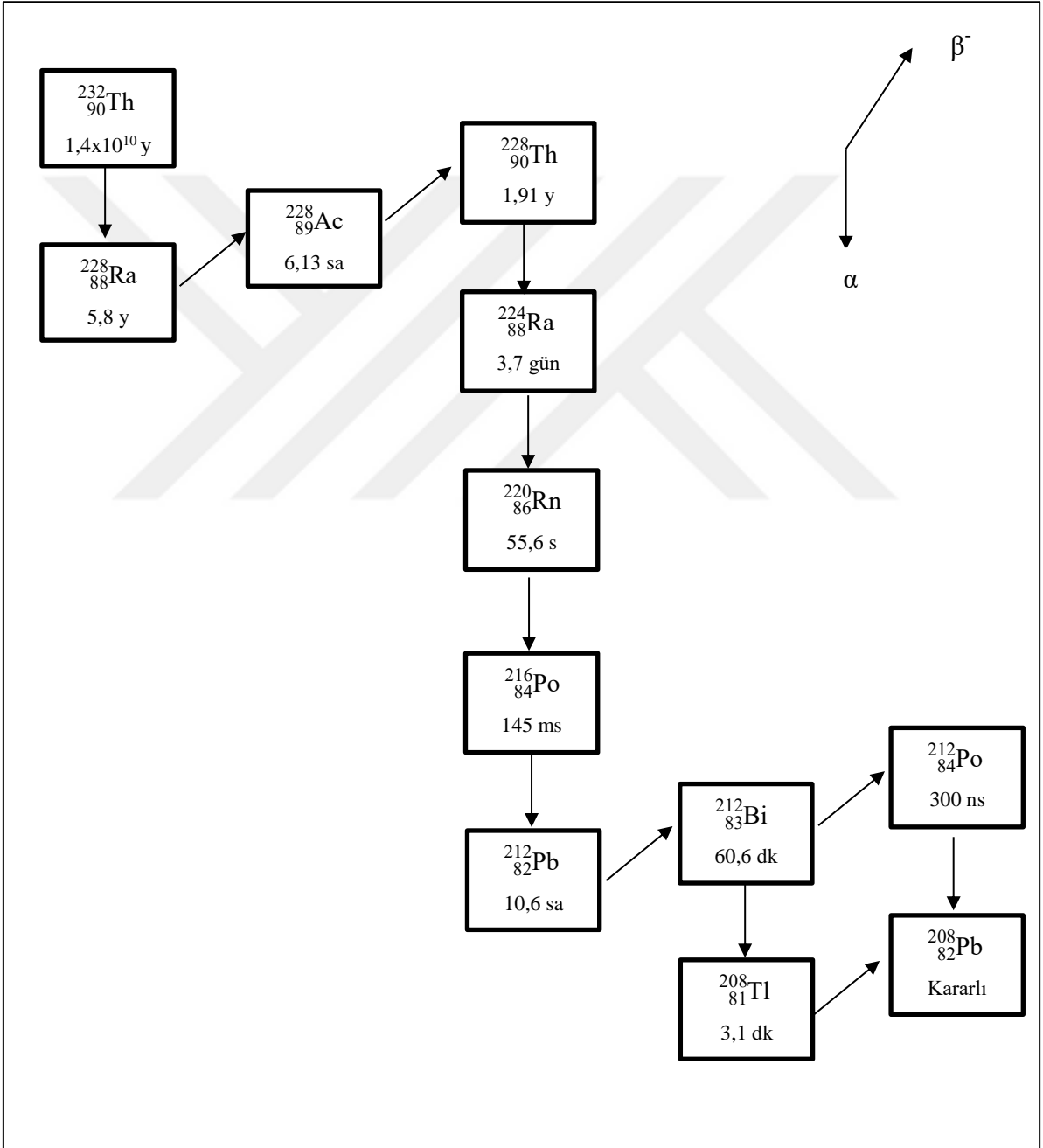
2.2.1. Doğal Seriler

Doğal seriler ağır elementlerden oluşur ve doğada üç adet bozunma zinciri olarak bulunurlar. Bunlar; uranyum serisi, toryum serisi ve aktinyum serisidir.

Toryum serisinin kütle numarası $A = 4n$, uranyum serisinin kütle numarası $A = 4n + 2$, aktinyum serisinin kütle numarası ise $A = 4n + 3$ ile başlar ve bozularak kararlı kurşunun bir izotopuyla son bulur [16].

2.2.1.1. Toryum Serisi

Toryum serisi ^{232}Th ile başlar ve ^{208}Pb ile son bulur. Toryum serisi, aktinyum, radyum, radon, polonyum, bizmut, kurşun ve talyum elementleri olmak üzere toplam 12 radyoaktif element içermektedir. Bu seride çekirdekler α , β^- ve γ radyoaktif bozunmaları yapmaktadır. Toryum serisi Şekil 2.3'te gösterilmiştir.



Şekil 2.3: Toryum serisi [16].

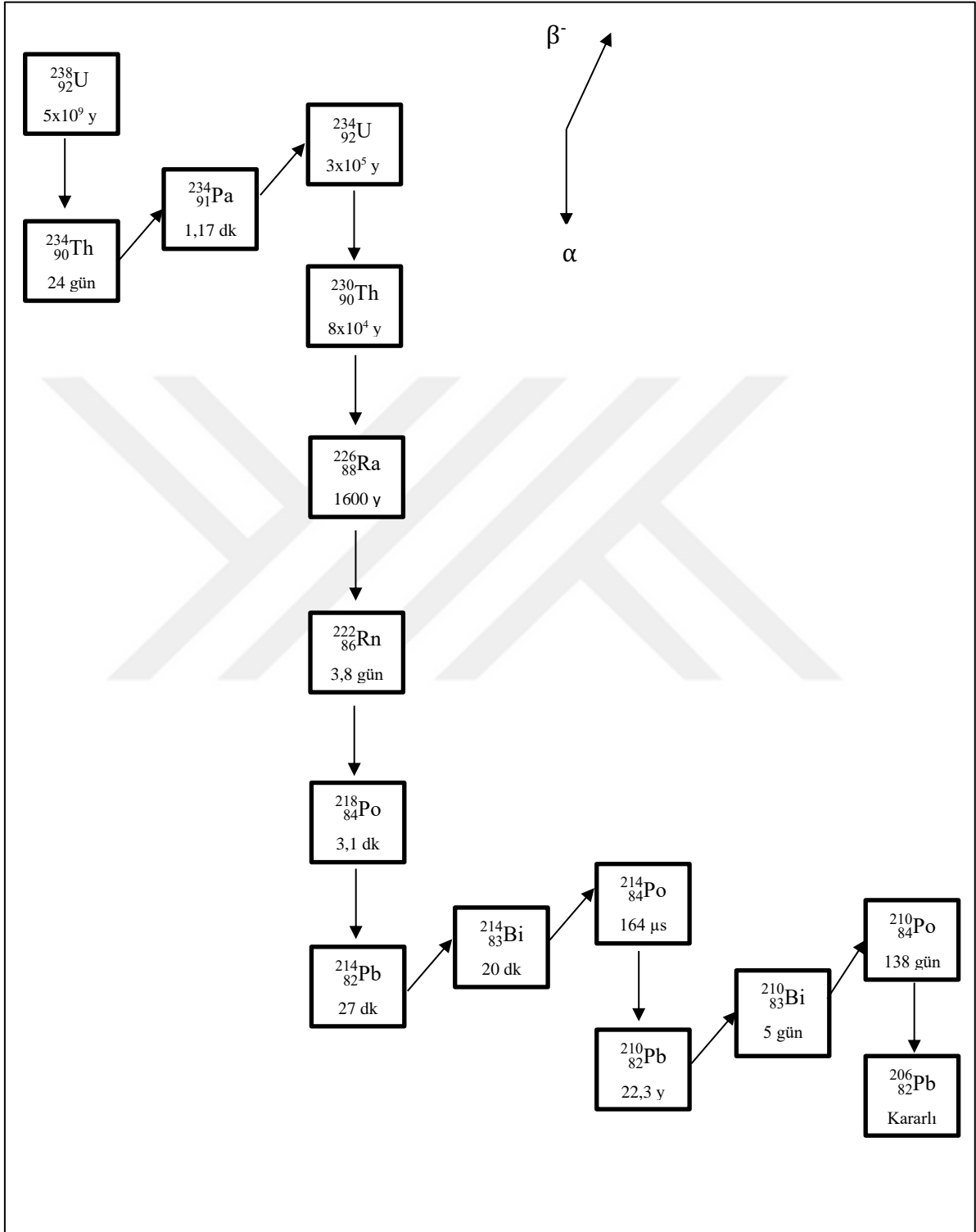
Tablo 2.2: Toryum serisinin bazı özellikleri [17].

Çekirdek-Z	Sembol	Yarı Ömrü	Alfa (MeV)	Beta (MeV)	Gama (MeV)
Toryum-90	²³² Th	1,40 × 10 ¹⁰ y	4,00	-	0,06
Radyum-88	²²⁸ Ra	5,8 y	-	0,054	-
Aktinyum-89	²²⁸ Ac	6,13 sa	-	1,11	0,09
Toryum-90	²²⁸ Th	1,91 y	5,43	-	0,08
Radyum-88	²²⁴ Ra	3,7 gün	5,68	-	0,24
Radon-86	²²⁰ Rn	55,6 s	6,29	-	-
Polonyum-84	²¹⁶ Po	145 ms	6,78	-	-
Kurşun-82	²¹² Pb	10,6 sa	-	0,36	0,238
Bizmut-83	²¹² Bi	60,6 dk	6,05	2,20	0,04
Polonyum-84	²¹² Po	300 ns	8,78	-	-
Talyum-81	²⁰⁸ Tl	3,1 dk	-	1,79	2,62
Kurşun-82	²⁰⁸ Pb		Kararlı		

2.2.1.2. Uranyum Serisi

Uranyum serisi ²³⁸U ile başlar ve kararlı ²⁰⁶Pb ile son bulur. Bu seri, toryum, protaktinyum, uranyum, radyum, radon, polonyum, kurşun ve bizmut elementleri olmak üzere toplam 15 tane radyoaktif element içermektedir. Uranyum serisinde çekirdekler α , β^- ve γ bozunmalarına uğramaktadır.

Uranyum serisi Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4: Uranyum serisi [18].

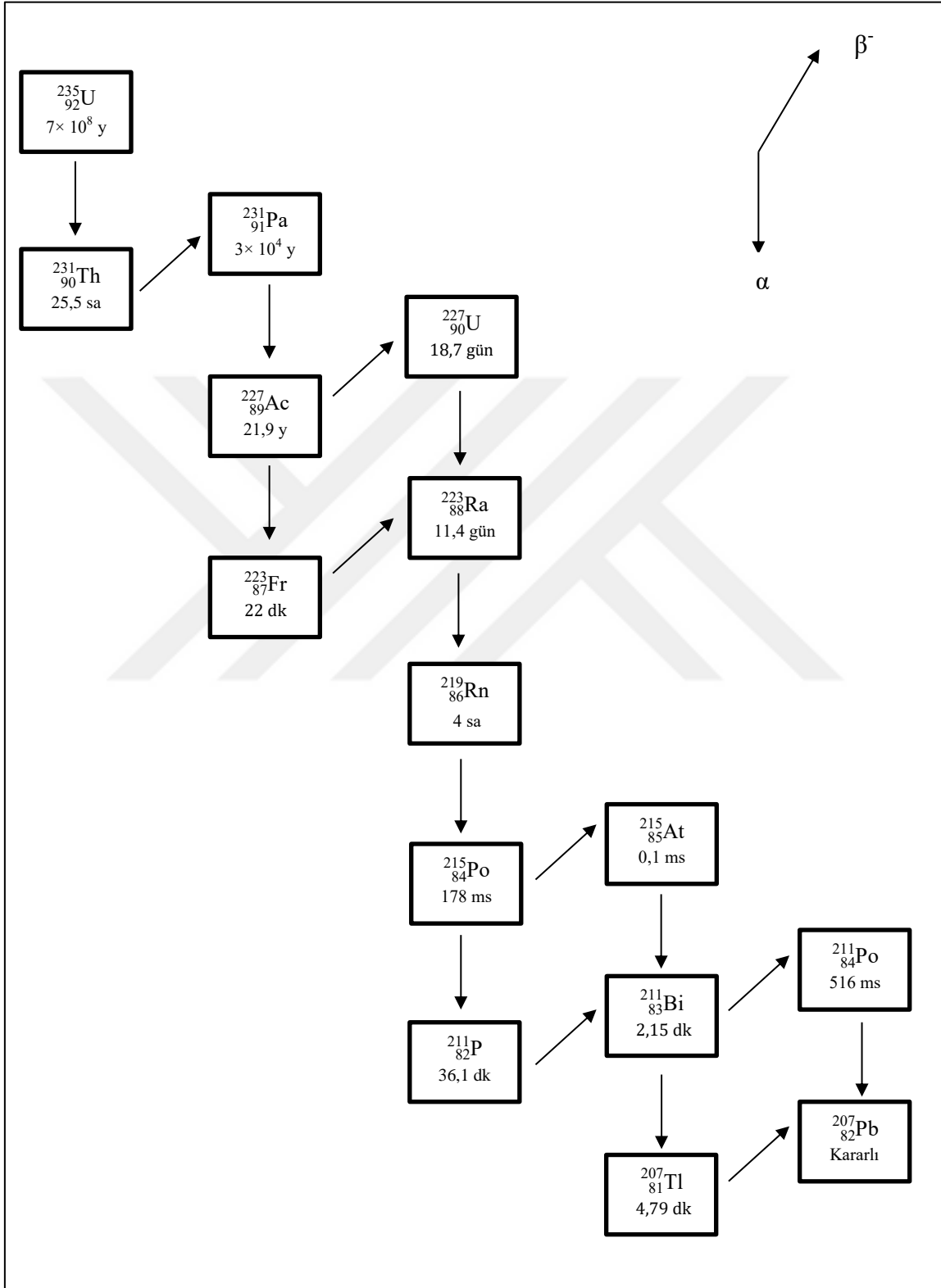
Tablo 2.3: Uranyum serisinin bazı özellikleri [17].

Çekirdek-Z	Sembol	Yarı Ömrü	Alfa (MeV)	Beta (MeV)	Gama (MeV)
Uranyum-92	^{238}U	$4,5 \times 10^9$ y	4,2	-	0,048
Toryum-90	^{224}Th	24,1 gün	-	0,19	0,09
Protaktinyum-91	$^{234}\text{Pa}^m$	1,17 dk	-	2,29	1,0
Uranyum-92	^{234}U	$2,5 \times 10^5$ y	4,8	-	0,05
Toryum-90	^{230}Th	$7,7 \times 10^4$ y	4,8	-	0,068
Radyum-88	^{226}Ra	1600 y	4,8	-	0,186
Radon-86	^{222}Rn	3,82 gün	5,49	-	0,5
Polonyum-84	^{218}Po	3,05 dk	6,00	-	-
Kurşun-82	^{214}Pb	26,8 dk	-	0,65	0,24
Bizmut-83	^{214}Bi	19,9 dk	5,5	0,15	0,61
Polonyum-84	^{214}Po	164 μs	7,7	-	0,8
Kurşun-82	^{210}Pb	22,3 y	-	0,016	0,046
Bizmut-83	^{210}Bi	5 gün	-	1,16	-
Polonyum-84	^{210}Po	138 gün	5,30	-	0,80
Kurşun-82	^{206}Pb			Kararlı	

2.2.1.3. Aktinyum Serisi

Aktinyum serisi ^{235}U ile başlar, kararlı ^{207}Pb ile son bulur. Bu seride, uranyum, toryum, protaktinyum, aktinyum, radyum, radon, polonyum, kurşun, bizmut, talyum olmak üzere toplam 15 radyoaktif element vardır. Aktinyum serisinde çekirdekler α , β^- ve γ bozunmalarına uğramaktadır.

Aktinyum serisi Şekil 2.5'te gösterilmiştir.



Şekil 2.5: Aktinyum serisi [18].

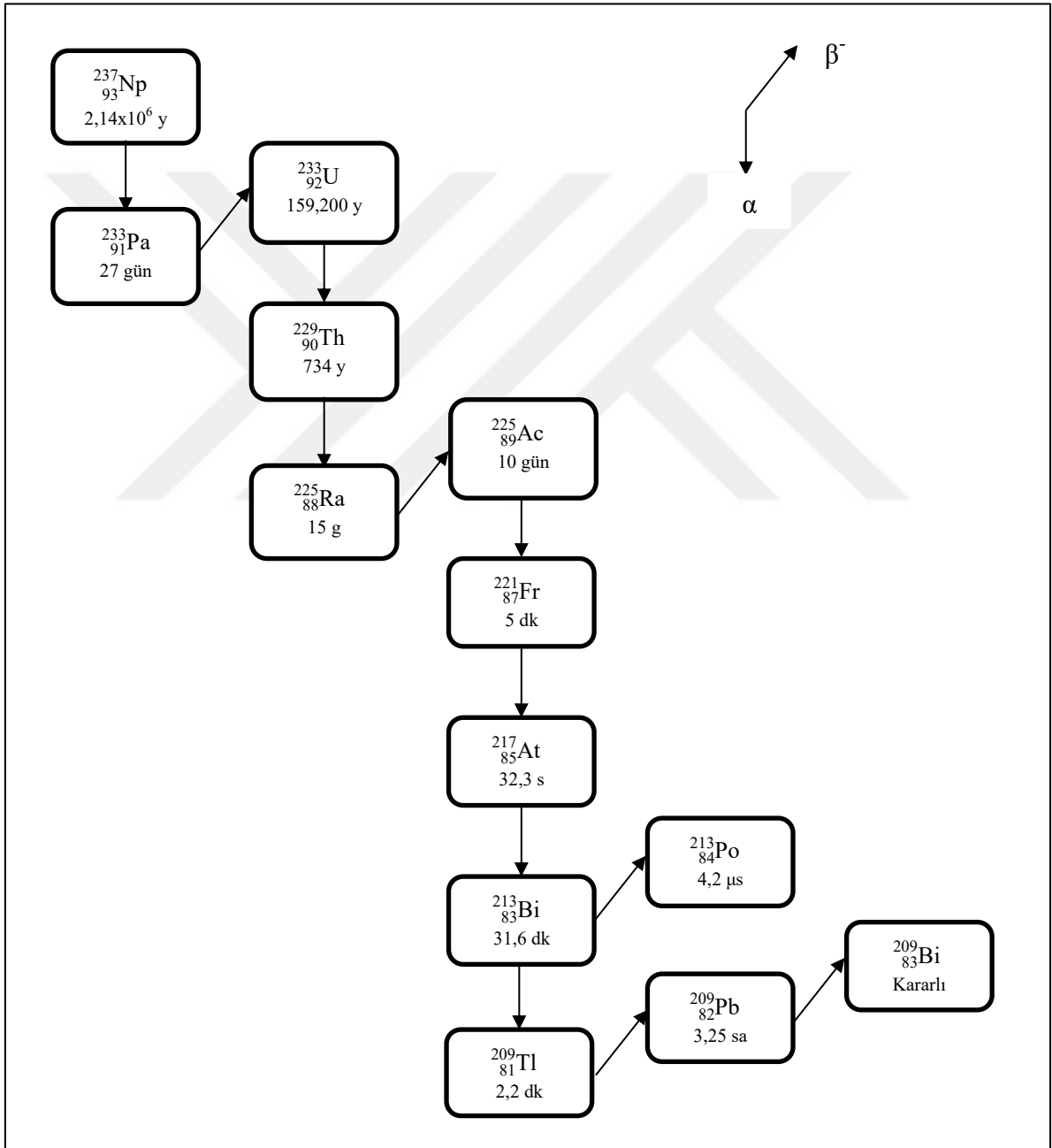
Tablo 2.4: Aktinyum serisinin bazı özellikleri [17].

Çekirdek-Z	Sembol	Yarı Ömrü	Alfa (MeV)	Beta (MeV)	Gama (MeV)
Uranyum-92	^{235}U	$7,0 \times 10^8$ y	4,38	-	0,185
Toryum-90	^{231}Th	25,5 sa	-	0,30	0,25
Protaktinyum-91	^{231}Pa	$3,3 \times 10^4$ y	5,06	-	Birden fazla
Aktinyum-89	^{227}Ac	21,8 y	4,95	0,046	Birden fazla
Toryum-90	^{227}Th	18,7 gün	6,04	-	Birden fazla
Radyum-88	^{223}Ra	11,4 gün	5,86	-	Birden fazla
Radon-86	^{219}Rn	4 s	6,82	-	0,27
Polonyum-84	^{215}Po	178 ms	7,38	-	-
Kurşun-82	^{211}Pb	36,1 dk	-	1,36	0,83
Bizmut-83	^{211}Bi	2,15 dk	6,62	0,59	0,35
Talyum-81	^{207}Tl	4,79 dk	-	1,44	2,90
Kurşun-82	^{207}Pb			Kararlı	

2.2.2. Yapay Seriler

2.2.2.1. Neptinyum Serisi

^{237}Np (237-Neptinyum) ile başlar ve ^{209}Bi ile son bulur. Neptinyum serisi 13 tane radyoaktif element içerir. Bunlardan sadece talyum ve bizmut doğada bulunur [18]. Diğer elementler yapay olarak elde edilirler.



Şekil 2.6: Neptinyum serisi [18].

2.3. GAMA SPEKTROSKOPİ SİSTEMİ

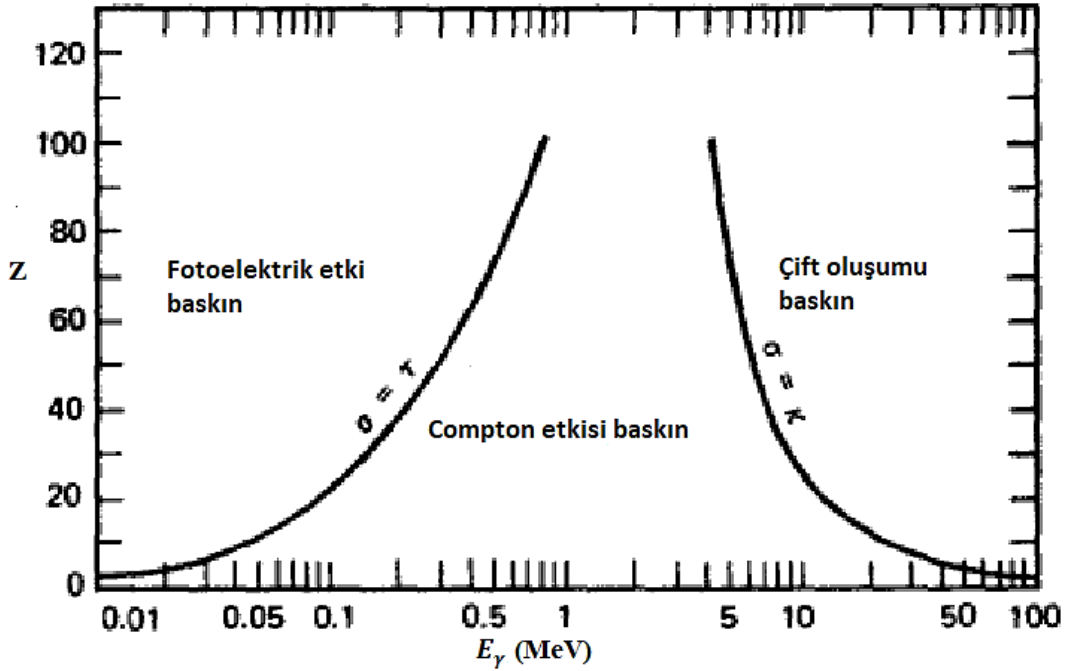
2.3.1. Gama Işınlarnının Madde İle Etkileşimi

Elektromanyetik radyasyon (foton), bir madde içinden geçtiğinde bir miktar enerjisini kaybeder. Fotonlar, atomun elektronlarıyla, çekirdek ve elektronların elektrik alanıyla etkileşir. Madde içinden geçen fotonun şiddeti azalır ve yönü değişir [8].

Elektromanyetik radyasyon olan gama ışınlarının madde ile etkileşimleri esas olarak üç şekilde gerçekleşir. Bunlar:

- Fotoelektrik Olay
- Compton Olayı
- Çift Oluşumu

dur. [7].



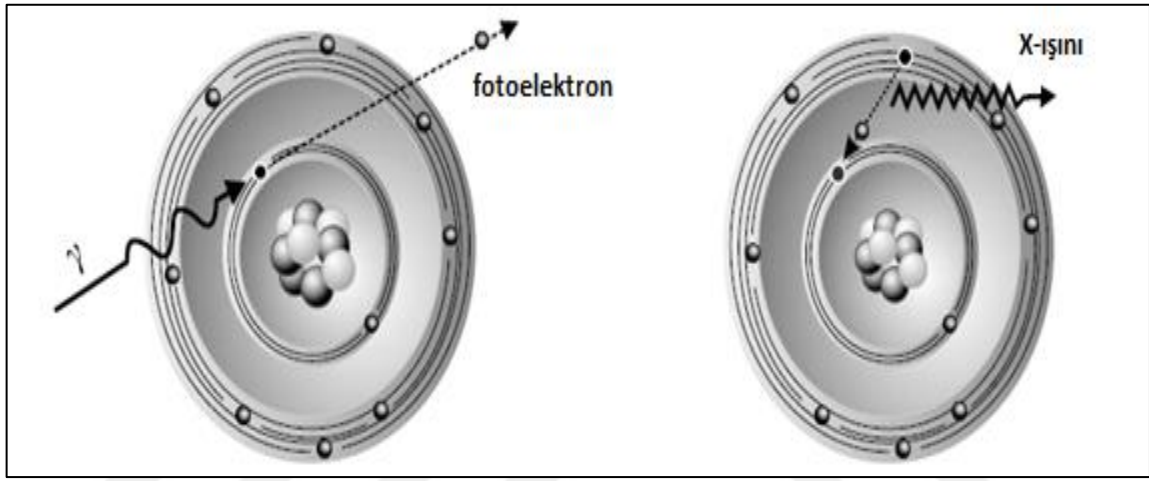
Şekil 2.7: Üç γ ışınının baskın olduğu bölgeler [7].

Çift oluşumu, fotoelektrik olay ve compton olayına göre daha yüksek enerjilerde baskındır (Şekil 2.7).

2.3.1.1. Fotoelektrik Olay

Fotonun bütün enerjisinin atom tarafından soğurulması olayı fotoelektrik olaydır. Bu olayda, atomun elektronlarından birisi yayınlanır. Yayınlanan elektrona fotoelektron denir [7,8].

Eğer foton atomun iç yörüngelerindeki elektronla etkileşip bu elektronu koparıyorsa, dış yörüngelerdeki elektronlardan birisi bu boşluğu doldurur. Yayınlanan elektrona birlikte X-ışını da yayınlanır [19].



Şekil 2.8: Fotoelektrik olay [20].

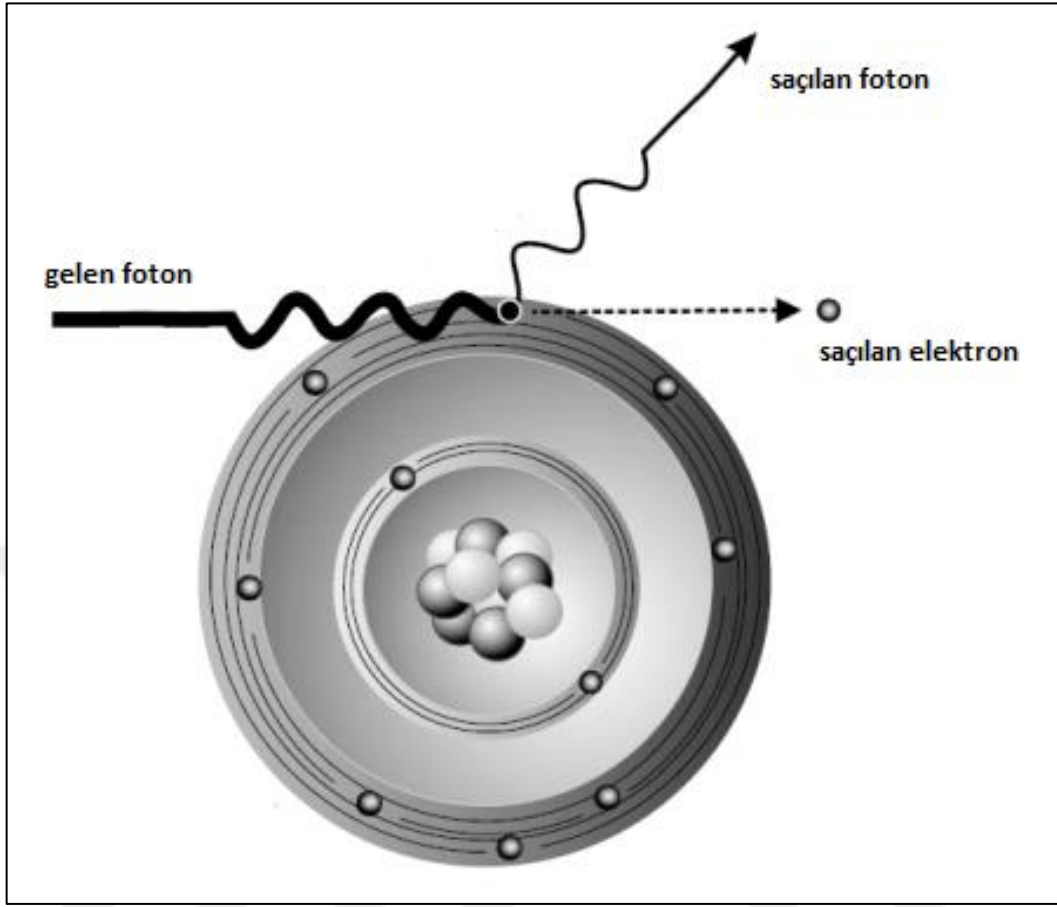
Gelen fotonun enerjisi ve elektronun bağlanma enerjisi farkı, yayınlanan elektronun kinetik enerjisine eşittir [21]:

$$E_{e^-} = h\nu - E_b \quad (2.11)$$

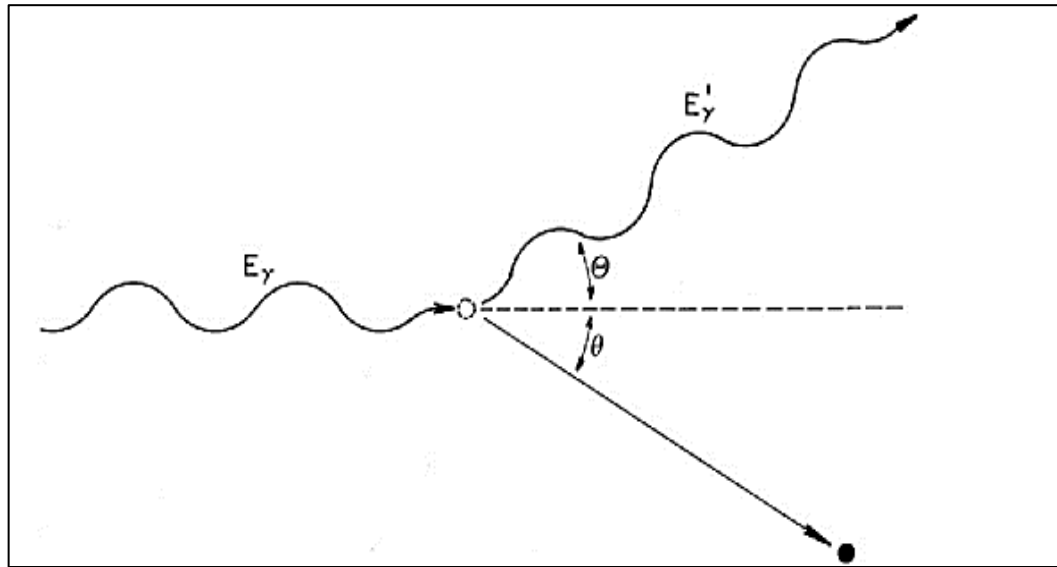
Fotoelektrik soğurma olasılığı, atomun proton sayısına bağlı olarak artar (Z^4) ve foton enerjisi hızla azalır (E_γ^{-3}) [7].

2.3.1.2. Compton Olayı

Compton olayında, bir foton atomun serbest bir elektronu tarafından esnek saçılır. Bu olay sonucunda gelen fotonun enerjisinden daha düşük enerjili bir foton ve gelen fotonun kaybettiği enerjiyi taşıyan bir elektron saçılır [7].



Şekil 2.9: Compton olayı [20].



Şekil 2.10: Compton saçılmasının geometrisi [6].

Serbest bir elektron üzerine E_γ enerjiye ve E_γ/c momentumuna sahip bir foton düştüğünde, düşük frekanslı foton Θ açısı ile, elektron ise θ açısı yaparak saçılır (Şekil 2.10). Momentum ve enerjinin korunumu yasasından Compton kayması, denklem 2.12’de verilmiştir.

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{2\pi\hbar}{mc} (1 - \cos\Theta) \quad (2.12)$$

bağıntısı elde edilir. Bu bağıntıda λ' saçılan fotonun dalga boyu, λ gelen fotonun dalga boyu, c ışık hızıdır. Planck sabiti $\hbar=h/2\pi$ dir.

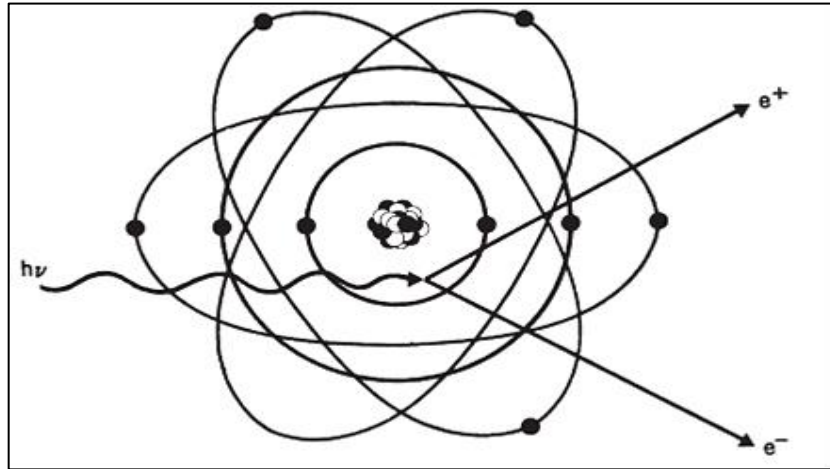
Saçılan foton enerjisi, denklem 2.13’te verilmiştir.

$$E'_\gamma = \frac{E_\gamma}{1 + (E_\gamma/mc^2)(1 - \cos\Theta)} \quad (2.13)$$

Compton olayında, tesir kesiti yaklaşık $\sigma \approx Z/h\nu$ olarak tanımlanır [20].

2.3.1.3. Çift Oluşumu

Çift oluşumu, bir fotonun elektron-pozitron çifti oluşturmasıdır. Bu olayda foton, tüm enerjisini harcar ve elektron-pozitron çifti oluşturarak kendisi yok olur. Elektron-pozitronun durgun enerjilerinin toplamı 1,022 MeV dir. Çift oluşumunun gerçekleşmesi için fotonun enerjisinin 1,022 MeV’den büyük olması gerekir. Fazla enerji elektronun ve pozitronun kinetik enerjisini oluşturur [7,8].



Şekil 2.11: Çift oluşumu [20].

Elektron ve pozitronun kütlesi eşit olduğundan, elektron-pozitron çifti oluşturmak için eşik enerjisi,

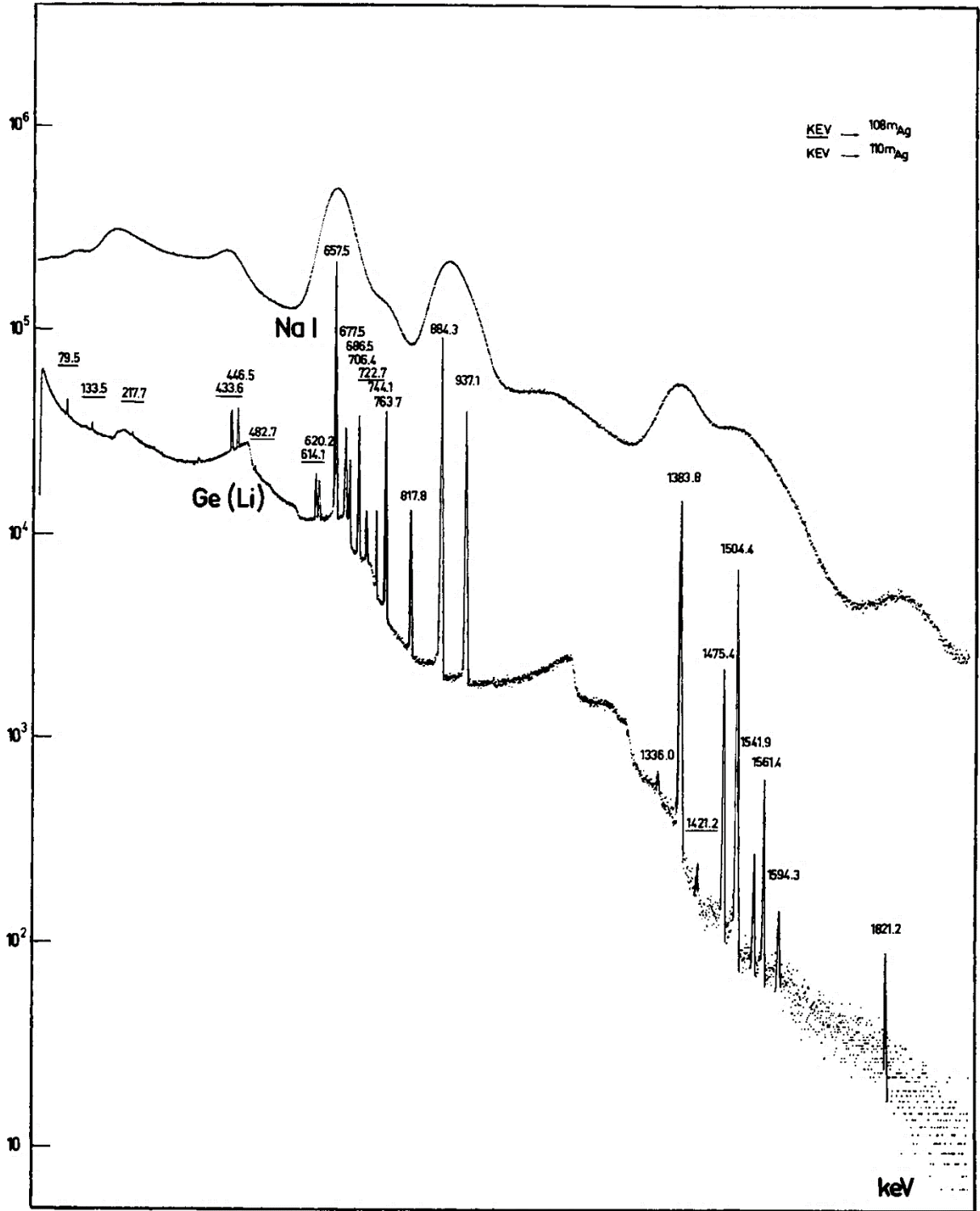
$$E_{\gamma} = 2m_e c^2 = 1.022 \text{ MeV} \quad (2.14)$$

dir [20].

Çift oluşumu genelde yüksek enerjiye sahip fotonlar için önem taşır. Foton enerjilerinin 5 MeV'in üzerinde olduğu durumlarda çift oluşumu baskın hale gelir [7].

2.3.2. HPGe Dedektörü ve Çalışma Prensibi

Si (Li) ve Ge (Li) dedektörlerinde katkılandırılmış Li atomları yüksek sıcaklıklarda hareket ettiğinden bu tip dedektörler her zaman soğutulmalıdır. Soğutma işleminin yapılamaması dedektörün bozulmasına neden olur. Bu yüzden tekrar katkılandırılması gerekmektedir. Bu işlem zor ve pahalıdır. Bu gibi sebeplerden dolayı Ge kristali teknolojisi geliştirilmiş ve çok saf malzemeler geliştirilmiştir. Bu malzemelerden yapılan HPGe dedektörlerinde Li katkılandırılması olmadığından sadece kullanım esnasında sıvı azot veya mekanik soğutucu kullanılarak soğutulabilir. Bu da büyük kolaylık sağlamaktadır.



Şekil 2.12: Ge (Li) dedektörü ile NaI dedektörleri ile alınan piklerin karşılaştırılması [21].

Yüksek saflıktaki germanyum (HPGe) dedektörleri 1970'lerin sonunda geliştirilmiştir [22]. Başlangıç malzemesi yarıiletken teknolojiye kullanılan yüksek saflıkta germanyumdur [21].

Yarıiletken dedektörü olan HPGe dedektörü, yüksek enerji çözünürlüğünden dolayı gama radyasyonu ölçümlerinde en çok tercih edilen dedektördür. Yarıiletken malzemedan oluşan bir kristalde dış elektronlar valans bandında bulunur. Valans bandı ile iletim bandı arasında belli bir enerjiye sahip bant aralığı vardır. Bu bant aralığı iletim bandı ile valans bandı arasındaki farka eşittir ve yarıiletkenlerde 1 eV'dir. Valans bandından bir elektronun iletim bandına geçebilmesi için en az bant aralığı kadar enerji verilmesi gerekir. İletim bandına geçen elektronun valans bandında oluşturduğu boşluk, elektronla farklı yönde ve hızla hareket eder. Voltaj darbesi için elektronlar ile boşlukların yükleri toplanır. Hız farklılıkları oluşan pikin şeklinde farklılıklar gösterir. Bu farklılıkları önleyebilmek yani iyi bir pik şekli için her detektöre uygun olan çalışma voltajı gerekmektedir [23].

Yarıiletkenlerin elektriksel özelliklerini kontrol edebilmek için yarıiletkenlere az miktarda 3. grup veya 5. grup tipi materyal eklenebilmektedir. Bu yabancı atomların girişi 'katkılama' olarak tanımlanmaktadır [24].

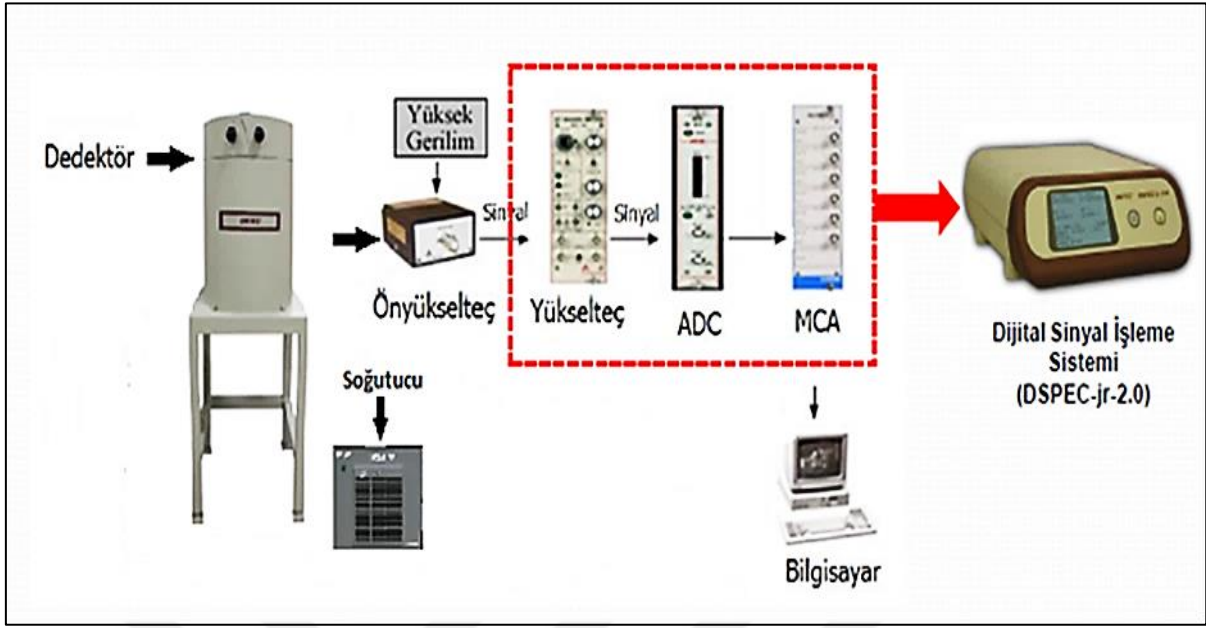
Eğer F (Fosfor), As (Arsenik) gibi 5. grup elementleri silisyum veya germanyuma eklenirse, bu elementlerin dört elektronu komşu germanyum veya silisyum atomlarıyla kovalent bağ yapar, ancak bir elektronu fazlalık oluşturur. Bu durum, negatif yük taşıyıcılarının fazlalığı ile sonuçlanır. Bu tip yarıiletken malzemelere n-tipi yarıiletkenler denir [24].

Benzer olarak, eğer Lityum gibi 3. Grup elementi germanyum veya silisyuma eklenirse, boşluk fazlalığı meydana gelir. Bu tip malzemelere p-tipi yarıiletken malzemeler denir [24].

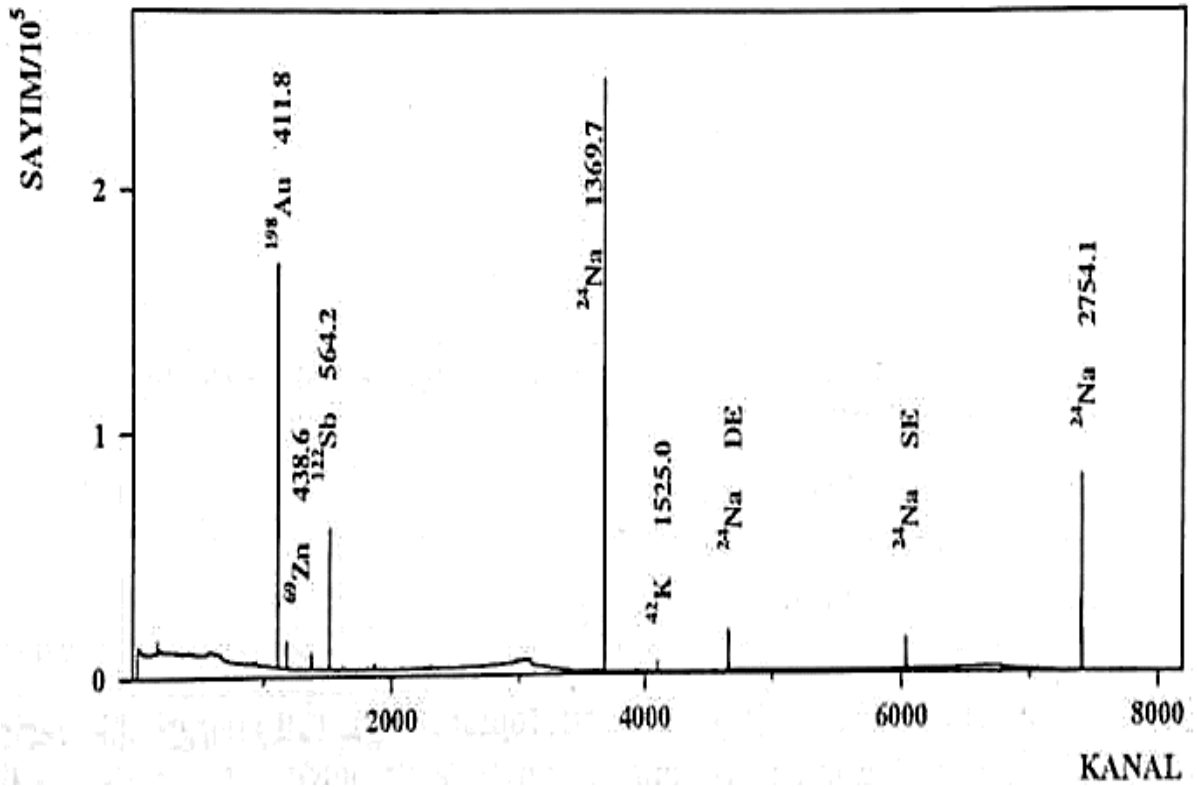
p-tipi yarıiletkenlerde çoğunluk boşluklardır. n-tipi yarıiletkende ise çoğunluk elektronlardır [21]. HPGe dedektörleri n-tipi ve p-tipi yarıiletken malzemedan yapılabılır [22].

Yüksek saflıkta germanyum dedektörü, diyotların arasına uygulanan ters gerilim ile çalışmaktadır. Dedektöre gelen radyasyon, detektörün hassas hacminde soğurular. Soğurulan foton enerjisi ile doğru orantılı olarak elektrik sinyaline dönüştürür. Elde edilen elektrik sinyali ilk olarak ön yükseltece ulaşır. Ön yükselteçten ana yükselteciye sonra da çok kanallı analizöre ulaşır. Çok kanallı analizöre ulaşan sinyal, elektronik gürültü, istatistiksel dalgalanmadan dolayı geniş bir spektrum oluşturur. Background (arka plan) radyasyonu bu spektrumun altında kalır [25].

Gama spektroskopisi Şekil 2.13'te gösterilmiştir.



Şekil 2.13: Gama spektroskopisinin gösterimi.



Şekil 2.14: HPGe dedektörü ile alınan ^{24}Na γ spektrumu [8].

2.3.3. HPGe Dedektörü ile Bitkilerdeki Radyasyonun Ölçümü

Uranyum ve toryum serilerinden gelen doğal radyoaktif elementler toprakta bulunurlar ve böylece toprağa ekilen bitkilerin içine dahil olurlar. Yapay radyonüklitler de benzer şekilde davranırlar [26]. Nükleer kazalardan sızan atmosferik yollarla taşınan yapay radyoaktif maddeler de bulunduğu bölgelerdeki bitkileri etkileyebilir. Bundan dolayı canlıların sağlığı açısından bitkilerdeki radyasyonun ölçümü önemli bir boyut kazanır.

Bitkilerdeki gama radyasyonun ölçümünde kullanılan detektörlerden bir tanesi HPGe detektörüdür. Gama radyasyonu ölçümünde en çok tercih edilen detektördür. Kaynağı toprak olan doğada doğal olarak bulunan ^{238}U , ^{232}Th serilerinden gelen ve ^{40}K radyoaktif maddeleri ile Çernobil Nükleer Kazası'ndan atmosferik yollarla taşınan ^{137}Cs radyoaktif maddesinin konsantrasyonlarını ölçmek amacıyla HPGe dedektörü kullanılır.

HPGe dedektörü ile çay, fındık, ceviz, meyve, sebze ve tütün gibi örneklerin analizleri yapılabilir.

2.4. TÜTÜN BİTKİSİ

Tütün (*Nicotiana*), kurutulan yaprakların yakılması sonucunda dumanın içe çekilmesi veya işlenmiş yaprakların çiğnenmesi amacıyla kullanılır. Tütün içme, ilk olarak tütünün vatanı olan Amerika'da başlamıştır. Yerliler dini törenlerde tütün yapraklarını tütsü olarak kullanmışlardır. Dumanı soluyan yerliler tütün bitkisinin keyif verici olduğunu fark etmişler ve bambudan yapılmış Y şeklinde bir boru kullanarak tütünü içmeye başlamışlardır. Tütün, 1518 yılından sonra ise Avrupa'ya yayılmıştır [27]. Türkiye'ye ise 1601-1605 yılında İngiliz, İspanyol ve Venedik gemicileri ve tacirleri tarafından gelmiştir [28].



Şekil 2.15: Tütün bitkisi.

2.4.1. Türkiye’de Tütün Bitkisi

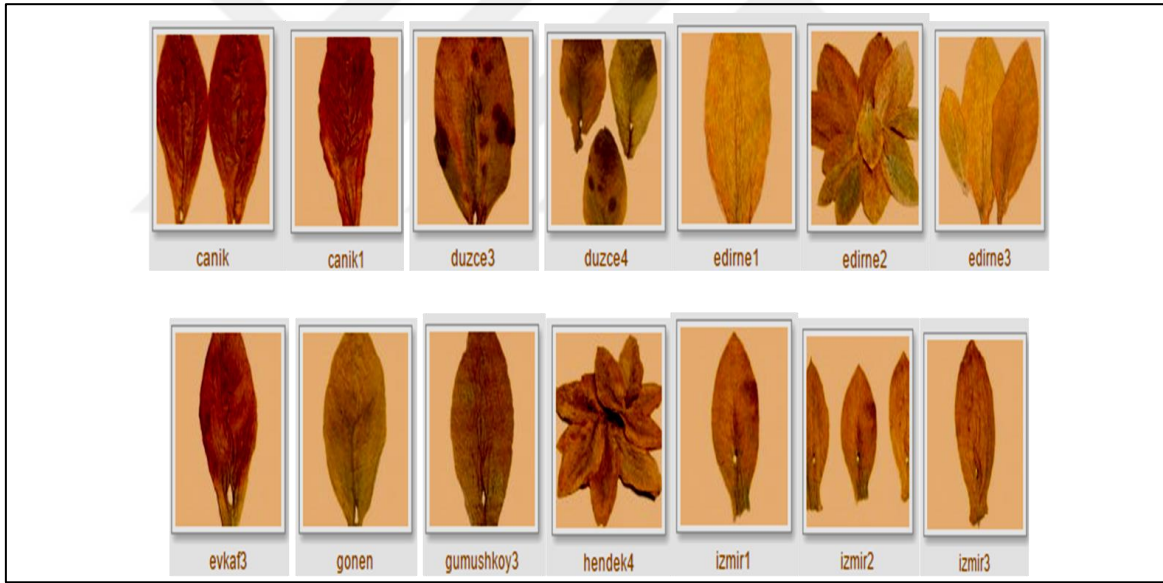
Dünya çapında 7 milyon ton tütün üretiminin %4’ünü Türkiye’nin tütün üretimi oluşturur. Dünya sıralamasında, Çin, Hindistan, ABD ve Brezilya’dan sonra Türkiye 5. sırada yer almaktadır [29].

Türkiye’de tütün üretim alanı en fazla Ege Bölgesi’ndedir. Ege Bölgesi’nde Akhisar, Gavurköy, Ödemiş, Bayındır, Tire, Saruhanlı, Ovakent, Manisa, Aydın, İzmir tütün yöreleridir. Ege Bölgesi’ni takiben üretim alanı en fazla olan bölge Karadeniz Bölgesidir. Karadeniz Bölgesi’nde Samsun, Bafra, Taşova, Tokat, Trabzon, Artvin, Gümüşhacıköy en fazla tütün yetiştirilen yörelerdir. Doğu ve Güneydoğu Bölgesi’nde ise Adıyaman, Malatya, İskenderun, Yayladağı, Silvan, Bitlis başlıca tütün yöreleridir. Marmara Bölgesi’nde Bursa, Düzce, İzmit, Hendek, Balıkesir, Trakya tütün yöreleridir [30].

Tablo 2.5: 2014 ürünü Türkiye tütün üretimi [31].

BÖLGE	ÜRETİM ALANI (dekar)	ÜRETİM MİKTARI (kg)
EGE	683.163	46.978.159
KARADENİZ	142.320	11.558.057
GÜNEYDOĞU ANADOLU	83.443	8.120.912
DOĞU ANADOLU	20.047	2.985.044
MARMARA	40.643	2.618.200
AKDENİZ	22.999	2.435.593
TOPLAM	992.615	74.695.965

Türkiye’de yetişen tütünler yetiştirildikleri bölgeler, toprak yapısı, buldukları ekolojik faktörler, irsi özellikleri sebebiyle gruplandırılmışlardır. Şekil 2.16’da Türkiye’de yetişen tütün çeşitlerinden bazıları görülmektedir.

**Şekil 2.16:** Türkiye’de yetiştirilen tütün çeşitlerinden bazıları.

Türkiye’de her gün 14 528 000’den fazla yetişkin ve 252 000’den fazla çocuk tütün kullanmaya devam ederken, her yıl 83 100’den fazla insan tütün kaynaklı hastalıklar tarafından ölmektedir [27].

2.4.2. Tütün Bitkisindeki Radyoaktif Çekirdekler

Tütün ile ilgili yapılan çalışmalarda, doğal olarak oluşan radyoaktif maddelere rastlanmıştır. Bu radyoaktif maddelerin bazıları, ^{232}Th , ^{238}U içermektedir ve tütün kökünün ekildiği topraktan kaynaklanmaktadır. Doğal olarak oluşan diğer bir radyoaktif madde ise ^{40}K dır. ^{40}K , tütünün ekildiği yerdeki topraktan kaynaklanır ve bölgeden bölgeye değişiklik gösterebilir. ^{210}Pb ve ^{210}Po tütünün yapraklarında ve tüylerinde biriken doğal radyoaktif maddelerdir. ^{210}Pb ve ^{210}Po , alfa bozunumu yapan ağır çekirdeklerdir ve solunum yolu ile vücuda alındığında akciğerde ciddi hasarlara neden olabilir.



3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. ÖRNEK HAZIRLAMA YÖNTEMİ

Türkiye’de tütün bitkisinin başlıca yetiştiği bölgeler ve tütün bitkisinin türleri belirlenmiş ve belirlenen bölgeler için tütün örnekleri Socotab Yaprak Tütün San. ve Tic. A.Ş. tarafından temin edilmiştir. Belirlenen bölgeler ve tütün türlerine göre temin edilen 25 farklı tütün yaprağı örnekleri Tablo 3.1’de gösterilmiştir.

Tablo 3.1: 25 Farklı Tütün Örneği.

Şehir	İlçe	Tür
Manisa	Akhisar	İzmir
Adıyaman	Merkez	İzmir
Adıyaman	Kahta	İzmir
Manisa	Demirci	İzmir
Denizli	Acıpayam	İzmir
Manisa	Selendi	İzmir
Denizli	Tavas	İzmir
Manisa	Sarıgöl	İzmir
Manisa	Kula	İzmir
Manisa	Salihli	İzmir
Uşak	Eşme	İzmir
Manisa	Gördes	İzmir
Adıyaman	Samsat	İzmir
Denizli	Kale	İzmir
Aydın	Karacasu	İzmir
Adıyaman	Besni	İzmir
Balıkesir	Sındırgı	İzmir
Muğla	Menteşe	İzmir
İzmir	Bergama	İzmir
Samsun	Vezirköprü	Samsun
Samsun	Alaçam	Samsun
Samsun	Bafra	Samsun
Hatay	Altınözü	Prilep (İşlenmiş)
	Antakya	
Hatay	Altınözü	Prilep
	Antakya	
Amasya	Gümüşhacıköy	Basma
Amasya	Taşova	
Çanakkale	Yenice	
Tokat	Erbaa	

Tütün yaprağı örnekleri 13 farklı şehrin 28 farklı ilçesinde yetişmiş, 1'i işlenmiş olup 4 çeşitten oluşmaktadır. Şekil 3.1'de tütün yaprakları örneklerinin çeşitleri gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Tütün yaprakları örneklerinin çeşitleri.

25 farklı tütün yaprağı örneğinin Türkiye'de yetiştikleri şehirler Şekil 3.2'de harita üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 3.3: Kurutulan tütün yaprakları.

Tamamen kurutulmuş olan tütün yaprakları örnekleri, öğütücü kullanılarak çok küçük parçacıklar haline getirildikten sonra 1 mm² 'lik elekler yardımıyla elenmiştir.

Dedektör geometrisine uygun ve sızdırmaz 500 mililitrelik hacme sahip özel marinelli beaker kapların, darası alınmıştır. Öğütülmüş ve elenmiş tütün yaprakları örnekleri, marinelli beaker kaplara havası alınmış bir şekilde doldurulmuş ve daha sonra örneklerin kütleleri hassas terazi

ile ölçülmüştür. Her bir örneğin kütlesi yaklaşık olarak 250-350 gram arasında bir değere sahiptir.

Şekil 3.4’de öğütülüp, elenmiş marinelili beaker kaplar içindeki tütün yaprağı örnekleri gösterilmiştir.



Şekil 3.4: Öğütülen tütün yaprakları.

Örnekler marinelili beaker kaplara doldurulduktan sonra hava almayacak ve sızdırmayacak şekilde paketlenmiştir. Paketlenen her bir örneğin üzerine yetiştiği bölgenin adı ve paklendiği tarih yazılmıştır. Şekil 3.5’de paketlenen tütün yaprağı örnekleri gösterilmiştir. Toron ve radon ürünleri arasında radyoaktif denge sağlanabilmesi için örnekler yaklaşık 1 ay boyunca kuru bir ortamda bekletilmiştir.



Şekil 3.5: Paketlenen tütün yaprağı örnekleri.

3.2. ÖLÇME İŞLEMİ

Tütün yaprakları örnekleri bekletildikten sonra her bir örnek için 18 000 saniye boyunca ölçüm alınmıştır. Her bir örnek öncesinde background ölçümü alınmıştır ve her bir background ölçümü 18 000 saniye süreyle yapılmıştır.

3.2.1. Ölçüm Cihazı

İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü Nükleer Fizik Anabilim Dalı Nükleer Fizik Araştırma Laboratuvarında bulunan Gama spektroskopisi (Şekil 3.6), yüksek çözünürlüklü, düşük arka planlı, %35 verimliliğe sahip, 40 keV ile 10 MeV arasındaki gama enerjilerini ölçebilen, P-tipi Koaksiyel Germanyum (HPGe) dedektöründen oluşmaktadır. 700 μm kalınlığında lityum malzeme dış yüzeyine geçirilmiştir. Dedektörün penceresi alüminyumdur. Otomatik bir yüksek-gerilim kapama sistemi vardır. Dijital sinyal işlemcisi, çok kanallı analizörü içermektedir. Dedektör, mekanik soğutucu sistemi ile soğutulmaktadır. Dedektör üstten açılan dikey geometriye sahip 4 inç kalınlıkta kurşun ve bakır-kalay kaplamalıdır [33].



Şekil 3.6: İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü Nükleer Fizik Anabilim Dalı Nükleer Fizik Araştırma Laboratuvarında bulunan gama spektroskopisi ölçüm sistemi.

^{40}K gama enerjisi 1460,8 keV, ^{137}Cs gama enerjisi 661,6 keV'dir. P-tipi koaksiyel HPGe dedektörü 40 keV- 10 MeV gama enerjilerini ölçebildiğinden dolayı ve enerji çözünürlüğünün yüksek olmasından dolayı bu çekirdeklerin aktivitelerini ölçebilmek açısından en uygun ve en güvenilir sistemdir.

3.2.2. Enerji ve Verim Kalibrasyonu

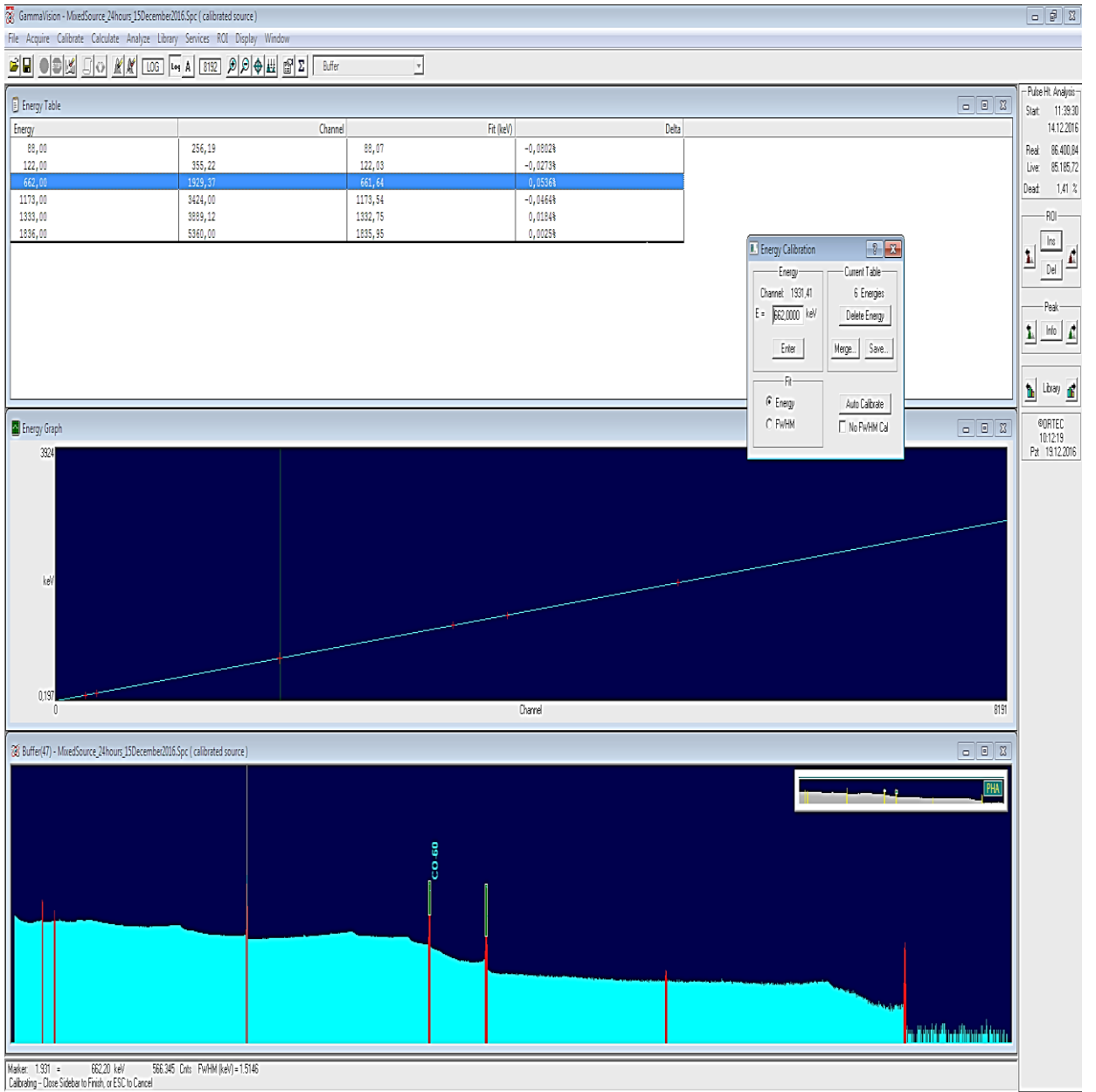
HPGe dedektörünün enerji ve verim kalibrasyonu için, 1000 ml lik marinelli beaker kap içerisindeki karışık toprak standartı kullanılmıştır. Bu standarta ait özellikler Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2: Toprak Standartının Özellikleri.

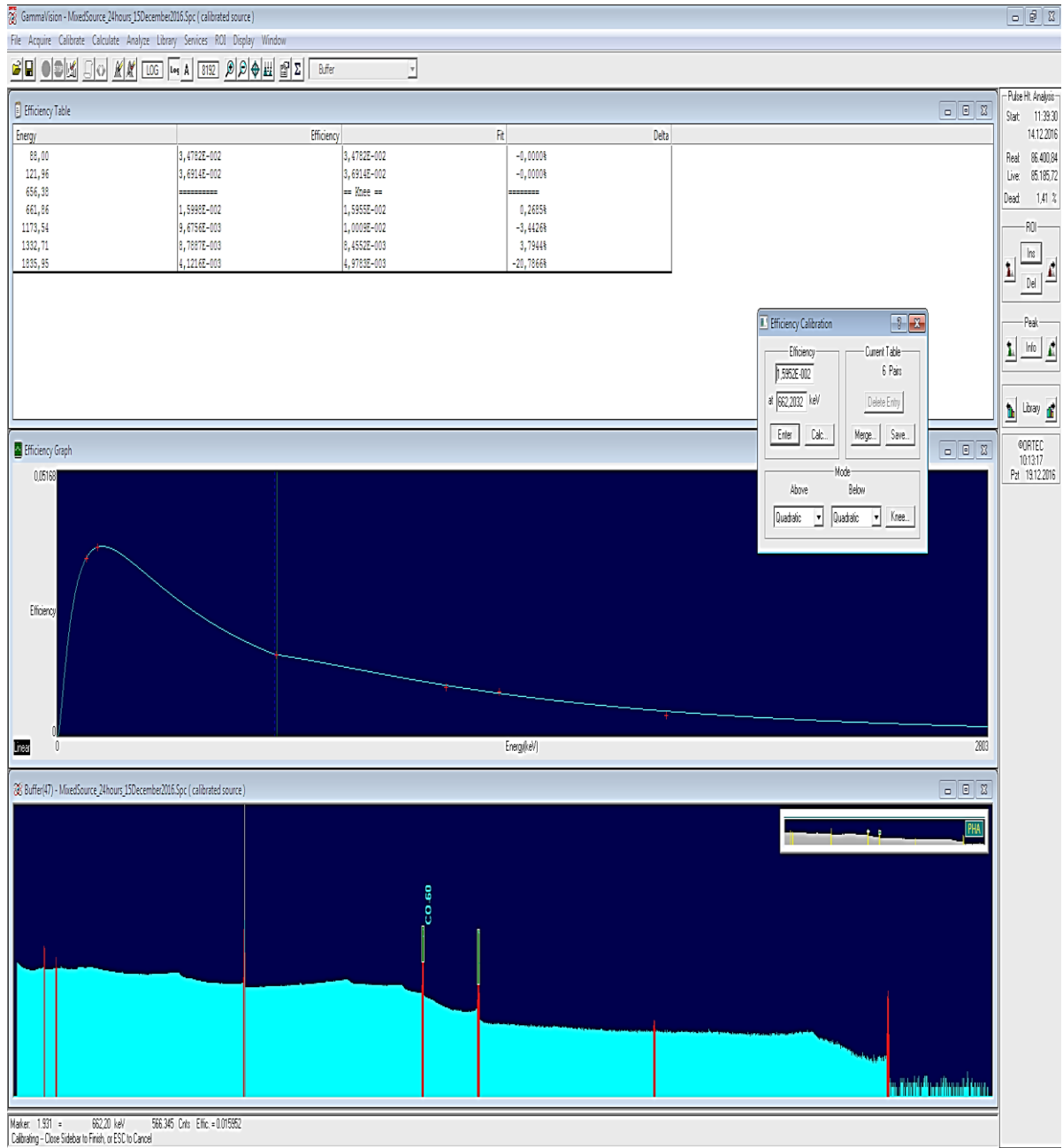
Çekirdek	Gama Işını Enerji (MeV)	Aktivite (Bq)	Emisyon Oranı (s^{-1})
Kadmiyum-109	0,088	$1,35 \times 10^4$	$4,88 \times 10^2$
Kobalt-57	0,122	$5,06 \times 10^2$	$4,33 \times 10^2$
Seryum-139	0,166	$5,69 \times 10^4$	$4,55 \times 10^2$
Civa-203	0,279	$8,59 \times 10^2$	$6,99 \times 10^2$
Kalay-113	0,392	$1,96 \times 10^3$	$1,27 \times 10^3$
Stronsiyum-85	0,514	$1,92 \times 10^3$	$1,89 \times 10^3$
Sezyum-137	0,662	$2,65 \times 10^3$	$2,25 \times 10^3$
İtriyum-88	0,898	$4,04 \times 10^3$	$3,80 \times 10^3$
Kobalt-60	1,173	$3,03 \times 10^3$	$3,03 \times 10^3$
Kobalt-60	1,333	$3,03 \times 10^3$	$3,03 \times 10^3$
İtriyum-88	1,836	$4,04 \times 10^3$	$4,01 \times 10^3$

Enerji ve verim kalibrasyonunda piklerin daha net çıkması için 86 400 saniye süresince ölçüm alınmıştır.

Sistemin enerji ve verim kalibrasyonu 88 keV, 122 keV, 662 keV, 1173 keV, 1,333 keV ve 1836 keV enerji değerlerinde bulunan Kadmiyum-109, Kobalt-57, Sezyum-137, Kobalt-60 ve İtriyum-88 ile yapılmıştır. Bu değerlere ait pikler enerji kalibrasyon Şekil 3.7'de, verim kalibrasyonu Şekil 3.8'de gösterilmiştir.



Şekil 3.7: Enerji kalibrasyonu için kullanılan pikler.

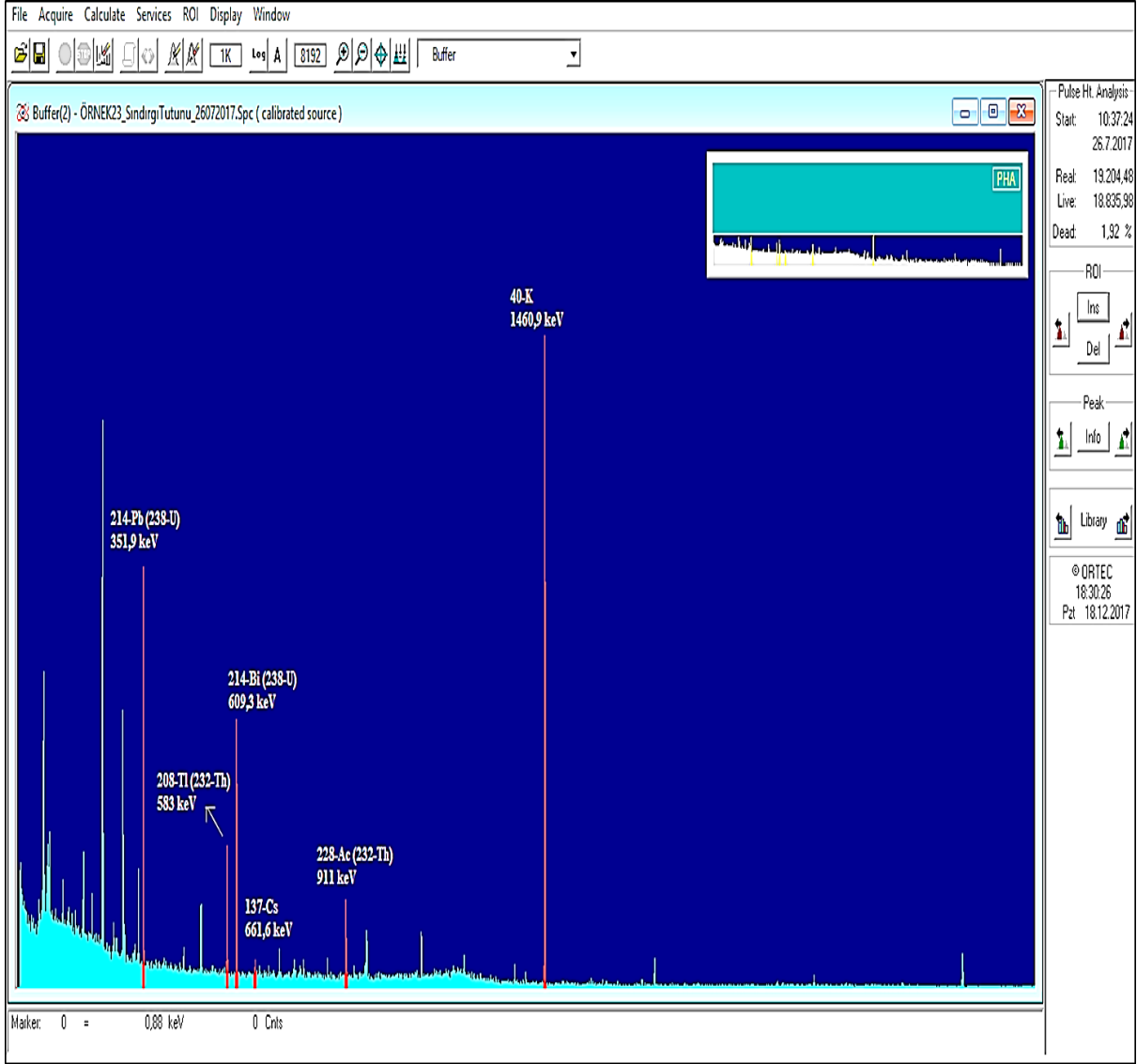


Şekil 3.8: Verim kalibrasyonu için kullanılan pikler.

3.3. ANALİZ YÖNTEMİ

Ölçüm analizleri Ortec GammaVision 6.2 programı ile yapılmıştır. ^{238}U serisi için, 609,3 keV enerjili ^{214}Bi ve 351,9 keV enerjili ^{214}Pb pikleri seçilmiştir. ^{232}Th serisi için, 583 keV enerjili ^{208}Tl ve 911 keV enerjili ^{228}Ac pikleri seçilmiştir. ^{40}K için 1460,8 keV enerjili pik ve ^{137}Cs için

661,6 keV enerjiye sahip pik belirlenmiştir. Örnek bir spektrum Şekil 3.9’da gösterilmiştir. Seçilen her bir pik altında kalan net alan ve pikin verimi program yardımıyla belirlenmiştir.



Şekil 3.9: Örnek spektrum.

3.3.1. Aktivite Hesabı

E_γ enerjili bir pik için Bq/kg olarak ölçülen i çekirdeğinin aktivitesi denklem 3.1’de ifade edilmektedir.

$$A_i(E_\gamma) = \frac{N}{t \times I_\gamma(E_\gamma) \times \varepsilon(E_\gamma) \times m} \quad (3.1)$$

N : E_γ enerjisindeki pikin altında kalan alandaki net sayım.

t : Saniye cinsinden sayım süresi.

$I_\gamma(E_\gamma)$: E_γ enerjisindeki gama bozunma olasılığı.

$\epsilon(E_\gamma)$: E_γ enerjisindeki dedekte etme verimi.

m : Ölçülen örneğin kg cinsinden kütlesi [34].

Ağırlıklı aktivite denklem 3.2’de ifade edilmektedir.

$$A_i = \frac{\sum A_i(E_\gamma) \times I_\gamma(E_\gamma)}{\sum I_\gamma(E_\gamma)} \quad (3.2)$$

^{238}U , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K enerjileri ve gama ışını bozunma olasılıkları Tablo 3.3’ de verilmiştir.

Tablo 3.3: ^{238}U , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K enerjileri ve gama ışını bozunma olasılıkları [35].

Çekirdek	Enerji (keV)	Gama Işını Bozunma Olasılığı (I_γ) (%)
^{214}Pb (^{238}U)	351,9	35.34
^{208}Tl (^{232}Th)	583	85.0
^{214}Bi (^{238}U)	609,3	45.16
^{137}Cs	661,6	84.99
^{228}Ac (^{232}Th)	911	26,6
^{40}K	1460,8	10,66

3.3.1.1. MDA Hesabı

Minimum dedekte edilebilir aktivite (MDA), bir aktivitenin ne kadar küçük olabileceğinin bir ölçüsüdür. MDA’yı etkileyen birçok faktör vardır; kalibrasyon geometrisi, backgrounds (arka planlar), dedektör çözünürlüğü vb [36].

MDA hesabı denklem 3.3 ile hesaplanabilir.

$$MDA = \frac{2.71 + 4,66 \times \sqrt{B}}{t \times I_{\gamma} \times \varepsilon \times m} \quad (3.3)$$

B: Background (arka plan) net sayımı

t: Ölçüm süresi (s)

I_{γ} : Gama ışını bozunma olasılığı

ε : Dedekte verimi

m: Örnek kütlesi (kg)

3.3.2. Yıllık Etkin Doz Hesabı

Bir tane sigarada yaklaşık 0,6 gr tütün kullanılmaktadır. Sigara içen bir kişinin günde 20 adet (bir paket) sigarayı ya da gün de 12 gr tütün kullandığını farz edersek, yıllık tüketilen tütün miktarının 4,38 kg/y olduğu tahmin edilmektedir. Kuru tütün yapraklarındaki radyoaktif çekirdeklerin hesaplanan aktivite konsantrasyonu (Bq/kg) verilerini göz önüne alarak, sigara tütününden sigara dumanına çekilen radyonüklit aktivite konsantrasyonu yaklaşık 0,75 (%75) tir. Sigara tütünündeki radyoizotopların %75'i kısmen solunan ve akciğer dokularına bırakılan sigara dumanında bulunurken, %25'i sigara filtresi ve külü içerisinde tutulur. Sigara kullanan yetişkinlerde soluma için doz dönüşüm faktörleri Tablo 3.4'te verilmiştir [3].

Günde 20 adet sigara içen bir insanın maruz kaldığı yıllık etkin doz denklem 3.4 ile hesaplanmaktadır;

$$H_E = 0,75 \times M_T \times A \times F \quad (3.4)$$

H_E ($\mu\text{Sv/y}$): Yıllık etkin doz

M_T (kg/y): Yıllık tüketilen tütün miktarı

A (Bq/kg): Aktivite

F (Sv/Bq): Doz dönüşüm faktörü

Tablo 3.4: Yetişkinlerde soluma için doz donuřum faktorleri [37,38].

Çekirdek	F (Sv/Bq)
^{238}U	$2,9 \times 10^{-6}$
^{232}Th	25×10^{-6}
^{40}K	3×10^{-6}
^{137}Cs	$4,6 \times 10^{-9}$

4. BULGULAR

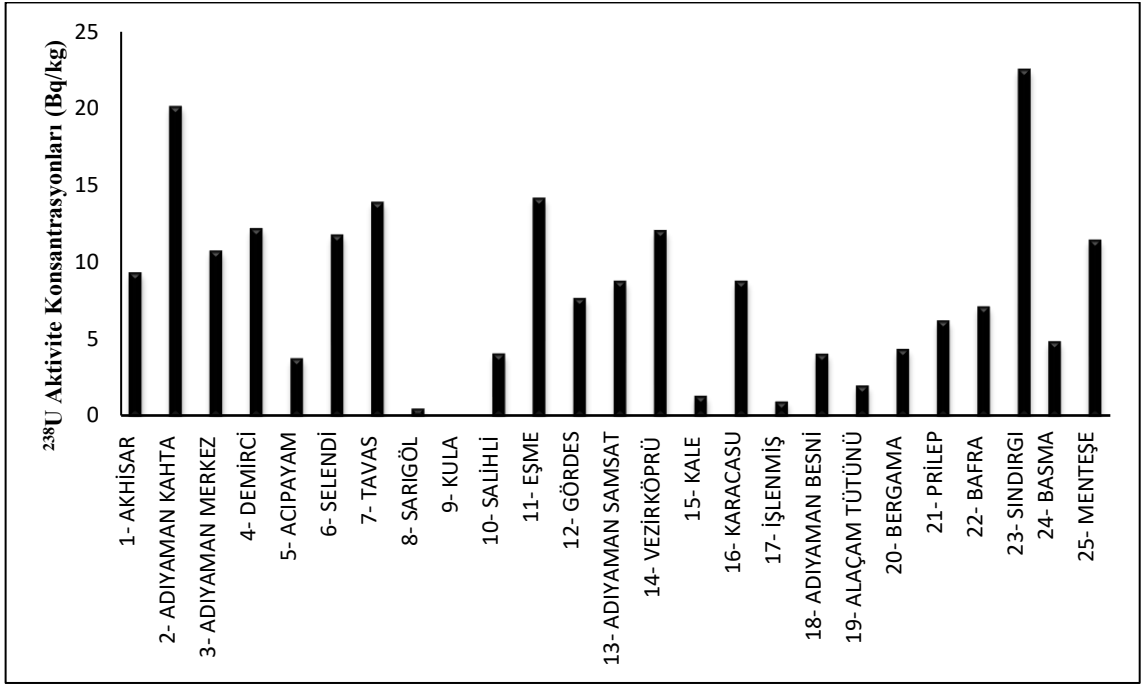
4.1. TÜTÜN YAPRAKLARINDAKİ AKTİVİTE KONSANTRASYONLARI

Tütün örneklerinin analizi sonucunda her bir örnek için aktivite konsantrasyonu hesaplanmış ve Tablo 4.1’ de verilmiştir.

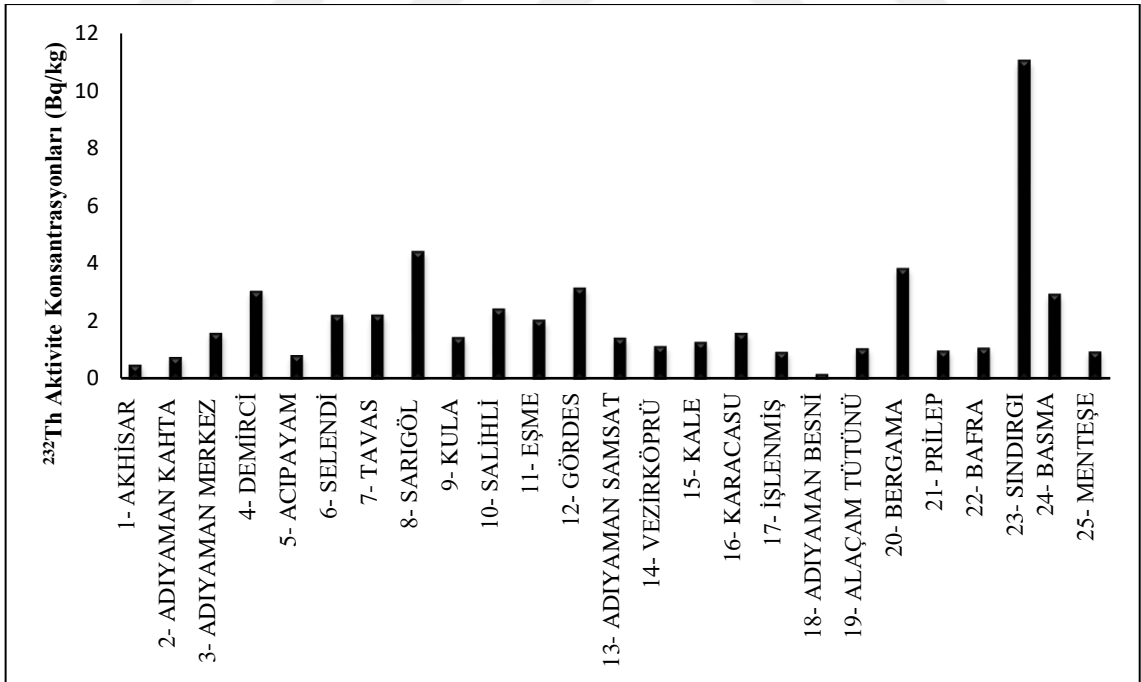
Tablo 4.1: Tütün Yapraklarındaki Aktivite Konsantrasyonları (Bq/kg).

ÖRNEK	²³⁸ U (Bq/kg)	²³² Th (Bq/kg)	⁴⁰ K (Bq/kg)	¹³⁷ Cs (Bq/kg)
1- AKHİSAR	9,22±0,23	<MDA	360,25±9,72	<MDA
2- ADIYAMAN KAHTA	20,0±0,14	<MDA	879,51±16,2	<MDA
3- ADIYAMAN MERKEZ	10,6±0,21	1,53±0,61	926,08±15,4	<MDA
4- DEMİRCİ	12,1±0,19	2,99±0,38	555,32±12,2	<MDA
5- ACIPAYAM	3,63±0,46	<MDA	567,35±12,5	<MDA
6- SELENDİ	11,7±0,19	2,15±0,47	1479,5±18,2	<MDA
7- TAVAS	13,8±0,18	2,18±0,48	987,69±16,6	2,06±0,20
8- SARIGÖL	<MDA	4,37±0,30	626,82±12,8	0,66±0,12
9- KULA	<MDA	1,39±0,62	527,48±11,4	0,25±0,08
10- SALİHLİ	3,95±0,42	2,38±0,44	553,56±12,0	0,26±0,09
11- EŞME	14,09±0,18	1,99±0,51	463,44±11,7	1,06±0,15
12- GÖRDES	7,55±0,27	3,10±0,38	669,73±13,5	0,24±0,09
13- ADIYAMAN SAMSAT	8,69±0,25	1,36±0,66	1121,3±17,5	<MDA
14- VEZİRKÖPRÜ	12,0±0,20	<MDA	1191,2±18,0	0,57±0,12
15- KALE	<MDA	1,22±0,71	737,57±14,2	0,33±0,10
16- KARACASU	8,68±0,25	1,54±0,61	614,87±13,6	0,16±0,09
17- İŞLENMİŞ	<MDA	<MDA	714,14±14,1	0,28±0,10
18- ADIYAMAN BESNİ	3,92±0,44	<MDA	980,39±16,0	0,29±0,11
19- ALAÇAM TÜTÜNÜ	1,87±0,75	<MDA	1032,0±16,5	<MDA
20- BERGAMA	4,23±0,41	3,79±0,33	772,88±13,9	0,52±0,12
21- PRİLEP	6,09±0,33	<MDA	780,26±15,2	0,51±0,12
22- BAFRA	7,02±0,32	<MDA	1224,8±22,4	0,42±0,16
23- SINDIRGI	22,5±0,12	11,0±0,16	815,52±13,2	0,28±0,18
24- BASMA	4,73±0,38	2,89±0,40	1053,9±16,9	0,52±0,11
25- MENTEŞE	11,4±0,21	0,89±0,88	627,19±13,3	0,41±0,11

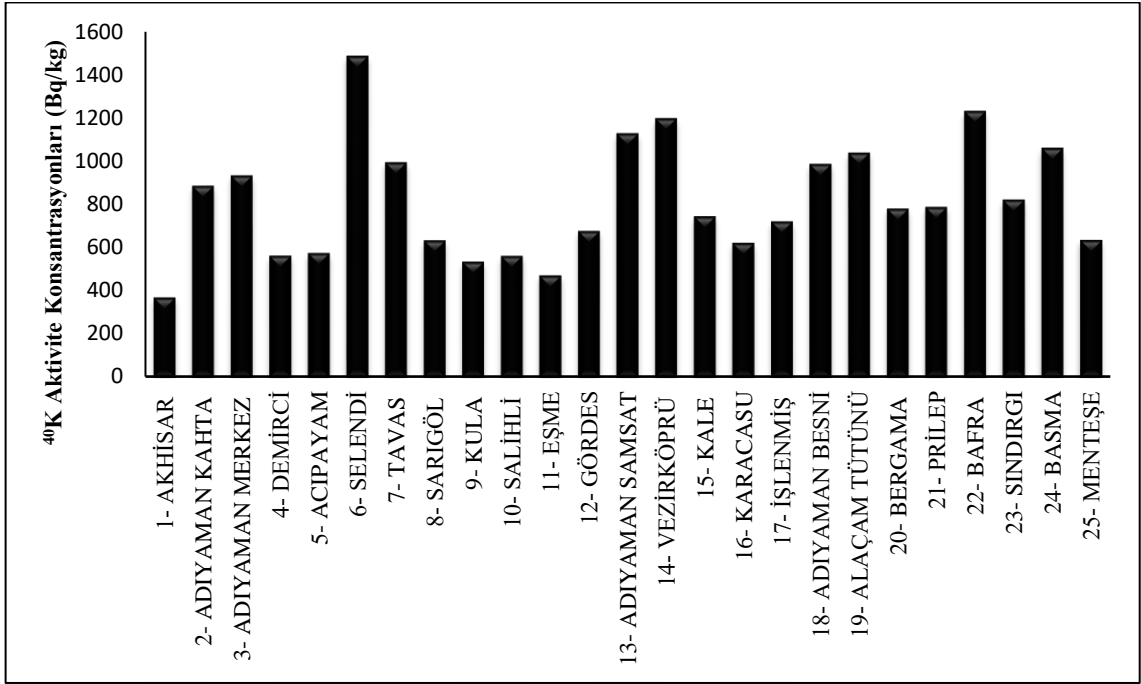
Analiz sonucunda ²³⁸U, ²³²Th, ⁴⁰K ve ¹³⁷Cs, çekirdek konsantrasyonları tespit edilmiştir. ²³⁸U, ²³²Th, ⁴⁰K ve ¹³⁷Cs çekirdekleri için her bir tütün örneği için aktivite konsantrasyonunu gösteren grafikler Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’te verilmiştir.



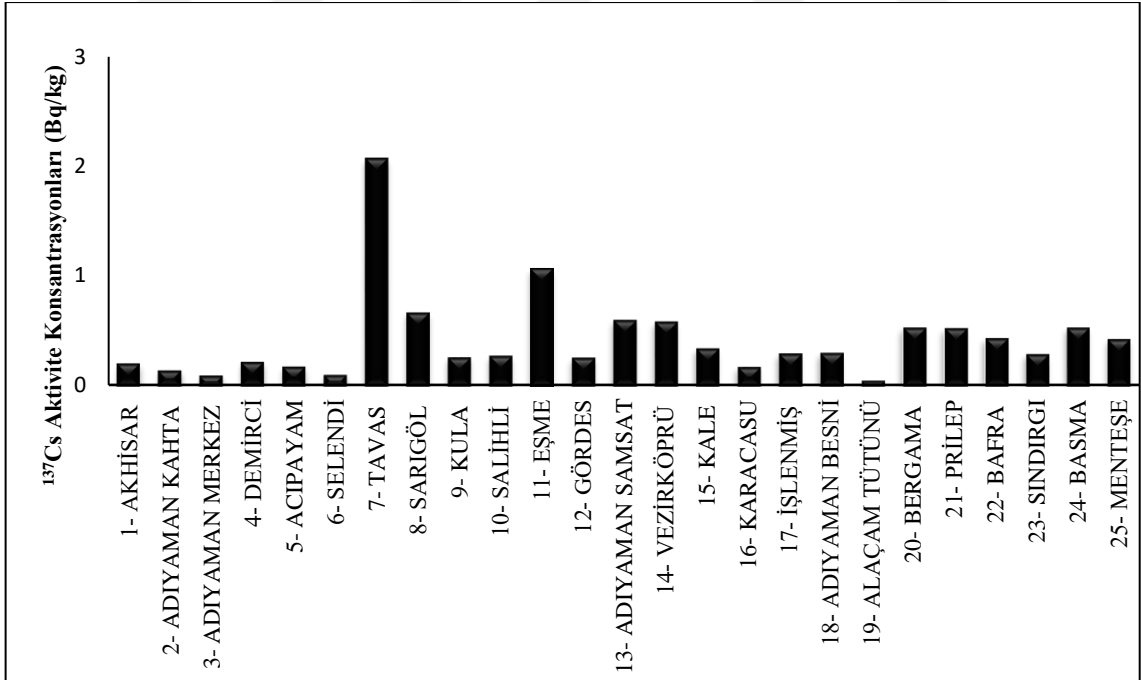
Şekil 4.1: ^{238}U Çekirdeğinin Ağırlıklı Aktivite Dağılımı.



Şekil 4.2: ^{232}Th Çekirdeğinin Ağırlıklı Aktivite Dağılımı.



Şekil 4.3: ^{40}K Çekirdeğinin Aktivite Dağılımı.



Şekil 4.4: ^{137}Cs Çekirdeğinin Aktivite Dağılımı.

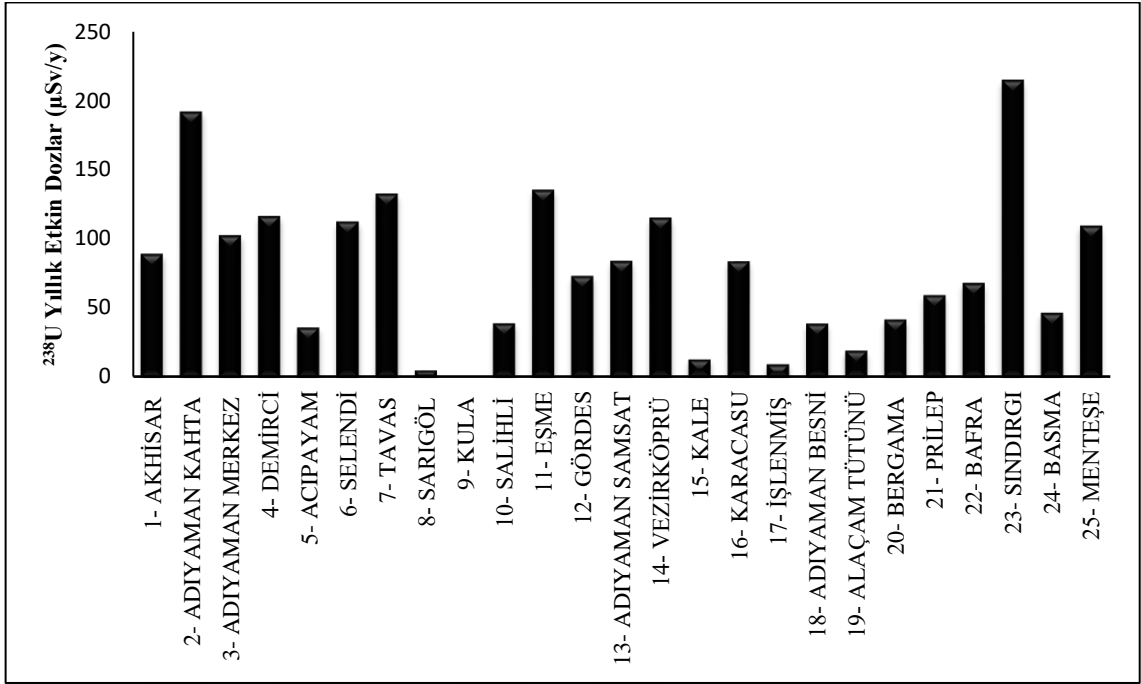
4.2. YILLIK ETKİN DOZLAR

Tütün örneklerinin analizi sonucunda her bir örnek için bir günde 20 adet sigara içen bir kişinin maruz kaldığı yıllık etkin dozlar hesaplanmış ve Tablo 4.2' de verilmiştir.

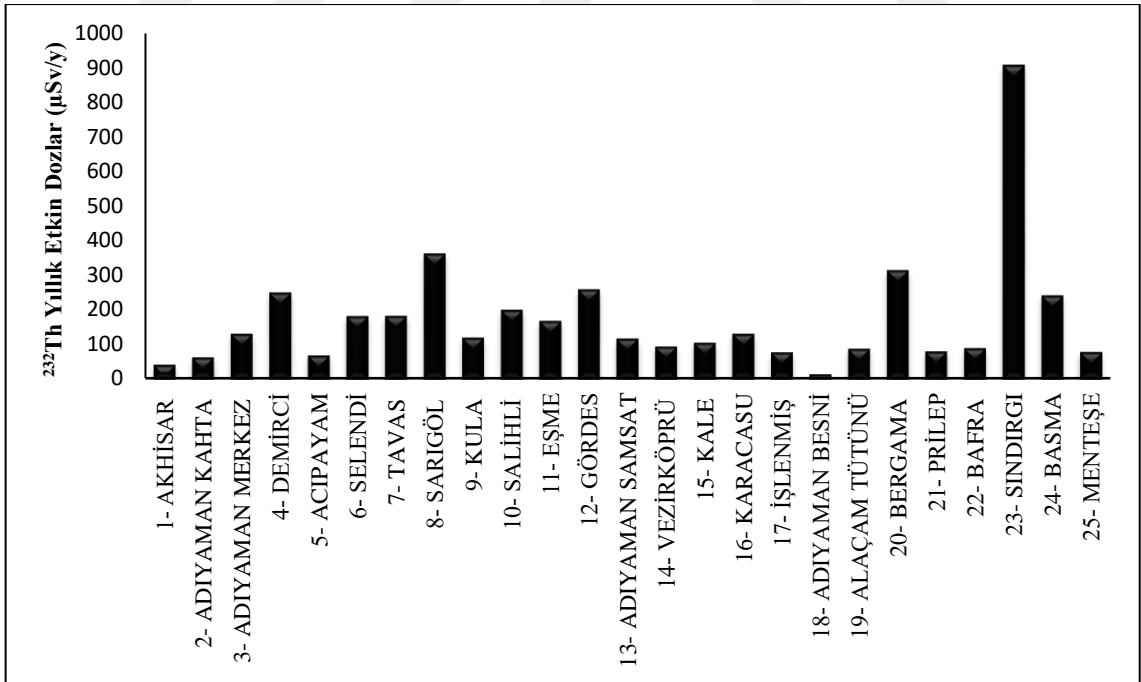
Tablo 4.2: Bir Günde Bir Paket (20 Adet) Sigara Dumanındaki Yıllık Etkin Dozlar.

ÖRNEK	²³⁸ U (μ Sv/y)	²³² Th (μ Sv/y)	¹³⁷ Cs (nSv/y)
1- AKHİSAR	87,82	-	-
2- ADIYAMAN KAHTA	190,93	-	-
3- ADIYAMAN MERKEZ	101,35	125,46	-
4- DEMİRCİ	115,30	245,86	-
5- ACIPAYAM	34,60	-	-
6- SELENDİ	111,37	176,86	-
7- TAVAS	131,52	178,02	31,17
8- SARIGÖL	-	359,18	9,90
9- KULA	-	114,35	3,70
10- SALİHLİ	37,61	195,52	3,91
11- EŞME	134,23	163,34	15,99
12- GÖRDES	71,91	254,84	3,64
13- ADIYAMAN SAMSAT	82,77	112,00	-
14- VEZİRKÖPRÜ	114,17	-	8,65
15- KALE	-	100,21	4,93
16- KARACASU	82,66	126,20	2,38
17- İŞLENMİŞ	-	-	4,24
18- ADIYAMAN BESNİ	37,36	-	4,34
19- ALAÇAM TÜTÜNÜ	17,83	-	-
20- BERGAMA	40,30	310,92	7,81
21- PRİLEP	58,05	-	7,73
22- BAFRA	66,83	-	6,34
23- SINDIRGI	214,02	904,24	4,16
24- BASMA	45,09	237,03	7,82
25- MENTEŞE	108,22	72,65	6,23

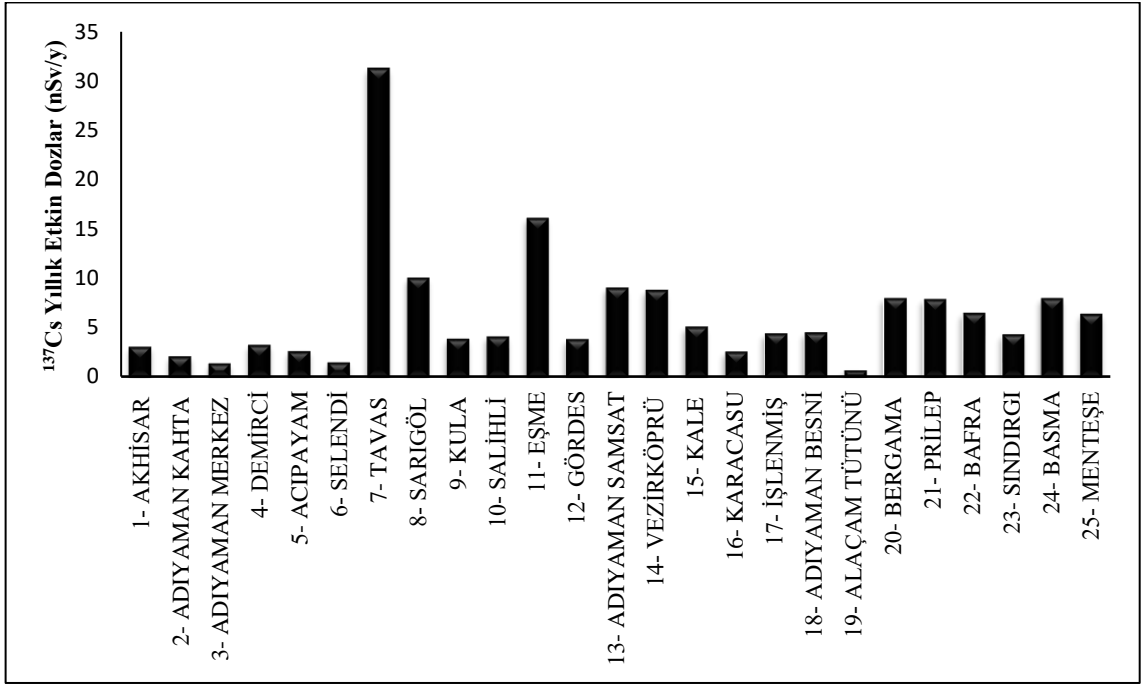
Aktivite konsantrasyonları belirlenen ²³⁸U, ²³²Th ve ¹³⁷Cs çekirdeklerinin her bir tütün örneği için hesaplanan yıllık etkin dozları gösteren grafikler Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.5: ^{238}U Çekirdeğinin Yıllık Etkin Doz Dağılımı.



Şekil 4.6: ^{232}Th Çekirdeğinin Yıllık Etkin Doz Dağılımı.



Şekil 4.7: ^{137}Cs Çekirdeğinin Yıllık Etkin Doz Dağılımı.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada Türkiye'nin farklı bölgelerinde yetişen 4 farklı cinsten 25 tütün örneğinin radyoaktivite konsantrasyonları hesaplanmış ve sigara içen yetişkinlerin maruz kaldığı yıllık etkin dozlar hesaplanmıştır.

^{238}U aktivite konsantrasyonu 1,87 Bq/kg (Alaçam Tütünü) ve 22,5 Bq/kg (Sındırgı Tütünü) değerleri arasındadır. 25 tütün örneği için ortalama ^{238}U aktivite konsantrasyonu 8,01 Bq/kg dir. UNSCEAR'ın 1982 raporuna [39] göre topraktaki ^{238}U aktivite konsantrasyonu 10-50 Bq/kg değerleri arasındadır ve ortalama aktivite konsantrasyonu 25 Bq/kg dir. Bu çalışmadaki değerler UNSCEAR'ın 1982 raporunun [39] verilerinin altındadır.

^{232}Th aktivite konsantrasyonu 0,89 Bq/kg (Menteşe Tütünü) ve 11,0 Bq/kg (Sındırgı Tütünü) değerleri arasındadır. 25 tütün örneği için ortalama aktivite konsantrasyonu 2,01 Bq/kg dir. UNSCEAR 1982 raporuna [39] göre topraktaki ^{232}Th aktivite konsantrasyonu 7-50 Bq/kg değerleri arasındadır ve ortalama aktivite konsantrasyonu 25 Bq/kg dir. Bu çalışmadaki değerler UNSCEAR 1982 raporunun [39] verilerinin altındadır.

^{40}K aktivite konsantrasyonu 360,25 Bq/kg (Akhisar Tütünü) ve 1479,5 Bq/kg (Selendi Tütünü) değerleri arasındadır. 25 tütün örneği için ortalama aktivite konsantrasyonu 810,51 Bq/kg dir. UNSCEAR 1982 raporuna [39] göre topraktaki ^{40}K aktivite konsantrasyonu 100-700 Bq/kg değerleri arasındadır ve ortalama aktivite konsantrasyonu 370 Bq/kg dir. Bu çalışmadaki ortalama değer UNSCEAR 1982 raporunun [39] verilerinin üstündedir. Adıyaman Kahta, Adıyaman Merkez, Selendi, Tavas, Adıyaman Samsat, Vezirköprü, Kale, İşlenmiş Tütün, Adıyaman Besni, Alaçam, Bergama, Prilep Tütünü, Bafra, Sındırgı, Basma Tütünü aktivite değerleri bu değerlerin üzerindedir. Bu durum bu bölgelerin toprak yapılarındaki farklılıklar ve/veya bu bölgelerde yetiştirilen tütünlerde gübre kullanılmış olması olasılığının varlığını göstermektedir.

^{137}Cs aktivite konsantrasyonu 0,16 Bq/kg (Karacasu Tütünü) ve 2,06 Bq/kg (Tavas Tütünü) değerleri arasındadır. 25 tütün örneği için ortalama aktivite konsantrasyonu 0,41 Bq/kg dir.

Tütündeki radyoaktivite Türkiye'de ve dünyada birçok çalışmaya konu olmuştur. Bağdat'ta yapılan bir çalışmada Dünyada'ki pek çok markaya ait sigara tütünlerinin aktiviteleri

hesaplanmış ve Türkiye' ye ait iki sigara markasındaki tütün için aktivite değerleri Tablo 5.1'de verilmiştir.

Tablo 5.1: Türkiye' ye ait iki sigara markasındaki tütün için aktivite değerleri [34].

Örnek No	^{238}U (Bq/kg)	^{232}Th (Bq/kg)	^{40}K (Bq/kg)
Marka 1	19,95± 4,47	1,88± 1,37	924,59± 48,87
Marka 2	22,20± 4,47	14,71± 3,84	1029,34± 50,96

^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs ortalama radyoaktivite konsantrasyonlarının farklı ülkelerde yapılan çalışmalar ile karşılaştırılması Tablo 5.2'de verilmiştir.

Tablo 5.2: ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs ortalama aktivite konsantrasyonlarının diğer çalışmalar ile karşılaştırılması.

Ülke	^{238}U (Bq/kg)	^{232}Th (Bq/kg)	^{40}K (Bq/kg)	^{137}Cs (Bq/kg)	Kaynak
Yunanistan	-	-	822,79	3,40	[3]
Irak	14,86	10,84	1050,64	-	[34]
Türkiye	-	11,7	1197,48	<MDA	[2]
Türkiye	8,01	2,01	810.5	0,41	Bu Çalışma

Türkiye, Çernobil Reaktör Kazası'ndan açığa çıkan füzyon ürünlerinden ^{137}Cs 'nin atmosferik yollarla yayılmasından etkilenmiştir. Bundan dolayı Türkiye'de yetişmekte olan tütün bitkisinde doğal radyoaktif maddeler dışında ^{137}Cs 'ye rastlanmıştır.

^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K doğal radyoaktif seriler, toprağın yapısında bulunurlar ve topraktan tütün bitkisine geçerler. Bu elementler toprağın yapısına bağlı olduğu için bölgeden bölgeye değişiklik gösterirler. Özellikle ^{40}K 'ın aktivitesinin fazla olması tütünün ekildiği bölgede gübre kullanımını akla getirmektedir. Gübrenin doğal yapısında ^{40}K bulunur ve gübre kullanılan topraklarda, bu topraklara ekilen bitkilerde ^{40}K aktivitesi fazla olabilmektedir.

^{238}U için yıllık etkin doz değerleri, 17,83 $\mu\text{Sv/y}$ (Alaçam Tütünü) ile 214,02 $\mu\text{Sv/y}$ (Sındırgı Tütünü) arasındadır.

^{232}Th için yıllık etkin doz değerleri, 72,65 $\mu\text{Sv/y}$ (Menteşe Tütünü) ile 904,24 $\mu\text{Sv/y}$ (Sındırgı Tütünü) arasındadır.

^{137}Cs için yıllık etkin doz değerleri, 2,38 nSv/y (Karacasu Tütünü) ile 31,17 nSv/y (Tavas Tütünü) arasındadır.

Sigara içen yetişkinlerin solunum yoluyla aldıkları ortalama yıllık etkin dozun ^{238}U için 76 $\mu\text{Sv/y}$, ^{232}Th için 170 $\mu\text{Sv/y}$, toplamda 246 $\mu\text{Sv/y}$ olduğu sonucuna varılmıştır. ^{40}K dan gelen doz hesaba katılmamıştır. Çünkü potasyum, her çevresel örneğin en bol elementlerinden biridir. ^{40}K normal gıda ve insan dokusundaki baskın radyoaktif bileşendir ve insan vücudu boyunca dağılır [25]. Çernobil kaynaklı ortalama yıllık etkin dozun ^{137}Cs için 6 nSv/y olduğu hesaplanmıştır ve doğal olarak oluşan radyonüklitten yaklaşık üç derece daha düşüktür.

246 $\mu\text{Sv/y}$ yıllık etkin doz, dünya genelinde yıllık solunumla radyasyona maruz kalma oranı ortalama olarak 1,26 mSv/y [25] ile karşılaştırılmıştır. Dünya genelinde solunumla alınan ortalama yıllık etkin doza sadece tütün ürünlerinin solunmasından değil, diğer solunumla alınan radyoaktif maddeler (Radon vb.) de dahil olduğu dikkate alınmalıdır.

Akciğer kanserinin başlıca nedenlerinden biri de sigara dumanıdır. Sigarada bulunan tütün yaprakları, trikomlar adı verilen yapılarla bağlantılı yapışkan tüylere sahiptir. Bu nedenle, bu tüylerde atmosferdeki küçük parçacıklar toplanabilir. Bu şekilde, daha uzun süre yaşayan radyoaktif maddeler tütün yapraklarında yoğunlaşır. Tütün bünyesinde radyoaktif maddeler bulundurması dolayısıyla, sigara tüketiminde bu radyoaktif maddeler direk olarak sigara dumanıyla akciğere yayılır ve akciğer kanserine neden olur. Bu yüzden sigara içen kişiler, daha fazla radyasyona maruz kalırlar ve akciğer kanserine yakalanma ihtimalleri sigara içmeyen kişilere göre daha fazladır.

Bu çalışma; Türkiye'nin birçok bölgesinden farklı türdeki işlenmemiş tütün bitkisindeki radyoaktif çekirdek konsantrasyonlarının belirlenmesi itibariyle Türkiye'de gerçekleştirilmiş ilk çalışmadır ve ileride yapılacak çalışmalara temel teşkil etmesi açısından önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- [1]. TÜİK. T.C Türkiye İstatistik Kurumu Başkanlığı, 2012, *Küresel Yetişkin Tütün Araştırması*, <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=13142>, [Ziyaret Tarihi: 27 Kasım 2017].
- [2]. Ağuş, Y., 2016, Sigara Tütününün Doğal ve Yapay Radyoaktivitesinin Belirlenmesi, SAÜ Fen Bil Der, 20, 559-563.
- [3]. Papastefanou, C., 2009, Radioactivity of Tobacco Leaves and Radiation Dose Induced from Smoking, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2009, 6,558-567.
- [4]. Fletcher, J. J.,1994, Doses From Radiocesium and 40K Activites Found in Some Tobacco Leaves and Cigarettes, *Applied Radiation and Isotopes*, 45, 133-134.
- [5]. Kuş, K., 2011, *Radyasyon Nedir?*, <http://bilheal.bilkent.edu.tr/aykonu/ay2011/radyasyonturk.htm>, [Ziyaret Tarihi: 6 Kasım 2017].
- [6]. L'Annunziata, Michael F., 2012, *Handbook of Radioactivity Analysis*, 3rd ed., AP, USA, ISBN: 978-0-12-384-873-4.
- [7]. Krane, Kennth S., 2011, *Nükleer Fizik*, Palme Yayıncılık, Ankara, ISBN: 0-471-80553-X.
- [8]. Güven, H., 1999, *Nükleer Fizik Ders Notu*, İstanbul.
- [9]. Engizek, T., 1999, *Sağlık Fiziği*, İ.Ü. Fen Fakültesi Basımevi, İstanbul, ISBN: 975-404-477-5.
- [10]. Tanyel, B., 1994, *Nükleer Fizik*, Ege Üniversitesi Basımevi, İzmir, ISBN: 975-483-148-3.
- [11]. Ünal, S., 2017, *Tekirova (Antalya) Ofiyolitleri'nin Doğal ve Yapay Radyoaktivite (Gama) Seviyeleri ve İnsan Sağlığı Üzerine Etkisinin Belirlenmesi*, Yüksek Lisan Tezi, Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [12]. TAEK. Türkiye Atom enerjisi Kurumu, 2009, *Radyasyon ve Yaşam*, <http://www.taek.gov.tr/bilgi-kosesi/184-radyasyonla-birlikte-yasiyoruz/500-radyasyon-ve-yasam.html>, [Ziyaret Tarihi: 20 Kasım 2017].
- [13]. TAEK. Türkiye Atom enerjisi Kurumu, 2009, *Doğal Radyasyon Kaynakları*, <http://www.taek.gov.tr/bilgi-kosesi/184-radyasyonla-birlikte-yasiyoruz/501-dogal-radyasyon-kaynaklari.html>, [Ziyaret Tarihi: 20 Kasım 2017].
- [14]. NRC. Nuclear Regulatory Commision, 2017, *Natural Background Sources*, <https://www.nrc.gov/about-nrc/radiation/around-us/sources/nat-bg-sources.html>, [Ziyaret Tarihi: 19 Ekim 2017].

- [15]. TAEK. Türkiye Atom enerjisi Kurumu, 2009, *Yapay Radyasyon Kaynakları*, <http://www.taek.gov.tr/bilgi-kosesi/184-radyasyonla-birlikte-yasiyoruz/502-yapay-radyasyon-kaynaklari.html>, [Ziyaret Tarihi: 20 Kasım 2017].
- [16]. Çetinkaya, H., 2009, *Kütahya İli İçme Sularında Radon ve Radyum Miktarlarının Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [17]. Atıcı, E., 2016, *Kapadokya Bölgesinde Yapı Taşı Olarak Üretilen Tüflerdeki Doğal Radyoaktivitenin Gama Spektrometrik Yöntemle Ölçülmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [18]. Tınçkın, A., 2014, *Demirci (Manisa) İlçesinin Çevresel Radyoaktivitesinin Saptanması*, Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [19]. Hafizoğlu, N., 2012, *Kütahya İli Ve İlçelerinde Çevresel Gama Radyasyonu Ölçümü*, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi.
- [20]. Şahin, L., 2013, *Radyasyonun Madde İle Etkileşimi*, Ders Notu, İstanbul.
- [21]. Knoll, G. F., *Radiation Detection and Measurement*, 3rd ed., John Wiley & Sons, Inc..
- [22]. Eberth, J. and Simpson, J., 2008, From Ge(Li) Detectors to Gamma-Ray Tracking Arrays 50 Years of Gamma Spectroscopy with Germanium Detectors, *Elsevier*, 60 (2008) 283-337.
- [23]. Günay, E., 2010, *İnsan Saçının Nötron Aktivasyon Analizi Yöntemi İle Kalitatif Ve Kantitatif Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [24]. Regan, P. H., 1997, *2nd Year Radiation Detection and Measurement*, Lecture Notes.
- [25]. Eroğlu, M., 2011, *Hpge Dedektörün 13-1212 Kev Enerji Aralığında Fotopik Veriminin Belirlenmesi Ve Kaynak İç Saçılımlarının İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [26]. Harb, S., 2015, Natural Radioactivity Concentration and Annual Effective Dose in Selected Vegetables and Fruits, *Journal of Nuclear and Particle Physics*, 5(3): 70-73.
- [27]. Tütün Üreticileri Birliği, *Tütünün Tarih*, <http://tutunbirligi.com/index.php/2013-01-08-23-19-01/tuetuenuen-tarihi>, [Ziyaret Tarihi: 31 Ocak 2017].
- [28]. Tütün Eksperleri Derneği, *Türkiye’de Tütünün Tarihçesi*, <http://www.tutuneksper.org.tr/tr/tutun-bilgisi/turkiyede-tutun/160-tutunun-tarihcesi>, [Ziyaret Tarihi: 31 Ocak 2017].
- [29]. Schmitz, A., Çakmak, Schmitz & Gray, 1999, *Policy, State Trading and Cooperatives in Turkish Agriculture*, AERI Project Report, No. 1999-1.
- [30]. Tütün Eksperleri Derneği, *Türkiye’de Üretilen Tütünler*, <http://www.tutuneksper.org.tr/tutun-bilgisi/turkiyede-tutun/161-turkiyede-uretilen-tutunler>, [Ziyaret Tarihi: 31 Ocak 2017].

- [31]. TAPDK. Tütün ve Alkol Piyasası Düzenleme Kurumu, 2014, *Tütün Piyasası Yaprak Tütün Üretim Verileri*, Türkiye.
- [32]. The Tobacco Atlas, *Turkey*, <http://www.tobaccoatlas.org/country-data/turkey/>, [Ziyaret Tarihi: 31 Ocak 2017].
- [33]. İstanbul Üniversitesi Araştırma Laboratuvarları Bilgi Sistemi, *Nükleer Fizik Gama Spektroskopisi Laboratuvarı*, https://arlab.istanbul.edu.tr/arlab/front/browse_lab.html?labid=271, [Ziyaret Tarihi: 31 Ocak 2017].
- [34]. Ridha, A.A., Hasan, H.A., 2016, Cancer Risk Due to the Naturel Raioactivity in Cigarette Tobacco, *Scientific Research Publishing*, 2016, 4, 54-65.
- [35]. IAEA. International Atomic Energy Agency, 2008, *Handbook Of Nuclear Data For Safeguards: Database Extensions*, Vienna, Austria.
- [36]. ORTEC, 2013, *A66-BW Software User's Manual*, U.S.A, 783620.
- [37]. ICRP. Intenational Commision on Radiological Protection, 1996, *Age-Dependent Doses To Members Of The Public From Intake Of Radionuclides. Part 5: Compilation Of Ingestion And Inhalation Dose Coefficients*. Oxford, UK.
- [38]. UNSCEAR. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 2000, *Sources and Effects of Ionizing Radiation*, New York, USA.
- [39]. UNSCEAR. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 1982, *Ionizing Radiation: Sources And Biological Effects*, New York, USA.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Güler AĞGEZ
Doğum Yeri	Üsküdar
Doğum Tarihi	11.01.1988
Uyruğu	<input checked="" type="checkbox"/> T.C. <input type="checkbox"/> Diğer:
Telefon	0553 435 53 42
E-Posta Adresi	guler_aggez@hotmail.com
Web Adresi	-



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Fakülte	Fen Fakültesi
Bölümü	Fizik Bölümü
Mezuniyet Yılı	13.06.2013

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Fizik Anabilim Dalı
Programı	Nükleer Fizik Programı
Mezuniyet Tarihi	22.12.2017

Makale ve Bildiriler
Aggez, G., ve ark., 2015, Natural Background Radiation Measurement by Using Portable Detector at Science Faculty of Istanbul University, <i>9th International Physics Conference of the Balkan Physical Union</i> , 24-27 August 2015, İstanbul University, İstanbul / Turkey.
Aggez, G., ve ark., 2016, A Way of Making Radiation Visible by Building a Cloud Chamber, <i>9th International Balkan School on Nuclear Physics</i> , 10-17 July 2016, Constanta, Romania.
Aggez, G., ve ark., 2016, Indoor Gamma Radiation Measurement at Science Faculty of Istanbul University, <i>Turkish Physical Society 32nd International Physics Congress</i> , 6-9 September 2016, Bodrum, Turkey.