T.C.

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EDİRNE İLİ VE İLÇELERİNDEKİ TOPRAKLARDA DOĞAL RADYOAKTİVİTE DÜZEYLERİNİN BELİRLENMESİ

HAKAN ATLAS

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FİZİK ANABİLİM DALI

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Nimet ZAİM

EDİRNE-2015

T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü onayı

Prof. Dr. Mustafa ÖZCAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları sağladığını onaylarım.

Prof. Dr. Serap DALGIÇ
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tez tarafımca okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Nimet ZAİM
Tez Danışmanı

Bu tez, tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından Fizik Anabilim Dalında bir Yüksek Lisans tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	İmza
Doç. Dr. Murat TÜRKYILMAZ	
Doç. Dr. Azmi Ali ALTINTAŞ	
Yrd. Doç. Dr. Nimet ZAİM	

T.Ü. FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK YÜKSEK LİSANS PROGRAMI
DOĞRULUK BEYANI

İlgili tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin kaynak gösterilerek ilgili tezde yer aldığını beyan ederim.

15/09/2015

Hakan ATLAS

Yüksek Lisans Tezi

Edirne İli ve İlçelerindeki Topraklarda Doğal Radyoaktivite Düzeylerinin Belirlenmesi

T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

ÖZET

Radyoaktivite 1898 yılında, tesadüfen Becquerel tarafından keşfedildi ve aynı yıllarda Curie ve arkadaşlarının çalışmaları ile bu konuda önemli bilgiler edinildi. Doğada atom numarası 83 den büyük olan elementlerin doğal radyoaktiviteye sahip olduğu da böylece keşfedilmiş oldu. Yine bu radyoaktif elementlerin, bir dizi doğal bozunum zincirine uyarak, başlıca dört radyoaktif doğal seri oluşturduğu görüldü. Zincirlerin her bir halkasındaki radyoaktif element farklı radyoaktif özelliklere sahiptir; yarı ömür, göreli biyolojik etkinlik vs. İnsan sağlığını önemli ölçüde tehdit edebilen bu radyoaktif etkinin bilinmesi kaçınılmazdır.

Radyoaktif çekirdeğin bozunum sürecinde alfa, beta ve gama ışınları yayınlanır. Radyoaktif bozunum sürecini anlamak için, nükleer enerji seviyesi, spin ve parite değişimi incelenmelidir. Nükleer spektroskopinin temelini oluşturan bu bilgiler çekirdeklerin sistematiğini anlamak için de gereklidir.

Yaptığımız araştırmalarda, Türk Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) ilgilendiğimiz bölgelerin bir kısmında ve yaklaşık beş yıl önce çalışmalar yaptığına rastladık. Bu nedenle bölgemizde doğal gama radyoaktivitesinin ölçülmesine gerek duyduk. Her bölge için karasal soğurulan doz hızını ($nGy.h^{-1}$), karasal etkin doz eşdeğerini ($mSv.yıl^{-1}$), Radyum eşdeğer aktivitesini ($Bq.kg^{-1}$), dış tehlike indeksini, yıllık ganodal doz eşdeğerini ($\mu Sv.yıl^{-1}$) ve yaşam boyu kanser riskini hesapladık.

Bu amaçla Edirne ve çevresi için, NaI(Tl) sintilasyon sayacı kullanılarak gama spektroskopisi analizi ile doğal radyoaktivite seviyesi ve diğer radyoaktivite ölçüm parametrelerini belirleyerek, literatür ile karşılaştırdık.

Yıl : 2015

Sayfa Sayısı : 58

Anahtar Kelimeler : NaI(Tl) dedektörü, gama spektromerisi analizi

Master's Thesis
Measurement of Natural Radioactivity Levels for Soil in Edirne and Towns of Edirne
Trakya UniversityInstitute of Natural Sciences
Departman of Physics

ABSTRACT

Radioactivity was discovered accidentally by Becquerel in 1898, much new information appeared during the year 1898, mostly through the work of the Curies. All elements exist in natural sources with atomic number greater than 83 (bismuth) are radioactive. They are belong to basic three families; Uranium, Thorium and Actinium. Three of these families are constituted chains of successive decays which include all natural activities. From this reason all living creature on earth are exposed to natural radiation and the calculation of natural radioactivity levels for soil is important for man.

During the radioactive decay process, alpha, beta and gamma rays are emitted. To striving for basic understanding of decay process, we are interested in information that can be obtained about the properties of the nuclear energy levels, spin change and parity change involved in the transition. Such knowledge of nuclear spectroscopy is vital for any systematic understanding of nuclei.

We met in our research that "Türk Atom Enerjisi Kurumu" (TAEK) is doing work about five years ago a part of the regions concerned. For this reason, we are need to be measured in our region natural gamma radioactivity. Terrestrial absorbed dose rate (ngy.h^{-1}), terrestrial effective dose equivalent (msv.yıl^{-1}), radium equivalent activity (Bq.kg^{-1}), the external hazard index, the annual gonadal dose equivalent (μsv.yıl^{-1}), and we calculate the lifetime risk of cancer were calculated for each region. The results will be compared with other radioactivity measurement in different country's soils.

In this study, the level of natural gamma radioactivity in Edirne and around to be determined by using NaI(TI) scintillation counters and analysis of gamma spectroscopy. The results are compared with previous studies.

Year : 2015
Number of Pages : 58
Keywords : NaI (Tl) detector, gamma spectrometer analysis

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen, bilgi ve tecrübeleri ile beni yönlendiren danışmanım Yrd. Doç. Dr. Nimet ZAİM' e teşekkür ederim.

Bilgi ve görüşlerinden yararlandığım Doç. Dr. Fikret IŞIK, Yrd. Doç. Dr. M. Akif SABANER, Fizik bölümündeki diğer hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu tezin hayata geçirilmesinde, tüm imkânlarıyla destek olan Türkiye Atom Enerjisi Kurumu(TAEK); Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi(ÇNAEM) ve Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi(SANAEM) tüm çalışanlarına teşekkür ederim. Ayrıca bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım ÇNAEM Nükleer Elektronik Bölüm Başkanı Necati KÜÇÜKARSLAN'a teşekkür ederim.

Yüksek Lisans çalışmasına başladığım ilk günden itibaren bilgi ve deneyimleriyle beni yönlendiren Orman ve Su İşleri Bakanlığı; Yönetim Hizmetleri Daire Başkanı Behlül ŞENYÜREK' e teşekkür ederim.

Ayrıca, tüm hayatım boyunca bana karşı gösterdikleri özverilerinden dolayı değerli aileme sonsuz teşekkür ederim.

Bu tez, Trakya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (TÜBAP-2013/150) tarafından desteklenmiştir.

İÇİNDEKLİER

ÖZET i
ABSTRACT ii
TEŞEKKÜR iii
İÇİNDEKLİER iv
SİMGELER VE KISALTMALAR vi
ŞEKİLLER DİZİNİ vii
TABLOLAR DİZİNİ viii
BÖLÜM 1: GİRİŞ ve AMAÇ 1
BÖLÜM 2 : KURAMSAL BİLGİ 3
2.1. Gamma Bozunumunda Enerji 3
2.2. Gama Spektroskopisi 4
2.3. Seçme Kuralları 5
2.4 Gama Radyasyonunun Maddeyle Etkileşmesi 7
2.4.1 Fotoelektrik Olay 7
2.4.2 Compton Olayı 8
2.4.3 Çift Oluşumu 10
2.5 İç Dönüşüm 13
BÖLÜM 3 : MATERYAL METOD 15
3.1 Nükleer Radyasyonların Ölçülmesi 15
3.2 Sintilasyon Detektörü 15
3.3 Enerji Kalibrasyonu 17
3.4 Yarı yükseklikte Maksimum Genişliği [Full WithHalf Maximum, (FWHM)] 18
3.5 Doğal Radyoaktiflik 20
3.6 Potasyum-40 26
3.7 Uranyum-238 26
3.8 Toryum-232 26
3.9 Aktivite Hesaplaması 26
3.10 Karşılaştırma yöntemi 28

BÖLÜM 4 : DENEYSEL ÇALIŞMA 30
4.1 Örnekleme Bölgesi 30
4.2 Örnek Hazırlama 31
4.3 Soğurulan Gama Doz Hızı (D) 31
4.4 Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri(YEDE) 32
4.5 Radyum Eşdeğer Aktivitesi (Ra_{eq}) 33
4.6 Dış Tehlike İndeksi (H_{ex}) 33
4.7 Yıllık Gonadal Doz Eşdeğeri (YGDE) 33
4.8 Yaşam Boyu Kanser Riski (AYKR) 33
BÖLÜM 5 : SONUÇLAR 34
5.1 Topraktaki Uranyum Aktivite Konsantrasyonları 35
5.2 Topraktaki Toryum Aktivite Konsantrasyonları 35
5.3 Topraktaki Potasyum Aktivite Konsantrasyonları 36
5.4 Soğurulan Gama Doz Hızı (D) 37
5.5 Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri(YEDE) 37
5.6 Radyum Eşdeğer Aktivitesi (Ra_{eq}) 37
5.7 Dış Tehlike İndeksi (H_{ex}) 37
5.8 Yıllık Gonadal Doz Eşdeğeri (YGDE) 37
5.9 Yaşam Boyu Kanser Riski (AYKR) 38
EK-A 41
EK-B 46
KAYNAKLAR 55
ÖZGEÇMİŞ 58

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılan simgeler ve kısaltmalar aşağıda açıklamaları ile verilmiştir.

Simgeler	**Açıklamalar**
Bq	Bequerel
γ	Gama Işını
c	Işık Hızı
eV	Elektron Volt
ħ	İndirgenmiş Planck Sabiti
h	Planck Sabiti

Kısaltmalar	**Açıklamalar**
SG	Spektrum Gözlenmedi
TAEK	Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
keV	Kilo Elektron Volt
MeV	Mega Elektron Volt

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Fotoelektrik olay……...…….8

Şekil 2.2.a. Compton olayı……..…….8

Şekil 2.4.2.b. Compton saçılması…….……..9

Şekil 2.3. Çift oluşumu…….....10

Şekil 2.4. Foton enerjisine karşı çift oluşum tesir-kesiti çizimleri Al, Cu, Pb için, $\bar{\phi} = Z^2 r_0^2 / 137$ dir. Kesikli çizgiler toplam Compton saçılması için aynı birimde, tesir kesitlerini göstermektedir. $Z\phi^{(el)}$ ile işaretli eğri, Al için atom elektronlarının katkısını genel olarak göstermektedir……...….11

Şekil 2.5. Fotoelektrik olay, Compton olayı ve Çift oluşumunun baskın olduğu bölgeler [1]……..…13

Şekil 2.6. Radyoaktif bir çekirdekten yayınlanabilen tipik bir elektron spektrumu. Sürekli β spektrumu üzerinde kesikli dönüşüm elektron pikleri görülmektedir……...……14

Şekil 3.1. Sintilasyon detektörü……...…16

Şekil 3.2. NaI(Tl) Detektörün Enerji Kalibrasyon Eğrisi…….....17

Şekil 3.3. 1μCi olan Co-60 ve Cs-137 nokta kaynaklarını kullanarak, NaI(Tl) Sintilasyon Detektörü ve ScintiVision(ORTEC) yazılımı ile yapmış olduğumuz Enerji Kalibrasyon Eğrimiz……..……18

Şekil 3.4. Yarı maksimum genişliği……..…....19

Şekil 3.5. Cs-137 için FWHM değeri……...19

Şekil 3.6. Toryum serisi……..….22

Şekil 3.7. Uranyum Serisi…….....23

Şekil 3.8. Neptinyum serisi……..……....24

Şekil 3.9. Aktinyum serisi……..…...25

Şekil 3.10. Gama spektrumunda bir pik alanı……...…….....27

Şekil 3.11. Gama spektrumunda bir pik alanı……...27

Şekil 4.1. Örnek toplanan bölgeler…….…..31

Şekil 5.1. "Yaşam boyu kanser riski" nin bölgelere göre dağılımı (haritadaki değerler 10^{-4} ile çarpılacaktır)…….. ……38

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1.1. Edirne ve çevre illerinde ölçülen radyoaktivite değerleri (TAEK-2009)…….2

Tablo 2.1. Radyoaktif geçişler için Seçme Kuralları……7

Tablo 3.1. Doğal Radyoaktif Seriler……..…..20

Tablo 3.2. Bazı Doğal Radyoaktif İzotoplar……....21

Tablo 5.1. Toplanan örnekler Edirne'nin dokuz ilçesine göre verildiği gibi kodlanmıştır……...34

Tablo 5.2.Bölgelere ait Uranyum, Toryum ve Potasyum Aktivasyon Konsantrasyonu…..36

Tablo 5.3. Çalışılan Bölgelere ait Soğurulan gama doz hızı, Yıllık etkin doz eşdeğeri, Ra eşdeğer aktivitesi, Dış tehlike indeksi, Yıllık Gonadal doz eşdeğeri, Yaşam boyu kanse riski değerleri…….39

Tablo 5.4. Uranyum, Toryum, Potasyum aktivasyon konsantrasyonları ve diğer radyoaktivite parametreleri…….……..40

BÖLÜM 1

GİRİŞ ve AMAÇ

Doğal radyoaktivitenin kaynağını atmosferden gelen kozmik ışınlar ve yer kabuğunda mevcut olan radyoaktif çekirdekler oluşturmaktadır. Bunlara ilaveten nükleer silah testleri, radyoaktif atıklar ve nükleer reaktör kazaları doğal radyoaktiviteye katkıda bulunmaktadır. Sonuç olarak canlıların doğal radyoaktiviteden etkilenmesi kaçınılmaz olmaktadır.

Radyasyonun insanlar tarafından doğrudan algılanmayışı ve radyasyonun insan sağlığı üzerindeki etkileri ile ilgili bilgilerin kapsamlı ve karmaşık olması çevresel radyoaktivitenin sürekli izlenmesini gerektiren önemli nedenlerden biridir.

İnsan sağlığını önemli ölçüde tehdit edebilen bu etkinin tespit edilmesi için, doğal radyasyon haritasının (doz hızı ve radyonüklid bazında) çıkarılması ve çevresel örneklerde (su, toprak, hava, sediment, bitki vb.) ve gıda örneklerinde (süt, sebze, meyve, ekmek, tahıl ürünleri, vb.), doğal (U^{238}, Th^{232}, Ra^{226}, Pb^{210}, Po^{210}, K^{40}, Be^{7} ,vb.) ve yapay (Am^{241}, $Pu^{238\text{-}239\text{-}240}$, Cs^{137}, Sr^{90}, H^{3}, vb.) radyonüklidlerin analizlerinin yapılması gerekir. Bu nedenle, biz bu alandaki çalışmalara, Edirne İli ve çevresindeki topraklardaki doğal radyoaktivite düzeylerini, belirleyerek başlamayı planladık.

Herhangi bir nükleer/radyolojik kaza veya tehlike durumu sonrasında ülkemizde radyasyon seviyelerinde kayda değer artışların ve oluşabilecek radyoaktif bulaşmanın boyutlarının tespit edilmesini, insan sağlığı ve çevre üzerindeki etkilerinin doğru şekilde değerlendirilmesini sağlamak üzere çevre radyoaktivite düzeylerinin izlenmesi amacıyla, bu çalışmadaki gama spektrometrik analizlerinin yapılması gereklidir.

Türkiye'nin doğal radyasyon haritasının oluşturulması için, bulunduğumuz bölgenin çevresel radyoaktivitesinin izlenmesine ilişkin çalışmaların rutin hale getirilerek sürdürülmesinin sağlaması açısından, bir başlangıç olacaktır.

Sınır komşumuz Bulgaristan'da doğan Meriç Nehri, Bulgaristan'da geniş bir havzaya sahip bulunmaktadır. Uzunluğu 490 km olan nehrin yaklaşık 279 km si Bulgaristan sınırlarındadır. Yine Bulgaristan 4'ü kapalı, 2'si çalışır halde 6 adet nükleer santrale sahiptir. Bu santrallerin yapım yılları 1974-1993 dür (www.taek.gov.tr). Eski bir teknolojiye sahip olan santrallerin ve diğerlerinin çevreyi ve özellikle Meriç Nehri'ni ne kadar kirlettiği ve ilimizde 211 km ye yakın bir uzunlukta akan nehrin çevreyi radyoaktif kirlilik açısından ne kadar etkilediğinin tespit edilmesi gerekmektedir.

Yine çalışma yapmayı planladığımız bölgede, Kırklareli İli sınırları içinde altın yatakları bulunduğundan (www.enerji.gov.tr), öngörülen analizlerin yapılması gerekmektedir. Ülkemizin çevre kirliliği açısından en yoğun bölgelerinden biri olan Ergene Havzası'nın, Meriç Havzası'na etkileri de araştırılmış olunacaktır.

Yaptığımız araştırmalarda, Türk Atom Enerjisi Kurumu (TAEK)'in ilgilendiğimiz bölgelerin bir kısmında 2009 yılında ölçümler yaptığını tespit ettik (Tablo 1.1.) Aradan geçen süreyi göz önüne alarak, bölgemizde yeni doğal gama radyoaktivitesinin ölçülmesine gerek duyduk.

Tablo 1.1. Edirne ve çevre illerinde ölçülen radyoaktivite değerleri (TAEK-2009)

	Ra-226 (Bq/kg)	Th-232 (Bq/kg)	K-40 (Bq/kg)
EDIRNE	28,50	31,20	637,55
ENEZ	37,60	37,35	595,65
HAVSA	19,90	24,60	679,90
İPSALA	16,70	22,10	683,70
KEŞAN	26,00	23,65	332,70
MERİÇ	53,80	36,50	537,00
SÜLEOĞLU	17,30	30,50	627,30
UZUNKÖPRÜ	7,10	18,70	725,75
LALAPAŞA	-	37	925

BÖLÜM 2

KURAMSAL BİLGİ

Nükleer reaksiyonların çoğunda, alfa ve beta bozunmaları ürün çekirdeği uyarılmış durumda bırakır. Bu uyarılmış durumlar kısa bir süre içinde bir veya daha fazla gama ışını yayınlayarak taban duruma bozunurlar. Gama ışınları, X ışınları veya görünür ışık gibi elektromanyetik radyasyon fotonlarıdır ve enerjileri 0,1-10 MeV arasındadır.

Nükleer spektroskopik analizin temeli, uyarılmış düzeyler hakkındaki bilgilerimize dayanır. Bu metodun güncelliğine katkıda bulunan faktörler, γ ışınlarının kolay gözlenmesi ve enerjilerinin hassasiyetle ölçülebilmesi yanı sıra uyarılmış düzeylerin spin ve paritelerinin belirlenmesine izin vermesidir.

2.1. Gamma Bozunumunda Enerji

Durgun kütlesi M olan bir çekirdeğin uyarılmış bir E_i ilk durumundan bir E_s son durumuna bozunumunda, geri tepen çekirdeğin çizgisel momentumu p_G ve kinetik enerjisi (göreceli olmayan) T_G olmak üzere, toplam enerji ve momentum korunumu

$$E_i = E_s + E_\gamma + T_G \tag{2.1}$$

$$0 = p_G + p_\gamma \tag{2.2}$$

şeklinde yazılır. E_γ , p_γ gama ışınına ait enerji ve momentumdur. $\Delta E = E_i - E_s$ tanımı ve göreceli $E_\gamma = cp_\gamma$ bağıntısı kullanılarak,

$$\Delta E = E_\gamma + \frac{E_\gamma^2}{2Mc^2} \tag{2.3}$$

bulunur. Bunun çözümünde $\Delta E \ll Mc^2$ yaklaşımı ile

$$E_\gamma \cong \Delta E - \frac{(\Delta E)^2}{2Mc^2} \tag{2.4}$$

elde edilir. Böylece gerçek gama ışını enerjisinin, mevcut maksimum bozunma enerjisi ΔE 'den az da olsa küçük olduğunu görmek mümkün olmaktadır. Geri tepme düzeltmesi genellikle ihmal edilir ve $E_\gamma = \Delta E$ alınır [1].

2.2. Gama Spektroskopisi

Radyoaktif kaynaklardan yayınlanan gama ışınlarının incelenmesiyle, uyarılmış nükleer durumların yapısı hakkında bilgi edinebiliriz. Deneysel olarak gama ışınlarının ölçümü mümkündür ve yüksek bir çözme gücüyle, aralarında sadece 2 keV'lik bir fark bulunan geçişler iyi bir gama detektörü ile net bir şekilde birbirinden ayrılabilir, en iyi durumlarda belirsizlik eV mertebesinde, hatta bunun onda birinden daha azdır. Uyarılmış durumların enerjilerinin ve özelliklerinin bilinmesi, herhangi bir nükleer modele göre yapılan hesapların değerlendirilmesi için gereklidir. Gama ışını deneylerinde aşağıdaki yol izlenir [1]:

1. Gama ışınları spektrumu bize geçişlerin enerjilerini ve şiddetlerini verir.
2. Uyarılmış durumlar arasındaki geçişler hakkında bilgi verir.
3. İç dönüşüm katsayılarının ölçümü radyasyonun karakteri, ilk ve son durumlarının bağıl spinleri ve pariteleri hakkında ipuçları verdiği gibi buna ek olarak açısal dağılım ve korelasyon hakkında da ipuçları verebilir.
4. Mutlak geçiş olasılıkları düzeyleri, yarı-ömürleri belirlenerek bulunabilir.

Geçiş enerjileri üzerine yapılan çalışmalarda, klasik teoriye dayanarak yapılan hesaplamalar, belli bir yük dağılımına sahip olan çekirdeğin, standart multipolleri aracılığıyla yapılmıştır [2]. Klasik teoriye göre, multipollerin değişimi, çekirdeklerin elektromanyetik dalgalar, yani gama ışınlarının yayınlanmasına neden olur. Elektrik veya manyetik 2^Lmultipole tarafından yayınlanan fotonun Iħ 'ye eşit bir açısal momentum alıp

götürdüğü W. Heitler tarafından gösterilmiştir [3]. Bu teori geçiş hızını, spin (I), parite (π) ve açısal momentum (L) cinsinden ifade etmektedir.

Detaylı klasik hesaplamalar, E enerjili ve multipolaritesi L olan bir gama ışınının geçiş olasılığı λ(L) için şu sonucu vermektedir [4, 5, 6]:

$$\lambda(\mathrm{L}) = \frac{8\pi(\mathrm{L}+1)}{\mathrm{L}\left[(2\mathrm{L}+1)!!\right]^2}\frac{1}{\hbar}\left(\frac{\mathrm{E}}{\hbar \mathrm{c}}\right)^{2\mathrm{L}+1} \mathrm{B}_{\mathrm{eg}}(\mathrm{L}) \;\; s^{-1} \tag{2.5}$$

$\mathrm{B}_{\mathrm{eg}}(\mathrm{L})$ indirgenmiş geçiş olasılığı olarak bilinir ve indisler uyarılmış halden temel hale (ya da düşük uyarılmış bir hale) geçişi göstermektedir. $\mathrm{B}_{\mathrm{eg}}(\mathrm{L})$'nin teorik olarak bulunması, nükleer büyüklüklerin bilinmesini gerektirir ve bu büyüklükler çekirdeğin özel modelleri için hesaplanabilir.

Bu hesaplamalar için başarılı iki model; tek parçacık modeli ve kollektif modeldir. Tek parçacık modeline göre; çekirdeğin küresel olduğu, gama yayınlanmasının bir tek protonun bir halden diğerine geçişinin bir sonucu olduğu ve son halin sıfır yörünge açısal momentuma sahip olduğu kabullerini yaparak, Weisskopf aşağıdaki yaklaşımları türetmiştir [6].

$$\lambda(E\,\mathrm{L}) \cong \frac{4.4x10^{21}(\mathrm{L}+1)}{\mathrm{L}\left[(2\mathrm{L}+1)!!\right]^2}\left(\frac{3}{\mathrm{L}+3}\right)^2\left(\frac{\mathrm{E}_\gamma}{197}\right)^{2\mathrm{L}+1}\left(\mathrm{R}^{2\mathrm{L}}\right) \;\; s^{-1} \tag{2.6}$$

$$\lambda(M\,\mathrm{L}) \cong \frac{1.9x10^{21}(\mathrm{L}+1)}{\mathrm{L}\left[(2\mathrm{L}+1)!!\right]^2}\left(\frac{3}{\mathrm{L}+3}\right)^2\left(\frac{\mathrm{E}_\gamma}{197}\right)^{2\mathrm{L}+1}\left(\mathrm{R}^{2\mathrm{L}-2}\right) \;\; s^{-1} \tag{2.7}$$

2.3. Seçme Kuralları

Gama radyasyonu çekirdek içindeki yük ve akım dağılımının değişimi ile açığa çıkan tamamen bir elektromanyetik etkidir. Yükün değişimi elektrik momente, akımın değişimi ise manyetik momente neden olur, bu nedenle gama geçişleri, elektrik (E) ve manyetik (M) geçişler olarak sınıflandırılır.

Seçme kuralları, verilen bir sisteme farklı korunum kanunları uygulanarak elde edilir. Bunların en önemlisi açısal momentum ve parite korunumu kanunlarıdır. Açısal

momentum korunumu, sistemin ilk açısal momentumunun, sistemin son açısal momentumuna eşit olmasını gerektirir. Yayınlanan bir foton Iħ büyüklüğünde bir açısal momentum değişikliğine (azalmasına) neden olduğunda, sistemin ilk ve son açısal momentumlarına karşılık; $\vec{I}_i$ ve $\vec{I}_f$, ilk ve son durum spinleri için

$$\vec{I}_i - \vec{I}_f = \vec{L}, \tag{2.8}$$

$$\left(I_i + I_f\right) \geq L \geq \left|I_i - I_f\right| \tag{2.9}$$

yazılabilir. Geçişten önce ve sonraki nükleonların sayısı aynıdır ve dolayısıyla tam sayılı spine, ya da buçuklu spine sahip haller arasında gama geçişleri vuku bulur.

Elektromanyetik etkileşmelerde parite korunumu da gereklidir; sistemin ilk paritesi, son paritesine eşit olmalıdır. Çift pariteli haller; + ile, tek pariteli haller; – ile gösterilir. Gama yayınlanmasında sistemin ilk hal dalga fonksiyonu ψ_i'nin paritesi (π_i), son hal fonksiyonu ψ_f'nin paritesi (π_f) ve multipole radyasyon alanının paritesi (π_L) işleme dahil olur. Böylece π_L paritesi çift (+) ise π_i ve π_f paritelerinin her ikisinin de tek veya çift olması gerekir, öyle ki;

$$\pi_i(+) = \pi_L(+)\pi_f(+) \tag{2.10}$$

$$\pi_i(-) = \pi_L(+)\pi_f(-) \tag{2.11}$$

olsun. Eğer π_L tek (-) ise, o zaman π_i ve π_f zıt pariteye sahip olmalıdır, yani

$$\pi_i(+) = \pi_L(-)\pi_f(-) \tag{2.12}$$

$$\pi_i(-) = \pi_L(-)\pi_f(+) \tag{2.13}$$

olmalıdır.

Kuantum mekaniğinden gösterilebilir ki, ψ_i, ψ_f dalga fonksiyonlarının gerektirdiği parite değişikliği, sırf elektrik multipole geçişler için $(-1)^L$ ile, sırf manyetik multipole geçişler için $-(-1)^L$ ile verilir. -1 parite değişikliği olduğunu, +1 ise değişiklik olmadığını gösterir. Örnek olarak, (Tablo 2.1)'den E1 geçişi için paritede değişim var, yani π_i ve π_f zıt pariteye sahip, M1 geçişi ise bunlar aynı pariteye sahiptir. (Tablo 2.1) hem açısal hem de parite değişimi için seçme kurallarını özetlemektedir [2].

Tablo 2.1. Radyoaktif geçişler için Seçme Kuralları

Tip	Notasyon	Açısal momentum L (veya spin değişimi ΔI)	Parite değişimi
Elektrik dipole	E1	1 ħ	Var -1
Manyetik dipole	M1	1ħ	Yok +1
Elektrik quadrupole	E2	2ħ	Yok +1
Manyetik quadrupole	M2	2ħ	Var -1
Elektrik octupole	E3	3ħ	Var -1
Manyetik octupole	M3	3ħ	Yok +1
Elektrik 2^L-pole	EL	Lħ	$(-1)^L$
Manyetik 2^L-pole	ML	Lħ	$-(-1)^L$

Yine kuantum mekaniğinden, düşük polaritelerin bozunma olasılığının, yüksek olanlara oran ile daha yüksek olduğunu göstermek mümkündür[1]. Bu nedenle M1 ve E2 geçişlerinin olasılığı yüksektir.

2.4 Gama Radyasyonunun Maddeyle Etkileşmesi

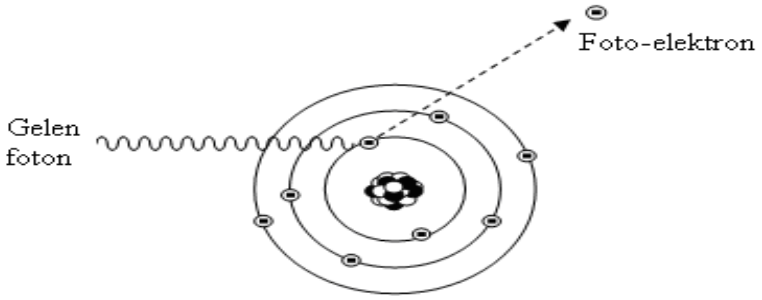
Gama ışınları maddeyle etkileşerek, farklı yollarla enerjilerini kaybederler. Bu etkileşmelerin en önemlileri; Fotoelektrik olay, Compton olayı veya Compton saçılması ve çift oluşumudur. Bu üç olayın foton enerjisinin farklı aralıklarındaki baskınlıkları şöyledir: ~ 0,01 MeV'den ~ 0,5 MeV'e kadar fotoelektrik olay, ~ 0,1 MeV'den ~10 MeV'e kadar Compton saçılması baskındır. Çift oluşumu ise 1,02 MeV'den başlayarak artan gama enerjisiyle artar.

2.4.1 Fotoelektrik Olay

Bu olay, düşük enerjiye sahip fotonlarda daha yaygındır. Gelen $h\nu$ enerjili foton, atomun elektronlarından biri tarafından soğurulur, foton sonuçta yok olur (Şekil 2.1.) [8].

Elektronun geri tepme enerjisi yok sayılır ve bağlanma enerjisi I_B ise, yayınlanan elektronun kinetik enerjisi K_e şöyle verilir

$$K_e = h\nu - I_B. \tag{2.14}$$



Şekil 2.1. Fotoelektrik olay

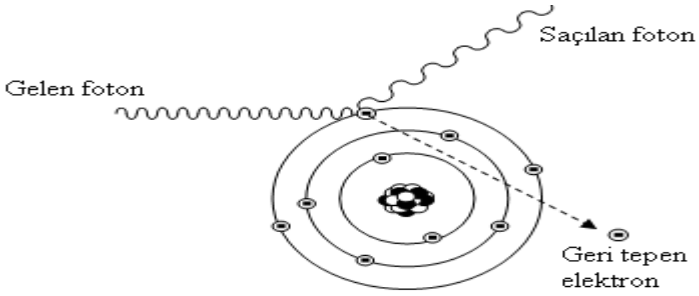
Fotoelektrik olayın tesir kesiti; α^{τ} (cm^2/atom) , Z soğurucu atom numarası ve $h\nu$ foton enerjisine olmak üzere yaklaşık olarak [9]

$$\alpha^{\tau} = (\text{sabit})\frac{Z^4}{(h\nu)^3} \tag{2.15}$$

şeklinde ifade edilir.

2.4.2 Compton Olayı

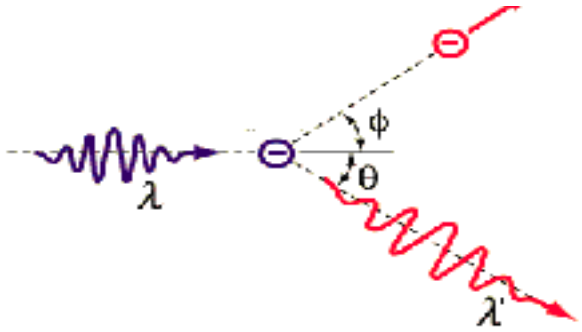
Bu olayda foton, atomun dış yörüngelerindeki, hemen hemen serbest olan bir elektronuyla etkileşir. Enerjisinin bir kısmını kaybeden foton ve kaybedilen enerjiyi taşıyan elektron saçılarak etkileşme sonuçlanır (Şekil 2.2.a.)



Şekil 2.2.a. Compton olayı

Bir atomun dış yörüngelerindeki elektronları gevşek bağlı olduğundan, bağlanma enerjilerini, fotonun $h\nu$ enerjisi yanında ihmal ederek, fotonların atomun elektronlarından

saçılmalarını, Compton saçılmasıyla analiz edebiliriz. Enerjisi $h\nu$ olan bir foton, m_0 durgun kütleli elektrona çarpıp, foton $h\nu'$ ($<h\nu$) enerjisi ve θ açısıyla ve K_e kinetik enerjili elektron ϕ açısıyla saçılır (Şekil 2.4.2.b.)



Şekil 2.4.2.b. Compton saçılması

Relativistik denklemler kullanılarak, momentum ve enerji korunumundan;

$$h\nu' = \frac{h\nu}{1+\alpha(1-\cos\theta)} \quad , \tag{2.16}$$

$$K_e = h\nu - h\nu' = h\nu\left(1-\frac{1}{1+\alpha(1-\cos\theta)}\right) \tag{2.17}$$

ve

$$\cos\theta = 1-\frac{2}{(1+\alpha)^2\tan^2\phi+1} \tag{2.18}$$

bağıntıları bulunabilir. Burada $\alpha = h/m_0c^2$, gelen foton enerjisinin elektronun durgun kütlesi cinsinden ifade edilmesini sağlayan terimdir.

Compton saçılma tesir kesitleri (saçılan fotonların sayısı için toplam Compton tesir kesiti; ${}_e\sigma$, saçılan fotonların enerjisi için Compton tesir kesiti; ${}_e\sigma_s$, elektronlar tarafından soğurulan enerji için Compton tesir kesiti; ${}_e\sigma_a$, vb.) ve Compton olayına göre soğurma katsayılarının hesaplanması için, Dirac bağıntısı yardımıyla kuantum mekaniğine baş vurmak gerekir. Sonuç olarak tesir kesitleri ile soğurma katsayıları; $\mu_{\sigma e}$, $\mu_{\sigma es}$ ve $\mu_{\sigma ea}$ arasında

$$\sigma = \frac{\rho N_A Z}{A}\,{}_e\sigma, \quad \sigma_s = \frac{\rho N_A Z}{A}\,{}_e\sigma_s, \quad \sigma_a = \frac{\rho N_A Z}{A}\,{}_e\sigma_a \tag{2.19}$$

şeklinde bağıntılar bulunur ($\mu = \frac{\rho N_A Z}{A}{}_e\mu$) [1].

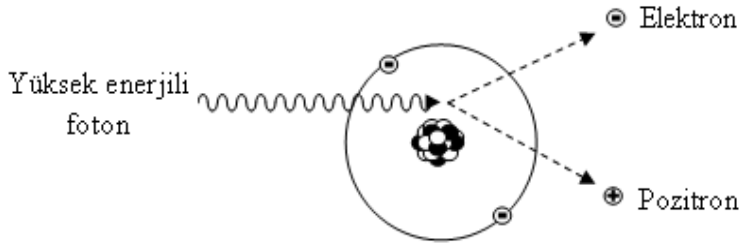
Toplam saçılma tesir kesiti; σ_s, toplam soğurma tesir kesiti; σ_a olmak üzere

$$\sigma = \sigma_s + \sigma_a \tag{2.20}$$

yazılır.

2.4.3 Çift Oluşumu

Fotonların enerjilerini kaybetmelerinin üçüncü yolu elektron-pozitron çifti oluşumudur. Bu olay için fotonun eşik enerjisi $2m_0c^2$; iki durgun elektron kütle enerjisi olmalıdır. Foton 1,02 MeV'den büyük bir enerjiye olduğunda, büyük Z'li bir madde ile etkileştiğinde, foton yok olmakta ve onun yerinde bir elektron-pozitron çifti oluşmaktadır (Şekil 2.3.)



Şekil 2.3. Çift oluşumu

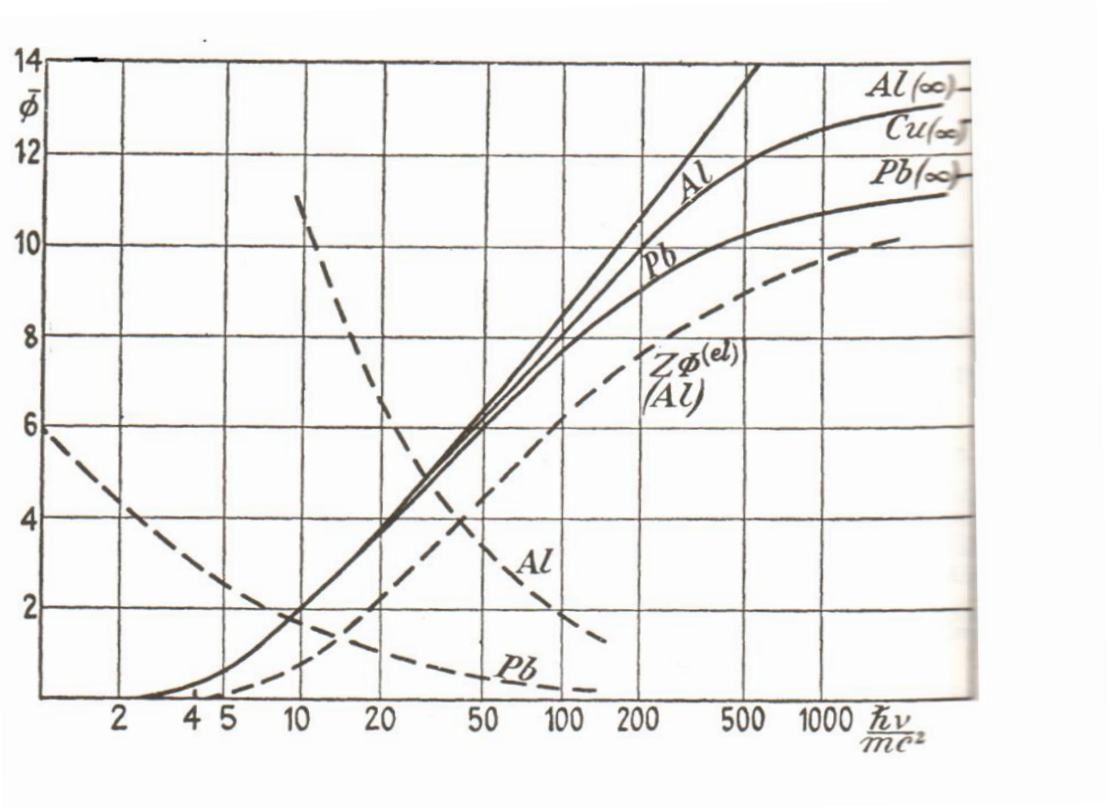
Çift oluşumu çekirdeğin alanında vuku bulur ve enerjinin korunumundan

$$h\nu = 2m_0c^2 + E_+ + E_- + E_{nuc} \tag{2.21}$$

denklemi yazılır. Burada $h\nu$; gelen fotonun enerjisi, $2m_0c^2$; elektron-pozitron çiftinin durgun kütle enerjisi, E_+, E_-, E_{nuc}; sırasıyla pozitronun, elektronun ve geri tepen çekirdeğin kinetik enerjisidir. Çekirdeğin kütlesi çok büyük olduğundan, kinetik enerjisi düşüktür ihmal edilebilir. Böylece(2.21) denklemi

$$h\nu = 2m_0c^2 + E_+ + E_- \tag{2.22}$$

şeklini alır. Hafif çekirdeklerin alanında da çift oluşumu mümkündür; ancak daha yüksek eşik enerjisine ihtiyaç vardır.



Şekil 2.4. Foton enerjisine karşı çift oluşum tesir-kesiti çizimleri Al, Cu, Pb için, $\bar{\phi} = Z^2 r_0^2 / 137$ dir. Kesikli çizgiler toplam Compton saçılması için aynı birimde, tesir kesitlerini göstermektedir. $Z\phi^{(el)}$ ile işaretli eğri, Al için atom elektronlarının katkısını genel olarak göstermektedir.

Çift oluşum halinde tesir kesitleri için teorik hesaplamalar çok daha zordur. Bu hesaplamalar W. Heitler[10] tarafından yapılmış olup, fotonun enerjisine karşı toplam tesir kesitinin çizimi (Şekil 2.4.)'de gösterildiği gibidir.

Çift oluşumu sonucunda oluşan pozitron ve elektronlara ne olduğu sorulabilir. Serbest uzayda elektronlar bulunduğu halde, pozitronlara rastlanamaz. Bir pozitron meydana geldiğinde, kinetik enerjiye sahiptir ve çarpışmalar sonunda ortamın elektronlarından biri ile bir cins atom oluşturabilir. Buna pozitronyum adı verilir, bu protonun yerine pozitronun geçtiği bir hidrojen atomuna benzetilebilir. Oluşan pozitron-elektron çiftinin spinleri anti paralel ise, atom iki foton yayınlayarak kısa zamanda ($\sim 10^{-10}$s) yok olur.

Enerji ve momentum korunumundan;

$$2m_0c^2 = h\nu_1 + h\nu_2 \tag{2.23}$$

$$\frac{h\nu_1}{c} = \frac{h\nu_2}{c} \tag{2.24}$$

$$h\nu_1 = h\nu_2 = m_0c^2 = 0{,}511\ \text{MeV} \tag{2.25}$$

görüldüğü gibi 0,511 MeV'lik fotonlar oluşur. Çiftin spinleri paralel ise, açısal momentum korunumundan dolayı, üç veya daha fazla foton yayınlanır, bu ender görülen bir durumdur. Bir fotonun yok olması için birim uzunluk başına, toplam olasılık; μ, toplam lineer soğurma katsayısı olarak adlandırılır. Fotoelektrik soğurma (τ), Compton saçılması (σ) ve Çift oluşumu (κ) olasılıklarının toplamıdır:

$$\mu = \tau + \sigma + \kappa \tag{2.26}$$

Denklem(2.26)'daki tüm büyüklükler $(\text{uzunluk})^{-1}$ boyutundadır. Hedef materyalin herhangi bir *dx* kalınlığını geçen radyasyon şiddetindeki azalma

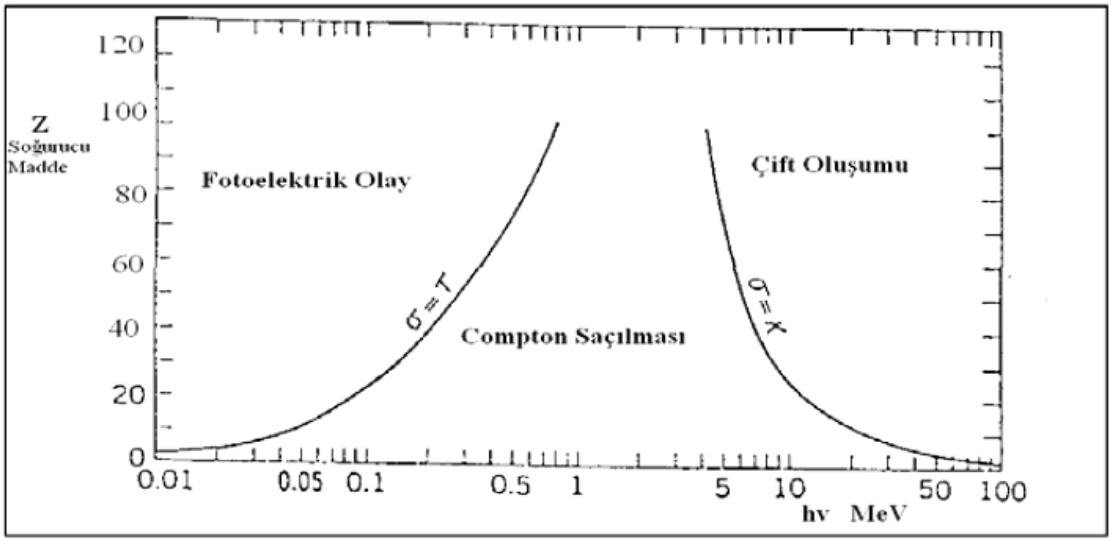
$$\frac{dI}{I} = \mu dx \tag{2.27}$$

dir ve böylece t kalınlığını geçen radyasyon

$$I = I_0e^{-\mu t} \tag{2.28}$$

olarak bulunur.

Fotoelektrik olay, Compton olayı ve Çift oluşumunun baskın olduğu bölgeler (Şekil 2.5.)' de görülmektedir.



Şekil 2.5. Fotoelektrik olay, Compton olayı ve Çift oluşumunun baskın olduğu bölgeler [1].

2.5 İç Dönüşüm

Bu olayda çekirdeğin elektromanyetik multipol alanları foton yayınlamazlar. Alanlar atom elektronları ile etkileşerek, elektronlardan birinin atom dışına fırlatılmasına neden olurlar. Bu olayın beta bozunumundan farkı, yeni bir elektronun yaratılmaması, bir atomik yörüngede var olan elektronun fırlatılmış olmasıdır. Bu olay, önce bir fotonun çekirdekten yayınlandığı ve sonra herhangi bir yörünge elektronunun koparılması olan fotoelektrik olayına benzer bir olay olmadığına da dikkat çekmek gerekir. İç dönüşüm olayında yayınlanan gama enerjisi E_γ, elektronun kinetik enerjisi T_e olarak ortaya çıkar ve elektronun yörüngeye bağlanma enerjisi B kadar azdır:

$$T_e = E_\gamma - B \tag{2.29}$$

İç dönüşüm ve gama yayınlanması baş başa giden olaylar olduğundan verilen bir hal için toplam geçiş olasılığı; λ, gama yayınlanması olasılığı λ_γ ve iç dönüşüm olayı λ_e olasılıkları toplamı olmalıdır.

$$\lambda = \lambda_\gamma + \lambda_e \tag{2.30}$$

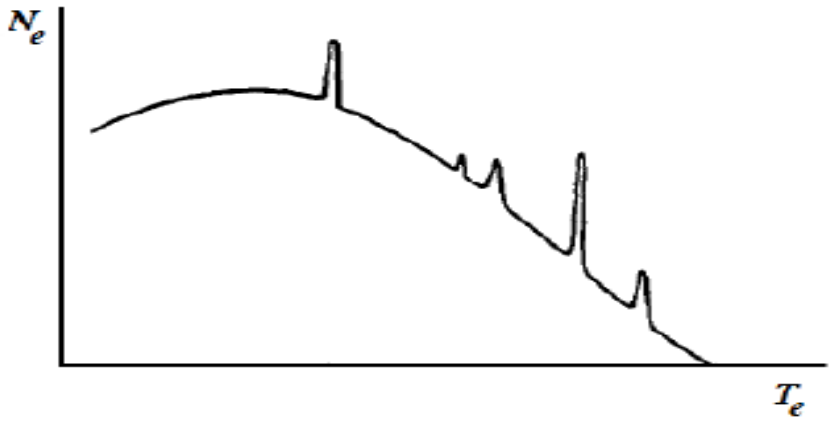
λ_K , λ_L , λ_M sırasıyla K, L, M dönüşüm elektronları yayınlanma olasılığı olmak üzere;

$$\lambda_e = \lambda_K + \lambda_L + \lambda_M + ... \tag{2.31}$$

dir. Denklem (2.31) dikkate alınarak, radyoaktif bir bozunmada N_γ sayıda gama ışını ve aynı zaman içinde N_e sayıda dönüşüm elektronu yayınlıyorsa, bunların oranına dönüşüm katsayısı; α denir ve burada α, 0' dan ∞' a kadar değer alabilir.

$$\alpha = \frac{N_e}{N_\gamma} = \frac{\lambda_e}{\lambda_\gamma} \tag{2.32}$$

İç dönüşüm olayından sonra atomun yörüngelerinden birinde bir boşluk oluşur, bu boşluk daha üst yörüngelerdeki elektronlarla doldurulur. Böylece iç dönüşüm elektronları ile birlikte X ışını yayınlanması da gözlenir.



Şekil 2.6. Radyoaktif bir çekirdekten yayınlanabilen tipik bir elektron spektrumu. Sürekli β spektrumu üzerinde kesikli dönüşüm elektron pikleri görülmektedir.

BÖLÜM 3

MATERYAL METOD

3.1 Nükleer Radyasyonların Ölçülmesi

Nükleer radyasyonların tespiti için çeşitli detektörler kullanılmaktadır; gazlı sayaçlar, sintilasyon detektörleri, yarıiletken detektörler, vb. Kullanılan detektörlerin çalışma prensipleri benzer özelliklere sahiptir: radyasyon detektöre girer, materyalin atomlarıyla etkileşir, enerjisinin bir kısmını veya tamamını kaybeder ve elektronların bulundukları atom yörüngelerinden daha düşük enerjilere salınmasına neden olur. Bu enerjiler elektronik devreler yardımıyla akım pulsu veya voltaj şekline dönüştürülür.

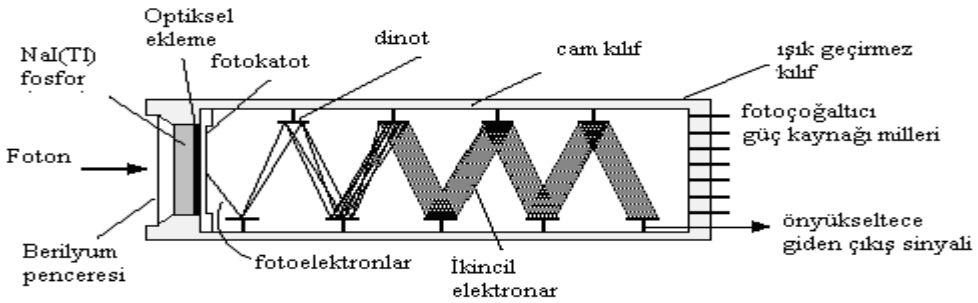
Detektör seçimi, nükleer radyasyonun (alfa, beta, gama vb.) materyal içindeki maksimum menziline, salınan elektronların hızla puls haline geçebileceği materyallerin özellikleri dikkate alınarak yapılır. Biz bu çalışmada doğal gama radyoaktivitesinin ölçümü için, sintilatör olarak talyum aktifli sodyum iyodür kullanılan, sintilasyon detektörü kullandık.

3.2 Sintilasyon Detektörü

Bileşiminde sodyum iyodür, sezyum iyodür, antrasin naftalin ve fenantirinin bulunan maddelere bir tek yüklü parçacık, X-ışını veya gama ışını çarptığı zaman bir ışık pırıltısı meydana gelir. Bu maddelere sintilatör adı verilir. Oluşan ışık pırıltıları elektrik pulslarına dönüştürülüp, yükseltilir ve sayılır. Bu dedeksiyon ve sayma işleminin gerçekleştirildiği düzenekler sintilasyon detektörleridir.

Sintilasyon detektörleri, 50 keV'den birkaç MeV'e kadar olan gama ışınlarının enerjilerinin ölçülmesini sağlayan, metotlardan biridir. Rezolüsyon çok yüksek olmasa bile çok yüksek bir verim vardır. Meydana gelen pulslar, kristalde depolanan enerji ile doğru orantılıdır. Compton dağılımı ve fotoelektrik pikler görülebilir ve kolayca tanımlanabilir.
Yoğunluğu yüksek olan katı detektörler, uygun boyutlarda, uygun soğurma olasılıkları verirler. Ancak iyi çalışabilir bir katı dedektörün birbiriyle çelişen iki kriteri sağlaması gerekir. Bunlardan birincisi; yeteri sayıda elektronik pulsların oluşması için elektron ve iyonların oluşabileceği, yüksek elektrik alana dayanabilecek detektör materyaline ihtiyaç vardır. Radyasyon olmadığında, taban sayım gürültüleri mümkün olduğu kadara azalacak yani az veya hiç akım geçmeyecektir. İkinci kriter: elektronların gelen radyasyon ile kolayca koparılabilmeleri ve elektronlar ile ilk iyonlaşan atomların materyal içinde kolayca yol alabilmeleridir. Birinci şart yalıtkan, ikinci şart iletken bir materyal seçimini gerektirdiğinden, bu iki şartın bir yarı iletken ile sağlanacağı açıktır. Böyle bir malzeme 1960'ların sonuna kadar elde edilemedi. Nükleer spektroskopideki ihtiyaçlara cevap verebilecek sintilasyon detektörleri 1980'lerde geliştirildi. Sintilasyon detektöründeki temel işlemler şöyle sıralanabilir:

1. Detektöre gelen radyasyon, materyal ile çok sayıda etkileşmesi sonucu atomları, uyarılmış düzeylere çıkarır.
2. Uyarılmış durumlar hızla ışık yayınlarlar.
3. Işık foto duyarlı yüzeye (fotokatot) çarparak foton başına en çok bir fotoelektron salınmasına neden olur.
4. Bu ikincil elektronlar foto çoğaltıcı tüpte çoğaltılır, hızlandırılır ve çıkış pulsları şekline dönüştürülür (Şekil 3.1.)[11].



Şekil 3.1. Sintilasyon detektörü

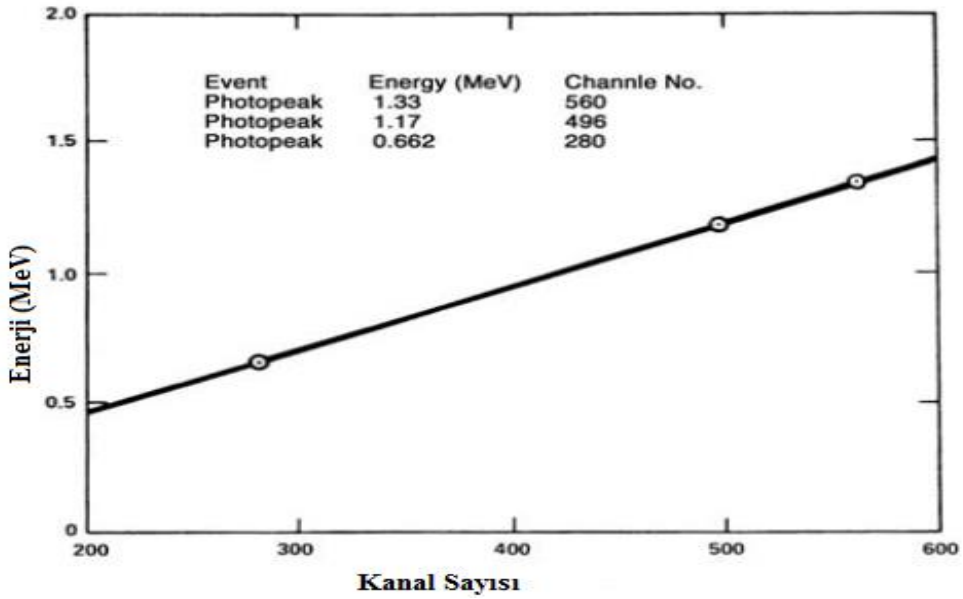
NaI (TI) kristali nem kaptığından, foto-çoğaltıcı optik kontak yüzü hariçinde bütün çevresi Al levha ile kaplanırken, yansıtma özelliğinden dolayı iç yüzü magnezyum oksitle kaplıdır.

3.3 Enerji Kalibrasyonu

Gama ışını spektrometresi gama ışını yayan radyoizotopların çeşitli matrislerde tanımlanmasını ve aktivitelerinin nicel olarak tespit edilmesini sağlayan analitik bir yöntemdir. Böylece ağır örnek hazırlama işlemleri olmadan, tek bir ölçümde örneğin içindeki farklı radyoaktif çekirdekleri algılamak mümkün olmaktadır.

Bu amaçla, detektöre gelen fotonların enerjisini tam olarak belirleyebilmek için sayım sisteminin enerji kalibrasyonunun yapılması gerekmektedir. Enerji kalibrasyonu, kanallarla fotonun enerjisi arasında bir ilişkinin belirlenmesidir; yani belli bir kazanç değeri için spektrumda gözlenen piklerin bulundukları kanal ile ait oldukları enerji arasındaki bir bağıntının bulunmasını demektir.

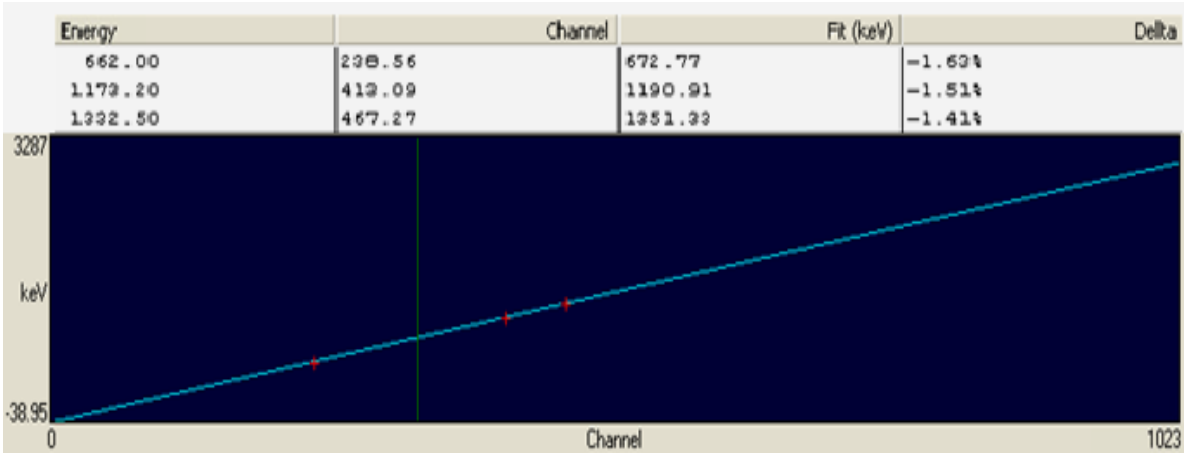
Bu amaç için, çok kanallı analizörde yükselteçten gelen sinyaller boylarına ve sayılarına göre ayrıştırırlar (Şekil 3.2.) [12]. Sonuçlar bir bilgisayar yazılımı yardımıyla her bir kanala karşılık gelen sayım olarak elde edilir.



Şekil 3.2. NaI(Tl) Detektörün Enerji Kalibrasyon Eğrisi

Böylece, kanalların hangi enerjiye karşılık geldiğini bulmak için, belli bir kazançtaki, radyoaktif kaynaklardan yayılan gama ışınlarına ait enerji piklerine karşılık gelen kanal numaraları tayin edilmiş olur. Kalibrasyon işleminden sonra kanal başına düşen enerji hesaplanır ve elde edilen kalibrasyon ifadesi daha sonra bilinmeyen örneğin piklerindeki nitel tanımlamalarda kullanılır.

Sayım sisteminin enerji kalibrasyonu, değişik enerjilere sahip en az iki gama kalibrasyonu kaynakları kullanılarak yapılır. Kalibrasyon işleminde kullanılan bu kaynakların spektrumda oluşturduğu piklerin tepe noktalarına, o enerjilerdeki piklerin hangi kanallarda oluştuğu tespit edilir. Bu şekilde tüm kanallar kalibre edilir. Bu piklerdeki enerji değerleri bir fonksiyona fit edilerek kalibrasyon eğrisinin denklemi elde edilir. Enerji kalibrasyonu eğrisi genellikle, Enerji=A+B*Kanal, şeklinde doğrusal bir fonksiyon uyarlamak yeterlidir.



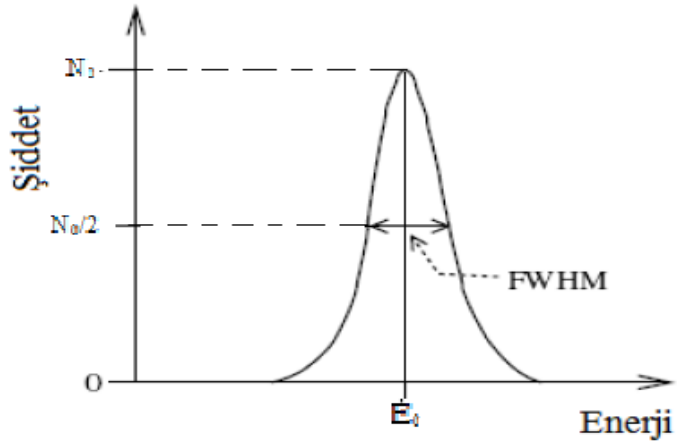
Şekil 3.3. 1µCi olan Co-60 ve Cs-137 nokta kaynaklarını kullanarak, NaI(Tl) Sintilasyon Detektörü ve ScintiVision(ORTEC) yazılımı ile yapmış olduğu Enerji Kalibrasyon Eğrimisi.

3.4 Yarı yükseklikte Maksimum Genişliği (Full WithHalf Maximum, FWHM)

Enerji kalibrasyonundan sonra ayırma gücü (Rezolüsyon) kalibrasyonu yapılmalıdır. Bu işlem pik şekli kalibrasyonu olarak da adlandırılır. Bir detektörün çözünürlüğü, birbirine yakın iki farklı enerjideki gama ışınlarını ayırt edebilme ölçüsüdür.

Piklerin kuyruk kısımlarından gelecek hataları düzeltmek için gereklidir. Çözünürlük iyileştikçe yarı yükseklikte tam genişlik azalır.

Bunun için genel olarak, Cs-137 kaynağı kullanılır ve 662 keV'deki pikin tepe noktasında 10000 sayım alınarak, pik üzerinde, pikin yarı yüksekliğindeki genişliği (FWHM) kanal ve/veya enerji olarak alınır (Şekil 3.4.) [11].

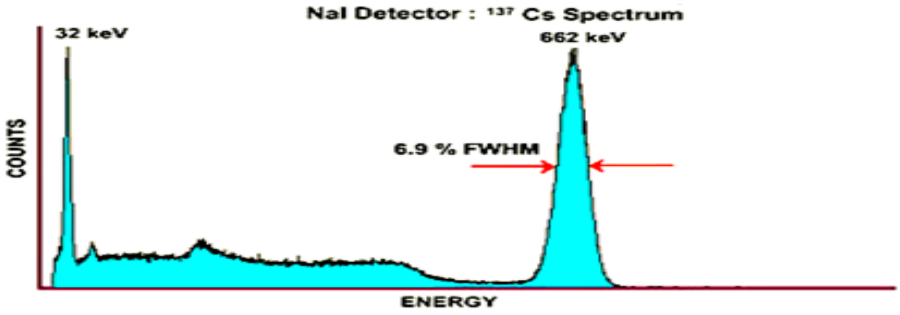


Şekil 3.4. Yarı maksimum genişliği

E_0 değerine karşılık gelen kanal değeri (centroid), i inci kanaldaki (Ch_i), sayım sayısı C_i olmak üzere;

$$\text{Centroid} = \frac{\sum_{i=N_1}^{N_2} C_i . Ch_i}{\sum_{i=N_1}^{N_2} C_i} \qquad (3.1)$$

şeklinde verilir. NaI(Tl) detekötrü için Cs-137 için genel olarak FWHM (Şekil 3.5.) gibi bilinmektedir.



Şekil 3.5. Cs-137 için FWHM değeri.

3.5 Doğal Radyoaktiflik

Büyük Patlama (Big Bang) teorisine göre yeryüzü ve güneş sisteminin yaratıldığı zamanlarda oluşan elementlerin büyük bir kısmı radyoaktiftir, fakat o zamandan beri kararlı çekirdeklere bozunmaktadırlar. Birkaç radyoaktif izotopun yarılanma süresi dünyanın yaşına kıyasla çok uzundur ve bugün hala bunların radyoaktiflikleri gözlenebilmektedir. ^{235}U, ^{238}U ve ^{232}Th serileri ve ^{40}K radyonüklidleri doğal çevresel radyoaktivitenin esas kısmını oluşturmaktadır [13].

Doğal olarak bulunan radyoizotopların atom numaraları Z=81 ile 92 arasında bulunmaktadır. Bunlar alfa ve beta bozunmalarıyla, kararlı bir çekirdeğe dönüşünceye kadar, bir seri bozunma zincirlerine maruz kalırlar. Atom numarası Z=81 ile 92 arasında olan doğal radyoaktif izotoplar, A kütle numaralarına bağlı olarak, dört seriden birine dahildirler, (Tablo 3.1.) [2]. Burada n bir tam sayıdır.

Tablo 3.1: Doğal Radyoaktif Seriler

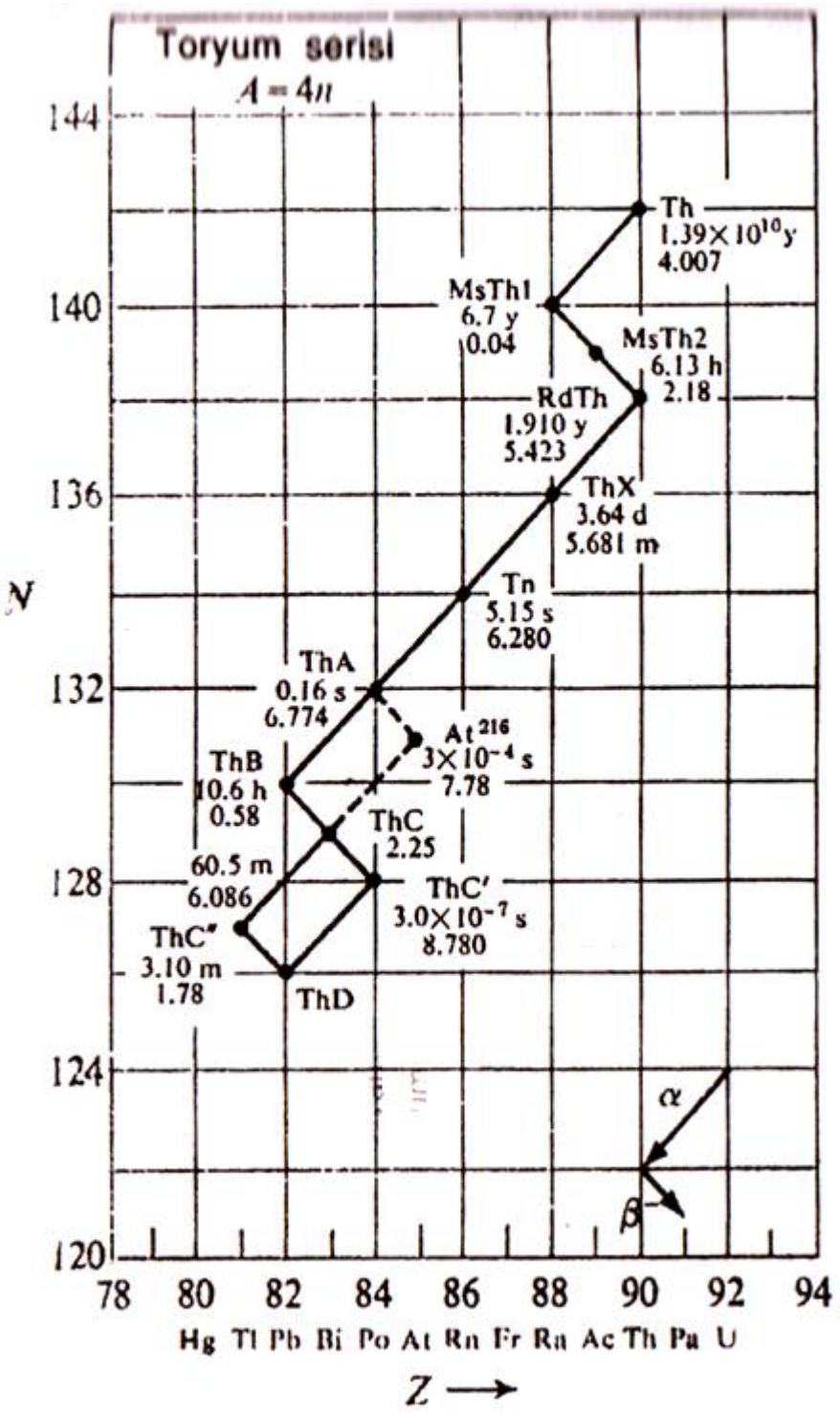
Seri Adı	Türü	Son Çekirdek	Ana Çekirdek	Yarılanma Süresi (yıl)
Toryum	4n	$^{208}_{82}Pb$	$^{232}_{90}Th$	$1{,}41 \times 10^{10}$
Neptinyum	4n+1	$^{209}_{83}Bi$	$^{237}_{93}Np$	$2{,}14 \times 10^{6}$
Uranyum	4n+2	$^{206}_{82}Pb$	$^{238}_{92}U$	$4{,}47 \times 10^{9}$
Aktinyum	4n+3	$^{207}_{82}Pb$	$^{235}_{92}U$	$7{,}04 \times 10^{8}$

Doğadaki radyonüklidlerin tek kaynağı bu ağır element serileri değildir, bunların yanı sıra tek başına bulunan, (Tablo 3.2)'de görülen, bazı radyonüklidler de vardır [2].

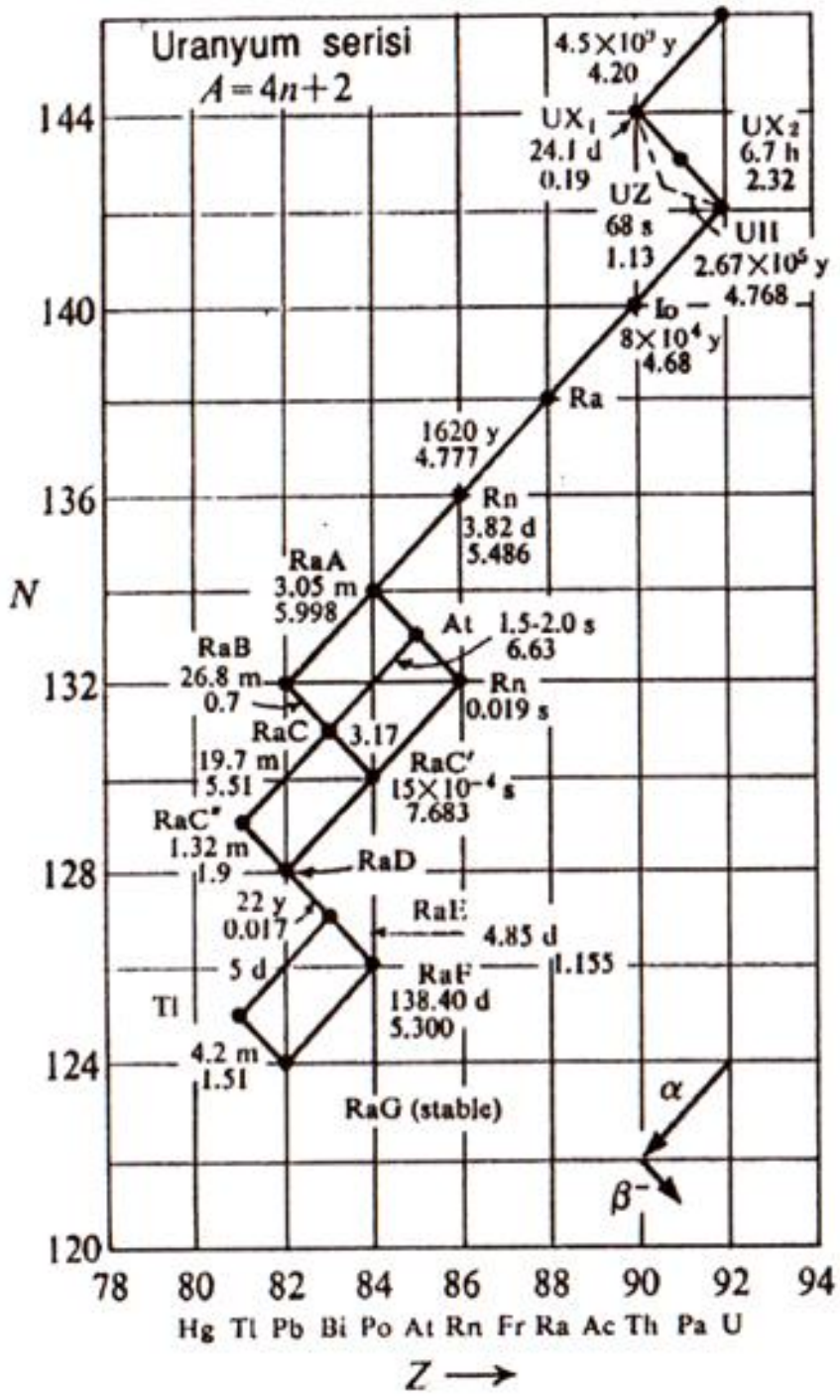
Tablo 3.2. Bazı Doğal Radyoaktif İzotoplar

Radyoizotoplar	**$t_{1/2}$ (yıl)**
^{40}K	$1.28x10^{9}$
^{87}Rb	$4{,}28x10^{10}$
^{113}Cd	$9x10^{15}$
^{115}In	$4{,}4x10^{14}$
^{138}La	$1{,}3x10^{11}$
^{176}Lu	$3{,}6x10^{10}$
^{187}Re	$5x10^{10}$

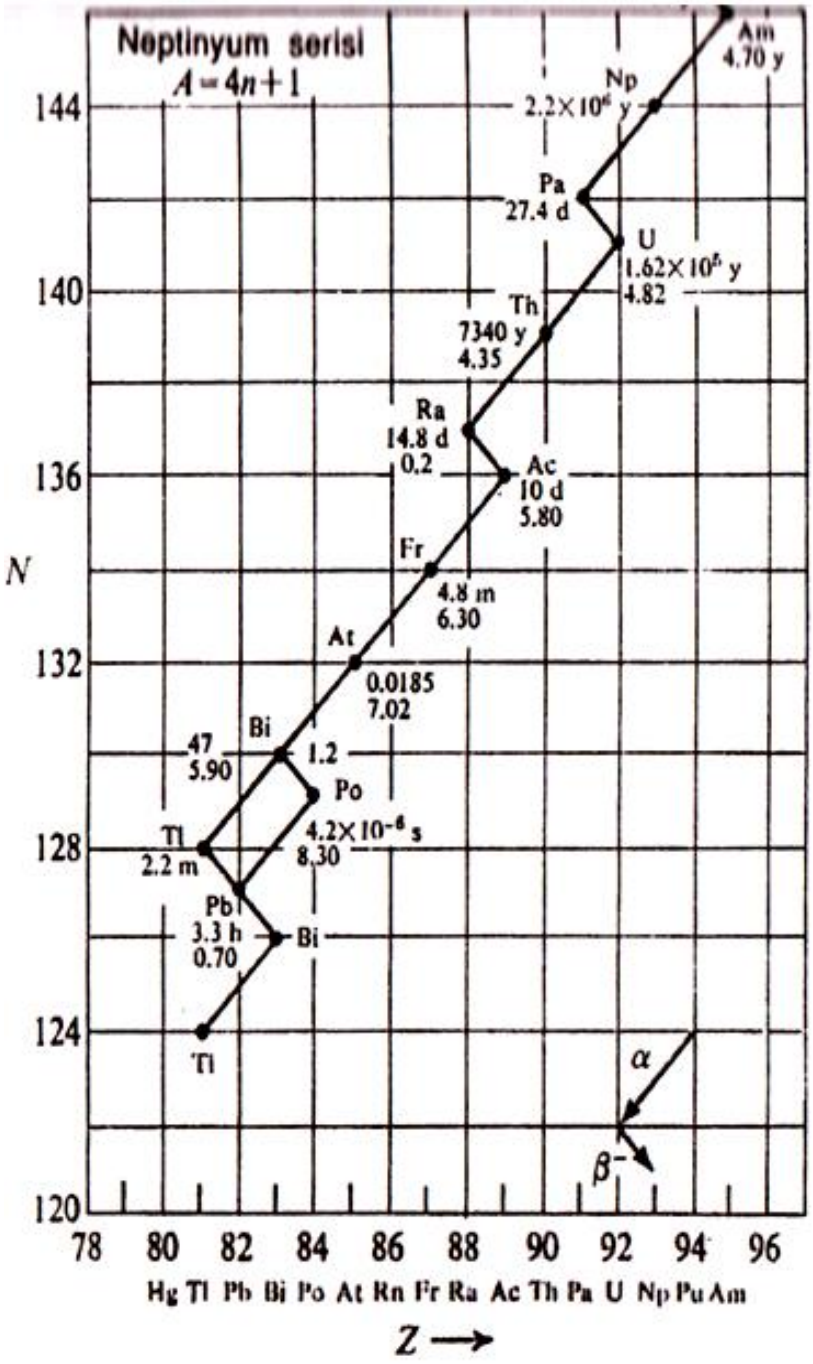
Uranyum doğal ^{238}U, ^{235}U ve ^{234}U radyoizotoplarından oluşmaktadır ve sırasıyla bağıl bollukları %99,274, %0,72 ve %0,0055'dir. Doğal Toryum bağıl bolluğu %100 olan ^{232}Th'dir. Bu dört seri (Şekil 3.6., 3.7., 3.8., 3.9.)'de bozunum çeşitleri ile birlikte verilmektedir.



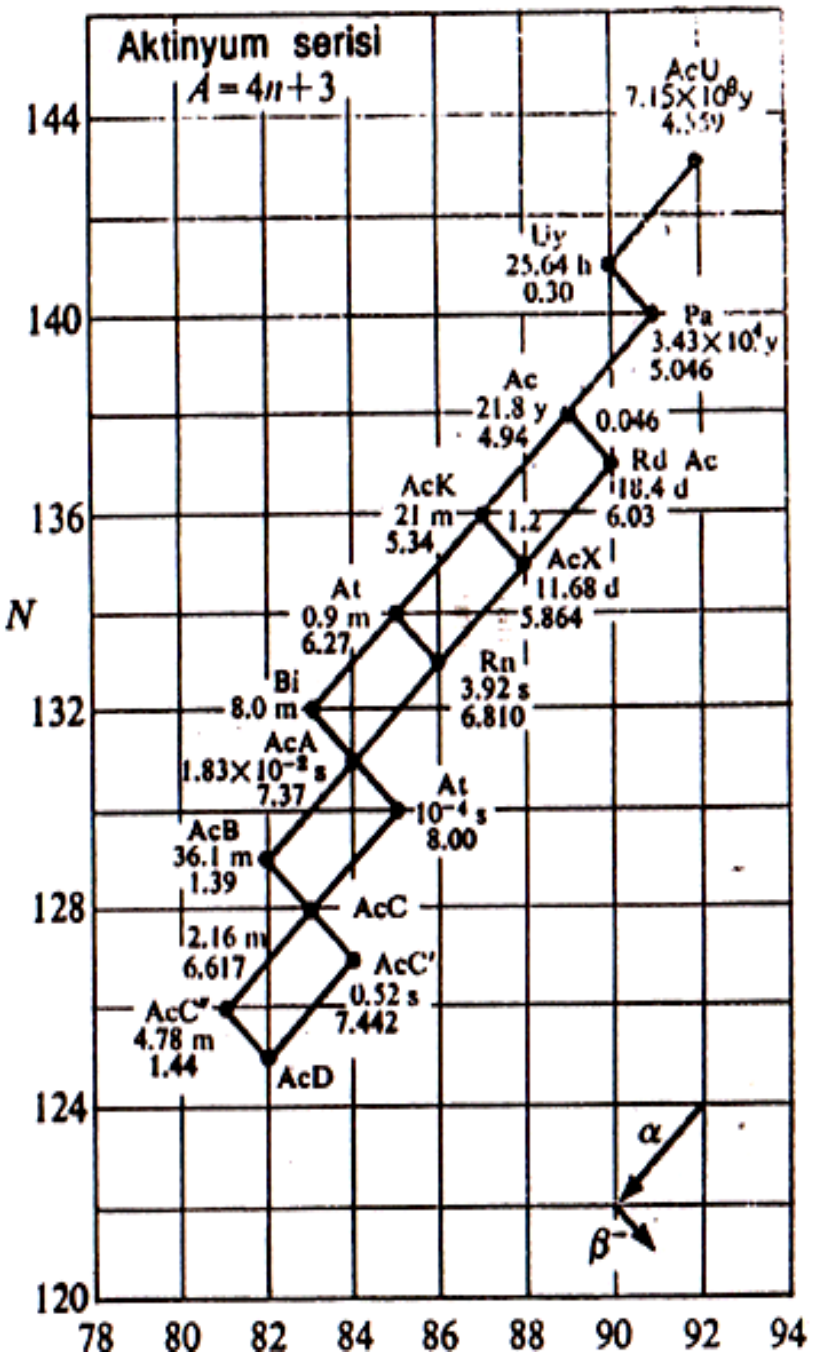
Şekil 3.6. Toryum serisi



Şekil 3.7. Uranyum Serisi



Şekil 3.8. Neptinyum serisi



Şekil 3.9. Aktinyum serisi

3.6 Potasyum-40

Potasyum doğada ve insan vücudunda bulunan temel elementlerden biridir. Doğal olarak bulunan üç izotopundan biri ^{40}K radyoaktif olup, yarılanma ömrü $1,28x10^{9}$ yıl ve bağıl bolluğu %0,0117' dir. Doğal potasyum toprakta bol bulunduğu için, doğal gama radyasyon dozunun önemli bir oranını ^{40}K oluşturmaktadır.

70 kiloluk bir insan vücudunda 140 g potasyum bulunmaktadır ve bu 0,0164 g ^{40}K izotopu içerir. Bu miktarın aktivitesi 266000 bozunum/dakika'dır. Her 100 bozunmanın 89'unda 1,311 Mev'lik maksimum enerjili beta parçacıkları ve 11'ini de 1,46 Mev enerjili gama fotonu yayınlanır [14].

3.7 Uranyum-238

Doğal olarak oluşan uranyum üç farklı izotopa sahiptir; bunlar ^{234}U, ^{235}U, ^{238}U'dir ve ağırlığının % 99,2745'ini ^{238}U, % 0,7200'ini ^{235}U ve % 0,0055'ini ^{234}U oluşturur. ^{238}U'in yarı ömrü 4,47x109yıl, ^{235}U'in $7x10^{8}$ yıldır. Bir dizi alfa ve beta bozunumundan sonra kararlı ^{206}Pb ve ^{207}Pb çekirdekleri oluşur.

3.8 Toryum-232

^{232}Th, doğada bulunan dört toryum izotopundan en yaygın olanıdır. Alfa ve beta bozunumları ile kararlı ^{208}Pb çekirdeğine dönüşür. Yarılanma ömrü $1,4x10^{10}$yıldır.

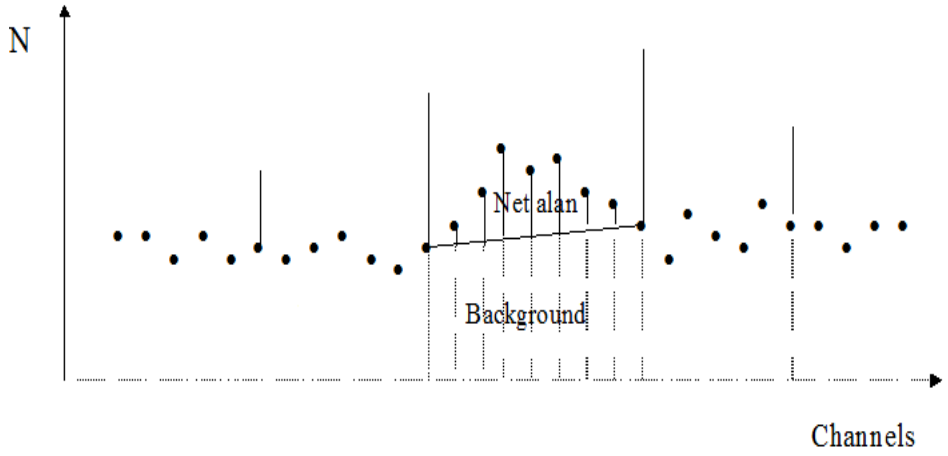
3.9 Aktivite Hesaplaması

Analiz edilen örneğin gama spektrumundan piklerin konumlarından (veya enerji değerlerinden) radyonüklidlerin cinsi belirlenirken, piklerin alanlarından aktiviteleri hesaplanır. Bulunan piklerin belirli bir fonksiyona (genelde Gauss dağılımlı) uyarlanarak alanları belirlenir. Bunun için içiçe geçmiş piklerin ayrılması gerekir.

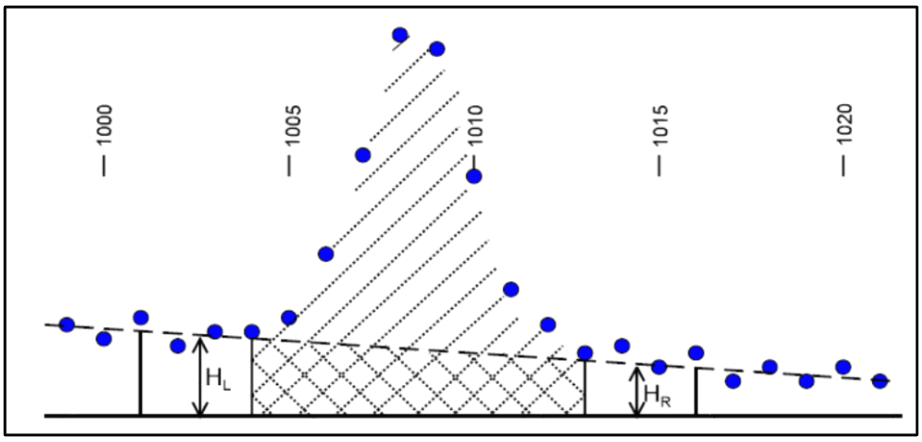
Bir örneğin içindeki bir radyonüklidin özgün aktivitesi aşağıdaki eşitlik kullanılarak bulunur.

$$Aktivite\ Konstrasyonu = \frac{\frac{Net\ pik\ alanı}{Örnek\ sayım\ süresi} - \frac{Fon\ sayım\ değeri}{Fon\ sayım\ süresi}}{verim\ \text{x}\ gama\ yayınlanma\ olasılığı\ x\ kütle} \qquad (3.2)$$

(Şekil 3.10.' ve 3.11.)'de görülen spektrumdaki pik alanları, bir yazılım yardımıyla okunur.



Şekil 3.10. Gama spektrumunda bir pik alanı.



Şekil 3.11. Gama spektrumunda bir pik alanı

Alan hesabı, şekildeki 10 kanal dikkate alınarak hesaplanır.

$$İntegral = N_{1004} + N_{1005} + \ldots + N_{1010}, \qquad (3.3)$$

Doğal fon alanı hesabı;

$$H_L = \frac{N_{1001} + \ldots + N_{1004}}{4} \qquad H_R = \frac{N_{1003} + \ldots + N_{1006}}{4} \qquad (3.4)$$

olmak üzere;

$$\text{Fon} = \frac{H_R + H_L}{2} \text{x10} \tag{3.5}$$

şeklinde hesaplanır.

3.10 Karşılaştırma yöntemi

Örnek içinde sadece bildiğimiz radyonüklidlerin analizi yapılacaksa bu radyonüklidleri içeren bir referans kaynağın pik alanlarıyla örneğin pik alanları oranlanarak aktivite hesaplanabilir. Bu yöntemde örnek ve referans kaynağın aynı geometride analiz edilmesi gerekmektedir. Yöntemin uygulanmasında herhangi bir verim eğrisi hesaplaması olmadığından belirsizlik daha düşüktür. Örneğin aktivitesini veren denklem aşağıda verilmektedir,

$$A_{örn}\left(\frac{Bq}{kg}\right) = A_{ref}\left(\frac{Bq}{kg}\right)\frac{\frac{Alan_{örn}}{t_{örn}} - \frac{Alan_{fon}}{t_{fon}}}{\left(\frac{Alan_{ref}}{t_{ref}} - \frac{Alan_{fon}}{t_{fon}}\right)m_{örn}} \tag{3.6}$$

Burada;

$A_{örn}$: hesaplanacak örneğin aktivitesi (Bq/kg),

A_{ref}: kullanılan referans kaynağın aktivitesi (Bq/kg),

$Alan_{örn}$: örneğin söz konusu enerjide bulunan pikinin alanı,

$Alan_{ref}$: referans kaynağın söz konusu enerjide bulunan pikinin alanı,

$Alan_{fon}$: doğal fonun söz konusu enerjide bulunan pikinin alanı,

$t_{örn}$: örneğin net sayım süresi,

t_{ref}: referansın net sayım süresi,

t_{fon}: doğal fonun net sayım süresi,

$m_{örn}$: örneğin kütlesi (kg) dır.

Burada mutlak belirsizlik (U), örnek kaynağın ilgili pikteki net sayım hızı $SH_{örn}$;

$$SH_{örn} = \frac{Alan_{örn}}{t_{örn}} - \frac{Alan_{fon}}{t_{fon}} \tag{3.7}$$

referans kaynağın net sayım hızı SH_{ref} ;

$$SH_{ref} = \frac{Alan_{ref}}{t_{ref}} - \frac{Alan_{fon}}{t_{fon}} \tag{3.8}$$

Doğal fon sayım hızı;

$$SH_{fon} = \frac{Alan_{fon}}{t_{fon}} \tag{3.9}$$

tanımları kullanılarak;

$$U = A_{örn}\sqrt{\left(u_{A,ref}\right)^2 + \frac{\left(u_{örn}\right)^2 + \left(u_{fon}\right)^2}{\left(SH_{örn} - SH_{fon}\right)^2} + \frac{\left(u_{ref}\right)^2 + \left(u_{fon}\right)^2}{\left(SH_{ref} - SH_{fon}\right)^2}} \tag{3.10}$$

şeklinde verilir [15].

Ayrıca;

$u_{A,ref}$: referans kaynak aktivitesinin bağıl belirsizliği,

$u_{örn}$: örnek sayım hızı belirsizliği,

u_{ref} : referans kaynak sayım hızı belirsizliği,

u_{fon} : doğal fon sayım hızı,

$A_{örn}$: örneğin aktivitesidir (Denk.3.6).

BÖLÜM 4

DENEYSEL ÇALIŞMA

4.1 Örnekleme Bölgesi

Doğal radyoaktivite kaynağının başında, topraktaki ^{40}K, ^{232}Th ve ^{238}U gibi radyo nüklidlerin aktivite konsantrasyonları gelir. Bu radyoaktivite kaynakları ve kozmik ışınlarla gelenler, nükleer deneyler ve kazalar gibi diğer çevresel etkiler; kısaca dış gama radyasyonları canlıların aldıkları dozları etkilemektedir. Bu çalışmada, Edirne ili ve ilçelerinde doğal gama radyoaktivite düzeyini belirlemeye çalıştık. Seçilen bölge Türkiye'nin kuzeybatısında 40°35'40.59"K - 41°57'44.62"K kuzey paralelleri ile 26°18'27.18"D - 26°58'32.95"D doğu meridyenleri arasında yer almaktadır. Bu amaçla Edirne ili ve sekiz ilçesinden toplam 90 örnek toplanmıştır. Örnekleme işlemi 08.01.2014-15.01.2014 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir. Bu noktalar seçilirken, örneklerin çeşitli özelliklere sahip; yerleşim, tarım, mera, orman, sanayi ve maden yatakları vb. bölgelerden alınmasına özen gösterilmiştir. Her örneğe ait koordinatlar (Ek. A)'da verilmektedir.

Örnekleme bölgesinde (Şekil 4.1.) deki haritadan da görüldüğü gibi, Bulgaristan'dan doğan ve yaklaşık 211 km boyunca Türkiye sınırları içinde akan Meriç nehri ve onun suladığı havza bulunmaktadır.



Şekil 4.1. Örnek toplanan bölgeler.

4.2 Örnek Hazırlama

Örnekler alınırken özel olarak yaptırılmış, 25 cm boyutlarına metal bir aparat kullanılmıştır. Yaklaşık 2 kg'lık toprak örnekleri temiz poşetlere konulmuş, daha sonra içlerindeki yabancı maddeler; taş, odun parçaları, ot, vb. temizlenerek, oda sıcaklığında yaklaşık 10 gün kurumaya bırakılmıştır. Bu kurutma işlemini, 2 mm gözenekli elek kullanılarak eleme işlemi takip etmiş ve örnekler tekrar 12 saat boyunca, 105 ^{0}C'de bir etüvde kurutulmuştur. Kuruma işleminden sonra, 150 ml'lik örnek kaplarına konularak, sabit kuru ağırlıkları etiketlenerek, kaydedilmiştir.

Doğal radyoaktif serilerdeki Radon izotopları; Radon, ^{222}Rn ve Toron^{220} havadaki aktif gazların başında gelirler. Tüm serilerde buluna radon izotoplarının yarı-ömürleri çok kısadır (Actinyum ve Toryum serilerinde), radyoaktif denge birkaç dakika içinde gerçekleşir [16].^{238}U aktivitesini tahmin etmek için, Radon ölçülür, Radon kaybı da aktivite ölçüm sürecini etkiler. Çözüm için, toprak içerisinde bulunan Radon ve Toron gibi bozunma ürünlerinin dengeye gelmesini sağlamak amacıyla, örnek kapları boşluk kalmayacak şekilde doldurulup, kapakları hava geçirmeyecek şekilde parafin bant ile kapatılıp, bir ay bekletilmiştir.

Bu süre sonunda her örnek, gama spektrometre cihazında 80.000,00 s süreyle sayılmıştır. Gama spektrometre cihazımız; "ORTEC" marka, NaI(Tl) detektör olup Spektrum alma ve analiz işlemlerinde ORTEC Yazılım (Maestro-200901520), (SintiVision-200902605) kullanılmıştır.

Karşılaştırma yönteminde kullandığımız standart kaynaklar: IAEA-RGK-1 PotassiumSulfate, IAEA-RGTh-1Thorium Ore, IAEA-RGU-1Uranium Ore, IAEA-434 Phosphogypsum'dır.

Uranyum aktivasyon konsantrasyon hesabı için, ^{226}Ra' nın 1764,5 keV'deki piki, Toryum için, ^{232}Th; 2614,5 keV'deki pik ve Potasyum için, ^{40}K 1460,8 keV'lik pikleri kullanılmıştır.

4.3 Soğurulan Gama Doz Hızı (D)

Yer küre çevresinde vuku bulan çeşitli mekanizmalar, yer kürede çeşitli kirliliğe neden olmaktadır. Bunlardan biri radyoaktif kirliliktir. Yer küre ve üzerindeki her varlık,

sürekli olarak, kozmik ışınlara ve gama radyasyonuna neden olan çok sayıda radyo nüklitlere maruz kalmaktadır. Yüksek enerjili atom çekirdeklerinden oluşan kozmik ışınların %87' sini protonlar, %11' ni alfa parçacıkları, yaklaşık %1' ini de daha ağır atomlar ve kalan %1' ini elektronlar oluşturur. Bu ışınların enerjileri 10 MeV ile 100 GeV aralığındadır [17].

Kozmik ışınları yerküredeki radyoaktif kirliliğin nedenlerinden biri olarak kabul edebiliriz. Onlar galaktik veya güneş sistemindeki parçacıklardan ve güneş tarafından yayılan parçacıklardan oluşur. Bu parçacıkların atmosferdeki çarpışmaları sonucunda bir dizi nükleer reaksiyon gerçekleşir ve oluşan ikincil parçacıkların önemli bir kısmı kozmik radyonüklitlerdir. Atmosferin üst katmanlarındaki çarpışmaların sonucunda çoğunlukla nötron ve protonlar oluşur. Önemli sayıda oluşan pionlar da, parçalanmaları sonucunda elektron, foton, nötron ve müonlara dönüşür [17].

Ayrıca yer kürenin oluşumundan gelen, radyoaktif kirliliğe neden yapısal özelliklerini de dikkate almak gerekir. Toprak ve kayalarda bulunan başta ^{238}U, ^{232}Th ve ^{40}K gibi doğal radyoizotoplar çevresel gama radyasyonuna önemli katkı sağlarlar.

Tüm bu etkileri, yerin 1 m yukarısı için, tespit etmek üzere Denklem (4.1) kullanılır [18, 19].

$$D = (0.462 * A_U + 0.621 * A_{Th} + 0.0417 * U_K) \text{ nGy/saat} \quad (4.1)$$

Burada A_U, A_{Th} ve A_K sırasıyla Uranyum, Toryum ve Potasyum aktivite konsantrasyonlarının Bq/kg cinsinden değerleridir. Toplanan her örnek için ^{238}U, ^{232}Th ve ^{40}K aktivasyon konsantrasyonları hesaplanarak, her bölge için soğurulan gama doz hızı nGy/saat cinsinden hesaplanmıştır.

4.4 Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri(YEDE)

Yıllık etkin doz değerinin hesabı, soğurulan dozun bir dönüşüm katsayısı ile çarpılması ve bina dışı meşguliyet faktörü kullanılmasıyla yapılır, Denklem (4.2) [20, 21].

$$\text{YEDE} = [\text{D (nGy/saat)} \times 8760 \text{ (saat)} \times 0{,}2 \times 0{,}7 \text{ (Sv/Gy)} \times 10^{-3}] \ \mu\text{Sv/yıl} \quad (4.2)$$

4.5 Radyum Eşdeğer Aktivitesi (Ra_{eq})

Bölgelere ait aktivasyon sonuçları radyasyon tehlikesi açısından, Radyum eşdeğer aktivitesi ve dış tehlike indeksi yardımıyla değerlendirilmektedir. Ra eşdeğer aktivitesi Beretka ve Mathew' göre Denklem(4.3) ile hesaplanmaktadır [22, 21].

$$Ra_{eq} = A_{Ra} + 1.43\, A_{Th} + 0.07\, A_K \tag{4.3}$$

Burada A_{Ra}, A_{Th} ve A_K sırasıyla ^{238}U, ^{232}Th ve ^{40}K' in aktivite konsantrasyonlarıdır.

4.6 Dış Tehlike İndeksi (H_{ex})

Bu parametre, incelenen her örnek için, Krieger tarafından Denklem (4.4) ile verilmektedir [23].

$$H_{ex} = A_{Ra} / 370 + A_{Th} / 259 + A_K / 4810 \leq 1 \tag{4.4}$$

Bu denklemin, ^{226}Ra' nın 370 Bq/kg' lik, ^{232}Th' un 259 Bq/kg' lık ve ^{40}K' ın 4810 Bq/kg' lık aktivitelerinin ürettiği gama doz hızına denk, bir gama doz hızı verdiği kabul edilir. Penceresiz ve kapısız kalın bir duvar için verilen bu denklemde A_{Ra}, A_{Th} ve A_K sırasıyla ^{238}U, ^{232}Th ve ^{40}K' in aktivite konsantrasyonlarıdır.

4.7 Yıllık Gonadal Doz Eşdeğeri (YGDE)

Kemik iliği ve kemik yüzey hücreleri aktiviteleri, UNSCEAR (1988) tarafından ilgilenilen organlar olarak kabul edilmektedir. A_{Ra}, A_{Th} ve A_K'nınspesifik aktiviteleri yardımıyla Denklem (4.5) ile hesaplanır [24].

$$YGDE(\mu Sv / Yıl) = 3.09\, A_{Ra} + 4.18\, A_{Th} + 0.314\, A_K \tag{4.5}$$

4.8 Yaşam Boyu Kanser Riski (AYKR)

Yaşam boyu kanser riski yıllık etkin doz eşdeğeri kullanılarak, Denklem (4.6) gibi hesaplanır.

$$KR = YEDExDLxRF \tag{4.6}$$

DL, yaşam süresi olup yaklaşık 70 yıl, RF risk faktörü de 0.05 μSv^{-1} alınır [25,26].

BÖLÜM 5

SONUÇLAR

Analiz için hazırladığımız ve radyoaktif dengeye ulaşmış her bir toprak örneğinin, 80.000,00 saniyelik sayım sonunda elde edilen spektrumları incelenerek, yazdığımız bir "excell" programında ^{226}Ra, ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları, Denklem (3.6)'e göre hesaplanmıştır.

Elde edilen sonuçlardan yararlanarak, her bölge için "soğurulan gama doz hızı", "yıllık etkin doz eşdeğeri", "Radyum eşdeğer aktivitesi", "dış tehlike indeksi", "yıllık gonadal doz eşdeğeri" ve "yaşam boyu kanser riski" tespit edilmiştir.

Tablo 5.1. Toplanan örnekler Edirne'nin dokuz ilçesine göre verildiği gibi kodlanmıştır.

Bölgeler Örnek Numaraları	Lalapaşa	Süloğlu	Edirne (merkez)	Havsa	Meriç	İpsala	Enez	Keşan	U.köprü
1	L-1	S-1	E-1	H-1	M-1	I-1	En-1	K-1	U-1
2	L-2	S-2	E-2	H-2	M-2	I-2	En-2	K-2	U-2
3	L-3	S-3	E-3	H-3	M-3	I-3	En-3	K-3	U-3
4	L-4	S-4	E-4	H-4	M-4	I-4	En-4	K-4	U-4
5	L-5	S-5	E-5	H-5	M-5	I-5	En-5	K-5	U-5
6	L-6	S-6	E-6	H-6	M-6	I-6	En-6	K-6	U-6
7	L-7	S-7	E-7	H-7	M-7	I-7	En-7	K-7	U-7
8	L-8	S-8	E-8	H-8	M-8	I-8	En-8	K-8	U-8
9	L-9	S-9	E-9	H-9	M-9	I-9	En-9	K-9	U-9
10	L-10	S-10	E-10	H-10	M-10	I-10	En-10	K-10	U-10

5.1 Topraktaki Uranyum Aktivite Konsantrasyonları

Edirne ili ve ilçelerinden toplanan örneklerin Uranyum aktivite konsantrasyonları;^{238}U serisindeki ^{226}Ra radyoizitopunun1764.5keV'deki piki için hesaplanmış ve bulunan sonuçlar (EK-B)'de verilmiştir. En düşük Uranyum aktivitesi değeri İpsala'ya ait (I-2) örneğinde 21.0±1.7 Bq/kg, en yüksek değer Meriç (M-3) örneğinde 65.6±17.1 Bq/kg olarak saptanmıştır. Bölgelere ait ortalama değerler ise 21.0±1.7 Bq/kg – 51.45±12 Bq/kg arasında yer almaktadır, (Tablo 5.2.) Bu sonuçlar Kırıkkale (20.9 Bq/kg) ,Kırklareli (28 Bq/kg), İstanbul (21 Bq/kg), Kütahya (30.71 Bq/kg), Kilis (20.97 Bq/kg), Rize (50 Bq/kg) ve Zonguldak (23.20 Bq/kg) İllerindeki sonuçlar ile karşılaştırıldığında önemli farklar gözlenmemektedir, ancak Çanakkale İli'ne ait 174.78 Bq/kg değerinin altındadır, (Tablo 5.4.) [21, 26, 27, 28, 29].

Yine bulduğumuz sonuçları diğer ülkeler; Yunanistan (25 Bq/kg), Mısır (17 Bq/kg), U.S.A. (40 Bq/kg) ve Çin (32 Bq/kg) ile kıyasladığımızda yakın değerlerle karşılaşmakta [28] ve Dünya ortalaması 40 Bq/kg değerinin çok üzerine çıkmadıklarını görmekteyiz, (Tablo 5.4.) [30].

5.2 Topraktaki Toryum Aktivite Konsantrasyonları

İncelediğimiz bölgeler için Toryum aktivasyonunu, ^{208}Tl radyoizotopunun 2614.533 keV'lik pikini inceleyerek aktivite sonuçları EK-B'de verilmiştir, en düşük değeri Enez'deki (En-2) örneği için 12.3±9.3 Bq/kg, en yüksek değeri Lalapaşa (L-6) için 84,9±10,2 Bq/kg olarak bulduk. Tüm bölgelerin ortalama değerleri ise 50.53±11.63 – 59.15±11,08 Bq/kg arasında değişmektedir, (Tablo 5.2.) Bu sonuçlar Kırıkkale (38.1 Bq/kg), Kırklareli (40 Bq/kg), İstanbul (37 Bq/kg), Kütahya (29.53 Bq/kg), Rize (42 Bq/kg) ve Zonguldak (20 Bq/kg) illerindeki sonuçlar ile karşılaştırıldığında yine önemli farklar gözlenmemektedir, ancak bu değerler Çanakkale İli'ne ait 204 Bq/kg değerinden düşüktür, (Tablo 5.4.) [21, 26, 27, 28, 29].

Yine bulduğumuz sonuçları diğer ülkeler ile karşılaştırıldığında, (Tablo 5.4.); Yunanistan (21 Bq/kg), Mısır (18 Bq/kg), U.S.A. (35 Bq/kg) ve Çin (41 Bq/kg) olmak

üzere, önemli farklar gözlenmemekte [28] ve Dünya ortalaması 40 Bq/kg değerinden de uzak bulunmadığı görülmektedir [30].

5.3 Topraktaki Potasyum Aktivite Konsantrasyonları

Örneklerimizin Potasyum aktivitesi, 1460.83keV'deki piki analiz edilerek hesaplanmıştır, (EK-B). İpsala (I-2) örneğinde en düşük değere; 186.4±32.3 Bq/kg, Enez (En-5) örneğinde e yüksek değer 641,0±41,9Bq/kg olarak bulunmuştur. Tüm bölgelerin ortalama değerleri ise 368.78±32.16 – 445.10±35.40 Bq/kg arasında değişmektedir, Tablo-5.2. Bu sonuçlar Kırıkkale (577.3 Bq/kg), Kırklareli (667 Bq/kg), Çanakkale (1171 Bq/kg), Kütahya (538.32 Bq/kg) ve Rize (643 Bq/kg) illerindeki sonuçlarının altında kalmaktadır, (Tablo 5.4.) [21, 26, 27, 28, 29].

Yine bulduğumuz sonuçları diğer ülkeler; Yunanistan, Mısır, U.S.A. ve Çin ile kıyasladığımızda farklar gözlenmemekte [28] ve Dünya ortalaması 580 Bq/kg değerinden de uzak bulunmamaktadır, (Tablo 5.4.) [30].

Tablo 5.2. Bölgelere ait Uranyum, Toryum ve Potasyum Aktivasyon Konsantrasyonlarını

Bölgeler	Ra-226 (Bq/kg)	Th-232 (Bq/kg)	K-40 (Bq/kg)
Lalapaşa	47.03±12.33	59.15±11.08	423±34.04
Süloğlu	41.05±11.45	58.69±11.63	445.10±35.40
Edirne (merkez)	51.45±12	57.96±12.91	402.60±37.60
Havsa	24.00±07	53.37±11.01	368.78±32.16
Meriç	50.5±15.47	55.39±12.29	369.41±36.03
İpsala	21.0±1.7	50.53±11.63	389.52±34.83
Enez	37.8±12.35	55.96±12.29	498.4±36.96
Keşan	48.28±12.65	56.28±12.33	370.16±36.47
Uzunköprü	36.51±14.49	55.25±11.83	397.11±35.09

5.4 Soğurulan Gama Doz Hızı (D)

Soğurulan gama doz hızları için bulunan değerler (Tablo 5.3.)' de yer almaktadır. Bulduğumuz değerler 57.32 nGy/saat – 74.17 nGy/saat arasında değişmektedir. Bu değerler ülkemizdeki sonuçlardan Rize (77.4nGy/saat) [21] değerine yakınken, Kilis (11.37 nGy/saat) [26] ve Zonguldak (33.02 nGy/saat) [29] değerlerinden yüksektir, (Tablo 5.4.)

Yine bulduğumuz değer Mısır (32 nGy/saat) [28] den yüksekken, Dünya ortalaması; 59 nGy/saat [20, 27] ve 55 nGy/saat [19] a yakındır.

5.5 Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri(YEDE)

Yaptığımız çalışmadan bölgelere ait yıllık etkin doz eşdeğerinin 73,104 μSv/yıl - 93,883 μSv/yıl arasında değiştiğini görüyoruz, (Tablo 5.3.) Bulduğumuz değer Kırıkkale (230 μSv/yıl) [27], Kırklareli (144 μSv/yıl), Çanakkale (260 μSv/yıl), Kütahya (303.47μSv/yıl) [28] değerlerinden düşüktür. Ancak Dünya ortalaması 70 μSv/yıl [19] e yakın bir değerdir.

5.6 Radyum Eşdeğer Aktivitesi (Ra_{eq})

İncelediğimiz bölgelere ait en küçük değer 120.52Bq/kg, İpsala' ya, en yüksek değer 162.52 Bq/kg, Edirne (merkez)' e aittir. Bu sonuç ülkemize ait Kilis (15.80 Bq/kg) [26] değerinden yüksekken, Rize (166.30Bq/kg) [21] değerine yakındır.

5.7 Dış Tehlike İndeksi (H_{ex})

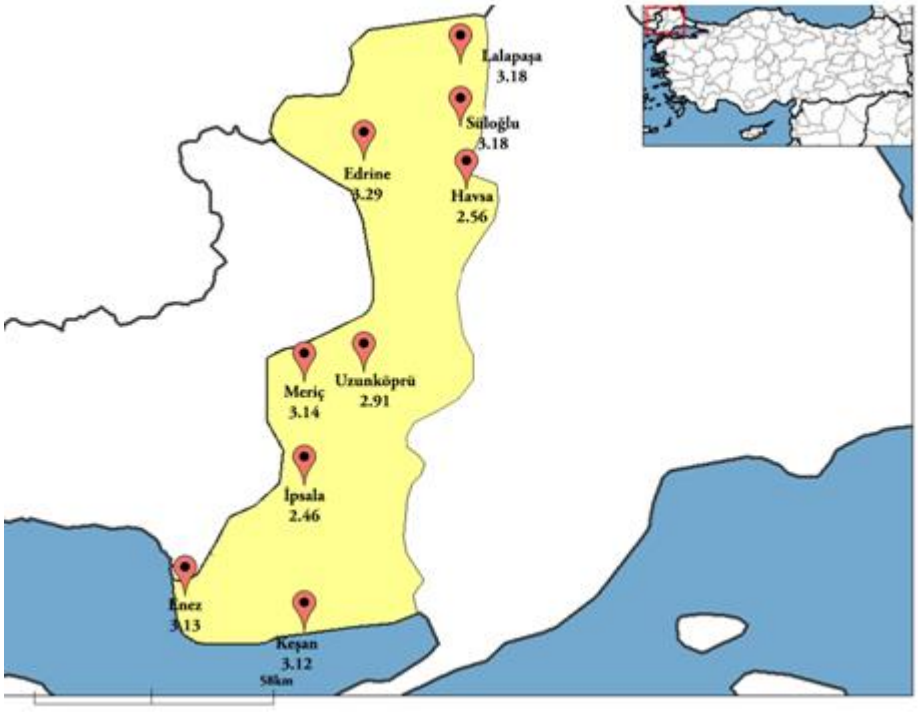
İncelediğimiz bölgelere ait değerler 1'den küçüktür, (Tablo 5.3.) Bulduğumuz değerler 0.33- 0.44 arasında değişmektedir. Bu değerler Rize (0.45) [21] ve Zonguldak (0.19) [29] değerlerine yakınken, Kilis (0.042) [26] değerinde yüksektir.

5.8 Yıllık Gonadal Doz Eşdeğeri (YGDE)

Değerlerimiz 398.41- 527.67 μSv/yıl arasında yer alırken, Rize (550.5 μSv/yıl) [21] en yakın, fakat Kilis (64.41 μSv/yıl) [29] dan yüksek, Mısır (2398 μSv/yıl) [31] değerinin altındadır.

5.9 Yaşam Boyu Kanser Riski (AYKR)

Bölgemizde "Yaşam boyu kanser riski" $2.46x10^{-4}$-$3.28x10^{-4}$ arasında değişmektedir, Tablo 5.3. Bölgelere göre dağılımı (Şekil 5.1.)' de görülmektedir.Kilis İli toprak örneklerinde bu değer $4.88x10^{-5}$ dir, (Tablo 5.4.) [26].



Şekil 5.1. "Yaşam boyu kanser riski"' nin bölgelere göre dağılımı (haritadaki değerler 10^{-4} ile çarpılacaktır).

Tablo 5.3. Çalışılan Bölgelere ait Soğurulan gama doz hızı, Yıllık etkin doz eşdeğeri, Ra eşdeğer aktivitesi, Dış tehlike indeksi, Yıllık Gonadal doz eşdeğeri, Yaşam boyu kanse riski değerleri.

	Soğurulan gama doz hızı (D) (nGy/saat)	Yıllık etkin doz eşdeğeri (YEDE) (μSv/yıl)	Ra eşdeğer aktivitesi (Ra_{eq}) (Bq/kg)	Dış tehlike indeksi (H_{ex})	Yıllık gonadal doz eşdeğeri (YGDE) (μSv/yıl)	Yaşam boyu kanser riski (AYKR)
Lalapaşa	74.17	91	156.0129	0.43	512.1809	$3.8x10^{-4}$
Süloğlu	73.97	91	156.1337	0.43	511.9301	$3.18x10^{-4}$
Edirne (merkez)	76.55	93.88	162.5148	0.45	527.6697	$3.29x10^{-4}$
Havsa	59.61	73.10	126.1337	0.35	413.0435	$2.56x10^{-4}$
Meriç	73.13	89.69	155.5664	0.43	503.5699	$3.14x10^{-4}$
İpsala	57.32	70.30	120.5243	0.33	398.4147	$2.46x10^{-4}$
Enez	72.99	89.53	152.7108	0.42	507.2124	$3.13x10^{-4}$
Keşan	72.69	89.15	154.6716	0.42	500.6658	$3.12x10^{-4}$
Uzunköprü	67.74	83.07	143.3152	0.39	468.4534	$2.91x10^{-4}$

Tablo 5. 4. Uranyum, Toryum, Potasyum aktivasyon konsantrasyonları ve diğer radyoaktivite parametreleri.

	Ra-226 (1764,5 keV)	Th-232 (2614,5 keV)	K-40 (1460,8 keV)	Soğurulan gama doz hızı (D) (nGy/saat)	Yıllık etkin doz eşdeğeri (YEDE) (μSv/yıl)	Ra eşdeğer aktivitesi Ra_{eq} (Bq/kg)	Dış tehlike indeksi (H_{ex})	Yıllık gonadal doz eşdeğeri (YGDE) (μSv/yıl)	Yaşam boyu kanser riski (AYKR)
Lalapaşa	47.03±12.33	59.15±11.08	423±34.04	74.17	91	156.0129	0.43	512.1809	$3,18x10^{-4}$
Süloğlu	41.05±11.45	58.69±11.63	445.10±35.40	73.97	91	156.1337	0.43	511.9301	$3,18x10^{-4}$
Edirne(merkez)	51.45±12	57.96±12.91	402.60±37.60	76.55	93.88	162.5148	0.45	527.6697	$3,29x10^{-4}$
Havsa	24.00±7	53.37±11.01	368.78±32.16	59.61	73.10	126.1337	0.35	413.0435	$2,56x10^{-4}$
Meriç	50.50±47	55.39±12.29	369.41±36.03	73.13	89.69	155.5664	0.43	503.5699	$3,14x10^{-4}$
Ipsala	21.00±1.07	50.53±11.63	389.52±34.83	57.32	70.30	120.5243	0.33	398.4147	$2,46x10^{-4}$
Enez	37.80±12.35	55.96±12.29	498.4±36.96	72.99	89.53	152.7108	0.42	507.2124	$3,13x10^{-4}$
Keşan	48.28±12.65	56.28±12.33	370.16±36.47	72.69	89.15	154.6716	0.42	500.6658	$3,12x10^{-4}$
Uzunköprü	36.51±14.49	55.25±11.83	397.11±35.09	67.74	83.07	143.3152	0.39	468.4534	$2,91x10^{-4}$
Kırıkkale	20.9	38.1	577.3	123	230	-	-	-	-
Kırklareli	28	40	667	-	144	-	-	-	-
Istanbul	21	37	342	-	80	-	-	-	-
Çanakkale	174.78	204	1171	-	260	-	-	-	-
Kütahya	30.71	29.53	538.32	-	303.47	-	-	-	-
Kilis	20.97	-	205.14	11.37	13.94	15.80	0.042	64.41	$4.88x10^{-5}$
Rize	50	42	643	77.4	88.7	166.3	0.45	550.5	-
Zonguldak	23.2	20	245	33.02	40.50	-	0.19	-	-
Yunanistan	25	21	360	56	-	-	-	-	-
Mısır	17	18	320	32	-	-	-	2398	-
U.S.A	40	35	370	47	-	-	-	-	-
Çin	32	41	440	62	-	-	-	-	-
Dünya ort.	40	40	580	55[UNS.1988]	70[UNS.1988]	-	-	-	-

EK-A

Tablo A.1. Lalapaşa bölgesine ait örneklerin koordinatları

Örnek kodları	Koordinatlar	
L-1	41°55'28.95"K	26°35'27.35"D
L-2	41°57'33.60"K	26°39'46.37"D
L-3	41°55'6.58"K	26°41'14.46"D
L-4	41°55'38.70"K	26°51'40.67"D
L-5	41°57'44.62"K	26°48'5.24"D
L-6	41°51'27.02"K	26°49'35.49"D
L-7	41°53'35.39"K	26°35'21.48"D
L-8	41°50'1.99"K	26°44'46.20"D
L-9	41°49'53.84"K	26°47'6.10"D
L-10	41°48'1.69"K	26°41'41.05"D

Tablo A.2. Süloğlu bölgesine ait örneklerin koordinatları

Örnek kodları	Koordinatlar	
S-1	41°48'0.93"K	26°52'40.27"D
S-2	41°45'42.77"K	26°50'13.69"D
S-3	41°48'56.44"K	26°49'55.71"D
S-4	41°43'26.02"K	26°54'53.09"D
S-5	41°49'27.20"K	26°50'1.38"D
S-6	41°47'4.08"K	26°49'24.99"D
S-7	41°50'12.30"K	26°55'1.59"D
S-8	41°50'4.31"K	26°52'50.23"D

Tablo A.3. Havsa bölgesine ait örneklerin koordinatları

Örnek kodları	Koordinatlar	
H-1	41°40'12.24"K	26°48'7.52"D
H-2	41°34'59.88"K	26°51'5.99"D
H-3	41°36'0.17"K	26°46'2.75"D
H-4	41°41'7.83"K	26°53'8.93"D
H-5	41°30'9.10"K	26°54'43.71"D
H-6	41°31'42.00"K	26°56'38.26"D
H-7	41°36'17.46"K	26°58'25.24"D
H-8	41°30'30.68"K	26°49'0.54"D
H-9	41°32'11.09"K	26°45'17.24"D
H-10	41°27'38.07"K	26°45'3.83"D

Tablo A.4. Edirne bölgesine ait örneklerin koordinatları

Örnekkodları	Koordinatlar	
E-1	41°45'38.30"K	26°21'44.65"D
E-2	41°46'49.30"K	26°28'35.63"D
E-3	41°44'59.34"K	26°39'48.54"D
E-4	41°50'39.72"K	26°35'1.32"D
E-5	41°31'1.23"K	26°39'2.84"D
E-6	41°42'52.82"K	26°22'38.04"D
E-7	41°39'46.56"K	26°32'33.87"D
E-8	41°42'40.06"K	26°27'52.10"D
E-9	41°37'27.24"K	26°34'45.76"D
E-10	41°41'24.84"K	26°33'34.20"D

Tablo A.5. Uzunköprü bölgesine ait örneklerin koordinatları

Örnekkodları	Koordinatlar	
U-1	41°20'21.72"K	26°52'30.24"D
U-2	41°24'46.14"K	26°39'25.64"D
U-3	41°22'2.31"K	26°41'15.49"D
U-4	41°24'21.96"K	26°47'59.50"D
U-5	41°19'1.79"K	26°33'24.56"D
U-6	41°12'11.93"K	26°40'39.74"D
U-7	41°18'37.83"K	26°39'38.07"D
U-8	41°14'40.96"K	26°37'1.87"D
U-9	41° 5'41.80"K	26°40'44.42"D
U-10	41°15'36.48"K	26°50'4.29"D

Tablo A.6. Meriç bölgesine ait örneklerin koordinatları

Örnek kodları	Koordinatlar	
M-1	41°12'28.90"K	26°21'20.56"D
M-2	41° 9'13.76"K	26°23'11.36"D
M-3	41° 3'52.98"K	26°21'49.28"D
M-4	41° 6'13.43"K	26°20'44.24"D
M-5	41° 7'47.33"K	26°28'40.30"D
M-6	41°12'16.64"K	26°23'53.86"D
M-7	41°12'23.06"K	26°30'33.24"D
M-8	41°17'2.93"K	26°34'24.62"D

Tablo A.7. Keşan bölgesine ait örneklerin koordinatları

Örnek kodları	Koordinatlar	
K-1	40°59'18.46"K	26°40'12.60"D
K-2	41° 0'40.98"K	26°41'56.36"D
K-3	40°52'29.79"K	26°35'47.24"D
K-4	40°58'35.32"K	26°38'20.72"D
K-5	40°53'37.11"K	26°38'0.08"D
K-6	40°52'8.00"K	26°43'26.37"D
K-7	40°56'10.84"K	26°43'13.61"D
K-8	40°50'44.35"K	26°29'3.68"D
K-9	40°38'21.47"K	26°41'24.99"D
K-10	40°46'59.40"K	26°27'11.84"D

Tablo A.8. İpsala bölgesine ait örneklerin koordinatları

Örnek kodları	Koordinatlar	
İ-1	40°55'18.17"K	26°31'47.06"D
İ-2	40°46'8.25"K	26°20'9.51"D
İ-3	41° 1'42.81"K	26°26'45.12"D
İ-4	41° 1'55.78"K	26°29'16.50"D
İ-5	40°58'5.99"K	26°34'44.97"D
İ-6	40°53'18.17"K	26°22'39.68"D
İ-7	40°55'9.21"K	26°23'18.01"D
İ-8	40°49'35.31"K	26°25'11.20"D
İ-9	40°55'18.97"K	26°27'17.65"D
İ-10	40°49'37.92"K	26°18'27.18"D

Tablo A.9. Enez bölgesine ait örneklerin koordinatları

Örnek kodları	Koordinatlar	
En-1	40°41'56.12"K	26° 4'31.04"D
En-2	40°40'48.12"K	26° 3'55.91"D
En-3	40°38'14.37"K	26° 4'24.89"D
En-4	40°42'28.59"K	26°13'22.55"D
En-5	40°44'5.11"K	26° 9'38.41"D
En-6	40°42'3.35"K	26°19'19.25"D
En-7	40°42'47.06"K	26°16'34.18"D
En-8	40°35'40.59"K	26° 7'32.14"D
En-9	40°39'21.07"K	26°17'53.33"D
En-10	40°38'42.05"K	26°15'3.59"D

EK-B

Tablo B.1. Lalapaşa Bölgesine ait örneklerin Uranyum, Toryum ve Potasyum radyoizotoplarının gama radyoaktivite değerleri (Bq/kg)

LALAPAŞA	Ra-226 (1764,5 keV)	Th-232 (2614,5 keV)	K-40 (1460,8 keV)
L-1	54,8±13,7	59,2±12,1	377,8±37,5
L-2	SG	52,4±12,2	362,3±37,5
L-3	SG	79,7±12,2	538,1±36,9
L-4	SG	45,6±9,4	248,6±28,9
L-5	45,7±11,8	44,9±10,8	344,0±33,0
L-6	SG	84,9±10,2	520,9±33,1
L-7	40,6±11,5	54,8±11,0	496,1±33,7
L-8	SG	75,7±11,8	506,5±36,1
L-9	SG	56,0±9,8	393,8±29,0
L-10	SG	38,0±11,3	441,9±34,7
ORTALAMA	**47,03±12,33**	**59,15±11,08**	**423±34,04**

,

Tablo B.2. Süloğlu Bölgesine ait örneklerin Uranyum, Toryum ve Potasyum radyoizotoplarının gama radyoaktivite değerleri (Bq/kg)

Süloğlu	Ra-226 (1764,5 keV)	Th-232 (2614,5 keV)	K-40 (1460,8 keV)
S-1	SG	47,3±11,8	478,7±35,3
S-2	SG	55,3±13,2	374,5±37,9
S-3	SG	65,13±13,2	523,0±39,7
S-4	SG	SG	325,5±33,4
S-5	SG	58,9±10,1	488,1±33,8
S-6	SG	67,4±11,9	339,1±34,4
S-7	41,8±11,3	54,0±10,8	529,2±33,6
S-8	40,3±11,6	56,9±10,5	449,1±32,2
S-9	SG	53,5±12,1	346,5±37,4
S-10	SG	69,8±11,1	560,3±36,3
Ortalama	**41,05±11,45**	**58,69±11,63**	**445,10±35,40**

Tablo B.3. Edirne (merkez) Bölgesine ait örneklerin Uranyum, Toryum ve Potasyum Radyoizotoplarının gama radyoaktivite değerleri (Bq/kg)

Edirne	Ra-226 (1764,5 keV)	Th-232 (2614,5 keV)	K-40 (1460,8 keV)
E-1	SG	75.5±14.2	399±40.8
E-2	SG	54,3±14,4	397,2±40,9
E-3	SG	55,0±14,8	503,0±41,5
E-4	63,2±12,4	SG	385,3±33,1
E-5	SG	52,7±10,1	493,2±34,7
E-6	64,1±14,2	SG	328,4±39,7
E-7	40,9±10,9	53,2±10,1	484,8±33,6
E-8	37,6±10,5	40,2±9,5	421,5±31,9
E-9	SG	76,7±15,7	353,8±40,6
E-10	SG	56,1±14,5	259,8±39,2
Ortalama	**51,45±12**	**57,96±12,91**	**402,60±37,60**

Tablo B.4. Havsa Bölgesine ait örneklerin Uranyum, Toryum ve Potasyum Radyoizotoplarının gama radyoaktivite değerleri (Bq/kg)

Havsa	Ra-226 (1764,5 keV)	Th-232 (2614,5 keV)	K-40 (1460,8 keV)
H-1	SG	57,7±13,2	385,4±35,3
H-2	SG	55,2±10,9	411,4±33,2
H-3	SG	51,6±11,5	374,5±33,6
H-4	SG	SG	360,4±30,3
H-5	24,0±7	34,8±6,8	278,0±20,9
H-6	SG	38,6±6,1	201,9±17,8
H-7	SG	64,8±13,5	456,5±38,8
H-8	SG	51,1±12,1	432,9±35,7
H-9	SG	54,0±12,0	342,7±37,5
H-10	SG	72,5±13,0	444,1±38,5
Ortalama	**24,00±7**	**53,37±11,01**	**368,78±32,16**

Tablo B.5. Meriç Bölgesine ait örneklerin Uranyum, Toryum ve Potasyum Radyoizotoplarının gama radyoaktivite değerleri (Bq/kg)

Meriç	Ra-226 (1764,5 keV)	Th-232 (2614,5 keV)	K-40 (1460,8 keV)
M-1	SG	50,1±10,3	457,6±32,1
M-2	SG	41,7±11,8	277,7±33,2
M-3	65,6±17,1	78,0±13,5	426,9±38,9
M-4	38,1±13,5	53,7±13,2	416,8±38,5
M-5	47,8±15,8	64,0±12,4	340,9±35,3
M-6	SG	49,7±13,3	366,2±37,5
M-7	SG	50,5±11,5	SG
M-8	SG	SG	299,8±36,7
Ortalama	**50,5±47**	**55,39±12,29**	**369,41±36,03**

Tablo B.6. İpsala Bölgesine ait örneklerin Uranyum, Toryum ve Potasyum Radyoizotoplarının gama radyoaktivite değerleri (Bq/kg)

İpsala	Ra-226 **(1764,5 keV)**	Th-232 **(2614,5 keV)**	K-40 **(1460,8 keV)**
İ-1	SG	48,4±11,8	331,7±33,7
İ-2	21,0±1,7	45,3±11,5	186,4±32,3
İ-3	SG	53,4±10,8	449,2±33,3
İ-4	SG	63,3±13,0	310,9±36,9
İ-5	SG	41,0±12,2	302,2±34,7
İ-6	SG	50,1±11,1	519,0±35,0
İ-7	SG	56,1±12,3	544,3±40,2
İ-8	SG	59,5±11,4	431,0±33,7
İ-9	SG	37,7±10,6	431,0±33,7
Ortalama	21,0±1,7	50,53±11,63	389,52±34,83

Tablo B.7. Enez Bölgesine ait örneklerin Uranyum, Toryum ve Potasyum Radyoizotoplarının gama radyoaktivite değerleri (Bq/kg

Enez	Ra-226 **(1764,5 keV)**	Th-232 **(2614,5 keV)**	K-40 **(1460,8 keV)**
En-1	SG	47,4±11,5	413,3±33,8
En-2	SG	12,3±9,3	440,2±31,1
En-3	SG	68,4±13,2	621,9±41,3
En-4	SG	75,4±13,5	594,0±41,1
En-5	41,1±13,7	58,2±13,4	641,0±41,9
En-6	SG	42,2±13,2	408,6±37,9
En-7	SG	80,4±13,5	449,1±38,9
En-8	34,5±11,0	63,4±10,7	431,8±31,9
En-9	SG	SG	468,6±39,1
En-10	SG	SG	515,5±31,8
Ortalama	37,8±12,35	55,96±12,29	498,4±36,96

Tablo B.8. Keşan Bölgesine ait örneklerin Uranyum, Toryum ve Potasyum Radyoizotoplarının gama radyoaktivite değerleri (Bq/kg)

Keşan	Ra-226 **(1764,5 keV)**	Th-232 **(2614,5 keV)**	K-40 **(1460,8 keV)**
K-1	SG	63,3±13,2	329±37,2
K-2	42,3±11,6	50,2±11,3	398,0±33,3
K-3	44,7±12,1	53,0±11,9	343,1±34,2
K-4	SG	SG	325,6±37,1
K-5	SG	43,0±11,5	302,3±32,9
K-6	61,6±13,7	SG	347,6±37,7
K-7	SG	SG	503,8±39,2
K-8	SG	70,2±13,0	533,3±39,3
K-9	44,5±13,2	58,0±13,1	370,9±37,6
K-10	SG	SG	248±36,2
Ortalama	48,28±12,65	56,28±12,33	370,16±36,47

Tablo B.9. Uzunköprü Bölgesine ait örneklerin Uranyum, Toryum ve Potasyum Radyoizotoplarının gama radyoaktivite değerleri (Bq/kg)

Uzunköprü	Ra-226 **(1764,5 keV)**	Th-232 **(2614,5 keV)**	K-40 **(1460,8 keV)**
U-1	29,3±11,2	46,5±11,1	435,1±33,0
U-2	SG	49,7±12,9	341,6±37,4
U-3	34,3±10,0	50,0±13,1	249,9±36,6
1U-4	37,4±10,4	45,6±10,3	524,3±33,0
U-5	45,2±14,6	60,4±11,4	471,0±34,7
U-6	31,4±11,2	59,3±11,2	473,0±34,0
U-7	SG	SG	270,8±36,8
U-8	33,3±30,4	59,2±11,5	439,5±34,2
U-9	47,5±16,7	71,3±13,1	288,6±36,7
U-10	33,7±11,4	SG	477,3±34,5
Ortalama	36,51±14,49	55,25±11,83	397,11±35,09

KAYNAKLAR

[1] Kenneth S. Krane, ***Nuclear Physics I***, John Wiley & Sons, Inc, 1988.

[2] Atam P. Arya, "***Fundamental of Nuclear Physics***", **Allyn & Bacon, Boston, 1966.**

[3] W. Heitler, Proc. Camb. Phil. Soc., 32, p.112, 1936.

[4] J.C. Slater, N.H. Frank, "***Electromagnetism***", p.227, New York: McGraw Hill Book Co., 1947.

[5] J.M. latt, V.F. Weisskopf, "***Theoritical Nuclear Physics***", p.627, New York: John Wiley and Sons, 1952.

[6] V.F. Weiskopf, Phys. Rev., 83, p.1073L, 1951.

[7] G.Friedlander, J. W. Kenndy, E.S. Macias, J. M. Miller, "***Nuclear and Radiochemistry***", John Wiley and Sons, 1981.

[8] N. Albayrak, "***Kırıkkale'de (Türkiye) Doğal Radyasyon Kaynaklarının Belirlenmesi ve Gama Doz Oranlarının Değerlendirilmesi***", (YLT), 2011.

[9] R.D. Evans, "***The Atomic Nucleus***", McGraww –Hill Book Company, 1955.

[10] W. Heitler, "***The Quantum Theory of Radiation***", Dover Publications, New-York, 1953.

[11] M. Şenyiğit, "***Nükleer Reaksiyonlar Sonucu Açığa Çıkan Gama Işınları ve Nötronların Germanyum Dedektör Sistemleriyle Etkileşmeleri***", (Doktora Tezi), 2011.

[12] A. Yüksel, "***Gama Spektrometri Yönteminde Radyoaktivite Ölçme ve Değerlendirme***", ÇNAEM, 2013.

[13] R. Keser, "***Rize İli Sahil Kumlarında ve Bazı Kayaçlarda Doğal Gama Radyoaktivite Seviyelerinin Belirlenmesi***", (KTU), (Doktora Tezi), 2009.

[14] M. Eisenbud, "***Enviromental Radioactivit"y,*** Third Edition, ISBN. 0-12-235153, Academic Press, Inc., London, 1987.

[15] E. Yeltepe, "***Gama Spektrometri***", TAEK, 2013.

[16] G. Gilmore, "***Gamma-ray Spectrometry***", John Wiley &sons, Ltd, 2011.

[17] James E. Martin, ***Physics for Radiation Protection, Third Edition,*** 2013 by WILEY-VCH verlag GmbH&Co.KGaA., Print ISBN: 978-3-527-41176-4.

[18] H.L. Beck, "***The Physics of Environmental Radiation Fields***. Natural Radiation Environment II, CONF-720805 P2. Proceedings of the Second International Symposium on the Natural Radiation Environment, 1972.

[19] UNSCEAR, United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation, 1988. Sources, Effects and Risk of Ionizing Radiation, United Nations, New York.

[20] UNSCEAR, United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation, 2000. Sources, Effects and Risk of Ionizing Radiation, United Nations, New York.

[21] A. Kurnaz, B. Küçükömeroğlu, R. Keser, N.T. Okumuşoğlu, F. Korkmaz, G. Karahan, U. Çevik, ***Determination of radioactivity levels and hazards of soil and sediment samples in Fırtına Valley (Rize, Turkey)***, Applied Radiation and Isotops 65, 1281-1289, 2007.

[22] J. Beretka, P.J. Mathew,***Natural radioactivity of Australian building materials, industrial wastwe and by-products,*** Health Phys. 48, 87-95, 1985

[23] R. Krieger, ***Radioactivity of construction materials,*** Betonwerk, Fertigteil-Tech. 47, 468, 1981.

[24] K. Mamont-Ciesla, B. Gwiazdowski, M. Biernacka, A. Zak, ***Radioactivity of building materials in Poland. In: G. Vohra, K.C. Pillai, S. Sadavisan (Eds)***, Natural Radiation Environment. Halsted Press, New York, p. 551, 1982.

[25] ICRP, Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Vol. 21, No. 1-3, Publication, 1990.

[26] Serkan Bakkal, ***Kilis İli Toprak Örneklerinde ^{238}U, ^{232}Th, ^{40}K ve ^{137}Cs Radyoaktivite Konsantrasyonlarının Belirlenmesi***, (YLT), 2012.

[27] Nesli Albayrak, ***Kırıkkale'de (Türkiye) Doğal Radyasyon Kaynaklarının Belirlenmesi ve Gama Doz Oranlarının Değerlendirilmesi***, (YLT),İstanbul Üniversitesi, 2011.

[28] Nurgül Hafızoğlu, ***Kütahya İli ve İlçelerindeki Çevresel Gama Radyasyonu Ölçümü***, (YLT), Dumlupınar Üniversitesi, 2012.

[29] H. Aytekin, M. Çağatay Tufan, C. Küçük, ***Natural Radioactivity Measurements and Dose assessment in Sand Samples Collected from Zonguldak Beaches in Turkey***, j. Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 10.1007/s10967-014-3819-1, 2014.

[30] UNSCEAR, 1993. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation.Exposure from Natural Sources of Radiation , United Nations, Newyork.

[31] W. Arafa, Spesific Activity and Hazards of Granite Samples from the astern Desert of Egypt, J. Environ. Rasdioact. 75, 315-327, 2004.

ÖZGEÇMİŞ

6 Mart 1989 tarihinde Çorlu'da doğdum. İlköğretimi Ahmet Rıza İşbilen İlkokulu'nda, ortaöğrenimimi Cumhuriyet Ortaokulu'nda ve lise öğrenimimi Çorlu Yabancı Dil Ağırlıklı Lisesi'nde tamamladım. 2012 yılında Trakya Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümünden mezun oldum. Aynı yıl bu bölümün Nükleer Fizik Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans öğrenimime başladım.