

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

FİZİK ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ANKARA, ÇANKIRI, ÇORUM, KASTAMONU, KIRIKKALE,
SAMSUN, SİNOP VE TOKAT İLLERİNDEN ALINAN KAYAÇ
ÖRNEKLERİNİN RADYOAKTİVİTE SEVİYELERİNİN
BELİRLENMESİ**

DİDEM AVCI

KOCAELİ 2019

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ


FİZİK
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ANKARA, ÇANKIRI, ÇORUM, KASTAMONU, KIRIKKALE,
SAMSUN, SİNOP VE TOKAT İLLERİNDEN ALINAN KAYAÇ
ÖRNEKLERİNİN RADYOAKTİVİTE SEVİYELERİNİN
BELİRLENMESİ**

DİDEM AVCI

Prof. Dr. Recep Taygun GÜRAY
Danışman, Kocaeli Üniversitesi
Doç. Dr. Caner YALÇIN
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Osman GÜNAY
Jüri Üyesi, İstanbul Okan Üniversitesi


.....

.....

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 11.07.2019

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Herhangi bir nükleer kaza veya nükleer sızıntı olma durumunda çevresel radyoaktivite değerindeki artışı belirleyebilmek için mevcut radyoaktivite değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Türkiye’de, toprakta ve suda radyoaktivite değerleri üzerine birçok çalışma olmasına rağmen kayaç örnekleri üzerine yok denecek kadar az bir çalışma mevcuttur. Bu tezde; Ankara, Çankırı, Çorum, Kastamonu, Kırıkkale, Samsun, Sinop illerinden ve Tokat ilindeki Mamu Dağı’ndan alınan kayaç örneklerinin radyoaktivite değerleri ölçülmüştür.

Bu tez çalışması başta olmak üzere her konuda yardımlarını ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen değerli danışman hocam Prof. Dr. Recep Taygun GÜRAY’a teşekkür ederim. Bana her konuda yardım eden ve bilgilerini paylaşan değerli hocalarım Prof. Dr. Nalan ÖZKAN GÜRAY ve Doç. Dr. Caner YALÇIN’a teşekkürlerimi içtenlikle sunarım.

Kayaç örneklerinin toplanıp toz haline getirilmesini sağlayan, bilgilerini paylaşan ve yardımcı olan sayın Prof. Dr. Ömer Faruk ÇELİK hocama ve ona yardım eden sayın Mutlu ÖZKAN’a teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatımda beni sürekli destekleyen ve bugünlere getiren anneme teşekkür ederim. Tez yazımı sürecince desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen; hayat arkadaşım Doğan KARAKURT’a ve canım dostlarım Melike EVCİN, Esin ÇEVİK, Ezgi TANTOĞLU ve Tuğçe GEDİK’e teşekkür ederim.

Haziran – 2019

Didem AVCI

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ	v
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ÖZET.....	viii
ABSTRACT	ix
GİRİŞ	1
1. GENEL BİLGİLER	2
1.1. Radyoaktivite.....	2
1.1.1. Radyoaktivite ve radyasyon birimleri.....	3
1.2. Çevresel Radyoaktivite.....	4
1.2.1. Doğal radyoaktivite	4
1.2.2. Doğal radyoaktif seriler	7
1.2.3. Yapay radyoaktivite.....	11
1.2.4. Radyoaktivitenin sağlığa etkisi.....	12
1.3. İyonlaştırıcı Radyasyonlar	13
1.3.1. Nötron radyasyonu	14
1.3.2. X-ışını radyasyonu.....	14
1.3.3. Alfa radyasyonu.....	14
1.3.4. Beta radyasyonu	15
1.3.5. Gama radyasyonu	17
1.4. Gama Radyasyonunun Madde İle Etkileşimi	17
1.4.1. Fotoelektrik olay	17
1.4.2. Compton saçılması	18
1.4.3. Çift oluşum	19
1.5. Kayaç Türlerinde Radyoaktivite.....	20
1.6. Çevresel Radyoaktivite İle İlgili Literatür Özeti	21
1.7. Radyoaktif Bozunma Yasası	26
1.8. Radyoaktif Bozunma Zincirleri	27
2. DENEYSEL YÖNTEM.....	30
2.1. Arazi Çalışmaları ve Örnek Alımı.....	30
2.2. Örneklerin Ölçüme Hazırlanması.....	34
2.3. Gama Işını Sayım Sistemi	34
2.3.1. Yüksek saflıkta germanyum dedektörü (HpGe).....	35
2.3.2. Elektronik sistem	37
2.4. Veri Analizi	38
2.4.1. Enerji kalibrasyonu.....	38
2.4.2. Verim kalibrasyonu	41
2.4.3. Fotopik alan hesabı.....	42
2.4.4. Aktivite ve spesifik aktivite.....	46
2.4.5. Belirsizlik.....	47

3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	49
3.1. Kayaç Örnekleri Sonuçları	49
3.2. Öneriler	51
KAYNAKLAR	54
EKLER	57
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER	93
ÖZGEÇMİŞ	94



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Doğal radyasyon kaynakları	5
Şekil 1.2.	²³⁸ U bozunma serisi.....	8
Şekil 1.3.	²³⁵ U bozunma serisi.....	9
Şekil 1.4.	²³² Th bozunma serisi	10
Şekil 1.5.	Yapay radyasyon kaynakları.....	11
Şekil 1.6.	Günlük yaşamda karşılaşılabilecek radyasyon dozlarından örnekler	12
Şekil 1.7.	İyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon etkileri	13
Şekil 1.8.	Alfa bozunma örneği	15
Şekil 1.9.	Beta (β^-) bozunma örneği	15
Şekil 1.10.	Beta (β^+) bozunma örneği	16
Şekil 1.11.	Gama bozunma örneği	17
Şekil 1.12.	Fotoelektrik olay	18
Şekil 1.13.	Compton saçılması	18
Şekil 1.14.	Çift oluşum	19
Şekil 1.15.	Gama ışınlarının madde ile etkileşme biçimleri	20
Şekil 1.16.	Kayaç türleri.....	21
Şekil 1.17.	Üç çekirdekli zincir radyoaktif bozunma.....	28
Şekil 1.18.	Birincil ürün çekirdeğin ana çekirdeğin aktivitesine oranı (a) geçici denge, (b) kalıcı denge durumu	29
Şekil 2.1.	FEM ve FMR örneklerinin alındığı noktaların haritada gösterimi.....	31
Şekil 2.2.	TA örneklerinin alındığı noktaların haritada gösterimi	32
Şekil 2.3.	ORTEC GEM25P4-70 model HpGe dedektörü	35
Şekil 2.4.	ORTEC GEM25P4-70 model HpGe dedektörünün içi	36
Şekil 2.5.	n ve p tipi dedektörler	36
Şekil 2.6.	HpGe dedektör devar sistemi	37
Şekil 2.7.	Gama sayımı şematik elektronik sistemi	37
Şekil 2.8.	Enerji kalibrasyon grafiği	40
Şekil 2.9.	Verim kalibrasyon grafiği	42
Şekil 2.10.	Fotonun dedektör içerisindeki olasılıkları (Kırmızı çizgiler elektronu temsil etmektedir)	43
Şekil 2.11.	Foton ve dedektör arasındaki etkileşimler	44
Şekil 2.12.	Net fotopik alanı ve fon alanı.....	45
Şekil 3.1.	²³⁸ U spesifik aktivite değerleri ve ortalamasının, UNSCEAR değeri ile karşılaştırılması	52
Şekil 3.2.	²³² Th spesifik aktivite değerleri ve ortalamasının, UNSCEAR değeri ile karşılaştırılması	52
Şekil 3.3.	⁴⁰ K spesifik aktivite değerleri ve ortalamasının, UNSCEAR değeri ile karşılaştırılması	53

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1.1.	Dünya geneli doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan ortalama radyasyon doz değerleri	6
Tablo 1.2.	Türkiye'nin batısında yer alan bazı granitoidlerindeki radyoizotopların aktivitesi (Bq/kg)	22
Tablo 1.3.	Granit örneklerindeki doğal radyoizotopların (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K) histogram ve aktivite konsantrasyonları ile radyum eşdeğer aktivitesi R_{aeq})	23
Tablo 1.4.	Farklı kayaç türlerindeki ortalama K, U ve Th değerleri	24
Tablo 1.5.	Kayaç örneklerinin uranyum, toryum ve potasyum ortalama aktivite konsantrasyonları	24
Tablo 1.6.	Farklı örneklerde ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları	25
Tablo 1.7.	Çankırı'nın toprak örneklerinde aktivite konsantrasyonları ve literatürle karşılaştırılması.....	25
Tablo 2.1.	Alınan örnek noktalarının koordinatları (UTM türünden)	32
Tablo 2.2.	Kullanılan HpGe dedektörünün özellikleri	37
Tablo 2.3.	Yaygın olarak kullanılan standart kalibrasyon kaynaklarındaki izotoplar	39
Tablo 2.4.	Her bir izotopun enerjisine karşılık kanal numarası	40
Tablo 3.1.	Kayaç örneklerinin spesifik aktivite ve belirsizlik değerleri	49
Tablo 3.2.	Ortalama üstü çıkan doğal radyoaktif izotop değerleri	51

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	: Aktivite
A_0	: Başlangıçtaki aktivite
Bq	: Becquerel
C	: Coulomb
Ci	: Curie
E	: Enerji
Gy	: Gray
keV	: Kilo Elektron Volt
kg	: Kilogram
KN	: Kanal Numarası
mCi	: Mili Curie
MeV	: Mega Elektron Volt
mSv	: Mili Sievert
n	: Nötron
N	: Radyoaktif Çekirdeklerin Sayısı
N_i	: i. Kanaldaki Sayım Sayısı
N_{net}	: Fotonun Net Alanı
N_{top}	: Fotonun Toplam Alanı
p	: Proton
R	: Röntgen
α	: Alfa
σ	: Belirsizlik
β	: Beta
λ	: Bozunma Sabiti
e^-	: Elektron
ε_γ	: Gama Işını Verimi
I_γ	: Gama Işınının Yayınlanma Olasılığı
ν	: Nötrino
τ_m	: Ortalama Ömür
e^+	: Pozitron
S_A	: Spesifik Aktivite
$t_{1/2}$: Yarı Ömür

Kısaltmalar

B	: Background (Fon)
EC	: Electron Capture (Elektron Yakalama)
FA	: Fon Alanı
HpGe	: High Purity Germanium Detectors (Yüksek Saflıkta Germanyum Dedektörü)

IAEA : International Atomic Energy Agency (Uluslararası Atom Enerjisi
Ajansı)
MDA : Minimum Detectable Activity (Minimum Ölçülebilir Aktivite)



ANKARA, ÇANKIRI, ÇORUM, KASTAMONU, KIRIKKALE, SAMSUN, SİNOP VE TOKAT İLLERİNDEN ALINAN KAYAÇ ÖRNEKLERİNİN RADYOAKTİVİTE SEVİYELERİNİN BELİRLENMESİ

ÖZET

Karadeniz Bölgesi ve İç Anadolu Bölgesi'nin belli noktalarından alınan kayaç örneklerinin radyoaktif seviyeleri ölçülerek, bu konuda literatüre katkı sağlanmıştır. Kayaç örnekleri, Kocaeli Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nden sağlanmıştır. Ölçümler, Nükleer Fizik Araştırma Laboratuvarı'nda HpGe dedektörü kullanılarak yapılmıştır. Örneklerde, doğal radyoaktivite için ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K izotoplarının ve yapay radyoaktivite için ^{137}Cs izotopunun spesifik aktivite değerleri ölçülmüştür. Toplam 62 tane kayaç örneklerinin ölçümü sonucunda, bazı magmatik kayaç türlerinde ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K radyoaktif izotop seviyesinin yüksek olduğu gözlenmiştir. Bütün örnekler için ^{137}Cs radyoaktif seviyesi minimum ölçülebilir aktivite değerinden fazla bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Aktivite, Doğal Radyoaktivite, HpGe Dedektörü, Kayaç, ^{137}Cs .

DETERMINATION OF RADIOACTIVITY LEVELS OF ROCK SAMPLES COLLECTED FROM ANKARA, ÇANKIRI, ÇORUM, KASTAMONU, KIRIKKALE, SAMSUN, SİNOP AND TOKAT

ABSTRACT

Radioactive levels of rock samples taken from certain points of Black Sea Region and Central Anatolia Region were measured and contribution was made to the literature. Rock samples were obtained from Department of Geological Engineering at Kocaeli University. Measurements were carried out using the HpGe detector in the Nuclear Physics Research Laboratory. Specific activities of ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K isotopes for natural radioactivity, and ^{137}Cs isotope for artificial radioactivity were measured in the samples. As a result of the measurement of 62 rock samples, ^{238}U , ^{232}Th and ^{40}K radioactive isotope levels were observed in some magmatic rock species. The ^{137}Cs radioactivity level for all samples was found to be greater than the minimum detectible activity value.

Keywords: Activity, Natural Radioactivity, HpGe Detector, Rock, ^{137}Cs .

GİRİŞ

Canlıların yaşamları boyunca devamlı bir şekilde maruz kaldığı doğal radyoaktivite, karasal radyasyon ve kozmik radyasyon kaynaklıdır. ^{238}U , ^{232}Th serileri ve ^{40}K radyoaktif izotopları doğal radyoaktivitede yer alır. ^{238}U ve ^{232}Th 'un yarı ömürleri milyar yıl mertebesinde olduğundan radyoaktif ürünleri ile kalıcı dengede bulunmaktadır. Dolayısıyla radyoaktivite ölçümü mümkün olan ürünlerinin ölçümü ile direk olarak ^{238}U ve ^{232}Th 'un radyoaktif değerlerine ulaşılmaktadır.

Yapay radyoaktivite; medikal görüntülemeler ve uygulamaları, Çernobil gibi nükleer kazalar sonucu oluşan radyoaktif maddeler ve çeşitli nükleer denemelerle meydana gelen nükleer serpintiler kaynaklıdır. Örneğin; uzun ömre sahip olan ^{137}Cs radyoaktif izotopu, yapay radyoaktivite içerisinde yer alır.

Doğada ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K izotopları; toprak, su ve kaya gibi birçok ortamda bulunmaktadır. Toprakta ve suda radyoaktif ölçüm üzerine uzun yıllardır birçok çalışma yapıldığı görülmektedir. Ancak kayaç örnekleri üzerine çalışmalar az sayıdadır.

Bu tezin amacı; Ankara, Çankırı, Çorum, Kastamonu, Kırıkkale, Samsun, Sinop illerinden ve Tokat ilindeki Mamu Dağı'ndan toplanan kayaç örneklerinin spesifik radyoaktif değerlerini ölçmek, ölçüm metodlarını anlatmak ve literatüre kazandırmaktır.

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Radyoaktivite

1896 yılında Henri Becquerel, Wilhelm Röntgen tarafından keşfedilen x-ışınları üzerine fosforlu maddelerle deney yaparken uranyum tuzu kristallerinin görünmeyen bir enerji yayınladığını tesadüfen keşfetti. Hiçbir ışık olmamasına rağmen, fotoğraf plaklarının uranyum tuzu tarafından yayınlanan enerjiyle karardığını gördü. Daha sonra kontrollü bir şekilde pek çok sayıda deney yapan Becquerel, yayınlanan enerjinin yeni bir tip olduğunu keşfetti. Uranyumun, dış uyarı olmadan kendiliğinden enerji yayınlama olayına 'radyoaktiflik' adı verildi.

Daha sonraları gerçekleştirilen benzer deneylerle birkaç maddenin de radyoaktif özellik gösterdiği bulundu. Bu tür çalışmalar arasında en önemlisi Marie ve Pierre Curie tarafından yapıldı. Radyoaktif cevher olan radyum ve uranyumlu madenin tonlarcası, uzun ve dikkatli bir süreç gerektiren kimyasal arıtma işlemlerine maruz bırakıldı ve bu işlemler sonucunda, polonyum ve radyum elementleri keşfedildi [1].

Doğadaki elementlerin atomları, proton ve nötron sayılarına göre, kararlı ve kararsız çekirdekler olmak üzere ikiye ayrılır. Kararlı çekirdeklerde, genellikle nötron sayıları proton sayılarından biraz daha fazladır ve nötron sayılarının proton sayılarına oranı yaklaşık olarak 1,50 civarındadır [24]. Hafif çekirdeklerde nötron sayılarının proton sayılarına oranı 1 iken, ağır çekirdeklerde bu oran ve enerji fazlalığı artmaktadır [24]. Bu tür çekirdeklere radyoaktif çekirdekler adı verilir. Proton sayıları belirtilen oranlardan fazla olan çekirdeklerde, elektrostatik itme kuvveti olacağından bir kararsızlık durumu oluşur. Dengeli durumda olmayan kararsız çekirdekler, enerji fazlalıklarını atarak temel hale dönmeye çalışırlar. Bu olaya radyoaktivite adı verilir. Hiçbir dış uyarı olmadan kararsız çekirdeklerin kararlı çekirdekler haline dönüşmesi olayına doğal radyoaktivite, bir müdahale sonucu gerçekleşen dönüşüm olayına yapay radyoaktivite adı verilir. Doğal ve yapay radyoaktivite, Bölüm 1.2'de detaylı bir şekilde anlatılacaktır.

1.1.1. Radyoaktivite ve radyasyon birimleri

Aktivite Birimi;

Bir radyoaktif kaynağın aktivitesi, bozunma oranının temel kanunu olarak,

$$\left. \frac{dN}{dt} \right|_{\text{bozunma}} = -\lambda N \quad (1.1)$$

şeklinde verilir. Burada; N, radyoaktif çekirdeklerin sayısıdır ve λ , bozunma sabitidir. Aktivitenin tarihsel birimi Curie (Ci) $3,7 \times 10^{10}$ parçalanma/saniye olarak tanımlanır ve 1 gram saf radyum izotopunun (^{226}Ra) aktivitesinin en uygun tahminidir [2]. Laboratuvarlarda genellikle, ölçü biriminin alt katları olan milicurie (mCi) veya mikrocure (μCi) kullanılır.

Curie'nin SI birimindeki eş değeri Becquerel (Bq)'dir. Saniyede bir parçalanma olarak tanımlanır ve aralarındaki ilişki,

$$1 \text{ Bq} = 2,703 \times 10^{-11} \text{ Ci}$$

şeklinde dir. Laboratuvarda genellikle kilobecquerel (kBq) veya megabecquerel (MBq) cinsinden ölçüm yapılır.

Radyasyon; radyoaktivite kaynaklı enerjinin, parçacıklar ve dalgalar halinde yayılmasıdır. Radyasyonun etkisi, ışınlama ve dozla ölçülür.

İşinlama Birimi;

Birim hava kütlesi başına yüklenme (pozitif ve negatif iyonlar) olarak tanımlanır. İşinlamanın özel birimi Röntgen (R)'dir. 1 Röntgen; 1 cm^3 kuru havada, standart sıcaklık ve basınçta, X-ışınlarının ürettiği elektronlar ve gama ışını ölçüsüdür [4]. Röntgenin SI birimi ise Coulomb/kg (C/kg)'dir. Aralarındaki ilişki,

$$1 \text{ R} = 2,58 \times 10^{-14} \text{ C/kg}$$

olarak tanımlıdır.

Soğurulma Doz Birimi;

Radyasyondan korunma, diğer radyasyon tiplerini ve hava dışındaki ortamları da içerebilir. Röntgen, sadece elektromanyetik radyasyon olarak tanımlıdır ve hava cinsindedir [4]. Bu sebeple, soğurulma doz birimi veya rad olarak adlandırılan başka bir özel birim bulunur. Doz, hedefteki kütlelerin birim başına soğurduğu enerji olarak tanımlanır. Soğurulan dozun SI birimi ise Gray (Gy)'dir. Aralarındaki ilişki,

$$1 \text{ rad} = 10^{-2} \text{ Gy}$$

olarak tanımlıdır.

Doz Eşdeğer Birimi;

Soğurulan dozun biyolojik etkileri için kullanılan birim, doz eşdeğer birimidir. Özel birimi Rem (Roentgen Equivalent Man=İnsan Eşdeğeri Röntgen), SI birimi ise Sievert (Sv)'dir. Aralarındaki ilişki,

$$1 \text{ rem} = 10^{-2} \text{ Sv}$$

olarak tanımlıdır.

1.2. Çevresel Radyoaktivite

Çevresel radyoaktivite çalışmaları, radyoaktif çekirdeklerin, içinde bulunduğumuz çevrede oluşturduğu etkilerinin incelenmesi ve değerlendirilmesidir. Çevresel radyoaktivite, doğal radyoaktivite ve yapay radyoaktivite olarak ikiye ayrılabilir.

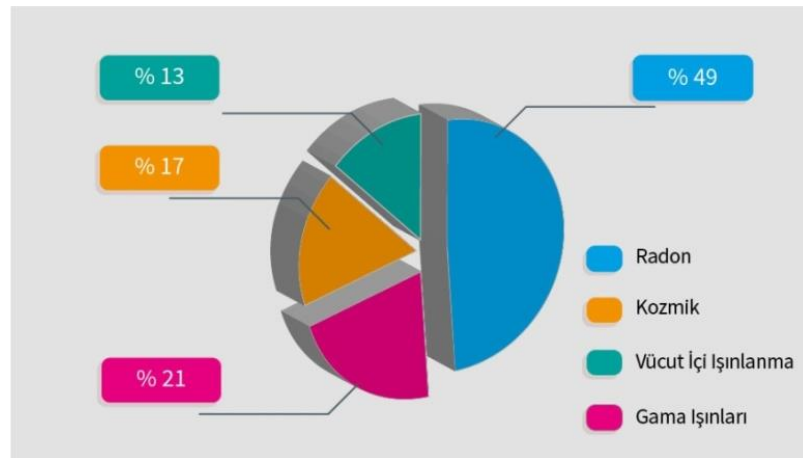
1.2.1. Doğal radyoaktivite

Doğal radyoaktivitenin kökeni, evrenin oluşumuna dayanmaktadır. Evren, yaklaşık 13,8 milyar yıl öncesinde belirsiz bir hacme sahip, sonsuz yoğunluktaki bir tekillikten oluşmuştur. Big Bang (Büyük Patlama) sonrasında takip eden birkaç dakika içerisinde, bol miktarda Hidrojen ve Helyum çekirdekleri sentezlenmiştir. Bu elementler uzayda kütle çekimi etkisiyle daha yoğun hacimler oluşturmak üzere kümelenmişlerdir [35]. Bu kümelenmiş bölgeler, galaksiler oluşturmak için evrimleşmiştir. Daha yoğun bölgelerde ise Hidrojen ve Helyum (nebula) bulutları çöküp, atomlar kütle çekimi ile yıldızların merkezine doğru çekilmiştir [35]. Sıcaklık

ve yoğunluk artışıyla hidrojen yanması, helyum yanması ve birbirini takip eden süreçler gerçekleşmiştir. Böylece daha ağır çekirdekler oluşmuş ve süpernova patlamaları sayesinde radyoaktif çekirdekler uzaya saçılarak, doğal radyoaktivite ışınlanması başlamıştır.

Dünyanın oluşumundan beri var olan çekirdekler: ^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th ve ^{40}K 'dir. Radyoaktif izotopların dağılımı ve radyasyon seviyeleri bilgisi, hem karasal hem de kozmik ışınlardan kaynaklanan ışınlanmanın etkilerini değerlendirme açısından oldukça önemlidir [10].

Doğal radyoaktivite, karasal radyasyon ve kozmik radyasyon olarak ikiye ayrılabilir. Karasal radyasyon; toprak, yapı malzemeleri, su, kayaç ve atmosferde değişen miktarlarda bulunan radyoaktif izotoplardan kaynaklanır [10]. Karasal radyasyona en büyük katkıyı uranyum bozunma ürünlerinden biri olan radon gazı sağlamaktadır. Bunun sebebi, radonun içinde yer aldığı bozunma serisinin, neredeyse tüm doğal yapılarda bulunabilir olmasıdır. Böylece radon gazı; kayaç, toprak ve yapı malzemelerinden salınarak karasal radyasyona katkı sağlar. Karasal radyasyonu oluşturan radyoaktif izotopların bazıları insanlara, besin zinciri veya soluma yolu ile iç ışınlanmayı meydana getirip aktarılırken, dünyanın dışından gelen kozmik ışınlar ise insanlarda dış ışınlanmayı meydana getirip aktarılır [13]. Kozmik radyasyon; Güneş'teki patlamalar ile uzaya radyoaktif çekirdeklerin saçılmasıyla oluşur. Şekil 1.1'de doğal radyasyon kaynakları, Tablo 1.1'de ise dünya geneli doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan ortalama radyasyon doz değerleri verilmektedir.



Şekil 1.1. Doğal radyasyon kaynakları [25]

Tablo 1.1. Dünya geneli doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan ortalama radyasyon doz değerleri [17]

Dünya Geneli Doğal Radyasyon Kaynaklarından Maruz Kalınan Ortalama Radyasyon Doz Değerleri		
Işınlama Kaynağı	Yıllık Etkin Doz Değeri (mSv)	
	Ortalama	Tipik Aralık
Kozmik Radyasyon		
-Doğrudan iyonlaştırıcı ve foton bileşeni	0,28	
-Nötron bileşeni	0,10	
Kozmojenik Radyoizotoplar	0,01	
Toplam	0,39	0,3–1,0 ^(a)
Karasal Dış Işınlama		
-Açık alan	0,07	
-Kapalı alan	0,41	
Toplam	0,48	0,3–0,6 ^(b)
Solunum Yolu İle Işınlama		
-Uranyum ve Toryum serileri	0,006	
-Radon (222Rn)	1,15	
-Toron (Rn-220)	0,10	
Toplam	1,26	0,2–10 ^(c)
Beslenme Yolu ile Işınlama		
-Potasyum (K-40)	0,17	
-Uranyum ve Toryum serileri	0,12	
Toplam	0,29	0,2–0,8 ^(d)
GENEL TOPLAM	2,4	1-10

(a) Deniz seviyesinden yüksekliğe bağlı

(b) Toprak ve yapı malzemelerinin radyoizotop karışımlarına bağlı

(c) Kapalı alanda radon gazı birikimine bağlı

(d) Yiyecek ve içme sularındaki radyoizotopların karışımlarına bağlı

Karasal radyasyon ve kozmik ışınlar, sürekli ve doğal bir şekilde ışınlama oluştururlar. Oluşturulan bu ışınlama, doğal fon radyasyonu olarak genel bir şekilde ifade edilmektedir. Fon radyasyonu; doğal ve yapay kaynaklar dahil olmak üzere, dünya üzerindeki her canlının maruz kaldığı, her yerde bulunan iyonlaştırıcı radyasyondur [5]. Bölüm 1.2.4’de iyonlaştırıcı radyasyon anlatılacaktır.

Çevresel doğal radyoaktivite ve gama radyasyonuna bağlı dış ışınlama, temel olarak jeolojik ve coğrafi koşullara bağlıdır, her bölgenin toprak ve kayaç örneklerinde farklı seviyelerde ortaya çıkar [7-9].

1.2.2. Doğal radyoaktif seriler

Doğal radyoaktivite, evrenin oluşumundan beri vardır. Bunun sebebi ise, doğal radyoaktiviteye katkıda bulunan radyoaktif izotopların çok uzun yarı ömürlü olup günümüze kadar gelmeleridir. Bu radyoaktif izotoplar; uranyum ve toryum serilerinden ve ^{40}K radyoaktif izotoplarından gelen gama radyasyonu kaynaklıdır [6].

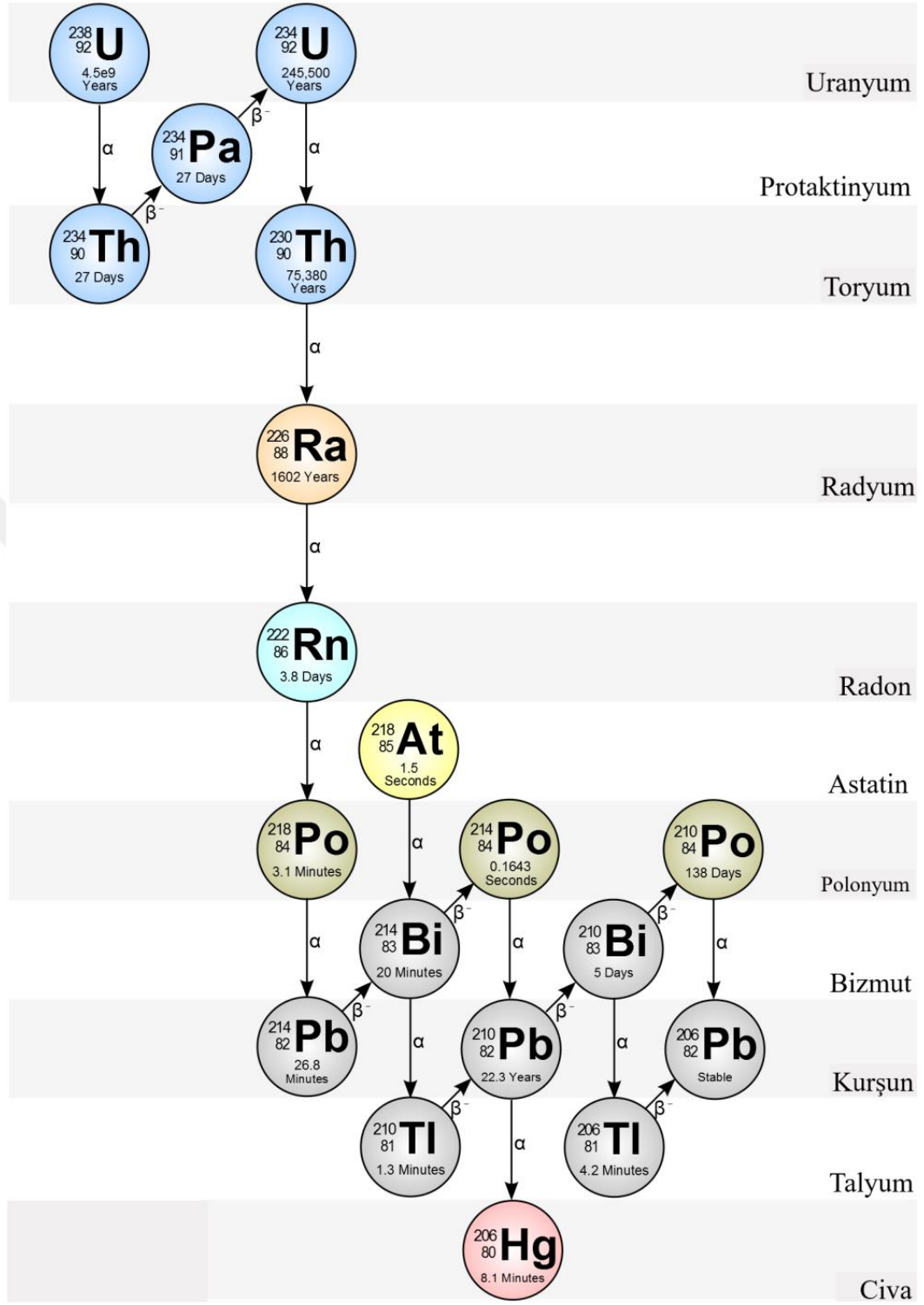
Radyoaktif seriler; kararlı durumdaki bir izotop elde edilene kadar radyoaktif bozunmanın sıralı bir şekilde devam ettiği zincirlerdir. Nükleer malzemelerde yaş tayini için radyoaktif seriler kullanılabilir.

Uranyum atomu, doğal ortamda bulunan en ağır atomdur. Nükleer santrallerde yakıt olarak kullanılan uranyumun aktivitesi çok düşüktür, bu nedenle risk oranı da azdır. Nükleer santrallerde uranyum dışındaki yakıt çevrimlerinin kullanılabilmesi hızlandırıcı güdümlü sistemlere ilgi daha fazla artmaktadır. Çalışma prensibiyle, kaza olasılığını neredeyse ortadan kaldıran bu sistemlerin gelişmesiyle atık madde üretimi azalacaktır.

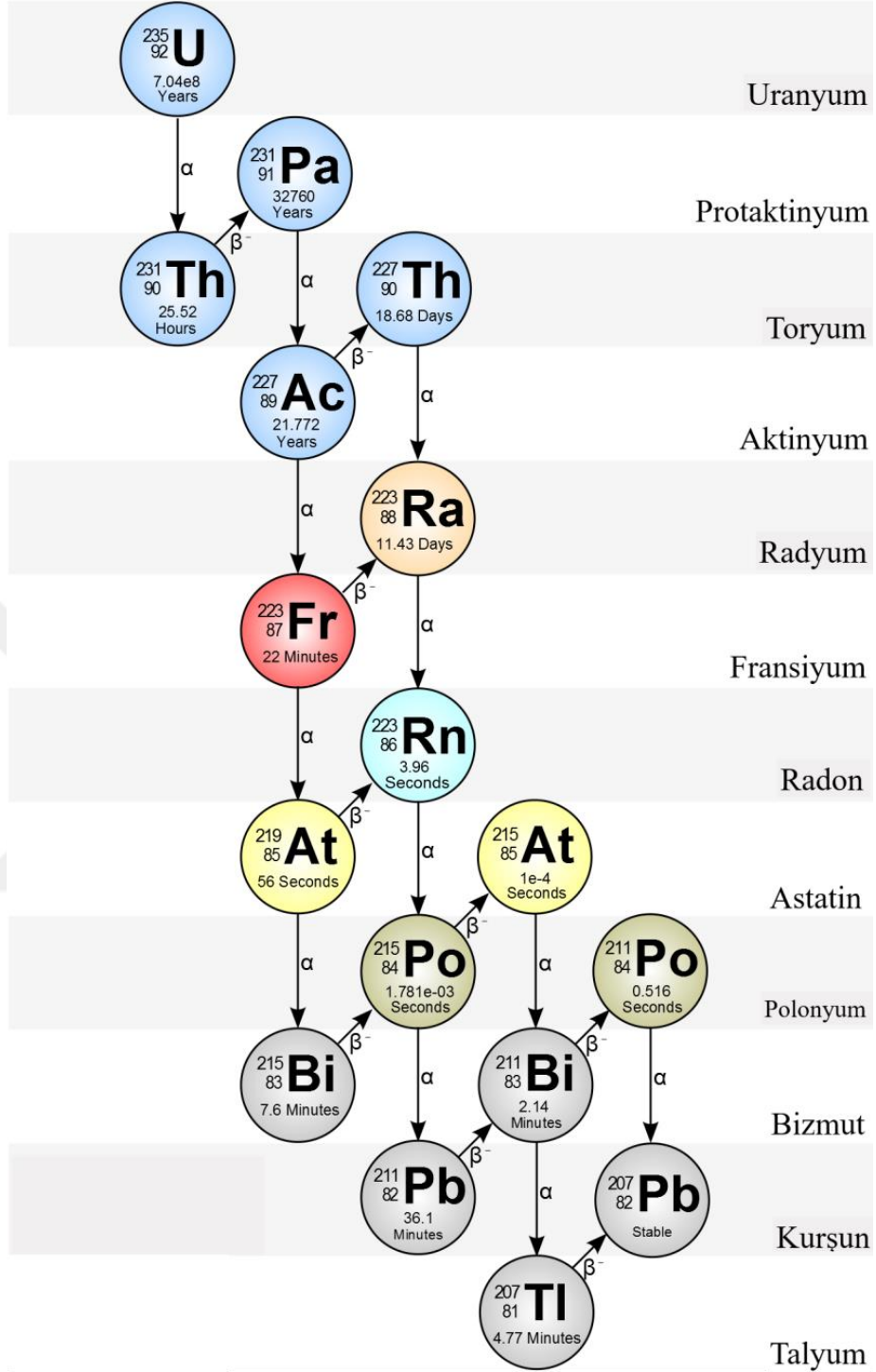
Uranyumun tüm izotopları kararsız ve radyoaktiftir; ancak ^{238}U ve ^{235}U yarı ömürlerinin milyar yıl mertebesinde olması sebebiyle hala varlıklarını sürdürmektedirler. ^{235}U , kolayca parçalanabilen anlamına gelen fisil izotop olarak adlandırılmaktadır. ^{238}U ve ^{235}U radyoaktif seviye ölçümü ise ürünlerinin radyoaktif seviye ölçümü ile gerçekleştirilmektedir.

Günümüzde doğal uranyumun %99,3'ünü ^{238}U , %0,7'sini ^{235}U oluşturur. Şekil 1.2 ^{238}U bozunma serisini, Şekil 1.3 ise aktinyum serisi olarak da adlandırılan ^{235}U bozunma serisini göstermektedir.

Uranyum bozunma serisindeki ürünlerden biri olan radon, kimyasal reaksiyona giremeyen en önemli doğal radyoaktif gazdır. Her yerde bulunur, renksiz ve kokusuz bir gaz türüdür. Havadan daha ağır olan radon gazı; ev, okul, işyeri gibi kapalı ortamlarda zeminde, açık ortamlarda ise toprakta birikir. Kapalı ortamlarda radon gazı birikimi sağlık açısından tehlikeli oluşturabileceği için havalandırma yapıp birikim engellenmelidir. Atmosfere karışan radon gazı, tehlike oluşturmamaktadır.

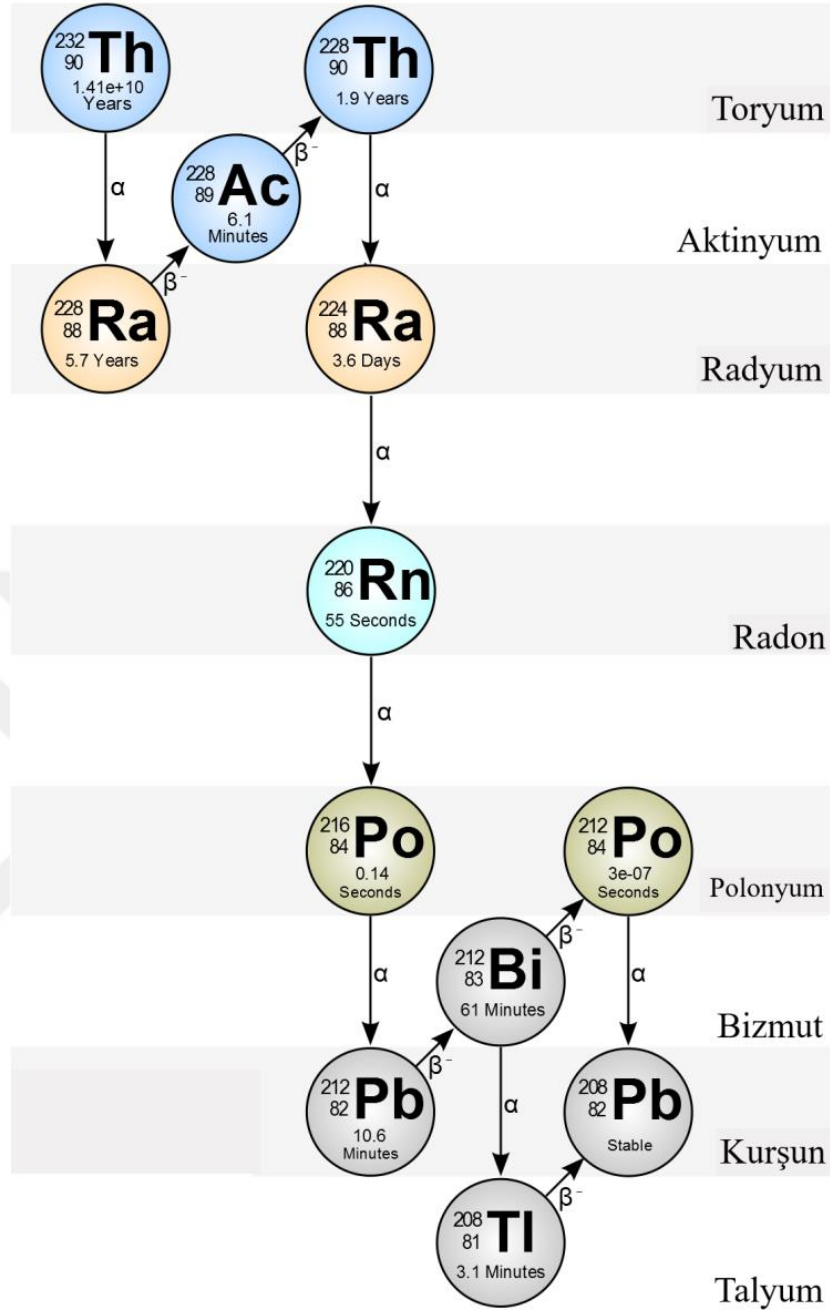


Şekil 1.2. ^{238}U bozunma serisi [36]



Şekil 1.3. ^{235}U bozunma serisi [36]

Doğal radyoaktivitede önemli izotoplardan biri toryumdur. Toryum izotopları kararsızdır, ancak ^{232}Th izotopunun yarı ömrü milyar yıl mertebesinde olması sebebiyle hala varlıklarını sürdürmektedirler. ^{232}Th izotopunun radyoaktif seviye ölçümü ise ürünlerinin radyoaktif seviye ölçümü ile gerçekleşir. Şekil 1.4, ^{232}Th bozunma serisini göstermektedir.



Şekil 1.4. ^{232}Th bozunma serisi [36]

Toryum, uranyumdan üç ila dört kat daha fazla miktarda bulunur ve uranyumdan daha kolay bir şekilde çıkarılır. Bu nedenle nükleer santrallerde yakıt olarak uranyum yerine toryumun kullanılması gündemdedir. Toryumun yakıt olarak kullanılmasıyla daha az radyoaktif madde çıkışı ve daha az atık oluşumu meydana gelir.

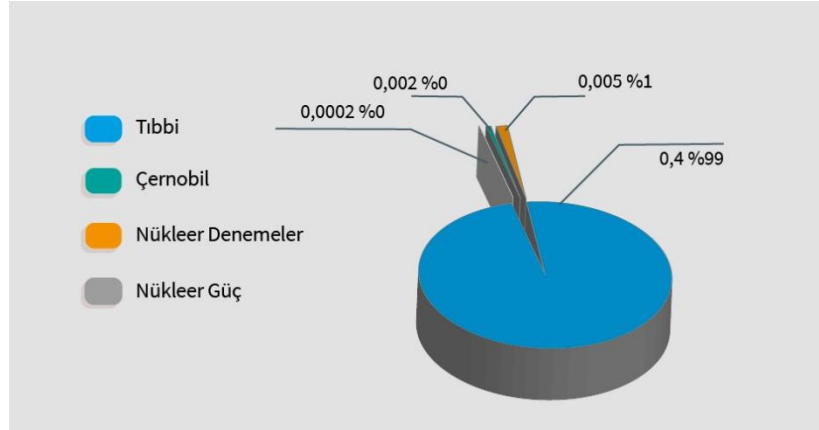
Doğal radyoaktivitede önemli bir diğer izotop ise potasyumdur. ^{40}K ; doğal potasyumda az miktarda bulunur, insan vücudundaki aktivitenin yarısından fazlasının kaynağıdır.

1.2.3. Yapay radyoaktivite

Radyoaktivite, maddelerin temel bir özelliğidir. Evrenin oluşumu sırasında dünyada radyoaktif izotopların bir kısmı üretilmiştir; yarı ömrü kısa olanlar bozunup, dünyadan kaybolmuştur. Yarı ömrü çok uzun olanlar ise günümüze kadar gelebilmiştir. Nükleer reaksiyonlarla radyoaktif izotoplar üretmek, o zamandan beri kaybolmuş olan kısa ömürlü radyoaktif izotopların yeniden yaratılması anlamına gelmektedir [34].

Günümüzde, ihtiyaç duyulan radyoaktif izotoplar elde edilebilmektedir. Yapay radyoaktiviteyi, özellikle bilim insanları, doktorlar ve mühendisler kullanmaktadırlar.

Günlük yaşamda maruz kalınan toplam radyasyonun; %88'ini doğal radyasyon, %12'sini ise yapay radyasyon oluşturmaktadır. Yapay radyasyona en büyük katkı, tıbbi amaçlı kullanılan medikal görüntülemeler ve uygulamalar tarafından sağlanmaktadır. ¹³⁷Cs radyoaktif izotopu, yapay radyasyonda yer almaktadır. Şekil 1.5'te ise yapay radyasyon kaynakları verilmektedir. Çernobil gibi nükleer kazalar sonucu oluşan radyoaktif maddeler ve çeşitli nükleer denemelerle meydana gelen nükleer serpintiler de yapay radyasyona katkı sağlamaktadır.



Şekil 1.5. Yapay radyasyon kaynakları [25]

Ayrıca doğada kararlı bir halde bulunan izotoplar, belirli reaksiyonlarla kararsız izotoplar haline getirilebilir. Bu şekilde de yapay radyoaktivite oluşturulması mümkündür.

1.2.4. Radyoaktivitenin sağlığa etkisi

Canlılar yaşamları boyunca sürekli olarak radyasyona maruz kalmaktadır. Bu radyasyona, doğal ve yapay radyoaktiviteden gelen ışınlamalar katkıda bulunmaktadır. Doğal radyoaktivite bölümünde yer alan Tablo 1.1 incelendiğinde, yıllık olarak alınan doğal radyasyon dozunun 1-10 mSv arasında olduğu görülmektedir. Şekil 1.6'ta ise günlük yaşamda karşılaşılabilecek radyasyon dozlarından örnekler verilmektedir.



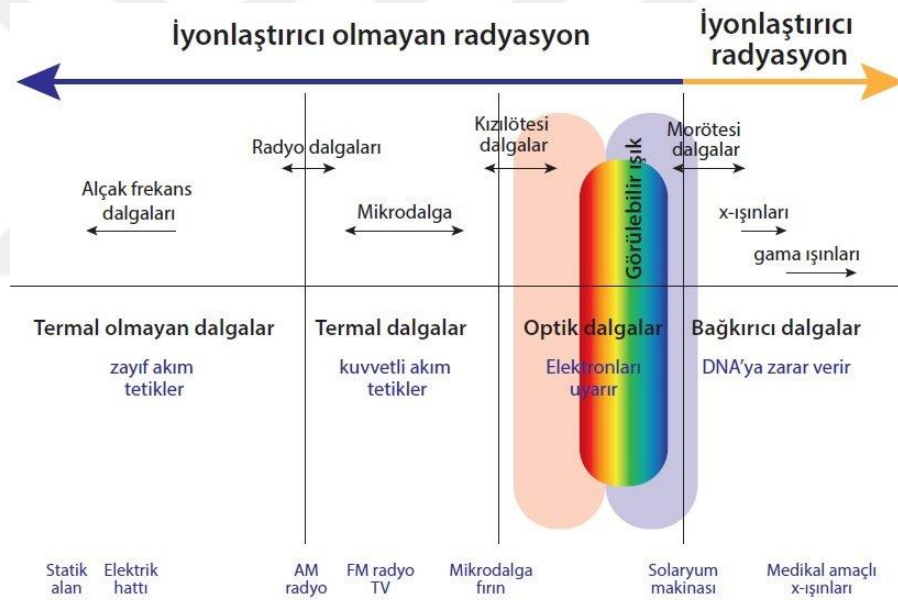
Şekil 1.6. Günlük yaşamda karşılaşılabilecek radyasyon dozlarından örnekler [26]

Radyasyon dozlarını sağlık açısından değerlendiren, halkı koruma ve bilinçlendirme amacıyla kurulan çeşitli kurumlar vardır. Bu kurumlar;

- Uluslararası Radyolojik Korunma Komisyonu (ICRP),
- Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi (UNSCEAR),
- Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA),
- Avrupa Atom Enerjisi Topluluğu (EURATOM),
- Uluslararası Radyasyon Birimleri Komisyonu (ICRU),
- Dünya Sağlık Örgütü (WHO),
- Uluslararası Standartlar Organizasyonu (ISO),

olarak sıralanabilirler [11]. ICRP'nin radyasyon dozlarıyla ilgili güncel veriler toplayıp, radyasyon doz sınırlarını belirleme görevini ülkemizde Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) üstlenmektedir.

Sağlık açısından radyasyon ikiye ayrılabilir, iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon. İyonlaştırıcı radyasyon; atomdaki elektronlarla etkileşime girerek onları iyonize eder. Canlı hücrelerdeki atomlar iyonize olursa hücre, oluşan hasarı kendi onarılabilir. Eğer onarım gerçekleşmezse hücre ya ölür, ya da kanserli hale dönüşebilir. İyonlaştırıcı radyasyona maruz kalmak tehlikeli sonuçlar ortaya çıkarabilir. İyonlaştırıcı olmayan radyasyon; atomdaki elektronlarla etkileşmeye giremez ve onları iyonize edemez. Şekil 1.7'de iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon etkileri verilmektedir.



Şekil 1.7. İyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon etkileri [31]

1.3. İyonlaştırıcı Radyasyonlar

İyonlaştırıcı radyasyon; elektromanyetik dalgalar (gama veya X-ışınları) veya parçacıklar (nötronlar, beta veya alfa) şeklinde hareket eden atomlar tarafından meydana gelen bir enerji türüdür. Çarptığı atomlarla etkileşime girip yüklü parçacıklar oluşturur. İyonlaştırıcı radyasyonlar; nötron, X-ışını, alfa, beta ve gama radyasyonu olarak ayrılabilir.

1.3.1. Nötron radyasyonu

Nötron radyasyonu; nükleer reaksiyonlar ile ortaya çıkan serbest nötronlar olarak salınır. Nötronun yükü olmadığı için, bir atomun çekirdeğiyle etkileşene kadar yoluna devam eder. Kontrol altında tutulup, durdurabilmeleri için su ve kalın beton tabakaları kullanılmalıdır. Alfa ve beta parçacıklarından daha fazla nüfuz edici özelliğe sahiptir. Daha çok nükleer santrallerde ortaya çıkan ve kullanılan bir radyasyon türüdür.

1.3.2. X-ışını radyasyonu

X-ışını; elektromanyetik bir radyasyondur. Atomun elektron seviyelerindeki düzensizlikleri sebebiyle salınır. Bu düzensizlikler; ya çekirdeğe yaklaşan hafif elektron ile çekirdek arasındaki etkileşimden ya da çekirdeğe yaklaşan yüksek enerjili elektronun çekirdekte elektron koparmasıyla oluşur. Bu düzensizlikler sonucunda oluşan enerji seviyelerindeki boşluklar doldurulur ve X-ışını meydana gelir. Daha çok medikal görüntüleme ve tahribatsız malzeme testlerinde kullanılır.

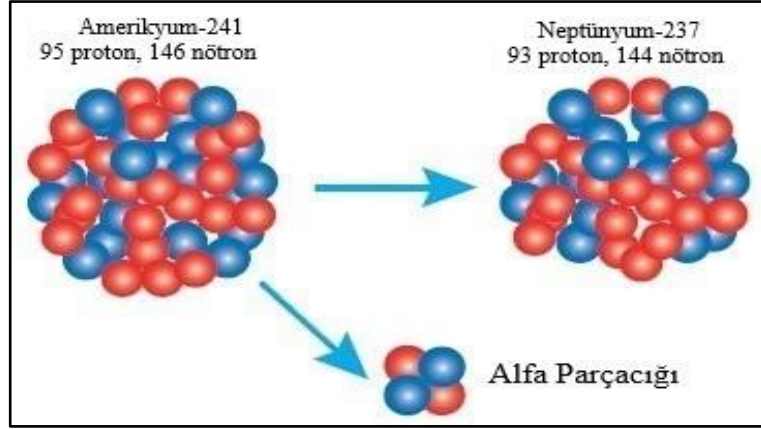
1.3.3. Alfa radyasyonu

Alfa parçacığı; 2 proton ve 2 nötrondan oluşan bir helyum çekirdeğidir. Çift yükü (+2) vardır. Yükü olduğu için de girdiği yerde iyonlaşmaya neden olur ve enerjisini hemen kaybeder, bu yüzden de nüfuz etme gücü düşüktür. Genellikle çok fazla proton ve nötron içeren ağır çekirdekler, kararlı olabilmek için alfa bozunması yaparlar. Bunun sebebi ise, α -parçacığının yüksek bağlanma enerjisinin kullanımının daha avantajlı olmasıdır. Alfa bozunmasına uğrayan çekirdek reaksiyonu,



şeklinde yazılır.

Şekil 1.8'de, ${}^{241}_{95}\text{Am} \rightarrow {}^{237}_{93}\text{Np} + {}^4_2\text{He}$ alfa bozunma örneği gösterilmektedir. İnsan cildi veya kağıt parçası alfa bozunması kaynaklı radyasyonu durdurabilir.



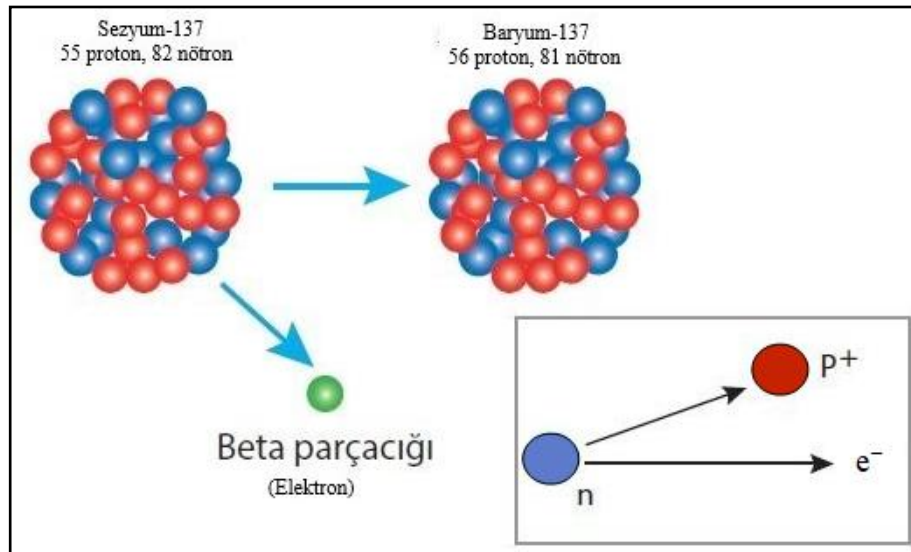
Şekil 1.8. Alfa bozunma örneği [31]

1.3.4. Beta radyasyonu

Beta bozunması, proton ve nötron fazlalığı olan çekirdeklerde 3 şekilde gerçekleşir.

β^- Bozunması;

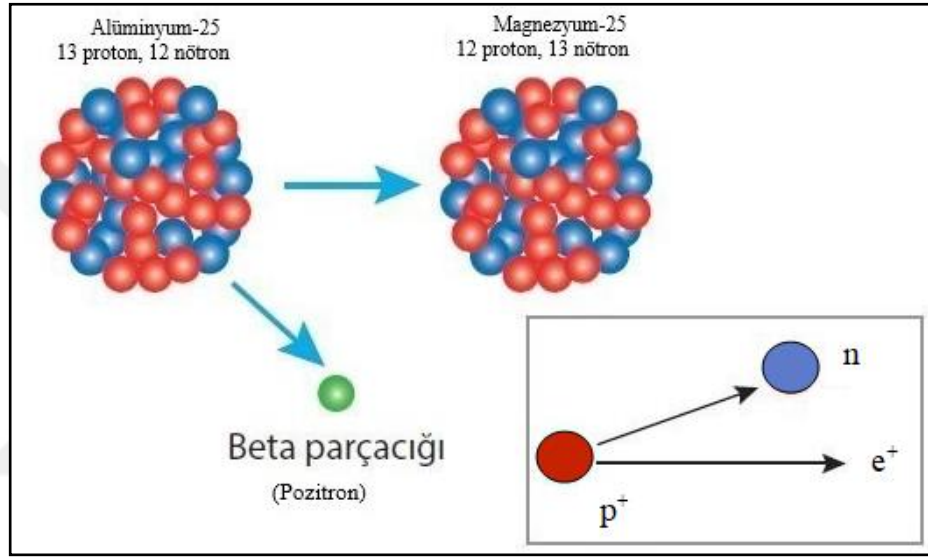
Nötron bakımından zengin bir çekirdekte; bir nötron bir protona dönüşür, bir elektron ve bir antinötrino yayınlanır ve atom numarası 1 artar. Bu durum, Denklem (1.3)'deki gibi verilir. Şekil 1.9'da, $^{137}_{55}\text{Cs} \rightarrow ^{137}_{56}\text{Ba} + ^0_{-1}\text{e}^- + \bar{\nu}$ beta (β^-) bozunma örneği gösterilmektedir.



Şekil 1.9. Beta (β^-) bozunma örneği [31]

β^+ Bozunması;

Proton bakımından zengin bir çekirdekte; bir proton bir nötrona dönüşür, bir pozitron ve bir nötrino yayınlanır ve atom numarası 1 azalır. Bu durum, Denklem (1.4)'teki gibi verilir. Şekil 1.10'da, ${}^{25}_{13}\text{Al} \rightarrow {}^{25}_{12}\text{Mg} + {}^0_{+1}\text{e}^+ + \nu$ beta (β^+) bozunma örneği gösterilmektedir.



Şekil 1.10. Beta (β^+) bozunma örneği [31]

Proton bakımından zengin çekirdekler, yörüngelerinin birinden elektron yakalayarak da kendilerini dönüştürebilirler. Bu olaya Elektron Yakalama (EC) adı verilir. Bu durum, Denklem (1.5)'teki gibi verilir.



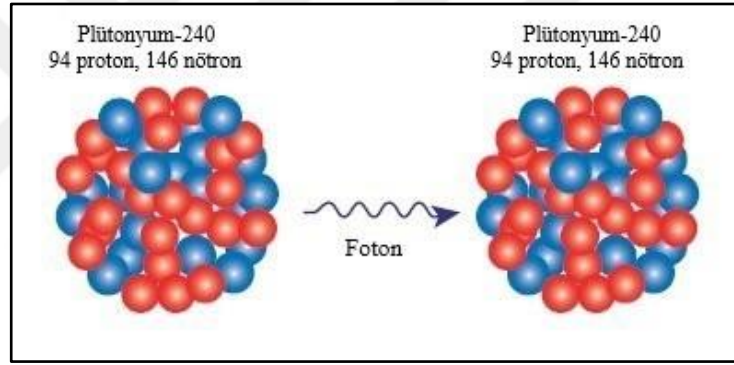
Elektron yakalama, beta (+) bozunması ile neredeyse aynıdır, sadece nötrino yayınlandığından gözlemlemek çok zordur. Ancak elektron yakalaması olayı, atom kabuğunda bir boşluk oluşturur. Bu boşluğun doldurulmasıyla oluşan, X-ışını veya Auger elektronları radyasyonunun elektron yakalama olayına işaret ettiği düşünülür.

Beta parçacığı girdiği yerde iyonlaşmaya neden olur ve enerjisini kaybeder. Nüfuz etme gücü düşüktür ancak alfa parçacığına göre daha yüksektir. İnsan cildinden

geçebilir fakat çok fazla ilerleyemez, ince alüminyum bir parça ile beta parçacığı kaynaklı radyasyon durdurulabilir.

1.3.5. Gama radyasyonu

Gama radyasyonu; elektromanyetik bir radyasyon türüdür. Alfa ya da beta gibi bozunmaya uğrayan çekirdek, genellikle uyarılmış enerji seviyesinde kalır. Kararlı olmak isteyen çekirdek, düşük enerji seviyelerine veya taban durumuna geçebilmek için foton yayınlayarak gama bozunmasına uğrar. Yayınlanan fotonlara, gama ışını adı verilmektedir. Gama bozunması yapan çekirdekte, proton ve nötron sayısı değişmez, sadece enerji seviyesinde bir değişim meydana gelir. Şekil 1.11, gama bozunma örneğini göstermektedir. Gama radyasyonunun nüfuz etme gücü yüksektir. Kurşun plakalarla gama ışını kaynaklı radyasyon durdurulabilir.



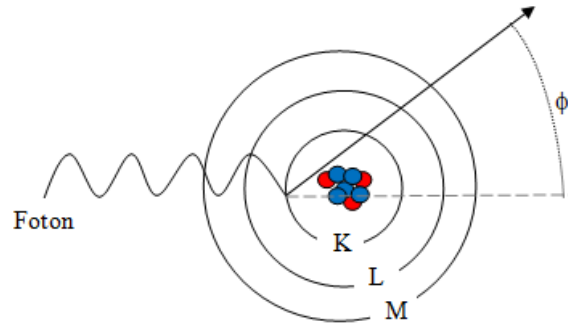
Şekil 1.11. Gama bozunma örneği [31]

1.4. Gama Radyasyonunun Madde İle Etkileşimi

Çekirdeğin uyarılmış enerji seviyesinden daha düşük enerji seviyesine veya taban durumuna geçerken yayınladığı fotonlar, gama ışını olarak adlandırılır. Gama ışınlarının madde ile etkileşimleri; fotoelektrik olay, Compton saçılması ve çift oluşum olarak ayrılmaktadır.

1.4.1. Fotoelektrik olay

Düşük enerjili bir foton, bir atomla çarpıştığında, atomun bir yörünge elektronuna tüm enerjisini aktarır ve atomdan çıkarabilir. Çıkarılan bu elektron fotoelektron adını alır. Şekil 1.12, fotoelektrik olayını göstermektedir.



Şekil 1.12. Fotoelektrik olay [27]

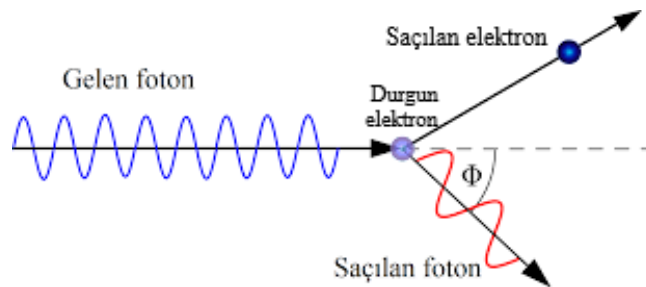
Fotonun enerjisi, yörüngedeki elektronun bağlanma enerjisine eşit olduğundan sadece atomdan dışarı atılan bir elektron olur ve sıfır kinetik enerjiye sahip olur. Foton, yörüngedeki elektronun bağlanma enerjisinden daha fazla enerjiye sahip olduğunda ise, fotoelektronun sahip olabileceği maksimum kinetik enerji,

$$E_{KE} = E_f - E_B \quad (1.6)$$

ile verilir. E_{KE} , atılan elektronun maksimum kinetik enerjisi, E_f , fotonun enerjisi ($h\nu$) ve E_B , elektronun bağlanma enerjisidir.

1.4.2. Compton saçılması

Fotonun, serbest ve durağan elektronla etkileşmesi ve çarpışması daha olasıdır. Çarpışma sonucu, saçılan foton ve elektron bulunur. Bu olaya Compton saçılması adı verilir, Şekil 1.13’de Compton saçılmasının şematik bir gösterimi verilmektedir.



Şekil 1.13. Compton saçılması [28]

Compton saçılması, fotonun enerjisinin fotoelektrik etki sınır değerini geçtiğinde gerçekleşir.

Geri tepen elektronun kinetik enerjisi,

$$E_{KE} = E_f - E_f' \quad (1.7)$$

ile verilir. E_{KE} , saçılan elektronun enerjisi, E_f , gelen fotonun enerjisi ve E_f' , saçılan fotonun enerjisidir.

Compton saçılmasında dalga boyu değişimi,

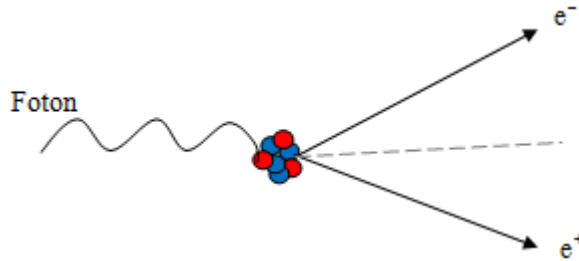
$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda \quad (1.8)$$

$$\Delta\lambda = \frac{h}{m_0c} (1 - \cos \phi) \quad (1.9)$$

şeklinde verilir. Burada $\Delta\lambda$, dalga boyundaki değişimdir.

1.4.3. Çift oluşum

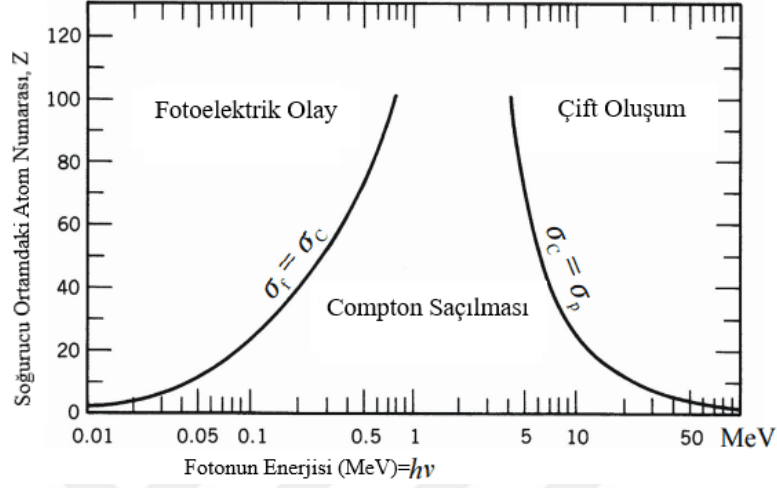
Fotonun, elektron-pozitron çifti üretmek için yok olduğu üçüncü etkileşimdir. Bu etkileşim yalnızca fotonun enerjisinin $2m_0c^2$ yani 1,022 MeV'lik eşik değerinde gerçekleşebilir. Böyle bir foton, çekirdeğin elektrik alanına girdiğinde çift üretim olasılığı ortaya çıkar, enerji kütle haline dönüşür ve bu foton aynı kütle ancak ters yük ile bir elektron ve bir pozitrona dönüştürülür [27]. Fotonun enerjisi eğer 1,022 MeV'den daha büyükse, kalan enerji elektron ve pozitron arasındaki kinetik enerjiye aktarılır. Şekil 1.14'de çift oluşum şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 1.14. Çift oluşum

Gama ışınlarının madde ile etkileşimleri, gelen fotonun enerjisine ve etkileşime girilen soğurucu ortamdaki atom sayısına bağlıdır. Şekil 1.15'de gama ışınlarının madde ile etkileşme biçimleri enerjiye bağlı olarak gösterilmektedir. Düşük

enerjilerde ve yüksek sayıda atomik soğurucu ortamda fotoelektrik olay, orta dereceli enerjilerde ve düşük atomik soğurucu ortamda Compton saçılması, çok yüksek enerjilerde ve yüksek sayıda atomik soğurucu ortamda ise çift oluşum baskındır [27].



Şekil 1.15. Gama ışınlarının madde ile etkileşme biçimleri [29]

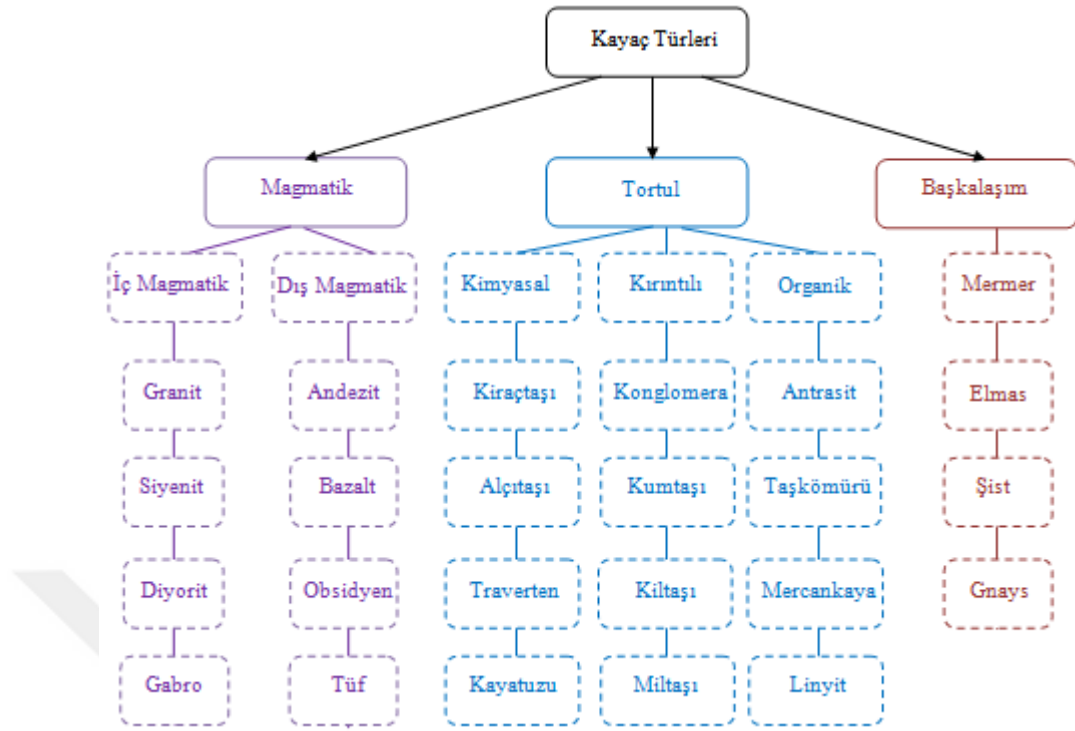
Şekil 1.15'deki σ_f , fotoelektrik olay, σ_c , Compton saçılması ve σ_p , çift oluşum tesir kesitlerini göstermektedir. Gama ışınının madde ile etkileşiminde toplam tesir kesiti ise,

$$\sigma = \sigma_f + \sigma_c + \sigma_p \quad (1.10)$$

şeklindedir [29].

1.5. Kayaç Türlerinde Radyoaktivite

Kayaların ufak hali olan kayaçlar, mineraller içermektedirler. Kayaçlar, yer kabuğu hakkında bilgi verir. Kökenlerine göre; magmatik (püskürük) kayaçlar, tortul kayaçlar ve başkalaşım kayaçlar olmak üzere üçe ayrılmaktadırlar. Şekil 1.16'da kayaç türleri verilmektedir.



Şekil 1.16. Kayaç türleri

Magmatik (püskürük) kayaç türü, dünyanın çekirdeğinde yer alan magmanın hareketleri sonucunda oluşur. Tortul kayaç türünde de magmanın hareketleri etkilidir ve çeşitli dış etkenler ile aşınmalarla ve oluşumlarla meydana gelir. Başkalaşım kayaç türü ise, tortul kayaçların dönüşümüyle oluşur.

Herhangi bir kayaç türü; uranyum, toryum, potasyum ve radyum içerebilir. Uranyum, granit ve volkanik kayaçlarda bulunur; Toryum ve radyum, granit kayaçlarda bulunur; Potasyum ise volkanik kayaçlarda bulunur ve kayaçların radyoaktivitesinde etkilidir [12, 14, 23].

1.6. Çevresel Radyoaktivite İle İlgili Literatür Özeti

Sert bir kayaç türü olan granitikten dioritliğe kadar, 2016 yılında yapılan çalışmada [12], doğal radyoaktif izotoplar ile SiO_2 , Na_2O , K_2O ve CaO konsantrasyonları arasındaki olası bağlantının U, Th, Zr, Y, Ba, Rb ve Sr elementleri arasındaki olası bağlantıyla ilişkilendirilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışma için Buldan, Karaburun, Alaçamdağ, Eğrigöz, Koyunoba, Salihli ve Turgutlu bölgelerinden örnekler toplanmıştır. HpGe gama ışını dedektörü ile radyoaktivite ölçümler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 1.2’de verilmiştir.

Tablo 1.2. Türkiye'nin batısında yer alan bazı granitoidlerdeki radyoizotopların aktivitesi (Bq/kg) [12]

Örnek No	²²⁶ Ra	²²⁸ Ac	⁴⁰ K	Ac/Ra (Th/U)
Buldan Bölgesi				
BGR-1	105,7±10,3	68,4±5,6	825,9±38,0	0,647
BGR-2	87,6±7,5	73,1±5,9	608,7±32,3	0,833
BGR-3	43,4±3,5	87,9±8,8	880,2±47,5	2,027
BRL-1	42,8±4,1	58,9±5,1	585,6±31,6	1,374
BRL-2	84,5±7,0	49,0±3,9	671,3±31,5	0,579
BRP-1	33,3±2,9	27,6±2,6	546,4±24,6	0,829
Karaburun Bölgesi				
KBR-1	21,8±1,8	22,9±2,0	524,7±25,7	1,049
KBR-2	15,6±1,5	12,0±1,1	297,5±15,5	0,764
Alaçamdağ Bölgesi				
AWR-1	56,9±5,1	43,2±3,9	551,6±24,8	0,760
AWR-2	50,9±4,1	32,7±2,7	535,8±26,3	0,642
AWR-3	77,0±6,2	45,7±4,7	623,8±29,3	0,593
AWR-4	99,4±9,7	63,6±6,0	664,0±34,5	0,640
AWR-5	73,9±6,1	46,0±3,7	557,0±27,3	0,623
Eğrigöz Bölgesi				
EMR-1	139,7±11,2	63,0±6,3	539,9±28,1	0,451
ER-1	83,3±7,9	63,8±5,2	713,4±32,1	0,766
ER-2	61,3±5,0	52,9±4,3	781,6±36,7	0,863
ER-3	114,3±11,3	93,4±9,0	788,2±9,0	0,817
Koyunoba Bölgesi				
KR-1	40,1±3,0	82,3±7,0	841,8±42,1	2,054
KR-2	64,7±5,2	45,5±4,2	732,2±38,1	0,703
KR-3	39,0±3,9	86,7±9,1	824,1±41,2	2,220
Salihli Bölgesi				
SR-1	58,1±5,1	49,2±4,0	591,3±31,9	0,846
SR-2	55,7±4,2	33,5±3,5	372,8±20,1	0,600
SR-3	47,6±4,5	46,8±3,6	535,7±25,7	0,983
SR-4	49,9±4,9	50,6±4,6	542,6±28,8	1,012
Turgutlu Bölgesi				
TR-1	55,4±4,9	20,7±1,6	664,4±29,9	0,374

Tablo 1.2'de yer alan ²²⁸Ac, Toryum bozunma serisine ve ²²⁶Ra Uranyum bozunma serisine aittir. Araştırma sonucunda; silika bakımından zengin asidik granitoidlerin, silika bakımından zayıf bazik granitoidlerden daha yüksek doğal radyoaktivite seviyelerine sahip olduğu ve postmagmatik olarak açıklanabilecek yüksek SiO₂, Na₂O, K₂O, Rb ve Ba içerikleriyle yakından ilişkili olduğu bulunmuştur. Ayrıca CaO, Sr, Y ve Zr ile doğal radyoaktivite seviyeleri arasında herhangi bir korelasyona varılamamıştır.

2016 yılında yapılan bir diğer çalışmada [14], Türkiye’de ticari olarak kullanılan granitlerin radyojenik mineral içerikleri arasındaki ilişki incelenmiş ve radyoaktivite ölçümleri yüksek çözünürlüklü gama ışını spektrometresi kullanılarak yapılmıştır. Bu çalışmada; Kırklareli, Yalova, Balıkesir, Çanakkale, İzmir, Eskişehir, Kırşehir, Aksaray ve Giresun bölgelerinde bulunan ocaklardan 10 farklı ticari granit örneği alınmıştır. Sonuçlar Tablo 1.3’de verilmiştir.

Tablo 1.3. Granit örneklerindeki doğal radyoizotopların (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K) histogram ve aktivite konsantrasyonları ile radyum eşdeğer aktivitesi (Ra_{eq}) [14]

Örnek No	^{226}Ra (Bq/kg)	^{232}Th (Bq/kg)	^{40}K (Bq/kg)	Ra_{eq} (Bq/kg)
1 (Aksaray)	45±6	36±4	1027±27	176
2 (İzmir)	74±6	58±5	892±25	226
3 (Eskişehir)	42±6	29±4	550±20	126
4 (Kırklareli)	34±5	38±4	674±23	140
5 (Giresun)	134±9	131±7	1465±32	434
6 (Balıkesir)	72,93±6	58,61±6	770,98±24	216
7 (Yalova)	29,67±5	72,24±6	1120,74±28	219
8 (Çanakkale)	116±8	183,15±9	1051±27	459
9 (Kırşehir)	59±5	49±4	1023±25	208
10 (Aksaray)	103,79±9	143,26±5	1078,60±27	392
Bu araştırmanın ortalaması	71	80	965	260
Yer kabuğu ortalaması (UNSCEAR,2000)	32	45	420	129
Avrupa Birliği ortalaması (EC,2011)	60	60	640	195
Limit Değeri (UNSCEAR, 2000)				370

Tablo 1.3’de yer alan ^{226}Ra , Uranyum bozunma serisine aittir ve Ra_{eq} , radyum eşdeğer aktivitesidir. Araştırma sonucunda; sadece üç örneğin magmatik, metasomatik ve hidrotermal işlemler sırasında bazı radyojenik minerallerin zenginleştirilmesine bağlı olarak yüksek doğal radyoaktivite seviyelerine sahip olduğu bulunmuştur. Bu örnekler; Karadeniz (örnek 5), Ege (örnek 8) ve İç Anadolu (örnek 10)’dan alınmışlardır.

2015 yılında Gümüşhane ilinde yapılan çalışmada [15], radyoizotop ölçümleri ve ısı üretim hızı değerlendirilmesi yapılmıştır. Tablo 1.4’de farklı kayaç türlerine ait ortalama K, U ve Th ölçüm sonuçları verilmiştir. Araştırma sonucunda; mantodan

kaynaklı magmaların, geç Mesozoyik-Senozoyik dönemleri sırasındaki kirlenmeye maruz kaldığı doğrulanmıştır.

Tablo 1.4. Farklı kayaç türlerindeki ortalama K, U ve Th değerleri [15]

Kayaç Türü	⁴⁰ K (%)	²³⁸ U (ppm)	²³² Th (ppm)
Granit	4,35±0,71	5,85±2,74	22,13±5,55
Mikrogranit	4,33±1,37	7,12±2,23	24,11±9,59
Metagranit	3,93±0,68	6,24±2,75	12,87±3,92
Andezit/Bazalt	1,75±0,74	3,22±1,07	9,01±5,14

2008 yılında yapılan bir çalışmada [22], Hindistan'ın doğusunda bulunan Jaduguda uranyum madenlerinden toplanan kayaç örneklerinde radon solunum hızı ve ²³⁸U, ²³²Th ve ⁴⁰K aktivite konsantrasyonları ölçülmüştür. Tablo 1.5'de γ -ışını spektroskopik sistemi kullanılarak ölçülen kayaç örneklerinin uranyum, toryum ve potasyum ortalama aktivite konsantrasyonları verilmiştir. Araştırma sonucunda, radon solunum hızı ile uranyum konsantrasyonu arasında pozitif bir korelasyon bulunmuş ve bölgenin radyolojik tehdit oluşturabileceği sonucuna varılmıştır.

Tablo 1.5. Kayaç örneklerinin uranyum, toryum ve potasyum ortalama aktivite konsantrasyonları

Örnek	²³⁸ U	²³² Th	⁴⁰ K
JAD 1	5970±65	BDL	BDL
JAD 2	40858±174	BDL	BDL
JAD 3	9577±95,06	BDL	9024±189
JAD 4	18297±136	BDL	BDL
JAD 5	10863±106	BDL	BDL
JAD 6	20386±178	BDL	BDL
JAD 7	123±7	BDL	162±11

*BDL, algılanma limitinin altında

2015 yılındaki bir çalışmada [5], granitlerde doğal radyonüklidlerin (²²⁶Ra, ²³²Th ve ⁴⁰K) dağılımı ve El-Fawakhir bölgesindeki (Orta Doğu Çölü, Mısır) kuvars yataklarının dağılımı γ -ışını spektroskopisi kullanılarak ölçülmüştür. Tablo 1.6'da farklı örneklerdeki ²²⁶Ra, ²³²Th ve ⁴⁰K aktivite konsantrasyonları verilmiştir. Araştırma sonucunda, granitlerdeki radyoaktivitenin yüksekliği minerallere bağlanmış ve sağlık açısından riskli bir duruma rastlanmamıştır.

Tablo 1.6. Farklı örneklerde ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları

Örnek No	^{226}Ra (Bq/kg)	^{232}Th (Bq/kg)	^{40}K (Bq/kg)
Q1	21±1	34±2	304±15
Q2	14±1	30±1	155±8
Q3	10±1	38±2	159±8
Q4	32±2	41±2	140±7
Q5	14±2	17±3	229±14
Q6	37±3	22±3	282±16
Q7	29±1	12±1	663±33
Q8	25±1	35±2	595±30
Q9	23±2	20±4	415±22
Q10	33±2	14±2	201±12
Q11	29±2	25±3	682±35
Q12	12±1	15±1	221±12
G1	15±1	15±1	128±6
G2	15±1	16±1	319±16
G3	36±3	28±	391±20
G4	43±2	27±1	388±19
G5	35±3	29±3	374±19
G6	15±2	9±1	174±10
G7	35±3	13±2	212±12
G8	37±3	22±3	282±16

Türkiye'nin Çankırı ilinde 2011 yılında yapılan bir çalışmada [23], toprak örneklerinde ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs izotoplarının radyoaktiviteleri γ -ışını spektroskopisi ile ölçülmüştür ve Tablo 1.7'de sonuçlar verilmiştir. Araştırma sonucunda, radyoaktivite seviye ölçümleri Türkiye'den daha düşük bulunmuştur.

Tablo 1.7. Çankırı'nın toprak örneklerinde aktivite konsantrasyonları ve literatürle karşılaştırılması

	^{238}U	^{232}Th	^{40}K	^{137}Cs
Ortalama	18	22	357	4
Standart Sapma	10	16	171	3
Minimum	5	7	111	1
Maksimum	52	95	752	13
Orta Değer	15	19	345	3
Adana	17,6	21,1	297,5	6,8
Balıkesir	37,6	54,7	674,5	3,4
Çanakkale	94,55	110,4	1273	19,39
Gaziantep	25,2	23,7	289,2	8,022
İstanbul	21	37	342	
Kastamonu	32,93	27,17	431,43	8,02
Kütahya	33	32	255	
Manisa	28,5	27	340	

Tablo 1.7. (Devam) Çankırı'nın toprak örneklerinde aktivite konsantrasyonları ve literatürle karşılaştırılması

	²³⁸ U	²³² Th	⁴⁰ K	¹³⁷ Cs
Ordu	13,4–151,7	14,3–98,5	303–1107	67,4–257,3
Şanlıurfa	20,8	24,95	298,61	9,08
Tekirdağ	29	39	580	5,2
Trabzon	41	35	437	21
Dünya	33	45	420	

1.7. Radyoaktif Bozunma Yasası

Radyoaktif bozunma yasası, Rutherford ve Soddy tarafından yüzyılın ilk başlarında, bir radyoaktif örneğin aktivitesinin zamanla üstel olarak azalması şeklinde belirtildi [3]. Modern kuantum mekaniği açısından, bozunma işleminin nükleer türün karakteristiği λ 'ya göre bir geçiş olasılığına tabi olduğu gerçeği göz önüne alınarak kolayca türetilir. λ , bozunma sabiti olarak bilinen bir sabittir. Bir çekirdeğin birden fazla bozunması varsa, Denklem (1.11)'deki gibi λ , her bozunma durumu için ayrı ayrı sabitlerin toplamıdır.

$$\lambda = \lambda_1 + \lambda_2 \quad (1.11)$$

Örnek bir N çekirdeği için bir dt zamanında bozunan ortalama çekirdek sayısı,

$$dN = -\lambda N dt \quad (1.12)$$

ile verilir. Burada; N, çekirdek sayısı ve λ , bozunma sabitidir. N'nin büyük ve sürekli olduğu kabul edilir. Denklem (1.12), radyoaktif bozunma yasasının diferansiyel formu olarak düşünülebilir. Bu denklemin üstel birleşimi,

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad (1.13)$$

şeklindedir. Burada; N_0 , $t=0$ 'daki çekirdeklerin sayısıdır. N(t), t anındaki çekirdeklerin sayısıdır. Denklem (1.13)'teki formüle benzer şekilde aktivitenin formülü,

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \quad (1.14)$$

şeklinde türetilir. Burada; A_0 , $t=0$ 'daki aktivitedir; A, t anındaki aktivitedir.

Bir radyoaktif örneğin aktivitesindeki üstel azalma, sabit λ tarafından yönetilir. Bazı durumlarda λ yerine, ortalama ömür (Denklem (1.15)) ifadesini kullanmak daha kullanışlıdır.

$$\tau_m = 1/\lambda \quad (1.15)$$

Başlangıç aktivitesinin sadece $1/e$ 'sinin bozunması için gereken süreyi belirtir. Aynı şekilde yarı ömür $N_B(0) = N_C(0) = 0$, ilk aktivitenin yarısı bozunana kadar geçen süre olarak Denklem (1.16)'daki gibi tanımlanır.

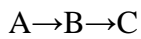
$$\frac{1}{2} = e^{-\lambda t_{1/2}} \quad (1.16)$$

$$t_{1/2} = \frac{1}{\lambda} \ln 2 = \tau_m \ln 2 \quad (1.17)$$

Denklem (1.16)'in çözümüyle, Denklem (1.17) yani yarı ömür ($t_{1/2}$) elde edilir.

1.8. Radyoaktif Bozunma Zincirleri

Bir radyoaktif bozunma zinciri içinde bir çekirdeğin bozunmasıyla birincil ürün çekirdek oluşur. Birincil ürün çekirdeğin bozunmasıyla ise ikincil ürün çekirdek ortaya çıkar. Basit bir üç çekirdekli zincir durumu,



şeklinindedir. C'nin kararlı olduğu yerde radyoaktif bozunma yasasının uygulanması için denklemler,

$$\frac{dN_A}{dt} = -\lambda_A N_A \quad (1.18)$$

$$\frac{dN_B}{dt} = \lambda_A N_A - \lambda_B N_B \quad (1.19)$$

$$\frac{dN_C}{dt} = \lambda_B N_B \quad (1.20)$$

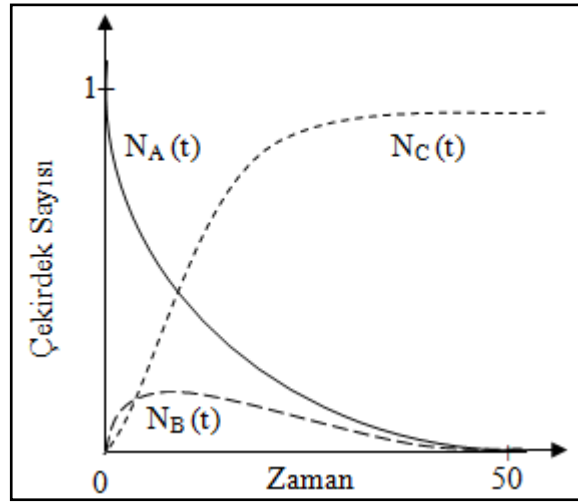
şeklindedir. Burada; λ_A ve λ_B , ilgili bozunma sabitleridir. Daha uzun zincirlerde, ek çekirdekler için denklemler aynı şekilde türetilir. Başlangıçta $N_B(0) = N_C(0) = 0$ Denklem (1.18), (1.19) ve (1.20)'nin çözümleri ile Denklem (1.21), (1.22) ve (1.23) elde edilir.

$$N_A(t) = N_A(0)e^{-\lambda_A t} \quad (1.21)$$

$$N_B(t) = N_A(0) \frac{\lambda_A}{\lambda_B - \lambda_A} [e^{-\lambda_A t} - e^{-\lambda_B t}] \quad (1.22)$$

$$N_C(t) = N_A(0) \left\{ 1 + \frac{1}{\lambda_B - \lambda_A} [\lambda_A e^{-\lambda_B t} - \lambda_B e^{-\lambda_A t}] \right\} \quad (1.23)$$

Üç nükleer türün zaman içindeki davranışı Şekil 1.17'de grafiksel olarak gösterilmektedir. B çekirdeğinin aktivitesi dN_B/dt ile değil, $\lambda_B N_B$ olarak verilmektedir. Çünkü dN_B/dt , A çekirdeği tarafından oluşturulan B çekirdeğinin oranını da içermektedir. Ayrıca N_B 'nin maksimumu geçtiği bilinir. Türevi sıfıra eşitleyerek Denklem (1.24)'deki gibi bulunur.



Şekil 1.17. Üç çekirdekli zincir radyoaktif bozunma [3]

$$t_{\max} = \frac{\ln \frac{\lambda_B}{\lambda_A}}{\lambda_B - \lambda_A} \quad (1.24)$$

Bu noktada B çekirdeğinin aktivitesi maksimum,

$$\lambda_B N_B(t_{\max}) = \lambda_A N_A(t_{\max}) \quad (1.25)$$

şeklinde olur. Bu durum, ideal denge olarak bilinir.

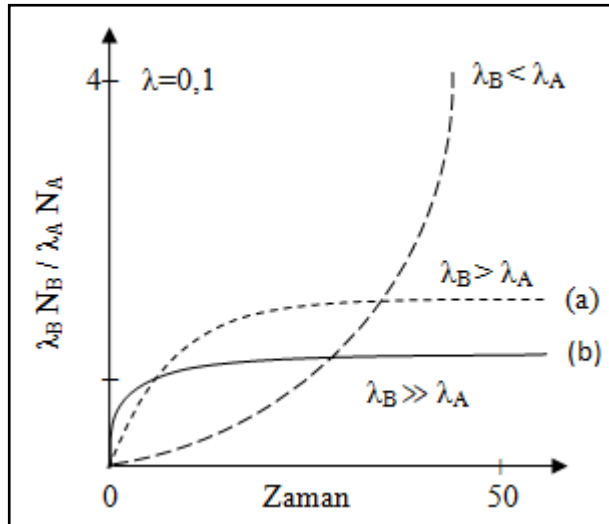
Herhangi bir başka zamanda B çekirdeğinin aktivitesinin, A çekirdeğinin aktivitesine oranı (herhangi bir birincil ürün çekirdeğin, ana çekirdeğe oranı),

$$\frac{\lambda_B N_B}{\lambda_A N_A} = \frac{\lambda_B}{\lambda_B - \lambda_A} \{1 - e^{-(\lambda_B - \lambda_A)t}\} \quad (1.26)$$

şeklindedir. Üç durum görülebilir;

- i. Eğer $\lambda_A > \lambda_B$ olursa, oran zamanla artar.
- ii. Eğer $\lambda_B > \lambda_A$ olursa, o zaman (Denklem 1.26) büyük zamanlarda neredeyse >1 olur ve geçici denge durumu oluşur.
- iii. Eğer $\lambda_B \gg \lambda_A$ olursa, o zaman oran hızla ≈ 1 olur ve kalıcı denge durumu oluşur.

Bu üç durum Şekil 1.18'de gösterilmektedir. B çekirdeğinin parçalanma hızının, oluşum hızıyla aynı olduğu anlamı çıkartılabilir [3].



Şekil 1.18. Birincil ürün çekirdeğin ana çekirdeğin aktivitesine oranı. (a) geçici denge, (b) kalıcı denge durumu [3]

2. DENEYSEL YÖNTEM

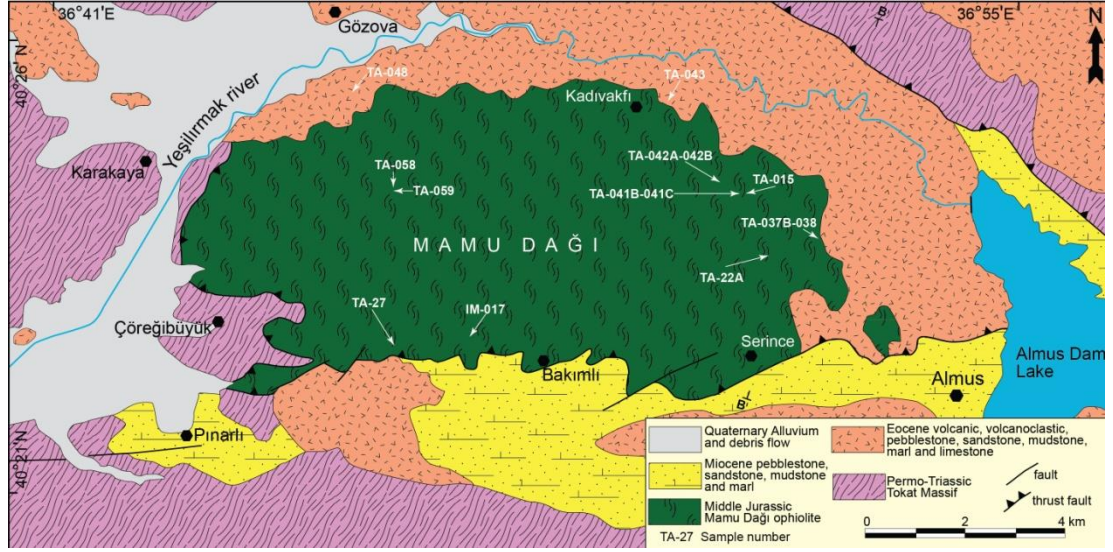
Toplanan örneklerin radyoaktivite ölçümleri Kocaeli Üniversitesi Nükleer Fizik Araştırma Laboratuvarı'nda, Yüksek Safılıkta Germanyum Dedektörü (HpGe) kullanılarak gerçekleştirildi.

2.1. Arazi Çalışmaları ve Örnek Alımı

Arazi çalışmaları, Kocaeli Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi ve elemanları tarafından, Karadeniz Bölgesi'nde ve İç Anadolu Bölgesi'nde yer alan farklı noktalarda yapıldı. 2019 yılı itibariyle Karadeniz Bölgesi'nin nüfusu 8 milyon, İç Anadolu Bölgesi'nin nüfusu ise 12 milyon civarındadır [30]. İki bölge de değişik kayaç türleri barındırmaktadır.

Ankara, Çankırı, Çorum, Kastamonu, Kırıkkale, Samsun, Sinop illerinden ve Tokat ilindeki Mamu Dağı gibi farklı noktalardan toplam 62 adet kayaç örneği alındı. Arazi çalışmaları esnasında örnekleme işlemleri, kayaç kütlelerini temsil edecek şekilde ve farklı amaçlarla kullanılacağı da göz önüne alınarak yapıldı. Çekiç ve balyoz yardımıyla kırılan kayaç örneklerinin miktarları yaklaşık 500 gr'dan 10-15 kg'lık kütlelere kadar değişmektedir. Örnekler, ilk olarak Jeoloji Mühendisliği Laboratuvarı'na son olarak Nükleer Fizik Araştırma Laboratuvarı'na getirildi ve ölçüme hazırlandı.

Arazi çalışmaları için kullanılan ve Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nden alınan basitleştirilmiş jeolojik harita ve örneklerin alındığı noktalar Şekil 2.1 ve Şekil 2.2'de verilmektedir. Şekil 2.1 FEM ve FMR örneklerinin alındığı noktaları ve Şekil 2.2 TA örneklerinin alındığı noktaları göstermektedir.



Şekil 2.2. TA örneklerinin alındığı noktaların haritada gösterimi [20]

Karadeniz ve İç Anadolu bölgelerinden alınan örnek noktalarının koordinatları Tablo 2.1’de verilmektedir.

Tablo 2.1. Örnek alınan noktalarının koordinatları (UTM türünden)

Örnek No	Kayaç Adı	Koordinatlar	
		Enlem	Boylam
FEM-071	Amfibolit	4493518N	36542207E
FEM-072	Amfibolit	4493518N	36542207E
FEM-079	Amfibolit	4494128N	36541931E
FEM-087	Bazalt	4481203N	36538585E
FEM-090	Piroksenit	4483205N	36537866E
FEM-091	Serpantinit	4483205N	36537866E
FEM-093	Gabro	4481979N	36537203E
FEM-095	Gabro	4481796N	36537173E
FEM-097	Bazalt	4519600N	36563400E
FEM-103	Bazalt	4596175N	36533758E
FEM-104	Dasit	4496175N	36533758E
FEM-106	Granit	4496175N	36533758E
FEM-107A	Dolerit	4493934N	36534120E
FEM-110	Gabro	4494036N	36533938E
FEM-138	Lerzolit	4563910N	36646036E
FEM-147	Bazalt	4592770N	36637844E
FEM-161	Gabro	4627457N	36559070E
FEM-165	Harzburjit	4631292N	36556595E
FEM-168D	Lerzolit	4627455N	36558708E
FEM-175	Granit	4486660N	36518504E
FEM-176	Dolerit	4486667N	36518357E
FEM-181	Piroksenit	4495678N	36526432E
FEM-182	Gabro-pegmatit	4495678N	36526432E

Tablo 2.1. (Devam) Örnek alınan noktalarının koordinatları (UTM türünden)

Örnek No	Kayaç Adı	Koordinatlar	
		Enlem	Boylam
FEM-184	Harznurjit	4495908N	36531026E
FEM-186	Piroksenit	4557233N	36602138E
FEM-187	Granodiyorit	4570479N	36628154E
FEM-189	Bazalt	4561550N	36661530E
FEM-190	Gabro	4561814N	36661310E
FEM-193	Amfibolit	4562073N	36660750E
FEM-194	Amfibolit	4562092N	36660688E
FEM-196	Amfibolit	4562039N	36660645E
FEM-198	Amfibolit	4562039N	36660645E
FEM-199	Amfibolit	4562039N	36660645E
FEM-201	Amfibolit	4562039N	36660645E
FEM-205	Riyolit	4538824N	36645040E
FMR-005	Bazalt	4417437N	36530687E
FMR-010	Dolerit	4414787N	36523760E
FMR-019	Bazalt	4478695N	36535859E
FMR-029	Andezit	4512604N	36537097E
FMR-033	Andezit	4512491N	36534915E
FMR-037	Gabro	4550640N	36525013E
FMR-039	Peridotit	4555514N	36525382E
FMR-042	Dasit	4557102N	36525561E
FMR-047	Dasit	4629376N	36557587E
FMR-059	Gabro	4606071N	36570903E
FMR-062	Granit	4622244N	36573203E
İM-017	Gabro	4472486N	37312184E
İM-027	Gabro	4472568N	37320456E
KEK-01	Kromit	Kastamonu (Taşköprü) doğusu	
TA-015B	Gabro	4475386N	37317552E
TA-022A	Gabro	4474015N	37318132E
TA-027	Gabro	4472234N	37310418E
TA-037B	Gabro	4474282N	37319146E
TA-038	Gabro	4474282N	37319146E
TA-041B	Proksenit	4475388N	37317550E
TA-041C	Piroksenit	4475388N	37317550E
TA-042A	Ol-piroksenit	4475628N	37317175E
TA-042B	Lerzolit	4475628N	37317175E
TA-043	Bazalt	4476749N	37316295E
TA-048	Eosen Bazalt	4477300N	37309651E
TA-058	Gabro	4475542N	37310402E
TA-059	Bazalt	4475365N	37310375E

2.2. Örneklerin Ölçüme Hazırlanması

Toplanan örnekler Kocaeli Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Laboratuvarı'na getirilerek, kırma ve öğütme işlemleri için hazırlandı. Toz örnek hazırlama sürecinde ilk olarak kayaç örnekleri Vol-Mak marka taş kesme cihazı yardımıyla altere kesimlerden ve varsa ikincil olarak gelişmiş damarlarından arındırıldı. Kayaçlardan elde edilen yaklaşık 250 gr ağırlığındaki taze kısımlar çeneli kırıcı aletiyle çapları 0,5 cm'den küçük olacak şekilde kırıldı. Kırılan kayaç örnekleri Retsch PM100 model agat havanlı ve toplu öğütücüde öğütülüp toz haline getirildi. Toz haline getirilen ve numaralandırılan örnekler Jeoloji Bölümü'nden, Nükleer Fizik Araştırma Laboratuvarı'na getirildi.

Boş halde bulunan 62 adet örnek kabının içi öncelikle saf su ile temizlendi, kurumaya bırakıldı. Bu işlem alkol ile tekrarlandı. Boş halde bulunan örnek kaplarının, parafilmli ve parafilmsiz kütlesi 0,01 g hassaslıktaki tartıyla ölçüldü. Örnekler, kaplara aktarıldı ve tekrar tartıyla ölçüm yapılarak örneklerin net kütlesi ölçüldü. Örneklerin yerleştirildiği kapların ağzı hava almayı önleyecek şekilde parafilm ile sıkıca kapatıldı. Kabın üstüne, kaba yerleştirilen örneğin kodu ve kapatılma tarihi yazıldı. Hazırlanan örnekler, ^{238}U bozunma serisine ait olan ^{222}Rn ve bu izotopun ürünlerinin bozunarak radyoaktif dengeye ulaşabilmesi için 4 hafta bekletildi.

2.3. Gama Işını Sayım Sistemi

Gama ışınlarının sayımı için günümüzde çeşitli ölçüm sistemleri kullanılmaktadır. Bu ölçüm sistemlerinden en çok sintilasyon ve yarı iletken dedektörler kullanılmaktadır. Sintilasyon dedektörlerinin, yarı iletken dedektörlere göre çalışma prensibi daha basittir, maliyeti daha azdır ve soğutma işlemi gerektirmez. Ancak yarı iletken dedektörler, daha yüksek çözünürlük gücüne sahip olduğu için çevresel radyoaktivite ölçümlerinde tercih edilirler.

2.3.1. Yüksek saflıkta germanyum dedektörü (HpGe)

HpGe kristal sistemi ilk defa 1970'lerin ortalarında geliştirilmiştir ve başlangıç materyali, yarı iletken endüstrisine yönelik dökme germanyumdur [16]. Lityum katkısı ile yüksek saflıkta germanyum kristalleri oluşturulup kullanılmış ve sürekli bir şekilde soğutma işlemi gerektirmiştir. Lityum katkısı kaldırılarak daha da yüksek saflıkta germanyum kristalleri oluşturulup kullanılmış ve sadece kullanıldıkları zaman boyunca soğutma işlemi gerektirmiştir. Günümüzde Lityum katkısı olmayan yarı iletken dedektörler kullanılmaktadır. Şekil 2.3'de bu tez çalışmasında kullanılan ORTEC GEM25P4-70 model HpGe dedektörü gösterilmektedir.



Şekil 2.3. ORTEC GEM25P4-70 model HpGe dedektörü [18]

Şekil 2.4'te, ORTEC GEM25P4-70 model HpGe dedektörünün iç kısmı gösterilmektedir. Bu dedektörün özellikleri ise Tablo 2.2'de verilmektedir. Dedektör zırhının; bakır kaplama kalınlığı 1,5 mm, kalay kaplama kalınlığı 1 mm ve kurşun kaplama kalınlığı ise 10 cm'dir.

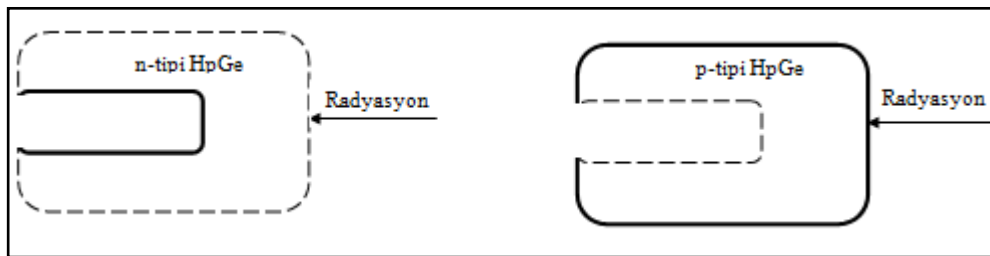


Şekil 2.4. ORTEC GEM25P4-70 model HpGe dedektörünün içi

Tablo 2.2. Kullanılan HpGe dedektörünün özellikleri

Model	ORTEC GEM25P4-70
Çap	57,7 mm
Çözünürlük (FWHM)	1,71 keV (1,33 MeV ^{60}Co için)
Bağıl Verim	%25,2 (1,33 MeV ^{60}Co için)
Pik/Compton Oranı	58/1 (1,33 MeV ^{60}Co için)

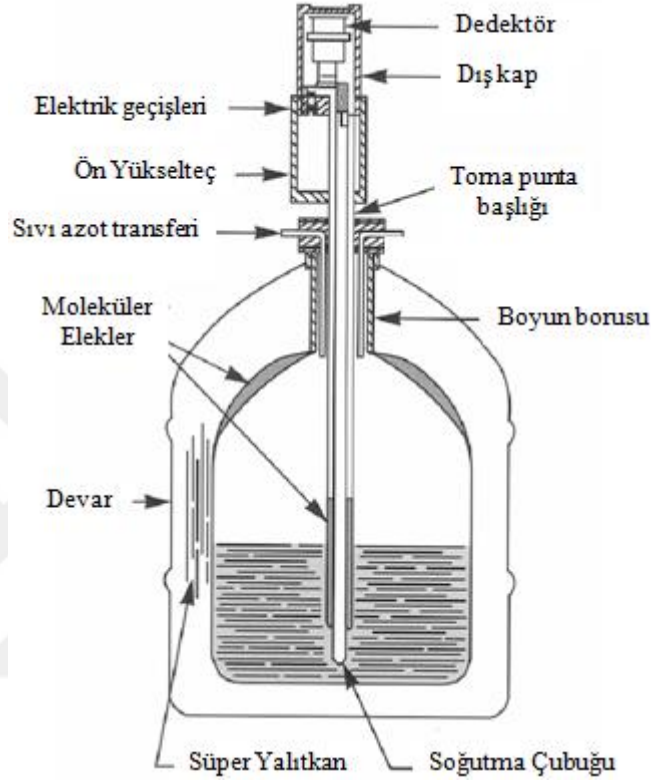
HpGe dedektörü gibi yarı iletken dedektörlerde, radyoaktif örnek kaynaklı iyonlaştırıcı radyasyon, serbest elektron ve boşluklar üretir. Serbest elektron (negatif yük) ve boşlukları (pozitif yük) n ve p tipi malzemeler taşır. N ve p tipi malzemeli dedektörler Şekil 2.5'te gösterilmektedir.



Şekil 2.5. n ve p tipi dedektörler [32]

Negatif ve pozitif olan yük çiftlerinin sayısı, radyoaktif örnek kaynaklı iyonlaştırıcı radyasyon ile doğru orantılıdır. Bir elektrik alanın etkisi ile de negatif ve pozitif yükler, ölçülebilecek şekilde bir sinyal yaratırlar. Bu sinyaller elektronik sistem aracılığıyla işlenerek veriler elde edilir.

Yarı iletken dedektörlerde bulunan n ve p tipi malzemeler arasındaki yüksek gerilim nedeniyle kristalde oluşabilecek sorunları önlemek amacıyla soğutma işlemi yapılmalıdır. Dedektörü soğutma işlemi, -196°C 'de bulunan sıvı azot ile yapılmaktadır. Şekil 2.6 ise HpGe dedektör soğutma sistemi gösterilmektedir.



Şekil 2.6. HpGe dedektör soğutma sistemi [33]

2.3.2. Elektronik sistem

Yüksek saflıkta germanyum dedektör kristaline gelen gama ışınlarının etkileşime girerek, sayımın yapılabilmesi için gereken şematik elektronik sistem Şekil 2.7'de gösterilmektedir.



Şekil 2.7. Gama sayımı şematik elektronik sistemi

Radyoaktif örnek içindeki gama ışınının (fotonun) dedektör kristalinde oluşturduğu serbest elektronları uzaklaştırmak amacıyla yüksek voltaj kaynağı (2000-5000 V) kullanılır. Ön yükselteç, dedektör kristali ile fotonun etkileşmesiyle oluşan yükleri toplar. Yükselteç, gelen sinyali işler ve büyütür. Analog dijital çevirici, gelen sinyali sayısal veri haline dönüştürür. Çok kanallı analizör, yükselteçten gelen sinyalleri yüksekliğine göre sıralar ve spektruma kaydeder. Bilgisayar aracılığı ile de veriler elde edilir ve analiz yapılır. Bu tez çalışmasında analiz kısmı için ORTEC GammaVision-32 programı kullanıldı.

2.4. Veri Analizi

Verilerin işlenip analizin yapılabilmesi için, kullanılan analiz programında enerji ve verim kalibrasyonu yapılmalıdır. Böylece fotopik alanı ve aktivite hesabı yapılabilir.

2.4.1. Enerji kalibrasyonu

Radyoaktif örnekten yayınlanan her foton dedektör kristali ile etkileşerek bir sinyal oluşturur. Oluşturulan sinyaller Şekil 2.7'deki gibi işlenerek analog dijital çeviriciye gelerek sayısal verilere dönüştürülür. Çok kanallı analizörde ise her bir enerji durumuna karşılık gelen bir kanal bulunur ve sinyalin yüksekliğine göre sıralamayı yapar. Ancak dedektöre uygulanan yüksek voltaj ve sinyallerin yükselteçte büyütülmesi ile bir dengesizlik oluşur. Bu dengesizlik, enerji kalibrasyonu yapılarak giderilir. Böylece, doğru kanal numarasına doğru enerji getirilir ve fotonun enerjisi belirlenir.

Enerji kalibrasyonu için, yayınlanan gama ışınlarının enerjisinin bilindiği izotopları içeren standart kaynakları kullanmak yeterlidir. Bu standart kaynaklar, dedektörde uygun geometride ve yeterli bir süre kadar sayılmalıdır. Yaygın olarak kullanılan standart kalibrasyon kaynaklarındaki izotoplar Tablo 2.3'de verilmektedir. Tablo 2.3'deki izotopların yer aldığı standart kaynak (Ek-B) 155000 saniye boyunca sayılmıştır.

Tablo 2.3. Yaygın olarak kullanılan standart kalibrasyon kaynaklarındaki izotoplar

İzotop	Gama Işını Enerjisi (keV)	Yarı Ömür (Gün)	Aktivite (Bq)	Yayınlanma Olasılığı I _γ (%)
²⁴¹ Am	59,5	1,580E+05	2,160E+03	35,90
¹⁰⁹ Cd	88	4,626E+02	1,918E+04	3,63
⁵⁷ Co	122,1	2,718E+02	4,735E+02	85,56
¹³⁹ Ce	165,9	1,376E+02	6,896E+02	79,89
²⁰³ Hg	279,2	4,661E+01	1,627E+03	81,46
¹¹³ Sn	391,7	1,151E+02	1,091E+03	64,97
¹³⁴ Cs	604,7	7,542E+02	2,407E+03	97,62
¹³⁷ Cs	661,7	1,098E+04	5,693E+02	85,10
¹³⁴ Cs	795,9	7,452E+02	2,407E+03	85,46
⁵⁴ Mn	834,9	3,121E+02	1,358E+03	99,98
⁸⁸ Y	898	1,066E+02	2,489E+03	93,70
⁶⁵ Zn	1115,6	2,441E+02	3,639E+03	50,60
⁸⁸ Y	1836,1	1,066E+02	2,489E+03	99,20

Bu tez çalışmasında, Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA) ile birlikte çalışılmış olan Moss-Soil standart kaynak (Ek-A) 246000 saniye sayıldı. Sayım bittikten sonra ORTEC GammaVision-32 programında, standart kaynak açıldı ve Library→ Edit→ Gamma Vision Editor seçenekleri takip edilerek kütüphaneye varıldı. Enerji ve verim kalibrasyonunda kütüphanede kullanılmak üzere, sertifikada (Ek-B) yer alan izotopların bilgileri manuel olarak girildi ve kaydedildi. Calibrate→ Energy seçenekleri takip edilerek, sertifikadan (Ek-B) enerjileri öğrenilen izotopların fotopikleri seçilip enerjileri girildi ve kaydedildi. Bu işlem Auto Calibrate seçeneği ile otomatik şekilde de gerçekleştirilebilir. Program, ikinci dereceden bir denkleme fit işlemi gerçekleştirip enerji kalibrasyonunu yapmaktadır.

Bu ikinci dereceden denklem,

$$E = a_0 + a_1(KN) + a_2(KN)^2 \quad (2.1)$$

şeklindedir. Burada; E, gama ışını enerjisidir ve keV cinsindedir. KN, kanal numarasıdır. a₀, a₁ ve a₂ fit etme katsayılarıdır. Fit etme işlemi sonrası, Tablo 2.4 ile verilen her bir izotopun enerjisine karşılık kanal numarası bulundu.

Tablo 2.4. Her bir izotopun enerjisine karşılık kanal numarası

İzotop	Gama Işını Enerjisi (keV)	Kanal Numarası
²⁴¹ Am	59,5	157,48
¹⁰⁹ Cd	88	232,86
⁵⁷ Co	122,1	232,1
¹³⁹ Ce	165,9	439,22
²⁰³ Hg	279,2	739,52
¹¹³ Sn	391,7	1038,07
¹³⁴ Cs	604,7	1603,19
¹³⁷ Cs	661,7	1754,14
¹³⁴ Cs	795,9	2109,94
⁵⁴ Mn	834,9	2213,32
⁸⁸ Y	898	2380,93
⁶⁵ Zn	1115,6	2957,86
⁸⁸ Y	1836,1	4868,8

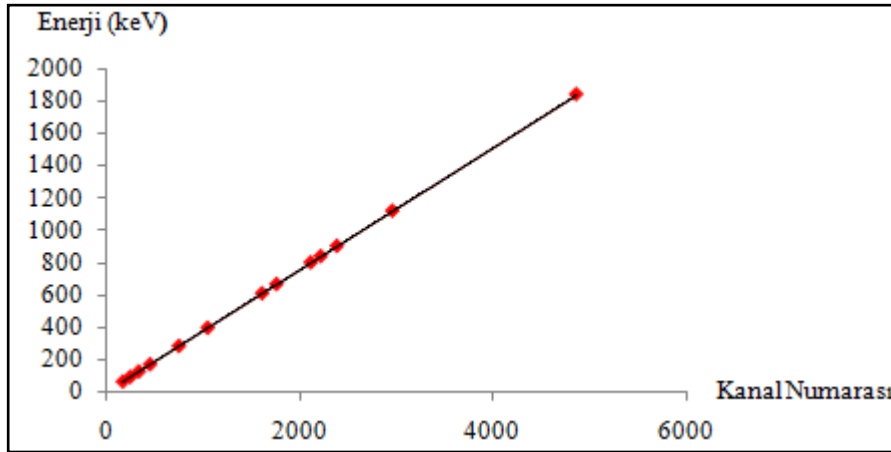
Fit edilerek bulunan katsayılar ise,

$$a_0 = 0,2015 \text{ keV}$$

$$a_1 = 0,377 \text{ keV/KN}$$

$$a_2 = -1,70717 \times 10^{-8} \text{ keV/(KN)}^2$$

şeklindedir. Şekil 2.8’de ise enerji kalibrasyon grafiği verilmektedir.



Şekil 2.8. Enerji kalibrasyon grafiği

2.4.2. Verim kalibrasyonu

Bir radyoaktif örnekten yayımlanan fotonlarının sayısının, dedektör tarafından algılanan fotonların sayısı ile ilişkisi dedektör verimi olarak değerlendirilir. Algılanan fotonların sayısı; kaynağın aktivitesine, kaynak ve dedektör geometrisine ve kaynak ile dedektör arasındaki malzemeye bağlı olarak değişir.

Gama sayımının yapılması ile oluşan spektrumdaki ilgilenilen pikin altındaki alan, fotonların sayısı ile direkt ilişkilidir. Pikin altındaki alan ve pik verimi için,

$$\varepsilon_{\gamma} = \frac{N_{\text{net}}}{A I_{\gamma} t} \quad (2.2)$$

formülü kullanılır. Burada; ε_{γ} , gama ışını enerjisi için sayım verimidir. N_{net} , gama ışınının oluşturduğu pikin net alanıdır. A, aktivite (Bq/kg) ve I_{γ} , gama ışınının yayılma olasılığıdır. t, standart kaynak için sayım süresidir ve saniye cinsindedir.

Verim kalibrasyonu için standart kaynaklar, uygun geometride ve yeterli bir sürede sayılmalıdır.

Enerji kalibrasyonu yapılan ORTEC GammaVision-32 programında, Calibrate→ Efficiency→ Calculate seçenekleri takip edilerek, manuel olarak sertifikada (Ek-B) yer alan izotopların bilgileri girildi, verim hesaplandı ve kaydedildi. Bu işlem, kalibrasyon kenar çubuğunda yer alan Merge seçeneği ile verim hesabı için kullanılacak dosya seçilerek otomatik olarak da yapılabilir. Program, bir polinom fonksiyonunu içeren fit işlemi gerçekleştirip verim kalibrasyonunu yapmaktadır. Bu fit fonksiyonu,

$$\varepsilon_{\gamma} = e^{\left[\sum_{i=1}^6 (a_i E^{2-i}) \right]} \quad (2.3)$$

şeklindedir. Burada; ε_{γ} , gama ışını enerjisi için sayım verimidir. a_i , fit etme katsayılarıdır. E, gama ışını enerjisidir ve MeV cinsindedir.

Fit edilerek bulunan katsayılar ise,

$$a_1 = 0,035535$$

$$a_2 = -5,603370$$

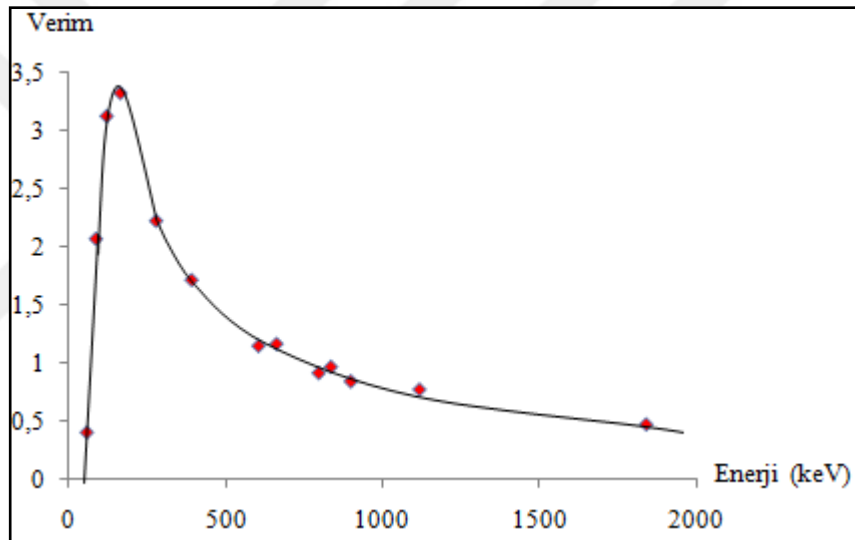
$$a_3 = 0,902960$$

$$a_4 = -0,129869$$

$$a_5 = 0,008040$$

$$a_6 = -0,000207$$

şeklinde. Şekil 2.9'da ise verim kalibrasyon grafiği verilmektedir.

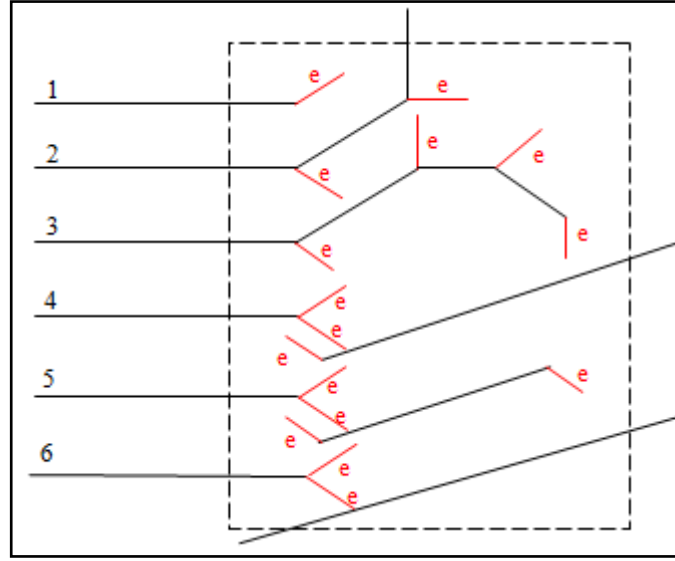


Şekil 2.9. Verim kalibrasyon grafiği

Enerji ve verim kalibrasyon dosyaları istenildiğinde, Calibrate→ Recall Calibration seçenekleri takip edilerek çağırabilir ve kalibre işlemi gerçekleştirebilir.

2.4.3. Fotopik alan hesabı

Fotonların madde ile etkileşimi 3 farklı türde gerçekleşir. Fotoelektrik olay, Compton saçılması ve çift oluşum. Bölüm 1.4'de ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştı. Şekil 2.10'da fotonun dedektör içerisindeki olasılıkları gösterilmektedir.



Şekil 2.10. Fotonun dedektör içerisindeki olasılıkları (Kırmızı çizgiler elektronu temsil etmektedir) [37]

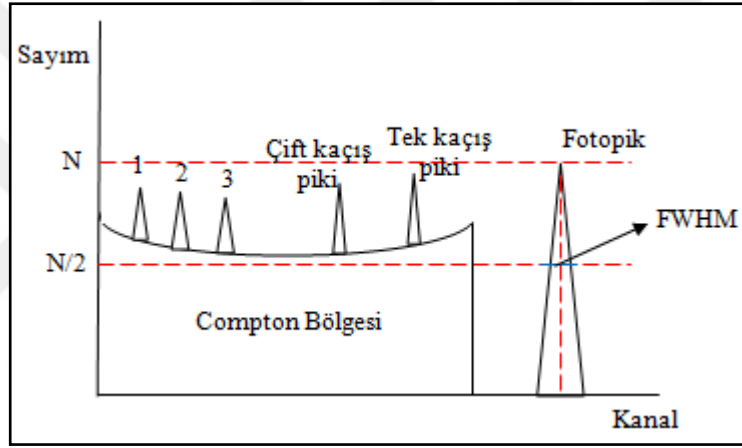
Dedektöre giren foton, dedektör içerisinde;

- 1- Foton, fotoelektrik olay ile dedektöre enerjisinin tamamını aktarabilir.
- 2- Foton, birkaç kere Compton saçılması yaptıktan sonra dedektörden kalan enerjisiyle ayrılabilir.
- 3- Foton, birkaç kere Compton saçılması yaptıktan sonra fotoelektrik olay ile enerjisinin tamamını kaybedebilir.
- 4- Foton, çift oluşum yaparak elektron ve pozitron üretebilir, pozitronun bir elektronla yok olmasıyla toplam iki foton oluşur ve bu fotonlardan biri dedektörden ayrılabilir.
- 5- Çift oluşum yolu ile oluşan iki foton da fotoelektrik olay ile dedektöre enerjilerinin tamamını aktarabilir.
- 6- Çift oluşum yolu ile oluşan iki foton da dedektörden ayrılabilir.

şeklinde 6 farklı yol izleyebilir [37].

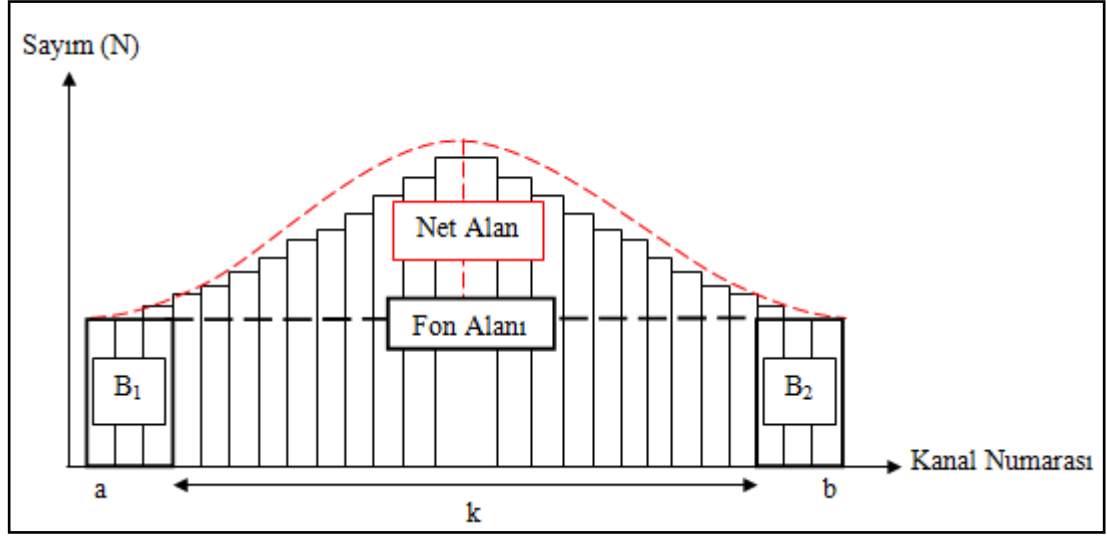
Fotopik; dedektöre giren fotonun yukarıda anlatılan etkileşimlerden biriyle tüm enerjisini dedektöre aktarılması ile oluşur. Fotopikin altındaki alan ise, enerjisinin tamamını dedektöre aktaran fotonların sayısını verir. Dedektörle etkileşim haline giren fotonlar, Compton saçılmasına uğrayıp enerjisinin tamamını dedektöre aktarmadan ayrılırsa Compton Bölgesi oluşur [21]. Compton Bölgesi'nde doğru bir ölçüm yapılamaz. Dedektöre giren fotonun enerjisinin 1,022 MeV'e eşit veya büyük

olmasıyla çift oluşumun gerçekleştiği bilinmektedir. Çift oluşum sonrası oluşan fotonlar enerjilerinin tamamını dedektöre aktarırlarsa fotopik, fotonlardan biri dedektörden ayrılırsa tek kaçış piki, fotonların ikisi de dedektörden ayrılırsa çift kaçış piki görülür. Şekil 2.11'deki spektrumda foton ve dedektör arasındaki etkileşimler gösterilmektedir. Eğer enerji, elektrona aktarılırsa X-ışını görülür, Şekil 2.11'de 1 numaralı piktir. Örnekten çıkan fotonların, dedektör dışı başka bir maddeyle Compton saçılması yapmasının sonucu geri saçılma piki oluşur, Şekil 2.11'de 2 numaralı piktir. Çift oluşumdaki 0,511 MeV'lik pozitronun yok olmasıyla oluşan foton tekrar sayılabilir buna yok olma piki denir, Şekil 2.11'de 3 numaralı piktir [21].



Şekil 2.11. Foton ve dedektör arasındaki etkileşimler [21]

Spektrumdaki ilgilenilmek istenen fotopik düzgün ve uygun bir şekilde seçilir ve işaretlenir. Seçilen herhangi bir fotopikte, sürekli maruz kalınan doğal radyoaktivite kaynaklı fon radyasyonu bulunur. Dedektör boş iken sayıma başlanıldığında, fon radyasyonu ölçümü yapılabilir. İlgilenilen fotopikte net alan hesabı için, fon radyasyonu çıkartılmalıdır. Bunun için, seçilen fotopikte ilk üç kanal ve son üç kanal sayımlarının ortalaması alınır, bu kanallar fotopikten çıkartılarak fon alanı elde edilir. Şekil 2.12'de ise fotopik alanı gösterilmektedir. Bu tez çalışmasında fon radyasyonu, 183000 saniye boyunca sayıldı.



Şekil 2.12. Net fotopik alanı ve fon alanı [19]

İlk üç kanaldaki sayım,

$$B_1 = \sum_{i=a}^{a+2} N_i \quad (2.4)$$

ile hesaplanır. Son üç kanaldaki sayım,

$$B_2 = \sum_{i=b-2}^b N_i \quad (2.5)$$

ile hesaplanır. Burada; B_1 ve B_2 fon (background) radyasyonudur. a , seçilen fotopik bölgesindeki ilk kanal numarasıdır. b , seçilen fotopik bölgesindeki son kanal numarasıdır. N_i , i . kanaldaki sayım sayısıdır.

Toplam fon radyasyonu ise,

$$B = \left(\frac{B_1 + B_2}{3} \right) \left(\frac{b - a + 1}{2} \right) \quad (2.6)$$

şeklinde hesaplanır.

İlgilenilen fotopikin toplam kanal sayısı Denklem (2.7)'deki verilmektedir.

$$k = b - a - 5 \quad (2.7)$$

İlgilenilen fotopikte, fon (background) çıkartılarak elde edilecek fon alanı (FA),

$$FA = B \left(\frac{b-a-5}{b-a+1} \right) \quad (2.8)$$

şeklinde hesaplanır.

Toplam fotopik alanı ise,

$$N_{top} = \sum_{i=a+3}^{b-3} K_i \quad (2.9)$$

denklemleri kullanılarak hesaplanır. Net fotopik alanı ise,

$$N_{net} = N_{top} - FA \quad (2.10)$$

denklemleri kullanılarak hesaplanır. Burada; N_{top} , toplam fotopik alanı ve FA, fon alanıdır.

Net alandaki belirsizlik,

$$\sigma_{N_{net}} = \sqrt{N_{top} + B \left(\frac{b-a-5}{6} \right) \left(\frac{b-a-5}{b-a+1} \right)} \quad (2.11)$$

denklemleri ile hesaplanır.

2.4.4. Aktivite ve spesifik aktivite

İlgilenilen fotopiklerin alan düzeltilmesi yapıldıktan sonra, aktivite Denklem (2.12) kullanılarak hesaplanır.

$$A = \frac{N_{net}}{\varepsilon_\gamma I_\gamma t} \quad (2.12)$$

Burada; A, aktivitedir ve Bq/kg cinsindedir. N_{net} , fotonun oluşturduğu pikin net alanıdır. ε_γ , fotonun enerjisi için sayım verimidir. I_γ , fotonların yayınlanma olasılığıdır. t, sayım süresidir ve saniye cinsindedir.

Spesifik aktivite hesabı yapılırken örneklerin net kütlelerini elde edebilmek için, örnek kabının ve örneğin ağızının sarıldığı parafilm kütlelerinin darası alındı. Birim zamanında birim küttelede bozunan çekirdek sayısı olan spesifik aktivite için,

$$S_A = \frac{A}{m} \quad (2.13)$$

denklemini kullanılır. Burada; A, aktivitedir ve Bq cinsindedir. m, örneğin kütlesidir ve kg cinsindedir.

2.4.5. Belirsizlik

Bozunmaya uğrayan ana çekirdeğin aktivitesi hesaplanırken, birden fazla bozunma ürünü kullanılabilir. Örneğin; ^{232}Th aktivitesi için ^{212}Pb , ^{208}Tl ve ^{228}Ac bozunma ürünleri kullanılır ve bu bozunma ürünlerinin ağırlıklı ortalamaları alınır. Böylece uranyumun aktivitesi hesaplanır. Ağırlıklı ortalama formülü,

$$\bar{A} = \frac{\sum_i \left(\frac{A_i}{\sigma_i^2} \right)}{\sum_i \left(\frac{1}{\sigma_i^2} \right)} \quad (2.14)$$

şeklindedir. Ana çekirdeğin aktivite belirsizliği ise, bozunma ürünlerinin aktivite belirsizliği kullanılarak hesaplanır. Ağırlıklı belirsizlik formülü,

$$\sigma^2 = \frac{1}{\sum_i \left(\frac{1}{\sigma_i^2} \right)} \quad (2.15)$$

şeklindedir. Her ölçümde belirsizlik bulunur. Bu belirsizlik; dedektör duyarlılığından, sayım istatistiğinden, standart kaynakların aktivitesinin belirsizliğinden ve bozunma sabitlerinin belirsizliğinden kaynaklanmaktadır.

DeneySEL metodlu bir ölçümde, ölçülebilen değerler ve bu değerlerin hata oranları bilinirse,

$$\Delta f = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \Delta x_i \right)^2} \quad (2.16)$$

genel denklemi (Denklem (2.16)) ile belirsizlik hesaplanır. Burada; x_i , f fonksiyonunun bağılı olduğu ölçülen bir parametresi ve Δx_i , bu parametrenin ölçümdeki belirsizliğini ve Δf ise f fonksiyonunun hesaplanan belirsizliğini ifade eder.

3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

3.1. Kayaç Örnekleri Sonuçları

Türkiye'nin Karadeniz ve İç Anadolu Bölgeleri'nin kuzeyinden, toplam 62 adet kayaç örneği alındı, toz haline getirilen örneklerin Ek-C'de örnek kaplarına konulup kapatıldığı tarihler, kütleleri ve sayım süreleri yer almaktadır. Örneklerde, doğal radyoaktiviteyi oluşturan ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve yapay radyoaktiviteyi oluşturan ^{137}Cs aktivite seviyeleri ölçüldü. Spesifik aktivite sonuçları, Tablo 3.1'de verilmektedir. Ek-D'de ise daha geniş kapsamlı sonuçlar verilmektedir.

Tablo 3.1. Kayaç örneklerinin spesifik aktivite ve belirsizlik değerleri

Örnek Adı	^{238}U		^{232}Th		^{40}K		^{137}Cs	
	S_A (Bq/kg)	AB (%)	S_A (Bq/kg)	AB (%)	S_A (Bq/kg)	AB (%)	S_A (Bq/kg)	AB (%)
FEM-071	<MDA	<MDA	0,43	14,46	388,53	1,50	0,26	30,31
FEM-072	1,06	11,66	0,98	13,12	244,37	1,94	0,08	79,92
FEM-079	7,59	2,65	8,00	2,29	178,4	2,22	0,04	<MDA
FEM-087	2,75	4,74	1,39	5,74	36,01	4,92	0,10	34,8
FEM-090	<MDA	<MDA	0,43	20,85	0,18	<MDA	0,009	<MDA
FEM-091	<MDA	<MDA	0,25	16,90	0,25	<MDA	0,05	33,33
FEM-093	1,10	15,27	0,65	8,051	221,91	2,05	0,09	45,38
FEM-095	1,49	6,37	1,04	5,50	7,59	12,83	0,13	4,79
FEM-097	$1,27 \times 10^{-4}$	2,17	$1,41 \times 10^{-4}$	1,64	$5,85 \times 10^{-4}$	4,04	$8,27 \times 10^{-7}$	85,7
FEM-103	3,95	3,79	2,66	4,38	3,98	15,62	0,17	32,27
FEM-104	4,47	3,63	2,65	4,05	6,06	14,28	0,05	<MDA
FEM-106	4,39	3,78	2,02	5,34	15,35	8,89	0,05	67,26
FEM-107A	0,67	15,97	0,91	6,51	38,33	4,86	0,09	49,16
FEM-110	<MDA	<MDA	0,59	13,48	7,81	12,19	0,03	59,16
FEM-138	0,17	23,73	0,20	19,89	3,34	22,38	0,01	<MDA
FEM-147	9,29	2,59	9,78	2,12	482,88	1,26	0,08	<MDA
FEM-161	1,45	7,07	1,29	5,32	131,99	2,72	0,04	<MDA
FEM-165	<MDA	<MDA	0,48	13,87	0,71	<MDA	0,21	22,23
FEM-168D	<MDA	<MDA	0,26	20,70	8,61	12,42	0,03	<MDA
FEM-175	3,08	4,22	1,88	5,13	26,18	5,96	0,11	32,01
FEM-176	1,15	10,22	1,39	6,15	322,75	1,66	0,49	20,37
FEM-181	<MDA	<MDA	0,15	11,32	1,20	38,63	0,02	<MDA
FEM-182	2,79	4,64	1,68	5,51	31,20	6,19	0,15	22,05

Tablo 3.1. (Devam) Kayaç örneklerinin spesifik aktivite ve belirsizlik değerleri

Örnek Adı	²³⁸ U		²³² Th		⁴⁰ K		¹³⁷ Cs	
	S _A (Bq/kg)	AB (%)	S _A (Bq/kg)	AB (%)	S _A (Bq/kg)	AB (%)	S _A (Bq/kg)	AB (%)
FEM-184	<MDA	<MDA	0,23	18,25	0,35	96,36	0,01	<MDA
FEM-186	0,18	21,37	0,26	18,37	50,64	4,24	0,08	80,56
FEM-187	14,88	2,49	37,89	1,02	664,7	1,14	0,36	51,14
FEM-189	8,04	2,55	11,41	1,74	10,78	11,28	0,06	<MDA
FEM-190	0,39	19,61	0,12	19,03	84,53	3,24	0,11	32,47
FEM-193	1,54	6,54	1,62	4,48	115,99	2,49	0,05	47,75
FEM-194	1,41	6,54	2,54	3,63	84,27	2,98	0,07	63,54
FEM-196	15,80	1,71	11,22	1,80	152,64	2,40	0,15	62,37
FEM-198	2,39	4,94	2,71	3,14	87,59	3,02	0,17	25,14
FEM-199	12,55	2,51	19,02	1,48	196,03	2,16	0,18	51,24
FEM-201	4,97	3,51	2,37	4,00	100,8	3,31	0,05	<MDA
FEM-205	17,70	1,24	23,03	0,73	733,45	0,59	0,20	36,06
FMR-005	6,02	3,60	7,23	2,66	273,2	1,87	0,06	81,2
FMR-010	2,38	4,95	2,96	3,76	24,15	6,97	0,04	<MDA
FMR-019	6,96	4,56	7,91	2,80	897,09	1,00	0,31	39,62
FMR-029	54,14	1,22	68,86	0,83	865,11	1,11	0,33	68,92
FMR-033	36,50	1,63	49,31	1,02	652,26	1,26	0,21	67,43
FMR-037	0,11	27,74	0,27	18,62	0,08	<MDA	0,16	20
FMR-039	0,11	35,51	0,16	35,56	0,25	<MDA	0,08	33,08
FMR-042	13,52	2,57	17,10	1,62	314,46	1,81	0,36	32,07
FMR-047	47,70	1,17	35,08	1,12	602	1,27	0,10	<MDA
FMR-059	6,67	3,25	12,77	1,86	231,02	2,07	0,15	59,34
FMR-062	45,72	1,33	16,76	1,78	959,36	0,98	0,19	87,35
İM-017	0,14	39,97	0,12	15,97	34,78	5,19	0,006	<MDA
İM-027	<MDA	<MDA	0,23	20,41	37,16	5,11	0,03	90,27
KEK-01	0,02	79,06	0,25	18,26	0,55	<MDA	0,15	19,76
TA-015B	1,43	5,90	1,38	4,98	0,20	<MDA	0,02	<MDA
TA-022A	0,52	18,26	0,41	17,67	1,65	22,36	0,02	<MDA
TA-027	3,33	4,30	2,95	3,35	32,67	5,24	0,06	74,24
TA-037B	29,49	1,67	21,55	1,70	491,35	1,58	0,11	<MDA
TA-038	0,27	15,63	0,38	14,27	41,82	4,70	0,07	28,87
TA-041B	0,55	14,10	1,05	6,35	1,54	26,38	0,03	<MDA
TA-041C	0,06	40,82	0,43	15,47	0,15	<MDA	0,07	35,85
TA-042A	0,16	17,75	0,06	4,82	1,61	21,82	0,005	<MDA
TA-042B	<MDA	<MDA	0,08	40,63	0,16	<MDA	0,02	<MDA
TA-043	11,76	2,44	15,00	1,61	282,54	1,72	0,04	<MDA
TA-048	10,08	2,59	12,27	1,95	205,98	2,16	0,10	85,81
TA-058	0,88	11,50	1,34	6,15	178,43	2,38	0,32	26,71
TA-059	1,77	8,24	1,36	5,41	2,84	33,22	0,03	<MDA

S_A: Ağırlıklı Ortalama Spesifik Aktivite

AB: Ağırlıklı Belirsizlik

MDA: Minimum Detectable Activity (Minimum Ölçülebilir Aktivite)

3.2. Öneriler

Toplanan kayaç örneklerinde, doğal radyoaktif izotoplar ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve yapay radyoaktif izotop ^{137}Cs radyoaktivite seviye ölçümleri HpGe dedektörü ile yapılmıştır. Ek-D'de, ^{238}U , ^{232}Th izotoplarının bozunum ürünlerinin ve ^{40}K , ^{137}Cs izotoplarının spesifik aktivitelerinin ağırlıklı ortalama ve ağırlıklı belirsizlik değerleri detaylı olarak verilmiştir.

Granit gibi volkanik kayaçlarda yüksek radyasyon seviyeleri görülürken, tortul kayaçlarda ve fosfat kayaçlarda daha düşük radyasyon seviyeleri görülmektedir [17]. UNSCEAR-2000'e göre; yer kabuğunda genel olarak ^{238}U 'un ortalama aktivite konsantrasyonu 33 Bq/kg'dir, ^{232}Th 'un ortalama aktivite konsantrasyonu 45 Bq/kg'dir, her iki element de tektonik plakaların ve diğer hareketlenmelerin neden olacağı jeolojik etkileşimlerle belirli kayaçlarda yoğunlaşabilirler [17]. Yer kabuğunda ağırlıkça neredeyse %2,5'inde bulunan ^{40}K 'ın ortalama aktivite konsantrasyonu UNSCEAR-2000'e göre, 420 Bq/kg'dir [17]. Tablo 3.2'de, UNSCEAR-2000'e göre ortalamanın üstünde çıkan doğal radyoaktif izotopların değerleri gösterilmektedir.

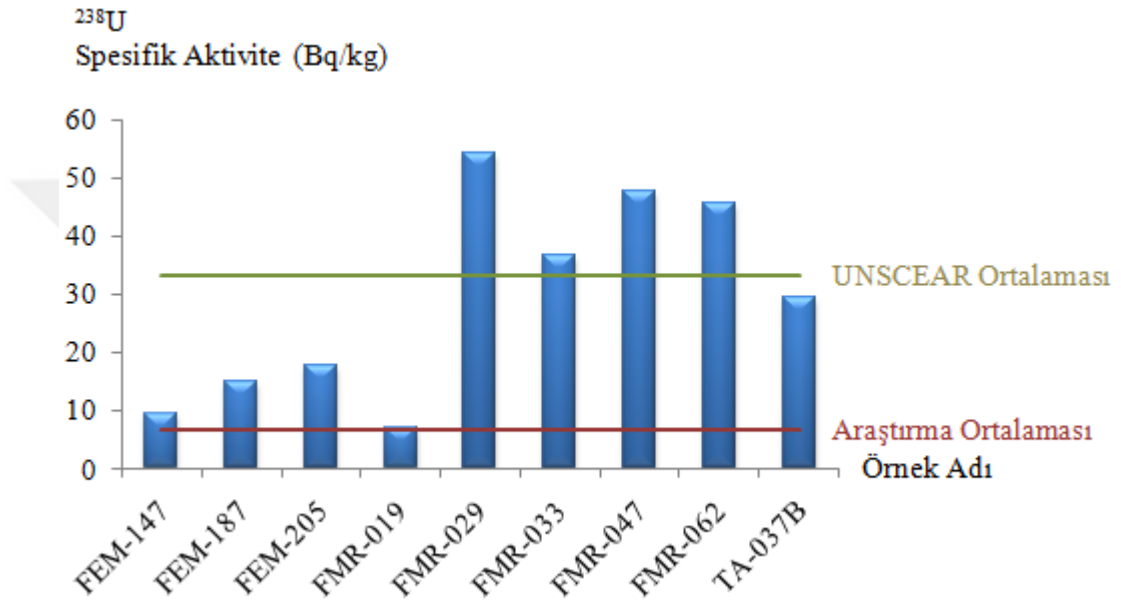
Tablo 3.2. Ortalama üstü çıkan doğal radyoaktif izotop değerleri

Örnek Konumu	Örnek No	Kayaç Türü	^{238}U	^{232}Th	^{40}K
Sinop	FEM-147	Bazalt	Ortalama Altı	Ortalama Altı	482,88
Çorum	FEM-187	Granodiyorit	Ortalama Altı	37,89	664,7
Çorum	FEM-205	Riyolit	Ortalama Altı	Ortalama Altı	735,45
Çankırı	FMR-019	Bazalt	Ortalama Altı	Ortalama Altı	897,09
Çankırı	FMR-029	Andezit	54,14	68,86	865,11
Çankırı	FMR-033	Andezit	36,50	49,31	652,26
Kastamonu	FMR-047	Dasit	47,70	35,08	602
Kastamonu	FMR-062	Granit	45,79	Ortalama Altı	959,36
Tokat	TA-037B	Gabro	Ortalama Altı	Ortalama Altı	491,35

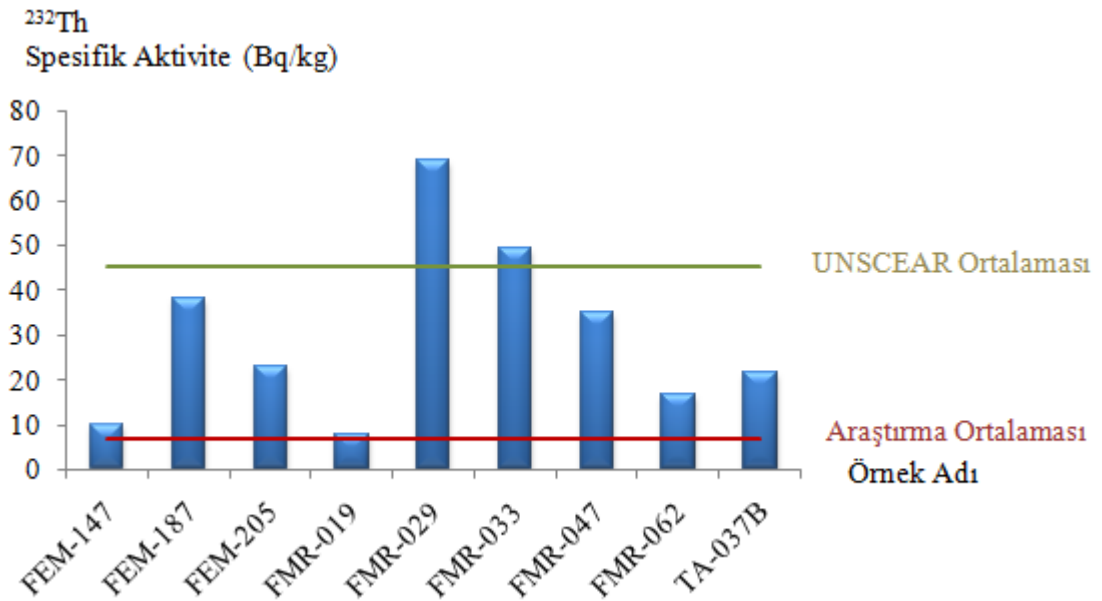
Tablo 3.2 incelendiğinde, magmatik kayaç türlerinde, daha yüksek oranda doğal radyoaktivite seviye değerleri bulunmuştur. En fazla ^{40}K aktivite değeri granit kayaç türünde ölçülmüştür ancak örneklerdeki her granit kayaç türünde bu oran bulunamamıştır. İki andezit kayaç türünde ve dasit kayaç türünde yüksek ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite değeri bulunmasına rağmen genel bir yargıya varılabilmesi için bu kayaç türleri üzerinde daha fazla çalışma yapılmalıdır.

Bütün kayaç örneklerinde ^{137}Cs radyoaktif seviye sonucu, minimum ölçülebilir aktivite değerinden fazla bulunmuştur. Bunun sebebi olarak, Çernobil nükleer kaza etkisinin hala devam ediyor oluşu düşünülebilir.

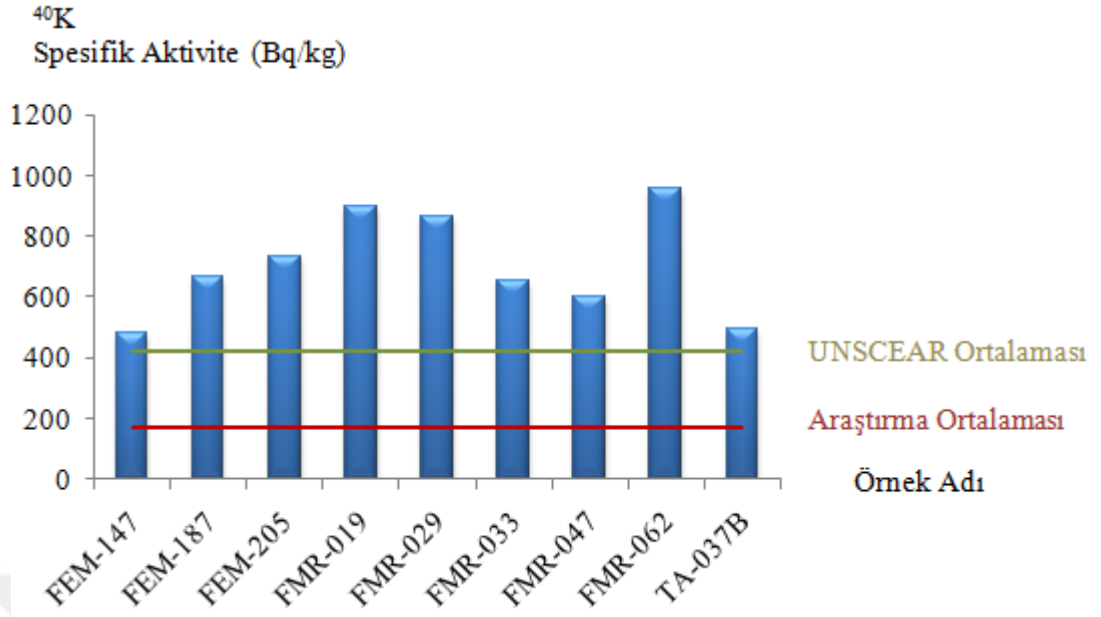
Kayaç örneklerindeki ortalama üstü çıkan doğal radyoaktif izotop değerlerinin; Şekil 3.1'de ^{238}U , Şekil 3.2'de ^{232}Th ve Şekil 3.3'de ^{40}K 'un spesifik aktivite değerleri ve ortalamasının, UNSCEAR değeri ile karşılaştırılması gösterilmektedir.



Şekil 3.1. ^{238}U spesifik aktivite değerleri ve ortalamasının, UNSCEAR değeri ile karşılaştırılması



Şekil 3.2. ^{232}Th spesifik aktivite değerleri ve ortalamasının, UNSCEAR değeri ile karşılaştırılması



Şekil 3.3. ⁴⁰K spesifik aktivite değerleri ve ortalamasının, UNSCEAR değeri ile karşılaştırılması

Bu tez çalışması, ileride meydana gelebilecek herhangi bir nükleer kaza veya nükleer sızıntı durumunda çevresel radyoaktivite değerindeki artışı belirleyebilmek açısından önemlidir. Aynı zamanda mevcut literatüre bir katkı sağlamıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Serway R. A., Beichner R. J., Radyoaktiflik, Editör: Çolakoğlu K., *Fizik 3*, 5 th ed., Palme Yayıncılık, Ankara, 1450-1451, 2011.
- [2] Knoll G. F., *Radiation Detection and Measurement*, 4th ed., John Wiley & Sons, New York, 2010.
- [3] Leo W.R., *Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments*, 2 nd ed., Springer-Verlag, Germany, 1994.
- [4] Tsoufanidis N., *Measurement and Detection of Radiation*, 2 nd ed., Taylor & Francis, United States of America, 542-546, 1995.
- [5] Uosif M. A. M., Issa S. A. M., Abd El-Salam L. M., Measurement of Natural Radioactivity in Granites and its Quartz-Bearing Gold at El-Fawakhir Area, *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, DOI: 10.1016/j.jrras.2015.02.005.
- [6] Akkurt I., Günoğlu K., Natural Radioactivity Measurements and Radiation Dose Estimation in Some Sedimentary Rock Samples in Turkey, *Science and Technology of Nuclear Installations*, DOI: 10.1155/2014/950978.
- [7] Abbady A., Ahmed N. K., El-Arabi A. M., Michel R., El-Kamel A. H., Abbady A. G. E., Estimation of Radiation Hazard Indices from Natural Radioactivity of Some Rocks, *Nuclear Science and Techniques*, DOI: 10.1016/S1001-8042(06)60023-7.
- [8] El-Arabi A. M., Ahmed N. K., El-Kamel A. H., Gamma Spectroscopic Analysis of Powdered Granite Samples in Some Eastern Desert's Areas, *Proceedings of the 5th Radiation Conference*, Mısır, 5-9 Kasım 2000.
- [9] Abd El-mageed A. I., El-Kamel A. H., Abbady A., Harb S., Youssef A. M. M., Saleh I. I., Assessment of Natural and Anthropogenic Radioactivity Levels in Rocks and Soils in the Environments of Juban Town in Yemen, *Radiation Physics and Chemistry*, DOI: 10.1016/j.radphyschem.2011.02.025.
- [10] Keser R., Korkmaz Görür F., Alp İ., Okumuşoğlu N. T., Determination of Radioactivity Levels and Hazards of Sediment and Rock Samples in İkizdere and Kaptanpaşa Valley Turkey, *International Journal of Radiation Research*, 2013, **11**(3), 155-165.
- [11] IAEA, Radiation Protection and Safety of Radiation Sources:International Basic Safety Standards, *International Atomic Energy Agency*, Avusturya, 2011.

- [12] Tatar Erkül S., Özmen S. F., Erkül F., Boztosun İ., Comparison Between Natural Radioactivity Levels and Geochemistry of some Granitoids in Western Turkey, *Turkish Journal of Earth Sciences*, DOI: 10.3906/yer-1511-6.
- [13] Mason B., Moore C. B., *Principles of Geochemistry*, 4 th ed., John Wiley&Sons, New York, 1982.
- [14] Angı O. S., Yavuz O., Yalçın T., Çiftçi E., Mineralogy-İnduced Radiological Aspects with Characterization of Commercial Granites Exploited in Turkey, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, DOI: 10.1007/s10064-016-0894-2.
- [15] Nafiz M., Akaryalı E., A Review for Genesis of Continental Arv Magmas: U, Th, K and Radiogenic Heat Production Data from the Gümüşhane Pluton in the Eastern Pontides (NE Türkiye), *Tectonophysics*, DOI: 10.1016/j.tecto.2015.09.023.
- [16] Chapter 8 Hyper-Pure Germanium Detector, *Med Phys 4RA3, 4RB3/6R03, Radioisotopes and Radiation Methodology*.
- [17] UNSCEAR, Sources and Effects of Ionizing Radiation, *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly with Scientific Annexes*, Volume I: Sources.
- [18] Korkulu Z., Kocaeli İli Karadeniz Sahil Kumlarının Doğal Radyoaktivite Seviyelerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2010, 275781.
- [19] Öksüz İ., İzmit Körfezindeki ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs Spesifik Aktivitelerinin Ölçülmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2016, 436224.
- [20] Özcan, A., and Aksay, A., 1996, Tokat-Turhal-Almus-Çamlıbel Dolayının Jeolojisi: General Directorate of Mineral Research and Explorations (MTA), Report No. 9972.
- [21] Baykal S., Yeni Tip Gama Dedektörleri ve İz Sürme Tekniği, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2007, 213865.
- [22] Mahur A. K., Kumar R., Sonkawade R. G., Sengupta D., Prasad R., Measurement of Natural Radioactivity and Radon Exhalation Rate from Rock Samples of Jaduguda Uranium Mines and its Radiological İmplications, *Nuclear Instruments and Methods in Physics*, DOI: 10.1016/j.nimb.2008.01.056.
- [23] Kapdan E., Taşkın H., Kam E., Osmanlıoğlu A. E., Karahan G., Bozkurt A., A Study of Enviromental Radioactivity Measurements for Çankırı Turkey, *Radiation Protection Dosimetry*, DOI: 10.1093/rpd/ncr416

- [24] <http://www.taek.gov.tr/ogrenci/r01.htm> (Ziyaret Tarihi: 20.05.2019)
- [25] http://auzefalmsstorage.blob.core.windows.net/auzefcontent/ders/dunyayi_etkileyen_onemli_afetler_ve_alinan_dersler/11/index.html (Ziyaret Tarihi: 20.05.2019)
- [26] <https://www.afad.gov.tr/tr/23733/Radyasyon-Dozlari-ve-Etkileri> (Ziyaret Tarihi: 22.05.2019)
- [27] https://shodhganga.inflibnet.ac.in/bitstream/10603/154205/12/12_chapter%202.pdf (Ziyaret Tarihi: 22.05.2019)
- [28] <https://www.kozmikanafor.com/compton/> (Ziyaret Tarihi: 27.05.2019)
- [29] <https://www.nuclear-power.net/nuclear-power/reactor-physics/interaction-radiation-matter/interaction-gamma-radiation-matter/> (Ziyaret Tarihi: 30.05.2019)
- [30] <https://www.tercihiniyap.net/yasam/il-nufuslari-2019-h6629.html> (Ziyaret Tarihi: 04.06.2019)
- [31] <https://www.afad.gov.tr/tr/23707/Radyasyon-Nedir> (Ziyaret Tarihi: 04.06.2019)
- [32] <https://www.ortec-online.com/> (Ziyaret Tarihi: 07.06.2019)
- [33] https://www.researchgate.net/figure/Simplified-Ge-detector-with-cryostatic-cooling-in-dipstick-configuration-source_fig3_226715736 (Ziyaret Tarihi: 07.06.2019)
- [34] http://www.radioactivity.eu.com/site/pages/Discover_Artificial_Radioactivity.htm (Ziyaret Tarihi: 07.06.2019)
- [35] http://aether.lbl.gov/www/tour/elements/stellar/stellar_a.html (Ziyaret Tarihi: 07.06.2019)
- [36] <http://metadata.berkeley.edu/nuclear-forensics/Decay%20Chains.html> (Ziyaret Tarihi: 08.06.2019)
- [37] <http://80.251.40.59/science.ankara.edu.tr/sakkoyun/GammaYonTAYini.doc> (Ziyaret Tarihi: 15.06.2019)



EKLER

EK-A

Moss-Soil standart kaynağındaki izotoplar [18]

İzotoplar	IAEA Değeri (Bq/kg d.m.)
²²⁸ Ac	37,0
²⁴¹ Am	2,2
²¹⁴ Bi	24,8
¹³⁷ Cs	425
⁴⁰ K	550
²¹⁰ Pb	424
²¹² Pb	37,0
²¹⁴ Pb	26,0
²²⁶ Ra	25,1
²³⁴ Th	25,5
²⁰⁸ Tl	13,0



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

CERTIFICATE OF CALIBRATION
 Standard Radionuclide Source

85548A-443

170 mL High Density Solid in 0.2 L PP Bora Jar

Customer: EZN/NEL Elektronik Cihazlar
P.O. No.: P622276, Item 1 (QCR18256)
Reference Date: 01-Aug-2011 12:00 PM EST **Grams of Master Source:** 0.019226

This standard radionuclide source was prepared gravimetrically from a master radionuclide solution. The master radionuclide solution was prepared gravimetrically by addition of radionuclides calibrated by an ionization chamber or a liquid scintillation counter. Calibration and purity were checked using a germanium gamma spectrometer system. At the time of calibration no interfering gamma-ray emitting impurities were detected. The gamma-ray emission rates for the most intense gamma-ray lines are given. Eckert & Ziegler Analytics (EZA) maintains traceability to the National Institute of Standards and Technology through a Measurements Assurance Program as described in USNRC Regulatory Guide 4.15, Revision 1, February, 1979, and compliance with ANSI N42.22-1995, "Traceability of Radioactive Sources to NIST." EZA is accredited by the Health Physics Society (HPS) for the production of NIST-traceable sources, and this source was produced in accordance with the HPS accreditation requirements. Customers may report any concerns with the accreditation program to the HPS Secretariat, 1313 Dolley Madison Blvd., Ste. 402, McLean, VA 22101.
 Density of solid matrix 1.6 g/cc.

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

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

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

(Certificate continued on reverse side)

AMA Form 005 Rev. 10-01-2009

TCC Certificate, Rev 1 10-01-2009



Page 1 of 2

Corporate Office
 24937 Avenue Tibbitts Valencia, California 91355

Laboratory
 1380 Seaboard Industrial Blvd. Atlanta, Georgia, 30318

EK-C

Örnek No	Kapatılma Tarihi	Boş Kap+ Etiket+Parafilm (g)	Örnek Kütlesi+Kap (g)	Örnek Kütlesi (g)	Sayım Süresi (s)
FEM-071	12.10.2018	30,5	220,55	190,05	86369
FEM-072	13.10.2018	30,64	213,98	183,34	86375
FEM-079	12.10.2018	30,62	233,81	203,19	86359
FEM-087	13.10.2018	30,91	226,04	195,13	86379
FEM-090	12.10.2018	30,61	288,21	257,6	86462
FEM-091	12.10.2018	30,79	241,23	210,44	86378
FEM-093	12.10.2018	30,61	211,71	181,1	86500
FEM-095	12.10.2018	30,57	231,86	201,29	86376
FEM-097	11.10.2018	30,68	213,87	183,19	91734
FEM-103	12.10.2018	30,88	195,24	164,36	86348
FEM-104	12.10.2018	30,61	202,49	171,88	86374
FEM-106	12.10.2018	30,6	191,26	160,66	87449
FEM-107A	13.10.2018	30,97	210,21	179,24	93217
FEM-110	13.10.2018	30,59	232,87	202,28	86383
FEM-138	12.10.2018	30,62	250,26	219,64	86383
FEM-147	13.10.2018	30,47	230,66	200,19	92114
FEM-161	12.10.2018	30,59	203,35	172,76	86381
FEM-165	12.10.2018	30,68	230,3	199,62	86381
FEM-168D	12.10.2018	30,73	225,48	194,75	86377
FEM-175	12.10.2018	30,84	229,67	198,83	86379
FEM-176	13.10.2018	30,65	222,1	191,45	86368
FEM-181	12.10.2018	30,68	276,11	245,43	86346
FEM-182	13.10.2018	30,66	216,24	185,58	86377
FEM-184	12.10.2018	30,56	241,16	210,6	86383
FEM-186	12.10.2018	30,47	235,68	205,21	86378
FEM-187	12.10.2018	30,72	230,41	199,69	86367
FEM-189	12.10.2018	30,68	241,63	210,95	86362
FEM-190	13.10.2018	30,88	215,86	184,98	92014
FEM-193	11.10.2018	30,68	259,8	229,12	86383
FEM-194	12.10.2018	30,68	262,08	231,4	86381
FEM-196	12.10.2018	30,89	246,73	215,84	86356
FEM-198	13.10.2018	30,65	260,66	230,01	86357
FEM-199	12.10.2018	30,59	220,69	190,1	86373
FEM-201	12.10.2018	30,57	209,44	178,87	86375
FEM-205	13.10.2018	30,61	214,14	183,53	325010
FMR-005	12.10.2018	30,8	205,56	174,76	86380
FMR-010	12.10.2018	30,68	207,26	176,58	86376
FMR-019	12.10.2018	30,62	216,83	186,21	86375
FMR-029	12.10.2018	30,59	190,16	159,17	86362
FMR-033	13.10.2018	30,47	200,64	170,17	86370
FMR-037	13.10.2018	30,64	214,46	183,82	86376
FMR-039	13.10.2018	30,46	244,61	214,15	86381
FMR-042	12.10.2018	30,58	220,7	190,12	93525

EK-C (Devam)

Örnek No	Kapatılma Tarihi	Boş Kap+ Etiket+Parafilm (g)	Örnek Kütlesi+Kap (g)	Örnek Kütlesi (g)	Sayım Süresi (s)
FMR-047	13.10.2018	30,62	217,21	186,59	86369
FMR-059	12.10.2018	30,57	199,45	168,88	86356
FMR-062	13.10.2018	30,86	215,39	184,53	86368
İM-017	12.10.2018	30,87	228,81	197,94	86373
İM-027	12.10.2018	30,68	243,11	212,43	86369
KEK-01	13.10.2018	30,69	254,27	233,58	95475
TA-015B	12.10.2018	30,85	265,49	234,64	86381
TA-022A	12.10.2018	30,61	223,19	192,58	86373
TA-027	13.10.2018	30,88	234,24	203,36	86382
TA-037B	13.10.2018	30,91	180,61	149,7	86375
TA-038	11.10.2018	30,68	225,21	194,53	86520
TA-041B	13.10.2018	30,92	243,23	212,31	86382
TA-041C	11.10.2018	30,68	234,36	204,18	86359
TA-042A	12.10.2018	30,64	238,66	208,02	86381
TA-042B	11.10.2018	30,68	220,95	190,27	86377
TA-043	11.10.2018	30,68	233,68	203	86409
TA-048	13.10.2018	30,81	212,35	181,54	86369
TA-058	12.10.2018	30,6	200,81	170,21	86379
TA-059	12.10.2018	30,82	205,58	174,76	86379

EK-D

FEM-071							
Seri	İzotop	Enerji (keV)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Belirsizlik (%)	Ağırlıklı Ortalama Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Ağırlıklı Belirsizlik (%)	
²³⁸ U	²²⁶ Ra	186,1	1,12	<MDA	<MDA	<MDA	
		351,92	0,13	<MDA			
		295,21					
	241,98	0,14	<MDA				
	²¹⁴ Bi			609,31			
				1764,49			
1120,29							
²³² Th	²¹² Pb	238,63	0,18	53,8	0,43	14,46	
		²⁰⁸ Tl	2614,53	0,26			18,69
			583,19				
	860,56						
	²²⁸ Ac	911,21	0,81	25,21			
		968,97					
338,32							
⁴⁰ K	1461	388,53	1,50	388,53	1,50		
¹³⁷ Cs	661,66	0,26	30,31	0,26	30,31		

*Minimum Detectable Activity (Minimum Ölçülebilir Aktivite)

FEM-072							
Seri	İzotop	Enerji (keV)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Belirsizlik (%)	Ağırlıklı Ortalama Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Ağırlıklı Belirsizlik (%)	
²³⁸ U	²²⁶ Ra	186,1	2,86	28,52	1,06	11,66	
		351,92	1,06	11,66			
		295,21					
	241,98	0,13	<MDA				
	²¹⁴ Bi			609,31			
				1764,49			
1120,29							
²³² Th	²¹² Pb	238,63	0,15	53,61	0,98	13,12	
		²⁰⁸ Tl	2614,53	0,28			18,53
			583,19				
	860,56						
	²²⁸ Ac	911,21	1,90	19,83			
		968,97					
338,32							
⁴⁰ K	1461	244,37	1,94	244,37	1,94		
¹³⁷ Cs	661,66	0,08	79,92	0,08	79,92		

EK-D (Devam)

FEM-079						
Seri	İzotop	Enerji (keV)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Belirsizlik (%)	Ağırlıklı Ortalama Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Ağırlıklı Belirsizlik (%)
²³⁸ U	²²⁶ Ra	186,1	17,48	9,48	7,59	2,65
		351,92	7,37	3,42		
		295,21				
	241,98	7,91	4,19			
	²¹⁴ Bi			609,31		
				1764,49		
1120,29						
²³² Th	²¹² Pb	238,63	8,46	2,73	8,00	2,29
		2614,53	1,87	7,39		
		583,19				
	860,56	9,33	5,18			
	²²⁸ Ac			911,21		
				968,97		
338,32						
⁴⁰ K		1461	178,4	2,23	178,4	2,23
¹³⁷ Cs		661,66	0,04	<MDA	0,04	<MDA

*Minimum Detectable Activity (Minimum Ölçülebilir Aktivite)

FEM-087						
Seri	İzotop	Enerji (keV)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Belirsizlik (%)	Ağırlıklı Ortalama Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Ağırlıklı Belirsizlik (%)
²³⁸ U	²²⁶ Ra	186,1	0,93	<MDA	2,75	4,74
		351,92	2,84	6,37		
		295,21				
	241,98	2,64	7,10			
	²¹⁴ Bi			609,31		
				1764,49		
1120,29						
²³² Th	²¹² Pb	238,63	1,41	7,03	1,39	5,74
		2614,53	0,22	21,82		
		583,19				
	860,56	1,64	11,16			
	²²⁸ Ac			911,21		
				968,97		
338,32						
⁴⁰ K		1461	36,01	4,92	36,01	4,92
¹³⁷ Cs		661,66	0,10	34,8	0,10	34,8

EK-D (Devam)

FEM-090						
Seri	İzotop	Enerji (keV)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Belirsizlik (%)	Ağırlıklı Ortalama Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Ağırlıklı Belirsizlik (%)
²³⁸ U	²²⁶ Ra	186,1	0,58	55,2	<MDA	<MDA
		351,92	0,03	<MDA		
	295,21					
	241,98					
	²¹⁴ Pb	609,31	0,05	<MDA		
		1764,49				
1120,29						
²³² Th	²¹² Pb	238,63	0,04	<MDA	0,43	20,85
		2614,53	0,02	<MDA		
		583,19				
	860,56	0,43	20,85			
	911,21					
	968,97					
²²⁸ Ac	338,32					
⁴⁰ K		1461	0,18	<MDA	<MDA	<MDA
¹³⁷ Cs		661,66	0,009	<MDA	<MDA	<MDA

*Minimum Detectable Activity (Minimum Ölçülebilir Aktivite)

FEM-091						
Seri	İzotop	Enerji (keV)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Belirsizlik (%)	Ağırlıklı Ortalama Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Ağırlıklı Belirsizlik (%)
²³⁸ U	²²⁶ Ra	186,1	0,48	<MDA	<MDA	<MDA
		351,92	0,05	<MDA		
	295,21					
	241,98					
	²¹⁴ Pb	609,31	0,06	<MDA		
		1764,49				
1120,29						
²³² Th	²¹² Pb	238,63	0,05	<MDA	0,25	16,90
		2614,53	0,27	18,9		
		583,19				
	860,56	0,16	37,8			
	911,21					
	968,97					
²²⁸ Ac	338,32					
⁴⁰ K		1461	0,25	<MDA	0,25	<MDA
¹³⁷ Cs		661,66	0,05	33,33	0,05	33,33

EK-D (Devam)

FEM-093						
Seri	İzotop	Enerji (keV)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Belirsizlik (%)	Ağırlıklı Ortalama Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Ağırlıklı Belirsizlik (%)
²³⁸ U	²²⁶ Ra	186,1	4,75	20,92	1,10	15,27
		351,92	0,17	<MDA		
	²¹⁴ Pb	295,21				
	241,98					
	²¹⁴ Bi	609,31	1,10	15,27		
		1764,49				
1120,29						
²³² Th	²¹² Pb	238,63	0,84	12,74	0,65	8,05
		2614,53	0,53	10,39		
	²⁰⁸ Tl	583,19				
	860,56					
	²²⁸ Ac	911,21	0,37	<MDA		
		968,97				
338,32						
⁴⁰ K	1461	221,91	2,05	221,91	2,05	
¹³⁷ Cs	661,66	0,09	45,83	0,09	45,38	

*Minimum Detectable Activity (Minimum Ölçülebilir Aktivite)

FEM-095						
Seri	İzotop	Enerji (keV)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Belirsizlik (%)	Ağırlıklı Ortalama Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Ağırlıklı Belirsizlik (%)
²³⁸ U	²²⁶ Ra	186,1	-	-	1,49	6,37
		351,92	1,28	9,23		
	²¹⁴ Pb	295,21				
	241,98					
	²¹⁴ Bi	609,31	1,67	8,80		
		1764,49				
1120,29						
²³² Th	²¹² Pb	238,63	0,99	8,42	1,04	5,50
		2614,53	0,38	11,88		
	²⁰⁸ Tl	583,19				
	860,56					
	²²⁸ Ac	911,21	1,50	9,21		
		968,97				
338,32						
⁴⁰ K	1461	7,59	12,83	7,59	12,83	
¹³⁷ Cs	661,66	0,13	40,79	0,13	40,79	

EK-D (Devam)

FEM-097						
Seri	İzotop	Enerji (keV)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Belirsizlik (%)	Ağırlıklı Ortalama Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Ağırlıklı Belirsizlik (%)
²³⁸ U	²²⁶ Ra	186,1	2,53E-04	10,75	1,27E-04	2,17
		351,92	1,27E-04	2,73		
		295,21				
	241,98	1,27E-04	3,59			
	609,31					
	1764,49					
²¹⁴ Bi	1120,29	1,58E-04	3,03			
	911,21					
	968,97					
²³² Th	²¹² Pb	238,63	1,47E-04	2,08	1,41E-04	1,64
		2614,53	3,24E-05	5,74		
		583,19				
	860,56	1,58E-04	3,03			
	911,21					
968,97						
²²⁸ Ac	338,32	1,58E-04	3,03			
	338,32					
⁴⁰ K		1461	5,85E-04	4,04	5,85E-04	4,04
¹³⁷ Cs		661,66	8,27E-07	85,7	8,27E-07	85,7

FEM-103						
Seri	İzotop	Enerji (keV)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Belirsizlik (%)	Ağırlıklı Ortalama Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Ağırlıklı Belirsizlik (%)
²³⁸ U	²²⁶ Ra	186,1	-	-	3,95	3,79
		351,92	4,09	4,53		
		295,21				
	241,98	3,63	6,93			
	609,31					
	1764,49					
²¹⁴ Bi	1120,29	2,84	10,08			
	911,21					
	968,97					
²³² Th	²¹² Pb	238,63	2,80	5,07	2,66	4,38
		2614,53	0,59	17,18		
		583,19				
	860,56	2,84	10,08			
	911,21					
968,97						
²²⁸ Ac	338,32	2,84	10,08			
	338,32					
⁴⁰ K		1461	3,98	15,62	3,98	15,62
¹³⁷ Cs		661,66	0,17	32,27	0,17	32,27

EK-D (Devam)

FEM-104						
Seri	İzotop	Enerji (keV)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Belirsizlik (%)	Ağırlıklı Ortalama Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Ağırlıklı Belirsizlik (%)
²³⁸ U	²²⁶ Ra	186,1	4,97	24,05	4,47	3,63
		351,92	4,56	4,73		
		295,21				
	241,98	4,33	5,68			
	²¹⁴ Bi			609,31		
				1764,49		
1120,29						
²³² Th	²¹² Pb	238,63	2,70	4,97	2,65	4,05
		2614,53	0,65	13,61		
		583,19				
	860,56	3,23	8,12			
	²²⁸ Ac			911,21		
				968,97		
338,32						
⁴⁰ K		1461	6,06	14,28	6,06	14,28
¹³⁷ Cs		661,66	0,05	<MDA	0,05	<MDA

*Minimum Detectable Activity (Minimum Ölçülebilir Aktivite)

FEM-106						
Seri	İzotop	Enerji (keV)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Belirsizlik (%)	Ağırlıklı Ortalama Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Ağırlıklı Belirsizlik (%)
²³⁸ U	²²⁶ Ra	186,1	-	-	4,39	3,78
		351,92	4,22	5,09		
		295,21				
	241,98	4,59	5,64			
	²¹⁴ Bi			609,31		
				1764,49		
1120,29						
²³² Th	²¹² Pb	238,63	1,91	7,20	2,02	5,34
		2614,53	0,40	17,68		
		583,19				
	860,56	2,59	8,91			
	²²⁸ Ac			911,21		
				968,97		
338,32						
⁴⁰ K		1461	15,35	8,89	15,35	8,89
¹³⁷ Cs		661,66	0,05	67,26	0,05	67,26

EK-D (Devam)

FEM-107A							
Seri	İzotop	Enerji (keV)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Belirsizlik (%)	Ağırlıklı Ortalama Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Ağırlıklı Belirsizlik (%)	
²³⁸ U	²²⁶ Ra	186,1	1,42	43,63	0,67	15,97	
		351,92	0,06	<MDA			
		295,21					
	241,98	0,67	15,97				
	²¹⁴ Bi			609,31			
				1764,49			
1120,29							
²³² Th	²¹² Pb	238,63	0,97	8,42	0,91	6,51	
		²⁰⁸ Tl	2614,53	0,25			13,85
			583,19				
	860,56						
	²²⁸ Ac	911,21	1,48	15,3			
		968,97					
338,32							
⁴⁰ K	1461	38,33	4,86	38,33	4,86		
¹³⁷ Cs	661,66	0,09	49,16	0,09	49,16		

*Minimum Detectable Activity (Minimum Ölçülebilir Aktivite)

FEM-110							
Seri	İzotop	Enerji (keV)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Belirsizlik (%)	Ağırlıklı Ortalama Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Ağırlıklı Belirsizlik (%)	
²³⁸ U	²²⁶ Ra	186,1	0,59	<MDA	<MDA	<MDA	
		351,92	0,06	<MDA			
		295,21					
	241,98	0,09	<MDA				
	²¹⁴ Bi			609,31			
				1764,49			
1120,29							
²³² Th	²¹² Pb	238,63	0,04	<MDA	0,59	13,48	
		²⁰⁸ Tl	2614,53	0,21			21,82
			583,19				
	860,56						
	²²⁸ Ac	911,21	0,82	17,15			
		968,97					
338,32							
⁴⁰ K	1461	7,81	12,19	7,81	12,19		
¹³⁷ Cs	661,66	0,03	59,16	0,03	59,16		

EK-D (Devam)

FEM-138						
Seri	İzotop	Enerji (keV)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Belirsizlik (%)	Ağırlıklı Ortalama Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Ağırlıklı Belirsizlik (%)
²³⁸ U	²²⁶ Ra	186,1	0,35	<MDA	0,17	23,73
		351,92	0,03	74,54		
		295,21				
	241,98	0,19	25,04			
	609,31					
	1764,49					
1120,29						
²³² Th	²¹² Pb	238,63	0,04	66,38	0,20	19,89
		2614,53	0,22	20,85		
		583,19				
	860,56	0,11	<MDA			
	911,21					
	968,97					
338,32						
⁴⁰ K	1461	3,34	22,38	3,34	22,38	
¹³⁷ Cs	661,66	0,01	<MDA	0,01	<MDA	

*Minimum Detectable Activity (Minimum Ölçülebilir Aktivite)

FEM-147						
Seri	İzotop	Enerji (keV)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Belirsizlik (%)	Ağırlıklı Ortalama Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Ağırlıklı Belirsizlik (%)
²³⁸ U	²²⁶ Ra	186,1	-	-	9,29	2,59
		351,92	9,28	3,11		
		295,21				
	241,98	9,31	4,72			
	609,31					
	1764,49					
1120,29						
²³² Th	²¹² Pb	238,63	10,16	2,57	9,78	2,12
		2614,53	2,27	7,21		
		583,19				
	860,56	11,49	4,45			
	911,21					
	968,97					
338,32						
⁴⁰ K	1461	482,88	1,264	482,88	1,26	
¹³⁷ Cs	661,66	0,08	<MDA	0,08	<MDA	

EK-D (Devam)

FEM-161						
Seri	İzotop	Enerji (keV)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Belirsizlik (%)	Ağırlıklı Ortalama Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Ağırlıklı Belirsizlik (%)
²³⁸ U	²²⁶ Ra	186,1	1,04	<MDA	1,45	7,07
		351,92	1,59	8,96		
	295,21					
	241,98					
	²¹⁴ Bi	609,31	1,22	11,49		
		1764,49				
1120,29						
²³² Th	²¹² Pb	238,63	1,53	6,34	1,29	5,32
		2614,53	0,49	12,02		
		583,19				
	860,56					
	²²⁸ Ac	911,21	1,21	16,9		
		968,97				
338,32						
⁴⁰ K	1461	131,99	2,72	131,99	2,72	
¹³⁷ Cs	661,66	0,04	<MDA	0,04	<MDA	

*Minimum Detectable Activity (Minimum Ölçülebilir Aktivite)

FEM-165						
Seri	İzotop	Enerji (keV)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Belirsizlik (%)	Ağırlıklı Ortalama Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Ağırlıklı Belirsizlik (%)
²³⁸ U	²²⁶ Ra	186,1	0,74	67,46	<MDA	<MDA
		351,92	0,02	<MDA		
	295,21					
	241,98					
	²¹⁴ Bi	609,31	0,02	<MDA		
		1764,49				
1120,29						
²³² Th	²¹² Pb	238,63	0,03	<MDA	0,48	13,87
		2614,53	0,14	26,31		
		583,19				
	860,56					
	²²⁸ Ac	911,21	0,62	16,33		
		968,97				
338,32						
⁴⁰ K	1461	0,71	<MDA	0,71	<MDA	
¹³⁷ Cs	661,66	0,21	22,23	0,21	22,23	

EK-D (Devam)

FEM-168D						
Seri	İzotop	Enerji (keV)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Belirsizlik (%)	Ağırlıklı Ortalama Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Ağırlıklı Belirsizlik (%)
²³⁸ U	²²⁶ Ra	186,1	1,09	43,94	<MDA	<MDA
		351,92	0,008	<MDA		
		295,21				
	241,98	0,01	<MDA			
	²¹⁴ Bi			609,31		
				1764,49		
1120,29						
²³² Th	²¹² Pb	238,63	0,05	<MDA	0,26	20,70
		2614,53	0,15	31,4		
		583,19				
	860,56	0,35	27,55			
	²²⁸ Ac			911,21		
				968,97		
338,32						
⁴⁰ K		1461	8,61	12,42	8,61	12,42
¹³⁷ Cs		661,66	0,03	<MDA	0,03	<MDA

*Minimum Detectable Activity (Minimum Ölçülebilir Aktivite)

FEM-175						
Seri	İzotop	Enerji (keV)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Belirsizlik (%)	Ağırlıklı Ortalama Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Ağırlıklı Belirsizlik (%)
²³⁸ U	²²⁶ Ra	186,1	9,98	10,58	3,08	4,22
		351,92	2,74	6,08		
		295,21				
	241,98	3,40	5,86			
	²¹⁴ Bi			609,31		
				1764,49		
1120,29						
²³² Th	²¹² Pb	238,63	1,73	6,48	1,88	5,13
		2614,53	0,49	15,79		
		583,19				
	860,56	2,75	9,89			
	²²⁸ Ac			911,21		
				968,97		
338,32						
⁴⁰ K		1461	26,18	5,96	26,18	5,96
¹³⁷ Cs		661,66	0,11	32,01	0,11	32,01

EK-D (Devam)

FEM-176						
Seri	İzotop	Enerji (keV)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Belirsizlik (%)	Ağırlıklı Ortalama Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Ağırlıklı Belirsizlik (%)
²³⁸ U	²²⁶ Ra	186,1	4,34	26,02	1,15	10,22
		351,92	1,18	12,4		
		295,21				
	241,98	1,08	18,06			
	²¹⁴ Pb			609,31		
				1764,49		
1120,29						
²³² Th	²¹² Pb	238,63	1,48	8,079	1,39	6,15
		2614,53	0,62	11,82		
		583,19				
	860,56	2,46	16			
	²⁰⁸ Tl			911,21		
				968,97		
338,32						
²²⁸ Ac	1461	322,75	1,66	322,75	1,66	
⁴⁰ K	661,66	0,49	20,37	0,49	20,37	
¹³⁷ Cs						

FEM-181						
Seri	İzotop	Enerji (keV)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Belirsizlik (%)	Ağırlıklı Ortalama Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Ağırlıklı Belirsizlik (%)
²³⁸ U	²²⁶ Ra	186,1	0,35	<MDA	<MDA	<MDA
		351,92	0,006	<MDA		
		295,21				
	241,98	0,008	<MDA			
	²¹⁴ Pb			609,31		
				1764,49		
1120,29						
²³² Th	²¹² Pb	238,63	0,15	16,01	0,15	11,32
		2614,53	0,15	16,01		
		583,19				
	860,56	0,06	<MDA			
	²⁰⁸ Tl			911,21		
				968,97		
338,32						
²²⁸ Ac	1461	1,20	38,63	1,20	38,63	
⁴⁰ K	661,66	0,02	<MDA	0,02	<MDA	
¹³⁷ Cs						

*Minimum Detectable Activity (Minimum Ölçülebilir Aktivite)

EK-D (Devam)

FEM-182						
Seri	İzotop	Enerji (keV)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Belirsizlik (%)	Ağırlıklı Ortalama Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Ağırlıklı Belirsizlik (%)
²³⁸ U	²²⁶ Ra	186,1	0,89	10,44	2,79	4,64
		351,92	3,06	5,58		
		295,21				
	241,98					
	²¹⁴ Pb	609,31	2,18	8,33		
		1764,49				
1120,29						
²³² Th	²¹² Pb	238,63	1,65	7,15	1,69	5,51
		2614,53	0,37	17,41		
		583,19				
	860,56					
	²⁰⁸ Tl	911,21	2,22	9,99		
		968,97				
338,32						
²²⁸ Ac	1461	31,20	6,19	31,20	6,19	
	⁴⁰ K	661,66	0,15	22,05	0,15	22,05
		¹³⁷ Cs				

FEM-184						
Seri	İzotop	Enerji (keV)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Belirsizlik (%)	Ağırlıklı Ortalama Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Ağırlıklı Belirsizlik (%)
²³⁸ U	²²⁶ Ra	186,1	0,56	<MDA	<MDA	<MDA
		351,92	0,04	<MDA		
		295,21				
	241,98					
	²¹⁴ Pb	609,31	0,04	<MDA		
		1764,49				
1120,29						
²³² Th	²¹² Pb	238,63	0,03	<MDA	0,23	18,25
		2614,53	0,15	25		
		583,19				
	860,56					
	²⁰⁸ Tl	911,21	0,32	26,73		
		968,97				
338,32						
²²⁸ Ac	1461	0,35	96,36	0,35	96,36	
	⁴⁰ K	661,66	0,01	<MDA	0,01	<MDA
		¹³⁷ Cs				

*Minimum Detectable Activity (Minimum Ölçülebilir Aktivite)

EK-D (Devam)

FEM-186							
Seri	İzotop	Enerji (keV)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Belirsizlik (%)	Ağırlıklı Ortalama Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Ağırlıklı Belirsizlik (%)	
²³⁸ U	²²⁶ Ra	186,1	-	-	0,18	21,37	
		351,92	0,06	35,36			
		295,21					
	241,98	0,25	26,84				
	²¹⁴ Bi			609,31			
				1764,49			
1120,29							
²³² Th	²¹² Pb	238,63	0,05	76,37	0,26	18,37	
		²⁰⁸ Tl	2614,53	0,15			25,82
			583,19				
	860,56		0,41	27,83			
	²²⁸ Ac	911,21					
		968,97					
338,32							
⁴⁰ K		1461	50,64	4,24	50,64	4,24	
¹³⁷ Cs		661,66	0,08	80,56	0,08	80,56	

FEM-187							
Seri	İzotop	Enerji (keV)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Belirsizlik (%)	Ağırlıklı Ortalama Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Ağırlıklı Belirsizlik (%)	
²³⁸ U	²²⁶ Ra	186,1	28,99	10,43	14,88	2,49	
		351,92	14,58	3,04			
		295,21					
	241,98	15,49	4,36				
	²¹⁴ Bi			609,31			
				1764,49			
1120,29							
²³² Th	²¹² Pb	238,63	40,47	1,21	37,89	1,02	
		²⁰⁸ Tl	2614,53	8,88			3,45
			583,19				
	860,56		41,37	2,25			
	²²⁸ Ac	911,21					
		968,97					
338,32							
⁴⁰ K		1461	664,7	1,14	664,7	1,14	
¹³⁷ Cs		661,66	0,36	51,14	0,36	51,14	

EK-D (Devam)

FEM-189							
Seri	İzotop	Enerji (keV)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Belirsizlik (%)	Ağırlıklı Ortalama Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Ağırlıklı Belirsizlik (%)	
²³⁸ U	²²⁶ Ra	186,1	21,91	9,94	8,04	2,55	
		351,92	8,44	3,15			
		295,21					
	241,98	7,27	4,36				
	²¹⁴ Bi			609,31			
				1764,49			
1120,29							
²³² Th	²¹² Pb	238,63	11,82	2,18	11,41	1,74	
		²⁰⁸ Tl	2614,53	2,62			7,43
			583,19				
	860,56						
	²²⁸ Ac	911,21	12,16	3,15			
		968,97					
338,32							
⁴⁰ K	1461	10,78	11,28	10,78	11,28		
¹³⁷ Cs	661,66	0,06	<MDA	0,06	<MDA		

*Minimum Detectable Activity (Minimum Ölçülebilir Aktivite)

FEM-190							
Seri	İzotop	Enerji (keV)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Belirsizlik (%)	Ağırlıklı Ortalama Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Ağırlıklı Belirsizlik (%)	
²³⁸ U	²²⁶ Ra	186,1	0,05	<MDA	0,39	19,61	
		²¹⁴ Pb	351,92	0,07			<MDA
			295,21				
	²¹⁴ Bi	241,98	0,39	19,61			
		609,31					
		1764,49					
1120,29							
²³² Th	²¹² Pb	238,63	0,05	<MDA	0,12	19,03	
		²⁰⁸ Tl	2614,53	0,12			19,03
			583,19				
	860,56						
	²²⁸ Ac	911,21	0,12	<MDA			
		968,97					
338,32							
⁴⁰ K	1461	84,53	3,24	84,53	3,24		
¹³⁷ Cs	661,66	0,11	32,47	0,11	32,47		

*Minimum Detectable Activity (Minimum Ölçülebilir Aktivite)

EK-D (Devam)

FEM-193						
Seri	İzotop	Enerji (keV)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Belirsizlik (%)	Ağırlıklı Ortalama Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Ağırlıklı Belirsizlik (%)
²³⁸ U	²²⁶ Ra	186,1	3,79	22,56	1,54	6,54
		351,92	1,65	7,47		
		295,21				
	241,98	1,26	12,22			
	609,31					
	1764,49					
1120,29						
²³² Th	²¹² Pb	238,63	1,74	6,05	1,62	4,48
		2614,53	0,47	9,41		
		583,19				
	860,56	2,50	9,44			
	911,21					
	968,97					
338,32						
⁴⁰ K	1461	115,99	2,49	115,99	2,49	
¹³⁷ Cs	661,66	0,05	47,75	0,05	47,45	

FEM-194						
Seri	İzotop	Enerji (keV)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Belirsizlik (%)	Ağırlıklı Ortalama Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Ağırlıklı Belirsizlik (%)
²³⁸ U	²²⁶ Ra	186,1	0,98	<MDA	1,41	6,54
		351,92	1,60	7,49		
		295,21				
	241,98	1,02	11,55			
	609,31					
	1764,49					
1120,29						
²³² Th	²¹² Pb	238,63	2,56	4,41	2,54	3,63
		2614,53	0,63	12,63		
		583,19				
	860,56	3,15	7,40			
	911,21					
	968,97					
338,32						
⁴⁰ K	1461	84,27	2,98	84,26	2,98	
¹³⁷ Cs	661,66	0,07	63,54	0,07	63,24	

*Minimum Detectable Activity (Minimum Ölçülebilir Aktivite)

EK-D (Devam)

FEM-196							
Seri	İzotop	Enerji (keV)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Belirsizlik (%)	Ağırlıklı Ortalama Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Ağırlıklı Belirsizlik (%)	
²³⁸ U	²²⁶ Ra	186,1	33,48	8,42	15,80	1,71	
		351,92	15,93	2,06			
		295,21					
	²¹⁴ Pb	241,98	15,51				
		609,31					
		1764,49					
²¹⁴ Bi	1120,29						
	911,21						
	1764,49						
²³² Th	²¹² Pb	238,63	11,81	3,07	11,22	1,80	
		2614,53	2,48	6,48			
		583,19					
	²⁰⁸ Tl	860,56	12,31	3,47			
		911,21					
		968,97					
²²⁸ Ac	338,32						
	1461			152,64	2,40	152,64	2,40
	¹³⁷ Cs			661,66	0,15	62,37	0,15

FEM-198							
Seri	İzotop	Enerji (keV)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Belirsizlik (%)	Ağırlıklı Ortalama Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Ağırlıklı Belirsizlik (%)	
²³⁸ U	²²⁶ Ra	186,1	2,59	26,42	2,39	4,94	
		351,92	2,43	6,15			
		295,21					
	²¹⁴ Pb	241,98	2,30	8,29			
		609,31					
		1764,49					
²¹⁴ Bi	1120,29						
	911,21						
	1764,49						
²³² Th	²¹² Pb	238,63	3,07	4,27	2,71	3,14	
		2614,53	1,09	5,95			
		583,19					
	²⁰⁸ Tl	860,56	4,09	7,38			
		911,21					
		968,97					
²²⁸ Ac	338,32						
	1461			87,59	3,02	87,59	3,02
	¹³⁷ Cs			661,66	0,17	25,14	0,17

EK-D (Devam)

FEM-199						
Seri	İzotop	Enerji (keV)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Belirsizlik (%)	Ağırlıklı Ortalama Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Ağırlıklı Belirsizlik (%)
²³⁸ U	²²⁶ Ra	186,1	-	-	12,55	2,51
		351,92	13,05	3,31		
		295,21				
	241,98					
	²¹⁴ Pb	609,31	11,87	3,86		
		1764,49				
1120,29						
²³² Th	²¹² Pb	238,63	20,16	1,78	19,02	1,48
		2614,53	4,23	5,16		
		583,19				
	860,56					
	²⁰⁸ Tl	911,21	20,93	3,09		
		968,97				
338,32						
²²⁸ Ac	1461	196,03	2,16	196,03	2,16	
	⁴⁰ K	661,66	0,18	51,24	0,18	51,24
	¹³⁷ Cs					

FEM-201						
Seri	İzotop	Enerji (keV)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Belirsizlik (%)	Ağırlıklı Ortalama Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Ağırlıklı Belirsizlik (%)
²³⁸ U	²²⁶ Ra	186,1	8,91	12,74	4,97	3,51
		351,92	5,25	4,24		
		295,21				
	241,98					
	²¹⁴ Pb	609,31	4,39	6,24		
		1764,49				
1120,29						
²³² Th	²¹² Pb	238,63	2,77	5,07	2,37	4,00
		2614,53	0,81	7,94		
		583,19				
	860,56					
	²⁰⁸ Tl	911,21	3,61	11,51		
		968,97				
338,32						
²²⁸ Ac	1461	100,8	3,31	100,8	3,31	
	⁴⁰ K	661,66	0,05	<MDA	0,05	<MDA
	¹³⁷ Cs					

*Minimum Detectable Activity (Minimum Ölçülebilir Aktivite)

EK-D (Devam)

FEM-205						
Seri	İzotop	Enerji (keV)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Belirsizlik (%)	Ağırlıklı Ortalama Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Ağırlıklı Belirsizlik (%)
²³⁸ U	²²⁶ Ra	186,1	37,68	5,50	17,70	1,24
		351,92	18,54	1,60		
		295,21				
	241,98	16,43	1,96			
	609,31					
	1764,49					
1120,29						
²³² Th	²¹² Pb	238,63	24,08	0,88	23,03	0,73
		2614,53	5,02	2,68		
		583,19				
	860,56	25,73	1,52			
	911,21					
	968,97					
338,32						
⁴⁰ K	1461	733,45	0,59	733,45	0,59	
¹³⁷ Cs	661,66	0,20	36,06	0,20	36,06	

FMR-005						
Seri	İzotop	Enerji (keV)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Belirsizlik (%)	Ağırlıklı Ortalama Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Ağırlıklı Belirsizlik (%)
²³⁸ U	²²⁶ Ra	186,1	12,04	17,29	6,20	3,60
		351,92	6,12	4,67		
		295,21				
	241,98	6,32	5,64			
	609,31					
	1764,49					
1120,29						
²³² Th	²¹² Pb	238,63	7,59	3,14	7,23	2,66
		2614,53	1,78	8,73		
		583,19				
	860,56	8,52	6,17			
	911,21					
	968,97					
338,32						
⁴⁰ K	1461	273,2	1,87	273,2	1,87	
¹³⁷ Cs	661,66	0,06	81,20	0,06	81,20	

EK-D (Devam)

FMR-010						
Seri	İzotop	Enerji (keV)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Belirsizlik (%)	Ağırlıklı Ortalama Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Ağırlıklı Belirsizlik (%)
²³⁸ U	²²⁶ Ra	186,1	7,10	14,34	2,38	4,95
		351,92	2,46	6,79		
		295,21				
	²¹⁴ Pb	241,98	2,28	7,23		
		609,31				
		1764,49				
²¹⁴ Bi	1120,29	2,77	7,97			
	911,21					
	968,97					
²³² Th	²¹² Pb	238,63	3,31	4,48	2,96	3,76
		2614,53	0,06	14,17		
		583,19				
	²⁰⁸ Tl	860,56	2,77	7,97		
		911,21				
		968,97				
²²⁸ Ac	338,32	24,15	6,97	24,15	6,97	
	1461					
	137Cs					661,66

*Minimum Detectable Activity (Minimum Ölçülebilir Aktivite)

FMR-029								
Seri	İzotop	Enerji (keV)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Belirsizlik (%)	Ağırlıklı Ortalama Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Ağırlıklı Belirsizlik (%)		
²³⁸ U	²²⁶ Ra	186,1	107,59	6,10	54,14	1,22		
		351,92	54,32	1,56				
		295,21						
	²¹⁴ Pb	241,98	54,84	1,96				
		609,31						
		1764,49						
²¹⁴ Bi	1120,29	71,59	1,78					
	911,21							
	968,97							
²³² Th	²¹² Pb	238,63	73,61	0,99	68,86	0,83		
		2614,53	14,80	3,09				
		583,19						
	²⁰⁸ Tl	860,56	865,11	1,11			865,11	1,11
		911,21						
		968,97						
²²⁸ Ac	338,32	0,33	68,92	0,33	68,92			
	1461							
	137Cs					661,66	0,33	68,92

EK-D (Devam)

FMR-033						
Seri	İzotop	Enerji (keV)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Belirsizlik (%)	Ağırlıklı Ortalama Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Ağırlıklı Belirsizlik (%)
²³⁸ U	²²⁶ Ra	186,1	71,77	6,76	36,50	1,63
		351,92	37,31	2,20		
		295,21				
	241,98	²¹⁴ Pb	35,54	2,42		
	609,31					
	1764,49					
1120,29						
²³² Th	²¹² Pb	238,63	52,10	1,20	49,31	1,02
		2614,53	11,17	3,57		
		583,19				
	860,56	²⁰⁸ Tl	55,23	2,34		
	911,21					
	968,97					
338,32						
²²⁸ Ac	1461	652,26	1,26	652,26	1,26	
⁴⁰ K	661,66	0,21	67,43	0,21	67,43	
¹³⁷ Cs						

FMR-037						
Seri	İzotop	Enerji (keV)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Belirsizlik (%)	Ağırlıklı Ortalama Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Ağırlıklı Belirsizlik (%)
²³⁸ U	²²⁶ Ra	186,1	1,10	35,77	0,11	27,74
		351,92	0,11	27,74		
		295,21				
	241,98	²¹⁴ Pb	0,05	<MDA		
	609,31					
	1764,49					
1120,29						
²³² Th	²¹² Pb	238,63	0,04	<MDA	0,27	18,62
		2614,53	0,29	19,61		
		583,19				
	860,56	²⁰⁸ Tl	0,10	59,41		
	911,21					
	968,97					
338,32						
²²⁸ Ac	1461	0,08	<MDA	0,08	<MDA	
⁴⁰ K	661,66	0,16	20	0,16	20	
¹³⁷ Cs						

*Minimum Detectable Activity (Minimum Ölçülebilir Aktivite)

EK-D (Devam)

FMR-039						
Seri	İzotop	Enerji (keV)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Belirsizlik (%)	Ağırlıklı Ortalama Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Ağırlıklı Belirsizlik (%)
²³⁸ U	²²⁶ Ra	186,1	0,37	<MDA	0,11	35,51
		351,92	0,11	35,51		
		295,21				
	²¹⁴ Pb	241,98	0,05	<MDA		
		609,31				
		1764,49				
²¹⁴ Bi	1120,29	0,06	<MDA			
	911,21					
	968,97					
²³² Th	²¹² Pb	238,63	0,05	<MDA	0,16	35,36
		2614,53	0,16	35,36		
		583,19				
	²⁰⁸ Tl	860,56	0,06	<MDA		
		911,21				
		968,97				
²²⁸ Ac	338,32	0,25	<MDA			
	1461			0,25	<MDA	
	1461					
137Cs	661,66	0,08	33,08			0,08

*Minimum Detectable Activity (Minimum Ölçülebilir Aktivite)

FMR-042								
Seri	İzotop	Enerji (keV)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Belirsizlik (%)	Ağırlıklı Ortalama Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Ağırlıklı Belirsizlik (%)		
²³⁸ U	²²⁶ Ra	186,1	-	-	13,52	2,57		
		351,92	13,96	3,31				
		295,21						
	²¹⁴ Pb	241,98	12,85	4,08				
		609,31						
		1764,49						
²¹⁴ Bi	1120,29	20,06	3,22					
	911,21							
	968,97							
²³² Th	²¹² Pb	238,63	17,89	2,01	17,10	1,62		
		2614,53	3,92	5,23				
		583,19						
	²⁰⁸ Tl	860,56	314,46	1,81				
		911,21					314,46	1,81
		968,97						
²²⁸ Ac	338,32	0,36	32,07					
	1461			0,36	32,07			
	1461							
137Cs	661,66	0,36	32,07			0,36	32,07	

EK-D (Devam)

FMR-047						
Seri	İzotop	Enerji (keV)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Belirsizlik (%)	Ağırlıklı Ortalama Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Ağırlıklı Belirsizlik (%)
²³⁸ U	²²⁶ Ra	186,1	91,69	5,73	47,70	1,17
		351,92	48,70	1,61		
		295,21				
	241,98	46,60	1,7			
	²¹⁴ Bi			609,31		
				1764,49		
1120,29						
²³² Th	²¹² Pb	238,63	37,13	1,36	35,08	1,12
		2614,53	8,02	3,94		
		583,19				
	860,56	38,41	2,27			
	²²⁸ Ac			911,21		
				968,97		
338,32						
⁴⁰ K		1461	602	1,27	602	1,27
¹³⁷ Cs		661,66	0,10	<MDA	0,10	<MDA

*Minimum Detectable Activity (Minimum Ölçülebilir Aktivite)

FMR-059						
Seri	İzotop	Enerji (keV)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Belirsizlik (%)	Ağırlıklı Ortalama Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Ağırlıklı Belirsizlik (%)
²³⁸ U	²²⁶ Ra	186,1	16,46	14,15	6,67	3,25
		351,92	6,68	4,00		
		295,21				
	241,98	6,65	5,58			
	²¹⁴ Bi			609,31		
				1764,49		
1120,29						
²³² Th	²¹² Pb	238,63	12,97	2,33	12,77	1,86
		2614,53	2,66	7,73		
		583,19				
	860,56	14,29	3,39			
	²²⁸ Ac			911,21		
				968,97		
338,32						
⁴⁰ K		1461	231,02	2,07	231,02	2,07
¹³⁷ Cs		661,66	0,15	59,34	0,15	59,34

EK-D (Devam)

FMR-062						
Seri	İzotop	Enerji (keV)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Belirsizlik (%)	Ağırlıklı Ortalama Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Ağırlıklı Belirsizlik (%)
²³⁸ U	²²⁶ Ra	186,1	88,23	5,47	45,72	1,33
		351,92	45,56	1,78		
		295,21				
	241,98	45,93	2,02			
	609,31					
	1764,49					
1120,29						
²³² Th	²¹² Pb	238,63	18,07	2,11	16,76	1,78
		2614,53	3,92	5,36		
		583,19				
	860,56	19,56	4,26			
	911,21					
	968,97					
338,32						
⁴⁰ K	1461	959,36	0,98	959,36	0,98	
¹³⁷ Cs	661,66	0,19	87,35	0,19	87,35	

İM-017						
Seri	İzotop	Enerji (keV)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Belirsizlik (%)	Ağırlıklı Ortalama Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Ağırlıklı Belirsizlik (%)
²³⁸ U	²²⁶ Ra	186,1	0,56	<MDA	0,14	39,97
		351,92	0,01	<MDA		
		295,21				
	241,98	0,14	39,97			
	609,31					
	1764,49					
1120,29						
²³² Th	²¹² Pb	238,63	0,15	32,94	0,12	15,97
		2614,53	0,11	18,26		
		583,19				
	860,56	0,20	<MDA			
	911,21					
	968,97					
338,32						
⁴⁰ K	1461	34,78	5,19	34,78	5,19	
¹³⁷ Cs	661,66	0,006	<MDA	0,006	<MDA	

*Minimum Detectable Activity (Minimum Ölçülebilir Aktivite)

EK-D (Devam)

İM-027							
Seri	İzotop	Enerji (keV)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Belirsizlik (%)	Ağırlıklı Ortalama Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Ağırlıklı Belirsizlik (%)	
²³⁸ U	²²⁶ Ra	186,1	0,28	<MDA	<MDA	<MDA	
		351,92	0,04	<MDA			
		295,21					
	241,98	0,06	<MDA				
	²¹⁴ Bi			609,31			
				1764,49			
1120,29							
²³² Th	²¹² Pb	238,63	0,03	<MDA	20,23	20,41	
		²⁰⁸ Tl	2614,53	0,23			20,41
			583,19				
	860,56						
	²²⁸ Ac	911,21	0,05	<MDA			
		968,97					
338,32							
⁴⁰ K	1461	37,16	5,11	37,16	5,11		
¹³⁷ Cs	661,66	0,03	90,27	0,03	90,27		

*Minimum Detectable Activity (Minimum Ölçülebilir Aktivite)

KEK-01							
Seri	İzotop	Enerji (keV)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Belirsizlik (%)	Ağırlıklı Ortalama Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Ağırlıklı Belirsizlik (%)	
²³⁸ U	²²⁶ Ra	186,1	1,84	14,91	0,02	79,06	
		351,92	0,02	79,06			
		295,21					
	241,98	0,008	<MDA				
	²¹⁴ Bi			609,31			
				1764,49			
1120,29							
²³² Th	²¹² Pb	238,63	0,03	<MDA	0,25	18,26	
		²⁰⁸ Tl	2614,53	0,25			18,26
			583,19				
	860,56						
	²²⁸ Ac	911,21	0,12	<MDA			
		968,97					
338,32							
⁴⁰ K	1461	0,55	<MDA	0,55	<MDA		
¹³⁷ Cs	661,66	0,15	19,76	0,15	19,76		

EK-D (Devam)

TA-015B						
Seri	İzotop	Enerji (keV)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Belirsizlik (%)	Ağırlıklı Ortalama Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Ağırlıklı Belirsizlik (%)
²³⁸ U	²²⁶ Ra	186,1	0,75	<MDA	1,43	5,90
		351,92	1,41	7,92		
	295,21					
	241,98					
	²¹⁴ Bi	609,31	1,46	8,85		
		1764,49				
1120,29						
²³² Th	²¹² Pb	238,63	1,35	6,16	1,38	4,98
		2614,53	0,25	20,51		
		583,19				
	860,56					
	²²⁸ Ac	911,21	1,69	9,33		
		968,97				
338,32						
⁴⁰ K	1461	0,20	<MDA	0,20	<MDA	
¹³⁷ Cs	661,66	0,02	<MDA	0,02	<MDA	

*Minimum Detectable Activity (Minimum Ölçülebilir Aktivite)

TA-022A						
Seri	İzotop	Enerji (keV)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Belirsizlik (%)	Ağırlıklı Ortalama Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Ağırlıklı Belirsizlik (%)
²³⁸ U	²²⁶ Ra	186,1	0,56	<MDA	0,52	18,26
		351,92	0,04	<MDA		
	295,21					
	241,98					
	²¹⁴ Bi	609,31	0,52	18,26		
		1764,49				
1120,29						
²³² Th	²¹² Pb	238,63	0,04	<MDA	0,41	17,67
		2614,53	0,10	31,62		
		583,19				
	860,56					
	²²⁸ Ac	911,21	0,56	21,32		
		968,97				
338,32						
⁴⁰ K	1461	1,65	22,36	1,65	22,36	
¹³⁷ Cs	661,66	0,02	<MDA	0,02	<MDA	

EK-D (Devam)

TA-027						
Seri	İzotop	Enerji (keV)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Belirsizlik (%)	Ağırlıklı Ortalama Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Ağırlıklı Belirsizlik (%)
²³⁸ U	²²⁶ Ra	186,1	5,51	<MDA	3,33	4,30
		351,92	3,35	5,67		
		295,21				
	²¹⁴ Pb	241,98	3,29	6,62		
		609,31				
		1764,49				
²¹⁴ Bi	1120,29	3,62	7,85			
	911,21					
	968,97					
²³² Th	²¹² Pb	238,63	3,40	4,30	2,95	3,35
		2614,53	1,07	7,36		
		583,19				
	²⁰⁸ Tl	860,56	3,62	7,85		
		911,21				
		968,97				
²²⁸ Ac	338,32	32,67	5,24	32,67	5,24	
	1461					
	137Cs					661,66

*Minimum Detectable Activity (Minimum Ölçülebilir Aktivite)

TA-037B								
Seri	İzotop	Enerji (keV)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Belirsizlik (%)	Ağırlıklı Ortalama Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Ağırlıklı Belirsizlik (%)		
²³⁸ U	²²⁶ Ra	186,1	60,88	7,42	29,49	1,67		
		351,92	30,09	2,16				
		295,21						
	²¹⁴ Pb	241,98	28,60	2,62				
		609,31						
		1764,49						
²¹⁴ Bi	1120,29	24,70	3,79					
	911,21							
	968,97							
²³² Th	²¹² Pb	238,63	22,31	1,99	21,55	1,70		
		2614,53	3,92	6,55				
		583,19						
	²⁰⁸ Tl	860,56	491,35	1,58			491,35	1,58
		911,21						
		968,97						
²²⁸ Ac	338,32	0,11	<MDA	0,11	<MDA			
	1461							
	137Cs					661,66	0,11	<MDA

EK-D (Devam)

TA-038						
Seri	İzotop	Enerji (keV)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Belirsizlik (%)	Ağırlıklı Ortalama Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Ağırlıklı Belirsizlik (%)
²³⁸ U	²²⁶ Ra	186,1	0,99	41,41	0,27	15,63
		351,92	0,27	17,41		
	295,21					
	241,98					
	²¹⁴ Bi	609,31	0,30	35,54		
		1764,49				
1120,29						
²³² Th	²¹² Pb	238,63	0,04	<MDA	0,38	14,27
		2614,53	0,08	26,53		
		583,19				
	860,56	0,50	16,93			
	911,21					
	968,97					
²²⁸ Ac	338,32					
⁴⁰ K		1461	41,82	4,70	41,82	4,70
¹³⁷ Cs		661,66	0,07	28,87	0,07	28,87

*Minimum Detectable Activity (Minimum Ölçülebilir Aktivite)

TA-041B						
Seri	İzotop	Enerji (keV)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Belirsizlik (%)	Ağırlıklı Ortalama Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Ağırlıklı Belirsizlik (%)
²³⁸ U	²²⁶ Ra	186,1	-	-	0,55	14,10
		351,92	0,14	86,02		
	295,21					
	241,98					
	²¹⁴ Bi	609,31	0,56	14,3		
		1764,49				
1120,29						
²³² Th	²¹² Pb	238,63	1,18	7,27	1,05	6,35
		2614,53	0,17	23,57		
		583,19				
	860,56	0,85	15,66			
	911,21					
	968,97					
²²⁸ Ac	338,32					
⁴⁰ K		1461	1,54	26,38	1,54	26,38
¹³⁷ Cs		661,66	0,03	<MDA	0,03	<MDA

EK-D (Devam)

TA-041C						
Seri	İzotop	Enerji (keV)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Belirsizlik (%)	Ağırlıklı Ortalama Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Ağırlıklı Belirsizlik (%)
²³⁸ U	²²⁶ Ra	186,1	0,59	<MDA	0,06	40,82
		351,92	0,007	<MDA		
		295,21				
	241,98	0,06	40,82			
	²¹⁴ Pb			609,31		
				1764,49		
1120,29						
²³² Th	²¹² Pb	238,63	0,04	<MDA	0,43	15,47
		2614,53	0,12	26,97		
		583,19				
	860,56	0,59	18,9			
	²⁰⁸ Tl			911,21		
				968,97		
338,32						
²²⁸ Ac	1461	0,15	<MDA	0,15	<MDA	
⁴⁰ K	661,66	0,07	35,85	0,07	35,85	

*Minimum Detectable Activity (Minimum Ölçülebilir Aktivite)

TA-042A						
Seri	İzotop	Enerji (keV)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Belirsizlik (%)	Ağırlıklı Ortalama Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Ağırlıklı Belirsizlik (%)
²³⁸ U	²²⁶ Ra	186,1	0,07	<MDA	0,16	17,15
		351,92	0,16	21,32		
		295,21				
	241,98	0,16	28,87			
	²¹⁴ Pb			609,31		
				1764,49		
1120,29						
²³² Th	²¹² Pb	238,63	0,02	<MDA	0,06	40,82
		2614,53	0,06	40,82		
		583,19				
	860,56	0,02	<MDA			
	²⁰⁸ Tl			911,21		
				968,97		
338,32						
²²⁸ Ac	1461	1,61	21,82	1,61	21,82	
⁴⁰ K	661,66	0,005	<MDA	0,005	<MDA	
¹³⁷ Cs						

EK-D (Devam)

TA-042B							
Seri	İzotop	Enerji (keV)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Belirsizlik (%)	Ağırlıklı Ortalama Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Ağırlıklı Belirsizlik (%)	
²³⁸ U	²²⁶ Ra	186,1	0,93	34,31	<MDA	<MDA	
		351,92	0,008	<MDA			
		295,21					
	241,98	0,01	<MDA				
	²¹⁴ Bi			609,31			
				1764,49			
1120,29							
²³² Th	²¹² Pb	238,63	0,08	40,63	0,08	40,63	
		²⁰⁸ Tl	2614,53	0,02			<MDA
			583,19				
	860,56		0,02	<MDA			
	²²⁸ Ac	911,21					
		968,97					
338,32							
⁴⁰ K	1461	0,16	<MDA	0,16	<MDA		
¹³⁷ Cs	661,66	0,02	<MDA	0,02	<MDA		

*Minimum Detectable Activity (Minimum Ölçülebilir Aktivite)

TA-043							
Seri	İzotop	Enerji (keV)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Belirsizlik (%)	Ağırlıklı Ortalama Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Ağırlıklı Belirsizlik (%)	
²³⁸ U	²²⁶ Ra	186,1	36,32	7,97	11,76	2,44	
		351,92	12,14	3,01			
		295,21					
	241,98	11,05	4,16				
	²¹⁴ Bi			609,31			
				1764,49			
1120,29							
²³² Th	²¹² Pb	238,63	15,74	1,98	15,00	1,61	
		²⁰⁸ Tl	2614,53	3,43			5,96
			583,19				
	860,56		16,32	3,10			
	²²⁸ Ac	911,21					
		968,97					
338,32							
⁴⁰ K	1461	282,54	1,72	282,54	1,72		
¹³⁷ Cs	661,66	0,04	<MDA	0,04	<MDA		

EK-D (Devam)

TA-048						
Seri	İzotop	Enerji (keV)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Belirsizlik (%)	Ağırlıklı Ortalama Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Ağırlıklı Belirsizlik (%)
²³⁸ U	²²⁶ Ra	186,1	31,94	7,46	10,08	2,59
		351,92	9,90	3,30		
		295,21				
	241,98	10,37	4,18			
	²¹⁴ Pb			609,31		
				1764,49		
1120,29						
²³² Th	²¹² Pb	238,63	12,80	2,31	12,27	1,95
		2614,53	2,69	6,87		
		583,19				
	860,56	14,20	4,28			
	²⁰⁸ Tl			911,21		
				968,97		
338,32						
²²⁸ Ac	1461	205,98	2,16	205,98	2,16	
⁴⁰ K	661,66	0,10	85,51	0,10	85,81	
¹³⁷ Cs						

TA-058						
Seri	İzotop	Enerji (keV)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Belirsizlik (%)	Ağırlıklı Ortalama Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Ağırlıklı Belirsizlik (%)
²³⁸ U	²²⁶ Ra	186,1	0,89	<MDA	0,88	11,50
		351,92	0,83	16,86		
		295,21				
	241,98	0,93	15,74			
	²¹⁴ Pb			609,31		
				1764,49		
1120,29						
²³² Th	²¹² Pb	238,63	1,49	7,7	1,34	6,15
		2614,53	0,35	13,45		
		583,19				
	860,56	2,09	15,87			
	²⁰⁸ Tl			911,21		
				968,97		
338,32						
²²⁸ Ac	1461	178,43	2,38	178,43	2,38	
⁴⁰ K	661,66	0,32	26,71	0,32	26,71	
¹³⁷ Cs						

*Minimum Detectable Activity (Minimum Ölçülebilir Aktivite)

EK-D (Devam)

TA-059						
Seri	İzotop	Enerji (keV)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Belirsizlik (%)	Ağırlıklı Ortalama Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Ağırlıklı Belirsizlik (%)
²³⁸ U	²²⁶ Ra	186,1	0,95	68,18	1,77	8,24
		351,92				
	²¹⁴ Pb	295,21	0,80	17,47		
		241,98				
		609,31				
	²¹⁴ Bi	1764,49	2,05	9,35		
1120,29						
212Pb		238,63			1,62	6,67
²³² Th	²⁰⁸ Tl	2614,53	0,05	14,02		
		583,19				
		860,56				
	²²⁸ Ac	911,21	1,50	12,32		
		968,97				
	338,32					
⁴⁰ K	1461	2,84	33,22	2,84	33,22	
¹³⁷ Cs	661,66	0,03	<MDA	0,03	<MDA	

*Minimum Detectable Activity (Minimum Ölçülebilir Aktivite)

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

- [1] **Avcı D.**, Güray R. T., Özkan N., Investigation of Cross Sections for the Interaction of High Energy Proton Beam with Heavy Nuclei in Accelerator Driven Systems, *Turkish Physical Society 34th International Physics Congress*, Bodrum, 5-9 September 2018.



ÖZGEÇMİŞ

1992 yılında İstanbul'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini İstanbul'da tamamladı. 2010 ile 2015 yılları arasında Marmara Üniversitesi Atatürk Eğitim Fakültesi Fizik Öğretmenliği bölümünde eğitim aldı. 2017-2019 yılları arasında, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimini tamamladı.

