

AFYONKARAHİSAR YÖRESİ
MERMERLERİNDE DOĞAL
RADYOAKTİVİTE TAYİNİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kadir GÜNOĞLU

Danışman

Yrd. Doç. Dr. Bekir ORUNCAK

FİZİK ANABİLİM DALI

2008

Bu tez çalışması 06.FENED.19 numaralı proje ile A.K.Ü BAPK tarafından desteklenmiştir

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AFYONKARAHİSAR YÖRESİ
MERMERLERİNDE DOĞAL
RADYOAKTİVİTE TAYİNİ

KADİR GÜNOĞLU

Danışman

Yrd. Doç. Dr. BEKİR ORUNCAK

FİZİK ANA BİLİM DALI

TEMMUZ 2008

ONAY SAYFASI

Kadir GÜNOĞLU'nun yüksek lisans olarak hazırladığı “**AFYONKARAHİSAR YÖRESİ MERMERLERİNDE DOĞAL RADYOAKTİVİTE TAYİNİ**” başlıklı bu çalışma, lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek oy birliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

... / ... / 2008

Doç. Dr. İskender AKKURT
(Başkan)

Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Bekir ORUNCAK
(Danışman)

Jüri : Yrd. Doç. Dr. Rıdvan ÜNAL

Jüri:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nunGün
vesayılı kararıyla onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü
Doç. Dr. Zehra BOZKURT

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	vii
ABSTRACT.....	viii
TEŞEKKÜR.....	ix
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiii

1. GİRİŞ.....	1
2. RADYASYON VE ÖZELLİKLERİ.....	6
2.1 Radyasyon.....	6
2.2 Radyasyon Kaynakları.....	6
2.3 Radyoaktivite.....	8
2.4 Radyoaktif Bozunma Türleri.....	9
2.4.1 Alfa Bozunması (α bozunması).....	10
2.4.2 Beta Bozunumu.....	11
2.4.3 Gama Işını Yayınlanması.....	15
2.4.4 Elektron Yakalama.....	17
2.4.5 İç Dönüşüm (IC).....	18
2.4.6 İzomerik Geçiş.....	19
2.4.7 Nötron Yayınlanması.....	19
2.5 Radyasyon Birimleri.....	19
2.5.1 Aktivite Birimi.....	20
2.5.2 Işınlama Birimi.....	21
2.5.3 Absorblanan Doz Birimi.....	21
2.5.4 Eşdeğer Doz Birimi.....	22
2.6 Bazı Radyoaktif Elementler ve Özellikleri.....	23
2.6.1 Uranyum.....	23
2.6.2 Toryum.....	25
2.6.3 Potasyum.....	27

2.6.4	Radyum.....	28
2.6.5	Radon.....	29
3.	MERMERLER.....	33
3.1	Kayaç Türleri.....	33
3.1.1	Magmatik Kayaçlar.....	33
3.1.2	Tortul Kayaçlar.....	34
3.1.3	Metamorfik Kayaçlar.....	34
3.1.4	Kayaçların Radyasyon Kaynakları.....	35
3.2	Mermer.....	36
3.3	Mermerlerin Özellikleri.....	37
3.3.1	Sertlik.....	38
3.3.2	Yoğunluk.....	38
3.3.3	Doluluk Oranı.....	38
3.3.4	Çözülme Yeteneği.....	39
3.3.5	Renk.....	39
3.3.6	Basınç Direnci.....	39
3.3.7	Donmaya Karşı Dayanıklılık.....	39
3.3.8	Aşınmaya Karşı dayanıklılık.....	40
3.4	Dünya’da ve Türkiye’de Mermer.....	40
3.4.1	Dünya’da Durum.....	40
3.4.2	Türkiye’de Durum.....	41
4.	MATERYAL VE METOD.....	44
4.1	Radyasyon Ölçüm Yöntemleri.....	44
4.1.1	Gaz Doldurulmuş Tüp Detektörler.....	44
4.1.2	Yarı-iletken Detektörler.....	45
4.1.3	Sintilasyon Detektörleri.....	46
4.2	NaI(Tl) Gama Spektroskopi Sistemi.....	47
4.3	İncelenen mermerler.....	49
4.4	Numune Hazırlanması ve Ölçümlerin Yapılışı.....	51
4.4.1	Mermer Numunelerinin Analizlere Hazırlanması.....	51
4.4.2	Gama Spektrometresi ile Mermer Örneklerinin Radyoaktivite Tayini.....	51
4.4.3	Mermer Örneklerinde Aktivite Hesaplamaları.....	52
5.	DENEYSEL SONUÇLAR.....	56
5.1	Afyonkarahisar Yöresine Ait Aktivite Sonuçları.....	56

5.2	CİVAR İLLERDEKİ AKTİVİTE SONUÇLARI.....	59
5.2.1	Eskişehir Yöresine Ait Deney Sonuçları.....	59
5.2.2	Denizli Yöresine Ait Deney Sonuçları.....	62
5.2.3	Burdur Yöresine Ait Deney Sonuçları.....	65
5.2.4	Uşak Yöresine Ait Deney Sonuçları.....	67
5.3	DeneySEL Sonuçlara Ait Ortalamalar	69
6.	TARTIŞMA VE SONUÇ.....	72
	KAYNAKLAR.....	xv
	ÖZGEÇMİŞ.....	xxi

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

AFYONKARAHİSAR YÖRESİ MERMERLERİNDE DOĞAL RADYOAKTİVİTE TAYİNİ

Kadir GÜNOĞLU

Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

Danışman: **Yrd. Doç. Dr. Bekir ORUNCAK**

Yer kabuğunu oluşturan maddeler değişik oranlarda radyoaktif elementler içerebilir. Bu maddelerden dolayı yeryüzü bir miktar radyasyona maruz kalmaktadır. İnsan, içinde yaşadığı doğal çevrede bulunan bu kaynaklardan yayınlanan değişik tipteki radyasyonlara her an maruz kalmaktadır. İnsanların bunlardan etkilenmeleri, yaşadıkları bölgeye ve o bölge doğal yapısındaki radyoaktif elementlerin konsantrasyonuna bağlıdır.

Bu çalışmanın amacı Afyonkarahisar ve civar illerinden çıkarılan mermerlerin potasyum (K-40), uranyum (U-238) ve toryum (Th-232) aktivitelerini belirlemektir. Toplam 23 adet örnek Afyonkarahisar ve çevre illerinden toplanıp ölçümler ise Süleyman Demirel Üniversitesindeki NaI(Tl) detektörlü gamma spektrometresi ile gerçekleştirilmiştir.

Ölçümlerden elde edilen sonuçlara göre; K-40 aktivitesinin 35,661–392,523 Bq/kg değerleri arasında, U-238(Ra) aktivitesi 29,924–195,726 Bq/kg değerleri arasında, Th-232 aktivitesi 18,084–82,470 Bq/kg değerleri arasında değiştiği belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: K-40, U-238, Th-232, Mermer, Doğal Radyasyon, Afyonkarahisar.

ABSTRACT

Ms.Sc

DETERMINATION of NATURAL RADIATION MARBLE of AFYONKARAHİSAR

Kadir GÜNOĞLU

University of Afyonkarahisar Kocatepe

Institute of Science

Department of Physics

Supervisor: **Assist Prof. Dr. Bekir ORUNCAK**

There are various amounts of radioactive substances in the underground and the earth was irradiated by these substances. These radioisotopes are found naturally in the earth and their decay products constitute the natural radiation in the environment. Humans are exposed to various kinds of radiation from these sources.

The main goal of this study is to determine K-40, U-238 and Th-232 activities on marbles. Totals of 23 samples were collected from Afyonkarahisar and its surrounded several cities of Turkey and measurements have been done using gamma spectrometer contains NaI(Tl) scintillation detector at the Suleyman Demirel University Physics department.

The obtained results from these measurements for K-40 activity ranged from 35,661 to 392,523 Bq/kg, U-238 activity ranged from 29,924 to 195,726 Bq/kg and Th-232 activity ranged from 18,084 to 82,470 Bq/kg.

Keywords: K-40, U-238, Th-232 Marble, Natural Radiation, Afyonkarahisar.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı yüksek lisans tezi ile ilgili çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen, bilgi ve tecrübeleri ile beni yönlendiren danışmanım Yrd. Doç. Dr. Bekir Oruncak'a teşekkür ederim.

Bilgi ve görüşlerinden yararlandığım Yrd. Doç. Dr. H. Ali Yalım, Yrd. Doç. Dr. İ. Hakkı Sarpün ve Yrd. Doç. Dr. Rıdvan Ünal'a, ayrıca tezimin hazırlanmasında yardım eden Arş. Gör. Ahmet Akkurt'a teşekkür ederim.

Deneylerin gerçekleştirilmesine imkan sağlayan ve sonuçların değerlendirilmesinde katkı sağlayan Isparta Süleyman Demirel Üniversitesi Fizik bölümü öğretim üyesi Doç. Dr. İskender Akkurt'a, ölçümler esnasında yardımını esirgemeyen aynı bölümdeki Arş. Gör. Hakan Akyıldırım ve doktora öğrencisi Betül Mavi'ye teşekkür ederim.

Ayrıca, tüm hayatım boyunca bana karşı gösterdikleri özverilerinden dolayı değerli anneme ve babama sonsuz teşekkür ederim.

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Açıklama

A°	:Angstrom
1 Bq	: Becquerel, 1 parçalanma s ⁻¹
1 Ci	: Curie, 3,7x10 ⁷ parçalanma s ⁻¹
c	: Işık hızı (3x10 ⁸ m/s)
°C	: Santigrad derece
1 Gy	:Gray
1 R	:Röntgen
1 rad	: Radiation absorbed dose
1 Sv	: Sievert
1Rem	: Roentgen Equivalent Man
α	: Alfa
β ⁻	:Beta- negatif
β ⁺	:Beta- pozitif
γ	:Gama
n	:Nötron
p	:Proton
LET	: Lineer Enerji Transferi
ε	:Verim
γ	: İlgili nüklidin gama yayınlama olasılığı
t	: Sayım süresi
m	: Kütle (kg)
NPA	:Net Pik Alanı

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
--------------------	-----------------

CPM	: Counts per minute (dakikadaki sayım)
EPA	: Enviromental Prodection Agency (Çevre Korumu Ajansı)
eV	: Elektron volt
keV	: Kilo elektron volt
MeV	: Mega elektron volt
NCPM	: Net counts per minute (dakikadaki net sayım)
PMT	: Photomultiplier tube (foto çoğaltıcı tüp)
PHA	: Pik yüksekliği analizörü
ÇKA	: Çok kanallı analizör

SI	: Uluslararası Birimler Sistemi
ICRU	: Uluslararası Radyasyon Birimleri Komisyonu
NCRP	: National Council on Radiation Protection
TAEK	: Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
USEPA	: United States Environmental Protection Agency (Birleşik Devletler Çevre Koruma Ajansı)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1-1: Doğal ve yapay radyasyonun dünya üzerindeki dağılım	1
Şekil 1-2: Doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozlarının oranları.....	2
Şekil 2-1: Radyoaktif parçacıkların yüklü olup olmadığını belirleme deney düzeneği ...	9
Şekil 2-2: Alfa bozunumu	10
Şekil 2-3: Beta negatif ve Beta pozitif bozunmaları.....	12
Şekil 2-4: Beta parçacıklarını genel enerji spektrumu.....	13
Şekil 2-5 Gama ışınları	15
Şekil 2-6: İç dönüşüm olayı.....	19
Şekil 2-7: ^{238}U 'in bozunma ürünleri şeması (Ereeş 1998)	25
Şekil 2-8: ^{232}Th 'in bozunma ürünleri şeması (Ereeş 1998).....	26
Şekil 2-9: ^{222}Rn ve ^{220}Rn 'nin bozunma zinciri.	32
Şekil 4-1: Tipik bir gazlı detektörün farklı voltaj bölgelerine göre şematik gösterimi ..	45
Şekil 4-2: NaI(Tl) foto-çoğaltıcı tüpün şematik diyagramı	47
Şekil 4-3: NaI(Tl) için gama spektrometre sistemi	48
Şekil 4-4: Çalışmada analizleri yapılan mermerlerin çıkarıldığı yerler	50
Şekil 4-5: ^{60}Co kalibrasyon spektrumu.....	54
Şekil 4-6: ^{137}Cs kalibrasyon spektrumu.....	54
Şekil 4-7: Kalibrasyon Grafiği	55
Şekil 5-1: Afyonkarahisar yöresi mermerlerine ait K-40, U-238(Ra) ve Th-232 aktivite-leri	57
Şekil 5-2: Afyonkarahisar bölgelerinin karşılaştırılması.....	57
Şekil 5-3: Eskişehir yöresi mermerlerine ait K-40, U-238(Ra) ve Th-232 aktivite-leri .	60
Şekil 5-4: Eskişehir bölgelerinin karşılaştırılması.....	61
Şekil 5-5: Denizli yöresi mermerlerine ait K-40, U-238(Ra) ve Th-232 aktivite-leri	63
Şekil 5-6: Denizli bölgelerinin karşılaştırılması.....	64
Şekil 5-7: Burdur yöresi mermerlerine ait K-40, U-238(Ra) ve Th-232 aktivite-leri	66
Şekil 5-8: Burdur bölgelerinin karşılaştırılması	66
Şekil 5-9: Uşak yöresi mermerine ait K-40, U-238(Ra) ve Th-232 aktivite-leri.....	68
Şekil 5-10: Tüm yörelere ait ortalama K-40, U-238(Ra) ve Th-232 aktivite-leri	70
Şekil 5-11: Tüm yörelere ait ortalama K-40, U-238(Ra) ve Th-232 aktivite-lerin karşılaştırılması.....	70

ÇİZELGELER DİZİNİ

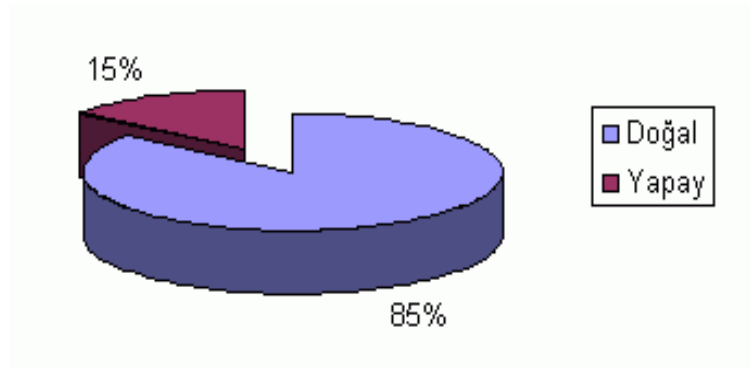
Çizelge 2-1: Doğal radyasyon kaynakları	7
Çizelge 2-2: Beta parçacıklarının çeşitli enerjilerdeki menzili	13
Çizelge 2-3: Radyasyon birimleri ve dönüşüm faktörleri	20
Çizelge 2-4: Farklı radyasyon tipleri için kalite faktörleri	23
Çizelge 2-5: Uranyumun özellikleri (http://www.chemicalelements.com).....	24
Çizelge 2-6: Toryumun özellikleri (http://www.chemicalelements.com).....	27
Çizelge 2-7: Potasyumun özellikleri (http://www.kimyaevi.com)	27
Çizelge 2-8: Radyumun özellikleri (http://www.kimyaevi.com)	29
Çizelge 2-9: Radonun özellikleri (http://www.kimyaevi.com)	30
Çizelge 3-1: Yüzeyle ve Yüzeyle Yakın Magmatik Kayaç Türleri.....	33
Çizelge 3-2: Tortul kayaçların sınıflandırılması.....	34
Çizelge 3-3: Metamorfik kayaçların sınıflandırılması.....	35
Çizelge 3-4: Başlıca doğal radyoizotopların özellikleri	36
Çizelge 5-1: Afyonkarahisar yöresi mermerlerine ait K-40, U-238(Ra) ve Th-232 aktiviteleri	56
Çizelge 5-2: Dönüşüm Katsayıları	58
Çizelge 5-3: Afyonkarahisar yöresi için K-40, U-238 (Ra) ve Th-232 aktivitelerine göre absorblanmış doz hızları	58
Çizelge 5-4: Afyonkarahisar yöresi için K-40, U-238 (Ra) ve Th-232 aktivitelerine göre yıllık etkin doz eşdeğeri	59
Çizelge 5-5: Eskişehir yöresi mermerlerine ait K-40, U-238(Ra) ve Th-232 aktiviteleri	60
Çizelge 5-6: Eskişehir yöresi için K-40, U-238 (Ra) ve Th-232 aktivitelerine göre absorblanmış doz hızları	61
Çizelge 5-7: Eskişehir yöresi için K-40, U-238 (Ra) ve Th-232 aktivitelerine göre yıllık etkin doz eşdeğeri	62
Çizelge 5-8: Denizli yöresi mermerlerine ait K-40, U-238(Ra) ve Th-232 aktiviteleri	62
Çizelge 5-9: Denizli yöresi için K-40, U-238 (Ra) ve Th-232 aktivitelerine göre absorblanmış doz hızları	64
Çizelge 5-10: Denizli yöresi için K-40, U-238 (Ra) ve Th-232 aktivitelerine göre yıllık etkin doz eşdeğeri	65
Çizelge 5-11: Burdur yöresi mermerlerine ait K-40, U-238(Ra) ve Th-232 aktiviteleri	65

1. GİRİŞ

Bilimsel deneyler esnasında bir rastlantı sonucu keşfedilen ve radyoaktif çekirdeklerin kararlı hale dönerken yaydıkları enerji olarak tanımlanan radyasyonla ilgili çalışmalar 1896 yılında Henri Becquerel tarafından başlatılmıştır. H. Becquerel uranyum tuzlarından gözle görülmeyen ışınlar çıktığını ve bu ışınların maddeden geçerek fotoğraf filmine etki ettiğini gözledi. Daha sonra H. Becquerel, Marie Curie ve Ernest Rutherford tarafından yapılan çalışmalarda, bu tür ışın çıkaran birçok izotop keşfedilmiştir. Günlük hayatta canlılar ve özellikle de insanlar sürekli olarak uzaydan gelen kozmik ışınlar ve doğada bulunan radyoaktif elementlerin kendiliğinden bozunmalarından kaynaklanan radyasyona maruz kalırlar. Doğal radyoaktivite olarak bilinen, insanoğlunun hayatı süresince maruz kaldığı doğal ya da radyasyon miktarı insan sağlığı için önemlidir. Bu sebeple insanların yaşadığı ortamdaki radyoaktivite seviyelerinin belirlenmesi ve maruz kaldıkları radyasyon dozlarının bulunması amacıyla çalışmalar yakın geçmişten günümüze yapılmaktadır.

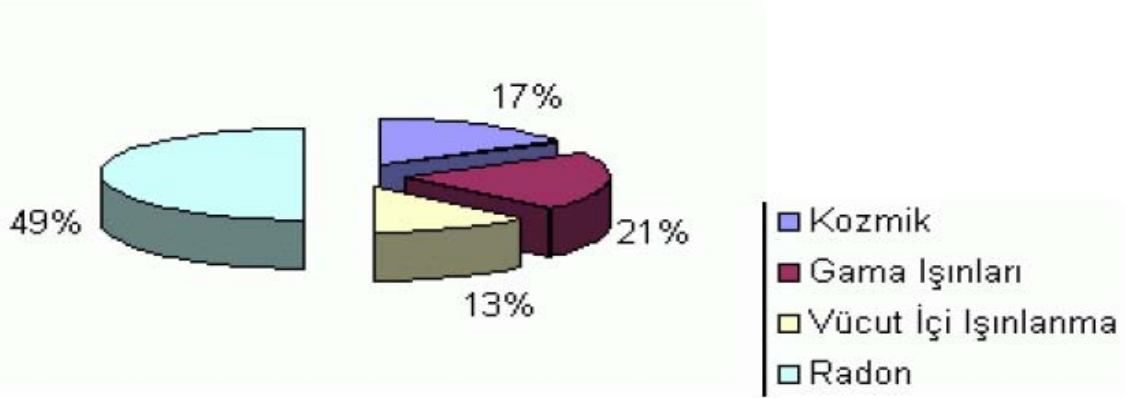
Doğal radyasyona ilave olarak gelişen teknolojinin etkisi ile yapay olarak da ortama sürekli bir radyasyon yayılır. Radyasyon yaptığı etki bakımında da iyonlaştırıcı ve iyonlaştırmayan radyasyon olarak ikiye ayrılır. Genelde doğal kaynaklardan ortaya çıkan iyonlaştırıcı radyasyon, maddeyle etkileşerek atomlarının elektronik yapısını değiştirebilir. Atomların yapısında meydana gelen bu değişiklikler çeşitli sağlık sorunlarına yol açmaktadır. Şekil 1.1 de doğal ve yapay radyasyonun dünya üzerindeki dağılımı gösterilmektedir

(http://www.taek.gov.tr/bilgi/bilgi_maddeler/radbiryasam.html).



Şekil 1-1: Doğal ve yapay radyasyonun dünya üzerindeki dağılım

Şekil 1.2 de doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozlarının oranları verilmiştir (http://www.taek.gov.tr/bilgi/bilgi_maddeler/dogalrad.html).



Şekil 1-2: Doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozlarının oranları

Yerkabuğunun içindeki tüm maddeler farklı yoğunluklarda da olsa radyonüklid içermektedir. Gerçekte, yeryüzünün derinliklerinde bulunan doğal radyoaktivitenin bozunmasından meydana gelen enerjinin, yeryüzü kabuğunun şekillenmesine katkısı olduğuna inanılır. Bu enerjinin önemli bir kısmı uranyum, toryum ve potasyumdan gelmektedir. Uranyum, kaya ve toprak katmanları boyunca düşük konsantrasyonlarda dağılmıştır. Uranyum-238 birçok elementin uzun radyonüklid bozunma serisinin başlangıç kaynağı olup, kararlı Kurşun-206 haline gelinceye kadar bozunur. Oluşan ilk ürünler arasında yer alan ve radyoaktif gaz olan radon radyoizotopu (Rn-222) atmosfere dağılır ve bozunmaya devam eder. Toryum da benzer şekilde yeryüzüne dağılmıştır ve Toryum-232, başka bir radyoaktif serinin başlangıç kaynağıdır. Potasyum-40 kararlı elementin içinde 120 ppm oranında bulunur ve yeryüzü kabuğunun ağırlık olarak % 2,4'ünü oluşturur.

Yapı malzemeleri bir kısmı taş ve topraktan üretildikleri için düşük oranda radyoaktivite içerebilirler. Böylece insanlar bina dışında olduğu gibi bina içinde de radyasyona maruz kalırlar. Alınan radyasyon dozu bölgenin taşına, toprağına ve yapı malzemesine bağlıdır.

19. yy. başlarında Kelvin'in ileri sürdüğü teoriye göre dünyamız doğal olarak gün geçtikçe ısınmaktadır. Bu açığa çıkan ısının nedeni olarak, doğada kendiliğinden bulunan doğal radyasyon kaynakları olan uranyum, toryum ve potasyum gösterilmektedir. Yapılan sondaj çalışmaları göstermiştir ki; derinlik arttıkça sıcaklık yükselmekte olup, derinlerde radyoaktivitenin de miktarı artmaktadır. Doğada bulunan uranyum, toryum ve potasyum radyoizotoplarından uranyum ve toryumun bozunmaları sonucu alfa radyasyonu, potasyumun bozunması sonucunda da beta ve az miktarda gama radyasyonu açığa çıkmaktadır (**Kenny 1971**).

Mermerler yeryüzünü oluşturan kayalardan metamorfik kayalar sınıfına girmektedir. Bu çalışmanın temel amacı Türkiye'de çeşitli yörelerinden çıkarılan ve piyasada oldukça çok talep gören mermerlerin radyoaktivitesinin belirlenmesidir. Bu amaçla temin edilen mermerler üzerinde uranyum, toryum ve potasyum aktiviteleri ölçülmüştür.

Bu amaçla dünya üzerinde birçok yer altı kaynağı üzerinde radyoaktivitenin belirlenmesine yönelik gerek yurtiçinde gerekse yurtdışında birçok çalışmalar yapılmaktadır.

S. Selvasekarapandian ve ekibi (2000) Hindistan'ın Gudalero topraklarındaki doğal radyonüklid tayinini gama ısın spektrumu ile tayin etmiş ve K-40, U-238 ve Th-232'nin ortalama aktivite konsantrasyonları sırasıyla 195,2 Bq/kg, 37,7 Bq/kg ve 75,3 Bq/kg olarak bulunmuştur (**Selvasekarapandian,2000**).

O. S. Ajayi tarafından 2000 yılında yapılan çalışmada NaI(Tl) detektörü kullanılarak kayalardaki K-40, U-238 ve Th-232 aktivite konsantrasyonları sırasıyla 40,3-2436,6 Bq/kg, 3,5-110,5 Bq/kg ve 1,2-107,5 Bq/kg aralığında ölçülmüştür. Yine aynı çalışmada ortalama soğurulan doz oranı 0,128 nGy/h'dir (**Ajayi, 2000**).

M. Brai ve ekibi, (2001) Stromboli'de yaptıkları çalışmada toprak ve kaya örneklerindeki radyoaktiviteyi HPGe detektörü kullanarak ölçmüşler ve K-40

aktivitesini 340-1427 Bq/kg, Bi- 214 aktivitesini 31-112 Bq/kg ve Ac-228 aktivitesini 30-106 Bq/kg olarak bulmuşlardır (**Brai, 2001**).

2001 yılında Gana'da J. Yeboah ve ekibi tarafından yapılan çalışmada toprak örneklerinde ve kayalardaki K-40, U-238 ve Th-232 aktivite konsantrasyonları gama spektrometresi kullanılarak belirlenmiştir. Toprak örneklerinde K-40 aktivitesi 91,1-1395,9 Bq/kg; U-238 aktivitesi 2,4-62,7 Bq/kg ve Th-232 aktivitesi 3,2-145,7 Bq/kg aralığında değişirken kaya örneklerinde K-40 aktivitesi 9,0-1510,1 Bq/kg, U-238 aktivitesi 0,7-40,0 Bq/kg ve Th-232 aktivitesi de 0,5-117,5 Bq/kg aralığındadır (**Yeboah, 2001**).

Polonya'da gama spektrometresi kullanılarak kaya ve topraklardaki doğal ve antropojenik radyoaktivite düzeyleri Malczewski ve ekibi tarafından incelenmiş ve sonuçta K-40 aktivitesinin 320-1200 Bq/kg aralığında, Ac-228 (Th-232 serisi) aktivitesinin 25-62 Bq/kg aralığında ve Ra-226 aktivitesinin 31-122 Bq/kg aralığında değiştiği bulunmuştur (**Malczewski 2004**).

S.A.Sagan ve arkadaşları tarafından 2001 yılında Ürdün'de yapılan çalışmada germanyum detektörü (HPG) ile gama spektrometresi kullanılarak U-238 ve K-40 aktivite konsantrasyon değerleri sırasıyla 0.14 ile 34.8 Bq/l olarak ölçülmüştür. Yerkabuğunun ortalama U-238 içeriği 2.7 mg/kg olduğu hesaplanmıştır (**Sagan ve ark. 2001**).

Türkiye'de Karakelle ve ekibi tarafından yapılan çalışmada Kocaeli toprak örneklerindeki doğal radyoaktivite HPGe detektörü kullanılarak tayin edilmiştir. U-238 aktivitesi 11-49 Bq/kg, K- 40 aktivitesi 161-964 Bq/kg ve Th-232 aktivitesi 11-65 Bq/kg olarak ölçülmüştür (**Karakelle, 2002**).

İzmir'in yaklaşık 40 km kuzeydoğusunda bulunmakta olan Sarıcaoglu (Bergama) tersiyer havzası kayaçlarındaki radyoaktivite incelenmiş ve kaya örneklerinde en düşük eU aktivitesi kireç taslarında 2.35 ppm en yüksek bitümlü şeylerde 112 ppm'dir. Manisa'nın Köprübaşı ilçesindeki Kasar uranyum yatağı çevresinde bulunan topraklarda

radioaktivite araştırılmış ve eU aktivitesi 37,75-88,00 Bq/kg, eTh aktivitesi 32,50-77,50 Bq/kg ve potasyum aktivitesi 296 888 Bq/kg arasında bulunmuştur (**Gür 1999**).

Mermerlerin radyasyon soğurucu özellikleri üzerinde de bir çok çalışma yapılmış olup bu mermerlerin yapı malzemesi olarak kullanıldıklarında aynı zamanda iyi bir radyasyon soğurucu olduklarını da göstermiştir (**Akkurt 2004**).

2. RADYASYON VE ÖZELLİKLERİ

2.1 Radyasyon

Enerjinin dalgalar veya tanecikler halindeki durumu veya bu şekilde yayılan enerji türüne “radyasyon” denir. Görünen ışık, sıcaklık, radyo dalgaları, mikro dalgalar, kızıl ötesi, mor ötesi, X ışınları; gama ışınları, alfa ve beta parçacıkları ve kozmik ışınlar radyasyona örnek olarak verilebilir. Elektromanyetik radyasyon, elektromanyetik dalga formunda yayınlanan bir radyasyondur. Bu tür radyasyona örnek olarak; gama ışınları, nötronlar, morötesi ışık ve radyo dalgaları verilebilir. Parçacık radyasyonu parçacık formunda olan radyasyondur ve alfa ve beta parçacıkları bu radyasyona örnek olarak verilebilir. Radyasyon bir madde içerisinden geçerken meydana getirdiği değişikliğe bağlı olarak, iyonize eden (maddenin atomundan elektron koparan) ve iyonize etmeyen (maddenin atomundan elektron koparamayan) şeklinde de karakterize edilebilir.

2.2 Radyasyon Kaynakları

Çevremizdeki başlıca radyasyon kaynakları doğal ve yapay olmak üzere ikiye ayrılır. Doğada sürekli var olan doğal ve düşük düzey radyasyonlarının kaynakları;

- x-ışınları, γ ışınları, nötron ve proton radyasyonları gibi kozmik ışınlar,
- Uranyum, toryum ve radyum gibi elementlerin, yer kabuğu ve atmosferdeki radyoaktif izotopları ve bunların radyoaktif fisyon ürünleri,
- Doğal olarak vücudumuzda bulunan potasyum-40, karbon-14 gibi radyoaktif izotoplardır.

Yerkabuğunun oluşumunda doğal olarak bulunan radyoizotop ve bunların bozunum ürünleri, yayınladıkları ışınlar ile çevresel radyasyonları büyük kısmını oluşturmaktadır. İnsanların bunlardan etkilenmeleri, buldukları bölgeye ve o bölge toprağındaki radyoaktif elementlerin konsantrasyonlarına bağlıdır. Bundan dolayı, insanları aldıkları dış radyasyon dozları dünyanın her yerinde aynı değildir.

Toprak ve kayalarda yüksek konsantrasyonlarda bulunan U-238, Th-232 ve K-40 gibi radyoizotoplar doğal radyasyon kaynaklarının en önemlileri olarak kabul edilmektedir. Diğer yandan, dünya dışındaki ortamlardan gelen kozmik ışınların atmosferdeki

reaksiyonları sonucu üretilen yüksek enerjili nötronlar, protonlar, elektronlar ve muonlar, uzay orijinli doğal radyasyon kaynaklarını oluşturmaktadırlar. Yapı malzemelerinden çıkan gama ışınları da doğal radyasyon kaynakları arasında sayılmaktadırlar.

İnsan, doğal radyasyona, dış ışınlamalarla maruz kaldığı gibi solunum ve sindirim yoluyla vücutlarına alarak iç ışınlamalarla da maruz kalabilmektedir. Işınlamalara dışarıdan maruz kalınmışsa, buna “dış ışınlama”, içerden maruz kalınmışsa buna da “iç ışınlama” denmektedir. Gama ve betalar dış ışınlamalarla, alfalar ise iç ışınlamalarla insana daha çok zarar vermektedir. Buradan hareketle doğal radyasyon kaynaklarını iç ve dış radyasyon kaynakları olarak ikiye ayırmak mümkündür.

Radyoaktif maddeler, bir taraftan yarı ömürlerine, bir taraftan da boşaltım sistemine bağlı olarak vücudumuzda azalır. Diğer yandan beslenme yoluyla da sürekli artarlar. Böylece canlı organizmada evrensel bir radyoaktivite dengesi oluşmuş olur. Çizelge 2.1 de doğal radyasyon kaynaklarından yayınlanan radyasyon seviyeleri verilmektedir (Şeker ve Çerezci, 1997).

Çizelge 2-1: Doğal radyasyon kaynakları

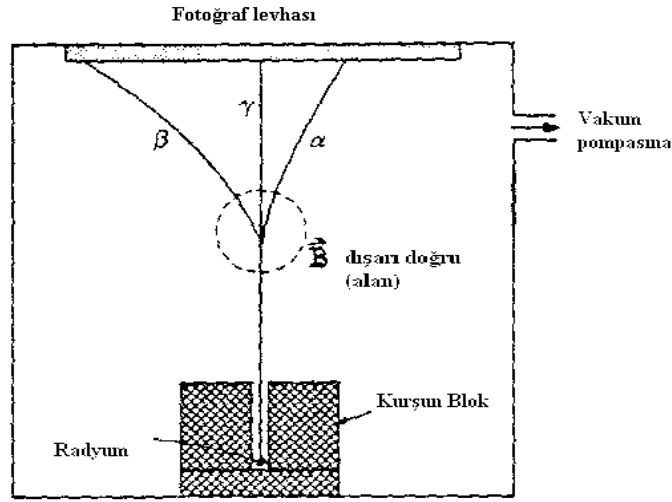
Işınlama	Doz hızı mrem/yıl
Vücut dışından	
1. Kozmik radyasyon	28,0
2. Yeryüzündeki radyoaktif maddeler (uranyum, radyum, toryum, aktinyum)	26,0
3. Yapı malzemeleri	3,0
Vücut içinden	
1. Organizmadaki tabii radyoelementler (K-40, C-14)	28,0
2. Hava solunumuyla	5,0
Toplam seviye	(~88)

2.3 Radyoaktivite

Bazı atom çekirdeklerinin kararsız olması nedeniyle, çeşitli tanecikler ve enerji yayınlarken yani radyoaktif ışınlar yayarak başka cins çekirdeklere dönüşmesine “radyoaktivite” denir. Böyle radyoaktif ışın yayan maddelere de “radyoaktif madde” denir. Bu durum, ilk defa, 1896’da Becquerel tarafından keşfedilmiştir. Becquerel belirli floresans tuzlarının güneş ışınlarıyla aktifledikten sonra yayınladıkları radyasyonlar üzerinde çalışıyordu. Şans eseri kalın bir kâğıda sarılmış uranyum ve potasyum sülfattan ibaret numuneyi karanlık bir odada fotoğraf levhalarının yanında bıraktı. Bu levhaların banyo edildiklerinde ışığa karşı tamamen korunmuş oldukları halde ışıktaki kalmış gibi sonuç verdiklerini görmüştür. 1895 yılında keşfedilmiş olan x ışınları ile floresans arasındaki ilişkiyi incelerken uranyum bileşiklerini yakınına bırakılan fotoğraf plakalarının kararmış olduklarını gördü. Becquerel önceleri bu etkinin nedeninin floresans madde olduğunu sanmış fakat diğer floresans maddelerin aynı olayı oluşturmadıklarını gözlemlemiştir. Bu deneyi tekrarlayan Becquerel, fotoğraf levhalarının etkilenmesinin floresans veya x ışınları ile ilgisi olmadığını, sadece uranyum elementinin bir özelliği olduğunu gösterdi.

1934’te Curie ve Joliot önceleri kararlı olan elementleri radyoaktif hale getirmenin mümkün olduğunu keşfetmişlerdir. Bu olaya da “yapay radyoaktivite” denir. Yapay radyoaktivitenin bulunuşundan ve fisyon olayının keşfinden sonra pek çok yapay radyoaktif madde üretilmiştir. Radyoaktif olarak bilinen atomların çekirdeği kararsız olduklarından radyoaktivite özelliğine sahiptirler. Kararsız çekirdekler parçalanır ve parçalanma sonucu yeni bir çekirdek meydana gelir. Atom çekirdeklerindeki bu değişiklikler sonucu radyasyon yayımlanır. Atomun uğradığı bu değişikliğe bozunma olayı adı verilir. İlk bozunma sonunda oluşan yeni atoma 1. ürün denir, 1. üründe kararsız bir atom olabilir ve parçalanarak radyasyon yayımlar ve yeni bir atoma dönüşürse buna da 2. ürün denir. Bir radyoaktif parçalanma, bir alfa veya beta parçacığının yayınımla meydana geldiği zaman, ana element denilen ilk atom, 1. ürün denilen başka bir atoma göre değişmektedir. Radyoaktivite özelliği gösteren izotoplara genel olarak “radyoizotop” denir. Nükleer radyasyon, dolayısıyla radyoizotop üretimi, tıp, biyoloji, kimya ve enerji üretimi gibi alanlarda çok geniş şekilde kullanılmaktadır. Tabiatı rastlanan radyoaktif elementler α , β ve γ ışınları yayınlarken bozunuma

uğrarlar. Bu parçacıklardan alfalar pozitif yüklü, betalar negatif yüklü ve gamalar yüksüzdür. Parçacıkların bu yüklerinin tespitini yapabilmek için kullanılan deney düzeneği Şekil 2.1’de görülmektedir. Bir magnetik alan tarafından α , β ve γ parçacıklarının saptırılmalarını gösteren denel düzenekte α -parçacıkları pozitif yüklü olduklarından sağa, β -parçacıkları negatif yüklü olduklarından sola saparlar. γ -ışınları yüksüz olduklarından magnetik alan tarafından saptırılmazlar.



Şekil 2-1: Radyoaktif parçacıkların yüklü olup olmadığını belirleme deney düzeneği

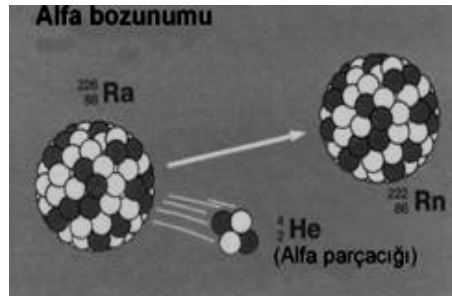
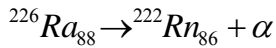
2.4 Radyoaktif Bozunma Türleri

Radyoaktif bozunma sonunda, bozunan atom bozunmadan öncekinden daha az enerjili olarak kalır. Kararsız atom bozunurken belirli birkaç yol takip eder, bazen kararsız atomlar iki veya daha fazla yolla bozunabilirler. Bilinen radyoaktif bozunma şekilleri şunlardır:

- Alfa bozunması (α bozunması)
- Beta bozunması (β^- ve β^+ bozunması)
- Gama ışını yayınlanması (γ -yayma)
- Elektron yakalanması
- İç dönüşüm
- İzomerik geçiş
- Nötron yayınlanması (n-yayma)

2.4.1 Alfa Bozunması (α bozunması)

Alfa parçacıkları, çekirdek tarafından yayınlanan iki proton ve iki nötrondan oluşan pozitif yüklü helyum çekirdeğidir. Bir başka deyişle, 4 kütle birimi ve 2 pozitif elektriksel yük birimi ile helyum çekirdeği olan alfa parçacığının ana çekirdekten kopması, onun fiziksel özelliğini, ürün çekirdekte A'nın değerini 4, Z'nin değerini 2 azaltacak şekilde değiştirmektedir (**Eisenberg, 1992**). Bu bağlamda alfa taneciği çekirdeğin fırlatabildiği en ağır kütle olarak kabul edilmektedir. Beta taneciğinden yaklaşık 7500 kat daha ağırdır. Radyoaktif bozunumlar içerisinde en büyük kütle ve enerji kaybı alfa bozunumu ile gerçekleşmektedir. Bu bozunmaya örnek olarak Şekil 2.2'de Ra-226'dan Rn-222'ye, α parçacığı yayarak uğranan değişim gösterilmektedir.



Şekil 2-2: Alfa bozunumu

Atom numarası büyük olan izotoplar genellikle alfa çekirdeği yayarak bozunurlar. Doğal olarak bulunan radyoaktif maddelerden yayınlana alfa parçacıklarının enerjileri yaklaşık olarak 4 MeV ile 9 MeV arasındadır. Bu enerjiler, alfa taneciklerine ışık hızının % 5-10'u kadar hız kazandırmaktadır.

Alfa parçacığı içinden geçtiği soğurucu ortamdaki elektronlarla güçlü bir elektrostatik çekim kuvveti meydana getirir. Bununla birlikte, ortamda bulunan atomların çekirdekleri ile karşılaşmaları sonucu oluşan Coloumb kuvveti ile itilmektedir. Buna göre, çekirdek bozunumu sırasında sabit ve çok büyük bir kinetik enerjiyle fırlatıldıkları düşünülürse, soğurucu ortam atomları ile etkileşme olasılığının yüksek olduğu görülmektedir.

Alfa parçacıkları, içinden geçtikleri ortamda şartları uygunluğuna bağlı olarak elastik ve inelastik çarpışmalar yapmaktadır. Elastik çarpışmalarla, enerji kaybetmeyen alfa parçacıkları, elastik olmayan çarpışmalarla özellikle iyonizasyon ve kısmen eksitasyon olaylarına neden olup enerji kaybederek absorplanmaktadırlar. Hız yani kinetik enerjisi sıfır olduğu zaman, ortamdan iki elektron yakalayarak, kararlı helyum atomu haline gelmektedirler (**Saha, 1998**).

Parçacıkların yolları üzerinde birim yolda bıraktıkları enerji, hızından başka kütlesine ve sahip oldukları elektrik yüküne de bağlıdır. Alfa parçacıklarının birim yolda iyonizasyon yolu ile meydana getirdikleri iyon çiftleri sayısı çok fazla ve bu nedenle de soğurucu ortam içerisindeki yolları çok kısa olmaktadır. Buna kısaca, LET (Lineer Enerji Transferi) değerleri büyük denmektedir. Alfa parçacıklarının izlediği yol hemen hemen düz çizgi halindedir (**Eisenberg, 1992**).

Bu parçacıkların çevresel etkileri önemsizdir, ancak canlılar için iç yayıcı olarak çok önemlidirler. Özellikle solunum sisteminden geçerken, kemik yüzeylerinde ve kırmızı kemik iliğinde büyük tahribatlara neden olurlar. Bu parçacıkların enerjileri çok kısa yollar boyunca birikirler ve hassas bölge yüzeylerinde sınırlandırılmış yüksek dozlara neden olurlar. Bu nedenle, radyasyondan korunma açısından özellikle su, toprak ve havada alfa radyoaktivitesinin sürekli izlenmesi önem arz etmektedir.

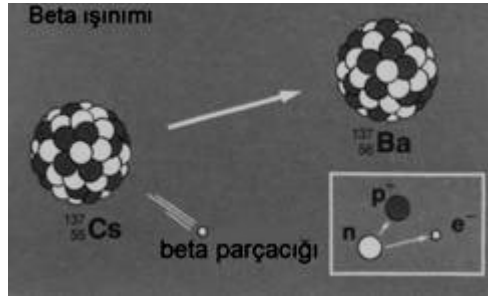
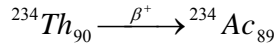
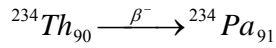
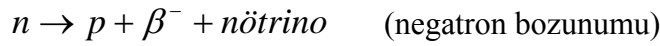
2.4.2 Beta Bozunumu

Çekirdekteki nötronun protona veya protonun nötrona dönüşmesi sırasında ortama yayılan enerjinin elektron olarak formlaşıp ortama yayılmasıdır. Başka bir deyişle, radyoaktif çekirdeklerden atılan elektronlar olarak kabul edilebilir. Yapılan ölçümler sonucunda beta parçacığının kütlesi elektronun kütlesine eşit bulunmuş ve elektronun kütlesinin, bir nükleonun kütlesinden 1836 kat daha küçük ve $m_e=9.10^{-31}$ kg olduğu belirlenmiştir.

Daha sonra yapılan çalışmalarda, bir atomun bir beta parçacığı yayınlamasıyla, daima listede bir üst sırada bulunan elementin atomuna dönüştüğü gözlenmiştir. Buna göre, doğal olarak yüklerinin -1 elektronik birime sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Beta

parçacığının atom ağırlığı ihmal edilebilmektedir. Beta parçacığının yayınlanması sonucunda oluşan radyoizotop, başlangıçtaki izotop ile aynı atom ağırlığında kalmaktadır.

Beta parçacığı kütlesi ve elektriksel yükü itibariyle elektrona denk bir taneciktir. Elektrondan tek farkı elektriksel yükünün hem artı hem de eksi olabilmesidir. Pozitif yüklü olana “pozitron”(β^+), negatif yüklü olanına da “negatron”(β^-) denir. Pozitron bozunumunda, nötron protona dönüşür ve kütle numarası aynı kalırken atom numarası bir eksilir. Negatron bozunumunda ise nötron protona dönüşür ve kütle numarası değişmezken atom numarası bir artmaktadır. Negatron ve pozitron bozunmalarına aşağıdaki örnekler verilebilir.



Şekil 2-3: Beta negatif ve Beta pozitif bozunmaları

Beta parçacıkları çekirdekten 4 MeV'a kadar olan enerjilerle fırlatılabilmektedir. Bu enerji, onlara ışık hızının % 99,5'ine varan bir hız kazandırmaktadır. Beta parçacıkları normal şartlarda havada maksimum 10 m'lik bir menzile sahiptirler. Çizelge 2.2 de beta parçacıklarının çeşitli enerji değerlerinde havadaki menzilleri verilmektedir.

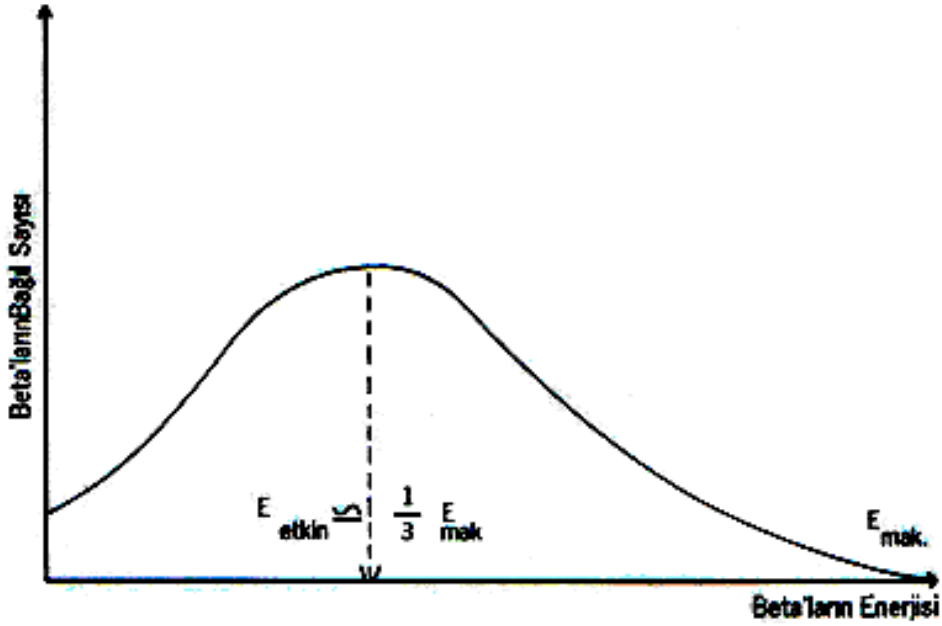
Çizelge 2-2: Beta parçacıklarının çeşitli enerjilerdeki menzili

Enerji (MeV)	Havadaki Menzil (m)
0,1	0,11
0,5	1,5
1	3,7
2	8,5
3	13

Beta parçacıklarının kinetik enerjisi farklı değerlerde olabilir ve geniş bir spektruma sahiptir. Beta taneciklerinin ortalama kinetik enerji değeri;

$$E_{\text{ort}}=1/3E_{\text{max}} \quad (2.1)$$

İfadesi ile hesaplanmaktadır. Şekil 2.4’de beta parçacıklarının bozunmaları sırasında kinetik enerjilerinin dağılımı görülmektedir.



Şekil 2-4: Beta parçacıklarının genel enerji spektrumu

Radyoaktif çekirdeklerin çoğu beta bozunumu yaparak kararlı hale geçmektedir. Hem hafif hem de ağır radyoaktif çekirdeklere görüle bilen bu bozunmaların yaklaşık 1/3’ü saf beta bozunumdur. Diğer 2/3 oranındaki bozunmalarda beta partikül enerjisiyle birlikte, gama foton enerjisinin de çıktığı gözlenmektedir.

Aynı radyoizotopa ait radyoaktif çekirdeklerin bozunmaları sırasında ortaya çıkan beta parçacıklarının kinetik enerjileri birbirinden farklı değerlerde olabilmektedir. Bu durum, beta bozunumunun bir özelliği olmaktadır. Bunun nedeni ise, bozunum enerjisinin, bozunum esnasında ortaya çıkan ve madde ile etkileşmesi hemen hemen hiç olmayan nötrinolarla paylaşılmasıdır (**Saha, 1998**).

Beta bozunumu yapan çekirdeklerin dönüşüm kuralı genel olarak; çekirdeğin kararlılığı nötron proton dengesi anlamına geldiğinden, dengenin gerektirdiğinden fazla nötron veya protona sahip olan bir kısım radyoaktif çekirdekler fazla olanı karşı cinse dönüştürmek suretiyle kararlı hale geçmeye çalışmalarıdır.

Beta parçacıkları, madde ile etkileşme çerçevesinde, içinden geçtiği yapının atomlarına ait elektronlarla yaptığı çarpışma sonucunda saçılma gösterebilmektedir. Yada bu parçacık rastladığı elektronlara bir miktar uygun değerde enerji vererek onları uyarabilir. Yani elektron bulunduğu yörüngeden bir üst yörüngeye geçebilir. Ancak elektron yeni yörüngesinde kalamaz ve çok kısa bir süre sonra yörüngeler arası enerji kadar uyarım (eksitasyon) enerjisini foton enerjisi olarak atar. Bu enerjiye karakteristik X-ışını, bu olaya da ‘eksitasyon’ denilmektedir (**Eisenberg, 1992**).

Beta parçacığı, etkileştiği maddenin atomlarına, elektronlarını kopartacak seviyede eksitasyon enerjisi verdiği takdirde iyonizasyona neden olur. Bu durumda, elektron atomdan ayrılacağından bir iyon çifti oluşturacaktır. Yine beta parçacığı moleküller civarından geçerken verdiği eksitasyon enerjisi ile, o molekülün parçalanmasına neden olabilir. Bu olaya da “dissosiasyon” denilmektedir (**Algüneş, 2002**).

Yüksek enerjili beta parçacıkları, içinden geçtiği ortamın atomları arasından geçerken, elektrostatik kuvvetlerin etkisinde kalarak hızları değişir dolayısıyla frenlenir. Böylelikle, sürekli bir spektrum teşkil eden X-ışınları yayınlanır. Bu X-ışınlarına ‘frenleme X-ışınları’ veya ‘Bremsstrahlung’ adı verilmektedir.

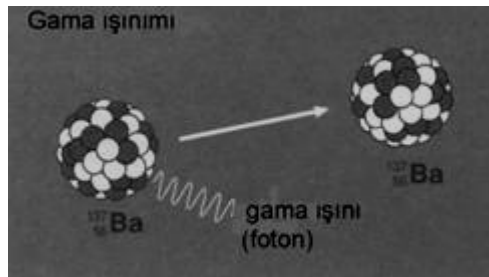
Tüm bu olayların meydana gelme olasılıkları beta parçacıklarının kinetik enerjisine bağlıdır. Beta parçacığının kütlesi çekirdeğin kütlesine göre çok küçük olduğundan, çarpışmalar sonucunda parçacığın izlediği yolda büyük sapmalar meydana gelmektedir. Bu nedenle beta parçacıkları soğurucu ortam içinde doğrusal olmayan bir yol izlemektedir. (Algüneş, 2002).

Etkileşme sonucunda hızın sıfıra veya sıfıra çok yakın bir değere düşmesi halinde pozitron, elektrostatik çekim kuvvetinin etkisi ile bir elektronla reaksiyona girecektir. Bu reaksiyon sonucunda elektron-pozitron çifti birbirini yok ederek 0,511 MeV'luk iki gama fotonuna dönüşür. Bu olaya “pozitron-elektron anihilasyonu” adı verilmektedir (L'Annunziata, 1998).

2.4.3 Gama Işını Yayınlanması

Gama ışınları, oldukça nüfuz edici fakat manyetik alan ile kolayca saptırılmayan ışınlardır. İlk kez 1900 yılında Fransa'da P. Villard tarafından gözlemlenildi ve 1903 yılında Rutherford tarafından gama ışınları olarak adlandırıldılar. Rutherford gama ışınlarının, X-ışınları gibi çok kısa dalga boylu olduğunu, gama ışınlarının kristallerden saçılmalarını gözleyip dalga boylarını ölçerek kanıtlayabilmiştir.

Gama ışınları bir çekirdek reaksiyonu sonucunda çekirdekten yayınlanan fotonlardır. Bu bağlamda gama ışınları ile X-ışınları arasındaki en önemli fark, gama ışınının atom çekirdeğinden, X-ışınının ise atomun yörüngelerinden kaynaklanmasıdır. Gama ışınları üreten radyoaktivite, kendiliğinden ve sürekli olarak devam eden bir reaksiyondur (Wienberg, 2002).



Şekil 2-5 Gama ışınları

X ve gama ışınları elektromanyetik radyasyon ailesinin iki bireyidir. Elektromanyetik radyasyonun enerjisi ile dalga boyunun çarpımı sabit bir sayı olmaktadır. Enerji birimi keV ve dalga boyu birimi \AA olmak üzere bu eşitlik;

$$E \cdot \lambda = 12,4 \quad (2.2)$$

olarak verilmektedir. Bu denklemden elektromanyetik radyasyon enerjisi ile dalga boyunun ters orantılı olduğunu, dolayısıyla enerji artarken dalga boyunun kısılacağı söylenebilmektedir. Buna göre, kısa dalga boylu ışınlar sert ışınlar, uzun dalga boylu olan ışınlar düşük enerjili ışınlar olarak adlandırılırlar.

Gama ışınlarının enerjileri görünür ışığın enerjisine göre daha fazladır ve bu nedenle, görünür ışık katı cisimlerin yüzeyinden yansıyıp geri dönerken, gama ışınları ve X-ışınları katı cisimlerin içine nüfuz edebilmektedir. Vücudun röntgen filmi üzerine görüntüsü bu teknik kullanılarak çıkarılabilmektedir.

Fotoelektrik olayda, foton, enerjisinin tümünü yolu üzerine rastlayan atoma bağlı bir elektrona devretmektedir. Fotoelektrik olay genellikle 0,5 MeV altında olan fotonlar tarafından oluşturulmaktadır. Foton, K ve L yörüngesindeki elektronu koparmak için harcadığı bağ enerjisi kadar enerjiden artı kalanını bu elektrona vermektedir. Bağlı bulunduğu atomdan kopan elektron, kazandığı enerjiyi bu değer sıfır olana kadar harcar. Olayda enerjinin korunumu;

$$E_f = E_b + 1/2 m_e V^2 \quad (2.3)$$

olarak verilir. Burada; E_f : gelen fotonun enerjisi E_b : bağ enerjisi şeklindedir.

Elektromanyetik radyasyonların tanecik karakteri ile izah edilebilen Compton olayı genellikle 0,5 MeV'dan büyük enerji değerine sahip fotonun, serbest elektrona veya atomun dış yörüngelerindeki bağ enerjisi küçük olan bir elektronla etkileşmesinde gözlemlenebilen bir olaydır. Gelen foton, enerjisinin bir kısmını yolu üzerine rastlayan elektrona devretmektedir ve bu elektrona devrettiği enerjiye eşit bir kinetik enerji kazandırmaktadır. Gelen foton ise ilk doğrultusundan sapar ve enerjisi azalarak farklı bir foton halinde yoluna devam eder.

Çift teşekkülü, elektromanyetik radyasyonları soğurucu ortamın tanecikleriyle oluşturduğu fotoelektrik ve Compton olaylarından daha farklı bir özellik taşımaktadır. Enerjisi teorik olarak 1,02 MeV'den, pratik olarak 2 MeV'den daha büyük olan bir foton, içinden geçtiği soğurucu ortamda bir çekirdeğin çok yakınından geçerse biri pozitif diğeri negatif iki elektron oluşmaktadır (Algüneş, 2002).

X ve gama ışınlarının soğrulmasında, fotonun yolu üzerinde herhangi bir yerde enerji bırakması, tesadüfe bağlı olmaktadır. Bu ışınlar içine girdikleri yapıda, yapının yoğunluğuna ve kalınlığına bağlı olarak farklı oranlarda soğrulmaktadırlar.

Paralel bir demette, soğurucuya giren I şiddetine sahip foton huzmesinin, Δx kalınlığındaki yapıda ΔI şiddet kaybı;

$$\Delta I = -I \cdot \mu \cdot \Delta x \quad (2.4)$$

olmaktadır. Burada, μ'ye soğurucu ortamın lineer absorpsiyon katsayısı denilmektedir. Daha büyük kalınlıklarda başlangıçtaki şiddet I₀ ile gösterildiğinde, x kalınlığından geçtikten sonraki değeri, yukarıdaki bağıntının integre edilmiş şekli olan

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu x} \quad (2.5)$$

bağıntısı ile hesaplanmaktadır (Eisenberg, 1992).

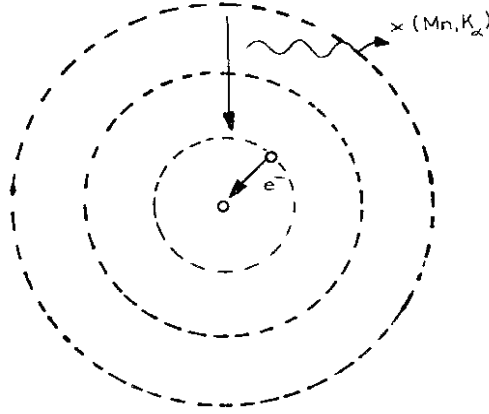
2.4.4 Elektron Yakalama

Elektron yakalanması olayında atomun çekirdeği yörünge elektronlarından birini yakalar. Bu elektron çekirdekteki protonlardan biri ile birleşerek nötron haline gelir ($p + e^- \rightarrow n$). Bu olay atomun Z'sinin Z-1 haline gelmesine sebep olur. Yani β⁺ bozunmasına benzer. Elektron yakalanması iki safhalı bir olaydır. Birinci kısımda elektron çekirdek tarafından yakalanır ve bu atomu uyarılmış halde bırakır, ikinci kısımda ise elektromanyetik radyasyon yayınlanır. Elektronun çekirdek tarafından yakalanması yörüngede bir elektron boşluğu meydana getirir, bundan dolayı yörüngeler

arasındaki elektron geçişleri başlar ve bunun sonucunda da X-ışınları meydana gelir. Yani birinci ürünler X-ışınları salarak ikinci ürün haline gelirler. Bu sebeple Bu olayda yakalanan elektron genellikle iç tabaka yani K tabakası elektronlarıdır ve bu sebeple bu olaya çoğunlukla “K yakalanması” denir. Bu olay genellikle β^+ bozunmasına uğrayan atomlar için alternatif bir bozunma şeklidir ve proton fazlalığı olan kararsız atomlar genellikle bu iki yoldan birine göre bozunma şansına sahiptir.

2.4.5 İç Dönüşüm (IC)

Çekirdek, fazla enerjisini doğrudan yörüngedeki elektrona iletir ve bu elektronu yörüngeden fırlatır. Bu olayda elektron tarafından taşınan enerji, çekirdek tarafından salınan enerjiden daha küçüktür, çünkü enerjinin bir kısmı elektronunu bulunduğu yörüngeden koparabilmek için harcanmıştır. Bu sebeple, elektron tarafından taşınan enerji, çekirdek tarafından salınan enerjiden, elektronun bağlanma enerjisinin çıkarılmasına eşittir. Bu olay genellikle K yörüngesi elektronları ile olursa da bazen diğer yörünge elektronları da bu olaya karışabilir. Bu olayda foton yoktur yani çekirdeğin enerjisi doğrudan atomun elektronlarına iletilir bu iletişim doğrudan sağlanır ve elektron yörüngeden fırlatılır. Dönüşüm sonunda yörüngede bir elektron boşluğu olur, bu boşluğu diğer yörüngelerden bir elektron gelerek doldurur ve bir x ışını yayınlanır (Şekil 2.6). Bu x ışını, belirli atom ve yapıya bağlı olarak o elemente ait karakteristik ışınlardır. Yayınlanan karakteristik x ışınları elektron yakalanmasında birinci ürünün karakteristiğidir. İç dönüşümde ise nükleer yükte bir değişim yoktur ve yayınlanan karakteristik radyasyon orjinal atoma aittir. İç dönüşümde yayınlanan elektron belli bir elementten aynı enerji ile salınır ve buna “**beta ışını çizgi spektrumu**” denir. Belli bir β^- yayınlayan radyoaktif madde inceliğinde, β^- parçacıklarının devamlı bir spektrumu olduğu ve bu belli spektrum üzerinde bir çizgi spektrumu varsa bunun da bir iç dönüşüm nedeniyle meydana gelen beta ışını çizgi spektrumu olduğu söylenir.



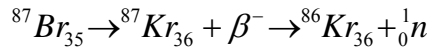
Şekil 2-6: İç dönüşüm olayı

2.4.6 İzomerik Geçiş

Bazı radyoaktif atomlar bozunmalardan sonra, uyarılmış durumda (metastabil=yarı kararlı durum) kalırlar ve kararlı duruma geçmek için γ ışını yayarlar. Bu olaya İzomerik geçiş adı verilir ve izomerik geçişe uğrayan bir atomun A ve Z'si değişmez. İzomerik geçişlerde, uyarılmış atomun enerjisinin gama ışını halinde yayınlanması oldukça uzun bir zaman alır. Bu nedenle uyarılmış atom genellikle başka bir radyoaktif element olarak kabul edilir ve o şekilde muamele görür.

2.4.7 Nötron Yayınlanması

Radyoaktif atomların bozunma olaylarında, sadece birkaç tanesi nötron yayırlar. En iyi bilinen örnek $^{87}\text{Br}_{36}$ izotopudur. Burada;



şeklinde ifade edilir.

2.5 Radyasyon Birimleri

Bu alanda kullanılan büyüklükler; aktivite, ışınlama, absorblanan doz ve eşdeğer dozdur. Uluslararası Radyasyon Birimleri Komisyonu (ICRU) yaptığı çalışmalar sonucunda aktivite için curie, ışınlama için röntgen, absorblanan doz için rad ve eşdeğer doz için rem'i radyasyon birimleri olarak tanımlamıştır. MKS sistemini esas alan

Uluslararası Birimler Sistemi (International System of Unit, SI)'nin kabul edilmesiyle, ICRU 1971 yılında SI birimlerini tanımlamıştır. Bu kabule göre eski birimlerin yerine yenilerinin kullanılması önerilmektedir. Aşağıdaki çizelge 2.3'de radyasyon birimleri ve dönüşüm faktörleri verilmiştir.

Çizelge 2-3: Radyasyon birimleri ve dönüşüm faktörleri

Büyüklik	SI birimi ve sembolü	Eski birimler ve sembolü	Dönüşüm faktörü
Aktivite	Becquerel (Bq)	Curie (Ci)	1 Ci=3.7x10 ¹⁰ Bq
Işınlama	Röntgen (C/kg)	Röntgen (R)	1 C/kg=3876 R
Absorblanan doz	Gray (Gy)	Rad (rad)	1 Gy=100 rad
Eşdeğer doz	Sievert (Sv)	Rem (rem)	1 Sv=100 rem

2.5.1 Aktivite Birimi

Aktivite, birim zamanda bozulan atomların sayısı olarak tanımlanmaktadır. Eskiden kullanılan aktivite birimi; 1 gram ²²⁶Ra'nın bozunum oranı olarak tanımlanmış ve radyumu keşfetmesinin onuruna Curie (Ci) olarak adlandırılmıştır. 1 Curie, saniyede 3.7x10¹⁰ bozunumu karşılık gelmektedir. Curie'nin yaygın olarak kullanılan alt birimleri microcurie ve picocurie'dir. Yeni aktivite birimi, doğal radyoaktiviteyi keşfetmesi onuruna, Becquerel (Bq) olarak adlandırılmıştır. Dakikadaki sayım miktarı (cpm), genelde laboratuvar ölçümlerinde kullanılan bir aktivite birimidir. Curie'nin değeri basit bir şekilde hesaplanabilir. Radyumun yarı-ömrü 1620 yıldır ve bozunma sabiti;

$$\lambda_{Radyum} = \frac{0,693}{1,62 \times 10^3 \text{ y}} = 13,8 \times 10^{-12} \text{ s}^{-1}$$

dir. Radyumun kütlesi 226 akb dir ve bir atom gram radyumda 6,02x10²³ atom vardır.

Dolayısıyla bir gram radyum

$$\frac{6,02 \times 10^{23}}{2,26 \times 10^2} = 2,66 \times 10^{21} \text{ atom}$$

bulunur. Buradan parçalanma hızı

$$dN / dt = |\lambda N| = 13,8 \times 10^{-12} \times 2,66 \times 10^{21} = 3,7 \times 10^{10} \text{ parça / s}$$

bulunur. Becquerel ve Curie arasındaki ilişki şöyledir;

$$1 \mu\text{Ci} = 10^{-6} \text{ Ci} = 37000 \text{ bozunum/s}$$

$$1 \text{ Bq} = 2,7 \times 10^{-11} \text{ Ci} = 27 \text{ pCi}$$

Aktivite tek başına radyoaktif bir numunenin zararının ölçüsü değildir. Zarar, bozunum esnasında yayınlanan radyasyonun türüne bağlı olarak değişecektir. Örneğin; 100 Ci'lik ^{60}Co 'ın 1 metre uzağında 8 saat süreyle çalışan bir insanın alacağı tüm vücut dozu 1050 rem'dir ve bu ölümcül bir dozdur. Aynı koşullar altında 100 Ci'lik ^3H kaynağıyla çalışan bir insan hemen hemen hiçbir zarar görmeyecektir.

2.5.2 Işınlama Birimi

Bu büyüklük fotonların havada meydana getirecekleri iyonizasyonun bir ölçüsüdür. Işınlama birimi Röntgen (R) olup normal şartlarda (0°C ve 760 mmHg basıncı) havanın 1 kg'ında $2,58 \times 10^{-4}$ Coulomb'luk pozitif ve negatif elektrik yüklü iyonlar meydana getiren foton miktarı olarak tanımlanmaktadır. SI birim sisteminde ışınlama biriminin özel bir adı yoktur.

2.5.3 Absorblanan Doz Birimi

Işınlama doz birimleri standart bir madde olarak seçilen normal şartlardaki hava için tanımlanmıştır. Bundan dolayı ışınlama dozu absorblayıcının değil esas itibariyle radyasyon demetinin özelliği hakkında bilgi vermektedir. Bunun yanı sıra malzemelerde absorblanan enerjinin de ölçülmesi gerekmektedir. İşte absorblanan doz büyüklüğü, malzemelerde absorblanan enerjini bir ölçüsüdür.

Absorblanan doz için kullanılan eski birim rad (Roentgen Absorbed Dose)'dir. O1 rad herhangi bir malzemenin 1 gramının 100 erg'lik enerji soğurması olarak tanımlanmıştır. SI birim sisteminde absorblanan doz birimi gray (Gy) olup, 1 kg'lık bir maddeye 1 Joule'lük enerji veren herhangi bir iyonlaştırıcı radyasyon dozudur.

Dolayısıyla;

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$$

$$1 \text{ rad} = 10^{-2} \text{ J/kg} = 100 \text{ erg/g}$$

$$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$$

olmaktadır.

2.5.4 Eşdeğer Doz Birimi

Soğrulan dozun meydana getirdiği biyolojik etkiler, iyonlaştırıcı radyasyonları tiplerine ve meydana getirdikleri iyonizasyonun yoğunluğuna bağlıdır. Biyolojik etkiler, iyonlaştırıcı radyasyonların geçtikleri ortamın birim uzunluktaki yolu boyunca kaybettikleri enerji miktarına (Lineer Enerji Transferi, LET) bağlı olmakta ve LET değeri arttıkça biyolojik etkide artmaktadır. Böylece eşdeğer doz birimi, iyonlaştırıcı radyasyonları oluşturduğu zararlı biyolojik etkilerin bir ölçüsü olmaktadır.

Eşdeğer doz birimi, absorblanmış doz ile kalite faktörünün çarpımına eşittir. Çizelge 2.4 de çeşitli radyasyon tipleri için kalite faktörleri verilmiştir. Eşdeğer dozun eski birimi rem (Roentgen Equivalent Man)'dir. Yeni birimi ise Joule/kg olup Sievert (Sv) adı verilmiştir (TAEK; Gollnick, 1988). Sievert ile rem arasındaki ilişki şöyledir;

$$1 \text{ Sv} = 1 \text{ J/kg}$$

$$1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$$

Kalite faktörü, iyonlaştırıcı radyasyonların madde içerisinden geçerken birim yol başına kaybettiği enerjinin bir göstergesidir. Radyasyonun tipine ve enerjisine bağlı bir değerdir. Her bir radyasyon türü için farklı kalite faktörü değeri verilmektedir

Çizelge 2-4: Farklı radyasyon tipleri için kalite faktörleri

Radyasyon türü	Kalite faktörü
X ve Gama ışınları	1
Elektronlar ve Beta parçacıkları	1
Nötronlar; enerjileri <10 keV	3
Nötronlar; enerjileri >10 keV	10
Alfa parçacıkları	20

2.6 Bazı Radyoaktif Elementler ve Özellikleri

Dünyanın başlangıcında var olan ve yer kabuğunda bulunan karasal radyasyonu çeşitli radyonüklidler oluşturur. Soğruldukları doza göre insanlar için en önemli olan radyonüklidlerin başında uranyum, toryum, potasyum, radyum ve radon gelmektedir.

2.6.1 Uranyum

Uranyum, tabiatta hiçbir zaman serbest olarak bulunmaz ancak çeşitli elementlerle birleşerek uranyum minerallerini meydana getirir. Oksijenle birleşmesi en kolaydır. Hemen her tip kayaç içerisinde ve sulara az miktarda da olsa bulunabilir. Yeraltı su tablasının üstünde, satih ve satha yakın yerlerdeki mevcut oksidasyon şartlarında +6 değerlikli uranyum içeren ikincil uranyum mineralleri kolayca eriyebilirler (sudaki pH değerinin artmasıyla) ve uranil iyonları halinde solüsyona geçerek yeraltı suları vasıtasıyla uzun mesafelere taşınırlar. Uranyum, doğada +6 ve +4 değerlikli olarak bulunur. +4 değerlikli olan uranyum mineralleri birincil uranyum mineralleri olup suda erimezler. Ancak uygun şartlarda +6 değerlikli uranyum içeren ve suda eriyen ikincil uranyum minerallerine dönüşürler (**Zararsız 2005**).

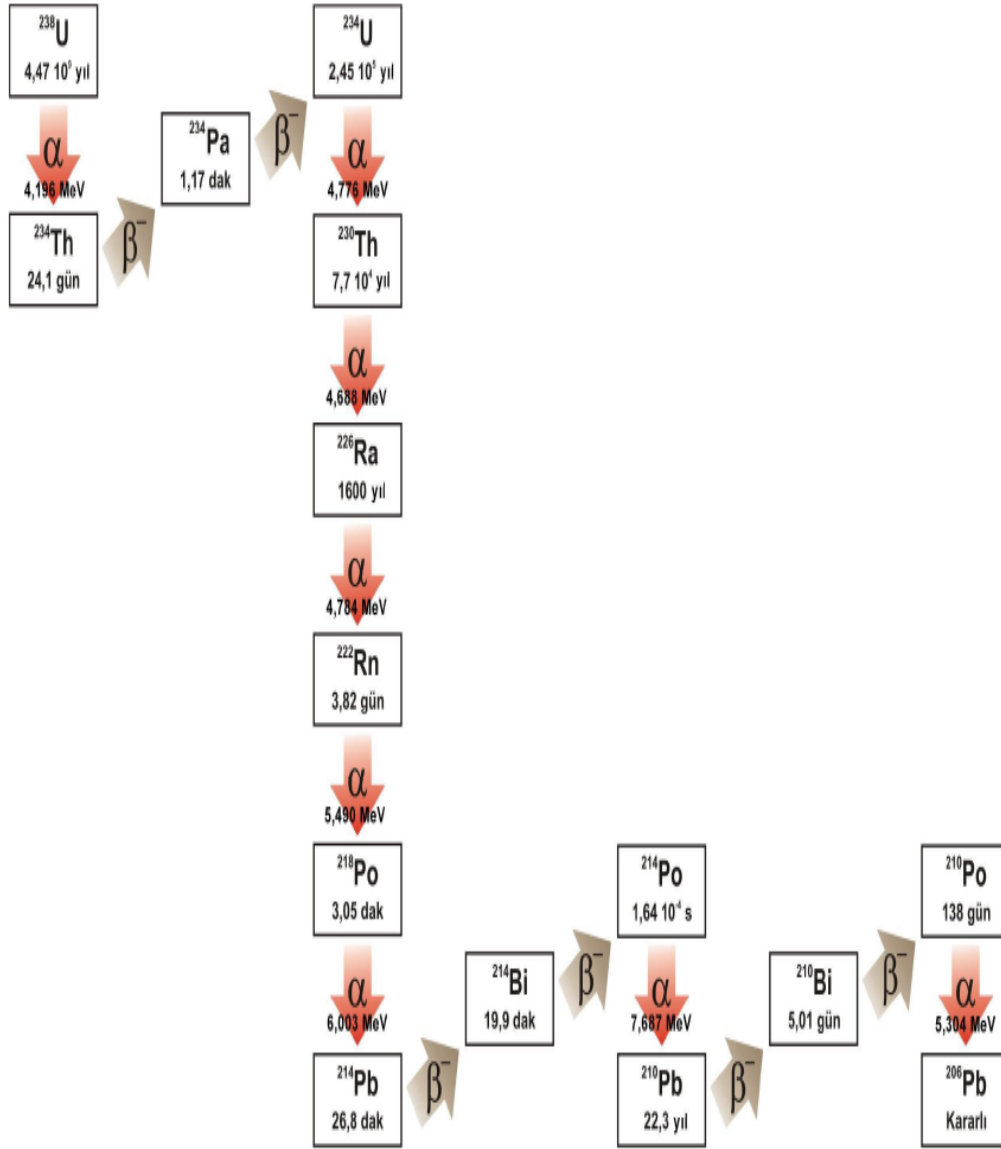
Uranyum doğal elementlerin en ağırıdır. Atom çekirdeğinde 92 proton, 146 nötron ve 7 enerji düzeyinde 92 elektron bulunur. Atom yarıçapı 1,43 Å'dur. Erime noktası 1132°C ve Kaynama noktası 3927 °C'dir. Uranyum allotropik bir metaldir yani değişik sıcaklıklarda farklı özellikler gösterir. Bu farklılık kristal yapısındaki değişmeden ileri gelir (**Özbal 1999**). Çizelge 2.5'de Uranyumun özellikleri verilmektedir.

Çizelge 2-5: Uranyumun özellikleri (<http://www.chemicalelements.com>)

İsim	Uranyum
Sembol	U
Atom numarası	92
Atom ağırlığı	238,02891 g/mol
Standart hali	Katı (oda koşullarında)
Rengi	Metalik gri
Sınıfı	Metal
Yoğunluğu	19,050 g/mL
Erime noktası	1132 °C (1405,3 K)
Kaynama noktası	3927 °C (4200 K)

Uranyumun doğada kütle sayıları 230, 234, 235 ve 238 olmak üzere 4 izotopu bulunur. Bunlardan ^{236}U 'ın bulunma oranı % 99,28 olup genellikle ^{234}U ile dengededir (**Çelebi 1995**).

Radyoaktif enerjinin en önemli kısımları üç bozunum serisinden meydana gelir. Bu seriler ^{238}U , ^{235}U ve ^{232}Th 'dir. ^{235}U , aktinyum serisinin ana izotopu olup bulunma oranı % 0,71'dir. Doğada bulunan radyoaktif elementlerin çoğunluğu uranyum-238'in bozunma zincirinde yer alır. Uranyum-238, 14 esas çekirdeğin başıdır ve alt serilere bölünür. Uranyum-238 için bozunma zinciri Şekil 2.7'de gösterilmiştir. ^{230}U ise ^{238}U serisinin bir üyesi olup yarı ömrü 20,8 gündür (**Çelebi 1995**).

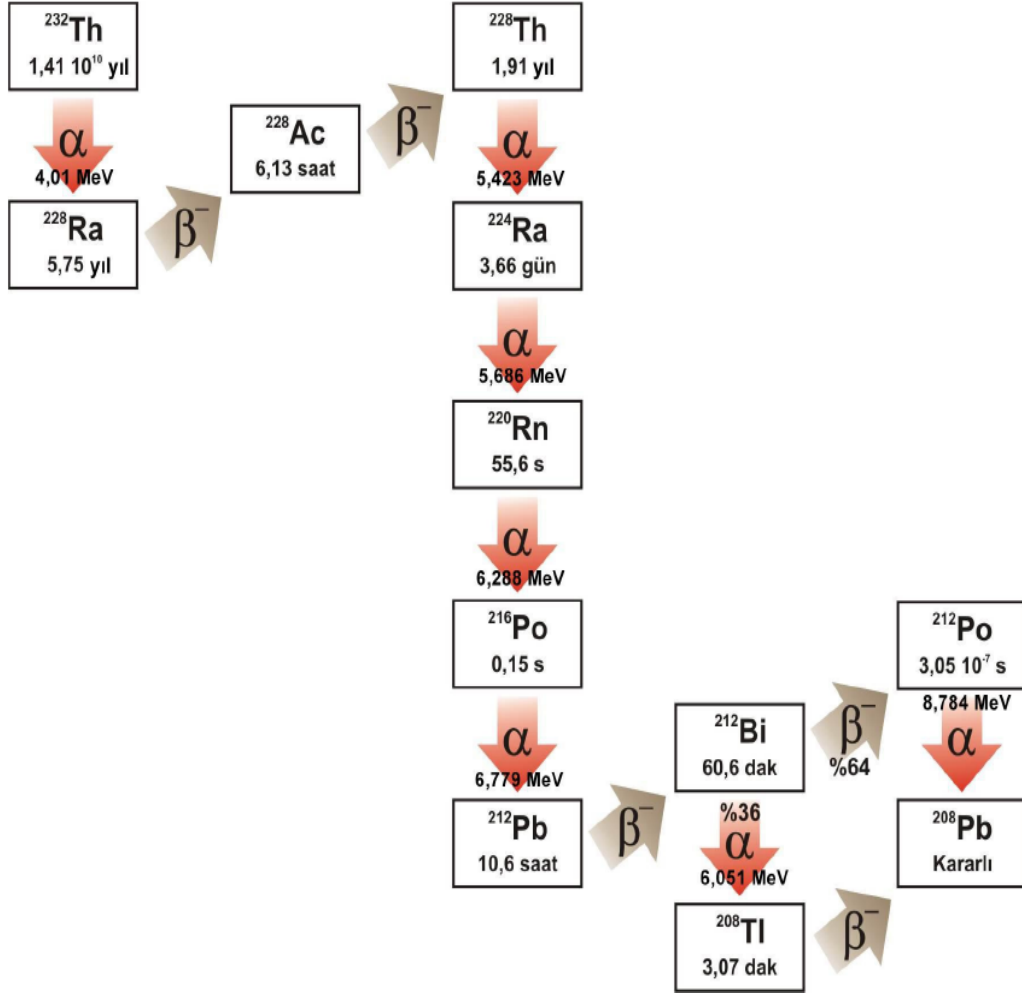


Şekil 2-7: ^{238}U 'in bozunma ürünleri şeması (Ereeş 1998)

2.6.2 Toryum

Bir diğer doğal radyoaktif bozunum serisinin ana elemanı Th-232' dir. Toryum serisi 11 ürün nüklidi içerir (Sekil 2.8). Kompleks bir gama spektrumu verir ve hemen hemen hepsi daima kararsızdırlar. Ürün nüklidler sırasıyla: Toryum-232, Radyum-228, Aktinyum-228, Toryum-228, Radyum-224, Radon-220, Polonyum-216, Kursun-212, Bizmut-212, Polonyum-212, Talyum-208 ve son olarak kararlı Kursun-208 izotopudur. Toryum serisi içinde en uygun karakteristik gama piki, Talyum-208' e ait olan 2.615 MeV enerjili piktir. Ayrıca Th-232, doğal Toryumun en önemli radyo izotopudur. Th-

^{232}Th 'nin yarı ömrü $1.39 \cdot 10^{10}$ yıl, spesifik aktivitesi ise 4.1 Bq/mg 'dır. Doğal kaynakların jeolojik ölçüm ve tahlilleri amacıyla karakteristik üç gama enerjisi 1.461 MeV (K), 1.764 MeV (U) ve 2.615 MeV (Th) kullanılır (**Kahveci 1993**).



Şekil 2-8: ^{232}Th 'in bozunma ürünleri şeması (**Ereeş 1998**)

Doğal toryumun tek izotopu, atom numarası 90, atom ağırlığı 232,0381 olan Th-232'dir ve buda kararlı P-208 izotopuna bozunur. Doğal toryumun tamamına yakın kısmı ^{232}Th 'den ve $1.35 \cdot 10^{-8}$ Th'den ve az, ancak değişken miktarlarda ^{234}Th , ^{230}Th , ^{231}Th ve ^{227}Th 'den oluşur. ^{234}Th ve ^{230}Th , ^{238}U bozunma zincirinin üyeleridir. Toryum cevherinde uranyum bulunduğu zaman bu izotoplar doğal toryum içinde yer alır. ^{235}U bozunma zincirinin üyeleri olan ^{231}Th ve ^{227}Th ise uranyum içeren toryum cevherlerinde az miktarlarda bulunur. Yapay toryum izotopları ^{233}Th ve ^{229}Th 'dir. ^{233}Th , ^{233}U 'ün üretiminde kısa ömürlü önemli bir araçtır. ^{229}Th , ^{233}U 'ün radyoaktif ürünüdür. Toryumun özellikleri Çizelge 2.6'da verilmiştir.

Çizelge 2-6: Toryumun özellikleri (<http://www.chemicallements.com>)

İsim	Toryum
Sembol	Th
Atom numarası	90
Atom ağırlığı	232,0381 g/mol
Standart hali	Katı (oda koşullarında)
Rengi	Gümüşümsü beyaz
Sınıfı	Metal
Yoğunluğu	11,724 g/mL
Erime noktası	1842 °C (2115 K)
Kaynama noktası	4820 °C (5093 K)

2.6.3 Potasyum

Potasyum kütle numarası 39, 40, 41 olan, üç izotopa sahip olup, 1A grubu alkali metal ailesinin yüksek reaksiyonlu bir üyesidir. Sadece K-40 radyoaktiftir ve 1,3.109 yıl yarı ömre sahiptir. Potasyum yaşam için vazgeçilmez olduğundan, K-40 tüm yasayan ve vaktiyle yaşamış şeylerde bulunmaktadır. Potasyumun özellikleri Çizelge 2.7’de verilmiştir.

Çizelge 2-7: Potasyumun özellikleri (<http://www.kimyaevi.com>)

İsim	Potasyum
Sembol	K
Atom numarası	19
Atom ağırlığı	39,0983 g/mol
Standart hali	Katı (oda koşullarında)
Rengi	Gümüşümsü beyaz
Sınıfı	Alkali metal
Yoğunluğu	0,856 g/mL
Erime noktası	63,38 °C (336,53 K)
Kaynama noktası	759 °C (1032 K)

Doğal potasyumun küçük bir kısmı (% 0,12) radyoaktif K-40 dır. K-40'ın bozunması, 1,461 MeV'lik gama çıkışına neden olur. K-40'ın bozunumu sonucunda oluşan ürün çekirdek kararlıdır. Yer kabuğunun % 2,6'sını oluşturması nedeni ile potasyum önemli bir elementtir. Boşluğu yaklaşık olarak 0,012 olan radyoaktif potasyumun yarı ömrü 1,26. 109 yıl ve spesifik aktivitesi 3,3 Bq/g'dır. Bunun anlamı K-40'ın her türlü koşulda konsantrasyonu sabittir ve gram başına saniyede 3,3 gama ısınımı yayınlar (**Kahveci 1993**).

Potasyum doğada, kireç taşıda % 0,1'den bazı granitlerde %3,5'e varan oranlarda dağıtılmıştır. Kumtaşları %1 veya daha az potasyum içeriği ile orta sıralardadır. K-40'ın aktivite ortalaması, bazı granitlerde, özellikle kalsiyumu düşük olanlarda ve siyenitlerde 50 pCi/g (1,85 Bq/g) asan yoğunlukta iken, Crustal (kabuk) kayalar için, 17 pCi/g (0,63 Bq/g)'dir. Topraklar, 12pCi/g (0,44 Bq/g) civarında bir ortalama ile daha düşük konsantrasyonlara sahiptir.

2.6.4 Radyum

Radyum ilk olarak 1898 Marie, Pierre Curie tarafından bulunmuştur. Radyum α , β , γ ışınları yayar. Berilyum ile karıştırıldığı zaman nötron üretir. Radyumun bütün izotopları radyoaktiftir. ^{226}U ailesi elemanı olup, toprakta, kayalarda, yapı malzemelerinde, su ve gıda maddelerinde bulunmakta ve oldukça geniş bir dağılım göstermektedir. 10 ton uranyum minerali içerisinde 1 g radyum bulunmaktadır. Uranyumun radyoaktif parçalanması sonucunda ve radyum klorür tuzunun elektrolizi ile elde edilebilir. Atom numarası 88'dir. Kütle numarası 213'den 230'a kadar, yarı ömrü ise 10^{-3} saniyeden 1620 yıla kadar değişen yapay ve doğal 14 radyoaktif izotopu olduğu bilinmektedir. ^{223}Ra , ^{224}Ra , ^{226}Ra ve ^{228}Ra radyumun doğal izotoplarıdır. Radyumun özellikleri Çizelge 2.8'de verilmiştir.

Çizelge 2-8: Radyumun özellikleri (<http://www.kimyaevi.com>)

İsim	Radyum
Sembol	Ra
Atom numarası	88
Atom ağırlığı	226 g/mol
Standart hali	Katı (oda koşullarında)
Rengi	Beyaz
Sınıfı	Toprak alkali metal
Yoğunluğu	5,0 g/mL
Erime noktası	700 °C (973 K)
Kaynama noktası	1737 °C (2010 K)

²²⁶Ra bir α-yayınlayıcısı olup, yarıömrü 1600 yıldır uzun yarı ömürlü olması nedeniyle 3,8 gün yarı ömürlü ²²²Rn oluşumunda bir üreteç görevi yapar. Radonun bozunması ile α ve β yayınlanan, kısa yarı ömürlü radon ürünleri olan ²¹⁸Po(RaA), ²¹⁴Pb(RaB), ²¹⁴Bi(RaC) ve ²¹⁴Po(RaD) meydana gelir. Radyoaktif bozunmada yarı ömrü 22 yıl olan ²¹⁰Pb, yarı ömrü 5 gün olan ²¹⁰Bi ve o da 138 gün yarı ömürlü olan ²¹⁰Po'ya, ²¹⁰Po ise α-yayınlayarak kararlı ²⁰⁶Pb izotopuna dönüşür. Radyum yer kabuğunun çeşitli katmanlarındaki toprak ve kayalarda uranyumla beraber bulunabilir. Bunun yanı sıra uranyumun bulunduğu noktalardan yüksek çözünürlüğü nedeniyle çok uzaklara taşınıp birikim oluşturabilir. Radyum volkanik kayalarda, kumtaşı ve kireçtaşına göre daha yüksek konsantrasyonlarda bulunur (Çelebi 1995).

2.6.5 Radon

1898'de Fredrich Ernst Dorn tarafından bulunmuştur. Doğal kaynaklardan alınan radyasyon dozunun en önemli bileşenidir. Radon gazından dolayı maruz kalınan yaklaşık yıllık doz 1.3 mSv'dir. Radon; uranyumun mevcut olduğu tüm kayalardan, topraktan gelmekte ve gaz olması nedeniyle bulunduğu ortamın boşluklarında ilerleyerek atmosfere ve sulara kaçma eğilimi göstermektedir. Radon 3,84 gün yarı

ömürle, doğada bulunan tek radyoaktif gazdır. Radonun özellikleri Çizelge 2.9'da verilmiştir.

Çizelge 2-9: Radonun özellikleri (<http://www.kimyaevi.com>)

İsim	Radon
Sembol	Rn
Atom numarası	86
Atom ağırlığı	222 g/mol
Standart hali	Gaz (oda koşullarında)
Rengi	Renksiz
Sınıfı	Asal gaz
Yoğunluğu	0.00973 g/mL
Erime noktası	-71°C (202K)
Kaynama noktası	-61.7°C (211.3K)

Periyodik çizelgede 86. sırada bulunan; tatsız, renksiz, kokusuz, hiçbir bileşik oluşturmayan ve reaksiyona girmeyen tek ve en ağır radyoaktif elementtir. Soğuk suda çözünebilir, çözünürlüğü artan sıcaklıkla düşer.

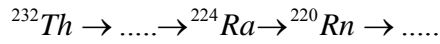
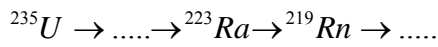
Erime noktası -71°C, kaynama noktası ise -61,8°C'dir. Bütün dünyada yalnız 100 ton, toprakta ise ortalama 1 pCi/L civarında bulunmaktadır.

²²⁶Ra α -yayınlayarak ²²²Rn'ye dönüşür. Benzer şekilde, ²³²Th'un bozunmasıyla oluşan ²²⁴Ra'un α bozunmasıyla thoron olarak bilinen 54 sn yarı ömürlü ²²⁰Rn ortaya çıkmaktadır. Radon izotopları, kısa yarı ömürlü thoron çekirdeklerinden atmosfere kaçma yönü ile ayrılırlar. Radon, atmosfere toprak-hava ara kesitinden geçerek girer. Okyanus, yeraltı suyu, doğal gaz, jeotermal akıntılar, kömürün yanması da radon kaynaklarını oluşturmaktadır (**Surbeck. H. 1991**).

Radon gazının atmosfere geçebilmesi, maddenin gözenekleri arasında yayılması ile mümkündür. Radonun bir kesri, bozunmadan önce yüzeye ulaşır. Bazı radon atomları, kapalı gözeneklerin içine girerler ve buralardan kaçamazlar. Radon atomlarının hareketi, yayılma veya taşınma ile olabilir. Radonun çıkış hızı; toprak-hava arakesitinde

birim alan başına, radyoaktivite aktarımı oranı olarak tanımlanmaktadır(Unscear, 1988; Rogers. V. C. and Nielson. K., 1991).

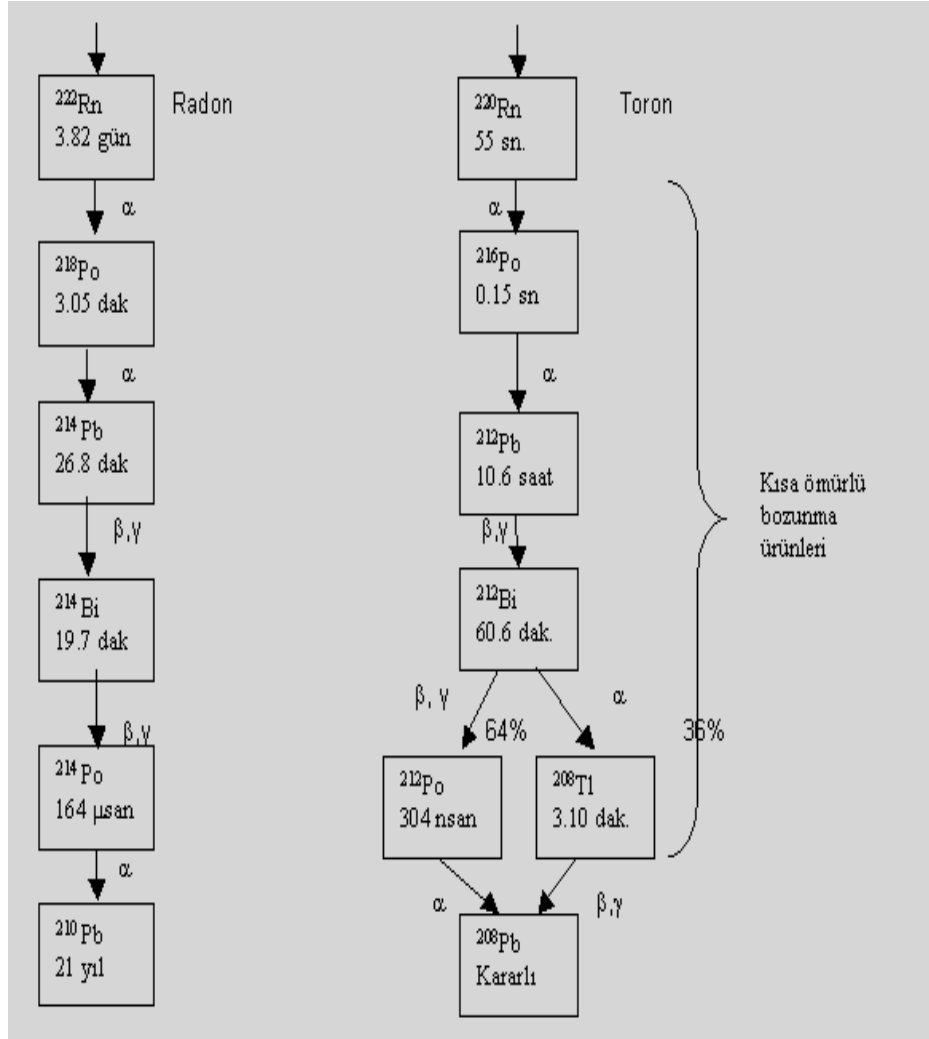
Radon; kaya, toprak ve sudaki doğal uranyumun radyoaktif bozunması sonucunda oluşur. Radonun ^{222}Rn (emanon), ^{220}Rn (toron), ^{219}Rn (aktinon) olmak üzere üç izotopu bilinmektedir. Bunlar sırasıyla ^{238}U , ^{232}Th ve ^{235}U 'in radyoaktif parçalanma ürünüdür. Bozunma şeması aşağıdaki gibidir.



Radonun yarılanma ömrü 3,82 gün, toronun yarılanma ömrü 55 saniye ve aktinonun yarı ömrü 3,9 saniyedir. Aktinonun yarı ömrünün çok kısa ve doğal uranyumdaki $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ oranının 0,00725 gibi çok düşük seviyelerde olması sebebiyle aktinonun etkisi ihmal edilebilir düzeydedir.

^{235}U 'in az bolluğu ve kısa ömrü nedeniyle aktinonun bozunmadan önce toprağın dışına çıkışı az olur. Bu nedenle doğal radyoaktif çevrede az bulunur (Özbal 1999).

^{232}Th 'un bozunmasıyla oluşan ^{224}Ra 'un α bozunmasıyla, toron olarak bilinen, 55 sn yarı ömürlü, ^{220}Rn ortaya çıkmaktadır. ^{232}Th 'nin doğada önemli miktarda bulunuşu ^{220}Rn 'nin yoğunluğunun oluşumuna neden olur. Toronun yarı ömrü aktinona göre daha uzun olduğundan aktinona oranla toprak gazında ve yer atmosferinde daha fazla bir yoğunluk oluşturur. ^{238}U 'in doğada bol miktarda bulunuşu nedeniyle radyoaktif parçalanma ürünü olan ^{222}Rn 'nin atmosferdeki yoğunluğu yüksektir. ^{222}Rn ve ^{220}Rn 'nin bozunma zinciri Şekil 2.9'da verilmiştir.



Şekil 2-9: ^{222}Rn ve ^{220}Rn 'nin bozunma zinciri.

Havadaki radon konsantrasyonu bölgeye, zamana, yerden yüksekliğe ve meteorolojik şartlara bağlıdır. Radonun kaynağının toprak olmasından ve çok kısa yarı ömre sahip olmasından dolayı radon konsantrasyonu yükseklikle sabit bir şekilde azalma gösterir. Coğrafik yerleşim önemlidir: Adalar ve Kutup Bölgesi gibi radon çıkışını sağlayan toprağın azaldığı yerleşim bölgelerinde, radon konsantrasyonu düşüktür.

3. MERMERLER

Mermerler; kalker veya dolamitik kalkerlerin basınç, sıcaklık veya kesme kuvveti etkisi altında metamorfizmaya (yeniden oluşum) uğraması sonucu kristallerin yeniden oluşmasıyla meydana gelen kayalardır.

3.1 Kayaç Türleri

Farklı şekillerde sınıflandırılabilen yerkabuğunu oluşturan kayalar genel olarak magmatik, tortul ve metamorfik olmak üzere üç sınıfta incelenmektedir (**Erguvanlı, 1994**). Yerkabuğunu oluşturan bu kayaların tipine göre radyoaktivite seviyelerinde değişiklikler gözlenmektedir.

3.1.1 Magmatik Kayalar

Magmatik kaya türleri, sıcak, viskoz, ve mobil olan magmanın soğuması ile oluşmaktadır. Yerkabuğunda kendiliğinden yer alan doğal radyasyon kaynaklarından uranyum, toryum ve potasyum magmatik kayalar içerisinde yer almaktadır. Bu tip kayalardan, granit ve kuvars içerisinde çok bol miktarda toryum ölçümlendiği belirtilmektedir (**Phair ve Gotterfield,1964**). Bu nedenle, diğer kaya türlerine oranla magmatik kayalardaki uranyum, toryum dağılımı daha yüksek olmaktadır. Toryumun uranyuma oranı ise bölgeden bölgeye değişim göstermektedir. Yeryüzünde, yüzeyde ve yüzeye yakın magmatik kaya türleri Çizelge 3.1 de görülmektedir (**Erguvanlı, 1994**).

Çizelge 3-1: Yüzeyde ve Yüzeye Yakın Magmatik Kaya Türleri

Gevşek	Tüfler ve Aglomeraller
Camsı	Pekştayn, Süngertaşı, Obsdiyen
Volkanik	Riyolit, Liparit, Trakit, Dasit, Andezit, Diayabaz, Bazalt, Pikrit

3.1.2 Tortul Kayaçlar

Yerkabuğunu oluşturan bir diğer kayaç türü tortul kayaçlardır. Tortul kayaçlar, daha önceden var olan kayaçların dış etkenlerle parçalanıp aşınarak taşınması, karalarda ya da sularda çökmesi sonucu oluşmaktadır. Tortul kayaçlar içerisinde yer alan bir takım major elemanlar, toprak kayması gibi doğal olaylar sonucunda ayrılmaktadır ve bir takım kimyasal değişimler ortaya çıkmaktadır (**Mason, 1952**). Bunun sonucunda, taneli materyallerden kuvars ayrışarak, kumtaşı ve kuvars kumu oluşmaktadır. Bu oluşan materyaller silisyum bakımından zengindir. Tortul kayaç türlerinin sınıflandırılması Çizelge 3.2 de gösterilmiştir. (**Erguvanlı, 1994**)

Çizelge 3-2: Tortul kayaçların sınıflandırılması

ÖZELLİK	AYRIK	ÇİMENTOLU
Kalkerli	Eriyiklerden çökelmiş kalsiyum karbonat, Çökelme ile oluşan kalsiyum magnezyum karbonat	Kalkerler: olitik, tebeşir, sarkıt, dikit, traverten Dolomit: magnezyumlu kalkerler
Silisli	Silisli jeli	Çakmaktaşı, japs, çört
Demirli	Demiroksit hidrozol	Demirli killer, alçıtaşı
Tuzlu	Tuz gölü birikintileri	Anhidrit, Na ve K'lı tuzlar, nitratlar

3.1.3 Metamorfik Kayaçlar

Yerkabuğunu oluşturan kayaçların üçüncü grubu olan metamorfik kayaçlar, yeryüzünde bulunan magmatik ve tortul kayaçların dış etkenlerden dolayı şekil değiştirmesiyle meydana gelmektedir. Başka bir deyişle, metamorfik kayaçlar; basınç, ısı, kesim vb. gibi kuvvetlerin etkisiyle karakterlerinin, kristal yapılarının ve dokularının değişmesiyle meydana gelen yeni bir kayaç çeşididir (**Erguvanlı, 1992**). Metamorfik kayaç türleri Çizelge 3.3 de gösterilmiştir. Bu tezde incelenen mermerler, metamorfik kayaç türlerinin masif grubuna girmektedir.

Çizelge 3-3: Metamorfik kayaçların sınıflandırılması

Sınıflama	Kayaç türü	Özellik	İçindeki mineraller
Şistler	Arduvaz Kloritşist Mikaşist	Çok ince taneli İnce yaprak yaprak	Kil mineralleri Mika, kuvars Feldispat
Foliasyonlu	Gnays	İri taneli kısmen ayrılmış	Kuvars, Feldispat, Mika, Hornblend
Masif	Mermer Kuvarsit Hornfels	İnce ve iri taneli İnce ve iri taneli Çok ince taneli	Kalsit, dolomit Kuvars Kuvars

Metamorfizma türlerini ikiye ayırmak mümkündür. Bunlar, termal metamorfizma ve dinamo metamorfizma olarak sınıflandırılabilir. Termal metamorfizma türü kayaçlar, ısı tesiriyle volkanik kitlelerle temas halinde bulunan kayaçların kristal yapılarının değişmesi sonucu ortaya çıkan türdür (**Blyth, 1983**). Dinamo metamorfizma kayaçlar ise yüksek basınç ve gerilim altında kalan kayaçların kristal yapılarının bozularak, metamorfizmaya uğramaları ile oluşmaktadır.

3.1.4 Kayaçların Radyasyon Kaynakları

Yeryüzünde bulunan önemli doğal radyoaktif elementler arasında özellikle, uranyum, toryum ve potasyum bulunmaktadır. Bu elementlerin radyoizotoplarından U-238 ve Th-232 esas itibariyle alfa aktif elementler, K-40 ise beta aktif bir elementtir (**Weber ve diğ., 1999**). Çizelge 3.4 de başlıca doğal radyoizotopların özellikleri verilmektedir.

Uranyumun jeokimyasal özellikleri incelendiğinde başlıca magmatik kayaçlarda, sedimenter kayaçlarda, siyah renkli şistli killerde ve toprakta bulunduğu görülmektedir. Bu güne kadar yapılan incelemelerle U, Th ve K dağılımı için, yer kabuğunun alt tabakası, orta tabakası ve üst tabakasında U, K oranları incelenmiştir.

Çizelge 3-4: Başlıca doğal radyoizotopların özellikleri

Radyoizotop	Bozunum radyasyonu	Enerjisi (MeV)	Yarı ömrü
U-238	α	α : 4,18; γ : 0,05	$4,5 \times 10^9$ yıl
U-235	α	α : 4,39; γ : 0,18-0,37	$7,1 \times 10^8$ yıl
Th-232	α	α : 3,98; γ : 0,06	$1,39 \times 10^{10}$ yıl
K-40	β, γ	β : 1,35; γ : 1,46	$1,69 \times 10^{17}$ yıl

Uranyumun ve toryumun esas itibariyle magmatik yapılarda nispeten yüksek olduğu ve yeryüzünde magmatik hareketler sonucunda oluşan volkanik hareketlerle alt tabakadaki uranyum ve toryumun üst seviyelere taşındığı tespit edilmiştir. Buna karşılık olarak potasyum ise her üç tabakada da geniş ve benzer bir değişim aralığı olduğu görülmektedir (Wyllie, 1970).

3.2 Mermer

Mermerler; kalker veya dolamitik kalkerlerin basınç, sıcaklık veya kesme kuvveti etkisi altında metamorfizmaya (yeniden oluşum) uğraması sonucu kristallerin yeniden oluşmasıyla meydana gelen kayalardır. Mermerin bileşiminde % 96 oranında CaCO_3 bulunmaktadır. Bu yapı içine giren çinko, kurşun, mangan demir veya demir oksitleri ile magnezyum, stronsiyum, limotit, florit gibi yabancı mineraller mermere değişik özellikler kazandırmaktadır. Mermerin doğal yapısı bileşiminde bulunan CaCO_3 tan dolayı beyazdır. Fakat, belirtilen maddelerin mermerin yapısında yer alması, mermerin rengine ve sertliğine etki ederek çeşitlenmesine neden olmaktadır (Öztürk, 1987).

Mermerler mikroskop altında incelendiğinde, kalsit kristallerden meydana geldiği ve bu kristallerin birbirine sıkı olarak bağlanmış olduğu görülmektedir. Bu kristaller, büyük taneli ise mermerlerin mukavemeti düşerek yumuşak ve mat bir hal almaktadır. Kristallerin tane çapları küçüldükçe mukavemet, parlama kabiliyeti ve bozulmama yeteneği artmaktadır (Sayar, Erguvanlı, 1955).

Mermerler grup olarak çok çeşitli renkler gösterebilirler. Karbonatlı kayaçlar, özellikle kalsit içerenlerden saf olanlar, parlak beyaz renkte bulunmaktadır. Çok açık griden siyaha değişen aralıktaki tonlar, ince taneli grafit içeren, saçılmış karbonlu maddeler tarafından oluşturulmaktadır. Yeşil renkler, klorit veya diğer slikaatların varlığından dolayı ortaya çıkmaktadır. Pembe ve kırmızı mermerler, ince dağılmış hematit veya manganez karbonatların rengine sahiptirler.

Renk veren maddeler, kayaç içerisinde nispeten homojen dağılmış olarak bulunabildiği gibi, bazı mermerlerde bölgesel yoğunlukla bulunabilmektedir. Bu tip malzemelerin mermer içinde bölgesel yoğunlukla bulunma halinde, mermer “benekli” veya “damarlı” ya da “yollu” olarak adlandırılabilir (Kuşcu, 2001).

Kesilen parlatılan mermerler, mimari ve sanatsal yapıtların yapımında kullanılmaktadır. Günümüzde mermer tüketiminin yarıdan fazlasını, binalarda iç ve dış döşemelerde, kapı ve pencere eşiklerinde, merdivenlerde, sütunlarda, kaplama ve süslemelerde kullanılmaktadır. Ayrıca, mutfak bankolarında, hamamların, banyoların kurna ve küvetlerin yapımında, havuz içi ve çevresi gibi birçok yerde kullanım alanları bulunmaktadır (Kuşcu, 2001).

3.3 Mermerlerin Özellikleri

Mermerlerin çoğu, derince gömülmüş kireçtaşları üzerinde etkili olan yüksek sıcaklık ve basınç nedeni ile oluşmaktadır. Kuvvetli ve değişken basıncın etkisi, mermer tabakaları ve beraber bulunduğu yerinden oynatılmış tabakalardaki karmaşık kıvrımlarda kendini göstermektedir.

Yalnızca, yüksek ısı etkisine uğrayan kayaçta bulunan diyopsit ve tremoit gibi mineraller uygun yüksek sıcaklığa işaret etmektedir. Aynı zamanda mermerin dinamotermal metamorfizmanın delillerini gösteren gnays ve şistlerle birlikte bulunması da yüksek ısı etkisinden kaldığını göstermektedir. Sedimanter özellikler ve fosillerin bozulması veya silinmesi nedeniyle mermerlerin doğru bölgesel korelasyonu ve jeolojik yaşının hesaplanması zorlaşmaktadır. (Kuşcu, 2001).

Mermer kullanımında, malzemeni fiziko-mekanik özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Fiziko-mekanik özellikler aynı zamanda, mermeri işleme yönteminin belirlenmesinde yol gösterici olmaktadır. Bu fiziko-mekanik özelliklerden bazıları; sertlik, yoğunluk, doluluk oranı, çözülme yeteneği, renk, basınç direnci donmaya karşı dayanıklılık, aşınmaya karşı dayanıklılık gibi özellikleri aşağıdaki bölümlerde detaylı olarak açıklanmıştır. (Güleç, 1973).

3.3.1 Sertlik

Sertlik mermerlerin aşınmaya karşı gösterdiği dirençtir. Mohs sertlik cetveline göre kalsitin sertliği 3.0 ve dolamitin sertliği 3.5-4.0 tür. Bundan dolayı mermer sadece orta sertliğe sahip olabilmektedir. Sadece kalsitten meydana gelen mermer basamak ve döşemelerde hızla yıpranmaya eğilimli olmaktadır. Bunun yanı sıra kuvars veya silikati mineraller içeren mermerler çok daha dayanıklı olabilmektedir. Mermerlerin sertliği mineralojik bileşimlerinden başka yapılarına, dokularına, porozitelerine ve içindeki yabancı maddelerin miktarlarına bağlı olarak değişimler göstermektedir. Taş ocağı işletmesinde sertlik, çalışabilmeyi etkileyebilmektedir. Genellikle, sert mineralleri kapsayan mermerlerin ocaklardan çıkarılması maliyeti artırmaktadır. (Güleç, 1973).

3.3.2 Yoğunluk

Mermerlerin en önemli fiziksel özelliklerinden biri, mineralojik bileşime bağlı olan birim hacim ağırlıklarıdır. Bu özellik taşların taşınabilme ve boşluk oranlarının belirlenmesi bakımından farklı bir öneme sahiptir. Yoğun olan mermerlerin daha kaliteli olduğu bilinmektedir. TS 1910'a göre bu değerlerin $2,55 \text{ g/cm}^3$ den aşağı olmaması gerekmektedir. (Güleç, 1973).

3.3.3 Doluluk Oranı

Malzeme içinde bulunan boşlukların malzemenin mukavemeti açısından büyük bir önem taşımaktadır. Bu bakımdan, mermerler için doluluk oranı tayini de ölçülmesi gereken niceliklerden birisidir. Doluluk oranı tayini daha önce açıklanan birim hacim ağırlığının yani yoğunluğun özgül ağırlığa oranı olarak kabul edilmektedir. TS 1910'a göre bu değer % 98 den daha düşük değerler almaması gerekmektedir. (Öztürk, 1987).

3.3.4 Çözülme Yeteneği

Mermer genellikle atmosfer etkileriyle direkt temas halinde olan bölgelerde daha çok kullanılmaktadır. Dolayısıyla, atmosfer etkileri altında zamanla bozulmaya uğramaktadır. Eski çağlarda kullanılan birçok eserde mermer malzeme bozulmalara uğramıştır. Mermerin bu özelliği bilinerek hangi mermerin nerde kullanacağı belirlenerek, dayanıklı olan taşlar dış kaplama veya atmosfer etkilerine maruz kalınacak açık bölgelerde, diğerleri bina iç kısımlarında kullanılmaktadır (Öztürk, 1987).

3.3.5 Renk

Mermerin kalitesine etki eden önemli faktörlerden biriside rengidir. Mermerin bileşiminde bulunan CaCO_3 'ın rengi beyaz olmasına rağmen içyapıda bulunan demir oksitleri ve diğer mineraller mermerin renginde çeşitlilik sağlamaktadır. Yurdumuzda oldukça değişik renklerde mermerler bulunmaktadır. Ayrıca mermerin üzerinde bulunan renkli damarlar malzemeye doğal ve hoş bir görünüm kazandırmaktadır.

3.3.6 Basınç Direnci

Mermerler kullanıldıkları yerler itibariyle, değişik şekil ve ölçülerde basınç kuvvetlerine maruz kalmaktadırlar. Örneğin; tabana döşenmiş tabaka, üzerinden geçen insanların veya çeşitli araçların ağırlıklarından dolayı mermer üzerinde bir basınç kuvveti meydana getiriler. Basınç direncine kristallerin büyüklüğü, kristalleşme derecesi, homojenlik vb. etkilerin etki ettiği bilinmektedir. Mermerlerde CaCO_3 miktarı arttıkça basınç direnci artmaktadır. Teknotik olaylar sebebiyle yapısı bozulan ve CaCO_3 miktarı azalan mermerlerin basınç direncinin düşmesi normaldir. Buna göre, jeolojik faktörlerin basınç direncini etkilediği saptanmış, mermerlerin kullanılmasında jeolojik süreksizliklere dikkat edilmesi gerektiği ortaya çıkmıştır. (Güleç, 1973).

3.3.7 Donmaya Karşı Dayanıklılık

Binalarda bulunan mermer malzemenin içine emdiği suyun donması sonucu mukavemetinde düşme gözlenmektedir. Bu nedenle donmaya karşı dayanıklılık deneyleri yapılmaktadır. Deneyler sonunda, mermerlerde hiçbir kopma ve gevşeme olmadığı, sadece demiroksitli damarlarda renk atma görüldüğü saptanmıştır. Bu arada,

su emme özelliğinin arttığı ve basınç direncinin % 9-24 oranında azaldığı belirtilmektedir. Mermer malzemeler için donmaya karşı dayanıklılık düşmesinin % 5 den daha az olması istenmektedir. Bu nedenle donmaya karşı hassas olan taşlar dış kaplaması olarak kullanılmamaktadır. (Güleç, 1973).

3.3.8 Aşınmaya Karşı dayanıklılık

Karayollarında, yaya kaldırımlarında, bekleme yerlerinde, hastane okul vb. gibi büyük binaların döşeme ve merdivenlerinde kullanılmakta olan taşlar aşınma etkisine uğramaktadır. Şayet, bu gibi yerlerde kullanılan taşlar iyi seçilmezse kısa zamanda aşınarak kullanılmaz hale gelmektedir. Diğer taraftan bu amaçla kullanılmakta olan taşlar fiziko-mekanik özellikler bakımından homojen değilse farklı aşınmalar meydana gelmektedir. Bu nedenle, mermerin belli bir aşınma dayanıklılığına sahip olması istenmektedir. TS 1910'da bu değer, $15\text{cm}^3/50\text{cm}^2$ den fazla olmaması şeklinde belirlenmiştir. (Güleç, 1973).

3.4 Dünya'da ve Türkiye'de Mermer

Doğal taş ihracatının büyük bir kısmını mermer oluşturmaktadır. Dünya geneline baktığımızda mermer ihracatı olarak Türkiye büyük bir pazar payına sahiptir. Aşağıda dünya ve Türkiye'de mermerlerin durumu hakkında bilgi verilmektedir.

3.4.1 Dünya'da Durum

Dünya coğrafyasına baktığımız zaman petrografide mermer, jeoloji ve jeomorfoloji terminolojisinde Alp Kuşağı, Ege Adaları, Anadolu Yarımadası, İran, Pakistan ve Hindistan'dan (Himalaya Yükseltisi) Çin'e kadar uzanan alanda bulunmaktadır. Değinilen bu geniş alan jeoloji olarak hemen hemen aynı yapıya sahip bulunmaktadır. Ayrıca, metamorfik (başkalaşım) masifler içinde zuhur eden mermerler ve magmatik orijinli olan kayaçlar, Hersiniyen Orojenik kuşağına ait olan eski Kristalin Masiflerin (Kanada, İsveç, Anadolu, Urallar-Sibirya, Güney Afrika, Güney Amerika ve Avustralya) bulunduğu yerlerde görülmektedir.

Mermer olarak kullanılabilen niteliklerdeki kalker, dolomitik kalkerler ve kalkbreşler ise, genellikle Alp Kuşağında, bu kuşağın çevresindeki Mesozoik ve Tersiyer oluşumları içerisinde yer alır. Kalker ve dolomitik kalkerlerin bulunduğu yerler çok değişik jeolojik yapı gösterirler. Kalkbreşler ise tektonik zonlarda ve uygun sedimentolojik ortamlarda bulunur. Değişik yapı ve dokunun bulunması kalker oluşumu açısından kaynaklanmaktadır. Dünya üzerindeki mermer olarak kullanılabilen önemli kalker oluşumlarının ayrıntılı durumları ve korelasyonları hakkında ayrıntılı araştırmalar bugüne kadar yapılmadığı için burada belirtmek imkanı olmamıştır. Ancak, genel olarak makro düzeyde bilgi verebilmek açısından jeoloji yapısına göre kısmen tahmini olarak değerlendirilebilir.

Granit, diyorit, siyenit vb. gibi mermer olarak kullanılabilen niteliklerdeki magmatik orijinli kayalar eski kristalin masiflerle ilgili olarak bulunur. Bazı kıtalarda örneğin; Kuzey Avrupa'da, İsveç, Finlandiya ve Güney Afrika'da olduğu gibi çok geniş alanlarda Granit oluşumlarının bulunduğu jeolojik olarak bilinmektedir. Siyenit adı ise Mısır'daki Siena'dan gelmekte olup, Piramitler Eski Mısırlılar tarafından siyenitlerden inşa edilmişlerdir.

Oniks mermer ve traverten oluşumları genç tektonik evrim ve kalsiyum karbonatlı su çıkışları ile ilgili olduğu için genellikle genç fay hatlarının bulunduğu alanlar ile karstik arazilerde görülürler.

3.4.2 Türkiye'de Durum

Türkiye'deki mermer rezervinin saptanan 4,503 milyar m³ saptanmayan rezervlerle beraber ise 6 milyar m³ başka bir deyişle 20 milyar ton olduğu tahmin edilmektedir. Türkiye'deki rezervlerin önde gelen büyük alanları Afyonkarahisar-İşçehisar, Marmara adası ve Muğla-Yatağan-Kavaklıdere'dir. Bunun yanında Kütahya, Uşak, Eskişehir, Balıkesir ve İzmit körfezi yakınlarında oldukça zengin mermer yatakları bulunmaktadır.

Türkiye'de traverten ve oniks mermeri oluşumları, genel olarak fay hatlarına bağlı olan kalsiyum karbonatlı su çıkışları ile ilgili olduğu için yol, su ve elektrik temini daha

kolay olan alçaltı alanlarındadır. Bunun için geniş alanlarda bilhassa traverten işletmeleri yer almaktadır. Türkiye'nin en zengin traverten yatakları ise denizli bölgesinde yer almaktadır. Bunun yanında oniks mermeri zuhurları ise örtülü olduğundan pek gelişmemiştir. Bilindiği gibi örtülü olan doğal kaynakta yeraltı etüt ve aramalarını içeren jeolojik çalışma ve arama işlemlerinin yapılması gerekir.

Doğu Karadeniz Bölgesinde, Ordu ilinden Artvin iline kadar uzanan geniş alanda değişik renk ve desenlerde granit ve gıana-diyorit oluşumları yer alır. Bu alan güneyde Gümüşhane ili ve çevresi ile Erzurum'un kuzeyine kadar devam eder. Batı Karadeniz Bölgesinde Bolu ili kuzeyi ve Beypazarı çevresinde granit oluşumları bulunur. Trakya Bölgesinde yer alan Istranca Masifinde Kırklareli ve Tekirdağ'da granit, siyenit ve metagranit oluşumları bulunmaktadır. Güney Marmara Bölgesinde Çanakkale Ezine-Ayvacık, Bursa-Gemlik (Armutlu Yarımadası) İzmir-Bergama ve Balıkesir-Erdek-Kapıdağı yarımadasında önemli granit ve gnays oluşumları bulunmaktadır.

Türkiye'de mermerciliğin Cumhuriyet Döneminde doğuşu, Anıtkabir'in ve T.B.M.M'nin yapımıyla başlamaktadır. Bu dönemden itibaren 1970'li yıllara kadar mermercilikte önemli bir gelişme olmamıştır. Özellikle 1976 yılından başlayarak ihracattaki payımız artmıştır.

Yeni keşfedilen doğal taşlar ve üretim hacmine bağlı olarak, Türkiye'nin anılan ihracatında da her geçen yıl önemli artışlar kaydedilmektedir. 1985 yılında Türkiye'nin doğal taş ihracatı 10 milyon dolar iken 1990 yılında 40 milyon dolara, 1995 yılında 75 milyon dolara ve 2000 yılında 189 milyon dolara ulaşmıştır (**Öktem, 2001**).

Anadolu, Marmara adasında başlayan 4000 yıllık mermer üretimi geçmişiyle dünyanın en eski mermer üretici bölgelerinden biridir. Ülkemizin jeolojik yapısında yer alan yaşlı kristalin masifin varlığı ile Trakya'dan Doğu Anadolu'ya kadar hemen her bölgede geniş alanlar kaplayan mermer rezervlerimiz bulunmaktadır (**Tombul, Güngör, 1997**).

Mermer, Türkiye'de yaklaşık 700 ocaktan çıkarılmaktadır. Çıkarılan bu mermerleri işleyen 120 fabrika ile 1600 atölye bulunmaktadır. Mermer çıkarılan ocakların %90'ı

Türkiye'nin batı bölümünde yer almaktadır. Bu mermer ocaklarının önde gelenleri Marmara adasında, Ege bölgesinde ve Afyonkarahisar ilinde bulunmaktadır.

Türkiye'nin doğal taş ihracatının yaklaşık % 90'ını mermer ihracatı oluşturmaktadır. Geriye kalan % 10'luk kısmını ise, granit ve diğer doğal taş ihracatı teşkil etmektedir. Toplam mermer ihracatı içinde, işlenmiş mermer payı yaklaşık olarak % 80 dir. İhracat yapılan ülkeler arasında Türkiye için en büyük pazar olarak birinci sırada 54 milyon dolar ile ABD, ikinci sırada 15,3 milyon dolar ile İsrail ve üçüncü sıradaki pazar olarak 12,4 milyon dolar ile Suudi Arabistan bulunmaktadır.

Türkiye 650 ye varan mermer çeşidi ile Dünya mermer rezervinin % 40 gibi büyük bir oranına sahiptir. Mermerlerimizin renk kalitesi ve doku kalitesi bakımından da Dünya pazarındaki şansı çok yüksektir. Ocaktan çıkarılan mermerlerin yarı mamul ve mamul ürün haline getirilmesi için fabrikadaki enerji dışında sadece suya ihtiyaç vardır.

Mermer blok işlenmesi su ile yapıldığı için çevreye zarar veren artık madde çıkarılmamaktadır. Çoğunlukla kalsiyum karbonat bileşiminde olan mermerlerin kesilmesi esnasında oluşan toz sudan ayrıldıktan sonra hayvan yemleri yapımı ve tarımda toprağın kalsiyum karbonatını yükseltici katkı maddesi olarak da kullanılmaktadır.

4. MATERYAL VE METOD

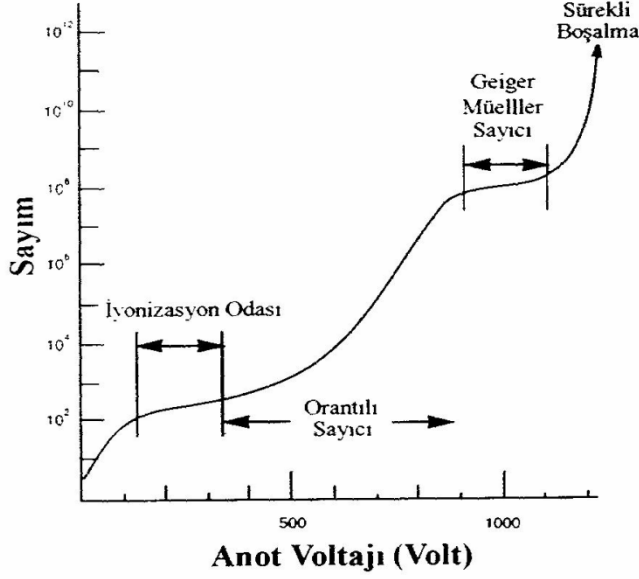
Radyasyonun ölçümü gelen radyasyonun madde ile etkileşim prensibine dayanır. Bu yüzden detektör olarak kullanılan materyalin yapısı önemlidir. Kullanılan bu materyallerin özelliklerine göre detektörler üç grupta incelenebilir.

4.1 Radyasyon Ölçüm Yöntemleri

Radyasyon ölçümlerinde detektörler kullanılır. Bu detektörler genel olarak üç grupta toplanır. Bunlar; Gaz Doldurulmuş Tüp Detektörler, Yarıiletken Detektörler ve Sintilasyon Detektörleridir. Bir detektör seçilirken dikkat edilmesi gereken noktalar; detektörün verimi, çözünürlüğü, kullanım alanına uygunluğu ve amaca uygun olarak X veya gama ışınlarının enerjisi değerleridir.

4.1.1 Gaz Doldurulmuş Tüp Detektörler

Bu tip detektörler, gaz doldurulmuş bir metal oda ve pozitif kutuplandırılmış bir anot telinden oluşmuştur. Radyasyon, metal oda içerisine doldurulmuş bulunan gazı geçerken serbest elektronlar ve pozitif iyonlar meydana getirir. Elektronlar, oluşan elektrik alan etkisiyle anot teline doğru çekilirler ve anot telinde toplanan bu elektronlar bir elektrik pulsu meydana getirirler. Zayıf anot voltajında elektronlar iyonlar ile tekrar birleşebilirler. Uygun bir yüksek voltajda, yakınlardaki bütün elektronlar toplanırlar. Bu durumda detektör bir iyonizasyon odası olarak bilinir. Daha yüksek voltajlarda anoda doğru hareket eden elektronlar ortamdaki diğer gaz atomlarını iyonize ederler ve böylece ortamdaki elektron sayısında artış olur. Bu durumda detektör bir Orantılı Sayıcı olarak bilinir. Daha yüksek voltajlarda elektronların sayısında daha fazla çoğalma olur ve anotta toplanan elektronların sayısı başlangıçtaki iyonizasyondan bağımsız hale gelir. Bu bölgede çalışan detektör, Geiger Müller sayıcısı olarak bilinir ve bu tüplerden elde edilen büyük çıkış pulsu bütün fotonlar için aynıdır. Detektöre çok daha fazla voltaj uygulanırsa, tüpte sürekli bir boşalma meydana gelir ve cihaz zarar görebilir. Farklı voltaj uygulanarak elde edilen bu bölgeleri Şekil 4.1' de şematik olarak gösterilmiştir. Gerçek voltajlar bir detektörden diğerine geniş bir şekilde değişebilir. Bu voltaj değişimi detektör geometrisi, gaz türü ve gaz basıncına bağlıdır.



Şekil 4-1: Tipik bir gazlı detektörün farklı voltaj bölgelerine göre şematik gösterimi

4.1.2 Yarı-iletken Detektörler

Yarı-iletken materyallerden özellikle yasak enerji aralığı 1 ile 5 eV olan tek kristaller detektör yapımında kullanışlıdır. Yarı-iletken materyaller içerisinde en çok kullanılan yarı-iletkenler IV A grubu elementi olan Silisyum ve Germanyum' dur. Ancak diğer bazı yarı-iletkenlerin kullanılması ile ilgili olarak araştırmalar yapılmaktadır. PIN yapısındaki yarıiletken detektörlerde I bölgesi diyot üzerine ters bir kutuplama uygulanması ile yük taşıyıcılarının azalması sonucunda meydana gelir. Bu ara bölgeye fotonlar düşürüldüğü zaman yük taşıyıcıları (elektronlar ve holler), uygulanan elektrik alandan dolayı ayrı ayrı elektrotlarda toplanırlar. Sonuçta elektrotlar tarafından toplanan yükler, yüke hassas olan bir ön yükselteç ile çoğaltılırlar ve orijinal foton enerjisine orantılı genlikte bir voltaj pulsuna dönüştürülürler.

Sayım verimi, materyalin saflığına bağlı iken ara bölgenin genişliği net elektriksel safsızlık konsantrasyonu ile ters orantılıdır. Dolayısıyla yüksek enerjili fotonlar için yüksek sayım verimi büyük boyutlarda (hacimlerde) çok saf materyal kullanılarak sağlanabilir. Silisyum ve Germanyum gibi yarıiletkenlere safsızlık atomlarının

katkılanması ile P tipi ve N tipi yarıiletkenin elde edilmesi mümkündür. Bu teknik Si(Li) X-Işını detektörlerinin üretiminde çok yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Germanyum detektörlerinin maksimum çalışma sıcaklıkları silisyumdan yapılmış detektörlere nazaran çok daha düşüktür. Bu nedenle germanyum ve silisyum detektörlerinin her ikisini de termal yük taşıyıcı üretimini uygun bir seviyeye düşürebilmek için soğuk tutmak gereklidir. Bu tür detektörlerin oda sıcaklığında çalıştırılması, detektörde elektronik gürültü meydana getireceğinden uygun değildir. Bunların sonucunda oda sıcaklığında çalıştırılan Germanyum ve silisyum detektörleri çok verimsiz olurlar (**Doğru, 1993**). Detektörlerin soğutulabilmesi için genellikle sıvı azot kullanılır, fakat bunun yanı sıra elektronik soğutma sistemlerindeki gelişmeler birçok detektör uygulamalarında uygun alternatif soğutmaların yapılabilmesini de sağlamıştır.

4.1.3 Sintilasyon Detektörleri

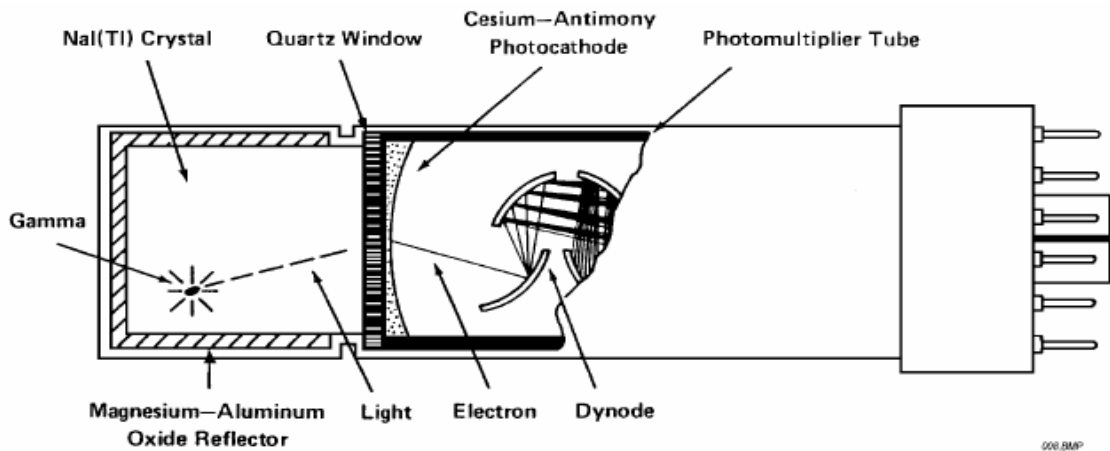
Gama ışınının bir sintilatör ile etkileşmesinden bir ışık pulsu meydana gelir ve bu ışık pulsu bir foto çoğaltıcı tüp aracılığı ile elektrik pulslarına dönüştürülür. Foto çoğaltıcı tüp bir foto katot, bir elektron odaklayıcı ve 10 adet veya daha çok dinot'tan meydana gelmiştir. Foto çoğaltıcı tüp içerisindeki dinotlara uygulanan gerilim ile elektronların dinotlara çarpması sağlanır ve bu şekilde elektronların sayılarının artması mümkün olur. Anot ve dinotlar tüp tabanında bulunan fişlere yerleştirilmiş seri bağlı dirençler vasıtası ile kutuplanır. Bir Sintilasyon Detektörü genel olarak foto çoğaltıcı tüp ve sintilatör şeklinde başlıca iki kısma ayrılabilir.

İyi bir detektörün sintilatör materyalinde aranılan özellikler, şeffaflık, büyük boyutlarda kullanılabilirlik ve büyük ışık çıkışına sahip olma şeklinde sıralanabilir. Rölatif olarak birkaç materyal bu tür detektörler için iyi özelliklere sahiptir. Bu yüzden genellikle NaI ve CsI kristalleri içerisine aktive edilmiş Talyum kullanılır. NaI gama dedüksiyonu için kullanışlı bir materyaldir çünkü ekonomik olmasının yanında çok iyi bir şekilde gama çözünürlüğüne de sahiptir. NaI(Tl) kristalleri detektör verimi ile gamaları algırlar. Bununla beraber plastik sintilatörler daha fazla ışık pulsu azalmasına sahiptirler ve zamanlama uygulamalarında kullanılırlar. Bunun yanında bu tip sintilatörler iyi enerji çözünürlüğüne sahip değildir.

4.2 NaI(Tl) Gama Spektroskopi Sistemi

NaI(Tl) kristali nem kapıcı olduğundan, foto-çoğaltıcıya optik kontak yapılan yüzü haricinde bütün çevresi Al levha ile kaplıdır (Şekil 4.3). Bu levhanın iç kısmı magnezyum oksit ile kaplıdır, bu ışık yansıtıcı olarak iş görür. Bir yüklü parçacık veya fotonun sebep olduğu ilk iyonlaştırmadan dolayı kristalin içinde serbest elektronlar meydana gelir. Bu elektronlar n kristalin atom veya moleküllerine bağlanması işleminde görünür bölgede, yaklaşık 3300 °Å dan 5000 °Å a kadar değişen dalga boyunda ışık yayınlanır. Sintilatörler kendi ışıkları için şeffaf olduklarından kristalden yayınlanan ve yüzeylerden yansıyan bu ışınlar foto-çoğaltıcı tüpün foto katodu üzerine düşerler. Foto katodun yüzeyi, ince bir sezyum-antimon alaşımı levhadan yapılmış olduğundan, burada gelen ışınlar buradan elektron yayınlanmasına neden olurlar (**Rosseland, 1923**).

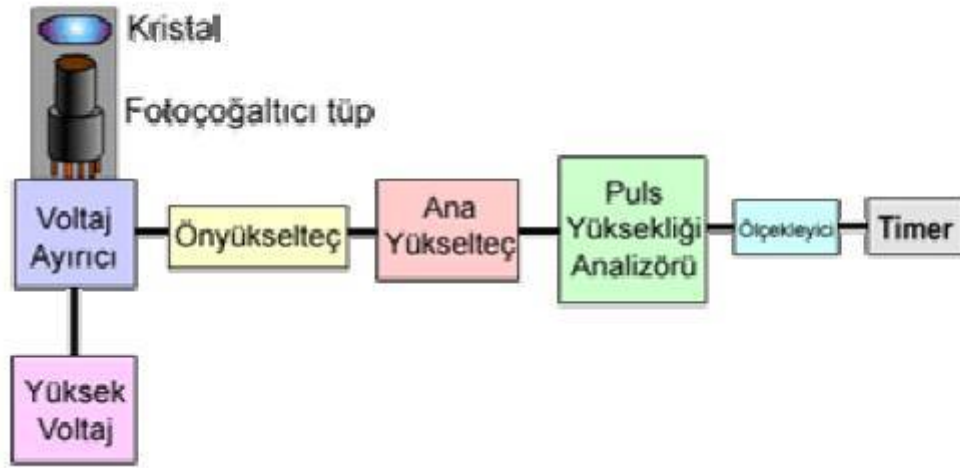
Foto-çoğaltıcı, her bir çoğaltıcıda peş peşe ve voltaj artmalar olacak şekilde, yaklaşık 800 ile 1500 volt arasında bir voltajda çalıştırılır. Bu ise elektronların foto katottan son çoğaltıcıya kadar giderken sayılarının peş peşe artması neticesini verir. Çoğalmanın veya toplam kazancın (yani, foto katottan yayınlanan her bir elektrona karşılık son çoğaltıcıdan yayınlanan elektron sayısının) 106 ile 107 civarında olması mümkündür. Bu elektron çoğalmasında elde edilen darbenin yüksekliği, gelen foton veya parçacığın enerjisiyle orantılıdır. Bu darbeler büyütülerek bir sayı c ile sayılabilirler. Yerin manyetik alanının etkisinin üstesinden gelebilmek için foto-çoğaltıcı bir manyetik perdeleyici ile çevrilir.



Şekil 4-2: NaI(Tl) foto-çoğaltıcı tüpün şematik diyagramı

Darbe yüksekliği spektrometrik tekniklerin en yaygın şekilde kullanılan gama spektrometreleridir. Bir darbe yüksekliği i spektrometresinde, detektör içinde soğurulan edilen her bir foton veya parçacık, çıkışta yüksekliği detektör içinde depo edilen enerji ile orantılı bir analog darbe üretir. Darbe yüksekliği ile sayım hızı arasındaki grafik, darbe yüksekliği spektrumu veya radyasyon enerji spektrumu olarak adlandırılır.

Nal(Tl) için gama spektrometre sistemi şekil 4.4'de gösterilmiştir. Bu sistem bir Nal(Tl) sintilasyon detektörü, yüksek voltaj kaynağı, ön yükselteç, yükselteç ve pik yüksekliği analizöründen (PHA) oluşmuştur.



şekil 4-3: Nal(Tl) için gama spektrometre sistemi

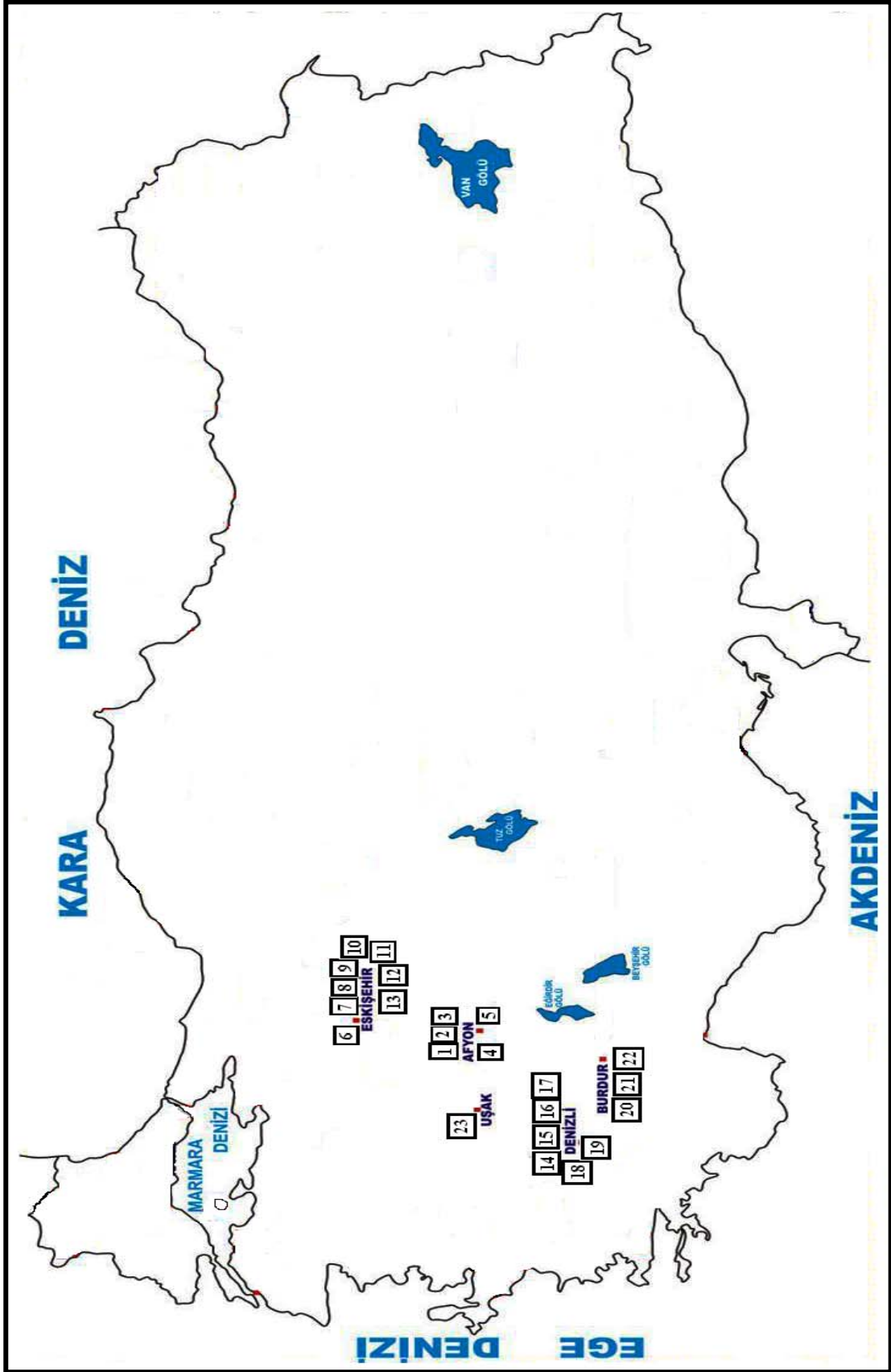
Kaynaktan yayılan radyasyon detektörle etkileşerek soğurulan enerji ile orantılı bir akım darbesi meydana getirir. Bu darbe yükselticiler yardımıyla voltaj darbesine çevrilir, yükseltilir, şekillendirilir ve çok kanallı analizöre (KA) gelir. Analizörden sayısal hale çevrilen bilgiler, ekranda spektrum olarak gözlenir. Bu spektrum veya spektrumla ilgili bilgiler KA ya bağlı uygun bir giriş /ıkış (I/O) aygıtı ile değerlendirilmek üzere dışarı alınır.

Gama ışınlarının ölçülmesinde kullanılan yar -iletken detektörlerde gelen foton kristalle etkileşerek enerjisini kaybeder. Bu etkileşmeler sonucunda kristalde elektron-deşik

çiftleri (elektron hole) meydana gelir ve detektöre uygulanan yüksek voltajın oluşturduğu elektrik alan ile diyotlara sürüklenir. Gelen radyasyonun enerjisi ile orantılı olarak biriken bu yük analizörde ölçülebilen bir voltaj pulsu (darbesi) meydana getirir.

4.3 İncelenen mermerler

Bu çalışma kapsamında Afyonkarahisar yöresinden 5 çeşit mermer numunesi ve Afyonkarahisar'un çevre illeri, Eskişehir yöresinden 8 çeşit, Denizli yöresinden 6 çeşit, Burdur yöresinden 3 çeşit ve Uşak yöresinden 1 çeşit mermer numunesi üzerinde ölçümler yapılmıştır. Mermerler Tureks Mermer A.Ş. den temin edilmiştir.



Şekil 4-4: Çalışmada analizleri yapılan mermerlerin çıkarıldığı yerler

4.4 Numune Hazırlanması ve Ölçümlerin Yapılışı

4.4.1 Mermer Numunelerinin Analizlere Hazırlanması

Üzerinde analizlerin yapılacağı mermerler büyük parçalar halinde temin edilmiştir. Temin aşamasından sonra, numunelerin ölçümlere hazır hale getirilmesi için öncelikle mermerler çıkarıldığı yerlere göre numaralandırılarak etiketlendi. Bu mermerlerin fotoğrafları çekilerek bilgisayar ortamında arşivlendi. Her bir mermer numunesi ölçümlere uygun hale getirilmek için uygun boyutlarda kesildi. Kesim esnasında mermer üzerine dökülen suyun ve mermerin doğal neminden kurtulmak için; kesilen numuneler Memmert marka etüvde, 100 °C'de yaklaşık 16 saat bekletildi ve böylece numunelerdeki nem kurutuldu. Daha sonra boyutları küçültülen mermer numuneler, ölçümlerde kullanılacak büyüklüğe indirilmek amacıyla kırma işleminden geçirildi.

Mermer numuneleri Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi Seramik Mühendisliği atölyesinde üç aşamada yaklaşık 100 mesh kalınlığına indirildi. İlk olarak mermerler çeneli kırma makinesinde kırılarak küçültüldü. Daha sonra silindirik kırıcıda daha küçük parçalar haline getirildi. Son aşamada numuneler istenilen kalınlığa indirmek için öğütücüde öğütüldü.

Toz haline getirilmiş mermer numunelerini içerisine koymak için daha önceden özel kapaklı kaplar temin edildi. Bu kaplar su ile temizlenip kurutulduktan sonra kaplar hassas bir terazide tartılarak darası alındı ve kaydedildi. Toz halindeki numuneler bu özel kaplara konularak tekrar hassas terazide tartıldı ve tara farkı alınarak numune ağırlıkları belirlendi. Belirlenen numune ağırlıkları kaydedildi. Bu kaplar etiketlenerek dış ortamla etkileşmesini engellemek amacıyla streç film kullanılarak paketlenildi. Bu şekilde sayıma hazır hale getirilen mermer numuneleri radyoaktif dengeye ulaşabilmeleri amacıyla 30 gün süreyle rutubetsiz, direk güneş ışığı almayan ve oda sıcaklığında bulunan bir ortamda beklemeye alındı.

4.4.2 Gama Spektrometresi ile Mermer Örneklerinin Radyoaktivite Tayini

Çalışma kapsamında Türkiye'nin farklı bölgelerinden toplanan ve sayıma hazır hale getirilen mermer örneklerindeki U, Th ve K aktiviteleri Süleyman Demirel Üniversitesi Fizik Bölümünde bulunan NaI(Tl) detektör sistemi kullanılarak yapıldı çok kanallı

analizörde K-40, U-238(Ra) ve Th-232 ait (sırasıyla 1,46 MeV, 1,76 MeV ve 2,61 MeV) enerjilerine karşılık gelen gama piklerinin altındaki alanlardan gidilerek elementlere ait gama sayımları elde edilmiştir.

Şekil 4.5’de görüldüğü gibi gama spektrometresi şu parçalardan oluşmaktadır:

- Canberra Model-802 3"X3" NaI(Tl) sintilasyon gama detektörü,
- Canberra Model- 2000 yükseltici,
- Canberra PC bazlı çok kanallı analizör,

Bu sistemin görüntüsü aşağıdaki gibidir



(a)

(b)

Şekil 4-5: a) NaI(Tl) sintilasyon gama detektörü b) yükselteç

4.4.3 Mermer Örneklerinde Aktivite Hesaplamaları

Sistemin kullanılması için öncelikle kalibrasyon gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bunun için enerjisi bilinen radyoaktif kaynaklar kullanılmalıdır. ^{60}Co ve ^{137}Cs kaynakları sırası ile 1,17, 1,332 MeV ve 0,662 MeV enerjili gama ışınları yaymaktadır. Aşağıdaki şekillerde kalibrasyon için alınan bu kaynaklara ait spektrumlar ve şekilde de elde edilen kalibrasyon grafiği gösterilmektedir.(Mavi, 2008).

Sistemin kalibrasyonu yapıldıktan sonra örneklerdeki ölçümler gerçekleştirilmiştir. Ölçümler yaklaşık 3 saatlik zaman diliminde her örnek için ayrı ayrı alınmıştır. Net pik alanının hesaplanmasında kullanılmak üzere sistemi değiştirmeksizin aynı zaman aralığında örnek olmaksızın background ölçümü ayrıca gerçekleştirilmiş olup bu dışarıdan gelecek katkıların çıkarılmasını sağlamıştır. Aktivite hesabı için aşağıdaki formül (4.1) kullanılmıştır.

$$A = \frac{NPA}{\varepsilon \cdot \gamma \cdot t \cdot m} \quad (4.1)$$

Burada;

NPA: Net Pik Alanı

ε : Verim

γ : İlgili nüklidin gama yayınlama olasılığı

t: Sayım süresi

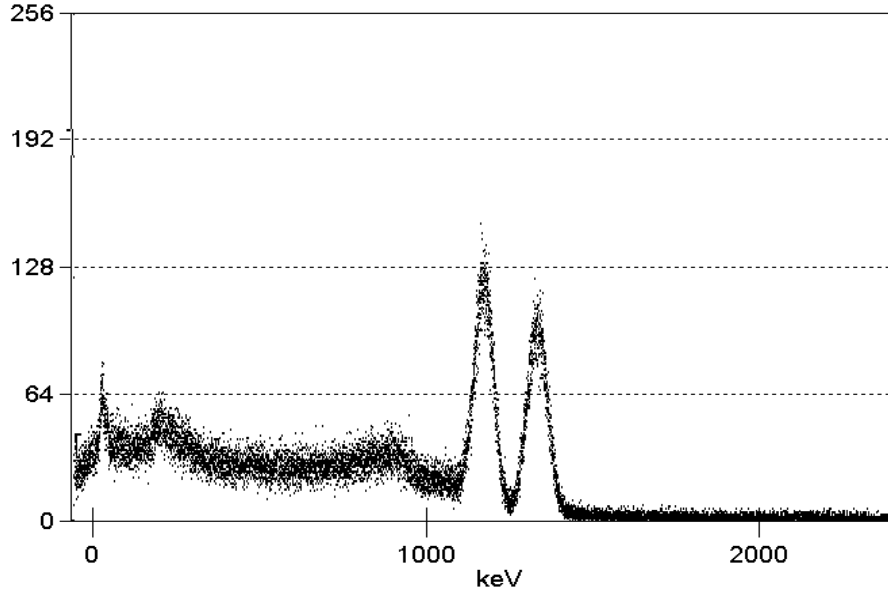
m: Kütle (kg)

Toryum için en uygun karakteristik gama piki, ^{208}Tl ' e ait olan 2.615 MeV enerjili piktir. Bu pikin gama yayınlama olasılığı %35,9 dur.

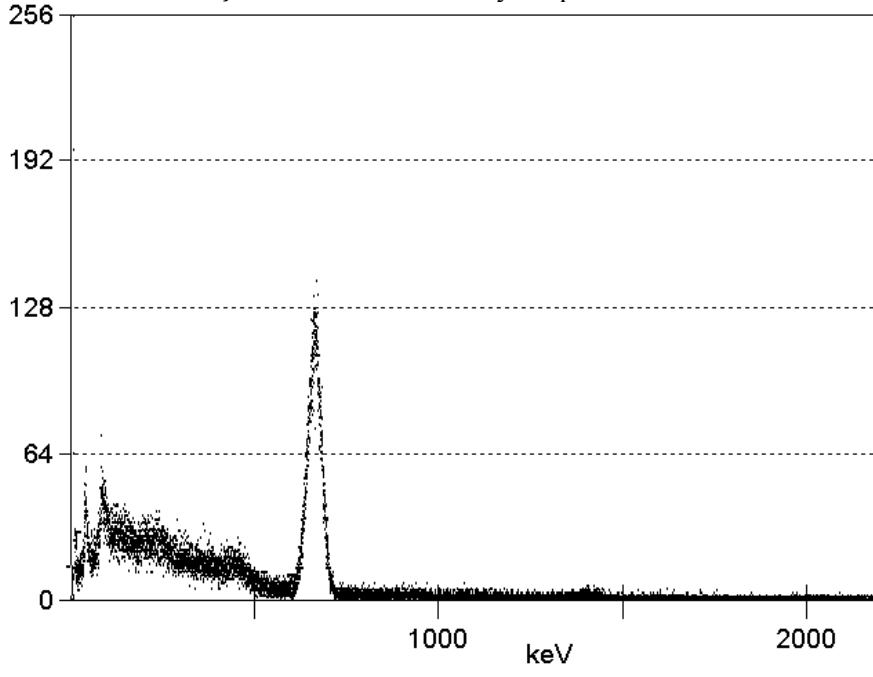
Uranyumun kendisinin karakteristik gama'sı olmasına karşılık, nicel analizlerde ^{214}Bi 'ün, 1,76 MeV enerjili piki kullanılır ve bu pikin gama yayınlama olasılığı %14,7 dir.

Potasyum için ise 1460 keV enerjili karakteristik pik kullanılır. Bu pikin gama yayınlama olasılığı %10.7 dir.

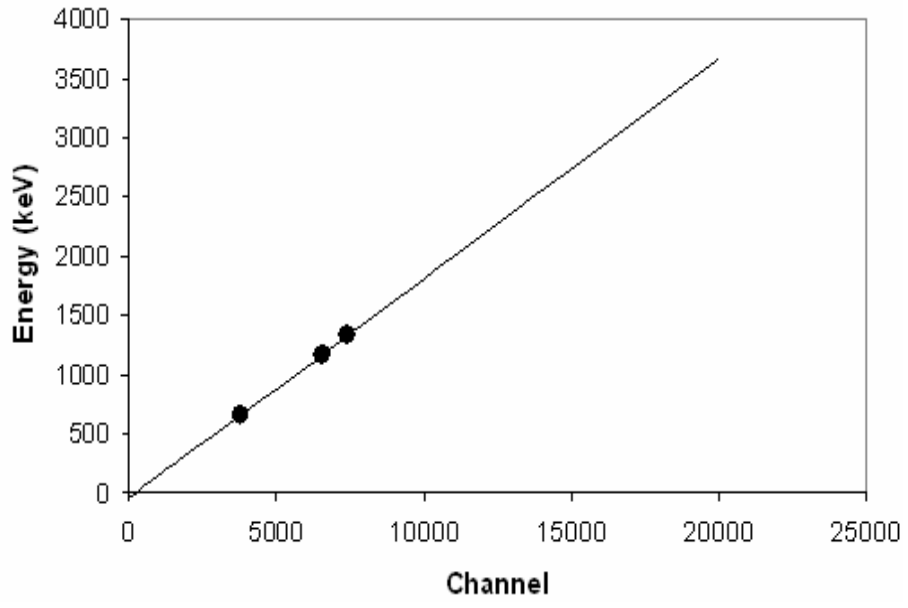
Cihazın kalibrasyonu ^{137}Cs (662 keV) ve ^{60}Co (1173 keV- 1332 keV) radyoaktif kaynakları ile yapılmıştır. Aşağıda ^{60}Co ve ^{137}Cs kalibrasyon spektrumları ve çizilen kalibrasyon grafiği görülmektedir.



Şekil 4-5: ^{60}Co kalibrasyon spektrumu



Şekil 4-6: ^{137}Cs kalibrasyon spektrumu



Şekil 4-7: Kalibrasyon Grafiği

5. DENEYSEL SONUÇLAR

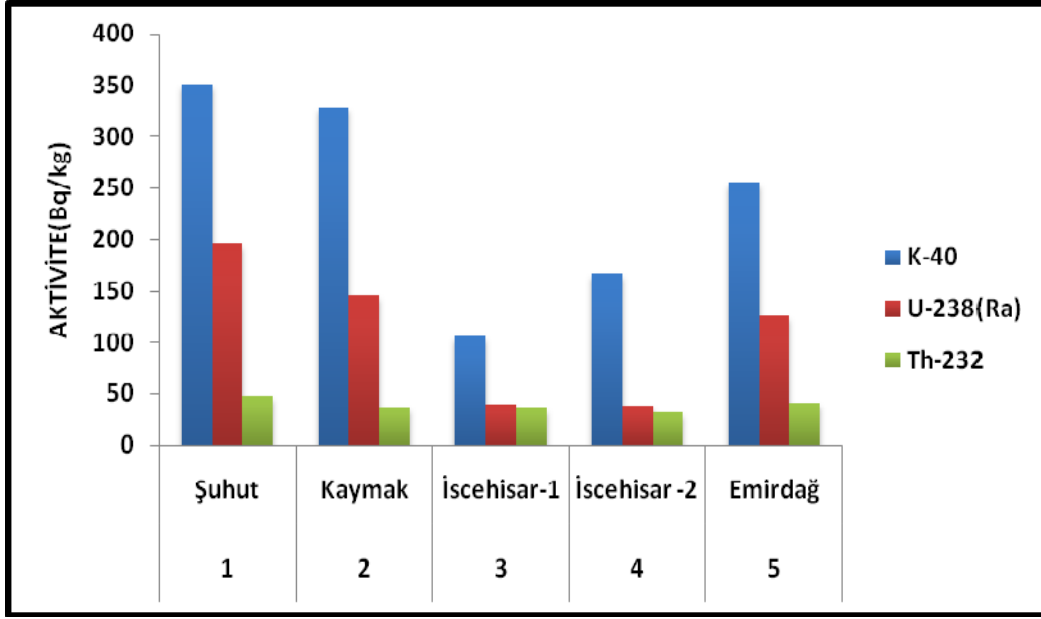
5.1 Afyonkarahisar Yöresine Ait Aktivite Sonuçları

Bu çalışma kapsamında Afyonkarahisar yöresine ait beş adet mermer numunesinin K-40, U-238(Ra) ve Th-232 aktiviteleri tayin edilmiştir. Bu mermerler Afyonkarahisar ilinin İncehisar, Emirdağ ve Şuhut yörelerine aittir. Çalışılan Afyonkarahisar mermerlerine ait elde edilen K-40, U-238(Ra) ve Th-232 aktiviteleri Çizelge 5.1’de nümerik olarak şekil 5.1 de verilmiştir.

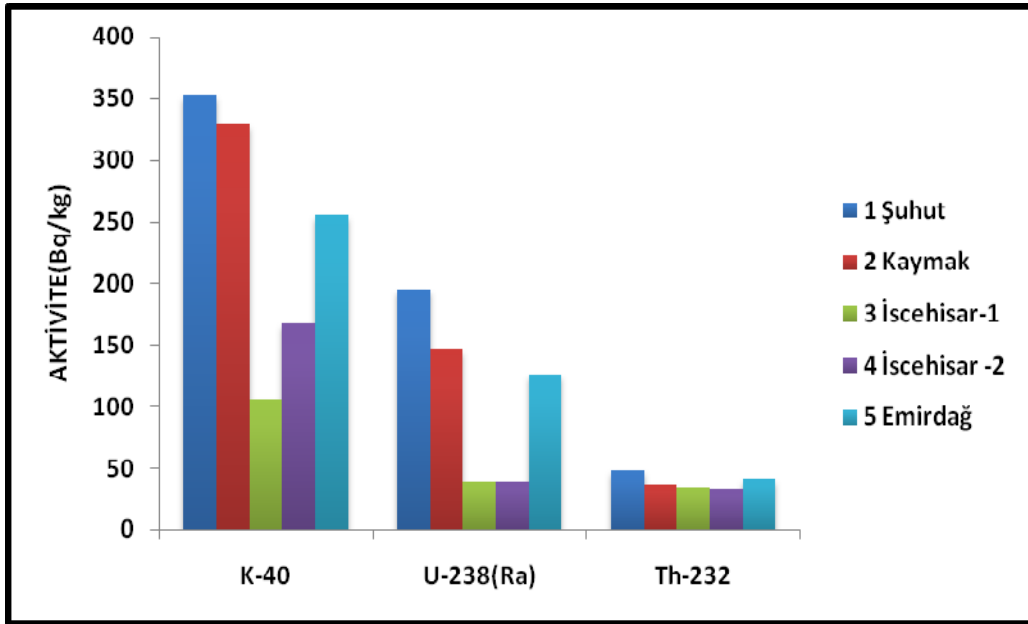
Çizelge 5-1: Afyonkarahisar yöresi mermerlerine ait K-40, U-238(Ra) ve Th-232 aktiviteleri

Örnek Kodu	Örnek tanımı	K-40 AKTİVİTE(Bq/kg)	U-238(Ra) AKTİVİTE(Bq/kg)	Th-232 AKTİVİTE(Bq/kg)
1	Şuhut	351,755	195,726	47,814
2	Kaymak	329,146	145,892	36,642
3	İncehisar-1	106,264	39,666	35,310
4	İncehisar -2	167,044	38,883	32,165
5	Emirdağ	255,678	125,830	41,530

Hem çizelgeden hem de şekilden görüleceği gibi tüm örnekler için beklenildiği gibi en yüksek değerler K-40 için ve en düşük değerle ise Th-232 için elde edilmiştir. K-40 kayalarda daha fazla bulunmaktadır. Afyonkarahisar mermerlerinde K-40 aktivitesinin en düşük değeri 106,264 Bq/kg, en yüksek değeri 351,755 Bq/kg’dır. U-238(Ra) aktivitesinin en düşük değeri 38,883 Bq/kg, en yüksek değeri 195,726 Bq/kg’dır. Th-232 aktivitesinin en düşük değeri 32,165 Bq/kg, en yüksek değeri 47,814 Bq/kg’dır. Tüm radyoçekirdekler için ayrı ayrı bakıldığında ise en yüksek değer Şuhut bölgesi mermerleri için elde edilirken en düşük değer ise İncehisar bölgesi mermerlerine aittir (Şekil 5.2). Bu sonuç iki bölgenin jeolojik yapısındaki farklılıktan kaynaklandığı söylenebilir.



Şekil 5-1: Afyonkarahisar yöresi mermerlerine ait K-40, U-238(Ra) ve Th-232 aktiviteleri



Şekil 5-2: Afyonkarahisar bölgelerinin karşılaştırılması

Bu sonuçlar mermerlerdeki doğal aktiviteyi vermektedir. Bu aktivitelerden faydalanarak havada absorblanan doz hızını hesaplamak mümkündür. Bunun için kullanılacak dönüşüm katsayıları Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5-2: Dönüşüm Katsayıları

Radyonüklid veya bozunum ürünleri	Dönüşüm katsayısı (nGy ⁻¹ /Bqkg ⁻¹)
K-40	0,043
U-238	0,427
Th-232	0,662

Bu dönüşüm katsayıları yardımı ile

$$D \text{ (nGy/h)} = 0,427 C_U + 0,662 C_{Th} + 0,043 C_K \quad (5.1)$$

Eşitliği elde edilip doz hızı hesaplanmıştır. Bu şekilde her bir radyoçekerdeğin katkısı olan doz hızı ve toplam doz hızı her bir numüne ve radyoçekerdeğin için çizelge 5.3 verilmiştir.

Çizelge 5-3: Afyonkarahisar yöresi için K-40, U-238 (Ra) ve Th-232 aktivitelerine göre absorblanmış doz hızları

Örnek tanımı	K-40		U-238 (Ra)		Th-232		D (nGy/h)
	Bq/kg	nGy/h	Bq/kg	nGy/h	Bq/kg	nGy/h	
Şuhut	351,755	15,12	195,726	83,58	47,814	31,65	130,35
Kaymak	329,146	14,15	145,892	62,30	36,642	24,25	100,70
İscehisar-1	106,264	4,57	39,666	16,94	35,310	23,37	44,88
İscehisar -2	167,044	7,18	38,883	16,60	32,165	21,30	45,08
Emirdağ	255,678	11,00	125,830	53,72	41,530	27,49	92,21

Radyasyonun etkisinin belirlenmesi için bu doz hızı değerleri kullanılarak Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri (YEDE) hesaplanabilir. Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri insanların farklı radyasyon kaynaklarından yayınlanan ışınlarla gerek dışarıdan maruz kalmak suretiyle

gerekse yediği, içtiği besinlerle ve teneffüs ettiği havada bulunan radyonüklidleri vücuda alarak içten maruz kalmak suretiyle 1 yıl süresince alacağı radyasyon dozu olarak tanımlanır. Çevresel gama ışınlamaları için doz hızı ile etkin doz arasındaki dönüşüm faktörü 0,7 Sv/Gy olarak alınmaktadır (UNSCEAR,1982).

Çizelge 5-4: Afyonkarahisar yöresi için K-40, U-238 (Ra) ve Th-232 aktivitelerine göre yıllık etkin doz eşdeğeri

Örnek tanımı	K-40		U-238 (Ra)		Th-232		D (nGy/h)	YEDE(mSv/yıl)
	Bq/kg	nGy/h	Bq/kg	nGy/h	Bq/kg	nGy/h		
Şuhut	351,755	15,12	195,726	8358	47,814	31,65	130,35	0,799
Kaymak	329,146	14,15	145,892	62,30	36,642	24,25	100,70	0,617
İscehisar-1	106,264	4,57	39,666	16,94	35,310	23,37	44,88	0,275
İscehisar -2	167,044	7,18	38,883	16,60	32,165	21,30	45,08	0,276
Emirdağ	255,678	11,00	125,830	53,72	41,530	27,49	92,21	0,565

Çizelge 5.3 ve 5.4’de görüldüğü gibi Afyonkarahisar yöresi için hesaplanan absorblanmış doz hızı ve yıllık etkin doz eşdeğeri aktivitelerde olduğu gibi en düşük değer İscehisar-1 bölgesine en yüksek değer Şuhut bölgesine aittir.

5.2 CİVAR İLLERDEKİ AKTİVİTE SONUÇLARI

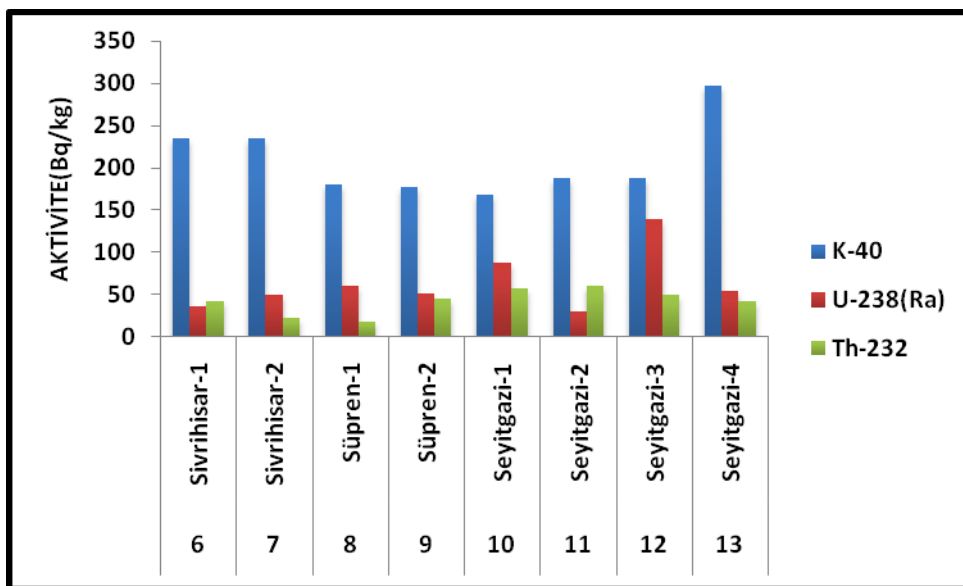
5.2.1 Eskişehir Yöresine Ait Deney Sonuçları

Bu çalışma kapsamında Eskişehir yöresine ait sekiz adet mermer numunesinin K-40, U-238(Ra) ve Th-232 aktiviteleri tayin edilmiştir. Bu mermerler Eskişehir ilinin Sivrihisar, Süpren ve Seyitgazi yörelerine aittir. Çalışılan Eskişehir mermerlerine ait elde edilen K-40, U-238(Ra) ve Th-232 aktiviteleri Çizelge 5.5’de verilmiştir.

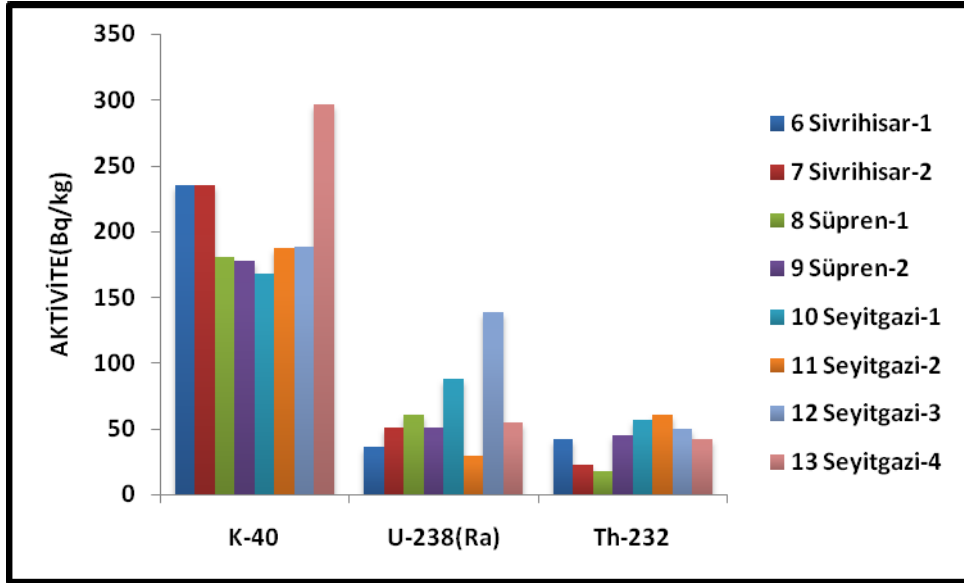
Çizelge 5-5: Eskişehir yöresi mermerlerine ait K-40, U-238(Ra) ve Th-232 aktiviteleri

Örnek Kodu	Örnek tanımı	K-40 AKTİVİTE(Bq/kg)	U-238(Ra) AKTİVİTE(Bq/kg)	Th-232 AKTİVİTE(Bq/kg)
6	Sivrihisar-1	235,560	36,507	42,561
7	Sivrihisar-2	234,903	50,523	22,508
8	Süpren-1	180,394	60,695	18,084
9	Süpren-2	177,387	51,373	45,192
10	Seyitgazi-1	168,282	87,661	57,047
11	Seyitgazi-2	187,594	29,924	60,322
12	Seyitgazi-3	188,371	138,987	50,473
13	Seyitgazi-4	296,636	55,034	42,674

Eskişehir ait mermerlerde de en yüksek değerler K-40 en düşük değerler yine Th-232 için elde edilmiştir. Eskişehir mermerlerinde K-40 aktivitesinin en düşük değeri 168,282 Bq/kg, en yüksek değeri 296,636 Bq/kg'dır. U-238(Ra) aktivitesinin en düşük değeri 29,924 Bq/kg, en yüksek değeri 138,987 Bq/kg'dır. Th-232 aktivitesinin en düşük değeri 18,084 Bq/kg, en yüksek değeri 60,322 Bq/kg'dır. Eskişehir mermerlerine ait K-40 aktivitesinin en yüksek değeri Seyitgazi-4, en düşük değeri Seyitgazi-1, U-238(Ra) aktivitesinin en yüksek değeri Seyitgazi-3, en düşük değeri Seyitgazi-2 ve Th-232 aktivitesinin en yüksek değeri Seyitgazi-3, en düşük değeri Süpren-1 bölgesi mermerlerine aittir. Bu durum şekli 5.3 ve 5.4 de görülmektedir.



Şekil 5-3: Eskişehir yöresi mermerlerine ait K-40, U-238(Ra) ve Th-232 aktiviteleri



Şekil 5-4: Eskişehir bölgelerinin karşılaştırılması

Eskişehir yöresi için K-40, U-238 (Ra) ve Th-232 aktivitelere göre absorblanmış doz hızı ve yıllık etkin doz eşdeğeri çizelge 5.6 ve 5.7’de gösterilmiştir.

Çizelge 5-6: Eskişehir yöresi için K-40, U-238 (Ra) ve Th-232 aktivitelere göre absorblanmış doz hızları

Örnek tanımı	K-40		U-238 (Ra)		Th-232		D (nGy/h)
	Bq/kg	nGy/h	Bq/kg	nGy/h	Bq/kg	nGy/h	
Sivrihisar-1	235,560	10,13	36,507	15,60	42,561	28,17	53,90
Sivrihisar-2	234,903	10,10	50,523	21,57	22,508	14,90	46,57
Süpren-1	180,394	7,76	60,695	25,91	18,084	11,97	45,64
Süpren-2	177,387	7,62	51,373	21,94	45,192	29,92	59,48
Seyitgazi-1	168,282	7,23	87,661	37,43	57,047	37,77	82,43
Seyitgazi-2	187,594	8,06	29,924	12,78	60,322	39,93	60,77
Seyitgazi-3	188,371	8,09	138,987	59,36	50,473	33,41	100,86
Seyitgazi-4	296,636	12,75	55,034	23,50	42,674	28,25	64,50

Çizelge 5-7: Eskişehir yöresi için K-40, U-238 (Ra) ve Th-232 aktivitelere göre yıllık etkin doz eşdeğeri

Örnek tanımı	K-40		U-238 (Ra)		Th-232		D (nGy/h)	YEDE(mSv/yıl)
	Bq/kg	nGy/h	Bq/kg	nGy/h	Bq/kg	nGy/h		
Sivrihisar-1	235,560	10,13	36,507	15,60	42,561	28,17	53,90	0,33
Sivrihisar-2	234,903	10,10	50,523	21,57	22,508	14,90	46,57	0,285
Süpren-1	180,394	7,76	60,695	25,91	18,084	11,97	45,64	0,279
Süpren-2	177,387	7,62	51,373	21,94	45,192	29,92	59,48	0,364
Seyitgazi-1	168,282	7,23	87,661	37,43	57,047	37,77	82,43	0,505
Seyitgazi-2	187,594	8,06	29,924	12,78	60,322	39,93	60,77	0,372
Seyitgazi-3	188,371	8,09	138,987	59,36	50,473	33,41	100,86	0,618
Seyitgazi-4	296,636	12,75	55,034	23,50	42,674	28,25	64,50	0,395

Çizelge 5.6 ve 5.7’de görüldüğü gibi Eskişehir yöresi için hesaplanan hem absorblanmış doz hızı hem de yıllık etkin doz eşdeğerinin en düşük değeri Süpren-1 bölgesine en yüksek değer Seyitgazi-3 bölgesine aittir.

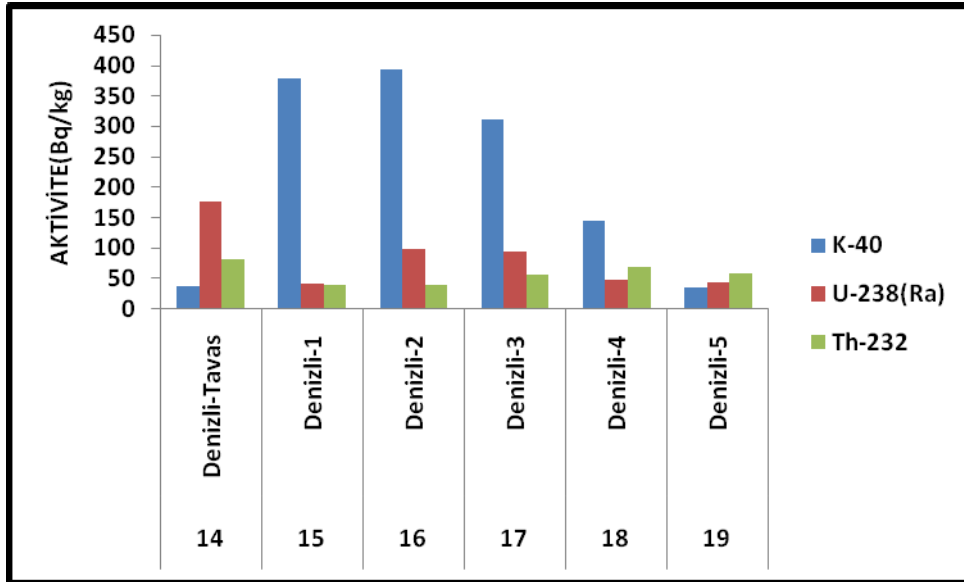
5.2.2 Denizli Yöresine Ait Deney Sonuçları

Bu çalışma kapsamında Denizli yöresine ait altı adet mermer numunesinin K-40, U-238(Ra) ve Th-232 aktiviteyi tayin edilmiştir. Çalışılan Denizli mermerlerine ait elde edilen K-40, U-238(Ra) ve Th-232 aktiviteyi Çizelge 5.8’de verilmiştir.

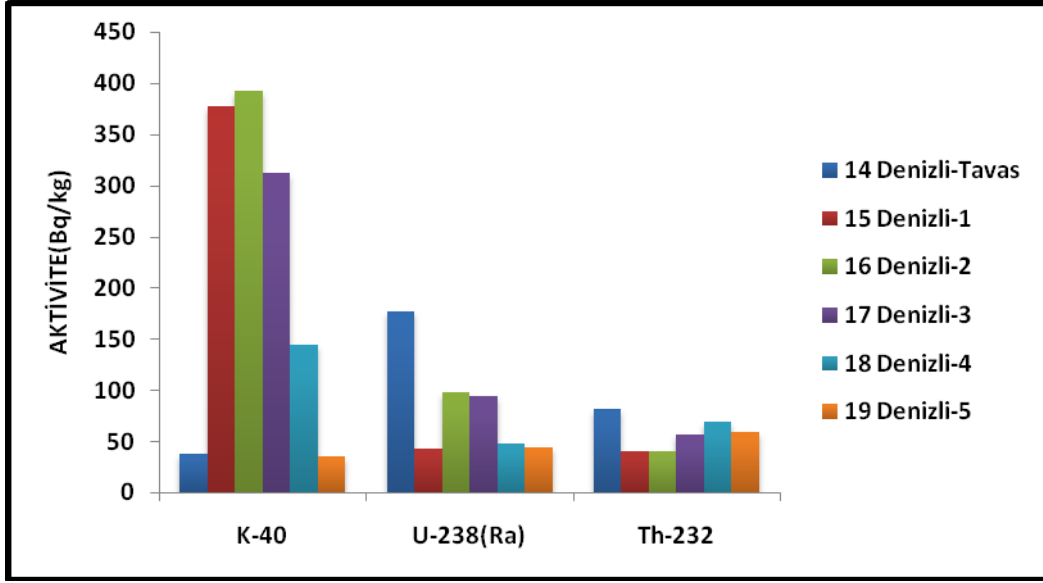
Çizelge 5-8: Denizli yöresi mermerlerine ait K-40, U-238(Ra) ve Th-232 aktiviteyi

Örnek Kodu	Örnek tanımı	K-40 AKTİVİTE(Bq/kg)	U-238(Ra) AKTİVİTE(Bq/kg)	Th-232 AKTİVİTE(Bq/kg)
14	Denizli-Tavas	37,901	177,511	82,470
15	Denizli-1	377,777	42,594	40,705
16	Denizli-2	392,523	97,976	39,908
17	Denizli-3	311,960	93,860	57,332
18	Denizli-4	144,453	48,432	69,032
19	Denizli-5	35,661	43,729	59,424

Denizli mermerlerinde de en yüksek değerler K-40 aktivitesi, en düşük değerler Th-232 aktivitesi için elde edilmiştir. K-40 aktivitesinin en düşük değeri 35,661 Bq/kg, en yüksek değeri 392,523 Bq/kg'dır. U-238(Ra) aktivitesinin en düşük değeri 42,594 Bq/kg, en yüksek değeri 177,511 Bq/kg'dır. Th-232 aktivitesinin en düşük değeri 39,908 Bq/kg, en yüksek değeri 82,470 Bq/kg'dır. Denizli mermerlerine ait K-40 aktivitesinin en yüksek değeri Denizli-2 en düşük değeri Denizli-5, U-238(Ra) aktivitesinin en yüksek değeri Denizli-2 en düşük değeri Denizli-1 ve Th-232 aktivitesinin en yüksek değeri Denizli-Tavaş en düşük değeri Denizli-2 bölgesi mermerlerine aittir. Bu durum şekli 5.5 ve 5.6'da görülmektedir.



Şekil 5-5: Denizli yöresi mermerlerine ait K-40, U-238(Ra) ve Th-232 aktiviteleri



Şekil 5-6: Denizli bölgelerinin karşılaştırılması

Eskişehir yöresi için K-40, U-238 (Ra) ve Th-232 aktivitelerine göre absorblanmış doz hızı ve yıllık etkin doz eşdeğeri çizelge 5.9 ve 5.10'da gösterilmiştir.

Çizelge 5-9: Denizli yöresi için K-40, U-238 (Ra) ve Th-232 aktivitelerine göre absorblanmış doz hızları

Örnek tanımı	K-40		U-238 (Ra)		Th-232		D (nGy/h)
	Bq/kg	nGy/h	Bq/kg	nGy/h	Bq/kg	nGy/h	
Denizli-Tavas	37,901	1,63	177,511	75,80	82,470	54,59	132,02
Denizli-1	377,777	16,24	42,594	18,19	40,705	26,95	61,38
Denizli-2	392,523	16,88	97,976	41,83	39,908	26,42	85,13
Denizli-3	311,960	13,41	93,860	40,08	57,332	37,95	91,44
Denizli-4	144,453	6,21	48,432	20,68	69,032	45,70	72,59
Denizli-5	35,661	1,53	43,729	18,67	59,424	39,34	59,54

Çizelge 5-10: Denizli yöresi için K-40, U-238 (Ra) ve Th-232 aktivitelerine göre yıllık etkin doz eşdeğeri

Örnek tanımı	K-40		U-238 (Ra)		Th-232		D (nGy/h)	YEDE(mSv/yıl)
	Bq/kg	nGy/h	Bq/kg	nGy/h	Bq/kg	nGy/h		
Denizli-Tavas	37,901	1,63	177,511	75,80	82,470	54,59	132,02	0,809
Denizli-1	377,777	16,24	42,594	18,19	40,705	26,95	61,38	0,376
Denizli-2	392,523	16,88	97,976	41,83	39,908	26,42	85,13	0,522
Denizli-3	311,960	13,41	93,860	40,08	57,332	37,95	91,44	0,56
Denizli-4	144,453	6,21	48,432	20,68	69,032	45,70	72,59	0,445
Denizli-5	35,661	1,53	43,729	18,67	59,424	39,34	59,54	0,365

Çizelge 5.9 ve 5.10’da görüldüğü gibi Denizli yöresi için hesaplanan hem absorblanmış doz hızı hem de yıllık etkin doz eşdeğerinin en düşük değeri Denizli-5 bölgesine en yüksek değer Denizli-Tavaş bölgesine aittir.

5.2.3 Burdur Yöresine Ait Deney Sonuçları

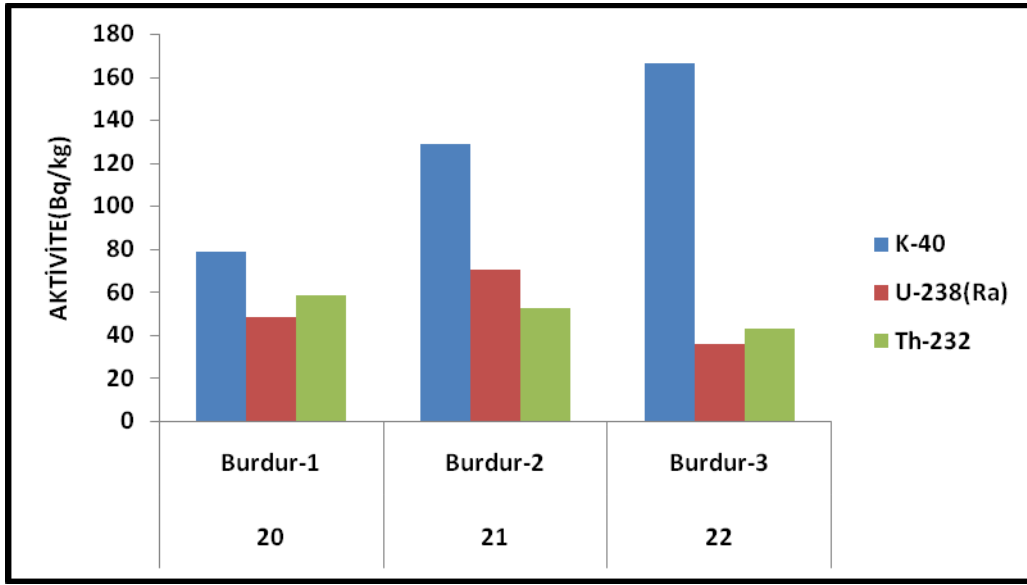
Bu çalışma kapsamında Burdur yöresine ait üç adet mermer numunesinin K-40, U-238(Ra) ve Th-232 aktiviteleri tayin edilmiştir. Çalışılan Burdur mermerlerine ait elde edilen K-40, U-238(Ra) ve Th-232 aktiviteleri Çizelge 5.11’de verilmiştir.

Çizelge 5-11: Burdur yöresi mermerlerine ait K-40, U-238(Ra) ve Th-232 aktiviteleri

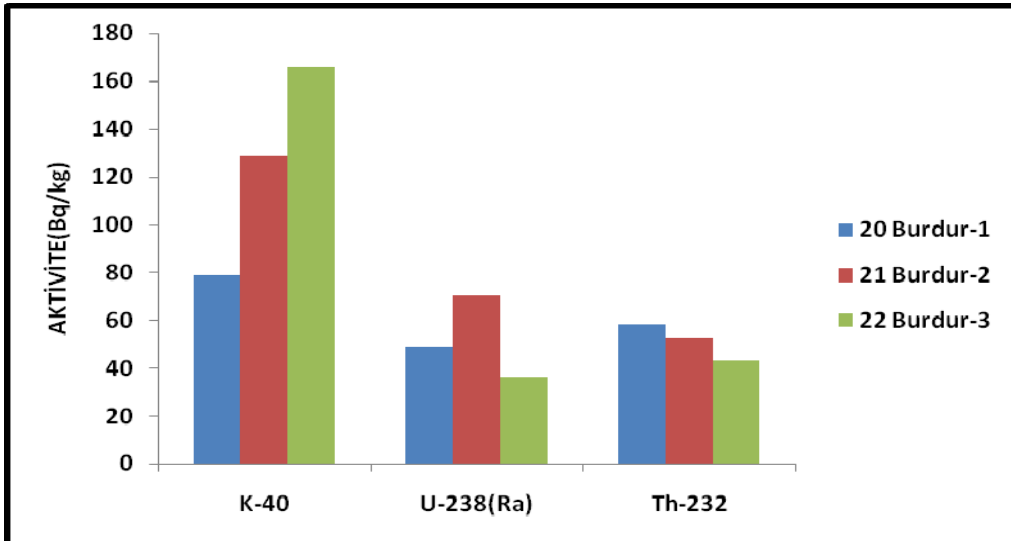
Örnek Kodu	Örnek tanımı	K-40 AKTİVİTE(Bq/kg)	U-238(Ra) AKTİVİTE(Bq/kg)	Th-232 AKTİVİTE(Bq/kg)
20	Burdur-1	78,590	48,392	58,369
21	Burdur-2	128,629	70,362	52,447
22	Burdur-3	166,199	35,991	42,922

Burdur mermerlerinde de en yüksek değerler K-40 aktivitesi, en düşük değerler Th-232 aktivitesi için elde edilmiştir. K-40 aktivitesinin en düşük değeri 78,590 Bq/kg, en

yüksek değeri 166,199 Bq/kg'dır. U-238(Ra) aktivitesinin en düşük değeri 35,991 Bq/kg, en yüksek değeri 70,362 Bq/kg'dır. Th-232 aktivitesinin en düşük değeri 42,922 Bq/kg, en yüksek değeri 58,369Bq/kg'dır. Burdur mermerlerine ait K-40 aktivitesinin en yüksek değeri Burdur-3 en düşük değeri Burdur-1, U-238(Ra) aktivitesinin en yüksek değeri Burdur-2 en düşük değeri Burdur-3 ve Th-232 aktivitesinin en yüksek değeri Burdur-2 en düşük değeri Burdur-3 bölgesi mermerlerine aittir. Bu durum şekli 5.7 ve 5.8'de görülmektedir.



Şekil 5-7: Burdur yöresi mermerlerine ait K-40, U-238(Ra) ve Th-232 aktiviteleri



Şekil 5-8: Burdur bölgelerinin karşılaştırılması

Burdur yöresi için K-40, U-238 (Ra) ve Th-232 aktivitelerine göre absorblanmış doz hızı ve yıllık etkin doz eşdeğeri çizelge 5.12 ve 5.13’de gösterilmiştir.

Çizelge 5-12: Burdur yöresi için K-40, U-238 (Ra) ve Th-232 aktivitelerine göre absorblanmış doz hızları

Örnek tanımı	K-40		U-238 (Ra)		Th-232		D (nGy/h)
	Bq/kg	nGy/h	Bq/kg	nGy/h	Bq/kg	nGy/h	
Burdur-1	78,590	3,38	48,392	15,37	58,369	38,74	62,68
Burdur-2	128,629	5,53	70,362	30,05	52,447	34,72	70,30
Burdur-3	166,199	7,15	35,991	20,66	42,922	28,41	50,93

Çizelge 5-13: Burdur yöresi için K-40, U-238 (Ra) ve Th-232 aktivitelerine göre yıllık etkin doz eşdeğeri

Örnek tanımı	K-40		U-238 (Ra)		Th-232		D (nGy/h)	YEDE(mSv/yıl)
	Bq/kg	nGy/h	Bq/kg	nGy/h	Bq/kg	nGy/h		
Burdur-1	78,590	3,38	48,392	15,37	58,369	38,74	62,68	0,384
Burdur-2	128,629	5,53	70,362	30,05	52,447	34,72	70,30	0,431
Burdur-3	166,199	7,15	35,991	20,66	42,922	28,41	50,93	0,312

Çizelge 5.12 ve 5.13’de görüldüğü gibi Burdur yöresi için hesaplanan hem absorblanmış doz hızı hem de yıllık etkin doz eşdeğerinin en düşük değeri Burdur-3 bölgesine en yüksek değer Burdur-2 bölgesine aittir.

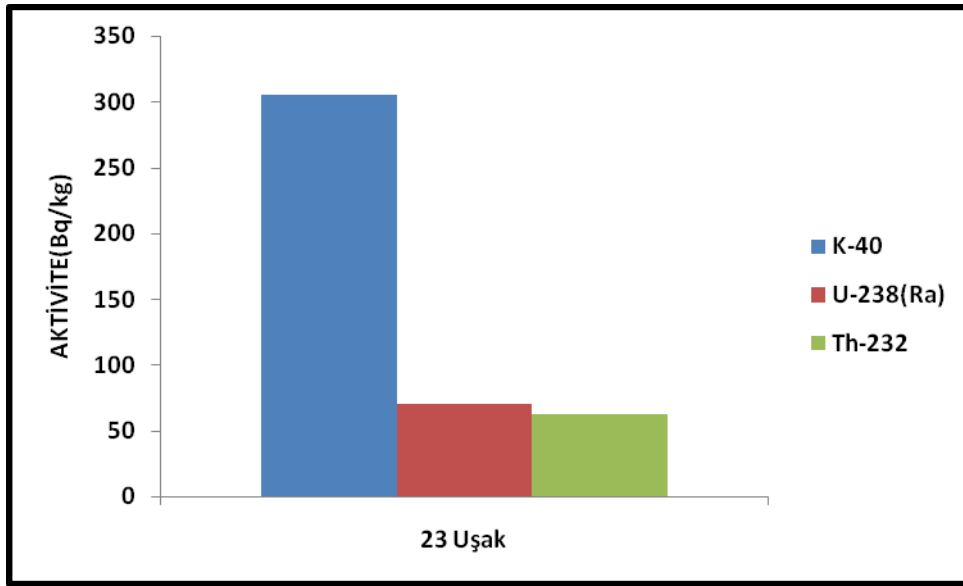
5.2.4 Uşak Yöresine Ait Deney Sonuçları

Bu çalışma kapsamında Uşak yöresine ait bir adet mermer numunesinin K-40, U-238(Ra) ve Th-232 aktiviteleri tayin edilmiştir. Çalışılan Uşak mermerine ait elde edilen K-40, U-238(Ra) ve Th-232 aktiviteleri Çizelge 5.14’de verilmiştir.

Çizelge 5-14: Uşak yöresi mermerine ait K-40, U-238(Ra) ve Th-232 aktiviteleri

Örnek Kodu	Örnek tanımı	K-40		U-238(Ra)		Th-232	
		Bq/kg	AKTİVİTE(Bq/kg)	Bq/kg	AKTİVİTE(Bq/kg)	Bq/kg	AKTİVİTE(Bq/kg)
23	Uşak	304,809	304,809	70,535	70,535	62,059	62,059

Uşak mermerinde K-40 aktivitesinin değeri 304,809 Bq/kg, U-238(Ra) aktivitesinin değeri 70,535 Bq/kg ve Th-232 aktivitesinin değeri 62,059 Bq/kg'dır. Bu durum şekil 5.9'da gösterilmiştir.



Şekil 5-9: Uşak yöresi mermerine ait K-40, U-238(Ra) ve Th-232 aktiviteleri

Uşak yöresi için K-40, U-238 (Ra) ve Th-232 aktivitelerine göre absorblanmış doz hızı ve yıllık etkin doz eşdeğeri çizelge 5.15 ve 5.16'da gösterilmiştir.

Çizelge 5-15: Uşak yöresi için K-40, U-238 (Ra) ve Th-232 aktivitelerine göre absorblanmış doz hızları

Örnek tanımı	K-40		U-238 (Ra)		Th-232		D (nGy/h)
	Bq/kg	nGy/h	Bq/kg	nGy/h	Bq/kg	nGy/h	
Uşak	304,809	13,10	70,535	30,12	62,059	41,08	84,30

Çizelge 5-16: Uşak yöresi için K-40, U-238 (Ra) ve Th-232 aktivitelere göre yıllık etkin doz eşdeğeri

Örnek tanımı	K-40		U-238 (Ra)		Th-232		D (nGy/h)	YEDE(mSv/yıl)
	Bq/kg	nGy/h	Bq/kg	nGy/h	Bq/kg	nGy/h		
Uşak	304,809	13,10	70,535	30,12	62,059	41,08	84,30	0,516

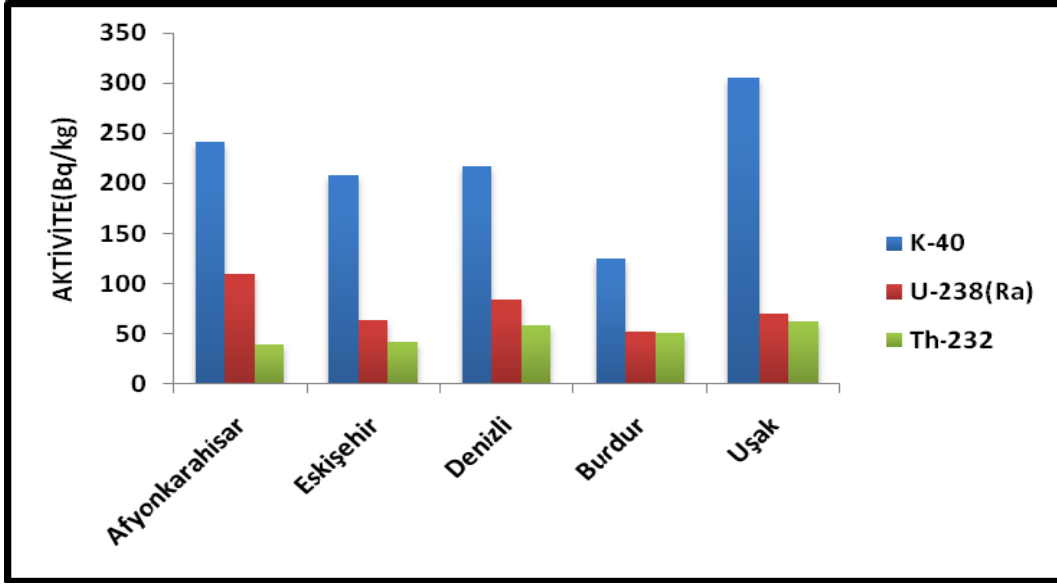
5.3 Deneysel Sonuçlara Ait Ortalamalar

Çalışma kapsamındaki tüm yörelere ait elde edilen K-40, U-238(Ra) ve Th-232 aktivitelere ait ortalama değerleri çizelge 5.17’de ve grafiksel olarak şekil 5.10 ve 5.11’de verilmiştir.

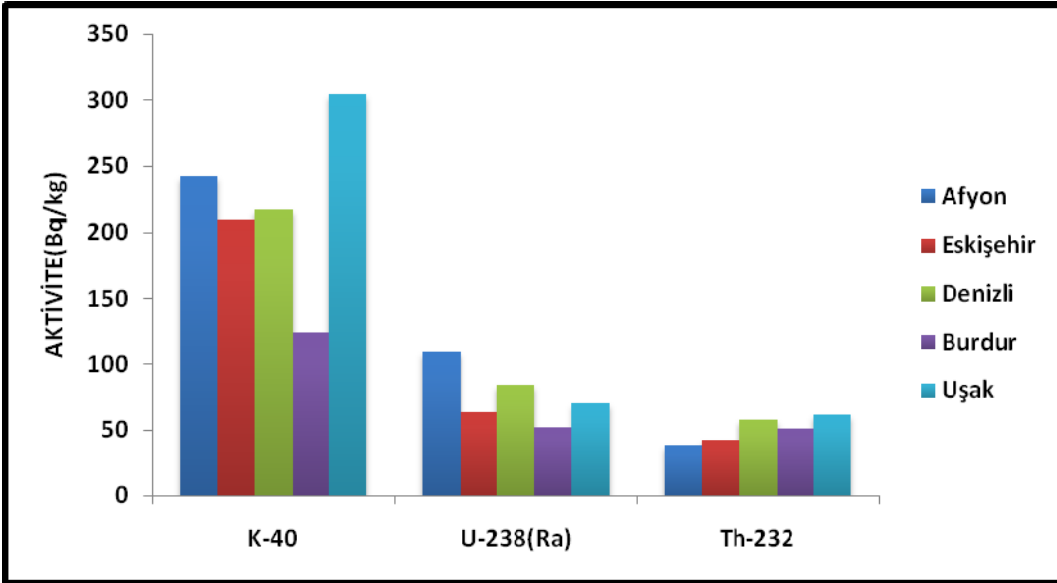
Çizelge 5-17 : Tüm yörelere ait ortalama K-40, U-238(Ra) ve Th-232 aktivitelere

	K-40 AKTİVİTE(Bq/kg)	U-238(Ra) AKTİVİTE(Bq/kg)	Th-232 AKTİVİTE(Bq/kg)
Afyonkarahisar	241,978	109,200	38,692
Eskişehir	208,641	63,838	42,358
Denizli	216,713	84,017	58,145
Burdur	124,473	51,582	51,246
Uşak	304,809	70,535	62,059

Tüm yöreler için elde edilen sonuçların ortalamasında görüldüğü gibi en yüksek değerler K-40 aktivitesinde, en düşük değerler Th-232 aktivitesindedir. K-40 aktivitesinin en düşük ortalama değeri 124,473 Bq/kg, en yüksek ortalama değeri 304,809 Bq/kg’dır. U-238(Ra) aktivitesinin en düşük ortalama değeri 51,582 Bq/kg, en yüksek ortalama değeri 109,200 Bq/kg’dır. Th-232 aktivitesinin en düşük ortalama değeri 38,692 Bq/kg, en yüksek ortalama değeri 62,059 Bq/kg’dır. Tüm yöreler içinde K-40 aktivitesinin en düşük ortalama değeri Burdur yöresine, en yüksek ortalama değeri Uşak yöresine, U-238(Ra) aktivitesinin en düşük ortalama değeri Burdur yöresine, en yüksek ortalama değeri Afyonkarahisar yöresine ve Th-232 aktivitesinin en düşük ortalama değeri Afyonkarahisar yöresine, en yüksek ortalama değeri Uşak yöresine ait mermerlere ait olduğu görülmüştür.



Şekil 5-10: Tüm yörelere ait ortalama K-40, U-238(Ra) ve Th-232 aktiviteleri



Şekil 5-11: Tüm yörelere ait ortalama K-40, U-238(Ra) ve Th-232 aktivitelerin karşılaştırılması

Tüm yörelere için K-40, U-238 (Ra) ve Th-232 aktivitelerine göre ortalama absorblanmış doz hızı ve ortalama yıllık etkin doz eşdeğeri çizelge 5.18’de gösterilmiştir.

Çizelge 5-18: Tüm yöreler için göre ortalama absorblanmış doz hızı ve ortalama yıllık etkin doz eşdeğeri

Örnek tanımı	K-40		U-238 (Ra)		Th-232		D (nGy/h)	YEDE(mSv/yıl)
	Bq/kg	nGy/h	Bq/kg	nGy/h	Bq/kg	nGy/h		
Afyonkarahisar	241,978	10,404	109,200	46,628	38,692	25,612	82,644	0,506
Eskişehir	208,641	8,97	63,838	27,26	42,358	28,04	64,27	0,394
Denizli	216,713	9,31	84,017	35,87	58,145	38,50	83,68	0,513
Burdur	124,473	5,35	51,582	22,02	51,246	33,95	61,32	0,376
Uşak	304,809	13,10	70,535	30,12	62,059	41,08	84,30	0,516

Çizelge 5.18’de görüldüğü gibi tüm yöreler için hesaplanan hem ortalama absorblanmış doz hızı hem de ortalama yıllık etkin doz eşdeğerinin en düşük değeri Burdur yöresine en yüksek değer Uşak yöresine aittir.

6. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada evlerimizde gerek binaların yapımında gerekse mutfak gibi odalarda dekoratör ve tezgâh gibi birçok amaçla kullanılmakta olan mermerlerdeki doğal radyoaktivite ölçümü gerçekleştirilmiştir. Afyonkarahisar ve civar illerdeki örnekler üzerinde yapılan ölçümlerde 5 tanesi Afyonkarahisar olmak üzere toplam 23 mermer numunesindeki K-40, U-238(Ra) ve Th-232 aktiviteleri ölçülmüştür. Bu aktivitelerden faydalanılarak radyasyonun etkisini en iyi değerlendirildiği etkin dozlar hesaplanmıştır. Her bir şehir için elde edilen ortalama değerler ve limit değerleri (UNSCEAR 2000) ile karşılaştırılması çizelge 6.1 de verilmiştir.

Çizelge 6-1: Ölçülen aktivite ve etkin doz değerleri ile limitlerin karşılaştırılması

Örnek tanımı	K-40 Bq/kg	K-40 için limit değer Bq/kg	U-238 (Ra) Bq/kg	U-238 için limit değer Bq/kg	Th-232 Bq/kg	Th-232 için limit değer Bq/kg	YEDE(mSv/yıl)	TEDE için limit değer (mSv/yıl)
Afyonkarahisar	241,978	500	109,200	50	38,692	50	0,506	5
Eskişehir	208,641		63,838		42,358		0,394	
Denizli	216,713		84,017		58,145		0,513	
Burdur	124,473		51,582		51,246		0,376	
Uşak	304,809		70,535		62,059		0,516	

Bu çizelgeden görüldüğü gibi hiçbir örnekteki K-40 değeri limit değerlerinin altında görülürken Burdur hariç diğer illerdeki U-238 limit değerinin üzerinde gözükürken Th-232 için Afyonkarahisar ve Eskişehir hariç diğer illerde az da olsa bir yükseklik görülmektedir. Bu değerlerin yüksek ya da düşük olmasının önemli olmasına karşın asıl önemli olan bu aktivitelerin ortama yaymış oldukları toplam etkin doz değerleridir. Çizelge 6.1 den çok net bir şekilde görülmektedir ki hiçbir mermer çeşidinden elde

edilen etkin doz değerleri limit değerinin üzerinde olmayıp yaklaşık olarak 10 kat daha düşük olarak bulunmuştur.

Elde edilen aktivitelerin dünyanın diğer bölgelerinde de mermerlerle ilgili değişik çalışmalardan elde edilen değerlerle karşılaştırılması yapılarak Çizelge 6.2 gösterilmiştir. Buradan görülmektedir ki mermerlerle ilgili yapılan çalışmalarda değişik ülkelerdeki sonuçlar oldukça değişken bir dağılım göstermektedir.

Çizelge 6-2: Afyonkarahisar yöresi mermerlerine ait K-40, U-238(Ra) ve Th-232 aktivitelerinin dünyanın diğer yerlerinde alınan değerlerle karşılaştırılması

Örnek Yeri	K-40 (Bq/kg)	U-238(Ra) (Bq/kg)	Th-232 (Bq/kg)	Referans
Afyon	241,98	109,2	38,7	Bu çalışma
Kameron	19	8	0,35	M. Ngachin et al. 2007
Cezayir	310	23	18	Amrani, D. 2001
Ürdün	85	20	11,4	Ahmad, M.1997.
Kuveyt	3,7	3,9	0,22	Bou-Rabee, F. 1996.
Pakistan	98	29	32	M. Faheem et al. 2008
Yunanistan	ölçülemedi	1,8	2,2	H. Papaefthymiou, 2008.
Yunanistan		16,58		D. Krsti'ca, 2007.
Bulgaristan		10,5		D. Krsti'ca, 2007.
Makadonya		9,41		D. Krsti'ca, 2007.
Mısır	865	205	115	Ahmed, 2005.

Burada Afyonkarahisar mermerlerine ait aktivite değerleri Mısır'da elde edilen değerlerden düşüktür. Cezayir'de elde edilen sonuçlara bakılırsa sadece K-40 aktivitesi açısından düşüktür U-238(Ra) ve Th-232 aktiviteleri oldukça yüksektir. Geriye kalan diğer yerlere göre ise Afyonkarahisar mermerlerinde elde edilen aktivite değerleri oldukça yüksektir.

Sonuç olarak Türkiye'de mermer gibi madenlerin çok yaygın olarak kullanıldığı göz önüne alındığında yapılan bu çalışmanın literatürde rastlanmayan çalışmaların başında yer alması bakımından oldukça önemlidir. İleride bu tür çalışmaların geliştirilerek Türkiye'de çıkarılan tüm mermerlere yönelik olarak geliştirilmesi önemli olacaktır.

KAYNAKLAR

- Ahmed, N.K., 2005. Measurement of natural radioactivity in building materials in Qena city, Upper Egypt. *J. Environ. Radioact.* 83, 91–99.
- Ahmad, M.N., Hussein, A.J.A., 1997. Natural radioactivity in Jordanian building materials and the associated radiation hazards. *J. Environ. Radioact.* 39, 9–22.
- Ajayi, O.S.; 2000, distribution of natural radioactivity in rocks from İkogosi-ekiti, southwestern nigeria and its radiological implications, *Health Phys.*, Vol 79, Pages 192-195.
- Akkurt I, Kılınçarslan S. Başyigit C. 2004, The Photon Attenuation Coefficients of Barite, Marble and Limra, *Annual Nuclear Energy* vol 31 (5) pages 577-582
- Algüneş, Ç., 2002, Radyasyon Biyofiziği, Trakya Üniversitesi Yayınları, Yayın No:54
- Alkan, H., 1989, İstanbul İçme Suyu Kaynaklarının Kirlilik Analizleri Radyoaktivite ve Ağır Metal Kirliliği, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- Amrani, D., Tahtat, M., 2001. Natural radioactivity in Algerian building materials. *Appl. Radiat. Isot.* 54, 687–689.
- Blyth, F.G., 1983, *Geology for Engineers*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, İstanbul.
- Bou-Rabee, F., Bem, H., 1996. Natural radioactivity in building materials utilized in the state of Kuwait. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 213 (2), 143–149.
- Brai, M.; Basile, S.; Bellia, S.; Hauser, S.; Puccio, P.; Rizzo, S.; Bartolotta, A.; Liçciardello, A.; 2002, Environmental radioactivity at Stromboli (Aerolian Islands), *Applied Radiation and Isotopes*, Vol 57, Pages 99-107.

Çelebi, N., 1995, “Çevresel Örneklerde Uranyum, Radyum ve Radon Ölçüm Tekniklerinin Geliştirilmesi”, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Doğru M.,1993, “ A study of GaAs Microstrip and pad detectors for high energy physics” Doktora tezi, Universty of Shaffield, 57p.

D. Krstića, D. Nikezić, N. Stevanović, D. Vučić Radioactivity of some domestic and imported building materials from South Eastern Europe Radiation Measurements 42 (2007) 1731 – 1736.

Eisenberg,R.L.,1992, Radiology, An Illustrated History, Mosby-Year Book.

Ereş,F.S., Radon Kirliliği, 1998, Ege Üniversitesi, Çevre Sorunları Uygulama Sempozyumu ve Araştırma Merkezi, Çevre Çevre Bilimi Bahar Okulu II, Karaburun, İzmir, Ders notları, sayfa 30-46.

Erguvanlı,K., 1994, Mühendislik Jeolojisi, Seç Yayın Dağıtım, İstanbul.

EPA-600/4-80-32, 1980, United States Environmental Protection Agency, Procedure of Environmental Monitoring and Support Laboratory, Cincinnati, USA.

Güleç, K., 1973, Afyonkarahisar Mermerlerinin Mühendislik Jeolojisi ve Fiziko-Mekanik Özelliklerinin Ayrışma ile İlişkisi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, İstanbul.

Gür,F., 1999, Doğal Dış Radyasyonun İzmir İlinde Yaşayanların Aldıkları Toplam Doza Katkısının Belirlenmesi, Ege Üniversitesi, Fen-Bilimleri Enstitüsü, Nükleer Bilimler Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.

H. Papaefthymiou, O. Gouseti Radiation Measurement (2008), doi: 10.1016/j. radmeas. 2008.03.032.

Kahveci,M., 1993 izmir Çevresinde Yetiştirilen Patateslerde Radyoaktivite Tayini, Ege Üniversitesi, Nükleer Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.

Karakelle,B.; Öztürk,N.; Köse,A.; Varinlioğlu,A.; Erkol,A.Y.; Yılmaz,F.,2002, Natural radioactivity in soil samples Kocaeli basin, Turkey, Journal Of Radioanalytical And Nuclear Chemistry, Vol 254, Pages 649-651.

Kenny, A.W., 1971, Radioactive Contamination Arising from the Peaceful Uses of Atomic Energy, Thesymp. On Nuc. Tech. In Envi. Pollution, AEA, Oct. 26-30, Salzburg.

Kuşçu, M., 2001, Endüstriyel Kayaçlar ve Mineraller, Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Isparta.

L'Annunziata, M., 1998, Radioactivity Analysis, Academic Praess.

Mason, B., 1952, Principle of Geochemistry, John Willey & Sons Ins. New York..

Malczewski,D.; Teper,L.; Doarda,j., 2004, Assessment of natural and anthropogenic radioactivity levels in racks and soils in the environs of Swieradow Zdroj in Sudetes, Poland, by in situ gamma-ray spectrometry, Journal of Environmental Radioactivity, Vol 73, Pages 233-245.

Mavi, B, 2008 Gama Spektrometresi ile Kömür Örneklerindeki Radyoaktivite Tayini, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Semineri (Yön. Doç.Dr. İ. Akkurt).

M. Faheem et al. / Radiation Measurements. (2008), doi: 10.1016/j. radmeas. 2008.02.014.

M. Ngachin et al. / Radiation Measurements 42 (2007) 61 – 67.

NCRP Report 50, 1976, National Council on Radiation Protection and Measurement
Environmental Radioation.

Öktem, G., 2001, Türkiye ve Doğal Taşları, Mart Matbaacılık, İstanbul.

Özbal, Ö., 1999, “İzmir Balçova’da Termal Su Kullanılan Binalarda Radon Konsantrasyonu ve Sudaki Radonla Korelasyonu” Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Özden, N., 1990, Sanayide Radyasyondan Korunmanın Esasları, Aliğa Petrokimya San. Ve Tic. A.Ş. İzmir.

Öztürk, F., Mermer Teknolojisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Phair, G., Gottfried, D., 1964, The Colorado Front Range as a Uranium and Thorium Province, Natural Radioation Environment, William March Rice Uni. Colorado, USA.

Rogers, V., C., Nielson K., 1991, “Correlations for Predicting Air Permeabilities and ²²²Rn Diffusion Coefficients of Soils”, Health Physics 61, pp. 225-230

Rosseland, S., Z. Physik, 14, p.173, (1923).

Sagan S.A., Kullab M.K., İsmail A.M., 2001, Radionuclides in hot mineral spring waters in Jordan. Journal of Environmental Radioactivity 52;99-107.

Saha, G.B., 1998, Fundamentals of Nuclear Pharmacy, Fourth edition, Springer.

Sayar, M., Erguvanlı, M., 1955, Türkiye Mermerleri ve İnşaat Taşları, İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, İstanbul.

- Selvasekarapandian,S.; Sivakumar,R.; Manikadan,N.M.; Meenakshisundaram,V.; Raghunath,V.M.; Gajendran,V.; 2000, Natural radionuclide distribution in soils of Gudalore, India, Applied Radiation and Isotopes, Vol 52, Pages 299-306.
- Surbeck, H., 1991, "The Search for Radon Sources, Second Workshop on Radon Monitoring in Radioprotection" Environmental and/or Earth Sciences, SMR/ 598-3, ICTP, Italy.
- Şeker, Ş.S., Çerezci, O., 1997, Çevremizdeki Radyasyon ve Korunma Yöntemleri, Boğaziçi Üniversitesi Elektrik Elektronik Bölümü, İstanbul.
- Tombul, M., Güngör, N., 1997, Türkiye II. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Afyonkarahisar.
- Türkmen, F., 1995, Mermercilik Sektöründe Çevre Mevzuatı, Türkiye I. Mermer Sempozyumu, Afyonkarahisar.
- UNSCEAR, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation,1988, Sources, Effects, and Risks of Ionizing Radiation, United Nations sales publication No. E. 88. IX.7, New York.
- UNSCEAR, 2000, The United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation.
- Weber, R., Esterlund, R.A., Patzelt, P., 1999, Alpha Spectrometric Analysis of Thoryum Using Solid Phase Extraction for Samole Prepartion, Applied Radiation and Isotopes, 50, 929-934.
- Wienberg, S., 2002, Atom altı Parçacıklar, Tübitak Popüler Bilim Kitapları, Ankara.
- Willey, P.J., 1970, The Dinamic Earth Textbook in Geoscience, John Willey & Sons Ins. New York.

Yeboah,J.; Boadu,M.; Darko,E.O.; 2001, Natural radioactivity in soils and rocks within the greater accra region of Ghana, Journal Of Radioanalytical And Nuclear Chemistry, Vol 249, Pages 629-632.

Zararsız, S., 2005, “Uranyum” Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Teknoloji Dairesi <http://www.taek.gov.tr>

Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, TAEK, <http://www.taek.gov.tr>.

<http://www.chemicalelements.com>

http://www.taek.gov.tr/bilgi/bilgi_maddeler/radbiryasam.html

http://www.taek.gov.tr/bilgi/bilgi_maddeler/dogalrad.html

<http://www.kimyaevi.com>

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Kadir GÜNOĞLU

Doğum Yeri : Oğuzeli-Gaziantep

Doğum Tarihi : 10-04-1981

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Gaziantep Mehmet Rüştü Uzel End. Mes. Lisesi (1995-1998)

Lisans : İzmir Ege üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü (2000-2005)

Yüksek Lisans : Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Bölümü (2005-)