

**AMASYA KÖMÜR OCAKLARINDAN ÇIKARILAN
KÖMÜRLERİN DOĞAL RADYOAKTİVİTESİNİN
BELİRLENMESİ**

Mustafa Cevat BOZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
NÜKLEER FİZİK ANABİLİM DALI**

**AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Aralık 2015
AMASYA**

**AMASYA KÖMÜR OCAKLARINDAN ÇIKARILAN
KÖMÜRLERİN DOĞAL RADYOAKTİVİTESİNİN
BELİRLENMESİ**

Mustafa Cevat BOZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
NÜKLEER FİZİK ANABİLİM DALI**

**AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Aralık 2015
AMASYA**

Mustafa Cevat BOZ tarafından hazırlanan Amasya Kömür Ocaklarından Çıkarılan Kömürlerin Doğal Radyoaktivitesinin Belirlenmesi adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Feda ÖNER

Tez Danışmanı, Fizik Anabilim Dalı, A.Ü.

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Fizik Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Üye başkan :

Fizik Anabilim Dalı, A.Ü.

Üye :

Fizik Anabilim Dalı, A.Ü.

Üye :

Fizik Anabilim Dalı, A.Ü.

.././ 2015

Bu tez ile A.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yaptığımı bildiririm.

Mustafa Cevat BOZ



**AMASYA KÖMÜR OCAKLARINDAN ÇIKARILAN KÖMÜRLERİN
DOĞAL RADYOAKTİVİTESİNİN BELİRLENMESİ**

[Yüksek Lisans Tezi]

Mustafa Cevat BOZ

**AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Aralık 2015

ÖZET

^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyoaktif çekirdekleri doğada bol miktarda bulunmaktadır. Bu elementlerin radyoaktivite değerlerinin belirlenmesi sağlığımız için çok önemlidir. Bu çalışmada Amasya bölgesinden çıkarılan taş kömürlerinin doğal radyoaktiviteleri NaI(Tl) dedektörü kullanılarak ölçülmüştür. Doğal radyoaktif çekirdeklerle ilişkili spesifik aktivite konsantrasyonu (A), havada absorblanmış doz oranı (D), yıllık etkin doz (AED), radyum eşdeğer aktivitesi (Ra_{eq}) ve dış tehlike indeksi (H_{ex}) hesaplanmıştır. ^{226}Ra için 59.91 Bq/kg, ^{232}Th için 51.32 Bq/kg ve ^{40}K için 360.73 Bq/kg maksimum aktivite değerleri hesaplanmıştır.

Bilim Kodu :
Anahtar Kelimeler : Doğal Radyoaktivite, Kömür, Amasya
Sayfa Adedi :
Tez Yöneticisi :

**DETERMINATION OF NATURAL RADIOACTIVITY OF THE
EXTRACTED COAL FROM COAL MINES IN AMASYA**

[M.Sc. Thesis]

Mustafa Cevat BOZ

AMASYA UNIVERSITY

INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

December 2015

ABSTRACT

^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K radionuclides are plentiful in nature. These elements are very important to our health determination of radioactivity values. In this studies, natural radioactivity of coal extracted in the Amasya region was measured using a NaI(Tl) detector. The specific activity concentration (A), Absorbed dose rate in air (D), annual effective dose (AED), radium equivalent activities (Ra_{eq}), and external hazard index (H_{ex}) associated with the natural radionuclide are calculated. Maximum activity values were calculated as 59.91 Bq/kg for ^{226}Ra , 51.32 Bq/kg for ^{232}Th and 360.73 Bq/kg for ^{40}K .

Science Code :
Keywords : Natural Radioactivity, Coal, Amasya
Page Number :
Adviser :

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren hocam Prof. Dr. Feda ÖNER'e yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım hocam Doç. Dr. Betül ÇETİN'e ve laboratuvarında görevli tüm çalışma arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Radyasyonun Keşfi	2
1.2. Radyasyon	3
1.2.1. İyonize eden radyasyon	3
1.2.1.1. Alfa parçacıkları.....	5
1.2.1.2. Beta parçacıkları.....	6
β^- Bozunumu	6
β^+ Bozunumu	7
Elektron Yakalama Olayı	8
1.2.1.3. Gama ışıması	9
Gama Işınlınının Maddeyle Etkileşmesi	10
Fotoelektrik Soğurma.....	10
Compton Saçılımı	11
Çift Oluşumu	12
1.2.2. Radyoaktif bozunma kanunu	13
1.2.2.1. Yarılanma süresi ve ortalama ömür	14
1.3. Doğal Radyoaktivite	15

1.3.1. Doğal radyoaktif seriler ve doğal radyoaktif elementler	16
1.3.1.1. Uranyum bozunum serisi	16
1.3.1.2. Toryum bozunum serisi.....	17
1.3.1.3. Aktinyum bozunum serisi.....	18
2. DOĞAL RADYOAKTİVİTE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ	20
2.1. Dedektörler	20
2.1.1. İyon odası	20
2.1.2. Orantılı sayaç.....	21
2.1.3. Geiger – Müller sayacı.....	21
2.1.4. Sintilasyon sayacı	23
2.1.5. Yarı iletken dedektörler	24
3. KAYNAK ÖZETİ.....	26
4. MATERYAL VE YÖNTEMLER.....	30
4.1. Amasya Bölgesi ve Özeklikleri	30
4.1.1. Coğrafi yapısı	30
4.1.2. İklim özellikleri	30
4.1.3. Jeolojik yapısı	30
4.2. Numunelerin Toplanması ve Analiz İçin Hazırlanması	31
4.2.1. Numunelerin özellikleri.....	32
4.2.2 Numunelerin analize hazırlanması.....	33
4.3. Deney Düzenegi	34
4.3.1. Gama spektrometre sistemi.....	34
4.3.2. NaI(Tl) dedektörü	35
4.3.3. Elektronik üniteler.....	36
5. ARAŞTIRMA BULGULARI	38
5.1. Aktivite Ölçüm Sonuçları.....	38
5.2. Aktivite Sonuçlarının Hesaplanması.....	38
5.3. Absorblanmış Doz Hızı.....	43
5.4. Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri.....	44
5.5. Radyum Eşdeğer Aktivitesi.....	46
5.6. Kömürler İçin Dış Ortam Tehlike İndeksi ve Gama Aktivite İndeksi	47
6. TARTIŞMA VE SONUÇ	50

7. KAYNAKLAR	51
ÖZGEÇMİŞ	58



ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1.1. Bir insanın yıllık aldığı radyasyon doz oranları.....	2
Çizelge 1.2. Radyasyon çeşitleri	3
Çizelge 1.3. Alfa parçacığı yayımlayan bazı izotoplar ve özellikleri	6
Çizelge 1.4. Yer kabuğunda bulunan doğal radyoaktif maddeler ve yarı ömürleri [Karabulut, 2008].....	16
Çizelge 1.5. ²³⁸ U Serisine ait radyonüklitlerin yarı ömür ve bozunum türleri [Akbayır, 2008].....	17
Çizelge 1.6. ²³² Th Serisine ait radyonüklitlerin yarı ömür ve bozunum türleri [Akbayır, 2008].....	18
Çizelge 1.7. ²³⁵ U Serisine ait radyonüklitlerin yarı ömür ve bozunum türleri [Akbayır,2008].....	19
Çizelge 4.1. Amasya iline ait bazı iklim özellikleri [Amasya Müzesi].	30
Çizelge 4.2. Toplanan numunelerin derinlikleri, çıkartıldıkları kömür ocakları ve isimlendirilmesi.	32
Çizelge 4.3. Kömürde bulunan minerallerin sınıflandırılması [Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu].....	33
Çizelge 5.1. Dünya genelinde, bir insanın doğal radyasyon kaynaklarından maruz kaldığı yıllık etkin doz değerleri [UNSCEAR, 2007].....	46

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Alfa, beta ve gama radyasyonu zırlama yöntemleri.....	4
Şekil 1.2. ²²⁸ Ra çekirdeğindeki β- ışınması [Mavi, 2010]	7
Şekil 1.3. ²³⁰ Pa çekirdeğindeki β+ ışınması [Mavi, 2010].....	8
Şekil 1.4. Ra- 226'nın bozunma şeması [Bostancı, 2011].....	9
Şekil 1.5. Fotoelektrik olay [Günoğlu, 2012]	11
Şekil 1.6. Compton etkileşmesi [Keskin, 2008].....	12
Şekil 1.7. Çift oluşumu [Keskin, 2008]	13
Şekil 2.1. İyon odası dedektörü.....	20
Şekil 2.2. Gazlı sayaç şematik gösterimi [Öter, 2013].....	21
Şekil 2.3. Geiger – Müller Dedektörü [Öter, 2013].....	22
Şekil 2.4. Gazlı dedektörlerin etkin olduğu Voltaj aralıkları [Karakılıç, 2013]	23
Şekil 2.5. Sintilasyon dedektörünün şematik gösterimi [Karakılıç, 2013]	24
Şekil 2.6. Yarı iletken bir dedektörün şematik gösterimi [Keser, 2009].....	25
Şekil 4.1. Boş numune kabı ve doldurulup tartılmış, ağzı sıkıca kapatılmış numune kabı	31
Şekil 4.2. Gama spektrometresinin şematik gösterimi [Berker, 2014]	34
Şekil 4.3. Kullanılan NaI(Tl) dedektörü (üstte) ve iç yapısı (altta) [Günoğlu, 2012] 36	36
Şekil 4.4. DSPEC LF modülü (üstte) ve yüksek gerilim modülü (altta).....	37
Şekil 4.5. MAESTRO-32 yazılımı yardımıyla elde edilen örnek bir spektrum.....	37
Şekil 5.1. Örnek bir spektrum	38
Şekil 5.2. Ölçüm alınan örnek bir numuneden elde edilen spektrum.	39
Şekil 5.3. Tüm numunelerin ⁴⁰ K için aktivite konsantrasyonları.....	41
Şekil 5.4. Tüm numunelerin ²²⁶ Ra için aktivite konsantrasyonları.....	41

Şekil 5.5. Tüm numunelerin ^{232}Th için aktivite konsantrasyonları	42
Şekil 5.6. Dünya genelinde yapılan çalışmalarda elde edilen aktivite değerleri ile bu çalışmada elde edilen aktivite değerlerinin karşılaştırılması.....	43
Şekil 5.7. Absorblanmış doz hızı	44
Şekil 5.8. Yıllık etkin doz eşdeğeri	45
Şekil 5.9. Radyum eşdeğer aktivitesi	47
Şekil 5.10. Dış ortam tehlike indeksi	48
Şekil 5.11. Gama aktivite indeksi	49

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Simgeler	Açıklama
α	Alfa Parçacığı
β	Beta parçacığı
γ	Gama ışını
λ	Bozunum sabiti
ϵ	Dedektör verimliliği
m	Kütle(kg)
A	Aktivite
N	Atom Sayısı
R	Sayım Sayısı

Kısaltmalar

Kısaltmalar	Açıklama
ÇKA	Çok kanallı analizör
OECD	Organization for Economic Co-operation and Development
TAEK	Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
TKİ	Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu
UNSCEAR	United Nations Scientific Committee On The Effects Of Atomic Radiation

1. GİRİŞ

Radyasyon doğal kaynaklar ve teknolojinin getirmiş olduğu yenikler sebebiyle hayatımızın bir parçası olmuştur. Dünya'nın oluşumundan bu yana yer kabuğunda bulunan radyoaktif elementler ve kozmik ışınlar sebebiyle insanoğlu varoluşundan beri radyasyona maruz kalmaktadır [Çeliktürk, 2015].

İnsanoğlu genel itibariyle iki yolla ışınlanmaya uğramaktadır. Bu ışınları iç ve dış radyasyon ışınlanmaları şeklinde ayırmak mümkündür. Solunum ve sindirim yoluyla vücudumuza almış olduğumuz hava, su ve gıda gibi maddelerde radyoaktif elementler bulunmaktadır. Bu radyoaktif maddeler zamanla organlarımızda birikerek iç radyasyon ışınlanmasına yol açmaktadır. Yer kabuğunda bulunan radyoaktif elementler ve kozmik radyasyonlar sebebiyle de dış ışınlanmalara maruz kalmaktadır [Mavi, 2010].

Tarım, Hayvancılık, araştırma, endüstri, tıp, enerji üretimi gibi bir çok alanda kullanılan radyoaktif kaynaklar, nükleer silah denemeleri, nükleer teknoloji geliştirme ve uygulamaları, x ışını ve yapay radyoizotopların kullanımları ile yapay radyasyona maruz kalmaktadır [NCRP, 1987].

Maruz kalınan bu radyasyonlardan alınan doz miktarları bir çok faktöre göre değişiklik gösterir. Yaşanılan bölgenin fiziksel özellikleri, coğrafi şartlar ve yaşam standartlarına bağlı olarak değişim göstermektedir [TAEK, 2009].

Bir insanın yıllık aldığı ortalama doz oranları Çizelge 1.1'de verilmiştir.

Çizelge 1.1. Bir insanın yıllık aldığı radyasyon doz oranları

KAYNAK	TOPLAMDAKİ ORAN
Doğal	
Radon	54%
Kozmik	8%
Karasal	8%
İçsel	11%
Yapay	
Medikal X-Işınları	11%
Nükleer Tıp	4%
Nükleer Santraller	1%
Tüketici Ürünleri	3%

Uzun yarı ömürlü radyoaktif elementler sebebiyle yer kabuğu kaynaklı radyasyon dünyanın var oluşundan beridir devam etmektedir. Yer kabuğunda bulunan uranyum, toryum ve potasyum radyoaktif elementleri yer kabuğu kaynaklı radyasyonun önemli bir kısmını sağlamaktadır.

Ülkemizde yaşanan ölümlerin yaklaşık %23.5'i kanser sebebiyle olmuştur [Başkurt, 2012]. ²²²Ra ve onun kısa yarı ömürlü ürünlerinin solunmasının kanser riski oluşturduğu tüm dünyada kabul edilmektedir [Mavi, 2010]. Yeraltı madenlerinde çalışan maden işçileri bu yer kabuğu kaynaklı radyasyondan daha fazla etkilenmektedirler. Bu nedenle bu çalışmada Amasya bölgesinden çıkarılan kömür numunelerinin doğal radyoaktivitesi incelenmiş ve radyasyon zararı tespit edilmiştir.

1.1. Radyasyonun Keşfi

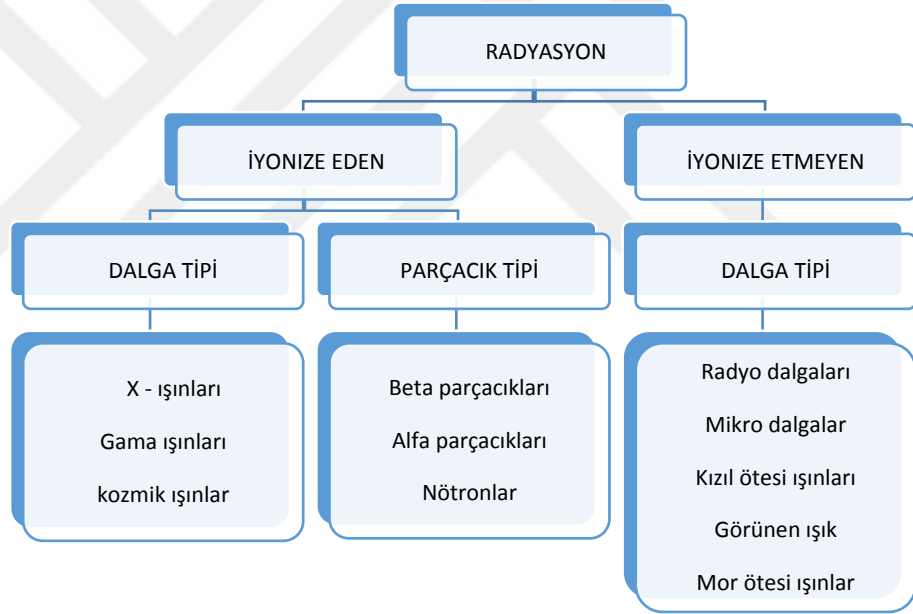
Radyoaktif çekirdeklerin kararlı hale dönerken yayınladıkları enerji olarak tanımlanan radyasyon bilimsel deneyler esnasında bir rastlantı olarak keşfedilmiş ve bu yöndeki ilk çalışmalar Henri Becquerel tarafından 1896 yılında başlatılmıştır. Henri Becquerel Uranyum tuzlarının gözle görülmeyen ışınlar çıkardığını ve ışınların maddelerden geçerek fotoğraf filmlerine etki ettiğini gözlemlemiştir. Daha sonra bu tür ışın çıkarıcı bir çok izotop H. Becquerel, Marie Curie ve Ernest Rutherford tarafından yapılan çalışmalarla keşfedilmiştir [Günoğlu, 2008].

1.2. Radyasyon

Radyoaktif çekirdeklerin kararlı hale geçebilmek amacıyla dışarı yaydıkları hızlı parçacıklar ve elektromanyetik dalgalar olarak da tanımlanabilir [TAEK, 2007].

Bir madde içerisinde geçen radyasyon maddede meydana getirdiği değişikliğe bağlı olarak, iyonize etmeyen (maddenin atomundan elektron koparmayan) ve iyonize eden (maddenin atomundan elektron koparan) şeklinde de sınıflandırılabilir (Çizelge 1.2).

Çizelge 1.2. Radyasyon çeşitleri



1.2.1. İyonize eden radyasyon

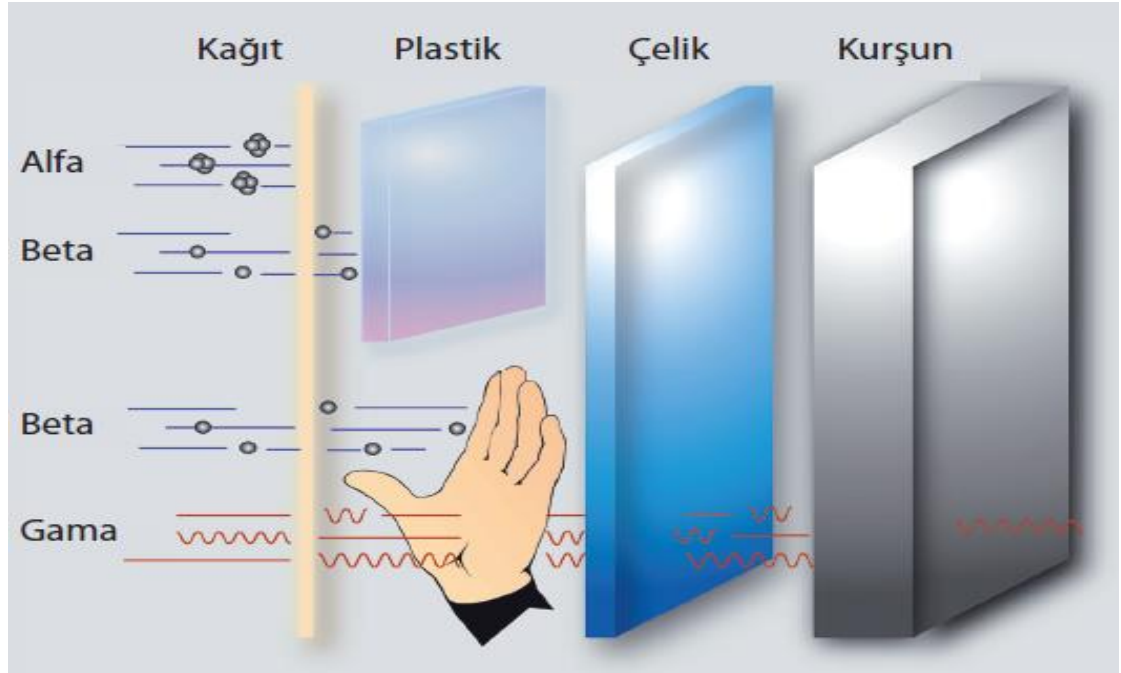
İyonlaştırıcı radyasyonlar geçtikleri maddelerin atomlarını doğrudan veya dolaylı olarak iyonlaştıran ışınlardır. Bu ışınlar geçtikleri maddelerde iyonlar meydana getirmesi sebebiyle “İyonlaştırıcı Radyasyonlar” olarak adlandırılır [Yaren ve Karayılanoğlu, 2005].

Birçok atom çekirdeği kararlı olmasına rağmen, birçoğu da kararsızdır. Kararlılık bir atom çekirdeğinin bünyesinde barındırdığı nötron ve proton sayıları arasındaki orantılılıkla belirlenir. Atom numarası küçük kararlı çekirdekler eşit sayıda nötron ve

proton sayısına sahipken, atom numarası daha büyük olan kararlı çekirdekler ise nötron sayısı proton sayısından biraz daha fazladır [TAEK, 2009].

Eğer çekirdekte Nötron/Proton dengesizliği söz konusu ise çekirdek, beta radyasyonu ile nötronunu protona veya protonunu nötrona dönüştürerek dengeye ulaşmaya çalışır. Bu dönüşümlerden sonra çoğu kez atom çekirdeği, yüksüz ve kütsüz yüksek enerjili foton olan *gama ışınları* yayınlamaya başlayarak fazla enerjisini kaybetmiş olur. Atom çekirdeklerinin bu şekilde fazla enerjilerini kendiliğinden kaybetmesine *radyoaktivite* adı verilir ve yayımlanan fazla enerjiye ise iyonlaştırıcı radyasyon denir. Radyasyon yayarak değişen atom çekirdeklerine radyonüklit ve bu dönüşüm eylemine bozunum denir [TAEK, 2009].

Alfa parçacığı, beta parçacığı ve gama ışınları radyoaktif çekirdekler tarafından yayımlanan iyonlaştırıcı radyasyonlardır ve maddelerin içinden geçebilirler. Şekil 1.1’de bu radyasyonların zırhlamasında kullanılan bazı maddeler gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Alfa, beta ve gama radyasyonu zırhlama yöntemleri

1.2.1.1. Alfa parçacıkları

Alfa parçacıkları, atom çekirdeği tarafından yayınlanan iki nötron ve iki protondan oluşan pozitif yüklü helyum çekirdeğidir (Eş. 1.1). Atom numarası büyük olan radyonüklitler genellikle alfa parçacığı yayarak bozunurlar. Doğal olarak bulunan radyoaktif maddelerden yayınlanan alfa parçacıklarının ortalama enerjileri 5 MeV civarındadır ve dokuda (veya ince kâğıt) yaklaşık 44 µm, havada ise yaklaşık 3,5 cm civarında yol alırlar. Bunun nedeni, kütlece büyük, elektrik yüküne sahip olmaları ve madde içinden geçerken fazla miktarda iyonlaşma meydana getirmelerinden dolayı enerjilerini çok çabuk tüketmeleridir [Arya, 1996].



Alfa parçacıkları, dış ışınlamaya maruz kalan canlılar için önemsizdir, ancak iç ışınlama açısından oldukça önemlidirler, özellikle solunum sisteminden geçerken, kırmızı kemik iliğinde ve kemik yüzeylerinde büyük tahribatlara neden olurlar. Alfa parçacıklarının enerjileri çok kısa yollar boyunca birikirler ve hassas bölge yüzeylerinde sınırlandırılmış yüksek dozlara sebep olurlar. Bu nedenle, radyasyondan korunma açısından özellikle, hava, su ve toprakta alfa radyoaktivite konsantrasyonlarının sürekli izlenmesi önem arz etmektedir [Karatepe, 2008]. Alfa parçacığı yayımlayan bazı izotoplar ve özellikleri Çizelge 1.3'de gösterilmiştir [Knoll, 2000].

Çizelge 1.3. Alfa parçacığı yayımlayan bazı izotoplar ve özellikleri

Radyoizotop	Alfa Enerjisi (MeV) ve (Oluşma yüzdesi)	Yarılanma Ömrü
²³² Th	4,012 (%77) 3,953 (%23)	1,4x10 ¹⁰ yıl
²³⁸ U	4,196 (%77) 4,149 (%23)	4,5x10 ⁹ yıl
²²⁶ Rd	4,871 (%100)	1602 yıl
²⁴¹ Am	5,48 (%85,2) 5,44 (%12,8)	433 yıl
²⁴² Cm	6,11 (%74) 6,06 (%26)	163 gün
²²² Rn	5,49 (%100)	3,8 gün

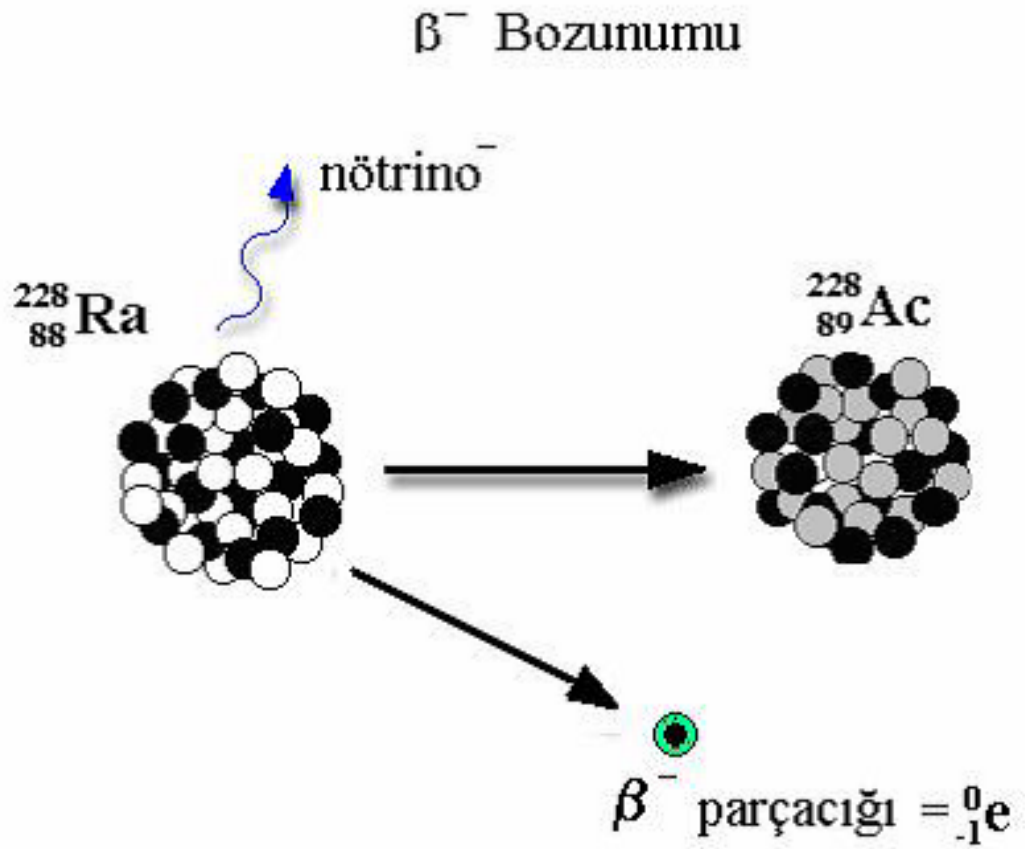
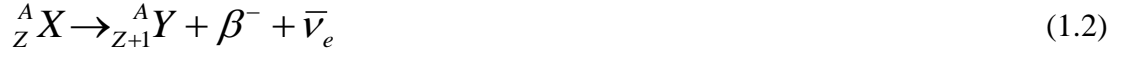
1.2.1.2. Beta parçacıkları

Yükü ve kütlesi olan beta parçacıkları da (e^-), alfa parçacıkları gibi madde ile temas ettiklerinde iyonlaşmaya neden olurlar. Beta parçacıkları alfa parçacıklarına göre daha hafif ve daha giricidir. Hafif olmalarından dolayı alfa parçacıklarına göre daha az iyonlaştırıcı etkiye sahiptirler. Bu parçacıkları durdurmak için ince bir alüminyum levha yeterli olacaktır.

Beta bozunumu 3 farklı şekilde gerçekleşir:

β^- Bozunumu

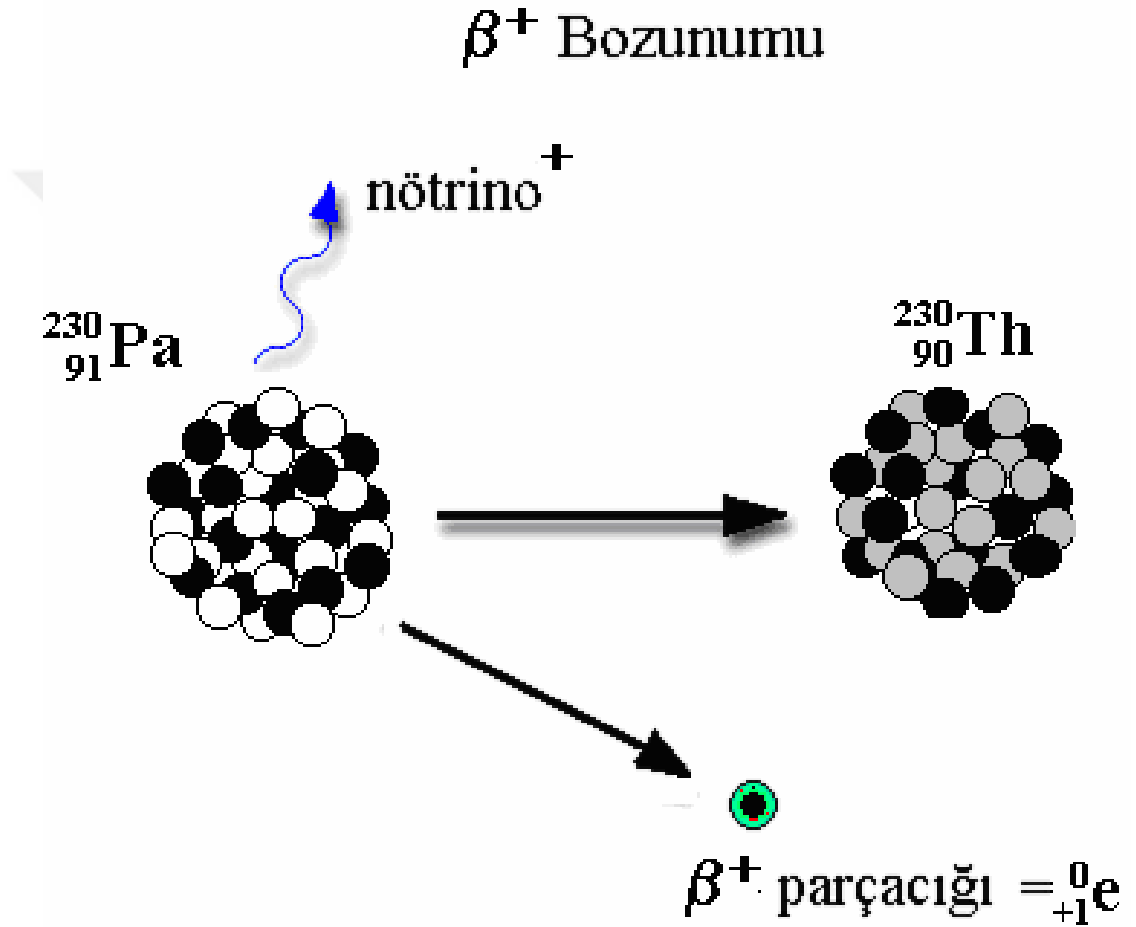
Alfa ışınması yapamayan ve nötron sayısı proton sayısından fazla olan kararsız bir çekirdek, çekirdeğindeki fazla enerjiyi atmak için nötronlarından birini bir proton ve bir anti-nötrino'ya dönüştürür. Bu dönüşüm sonucunda elektron açığa çıkar ve çekirdekte kalamayacak olan bu elektron β^- ışınması olarak yayınlanır. Eş. 1.2 ve 1.3'de bu bozunum şekli formüle edilmiştir [Alakuş, 2013].



Şekil 1.2. ${}^{228}\text{Ra}$ çekirdeğindeki β^- ışıması [Mavi, 2010]

β^+ Bozunumu

Proton sayısının nötron sayısından fazla olması sebebiyle kararsız olan bir radyoaktif çekirdek protonlarından birini bir nötrona dönüştürür ve bu dönüşüm sonucu pozitif yüklü elektron (pozitron) ve nötrino açığa çıkar. Bu bozunum Eş. 1.4 ve 1.5'de formüle edilmiştir [Alakuş, 2013].



Şekil 1.3. ${}^{230}\text{Pa}$ çekirdeğindeki β^+ ışınması [Mavi, 2010]

Elektron Yakalama Olayı

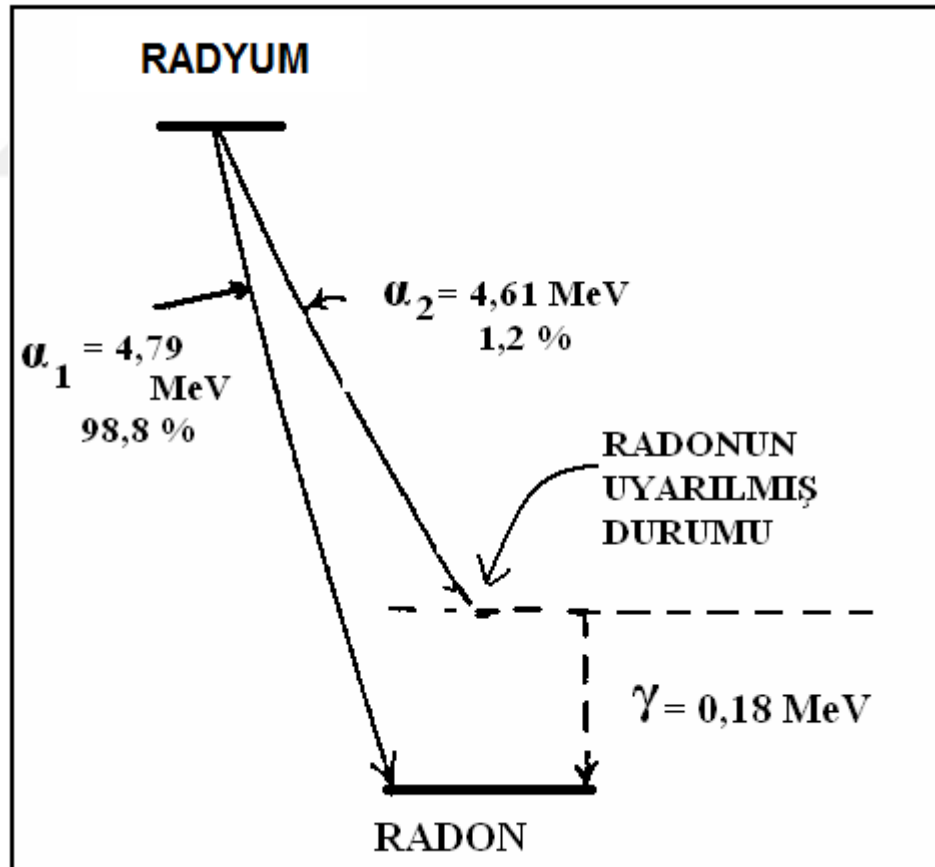
Çekirdek proton sayısının nötron sayısına göre fazla olması sebebiyle kararsızsa ve β^+ yayımlayamıyorsa çekirdeğe yakın yörüngelerde bulunan elektronlardan biri çekirdek tarafından yakalanır. Yakalanan bu elektron ile bir tane proton birleşerek nötron ve nötrino'ya dönüşür. Elektron yakalama sonucu proton sayısı bir eksilirken kütle numarası değişmez. Bu olay Eş. 1.6 ve 1.7'de gösterilmiştir.



Bu olay neticesinde boşalmış elektron yörüngesini üst yörüngeden bir elektron doldurur ve bu geçişler X-ışını üretimine sebep olur [Magill ve ark., 2005].

1.2.1.3. Gama ışıması

Gama radyasyonu genellikle aynı anda beta parçacığı veya alfa parçacığı yayınlayan kararsız atom çekirdeğinden fazla enerjisini atmak amacıyla yayınlanan çok yüksek enerjili fotondur [Bostancı, 2011]. Örnek bir gama ışınımı Şekil 1.4'de gösterilmiştir.



Şekil 1.4. Ra- 226'nın bozunma şeması [Bostancı, 2011]

Gama radyasyonu madde içinden geçerken öncelikle elektronlarla etkileşimleri

sebebiyle, atomlarda iyonlaşmaya sebep olur. Gama ışınları çok girici bir radyasyon olması nedeniyle sadece kurşun ya da çelik gibi, yoğunluğu oldukça yüksek ve kalın malzemelerle zırhlanması sağlanabilir. Bu nedenle gama radyasyonu solunum veya sindirim yoluyla alınmasa bile iç organlarda ciddi radyasyon dozu verebilmektedir [TAEK, 2009].

Gama ışınları kısa sürede uyarılmış çekirdeğin meydana gelmesi sonucunda oluşurlar. Oluşumları şu şekilde açıklanır:

- 1-) Çekirdek içerisinde yüksek enerjili bir yörüngede bulunan nükleonlardan birinin düşük enerjili yörüngeye inmesi.
- 2-) Çekirdeğin, sahip olduğu yüksek titreşim enerjisini değiştirerek daha düşük titreşim düzeyine düşmesi.
- 3-) Çekirdeğin, sahip olduğu yüksek dönme enerjisini değiştirmesi ve daha düşük dönme düzeyine inmesi [Keskin, 2008].

Gama Işınlarının Maddeyle Etkileşmesi

Gama ışınlarının dalga boyları 10^{-10} m ile 10^{-14} m arasındadır. Bu ışınlar yüksüz, kütsüz ve enerjilerinin yüksek olması sebebiyle yüksek derecede gericilik özelliğine sahiptirler. Bu nedenle canlı dokular tarafından soğurulduğunda ciddi zararlar oluştururlar. Tedbir olarak bu tür radyasyonun yanında çalışanlar, kalın kurşun tabaka benzeri iyi soğurucu maddelerle korunmalıdır [Keser, 2009].

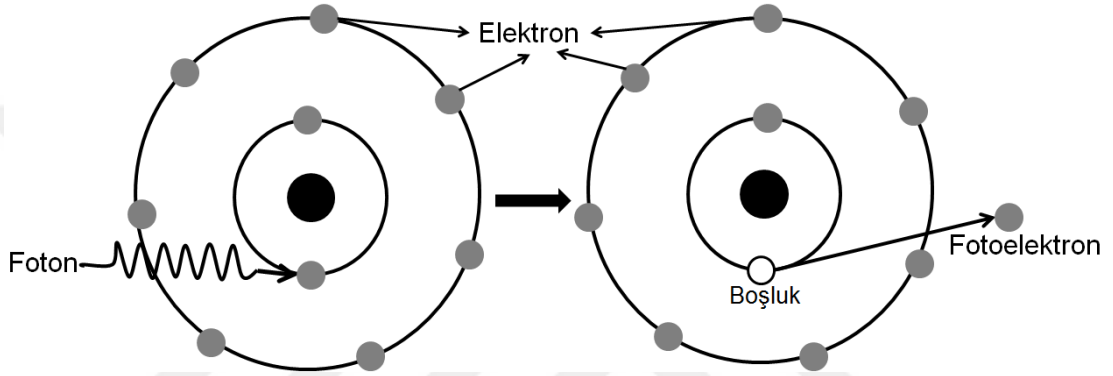
Gama ışınları fotoelektrik soğurma, Compton saçılması ve çift oluşumu biçimlerinde madde ile etkileşebilirler.

Fotoelektrik Soğurma

Fotoelektrik soğurma olayında, $h\nu$ enerjisiyle gelen foton, E_b bağlanma enerjisiyle bir atom yörüngesine bağlı bir elektron ile etkileşir ve foton enerjisinin tamamı soğurulur. Elektron E_e enerjisiyle atomdan uzaklaşır [Bostancı, 2011]:

$$E_e = h\nu - E_b \quad (1.8)$$

Fotoelektrik soğurma olayından sonra fotoelektronun yörüngesinden ayrılması sebebiyle oluşan boşluğa başka elektronların geçmesi neticesinde karakteristik x-ışınları oluşur. Enerjisi 0,5 MeV'den daha küçük olan fotonların ağır kütleli elementler ile soğurulmasında fotoelektrik soğurma sıkça görülmektedir.



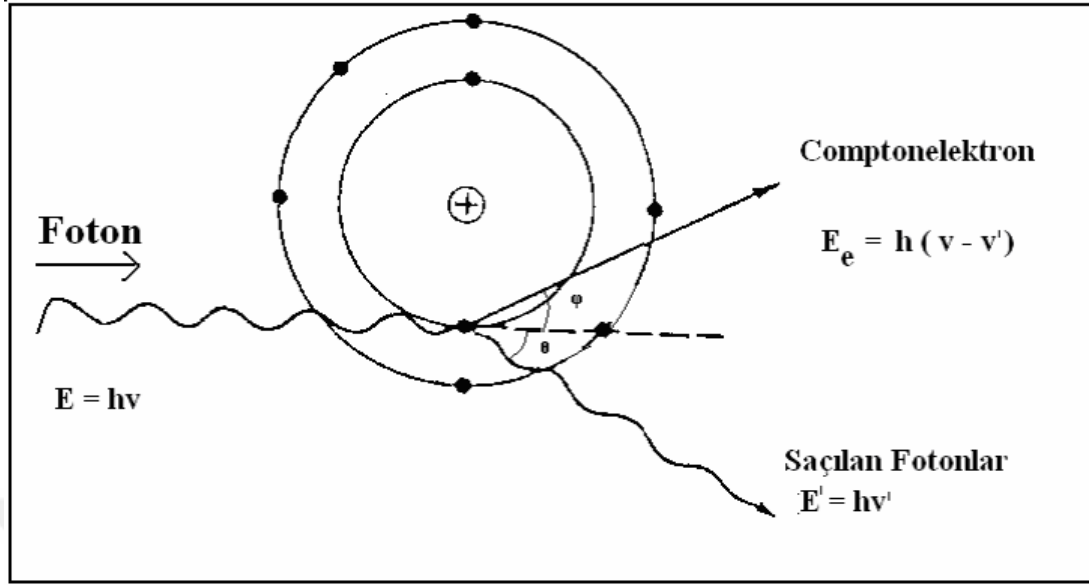
Şekil 1.5. Fotoelektrik olay [Günoğlu, 2012]

Compton Saçılımı

Bu olayda gelen foton, etkileşime girdiği bir atomun elektronu tarafından saçılıma uğrar. Gelen foton, enerjisinin (E_γ) bir kısmını bu elektrona aktarır ve foton farklı bir açıyla ve daha düşük bir enerjiyle (E'_γ) saçılabilir. Bu saçılma sonucu gelen fotonun kaybettiği enerji elektronlara kinetik enerji olarak aktarılır [Altekin, 2014]. Elektrona geçen bu enerji Eş. 1.9'da gösterilmiştir:

$$E_e = E_\gamma - E'_\gamma \quad (1.9)$$

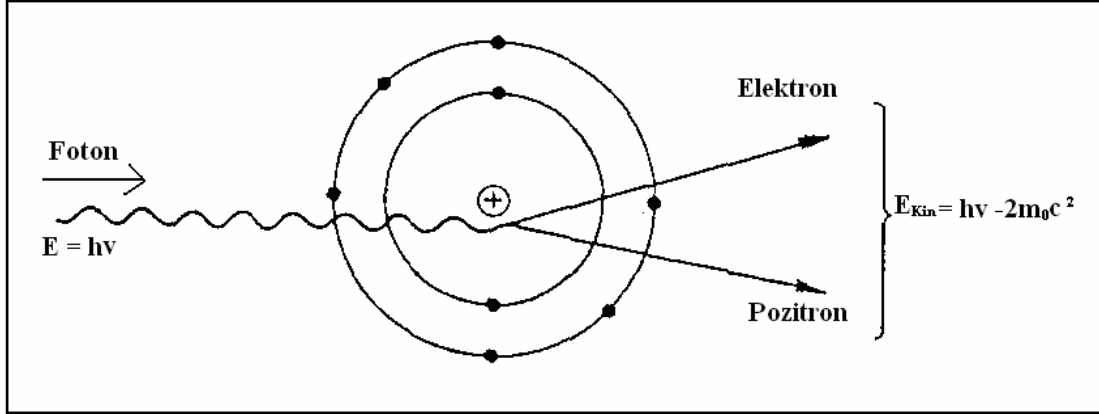
Saçılan gama ışınının enerjisi saçılımdan sonra azalacaktır. Ayrıca gama ışını birden fazla Compton saçılmasına da uğrayabilir. Enerji azaldıkça fotoelektrik olayın oluşması ihtimali artar. Bu sebeple gelen fotonun enerjisinin sadece bir kısmı (Compton saçılması ile) veya tamamı (Compton Saçılmasının ardından bir fotoelektrik soğurulmayla) soğurulabilir.



Şekil 1.6. Compton etkileşmesi [Keskin, 2008]

Çift Oluşumu

Bu olayda gelen gama ışını çekirdeğe yakın bir bölgede elektron-pozitron çifti üreterek kaybolur (Şekil 1.7). Elektron ve pozitronların durgun kütlesi 0.511 MeV'dir. Bu nedenle çift oluşumu olayının gerçekleşmesi için en az 1.02 MeV enerjili ($2mc^2$) bir foton gerekmektedir. Bu olaydan sonra oluşan pozitron ve elektron tekrar birleşerek birbirlerini yok ederler ve iki adet 0.511 MeV'lik gama ışını oluştururlar. Oluşan bu gama ışınları enerjilerinin tamamını veya bir kısmını madde içerisinde Compton saçılması veya onu takip eden bir fotoelektron soğurma olayı ile kaybederler [Keser, 2009].



Şekil 1.7. Çift oluşumu [Keskin, 2008]

1.2.2. Radyoaktif bozunma kanunu

Radyoaktif bir elementte t anında bulunan atom sayısını N ve dt zamanı içinde değişime uğrayan atom sayısını ise dN olarak kabul edelim. Birim zamanda değişime uğrayan atom;

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \quad (1.10)$$

$t=0$ anında $N=N_0$ alınarak üstteki eşitliğin integrasyonundan

$$\begin{aligned} \lambda n N &= \lambda n N_0 - \lambda t \\ N &= N_0 e^{-\lambda t} \end{aligned} \quad (1.11)$$

elde edilir.

Bozunma sabiti radyoaktif elementlerin bir karakteristiği olarak bilinir ve radyoaktif bir elementin saniyedeki bozunma olasılığı olarak tanımlanır [Akça,2011].

Maddenin başlangıçtaki aktivitesi A_0 ve bir t anındaki aktivitesi A ise üstteki bağıntı yerine

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \Rightarrow \lambda N = \lambda N_0 e^{-\lambda t} \Rightarrow A = A_0 e^{-\lambda t} \quad (1.12)$$

yazılabilir ve sayım hızı bakımından

$$R = R_0 e^{-\lambda t} \quad (1.13)$$

eşitliği kullanılabilir.

1.2.2.1. Yarılanma süresi ve ortalama ömür

Bir radyoaktif elementin aktivitesi sabit değildir exponansiyel olarak azalır. Göz önüne alınan elementin aktivitesinin yarıya düşmesi için geçen zamana periyot veya *yarılanma süresi* denir [Görür,2006].

$t_{1/2}$ yarılanma süresi;

$$N = N_0 e^{-\lambda t_{1/2}} \Rightarrow e^{\lambda t_{1/2}} = 2 \quad (1.14)$$

$$t_{1/2} = \frac{0,693}{\lambda} \quad \text{veya} \quad \lambda = \frac{0,693}{t_{1/2}} \quad (1.15, 1.16)$$

olarak bulunur.

Bir radyoaktif elementi oluşturan atomların bazıları çok uzun, bazıları ise çok kısa ömürlüdür. Bu nedenle, ortalama ömür hesaplanmalıdır. Ortalama ömür, mevcut olan bütün atomların ömürleri toplamının başlangıçtaki atom sayısına bölmekle elde edilir. $t=0$ anında mevcut olan N_0 atomdan t ile $t+dt$ arasında değişime uğrayan atom sayısı;

$$dN = \lambda N \cdot dt = \lambda N_0 \cdot e^{-\lambda t} \cdot dt \quad (1.17)$$

olarak ifade edilebilir.

Bu atomların her birinin t zamanı kadar yaşamış olduğu düşünülecek olursa, göz önüne alınan bütün atomların ortalama ömrü;

$$T = \frac{1}{N_0} \int_0^{\infty} \lambda t N_0 e^{-\lambda t} \cdot dt = \frac{1}{\lambda} \quad (1.18)$$

olarak bulunur.

Ortalama ömür bozunma sabitinin tersine eşit olup, bir radyoaktif elementin atom sayısının, başlangıçta mevcut olan atom sayısının ilerisine düşmesi için geçen süreyi gösterir [Görür,2006].

$$\lambda = \frac{1}{\tau} = \frac{0,693}{t_{1/2}} \quad (1.19)$$

1.3. Doğal Radyoaktivite

1896 yılında Henry Becquerel'in radyoaktiviteyi keşfetmesiyle doğal radyoaktivite kavramı günlük hayatımızda yerini almıştır. Yer kabuğunda bulunan ve Dünyanın oluşumundan beridir varlığını sürdüren, atom numarası 83'ten büyük olan bütün atomlar bu grubun içine sokulabilir. Volkanik kayalarda (tortul kayalar ve granit) oldukça yüksek radyasyon seviyesine rastlanılmaktadır. İnsan üzerindeki etkileri düşünüldüğünde kozmik radyasyonlar ve bunların atmosferimizle etkileşmesi neticesinde oluşturdukları radyoaktif parçacıklar da ihmal edilemeyecek kadar önemli bir yer tutmaktadır [Kara, 2008].

Yer kabuğu kaynaklı yayınlanan parçacık ve ışınların oldukça yüksek enerjilere sahip olmaları sebebiyle bunlardan kaynaklanan radyasyonlar iyonize radyasyonlardır. Yer kabuğu kaynaklı dört adet radyoaktif seri bulunmaktadır [Kara, 2008]. Bunlar;

- a) ^{238}U (Uranyum serisi)
- b) ^{232}Th (Toryum serisi)
- c) ^{235}U (Aktinyum serisi)
- d) ^{241}Pu (Neptünyum serisi)

^{238}U , ^{232}Th , ^{235}U serilerinin dünyanın meydana gelmesinden itibaren var olduğu bilinmekle beraber, Neptünyum serisi ise kaynağı olan ^{241}Pu radyoaktif maddesi ve bu serinin bozunum ürünlerinin diğer serilere oranla daha küçük yarı ömürlere sahip olması sebebiyle şu an ortamda mevcut değildir (^{241}Pu ' un yarı ömrü 14 yıldır). Neptünyum radyoelement ailesinin halen bilinmekte olan tek elementi ^{209}Bi elementi olup yarı ömrü 2.7×10^{17} yıldır. Önemli radyonüklitlerin yarı ömürleri öyle uzundur ki dünyanın var oluşundan itibaren varlıklarını sürdürmektedirler. Bu radyonüklitlerden bazıları Çizelge 1.4'de verilmiştir.

Çizelge 1.4. Yer kabuğunda bulunan doğal radyoaktif maddeler ve yarı ömürleri [Karabulut, 2008]

Radyonükleit	Sembol	Yarılanma Ömrü
Uranyum 235	^{235}U	7.04×10^8 yıl
Uranyum 238	^{238}U	1.47×10^9 yıl
Toryum 232	^{232}Th	1.405×10^{10} yıl
Radyum 226	^{226}Ra	1600 yıl
Radon 222	^{222}Rn	3.82 gün
Potasyum 40	^{40}K	1.28×10^9 yıl

1.3.1. Doğal radyoaktif seriler ve doğal radyoaktif elementler

Dünyamızda varlığını sürdüren 3 çeşit doğal radyoaktif seri vardır. Bu seriler sebebi ile hayatımız boyunca yer kabuğu kaynaklı radyasyona maruz kalmaktayız. Bu seriler;

1. ^{238}U (Uranyum serisi)
2. ^{232}Th (Toryum serisi)
3. ^{235}U (Aktinyum serisi)

Serileridir [Krane, 2001].

1.3.1.1. Uranyum bozunum serisi

Uranyum bozunum serisinde; ^{238}U , ^{234}U , ^{230}Th ve ^{226}Ra izotoplarının yarı ömürleri 22,3 ile $4,5 \times 10^9$ yıl arasında değişmektedir. ^{222}Rn , ^{210}Bi ve ^{210}Po izotoplarının yarı ömürleri ise 3,8 ile 138 gün arasında değişim göstermektedir. Bunlar dışında kalan radyoizotopların yarı ömürleri ise 30 dakikanın altında bulunmaktadır. Bu seride yayınlanan alfa parçacıklarının enerjisi 4,2 MeV ile 7,69 MeV arasındadır. Bu alfa bozunumu yapan radyonükleitlerin özellikle 5 tanesi ^{238}U , ^{234}U , ^{230}Th ve ^{226}Ra diğerlerine göre daha tehlikelidir. Bu radyoaktif izotopların yarı ömürleri oldukça uzundur, diğer radyoaktif izotoplara göre buldukları ortamlarda daha uzun süre varlıklarını devam ettirirler ve büyük miktarda radyasyona neden olurlar. Seride yukarıda sayılan sekiz radyoaktif izotopun dışında daha başka alfa bozunumu yapan izotoplar da bulunmaktadır. Ancak bunların yarı ömürleri çok kısa olması sebebiyle

aktiviteye belirgin bir katkıda bulunmazlar.

Uranyum serisinde beta parçacıklarının maksimum enerjisi ise 0,02 ile 3,26 MeV arasında kalır.

Çizelge 1.5. ^{238}U Serisine ait radyonüklitlerin yarı ömür ve bozunum türleri [Akbayır, 2008]

KARASAL RADYONÜKLİTLER			
^{238}U Serisi	Sembol	Yarı Ömür	Bozunum Türü
Uranyum	^{238}U	4.47×10^9 yıl	α (% 100)
Toryum	^{234}Th	24.10 gün	β (% 100)
Protaktinyum	$^{234\text{m}}\text{Pa}$	1.17 dakika	β (% 99.8), IT*(%0.2)
Uranyum	^{234}U	2.45×10^5 yıl	α (% 100)
Toryum	^{230}Th	7.54×10^4 yıl	α (% 100)
Radyum	^{226}Ra	1600 yıl	α (% 100)
Radon	^{222}Rn	3.824 gün	α (% 100)
Polonyum	^{218}Po	3.05 dakika	α (% 99.98), β (% 0.02)
Kursun	^{214}Pb	26.8 dakika	β (% 100)
Bizmut	^{214}Bi	19.9 dakika	α (% 0.02), β (% 99.98)
Polonyum	^{214}Po	164 mikro saniye	α (% 100)
Kursun	^{210}Pb	22.3 yıl	β (% 100)
Bizmut	^{210}Bi	5.013 gün	β (% 100)
Polonyum	^{210}Po	138.4 gün	α (% 100)
Kursun	^{206}Pb	Kararlı	

1.3.1.2. Toryum bozunum serisi

Toryum bozunum serisinde; ^{232}Th , ^{228}Ra ve ^{228}Th izotoplarının yarı ömürleri 1,9 ile $1,4 \times 10^{10}$ yıl arasında değişim göstermektedir. Bunların dışında kalan diğer radyoizotopların yarı ömürleri ise 3,66 günün altında bulunmaktadır. Bu serideki bozulmalardan yayınlanan alfa parçacıklarının enerjisi 4,1 MeV ile 8,95 MeV arındadır. Toryum serisinde beta parçacıklarının maksimum enerjisi 0,46 ile 2,124

MeV arasında kalır.

Çizelge 1.6. ^{232}Th Serisine ait radyonüklitlerin yarı ömür ve bozunum türleri [Akbayır, 2008]

KARASAL RADYONÜKLİTLER			
^{232}Th Serisi	Sembol	Yarı Ömür	Bozunum Türü
Toryum	^{232}Th	1.405×10^{10} yıl	α (% 100)
Radyum	^{228}Ra	5.75 yıl	β (% 100)
Aktinyum	^{228}Ac	6.15 saat	β (% 100)
Toryum	^{228}Th	1.912 yıl	α (% 100)
Radyum	^{224}Ra	3.66 gün	α (% 100)
Radon	^{220}Rn	55.6 saniye	α (% 100)
Polonyum	^{216}Po	0.145 saniye	α (% 100)
Kursun	^{212}Pb	10.64 saat	β (% 100)
Bizmut	^{212}Bi	60.55 dakika	α (% 36), β (% 64)
Polonyum	^{212}Po	0.299 mikro saniye	α (% 100)
Talyum	^{208}Tl	3.053 dakika	β (% 100)
Kursun	^{208}Pb	Kararlı	

1.3.1.3. Aktinyum bozunum serisi

Aktinyum bozunum serisinde; ^{235}U , ^{231}Pa , ^{227}Ac izotoplarının yarı ömürleri 21,77 ile $7,04 \times 10^8$ yıl arasında değişim gösterir. ^{227}Th , ^{223}Ra ve ^{231}Th izotoplarının yarı ömrü ise 1 ile 18,72 gün arasında değişim göstermektedir. Bunların dışında kalan diğer radyoaktif izotopların yarı ömürleri ise 36 dakikanın altında kalmaktadır. Bu serideki bozulmalardan yayınlanan alfa parçacıklarının enerjisi 4,78 MeV ile 7,53 MeV arasındadır. Bu serideki beta parçacıklarının maksimum enerjisi 0,39 ile 1,42 MeV arasında kalır.

Çizelge 1.7. ^{235}U Serisine ait radyonüklitlerin yarı ömür ve bozunum türleri
[Akbayır,2008]

KARASAL RADYONÜKLİTLER			
^{235}U Serisi	Sembol	Yarı Ömür	Bozunum Türü
Uranyum	^{235}U	7.04×10^8 yıl	α (% 100)
Toryum	^{231}Th	25.52 saat	β (% 100)
Protaktinyum	^{231}Pa	32760 yıl	α (% 100)
Aktinyum	^{227}Ac	21.77 yıl	α (% 1,4), β (%98,6)
Toryum	^{227}Th	18.72 gün	α (% 100)
Fransiyum	^{223}Fr	21.8 dakika	β (% 100)
Radyum	^{223}Ra	11.44 gün	α (% 100)
Radon	^{219}Ra	3.96 saniye	α (% 100)
Polonyum	^{215}Po	1.781 milisaniye	α (% 100)
Kurşun	^{211}Pb	36.1 dakika	β (% 100)
Bizmut	^{211}Bi	2.14 dakika	α (% 100)
Talyum	^{207}Tl	4.77 dakika	α (%99,7), β (%0,3)
Kurşun	^{208}Pb	Kararlı	β (% 100)

2. DOĞAL RADYOAKTİVİTE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

2.1. Dedektörler

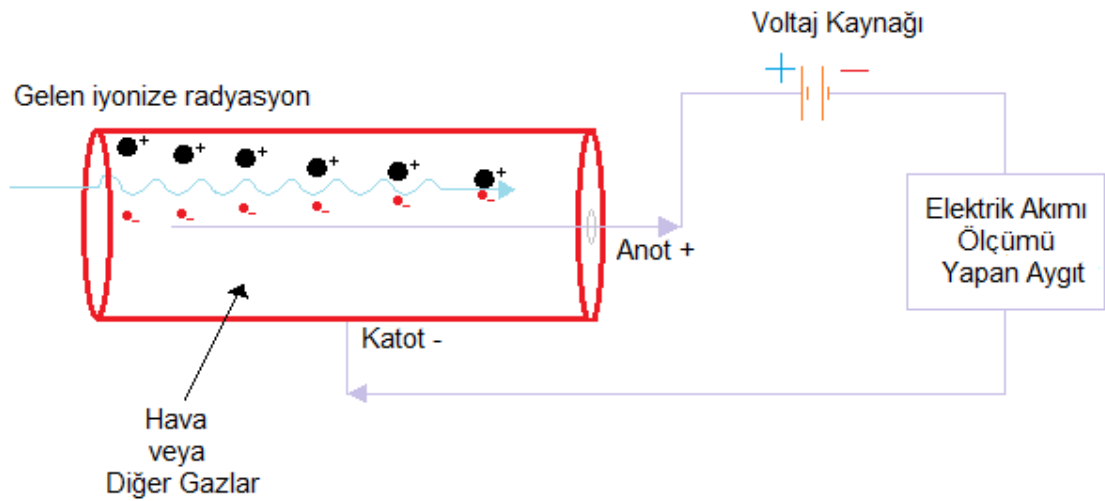
Bir ortamdaki veya bir maddenin radyasyon seviyesini ölçmek için dedektörlere ihtiyaç duyarız. Dedektörler bizim gözlemlemek istediğimiz maddede veya ortamda radyoaktif maddelerin yayınladıkları ışınımları sayarak bir çıktı yoluyla radyasyon seviyesini hakkında bilgi edinebilmemizi sağlamaktadır.

Günümüzde en çok kullanılan dedektörler aşağıda sıralanmıştır.

1. İyon odası
2. Orantılı sayaç
3. Geiger – Müller sayacı
4. Sintilasyon sayacı
5. Yarı iletken dedektörler

2.1.1. İyon odası

İyon odaları gama ışınları, beta parçacıkları ve X-ışınları ölçümü için kullanılan dedektör sistemleridir. Şekil 2.1’de iyon odası detektörü gösterilmiştir.

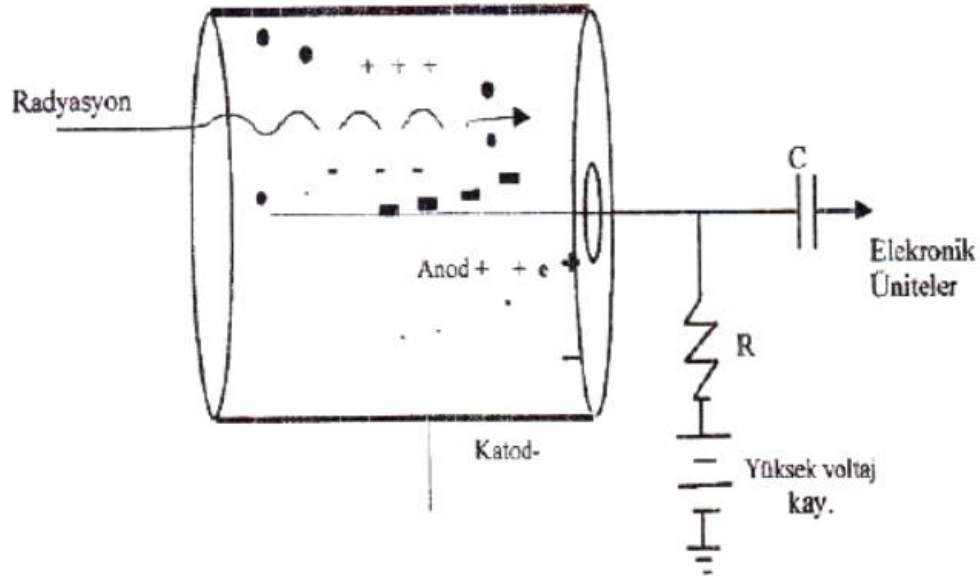


Şekil 2.1. İyon odası dedektörü

Düşük radyasyon seviyelerine duyarlı olmayan bu dedektör sistemleri yüksek radyasyon şiddetlerinde oldukça yarar sağlamaktadırlar. Bu dedektör sistemleri 60 – 300 volt'luk çalışma aralığında etkindirler ve radyasyon çeşitlerini ayırt edememektedirler. İçeriğindeki gaz genellikle atmosfer basıncında havadır. Göstergeleri, genellikle $(x)R/h$, $C/kg.sn$ veya $(x)Sv/h$ şeklindedir [Öter,2013] .

2.1.2. Orantılı sayaç

İyonlaşma odasının yeniden düzenlenmiş bir modelidir. Elektrotlardan biri içi boş bir silindir, diğeri ise silindirin içerisinden geçen bir teldir. Elektrotlara uygulanan voltaj iyonlaşma odasının elektrotlarına uygulanan potansiyelden fazladır. Oluşan pulsun büyüklüğü bir limite kadar artan voltajla beraber artmaktadır. Bu orantılılığın geçerli olduğu voltaj bölgesine “orantılı bölge” denir. Bu orantılılık bu sayacın değişik iyonlaştırma gücü ve enerjisi olan parçacıkların tespitinde kullanılmasını mümkün kılar. Bu sayacın dezavantajı orantılılık karakteristiklerinin korunabilmesi için pahalı güç kaynaklarına ihtiyaç duymasıdır [Öner, Ders Notu].

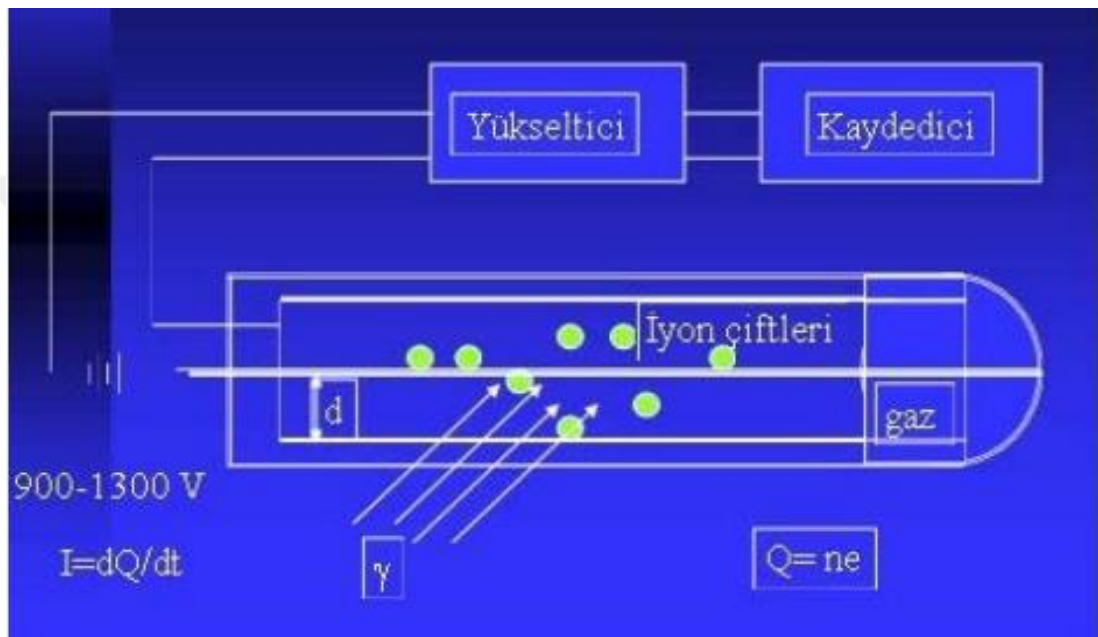


Şekil 2.2. Gazlı sayaç şematik gösterimi [Öter, 2013]

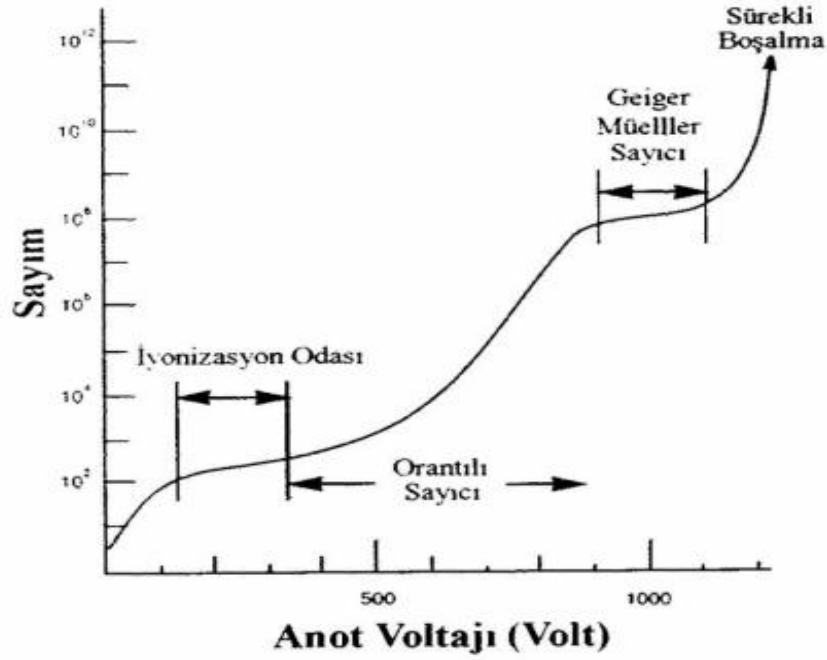
2.1.3. Geiger – Müller sayacı

G-M sayacının çalışma aralığı 900-1300 Volttur. Bu detektörlerle; düşük enerjili X

ve gama ışınları ve az iyonlaşma meydana getiren yüklü parçacıklar ölçülür. Bu detektör sistemlerinde parçacık cinslerinin bir birinden ayırılması ve parçacık enerjisinin ölçülmesi mümkün değildir. Odanın önüne bir zırh yerleştirilerek beta parçacıkları engellenip, sadece gama ışınlarının sayımı yapılabilmektedir. Şekil 2.3'de Geiger-Müller detektörü görülmektedir [Öter, 2013].



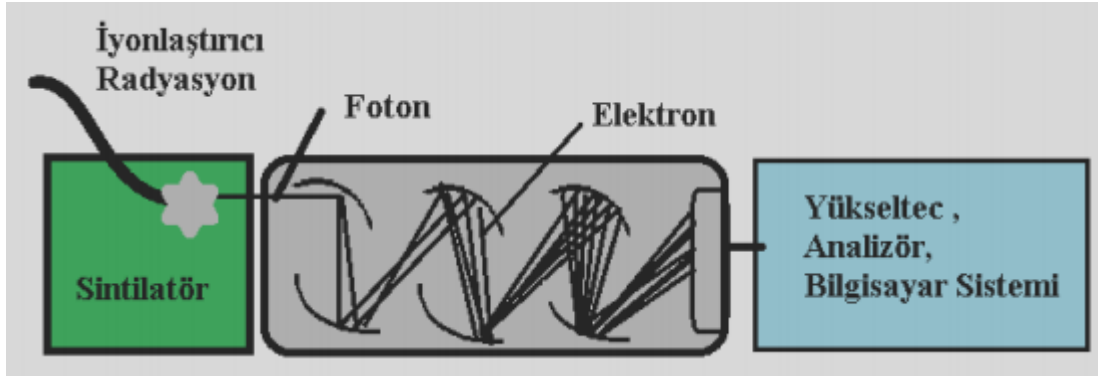
Şekil 2.3. Geiger – Müller Dedektörü [Öter, 2013]



Şekil 2.4. Gazlı dedektörlerin etkin olduğu Voltaj aralıkları [Karakılıç, 2013]

2.1.4. Sintilasyon sayacı

Gazlı dedektörler pek çok radyasyon için düşük verimli olmaları sebebiyle dezavantajlıdır. Bundan dolayı, nükleer spektroskopideki gereksinimleri karşılayabilecek yüksek verimli ve uygun çözme gücüne sahip sintilasyon dedektörleri geliştirilmiştir. Bu dedektörlerde ışık, iyonizasyon sonucu oluşan elektronlar ile elektronik pulslarla oluşan elektronlar arasında aracı bir rol oynar. Bu işlem, Şekil 2.5’de kabaca gösterilmektedir.



Şekil 2.5. Sintilasyon dedektörünün şematik gösterimi [Karakılıç, 2013]

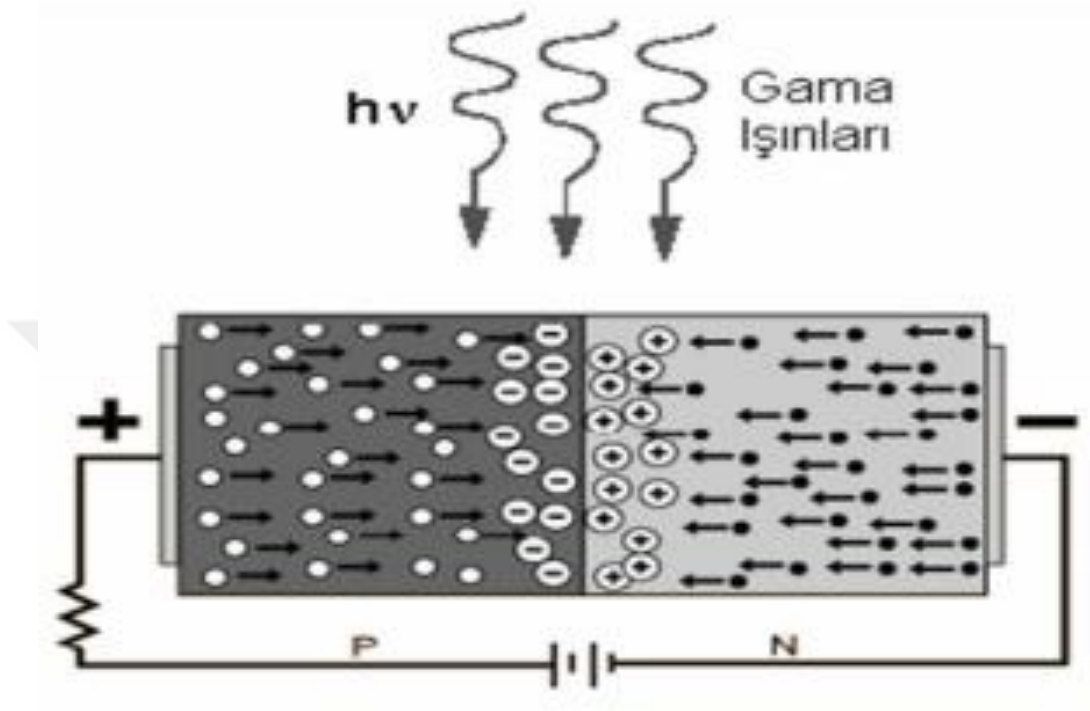
Dedektöre gelen radyasyon sonucu uyarılmış düzeylere çıkan atomların, taban durumlara geçişi anında yayınlanan görünür bölge ve civarındaki ışık, foto duyarlı bir yüzey üzerine düşer ve buradan fotoelektronlar yayımlanır. Bu elektronların bir fotoçoğaltıcı tüp ile çoğaltılıp hızlandırılması ile cihaz için çıkış pulsları elde edilir.

Sintilasyon dedektörlerinin en önemli özelliği gelen radyasyon ile çıkan fotonun enerjisinin orantılı olmasıdır. Bu durum gelen radyasyonun cinsi ve enerjisi hakkında bilgi vermektedir. Farklı uygulamalar için üretilmiş farklı materyaller içeren sintilasyon dedektörleri temelde; inorganik sintilatörler (CsI(Tl), NaI(Tl), LaBr₃(Ce), CsI(Na) vb.), organik sintilatörler (POPOP sıvı, Anthracene kristal, stilbene Kristal vb.) ve plastik sintilatörler (BC400, BC406, NE102A vb.) olmak üzere üç grupta toplanılabilir [Dyer,2001].

2.1.5. Yarı iletken dedektörler

Bu detektörler, pozitif yük (boşluk) taşıyıcıları fazla p tipi veya negatif yük (elektron) taşıyıcıları fazla n tipi maddeler temas ettirilerek elde edilmektedir. Ters besleme ile detektörde, boşluk ve elektrondan arındırılmış hassas bölge oluşur. Yüksek dedektör verimi elde etmek için derin bir hassas bölgeye ihtiyaç vardır, derin bir hassas bölge elde etmek içinse oldukça saf bir madde gerekmektedir. Eklem içinden fotonlar geçtikçe, elektronlar da, valans bandından iletim bandına geçerek elektron-boşluk çifti üretmiş olur. İçerdeki elektrik alan, boşlukları eklem negatif, elektronları da pozitif tarafa doğru sürükleyerek bir sayıcı ile sayılabilen bir puls meydana

getirmesini sağlar. Şekil 2.6'da yarı iletken bir detektörün basit şematik gösterimi görülmektedir [Keser, 2009].



Şekil 2.6. Yarı iletken bir dedektörün şematik gösterimi [Keser, 2009]

3. KAYNAK ÖZETİ

Balogun ve ekibi tarafından 2003 yılında Nijerya'da çıkarılan ziftli kömürlerin radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonu 0,20 +-0,002 ile 48,42+-5,32 Bq/Kg olarak tespit edilmiştir. Bu ölçümler HPGe dedektörlü gama spektrometresi kullanılarak yapılmıştır. Ölçümler sonucu elde edilen ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının ortalamaları sırası ile 7,68+-0,13 , 7,12 +- 0,09 ve 7,53 +- 0,01 Bq/Kg olarak bulunmuştur.

Bem ve ekibi 2001'de Polanya'nın Lodz bölgesinde bulunan bir termik santralin küllerinden dolayı çevreye verdiği radyolojik zararı incelemek için çevreden alınan kömür örneklerini REGe dedektörlü gama ışın spektrometresi kullanarak ölçmüştür. Bu ölçümlerde elde edinilen ortalama aktivite konsantrasyonları EC2 santrali için ^{238}U :19,8 Bq/Kq, ^{226}Ra :19,2 Bq/Kq, ^{210}Pb :19,8 Bq/Kq, ^{232}Th :13,1 Bq/Kq ve ^{40}K : 133,7 Bq/Kq olarak, EC3 santrali için ^{238}U :20,8 Bq/Kq, ^{226}Ra :15,3 Bq/Kq, ^{210}Pb :20,9 Bq/Kq, ^{232}Th :12,4 Bq/Kq ve ^{40}K : 105,9 Bq/Kq olarak, EC4 satrali içinse ^{238}U :30,0 Bq/Kq, ^{226}Ra :22,9 Bq/Kq, ^{210}Pb :26,2 Bq/Kq, ^{232}Th :17,5 Bq/Kq ve ^{40}K : 150,1 Bq/Kq olarak ölçülmüştür.

Çevik, Damla ve Nezir'in 2006'da Ankara'da bir HPGe dedektörlü gama ışın spektrometresi kullanarak yaptıkları çalışmada bir termik santralin yaydığı kömür küllerinin çevreye verdiği zarar radyolojik açıdan incelenmiştir. İncelenen kömürün ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklitlerinin aktivite konsantrasyonları sırasıyla 14,55 Bq/Kq, 11,12 Bq/Kq ve 123,01 Bq/Kq olarak bulunmuştur.

Delfanti ve ark. 1999'da Dünya genelinde bazı bölgelerdeki termik santrallerden çıkan kömür küllerinin radyoaktivite seviyelerini bir HPGe dedektörü kullanarak belirlemiş ve ^{238}U , ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{210}Po ve ^{232}Th için ortalama aktivite konsantrasyonlarını sırasıyla 131 Bq/Kg, 45,66 Bq/Kg, 233,66 Bq/Kg, 165,66 Bq/Kg ve 79 Bq/Kg olarak bulmuştur [Delfanti, 1999].

Dinis ve ark. 2014'te yüksek çözünürlüklü gama spektrometresi kullanarak bir termik santralin yaydığı kömür küllerini incelemiş ve bu küllerin içeriğinde bulunan ^{40}K ,

^{226}Ra ve ^{232}Th radyonüklitlerinin aktivite konsantrasyonlarını Güney Afrika için 148 – 204 Bq/Kg, 151 – 248 Bq/Kg, 125 – 204 Bq/Kg olarak, Kolombiya için ise 175 – 489 Bq/Kg, 94 – 142 Bq/Kg ve 175 – 489 Bq/Kg olarak bulmuştur.

Đurašević ve ark. Sırbistan'da 2014'de yaptıkları çalışmada "Kalubara" madenlerinden çıkan kömürlerin radyoaktivitesini bir HPGe dedektörü kullanarak incelemiştir. Bu kömürlerin içeriğinde bulunan ^{235}U , ^{238}U , ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklitlerinin ortalama aktivite konsantrasyonları sırasıyla 1,9 Bq/Kg, 31 Bq/Kg, 28 Bq/Kg, 37 Bq/Kg, 82 Bq/Kg ve 95 Bq/Kg olarak bulunmuştur.

Flues ve ark. 2007'de yaptıkları çalışmada Birazilya'da çıkarılan kömürleri radyolojik açıdan incelemiş ve bir coaxial germanium dedektörü kullanmışlardır. Bu kömürlerin içeriğinde bulunan ^{238}U , ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{228}Ra ve ^{40}K radyonüklitlerinin aktivite konsantrasyonlarını sırasıyla 18 – 827 Bq/Kg, 27 – 1251 Bq/Kg, 41 – 2609 Bq/Kg, 15 – 100 Bq/Kg ve 136 – 1230 Bq/Kg, olarak bulmuştur.

Huang ve ekibinin 2014'de yaptığı çalışmada bir NaI(Tl) dedektörlü gama ışın spektrometresi kullanılmıştır. Bu çalışmada Çin'in merkezinde yer alan bir vanadium madeninden alınan kömür örneklerinin ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyonükleitlerinin aktivite konsantrasyonları sırası ile 196,4 – 653,3 Bq/Kq, 202,2 – 564,4 Bq/Kq, 9,4 – 64,6 Bq/Kq ve 71,5 – 345,4 Bq/Kq olarak bulunmuştur.

Khandoker ve ekibinin 2013'de Malezya'da bir HPGe dedektörlü gama ışın spektrometresi kullanarak yaptığı ölçümlerde termal santrallerde kullanılan kömürlerin oluşturduğu küllerin ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K konsantrasyonları sırasıyla 139 Bq/Kq, 108 Bq/Kq ve 291 Bq/Kq olarak bulunmuştur.

Lu ve ekibi 2012'de Çin'deki Baqiao termik santralinin çevreye yaydığı radyolojik hasarı belirlemek için bir NaI(Tl) dedektörlü gama ışın spektrometresi kullanmıştır. Termik santralin çevresinden alınan toprak örneklerinin ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyonükleitlerinin ortalama aktivite konsantrasyonları sırasıyla 36,1 Bq/Kq, 51,1 Bq/Kq ve 733,9 Bq/Kq olarak bulunmuştur.

Mahur ve ark. Hindistan'da 2008'de yaptıkları çalışmada bir termik santralden çıkan kömür küllerini radyolojik açıdan incelemiştir. Yaptıkları çalışmada bir NaI(Tl) dedektörü kullanmışlardır. Kömür küllerinin içeriğinde bulunan ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklitlerinin ortalama aktivite konsantrasyonları sırasıyla 99,3 Bq/Kg, 112,9 Bq/Kg ve 308,9 Bq/Kg olarak bulunmuştur.

Mihra Hindistan'da 2003'te yaptığı bir çalışmada termik santrallerde kullanılan kömürlerin aktivite seviyesini bir NaI(Tl) dedektörü kullanarak belirlemiştir. Kömür numunelerinin içeriğinde bulunan ^{226}Ra , $^{228}\text{Ra} + ^{232}\text{Th}$ ve ^{40}K radyonüklitlerinin aktivite konsantrasyonlarını ortalama 24,1 Bq/Kg, 38,5 Bq/Kg ve 82,5 Bq/Kg olarak bulmuştur.

Nisnevich ve ark. 2008'de yaptıkları çalışmada Güney Afrika, Kolombiya ve Endonezya kömürlerine ait külleri radyolojik açıdan incelemiş ve ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklitlerinin ortalama aktivite konsantrasyonlarını sırasıyla 156 Bq/Kg, 139 Bq/Kg ve 226 Bq/Kg olarak bulmuştur.

Papastefanou 2009'da Yunanistan madenlerinden aldığı kömür numunelerini ölçmek için bir Ge dedektörlü gama ışın spektromesi kullanmıştır ve bu numunelerin aktivite konsantrasyonlarını ^{238}U için 117 ile 435 Bq/Kg, ^{226}Ra için 44 ile 255 Bq/Kg, ^{210}Pb için 59 ile 205 Bq/Kg, ^{228}Ra için 9 ile 41 Bq/Kg ve ^{40}K için 59 ile 227 Bq/Kg aralıklarında bulmuştur.

Sahu ve ark. Hindistan'da 2014'te yaptıkları çalışmada 6 adet termik santralde kullanılan kömürleri bir HPGe dedektörü kullanarak incelemiştir. Kömürler için ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklitlerinin ortalama aktivite konsantrasyonları sırasıyla 16,8 Bq/Kg, 19,5 Bq/Kg ve 37,2 Bq/Kg olarak bulunmuştur.

Turhan ve ark. 2010'da yaptıkları çalışmada Türkiye'de bulunan termik santrallerinden yayılan kömür küllerini radyolojik açıdan incelemiştir. Yaptıkları çalışmada HPGe dedektörü kullanan Turhan ve ark. Küllerin içeriğinde bulunan ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarını sırasıyla 360 Bq/Kg, 101,7 Bq/Kg ve 517,1 Bq/Kg olarak bulmuştur.

Varinođlu ve ark. 1998'de Türkiye genelinde yaptıkları çalışmada linyit kömürlerinin radyoaktivite seviyelerini bir HPGe dedektörü kullanarak incelemiştir. Türkiye'de bulunan linyit madenlerinden çıkarılan numunelerin içeriğinde bulunan ^{226}Ra , ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklitlerinin ortalama aktivite konsantrasyonları sırasıyla 119,41 Bq/Kg, 25,5 Bq/Kg, 13,25 Bq/Kg ve 44,33 Bq/Kg olarak bulunmuştur.

Vukovic ve Mandic'in 1995'de Yugoslavya'da yaptıkları çalışmada bir termik santralin yaydığı kllerdeki radyoaktivite miktarları bir HPGe dedektörlü gama işın spektrometresi kullanılarak llmřtir. Bu kl numunelerinin ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklitlerinin ortalama radyoaktivite konsantrasyonları sırasıyla 65,2 Bq/Kg, 68,2 Bq/Kg ve 215 Bq/Kg olarak bulunmuştur.

Yalçın ve Gürler'in 2006'da Türkiye'nin Marmara bölgesinde yaptıkları çalışmada toprak, kömür ve sudaki doğal radyoaktivite incelenmiştir. Alınan kömür numunelerinin aktivitesi bir TENNELEC LB 1000-PW dedektörü kullanılarak llmřtir. Kömür rneklerinin aktivite konsantrasyonları ortalama olarak ^{238}U için 26.,95 Bq/Kg, ^{214}Pb için 85,93 Bq/Kg, ^{214}Pb için 83,57 Bq/Kg, ^{134}Cs için 36,51 Bq/Kg, ^{214}Bi için 108,16 Bq/Kg, ^{134}Cs için 1,30 Bq/Kg, ^{214}Bi için 147,28 Bq/Kg ve ^{214}Bi için 182,40 Bq/Kg olarak bulunmuştur.

4. MATERYAL VE YÖNTEMLER

4.1. Amasya Bölgesi ve Özellikleri

4.1.1. Coğrafi yapısı

Amasya Karadeniz Bölgesi'nin Orta Karadeniz Bölümünde bulunur. Ülke toplam alanının %07'sini kaplamaktadır. 35°00', 36°30' doğu boylamları, 40°15', 41°03' kuzey enlemleri arasında kalan Amasya 5690 km²'lik bir alana sahiptir. Güneyinde Tokat ve Yozgat, doğusunda Tokat, kuzeyde Samsun, batıda Çorum, illeriyle çevrilidir. Bu il, merkezi dahil 6 ilçeye, 22 beldeye ve 348 köye sahiptir. 2000 yılında yapılan genel nüfus sayımına göre il merkezi 74 394, toplam nüfusu ise 365 231'dir. Nüfus yoğunluğu km² başına 64,18 kişidir. İl merkezinde rakım 411,69 metredir [Amasya Belediyesi].

4.1.2. İklim özellikleri

Amasya, coğrafi konumu itibariyle geçiş iklimine sahip bir ildir. Amasya'ya ait bazı iklim özellikleri Çizelge 4.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Amasya iline ait bazı iklim özellikleri [Amasya Müzesi].

YILLIK ORTALAMA SICAKLIK	13,3 C
YILLIK ORTALAMA YAĞIŞ MİKTARI	451,1 mm
ORTALAMA YAĞIŞLI GÜN SAYISI	104
ORTALAMA AKTÜEL BASINÇ	967,6 milibar

4.1.3. Jeolojik yapısı

Palaeozoik ve kısmen Mezozoik temel üzerinde yayılan daha genç formasyonlardan oluşan Amasya İli arazisinin zemin yapısı ise, yamaç molozları ve alüvyonlar ile kalker yeşil kayalardan meydana gelmiştir. Tersakan'ın doğu ve batısı, Tokat çıkışı ve Samsun çıkışında, zemin yapısı, Kireç Taşı olarak görülmektedir. Yapı'nın özelliklerinden biride, Kalker Arazisi'nin geniş yer tutmasıdır [Amasya Müzesi].

4.2. Numunelerin Toplanması ve Analiz İçin Hazırlanması

Ölçümü yapılacak kömürler, Amasya'nın Suluova ilçesine ait Çeltek havzası kömür ocaklarından alınmıştır. Bu havzada bulunan kömürler linyit kömürüdür. 3 farklı kömür ocağından toplam 8 farklı kömür numunesi alınmıştır. Numuneler alınırken her birinin derinliği farklı seçilmiş ve derinliklerinin çok yakın olmaması tercih edilmiştir. Toplanan numunelerden 1 tanesi açık işletmeden alınırken kalan 7 tanesi kapalı işletmelerden temin edilmiştir. Şekil 4.1'de boş numune kabı ve doldurulup tartılmış, ağzları sıkıca kapatılmış numune kabı, Çizelge 4.2'de ise derinliklerine göre isimlendirilmiş numunelere ait derinlik ve çıkarıldığı ocak bilgileri gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Boş numune kabı ve doldurulup tartılmış, ağzı sıkıca kapatılmış numune kabı

Çizelge 4.2. Toplanan numunelerin derinlikleri, çıkartıldıkları kömür ocakları ve isimlendirilmesi.

Derinlik	Kömür Ocağı	Numune Adı
0 m	Eski Çeltek Madeni 55 Ocak (Açık İşletme)	Numune 1
105 m	Eski Çeltek Madeni 74 Ocak	Numune 2
115 m	Eski Çeltek Madeni 57 Ocak	Numune 3
125 m	Beşler Madeni	Numune 4
135 m	Beşler Madeni	Numune 5
150 m	Beşler Madeni	Numune 6
250 m	Yeni Çeltek Madeni 532 Baca	Numune 7
330 m	Yeni Çeltek Madeni 535 Baca	Numune 8

4.2.1. Numunelerin özellikleri

Kömür kompakt, homojen olmayan, tabakalaşma gösteren, genellikle lignoselülozik bitki parçalarından meydana gelen, içerisinde çoğunlukla C, az miktarda H - O - S ve N elementlerinin bulunduğu fakat inorganik (silt, z, kil elementleri gibi) maddelerinde olabildiği, yanabilen, siyah ve kahverengi renk tonlarında olan, bataklıklarda oluşan, katı fosil organik kütlelerdir. Genellikle yakıt hammaddesi olarak kullanılan kömürler, değişik amaçlarla da (kimyasal madde üretimi, kok yapımı gibi alanlarda) kullanılırlar. Bataklık ortamlarda, uygun (yeterli organik maddenin ortama gelmesi, nemli ve sıcak iklimin bulunması, bataklık suyunun Ph derecesinin 4-5 civarında olması, bataklığın malzeme gelimi ile birlikte aşağı doğru çökmesi, bataklığın zamana bağlı olarak örtülmesi gibi) şartların sağlanması halinde, bitki parçalarının bozuşup, parçalanması, bataklık suyu ile bir jel haline gelmesi, bazı kimyasal reaksiyonlar sonucu bu organik malzemenin fiziksel ve kimyasal değişikliklere uğraması sonucu meydana gelirler.

Kömürlerin yoğunlukları, nem oranına ve içeriğinde bulunan inorganik maddeye bağlı olarak artmasına rağmen genellikle 1,1 ile 2.2 gr/cm³ arasında değişim göstermektedir.

Poroziteleri, kömürleşme derecelerine bağlı olarak % 3 (antrasit) ile % 25 arasında değişmektedir. Sertlikleri (Vickers), 30 (linyit) - 120 (antrasit) kg/mm² arasında değişmektedir [Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu].

Kömürler içeriklerinde değişik miktarlarda inorganik madde içerirler. Kömürlerin içeriğinde 50 - 60 tür mineral gözlemlenmiştir. Kömürlerde en çok bulunan mineral grupları; karbonatlar, demir mineralleri ve killerdir. Diğer minerallerin büyük çoğunluğu %1 'in altında bulunmaktadır. Kömürlerdeki inorganik maddeleri, kökenlerine göre;

- Turba oluşumu sırasında meydana gelenler,
- Kömürün oluşmasından sonra meydana gelen inorganik maddeler,
- Orijinal bitkide bulunanlar,

Şeklinde üç ana grupta sınıflandırabiliriz.

Kömürlerin içeriğinde bulunan C, N, H, O gibi ana elementlerin dışında eser miktarda Mg, Ca, Na, Al, Mn, K, S, Ti, P, Cl gibi elementlerde gözlemlenmektedir ve bu elementlere kömür külü içerisinde rastlanılmaktadır. Kömür külünde bulunan bu eser elementlerin miktarları toplamı minerallere oranla çok azdır. Bazı kömürler içeriğinde Germanyum ve Uranyum gibi eser elementleri de bulundurur.

Çizelge 4.3. Kömürde bulunan minerallerin sınıflandırılması [Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu]

Mineraller	Sentetik (Kömürün Bünyesinde)		Epijenetik (Kırık ve Çatlaklarda)
	Su ve hava kırımları ile taşınanlar	Oluşumu kömürle aynı anda olanlar	
Killer	Illit, serisit, kaolinit, leverrierit, montmorillonit, vb.		
Spatik karbonatlar		Siderit konkresyonları, dolomit (ankerit), kalsit	Kalsit, ankerit
Sülfürler		Pirit, FeS ₂ – CuFeS ₂ – ZnS, konkresyonları, melnikovit	Pirit, markasit blend kakopirir, galen
Oksitler		Limonit, hematit	Götit
Kuvars	Kuvars taneleri	Kalseduan ve kuvars	Kalseduan ve kuvars
Klorür ve sülfatlar		Kaya tuzu, tenardit, jips	

4.2.2 Numunelerin analize hazırlanması

Bir öğütücü vasıtasıyla öğütülen kömür numuneleri kalınlığı 1mm olan bir elekten

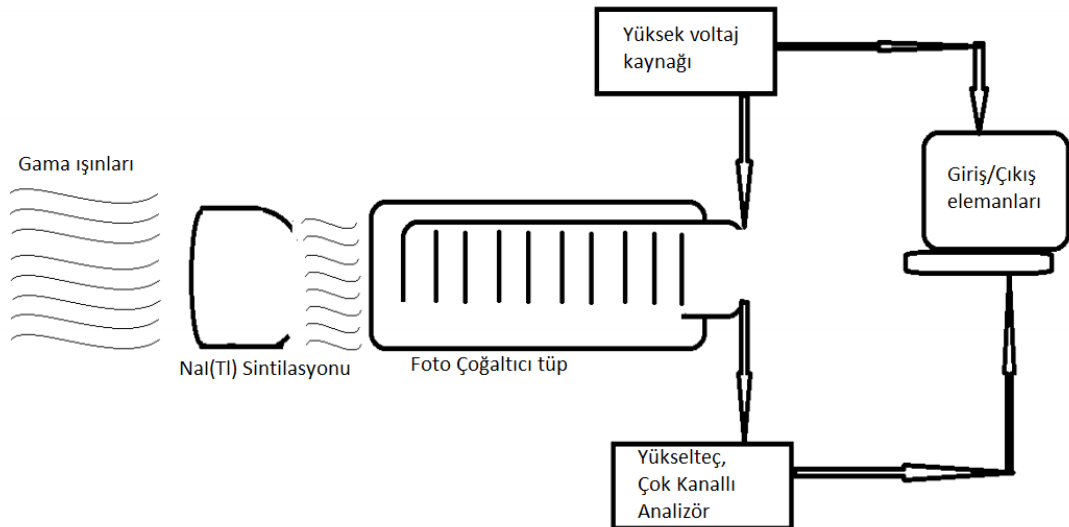
geçirilerek toz haline getirilmiştir. Oda sıcaklığında 1 gün boyunca neminden kurtulması beklenen numuneler 24 saat süreyle sıcaklığı 100 °C olan bir etüvde kurutulmuştur. Her numune darası alınan kaplara alınıp tartılmış, etiketlenmiş ve ağızları hava almayacak şekilde kapatılmıştır. Numuneler ^{226}Ra ve ürünleri arasındaki radyoaktif dengenin oluşabilmesi amacıyla 1 ay boyunca bekletilmiştir.

4.3. Deney Düzenegi

4.3.1. Gama spektrometre sistemi

Gama spektrometresi, göz önüne alınan materyalin radyoaktif olup olmadığını tespit etmek için ve hangi radyonüklitten dolayı radyoaktif olduğunun belirlenmesine yardımcı olan, yayınlanan gama ışınlarının enerjilerini tespit eden sistemlerdir.

Göz önüne alınan kaynaktan yayınlanmakta olan radyasyon, dedektörle etkileşime girerek dedektör ile absorbe edilen enerji miktarıyla orantılı bir akım darbesi oluşturmaktadır. Bu akım darbesi amplifikatörler yardımıyla voltaj darbesine dönüştürülür. Bu darbeler daha iyi okunabilmesi amacıyla yükseltilir ve şekillendirilip çok kanallı analizöre (ÇKA) gönderilir. Bu analizörde bilgiler sayısal hale dönüştürülür ve spektrum şeklinde ekranda gösterilir. Daha sonra uygun bir giriş/çıkış (I/O) elemanları yardımıyla bu spektrumlar değerlendirilmek üzere dışarı alınır [Mavi, 2010]. Bu düzenek Şekil 4.2’de gösterilmiştir.

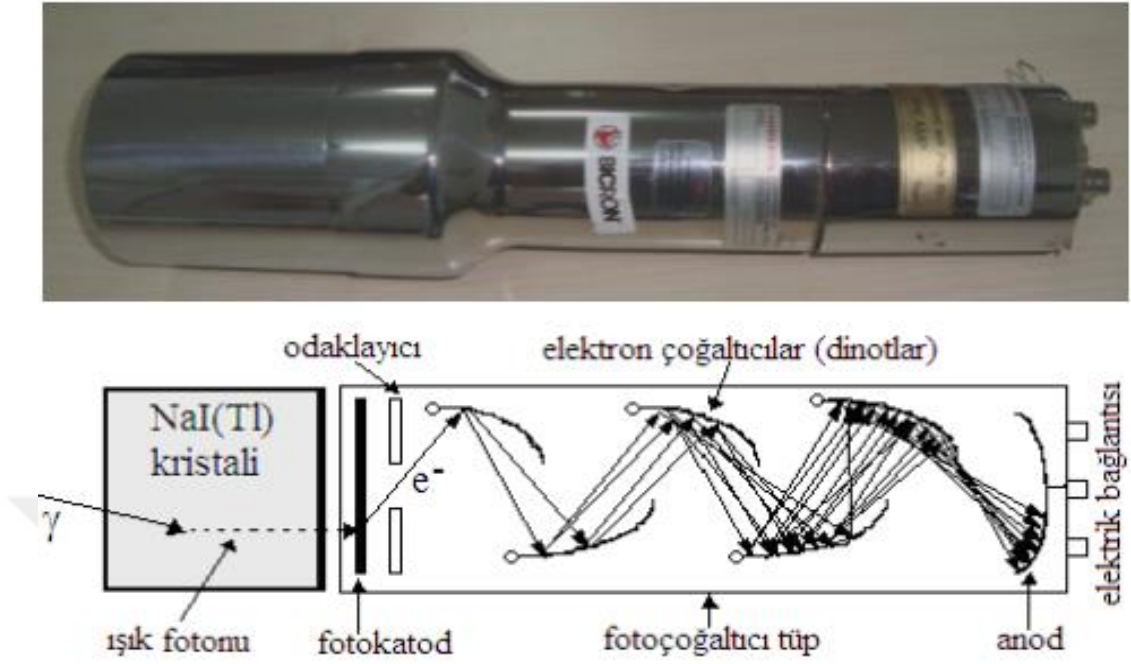


Şekil 4.2. Gama spektrometresinin şematik gösterimi [Berker, 2014]

4.3.2. NaI(Tl) dedektörü

Bu çalışmada gama radyasyonu spektrumları ORTEC marka 3"x3" boyutlu NaI(Tl) sintilasyon detektörü kullanılarak ölçülmüştür. Bir sintilasyon detektörü temel olarak içinde parıldayıcı bir malzeme bulunan sintilatör ve içinde foto katot odaklayıcı elektrot, elektron çoğaltıcılar (dinotlar) ve anot bulunduran foto çoğaltıcı tüpten oluşmaktadır. Bir sintilasyon detektörünün gelen gama ışınlarını kaydedebilmesi için bazı süreçlerin gerçekleşmesi gerekir. Öncelikle gama ışını sintilatöre girer ve buradaki malzemeyle 1. bölümde bahsi edilen etkileşmelere uğrar. Böylece gama radyasyonunun enerjisinin hepsi veya bir kısmı elektronlara ya da elektron-pozitron çiftlerine aktarılır. Gama ışınları tarafından uyarılmış olan bu elektronlar temel seviyelerine geri dönerken dalga boyu görünür bölgede ya da görünür bölgeye çok yakın ışık yayımlarlar. Bu şekilde oluşmakta olan ışık sinyallerine flüoresan radyasyonu adı verilir [Günoğlu, 2012].

Flüoresan ışınlar detektörün foto çoğaltıcı bölümüne girerler ve ilk olarak ışığa duyarlı foto katotla etkileşirler. Etkileşme sonucu oluşan foto elektronlar odaklama görevi gören bir elektrot ile elektron çoğaltıcı (dinot) tabakalardan ilkinde yönlendirilir. Elektron çoğaltıcı tabakayla etkileşime giren elektronların başlangıç enerjilerine göre çoğaltıcıdan birden fazla ikincil elektron kopar. Çoğaltıcıdan koparılan bu yeni elektronlarda odaklayıcılar tarafından bir sonraki elektron çoğaltıcıya yönlendirilir. Bu işlem anoda kadar devam eder. Her bir çoğaltıcıdan koparılan elektron miktarı foto katotla anot arasındaki gerilim gradyentine göre değişim gösterir. Süreç sonunda anotta bir akım sinyali oluşur ve bu sinyal yükseltilerek elektronik elemanlar yardımıyla okunabilir spektruma çevrilir.



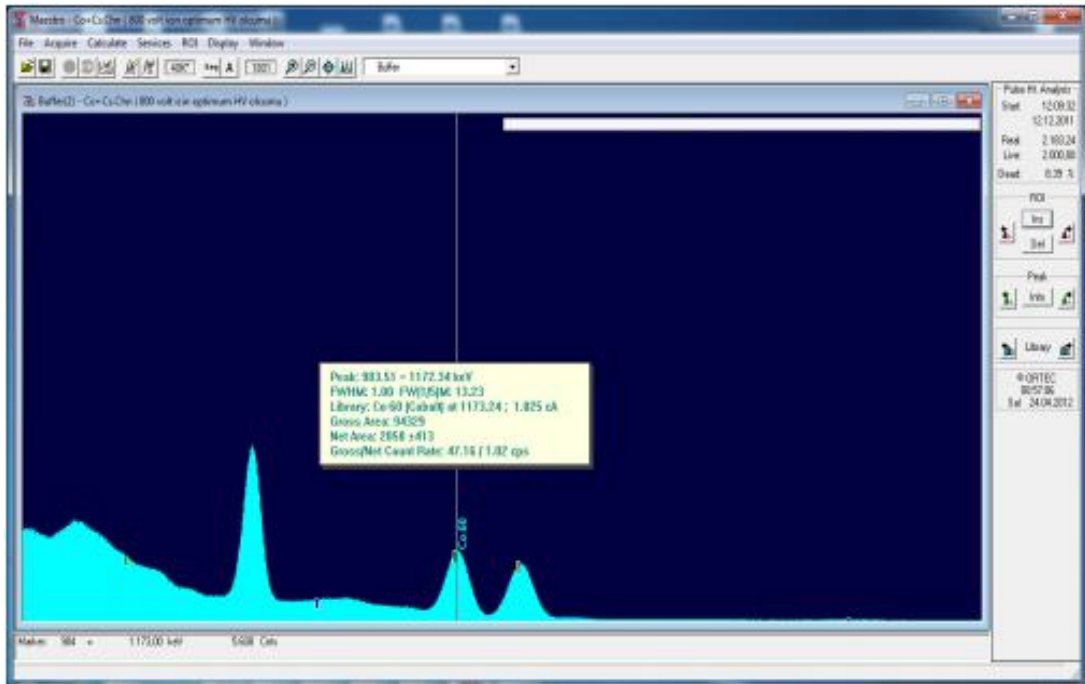
Şekil 4.3. Kullanılan NaI(Tl) dedektörü (üstte) ve iç yapısı (altta) [Günoğlu, 2012]

4.3.3. Elektronik üniteler

NaI(Tl) dedektörü ile etkileşime giren gama ışınının oluşturduğu atmaların anlamlı sayısal sinyallere çevrilebilmesi için elektronik cihazlara ve sinyallerin analizi içinde yazılıma ihtiyaç vardır. Radyasyonun dedektörde meydana getirdiği sinyaller bir yükseltici (amplifikatör) ile yükseltilir, şekillendirilir ve içerisinde Çok Kanallı Analizör (Ç.K.A.) bulunduran DSPEC LF'e gönderilir. 16384 kanala sahip DSPEC LF ile sayısal hale dönüştürülen bilgiler MAESTRO-32 yazılımıyla ekranda spektrum olarak gözlenir. Gama radyasyonu spektrumunu oluşturan pikler Gauss eğrisi şeklindedir. Her bir enerji ve kanal numarası başına düşen sinyal sayısı yazılım tarafından kaydedilir. Sistem bir yüksek gerilim birimi ile beslenmektedir. Dedektör çalışma gerilimi olan 800 V bu birim tarafından sağlanmaktadır. Şekil 4.4 DSPEC LF ve yüksek gerilim modülünü göstermektedir. Şekil 4.5'de MAESTRO-32 yazılımı yardımıyla elde edilen örnek bir spektrum gösterilmiştir.



Şekil 4.4. DSPEC LF modülü (üstte) ve yüksek gerilim modülü (altta)

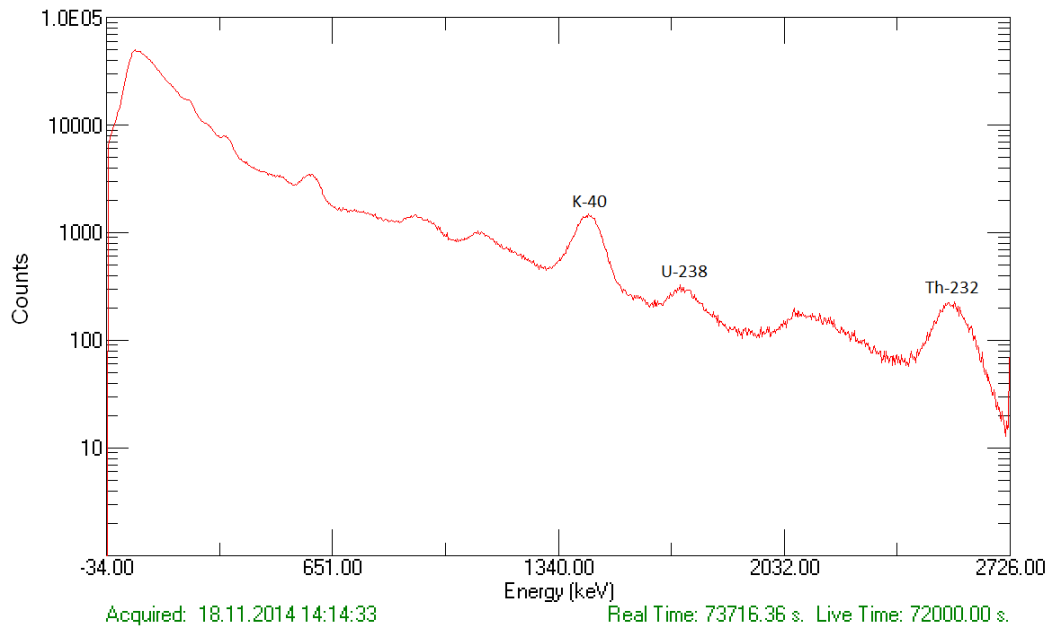


Şekil 4.5. MAESTRO-32 yazılımı yardımıyla elde edilen örnek bir spektrum

5. ARAŞTIRMA BULGULARI

5.1. Aktivite Ölçüm Sonuçları

“Amasya’dan Çıkarılan Kömürlerin Doğal Radyoaktivitesinin Belirlenmesi” isimli bu tez çalışmasında madenlerden çıkarılan kömürlerin doğal radyoaktivite konsantrasyonları hesaplanmıştır. Örnek bir spektrum Şekil 5.1’de gösterilmiştir.

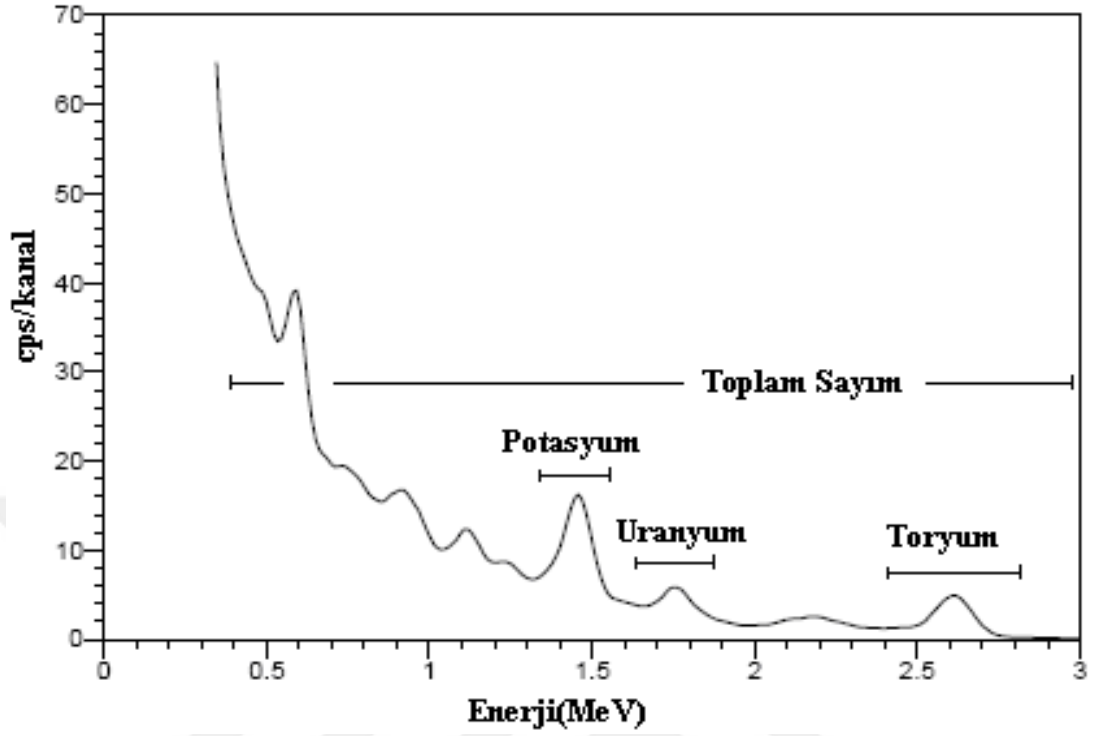


Şekil 5.1. Örnek bir spektrum

Numunelere ait doğal radyonüklid aktivite hesapları ^{40}K için 1460 KeV, ^{226}Ra (^{214}Bi) için 1760 KeV ve ^{232}Th (^{208}Tl) için 2615 KeV enerjilerinde bulunan gama piklerinin altındaki alanlar kullanılmıştır. Numunelerin ölçülen alanlarından dolu numune kaplarıyla aynı işlemlerden geçmiş boş bir numune kabından alınan ölçüm sonucu (background) çıkarılarak net pik alanları bulunmuş ve aktivite konsantrasyonları bu net alanlardan faydalanarak doğrudan hesaplanmıştır.

5.2. Aktivite Sonuçlarının Hesaplanması

Hava geçirmeyen numune kablalarında 30 gün beklemiş numunelerdeki doğal radyonüklid aktivite hesapları gama piklerinin altındaki alanlardan gidilerek doğrudan hesaplanmıştır.



Şekil 5.2. Ölçüm alınan örnek bir numuneden elde edilen spektrum.

Aktivite Hesabı;

$$A = \frac{NPA}{\epsilon \gamma t m} \quad (5.1)$$

Formülü ile verilmektedir. Burada;

NPA: Net Pik Alanı

t: sayım süresi

m: kütle(Kg)

ϵ : verim

γ : ilgili nüklidin gama yayınlanma olasılığıdır.

Net pik alanı, numuneye ait pik alanından boş numune kabına ait pik alanının çıkarılması ile elde edilen hesaplamadır.

Toryum için en uygun karakteristik gama piki olarak Talyum-208'e ait olan 2,615

MeV enerjili pik kullanılır. Bu pikin gama yayınlama olasılığı %35,9 dur.

Uranyum için kullanılan en uygun karakteristik gama piki olarak Bizmut-214'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.

Dedektörün verimi, aktivitesi bilinen bir radyoaktif kaynak yardımıyla hesaplanabilir. Bu çalışmada dedektör verimi 1 μCi aktiviteye sahip ve 5,27 yıl yarı ömrü olan bir ^{60}Co radyoaktif kaynağı ile hesaplanmıştır.

Elde edilen aktiviteler üzerindeki toplam hata;

$$\frac{\Delta A}{A} = \sqrt{\left(\frac{\Delta NPA}{NPA}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \gamma}{\gamma}\right)^2 + \left(\frac{\Delta t}{t}\right)^2 + \left(\frac{\Delta m}{m}\right)^2} \quad (5.2)$$

şeklinde elde edilir. Burada;

ΔNPA : Net Pik Alanlarının belirlenmesindeki hata

$\Delta \varepsilon$: verimdeki hata

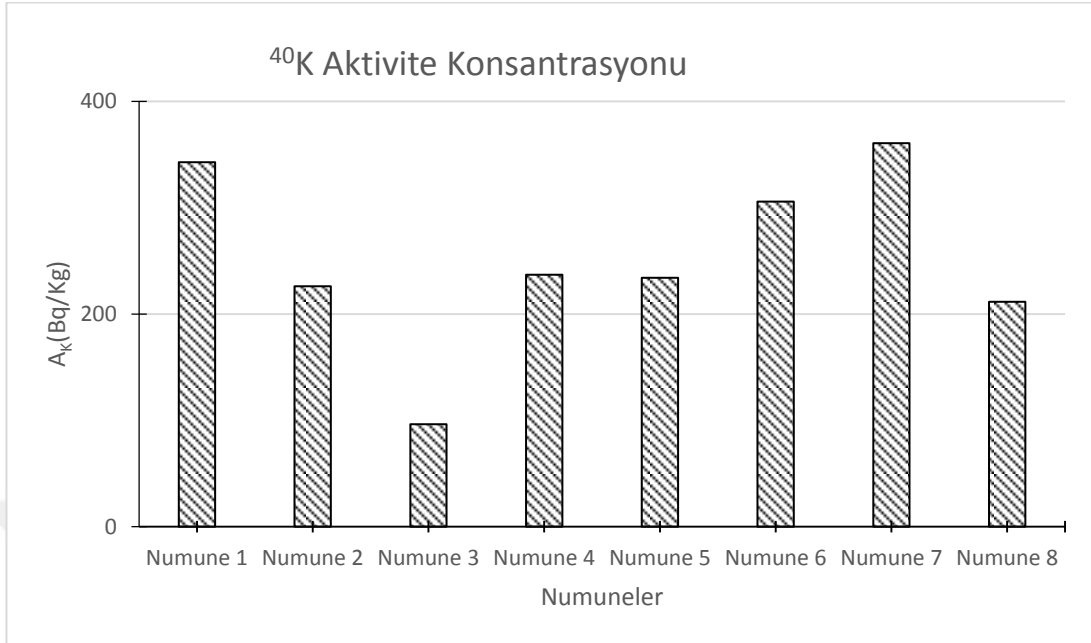
$\Delta \gamma$: ilgili nüklidin gama yayınlanma olasılığındaki hata

Δt : sayım süresindeki hata

Δm : örnek ağırlığının belirlenmesindeki hata

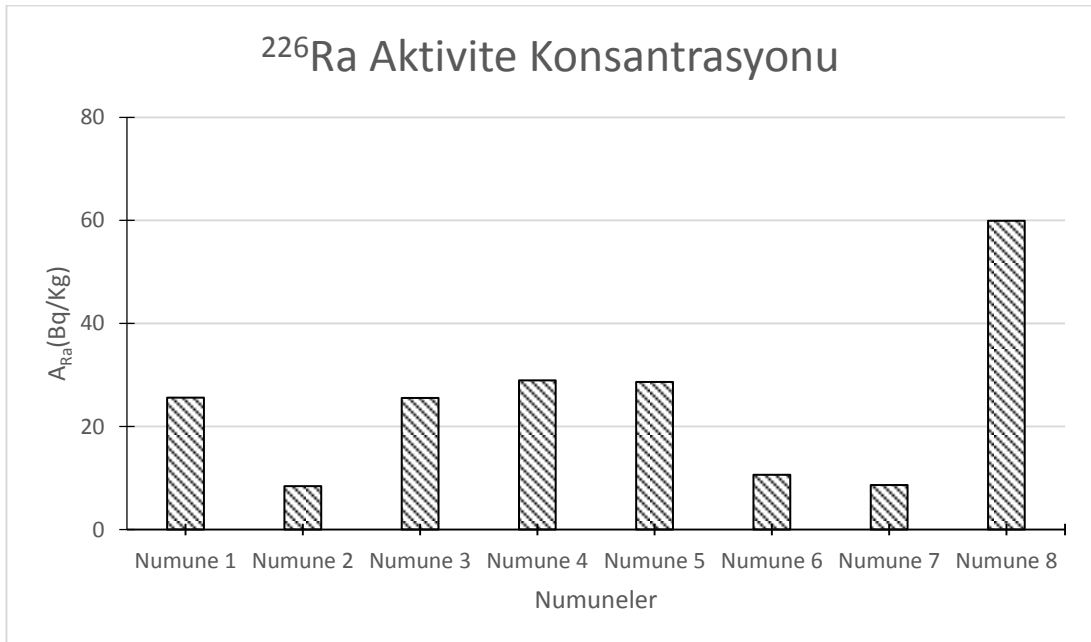
Bu şekilde elde edilen hata % 4,24 bulunmuştur.

Elde edilen aktivite sonuçları Şekil 5.3 – 5.5'de görülmektedir.



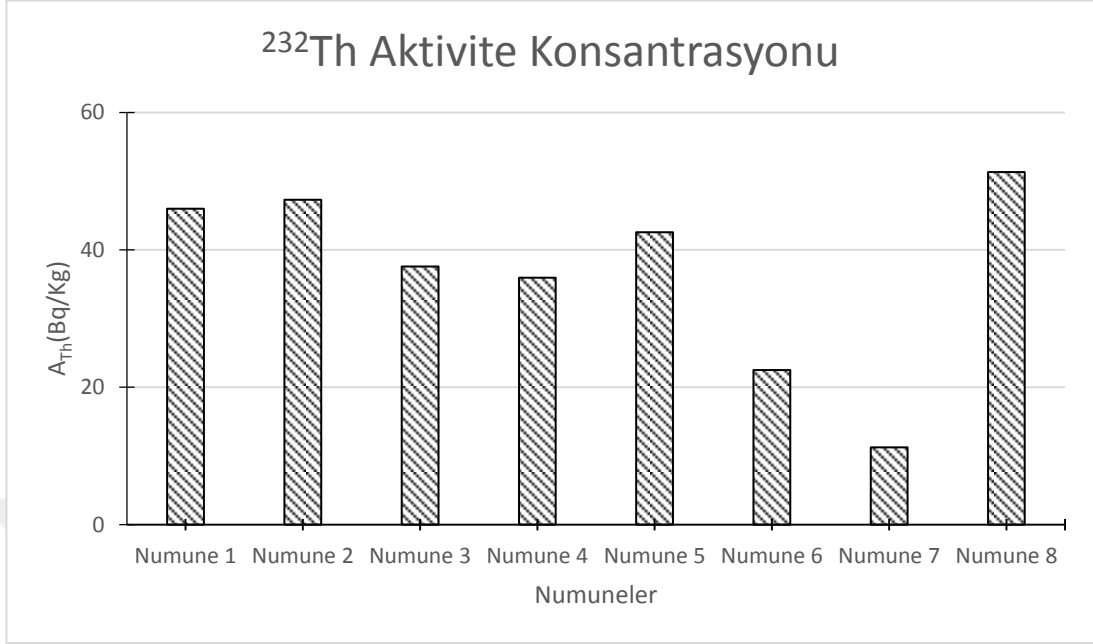
Şekil 5.3. Tüm numunelerin ^{40}K için aktivite konsantrasyonları

Şekil 5.3'den görüldüğü üzere ^{40}K için en yüksek aktivite değeri numune 7'ye aittir.



Şekil 5.4. Tüm numunelerin ^{226}Ra için aktivite konsantrasyonları

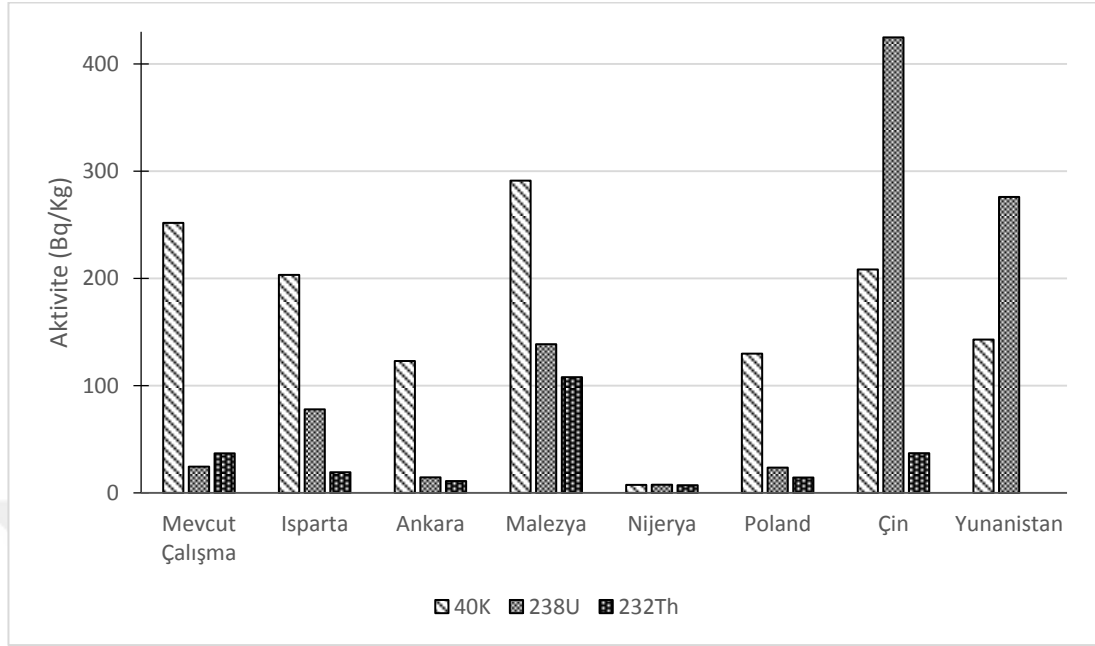
Şekil 5.4'den görüldüğü üzere ^{226}Ra için en yüksek aktivite değeri numune 8'e aittir.



Şekil 5.5. Tüm numunelerin ^{232}Th için aktivite konsantrasyonları

Şekil 5.5'den görüldüğü üzere ^{232}Th için en yüksek aktivite değeri numune 8'e aittir.

Bu numunelerden elde ettiğimiz aktivite değerlerini farklı coğrafi konumlarda yapılmış ve literatüre geçmiş çalışmalarla kıyasladığımızda ^{40}K aktivite konsantrasyonunun ortalamanın üzerinde, ^{238}U aktivite konsantrasyonunun ortalamanın altında ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonunun ise ortalamanın üzerinde bir değere sahip olduğu ve jeolojik özelliğe bağlı olarak değişim gösterdiği görülmektedir (Şekil 5.6).



Şekil 5.6. Dünya genelinde yapılan çalışmalarda elde edilen aktivite değerleri ile bu çalışmada elde edilen aktivite değerlerinin karşılaştırılması

Maden ocaklarında çalışan işçiler çalışma süreleri boyunca kömürün içeriğinde bulunan radyonükleitler sebebiyle çevresel radyasyona maruz kalmaktadırlar. Toplanan her bir kömür numunesinin aktivite konsantrasyon değerlerini kullanarak birbirine karşılık gelen yıllık etkin doz eşdeğeri, soğurulmuş doz oranları, Radium eşdeğer aktivitesi, kömür numunlerinden kaynaklanan gama radyasyon doz hızı tespit edilmiştir. Bu değerlerin ölçümü neticesinde maden işçilerinin maruz kaldığı radyasyonun işçiler üzerindeki etkisi tespit edilmiş olacaktır.

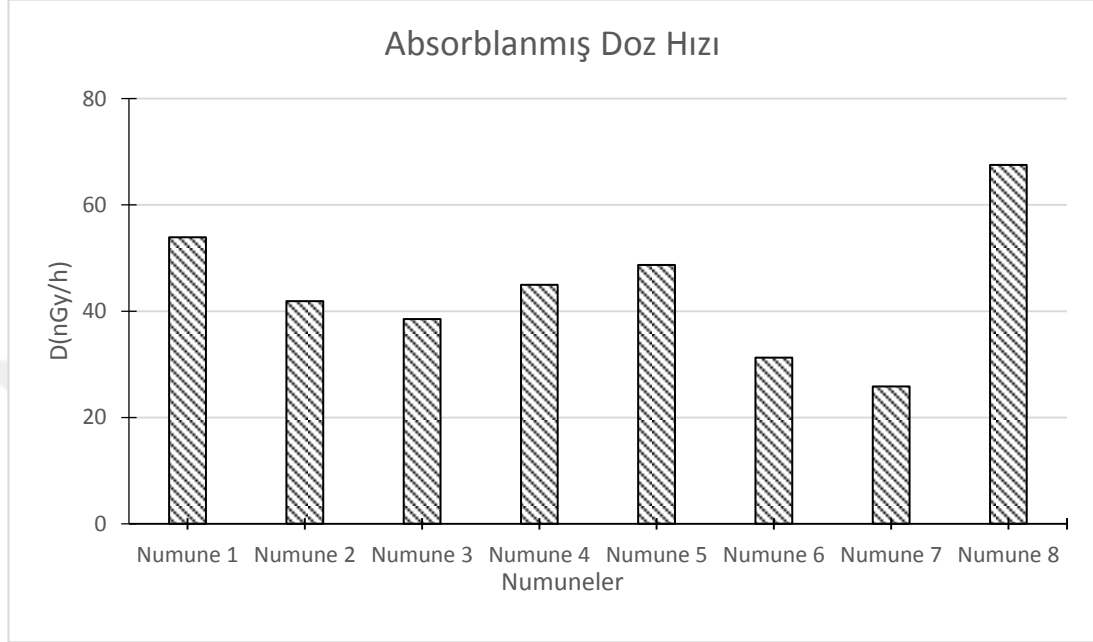
5.3. Absorblanmış Doz Hızı

Absorblanmış doz hızı; iyonlaştırıcı bir radyasyonun birim kütlede maddeye verdiği enerji miktarı olarak tanımlanır [Görür, 2006].

Bu çalışmada zeminden 1m yukarıda hava ortamı içerisinde absorblanmış doz hızı Eş. 5.3 ile hesaplanmıştır [UNSCEAR, 2000]:

$$D(nGy/h) = 0.462A_{Ra} + 0.604A_{Th} + 0.0417A_K \quad (5.3)$$

Burada D , absorblanmış doz hızı, A_{Ra} , ^{226}Ra aktivite konsantrasyonu, A_{Th} , ^{232}Th aktivite konsantrasyonu ve A_K , ^{40}K aktivite konsantrasyonudur.



Şekil 5.7. Absorblanmış doz hızı

Bir ortamdaki absorblanmış doz hızı biliniyorsa aynı ortamdaki yıllık etkin doz eşdeğeri de hesaplanabilir.

5.4. Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri

Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri (YEDE) insanların farklı radyasyon kaynaklarından yayımlanan ışınlar gerek dışarıdan maruz kalmasıyla gerekse aldığı besinlerle ve teneffüs ettiği havada bulunan radyonüklidleri vücuda alarak içten maruz kalmasıyla 1 yıl boyunca alacağı radyasyon dozu olarak tanımlanır.

Yıllık etkin doz eşdeğeri [UNSCEAR,1982] ;

$$YEDE(mSv/y) = D \times DDF \times ZGF \times T \quad (5.4)$$

ile verilir. Burada;

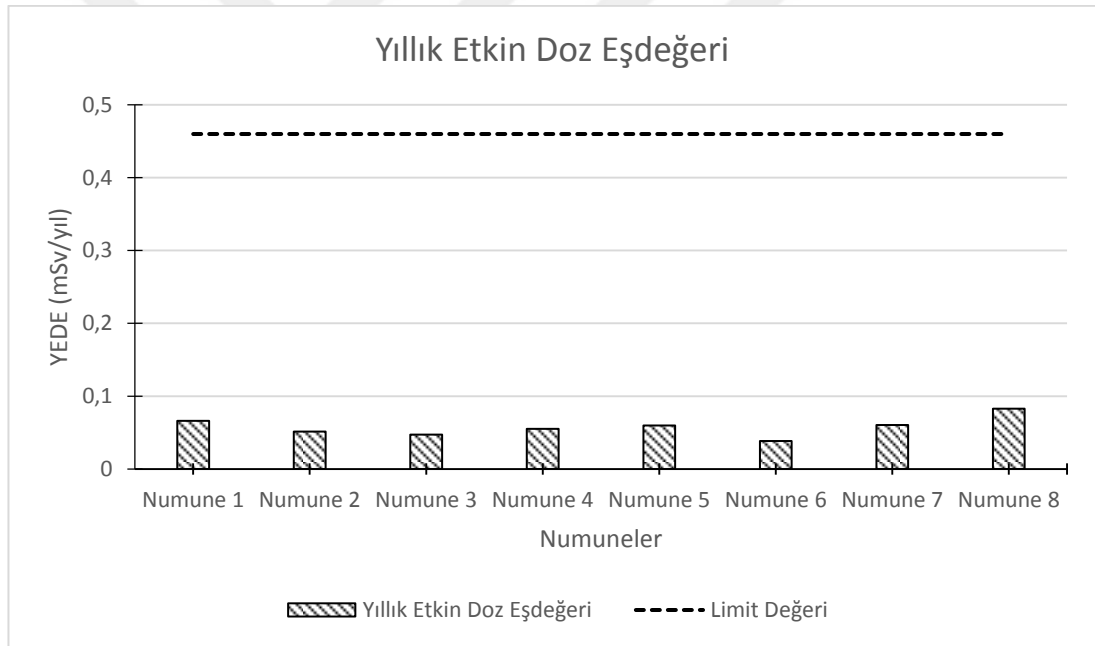
D = Absorbe edilen doz hızı(nGy/h)

DDF = Doz dönüşüm faktörü(Sv/Gy)

ZGF = Zaman geçirme faktörü

T = Zaman(h/y)

Çevresel gama ışınlamaları için DDF değeri 0,7 Sv/Gy alınmaktadır [UNSCEAR,1982]. Bu değer, hem ev içi (indoor) hem de ev dışı (outdoor) çevresel gama ışınları için kullanılır. Gama ışınlarının insana verdiği yıllık etkin doz eşdeğeri hesaplanırken dikkate alınması gereken en önemli faktör, insanların bu radyasyonlara ne kadar süre maruz kaldıklarıdır. Evde geçirilen zamana ilişkin ZGF faktörü; bir insanın zamanının yaklaşık % 80'ini ev veya kapalı alanlarda, % 20'sini de ev dışı alanlarda geçireceği düşünülerek kullanılmaktadır. [UNSCEAR,1988]. T değeri ise 12 ay düşünülerek 8760 saat/yıl alınmıştır. Yıllık etkin doz eşdeğeri Şekil 5.8'de görülmektedir.



Şekil 5.8. Yıllık etkin doz eşdeğeri

Dünya genelinde, bir insanın doğal radyasyon kaynaklarından maruz kaldığı yıllık etkin doz değerleri Çizelge 5.1'de verilmiştir. Çizelgeden görüldüğü üzere, yeryüzü kaynaklı dış ışınlanma değişim aralığı yıllık etkin doz değeri 0,3 – 0,6 mSv/y olarak tespit edilmiştir. Buradan da görüleceği gibi kömür ocaklarından çıkarılan kömürlerden kaynaklanan yıllık etkin doz değerleri bu çizelgede verilen değişim aralığının altında kalmaktadır.

Çizelge 5.1. Dünya genelinde, bir insanın doğal radyasyon kaynaklarından maruz kaldığı yıllık etkin doz değerleri [UNSCEAR, 2007]

Kaynak	Yıllık Kişi Başına Etkin Doz (mSv)	Düzyey (mSv)
Dış Işınlama		
Kozmik Işınlr	0,4	0,3 – 1,0
Karasal Gama Işınları	0,5	0,3 – 0,6
İç Işınlama		
Nefes Alma (Çoğunlukla Radon)	1,2	0,2 - 10
Gıda Yolu İle	0,3	0,2 – 0,8
TOPLAM	2,4	1 - 10

5.5. Radyum Eşdeğer Aktivitesi

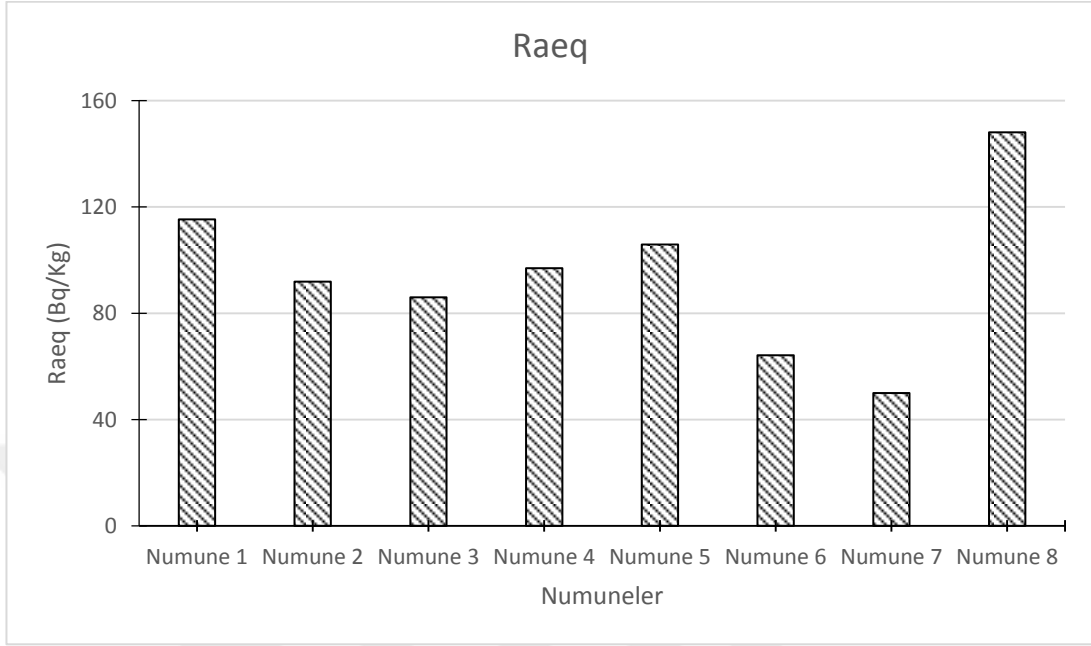
^{222}Rn 20.yy başlarında tanımlanmış ve solunumuna bağlı olarak akciğer kanserinin gelişmesi bulgusu ise 1960'lı yılların sonuna doğru tespit edilmiştir. Bu nedenle bu radyonüklitin ve onun kısa yarı ömürlü ürünlerinin solunmasının kanser riski oluşturduğu tüm dünyada kabul edilir [Mavi, 2010].

^{222}Rn ve kısa yan ömürlü ürünlerinin sebep olduğu içsel maruz kalmanın dışında kömürlerde bulunan ^{40}K , ^{232}Th , ^{226}Ra radyonüklidlerinden yayımlanan gama ışınları da maden ocakları içinde dışsal maruz kalmaya katkıda bulunurlar. Bu nedenle ^{226}Ra , ^{40}K ve ^{232}Th içeren kömürlerin spesifik aktivitelerini karşılaştırmak için radyum eşdeğer aktivitesi Ra_{eq} adı verilen ortak bir indeks kullanılmaktadır.

Radyum eşdeğer aktivitesi (Ra_{eq}) Eş. 5.5 ile hesaplanmaktadır [UNSCEAR,1982].

$$Ra_{eq} = A_{Ra} + 1.43A_{Th} + 0.077A_K \quad (5.5)$$

Bu eşitlikte Ra_{eq} , Radyum eşdeğer aktivitesini, A_{Ra} , ^{226}Ra için deneysel olarak bulunan aktivite konsantrasyonunu, A_{Th} , ^{232}Th için deneysel olarak bulunan aktivite konsantrasyonunu ve A_K , ^{40}K için deneysel olarak bulunan aktivite konsantrasyonunu temsil eder. Şekil 5.9'da herbir numunenin Radyum eşdeğer aktivitesi gösterilmiştir.



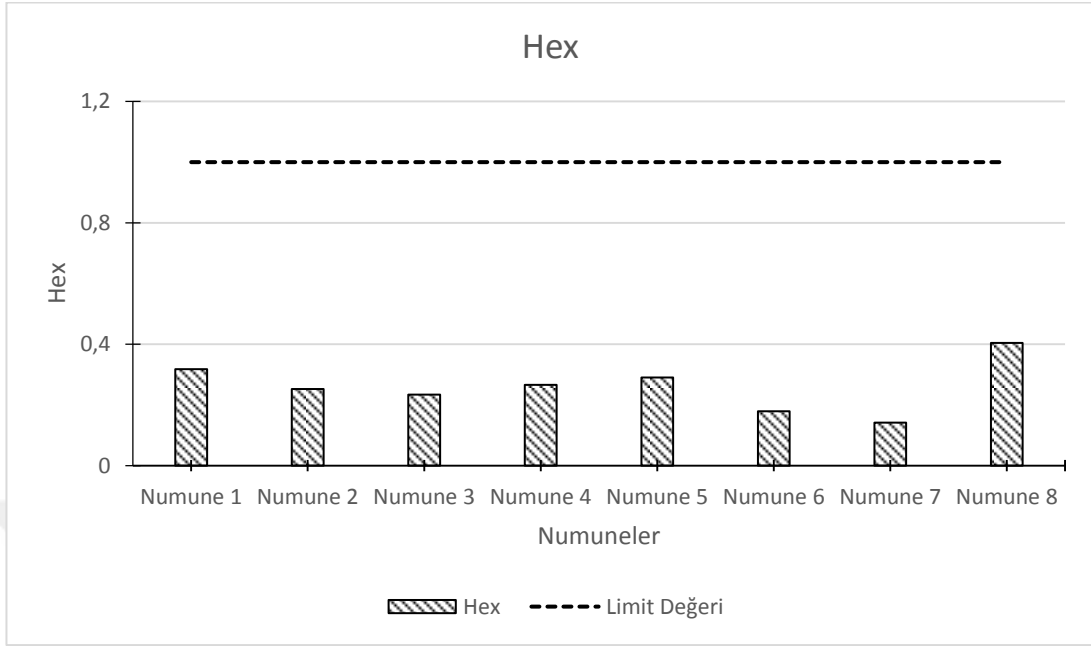
Şekil 5.9. Radium eşdeğer aktivitesi

5.6. Kömürler İçin Dış Ortam Tehlike İndeksi ve Gama Aktivite İndeksi

Kömürlerden kaynaklanan gama radyasyon doz hızının yıllık 1,5 mGy/yıl'dan az olması gerekmektedir. Bunun için $H_{ex} < 1$ olmalıdır. Bu amaçla ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K için kullanılan dış ortam tehlike indeksi H_{ex} Eşitlik 5.6'da verilen bağıntıyla hesaplanır [Beretka ve Mathew, 1985]. Dış ortam tehlike indeksi Şekil 5.10'da verilmiştir.

$$H_{ex} = \frac{A_{Ra}}{370} + \frac{A_{Th}}{259} + \frac{A_K}{4810} \leq 1 \quad (5.6)$$

Burada H_{ex} , dış ortam tehlike indeksi, A_{Ra} , ^{226}Ra için deneysel olarak bulunan aktivite konsatrasyonunu ve A_K , ^{40}K için deneysel olarak bulunan aktivite konsatrasyonunu temsil etmektedir.



Şekil 5.10. Dış ortam tehlike indeksi

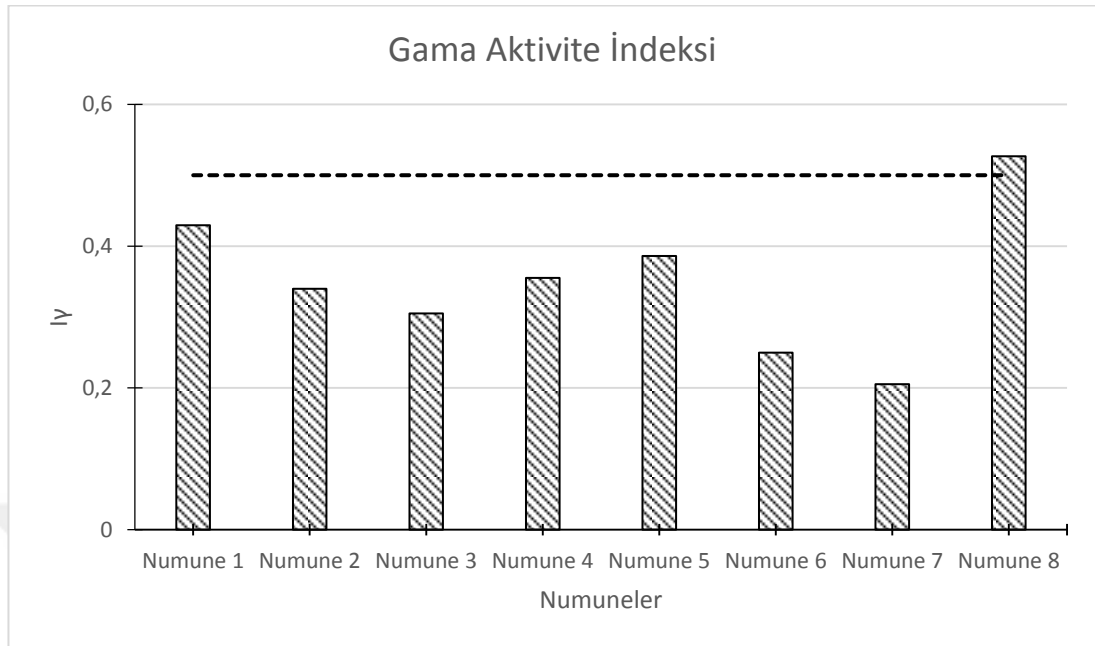
Şekil 5.10'dan da görüldüğü üzere dış ortam tehlike indeksi $H_{ex} < 1$ olarak bulunmuştur.

Kömür numunleri için Gama aktivite indeksi (I_γ) Eş. 5.7'de verilen bağıntı ile hesaplanmaktadır [Markkanen, 1995].

$I_\gamma \leq 1$ ise absorbe edilen gama doz oranı 1 mSv/yıl'a eşit veya daha az, $I_\gamma \leq 0.5$ ise absorbe edilen gama doz oranı 0.3 mSv/yıl'a eşit veya daha az olur [Turhan, 2008].

$$I_\gamma = \frac{A_{Th}}{200Bq/Kg} + \frac{A_{Ra}}{300Bq/Kg} + \frac{A_K}{3000Bq/Kg} \quad (5.7)$$

Burada I_γ , Gama aktivite indeksini, A_{Ra} , ^{226}Ra için deneysel olarak bulunan aktivite konsantrasyonunu, A_{Th} , ^{232}Th için deneysel olarak bulunan aktivite konsantrasyonunu ve A_K , ^{40}K için deneysel olarak bulunan aktivite konsantrasyonunu temsil eder. Aktivite konsantrasyonu değerleri kullanılarak hesaplanan Gama aktivite indeksi Şekil 5.11'de verilmiştir.



Şekil 5.11. Gama aktivite indeksi

Şekil 5.11'den de görüldüğü üzere sadece numune 8'in gama aktivite indeksi $I_{\gamma} \leq 0,5$ sınırını geçmiştir.

6. TARTIŞMA VE SONUÇ

Kömürlerin oluşumu milyonlarca yıl sürebilmektedir ve bu süreç boyunca da kaya, toprak, taş vb. yer kaynaklı maddeler ile kaynaşmaktadır. Bu sebeple de kömürlerin doğal radyoaktivite tayininin yapılması insan sağlığı açısından önem arz etmektedir. Bu amaçla “Amasya Kömür Ocaklarından Çıkarılan Kömürlerin Doğal Radyoaktivitesinin Belirlenmesi” isimli bu tez çalışmasında 8 farklı kömür numunesinin ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th aktivite konsantrasyonları hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar sırasıyla 96,42 – 360,73 Bq/kg, 8,40 – 59,91 Bq/kg ve 11,24 – 51,32 Bq/kg olarak bulunmuştur. Bu aktivite değerleri kullanılarak Ra_{eq} hesaplanmış ve hiç bir numunenin OECD tarafından verilen kabul edilebilir maksimum aktivite değeri olan 370 Bq/kg ‘ın üzerinde olmadığı tespit edilmiştir [OECD, 1992]. Ayrıca gama aktivite indeksi ve dış ortam tehlike indeksi limit değerleri elde edilmiş ölçümü yapılan numunelerden sadece numune 8 gama aktivite indeksi limit değerini aşmış diğer tüm numuneler limit değerlerinin altında bulunmuştur.

Elde edilen bu ölçümler neticesinde, kömürlerin doğal radyoaktivitesinden kaynaklanan zararlı bir çevresel etkiye maruz kalınmayacağı tespit edilmiştir. Bu neticede yapılan bu çalışma Türkiye’nin doğal radyoaktivite haritasının çıkarılmasına katkı sağlamış ve Amasya iline ait kömür ocaklarından çıkarılan kömürlerin, radyolojik açıdan bir zararının bulunmadığını ortaya koymuştur.

7. KAYNAKLAR

Akbayır, S., “2005-2007 Yılları Arasında İğdir İlinden Alınan Toprak Örneklerindeki Radyasyon Ölçümü”, Yüksek Lisans Tezi, *Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kars (2008)

Akça, S., "Mantar Çeşitlerinde Elemental Analiz Ve Doğal Radyoaktivite Ölçümü", Yüksek Lisans Tezi, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kahramanmaraş (2011)

Alakuş, F., "Bursa İli Kaynak Sularında Radon Gazı Radyoaktivitesinin Ölçülmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yozgat, (2013)

Altekin, E., "Çeşitli Bal Örneklerinde Radyoaktivite ve Ağır Metal Analizi", Yüksek Lisans Tezi, *Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Rize (2014)

Balogun, F.A., Mokobia, C.E., Fasasi, M.K., Ogundare, F.O., "Natural Radioactivity Associated With Bituminous Coal Mining Nigeria", *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, 505:444 – 448 (2003)

Amin, Y.M., Khandaker, M.U., Shyen, A.K.S., Mahat R.H., Nor, R.M., Bradley, D.A., "Radionuclide Emissions From A Coal-Fi Red Power Plant", *Applied Radiation and Isotopes*, 80:109–116 (2013)

ARYA, A.P., ”Çekirdek Fiziğinin Esasları”, Yusuf Şahin, *Aktif Yayınevi*, Erzurum. 224-280 p., (1999).

Başkurt B., “Van Gölü Havzasındaki Kanser Sıklığının Araştırılması Ve Çevresel Radyoaktivite İle İlişkinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü*, Van (2012)

Bem, H., Wiczorkowski, P., Budzanowski, M., "Evaluation Of Technologically Enhanced Natural Radiation Near The Coal-Fired Power Plants In The Lodz Region

Of Poland", *Journal of Environmental Radioactivity*, 61:191–201 (2002)

Beretka, J., Mathew, P. J., "Natural radioactivity of Australian building materials, industrial wastes and by-products", *Health Physics*, 48:87–95. (1985)

Berker, S., "Mersin Akkuyu Sahillerinden Alınan Kum Örneklerindeki Doğal Radyoaktivite Düzeyinin Belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Mersin (2014)

Bostancı, S., "Ondokuz Mayıs Üniversitesi Kurupelit Kampüsü Ve Samsun İl merkezinin Doğal Radyoaktivite Seviyesinin Belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Samsun (2011)

Çevik, U., Damla, N., Nezir, S., "Radiological characterization of Cayırhan coal-fired power plant in Turkey", *Fuel*, 86:2509–2513 (2007)

Delfanti, R., Papucci, C., Benco, C., "Mosses As Indicators Of Radioactivity Deposition Around A Coal-Fired Power Station", *The Science of the Total Environment*, 227:49-56 (1999)

Dinis, M.L., Fiúza, A., Góis, J., Carvalho, J.M.S., Castro, A.C.M., "Modeling Radionuclides Dispersion and Deposition Downwind of a Coal-Fired Power Plant", *Procedia Earth and Planetary Science*, 8:59 – 63 (2014)

Đurašević, M., Kandić, A., Stefanović, P., Vukanac, I., Šešlak, B., "Natural Radioactivity In Lignite Samples From Open Pit Mines 'Kolubara', Serbia – Risk Assessment", *Applied Radiation And Isotopes*, 87:73-76 (2014)

Dyer Stephen A., "Survey of Instrumentation and Measurement". Wiley-IEEE. p. 920. (2001)

Flues, M., Camargo, I.M.C., Filho, P.M.F., Silva, P.S.C., Mazzilli, B.P., "Evaluation Of Radionuclides Concentration In Brazilian Coals", *Fuel*, 86:807–812 (2007)

Görür, Ş., "Çevresel Radyoaktivite Ile Bu Çevrede Yaşayanlara Ait Diş Örneklerindeki Radyoaktivite Arasındaki İlişkinin Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana (2006)

Günoğlu, K., "Afyonkarahisar Yöresi Mermerlerinde Doğal Radyoaktivite Tayini", Yüksek Lisans Tezi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyonkarahisar (2008)

Günoğlu, K., "Türkiye' deki Bazı Doğal Taşların Radyoaktivite Tayini Ve Radyasyon Soğurma Özelliklerinin Araştırılması", Doktora Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta (2012)

Huang, Y.-J., Chen, C.-F., Huang, Y.-C., Yue, Q.-J., Zhong, C.-M., Tan, C.-J., "Natural Radioactivity And Radiological Hazards Assessment Of Bone-Coal From A Vanadium Mine In Central China", *Radiation Physics and Chemistry*, 107:82–88 (2015)

İnternet: Amasya Belediyesi, "Coğrafi Yapı"

<http://www.amasya.bel.tr/icerik/240/1550/cograf-yapi.aspx> (2015)

İnternet: Amasya Müzesi, "Amasya'nın Coğrafik Konumu, İklim ve Jeolojik Özellikleri"

<http://www.amasyamuzesi.gov.tr/cografya.html> (2015)

İnternet: Markkanen, M., "Radiation Dose Assessments for Materials with Elevated Natural Radioactivity", *STUK-B-STO 32*, (1995)

<http://www.stuk.fi/julkaisut/stuk-b/stuk-b-sto32.pdf> (2015)

İnternet: Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu, "Kömür Nedir?",

http://www.tki.gov.tr/Dosyalar/Dosya/Komur_Nedir.pdf (2015)

Kara, A., "Karaca Ve Çal Mağaraları'nda Radon Konsantrasyonu Ve Radyoaktivite Seviyesinin Belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen*

Bilimleri Enstitüsü, Trabzon (2008)

Karakılıç, V., “Türk Hızlandırıcı ve Radyasyon Laboratuvarı (TARLA, Ankara) Çevresinde Doğal Radyoaktivite Ölçümleri”, Yüksek Lisans Tezi, **Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Isparta (2013)

Karatepe, Ş., “Bazı Bina Yapım Malzemelerindeki Doğal Radyoaktivitenin Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Elazığ (2008)

Keser, R., “Rize İli Sahil Kumlarında Ve Bazı Kayaçlarda Doğal Gama Radyoaktivite Seviyelerinin Belirlenmesi”, Doktora Tezi, **Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Trabzon (2009)

Keskin, S., “Tuz Gölü Çevresinden Alınan Toprak Örneklerinde Doğal Radyonüklidlerin Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi. **Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul (2008)

Knoll, G. F., “Radiation Detection and Measurement”, Third Edition, John Wiley & Sons, Inc. (2000)

Krane, K. S., “Nükleer Fizik Ders Kitabı”, 1.cilt, Prof. Dr. Başar Şarer, **Palme Yayıncılık**, Ankara, 174-248 (2001)

Lu, X., Jia, X., Wang, F., "Natural Radioactivity Of Coal And Its By-Products In The Baoji Coal-Fired Power Plant, China", **Current Science**, 91:1508 – 1511 (2006)

Lu, X., Zhao, C., Chen, C., Liu, W., "Radioactivity Level Of Soil Around Baqiao Coal-Fired Power Plant In China", **Radiation Physics and Chemistry**, 81:1827–1832 (2012)

Magill, J., Galy J., “Radioactivity, Radionuclides, Radiation”, **Springer**, Germany, 259 s. (2005)

Mahur, A .K., Kumar, R., Sengupta, D., Prasad, R., ” Estimation Of Radon Exhalatio N Rate, Natural Radioac Tivity And Radiation Doses In Fly Ash Sample S From Durgapur Therm Al Power Plant, West Be Ngal, India”, *Journal of Environmental Radioactivity*, 99: 1289–1293 (2008)

Mavi,B., “Isparta’daki Bazı Yapı Malzemelerinde Doğal Radyoaktivite Tayini”, Doktora Tezi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta (2010)

Mishra, U. C., “Environmental Impact Of Coal Industry And Thermal Power Plants In India”, *Journal of Environmental Radioactivity*, 72: 35–40 (2004)

NCRP, “Exposure Of The Population Of The United States And Canada From Natural Background Radiation”. Report No. 94, **National Council on Radiation Protection and Measurements**, Bethesda, Maryland. (1987)

Nisnevich, M., Sirotin, G., Schlesinger, T., Eshel, Y., “Radiological Safety Aspects Of Utilizing Coal Ashes For Production Of Lightweight Concrete”, *Fuel* 87:1610–1616 (2008)

OECD (Organization for Economic Co-operation and Development), “Exposure to radiation from the natural radioactivity in building materials”, *Report by a Group of Experts of the OECD Nuclear Energy Agency*, OECD, Paris, France (1979)

Öner, F., “Radyasyon ve Canlılar Üzerine Etkisi”, Ders Notu, *Amasya Üniversitesi Eğitim Fakültesi*

Öter, Ç., “Van Ve Çevresinde Yetiştirilen Bazı Yöresel Ürünlerde Doğal Radyoaktivite Seviyelerinin Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Van (2013)

Papastefanou, C., "Escaping Radioactivity From Coal-Fired Power Plants (Cpps) Due To Coal Burning And The Associated Hazards: A Review", *Journal of*

Environmental Radioactivity, 101:191–200 (2010)

Sahu, S.K., Tiwari, M., Bhangare, R.C., Pandit, G.G., “Enrichment And Particle Size Dependence Of Polonium And Other Naturally Occurring Radionuclides In Coal Ash”, *Journal of Environmental Radioactivity*, 138:421-426 (2014)

TAEK, “Radyasyon, İnsan ve Çevre”, *TAEK*, Ankara, 3-32 (2009)

TAEK, TAEK ile Üniversiteler Arasında Çevresel Radyoaktivitenin Belirlenmesi ve İzlenmesine Yönelik İş Birliği Projesi, Birinci Çalıştay, TAEK-SANAEM, Ankara. (2009)

TAEK, “Doğal Radyasyon Kaynakları”, www.taek.gov.tr (2007)

Turhan, S., Parmaksız, A., Köse, A., Yüksel, A., Arıkan, I.H., Yücel, B., “Radiological Characteristics Of Pulverized Fly Ashes Produced In Turkish Coal-Burning Thermal Power Plants”, *Fuel*, 89:3892–3900 (2010)

Turhan, Ş., “Assessment Of The Natural Radioactivity And Radiological Hazards In Turkish Cement And Its Raw Materials” *Journal of Environmental Radioactivity Volume*, 99 (2):404-414 (2008)

UNSCEAR, “Ionizing Radiation: Sources And Biological Effects, Annex B: Exposures to Natural Radiation Sources”, *UNSCEAR 1982 Report*, (1982) http://www.unscear.org/docs/reports/1982/1982-B_unscear.pdf (2015)

UNSCEAR, “Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly”, *UNSCEAR 2007 Report*, (2007) <http://www.unscear.org/docs/reports/gareport.pdf> (2015)

UNSCEAR 2000, (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation), Exposure from natural sources of radiation, U.N. New York .

UNSCEAR, "Sources, Effects And Risks Of Ionizing Radiation, Annex A: Exposure From Natural Sources Of Radiation", *UNSCEAR 1988 Report*, (1988)

http://www.unscear.org/docs/reports/1988/1988b_unscear.pdf (2015)

Varinođlu, A., Akyüz, T., Köse, A., "Technical Note The Radioactivity Measurement of Turkish Lignites", *J. Environ. Radioactivity*, 41:381-387 (1998)

Vukovic, Z., Mandic, M., "Natural Radioactivity Of Ground Waters And Soil In The Vicinity Of The Ash Repository Of The Coal-Fired Power Plant "Nikola Tesla" A - Obrenovac (Yugoslavia)", *J. Environ. Radioactivity*, 33:41-48, (1996)

Yalçın, S., Gürler, O., "The Radioactivity Measurements In Soil, Coal And Water In South Marmara Region Of Turkey", *Radiation Measurements*, 42:281 – 285 (2007)

Yaren, H., Karayılanoğlu, T., "Radyasyon ve İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri", *TSK Koruyucu Hekimlik Bülteni*,4(4):199-208 (2005)

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : BOZ, Mustafa Cevat
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 24.09.1991 Diyarbakır
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0 (534) 613 68 23
 E-mail : mustafacevatboz@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	KİLİS 7 Aralık Üniversitesi/ Fizik	2013
Lise	Suluova Şehit Metahan Atmaca Anadolu Lisesi	2009

Yabancı Dil

İngilizce, Almanca

Yayınlar

SCI, SSCI VE AHCI Tarafından Taranan Dergilerde Yayımlanan Teknik Not, Editöre Mektup, Tartışma, Vak'a Takdimi ve Özet Türünden Yayınlar Dışındaki Makale

1. Karpuz, N., Boz, M. C., Mavi, B., Öner, F., Akkurt I. Detailed Analysis Of Differential Cross Sections For Elastic And Inelastic Scattering For $n+^{208}\text{Pb}$ Reaction. Fusion Engineering and Design (Under Review)
2. M.C. Boz , F. Öner , B. Mavi, Natural Radioactivity and Radiation Hazards in Coals Extracted in Amasya, Turkey, Vol. 128 (2015), ACTA PHYSICA POLONICA A, No. 2-B
3. N. Karpuz , M.C. Boz, B. Mavi , F. Oner, and İ. Akkurt, Investigation of Production Reaction Cross Section for ^{137}Cs Used in Radiotherapy, Vol. 128 (2015), ACTA PHYSICA POLONICA A, No. 2-B
4. N. Karpuz , M.C. Boz, B. Mavi and İ. Akkurt, Variation of Photoneutron Cross Section with Mass Number, Vol. 128 (2015), ACTA PHYSICA POLONICA A, No. 2-B
5. N. Karpuz , M.C. Boz, B. Mavi , F. Oner, and İ. Akkurt, Cross Sections Calculation of (γ, N) Reactions for Some Elements, Vol. 128 (2015), ACTA PHYSICA POLONICA A, No. 2-B

Uluslararası Bilimsel Toplantılarda Sunulan Ve Bildiri Kitabında Basılan Bildiriler

1. Karpuz, N., Boz, M.C., Mavi, B., Öner, F., Akkurt, İ., 2014. Investigation of Production Reaction Cross Section for ^{137}Cs Used in Radiotherapy. International Conference on Computational and Experimental Science and Engineering, 25-29 October, Kemer-Antalya.
2. Karpuz, N., Boz, M.C., Mavi, B., Akkurt, İ., 2014. Variation of Photoneutron Cross Section with Mass Number. International Conference on Computational and Experimental Science and Engineering, 25-29 October, Kemer-Antalya.
3. Karpuz, N., Boz, M.C., Mavi, B., Akkurt, İ., 2014. Cross Sections Calculation of (γ, N) Reactions for Some Elements. International Conference on Computational and Experimental Science and Engineering, 25-29 October, Kemer-Antalya
4. Boz, M.C., Karpuz, N., Mavi, B., Öner, F., Akkurt, İ., 2015. A Comparative Study of Proton-induced Reaction on Sn İsootopes. 2nd International Conference on Computational and Experimental Science and Engineering (ICCESEN 2015), 14-19 Ekim, Antalya-Türkiye.
5. Boz, M.C., Karpuz, N., Mavi, B., Öner, F., Akkurt, İ., 2015. Theoretical Calculation of Neutron Reaction Cross Section in the Energy Range of 5-40 MeV for Mo. 2nd International Conference on Computational and Experimental Science and Engineering (ICCESEN 2015), 14-19 Ekim, Antalya-Türkiye.
6. Karpuz, N., Boz, M.C., Akkurt, İ., Öner, F., Mavi, B., 2014. Kalay İzootopları İçin Fotonötron Tesir Kesiti Hesaplamaları. Türk Fizik Derneği 31. Uluslararası Fizik Kongresi, 21-24 Temmuz, Bodrum-Türkiye.