



T.C.
AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI

AMASYA KAPLICALARININ DOĞAL RADYOAKTİVİTE
SEVİYESİNİN BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bekir BOLAT

HAZİRAN 2019

**T.C.
AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI**

**AMASYA KAPLICALARININ DOĞAL RADYOAKTİVİTE
SEVİYESİNİN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bekir BOLAT

HAZİRAN 2019

BEKİR BOLAT

FİZİK ANABİLİM DALI

HAZİRAN 2019

Bekir BOLAT tarafından hazırlanan “AMASYA KAPLICALARININ DOĞAL RADYOAKTİVİTE SEVİYESİNİN BELİRLENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ/OY ÇOKLUĞU ile Amasya Üniversitesi FİZİK Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Feda ÖNER

Fizik Anabilim Dalı, Amasya Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum

Başkan : Doç. Dr. İbrahim YİĞİTOĞLU

Fizik Anabilim Dalı, Gaziosmanpaşa Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum

Üye : Doç. Dr. Betül ERTAN

Fizik Anabilim Dalı, Amasya Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum

Tez Savunma Tarihi: 11 / 06 / 2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....
Doç. Dr. Meryem EVECEN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



T.C.

AMASYA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM FORMU

Hazırladığım “Yüksek Lisans” tezinde, proje aşamasından sonuçlanmasına kadarki süreçte bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet ettiğimi, tez içindeki tüm bilgileri bilimsel ahlak ve gelenek çerçevesinde elde ettiğimi, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu çalışmamda doğrudan veya dolaylı olarak yaptığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu taahhüt ederim.

11/06/2019

İmzası

Bekir BOLAT

**AMASYA KAPLICALARININ DOĞAL
RADYOAKTİVİTE SEVİYESİNİN BELİRLENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Bekir BOLAT

**AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Haziran 2019**

ÖZET

Doğal radyoaktivite, Ra-226, Th-232 ve K-40 gibi yer kabuğundaki doğal radyonüklitlerden kaynaklanır. Bu elementlerin radyoaktivite değerlerinin belirlenmesi insan sağlığı için çok önemlidir. Bu çalışmada Amasya bölgesindeki Terziköy ve Gözlek kaplıcalarının çevresinden alınan toprak numunelerinin doğal radyoaktivite seviyeleri ölçülmüştür. Ölçümler Amasya Üniversitesi Radyoaktif Araştırma Laboratuvarında NaI(Tl) dedektörlü Gama Spektrometre Sistemi ile gerçekleştirilmiştir. Doğal radyonüklitlerle ilişkili spesifik aktivite konsantrasyonu (A), havada absorblanmış doz oranı (ADR), yıllık etkin doz (AED), radyum eşdeğer aktivitesi (Raeq), dış tehlike indeksi (Hex) ve gama aktivite indeksi (I_γ) hesaplanmıştır. Maksimum aktivite değerleri; Terziköy için sırasıyla Ra-226, Th-232 ve K-40 için 23,93 Bq/kg; 9,56 Bq/kg; 341,89 Bq/kg ve Gözlek için sırasıyla Ra-226, Th-232 ve K-40 için 18,85 Bq/kg; 13,34 Bq/kg; 339,66 Bq/kg olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler : Doğal Radyoaktivite, Kaplıca, Yıllık Etkin Doz, Amasya
Sayfa Adedi : 67
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Feda Öner

**DETERMINATION OF NATURAL RADIOACTIVITY LEVELS OF AMASYA
THERMAL SPRINGS**

(M.Sc.Thesis)

Bekir BOLAT

**AMASYA UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

June 2019

ABSTRACT

Natural radioactivity results from natural radionuclides in the Earth's crust, such as Ra-226, Th-232 and K-40. Determination of radioactivity values of these elements is very important for human health. In this study, natural radioactivity levels of soil samples taken from the around of Terziköy and Gözlek thermal springs in Amasya region were measured. The measurements were carried out with the Gamma Spectrometer System with NaI (Tl) detector in Amasya University Radioactive Research Laboratory. Specific activity concentration associated with natural radionuclides (A), air absorbed dose ratio (ADR), annual effective dose (AED), Radium equivalent activity (Raeq), external hazard index (Hex) and gamma activity index (I_γ) were calculated. Maximum activity values for Terziköy were calculated as 23,93 Bq/kg; 9,56 Bq/kg; 341,89 Bq/kg for Ra-226, Th-232 ve K-40, and for Gözlek as 18,85 Bq/kg; 13,34 Bq/kg; 339,66 Bq/kg for Ra-226, Th-232 ve K-40, respectively.

Keywords : Natural Radioactivity, Annual Effective Dose, SPA, Amasya
Page Number : 67
Adviser : Prof. Dr. Feda Öner

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren hocam Prof. Dr. Feda ÖNER'e, yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım hocam Doç. Dr. Betül ERTAN ve Dr. Öğretim Üyesi Nurdan KARPUZ DEMİR'e ve çalışma arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Çalıőmalarım süresince her şekilde sabırla beni destekleyen sevgili eşim Fatma BOLAT'a, Çocuklarım Yusuf Salih, Abdullah Said, Zeynep Gül ve Amine BOLAT'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca çalıőmalarımda bana yardımcı olan, Amasya Terziköy ve Gözlek Kaplıcalarındaki personellere yardımlarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	vi
ABSTRACT.....	vii
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1.GİRİŞ	1
1.1. Radyasyonun Keşfi	3
1.2. Radyasyon	3
1.2.1.İyonlaştırıcı radyasyon	4
1.2.2.Radyoaktif bozunma kanunu.....	11
1.3. Doğal radyoaktivite	13
1.3.1.Doğal radyoaktif seriler ve doğal radyoaktif elementler.....	14
2. DOĞAL RADYOAKTİVİTE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ	17
2.1. Dedektörler.....	17
2.1.1. İyon odası	17
2.1.2. Orantılı sayaç.....	18
2.1.3. Geiger – Müller sayacı	18
2.1.4. Sintilasyon sayacı.....	20
2.1.5. Yarı iletken dedektörler.....	20
3. KAYNAK ÖZETİ.....	22
4.MATERYAL VE YÖNTEM	25
4.1. Amasya Bölgesi ve Özellikleri.....	25
4.1.1. Coğrafi yapısı	25
4.1.2. İklim özellikleri	25
4.1.3. Jeolojik yapısı.....	25
4.2. Numunelerin Toplanması ve Gama Spektrometrik Analiz İçin Hazırlanması	26
4.3. Gama spektrometre sistemi	28
4.3.1. NaI(Tl) dedektörü.....	29

4.3.2. Elektronik üniteler.....	30
4.4. Toprak Numunelerinin Gama Spektrometrik Analizi.....	32
5. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	33
5.1. Aktivite Ölçüm Sonuçları.....	33
5.2. Aktivite Sonuçlarının Hesaplanması.....	33
5.3. Absorblanmış Doz Hızı.....	40
5.4. Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri.....	41
5.5. Radyum Eşdeğer Aktivitesi.....	43
5.6. Topraklar İçin Dış Ortam Tehlike İndeksi ve Gama Aktivite İndeksi.....	44
6. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	47
7. KAYNAKLAR.....	48
ÖZGEÇMİŞ.....	52

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge no	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	5
Çizelge 1.4. Yer kabuğunda bulunan doğal radyoaktif maddeler ve yarı ömürleri (Karabulut, 2008).	14
Çizelge 1.5. ²³⁸ U Serisine ait radyonüklitlerin yarı ömür ve bozunum türleri (Akbayır, 2008).	15
Çizelge 1.6. ²³² Th Serisine ait radyonüklitlerin yarı ömür ve bozunum türleri (Akbayır, 2008).	15
Çizelge 1.7. ²³⁵ U Serisine ait radyonüklitlerin yarı ömür ve bozunum türleri (Akbayır, 2008).	16
Çizelge 4.1. Amasya iline ait bazı iklim özellikleri (Amasya Müzesi).	25
Çizelge 5.1. Dünya genelinde, bir insanın doğal radyasyon kaynaklarından maruz kaldığı yıllık etkin doz değerleri (UNSCEAR, 2007).	43

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil no	Sayfa
Şekil 1.1. İyonize edici radyasyonların çeşitli maddelerle zırhlanması.....	4
Şekil 1.2. ^{228}Ra çekirdeğindeki β^- ışınması (Mavi, 2010).....	7
Şekil 1.3. ^{230}Pa çekirdeğindeki β^+ ışınması (Mavi, 2010).....	7
Şekil 1.4. ^{226}Ra 'nın bozunma şeması.....	8
Şekil 1.5. Fotoelektrik olay.....	10
Şekil 1.6. Compton etkileşmesi.....	10
Şekil 1.7. Çift Oluşumu.....	11
Şekil 2.1. İyon odası dedektörü.....	17
Şekil 2.2. Gazlı sayaç şematik gösterimi.....	18
Şekil 2.3. Geiger – Müller Dedektörü (Öter, 2013).....	19
Şekil 2.4. Gazlı dedektörlerin etkin olduğu Voltaj aralıkları (Karakılıç, 2013).	19
Şekil 2.5. Sintilasyon dedektörünün şematik gösterimi.....	20
Şekil 2.6. Yarı iletken bir dedektörün şematik gösterimi.....	21
Şekil 4.1. Terziköy toprak numunelerin alındıkları noktaların konumları.....	26
Şekil 4.2. Toprak numunelerin alındıkları noktaların konumları (tam boy).....	26
Şekil 4.3. Gözlek toprak numunelerin alındıkları noktaların konumları.....	27
Şekil 4.4. Doldurulmuş, tartılmış ve etiketlenmiş numune kapları.....	28
Şekil 4.5. Gama spektrometresinin şematik gösterimi (Berker, 2014).....	29
Şekil 4.6. Kullanılan NaI(Tl) dedektörü (üstte) ve iç yapısı (altta).....	30
Şekil 4.7. DSPEC LF modülü (üstte) ve yüksek gerilim modülü (altta).....	31
Şekil 4.8. MAESTRO-32 yazılımı yardımıyla elde edilen örnek bir spectrum.....	31
Şekil 5.1. Örnek gama spektrumu.....	33
Şekil 5.2.a. Terziköy numunelerinin ^{40}K için aktivite konsantrasyonları.....	34
Şekil 5.2.b. Gözlek numunelerinin ^{40}K için aktivite konsantrasyonları.....	35
Şekil 5.3.a. Terziköy ^{226}Ra için aktivite konsantrasyonları.....	35

Şekil 5.3.b. Gözlek numunelerin ^{226}Ra için aktivite konsantrasyonları.....	36
Şekil 5.4.a. Terziköy ^{232}Th için aktivite konsantrasyonları	36
Şekil 5.4.b. Gözlek ^{232}Th için aktivite konsantrasyonları	37
Şekil 5.6. Dünya genelinde elde edilen aktivite değerleri ile bu çalışmada elde edilen ^{40}K aktivite değerlerinin karşılaştırılması.....	38
Şekil 5.7. Dünya genelinde elde edilen aktivite değerleri ile bu çalışmada elde edilen ^{226}Ra aktivite değerlerinin karşılaştırılması.....	38
Şekil 5.8. Dünya genelinde elde edilen aktivite değerleri ile bu çalışmada elde edilen ^{232}Th aktivite değerlerinin karşılaştırılması.....	39
Şekil 5.9. Dünya genelinde yapılan çalışmalarda elde edilen aktivite değerleri ile bu çalışmada elde edilen tüm aktivite değerlerinin karşılaştırılması	39
Şekil 5.10.a. Terziköy Absorblanmış Doz Hızı	40
Şekil 5.10.b. Gözlek Absorblanmış Doz Hızı.....	40
Şekil 5.11.a. Terziköy Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri	42
Şekil 5.11.b. Gözlek Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri	42
Şekil 5.12.a. Terziköy Radyum eşdeğer aktivitesi.....	44
Şekil 5.12.b. Gözlek Radyum eşdeğer aktivitesi	44
Şekil 5.13.a. Terziköy dış ortam tehlike indeksi.....	45
Şekil 5.13.b. Gözlek dış ortam tehlike indeksi	45
Şekil 5.14.a. Terziköy Gama aktivite indeksi	46
Şekil 5.14.b. Gözlek Gama aktivite indeksi.....	46

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Açıklama

A	Alfa Parçacığı
B	Beta parçacığı
Γ	Gama ışını
Λ	Bozunum sabiti
ε	Dedektör verimliliği
M	Kütle(kg)
A	Aktivite
N	Atom Sayısı
R	Sayım Sayısı

Kısaltmalar

Açıklama

ÇKA	Çok kanallı analizör
TAEK	Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
SPA	
UNSCEAR	United Nations Scientific Committee On The Effects Of Atomic Radiation
TN*	Terziköy Numune Numarası
GN*	Gözlek Numune Numarası
*	1'den 12'ye kadar numaralar.

1.GİRİŞ

Radyoaktif çekirdeklerin kararlı hale dönerken yaydıkları enerji olarak tanımlanan radyasyonla ilgili çalışmalar 1896yılında Henry Becquerel tarafından başlatılmıştır. Doğal ve yapay olmak üzere ikiye ayrılan 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 ki buda sağlık sorunlarına sebep olur. Çevremizde sürekli var olan doğal radyasyonun yaklaşık %50'i gözle görülmeyen ve duyuvar vasıtasıyla algılanamayan renksiz, tatsız, kokusuz bir gaz olan Radon ve onun kısa ömürlü ürünlerinden oluşmaktadır (Akkurt, 2006). Radyasyon doğal kaynaklar ve teknolojinin getirmiş olduğu yenilikler sebebiyle hayatımızın bir parçası olmuştur. Dünya'nın oluşumundan bu yana yerkabuğunda bulunan doğal radyoaktif elementler ve kozmik ışınlar sebebiyle insanoğlu varoluşundan beri radyasyona maruz kalmaktadır (Çeliktürk, 2015).

İnsanoğlu genel itibariyle iç ve dış olmak üzere iki yolla radyasyona maruz kalmaktadır. 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. Yerkabuğunda bulunan radyoaktif elementler ve kozmik radyasyonlar sebebiyle de dış ışınlanmalara maruz kalınmaktadır (Mavi, 2010).

Tarım, hayvancılık, araştırma, endüstri, tıp, enerji üretimi gibi birçok alanda kullanılan radyoaktif kaynaklar, nükleer silah denemeleri, nükleer teknoloji geliştirme ve uygulamaları, x-ışını ve yapay radyoizotopların kullanımları ile yapay radyasyona maruz kalınmaktadır (NCRP, 1987).

Maruz kalınan bu radyasyonlardan alınan doz miktarları birçok 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 olduğundan bu yana devam etmektedir. Yer kabuğunda bulunan uranyum, toryum ve potasyum radyoaktif elementleri yer kabuğu kaynaklı radyasyonun önemli bir kısmını oluşturmaktadır.

Radyasyondan tamamen arındırılmış bir ortamda yaşamamız ve ondan tümüyle korunmamız şimdilik mümkün gözükmemektedir. Ancak, bazı önlemler alarak maruz kalabileceğimiz radyasyon miktarını en aza indirmeye çalışabiliriz.

Radyasyon çalışanlarının bir dış radyasyondan tehlikesinden korunmak için, genel olarak, dikkat etmesi gerekli olan üç kural vardır: kaynak yanında gereğinden fazla bir süre kalmamak, mümkün olabildiğince kaynağa uzak bir mesafede çalışmak ve kaynak ile aralarına engelleyici bir zırh malzemesi koymak. Eğer bunlara dikkat edilmezse, fazla dozda radyasyona maruz kalan insanların kansere yakalanma olasılığı daha fazla olduğu bilinmektedir.

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).

Bu nedenle bu çalışmada Amasya'da bulunan bazı kaplıcalarından alınan numunelerinin doğal radyoaktivitesi incelenmiş ve radyasyon zararı tespit edilmiştir.

1.1. Radyasyonun Keşfi

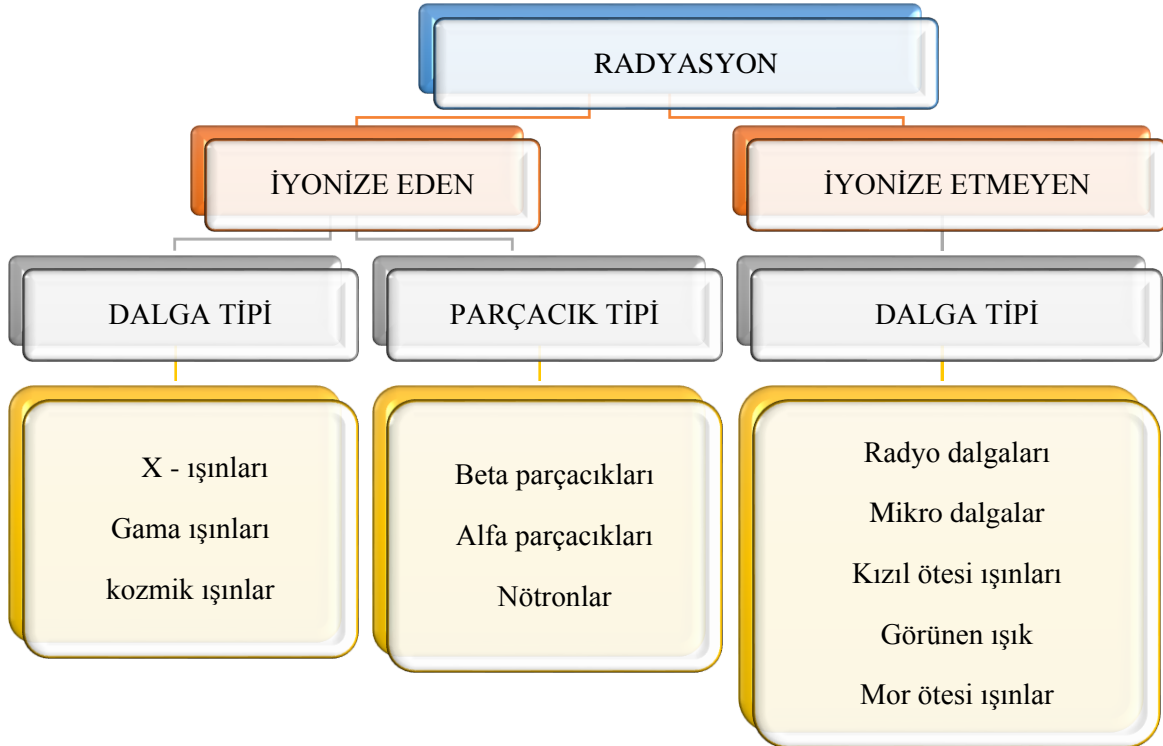
Radyoaktif çekirdeklerin kararlı hale dönerken yayınladıkları enerji olarak tanımlanan radyasyon bilimsel deneyler esnasında bir rastlantı olarak keşfedilmiş ve bu yöndeki ilk çalışmalar Henry Becquerel tarafından 1896 yılında başlatılmıştır. Henry Becquerel Uranyum tuzlarının gözle görülmeyen ışınlar çıkardığını ve ışınların maddelerden geçerek fotoğraf filmlerine etki ettiğini gözlemlemiştir. Daha sonra bu tür ışın çıkaran birçok 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 tanımlanır (TAEK, 2007).

Bir madde içerisinden 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

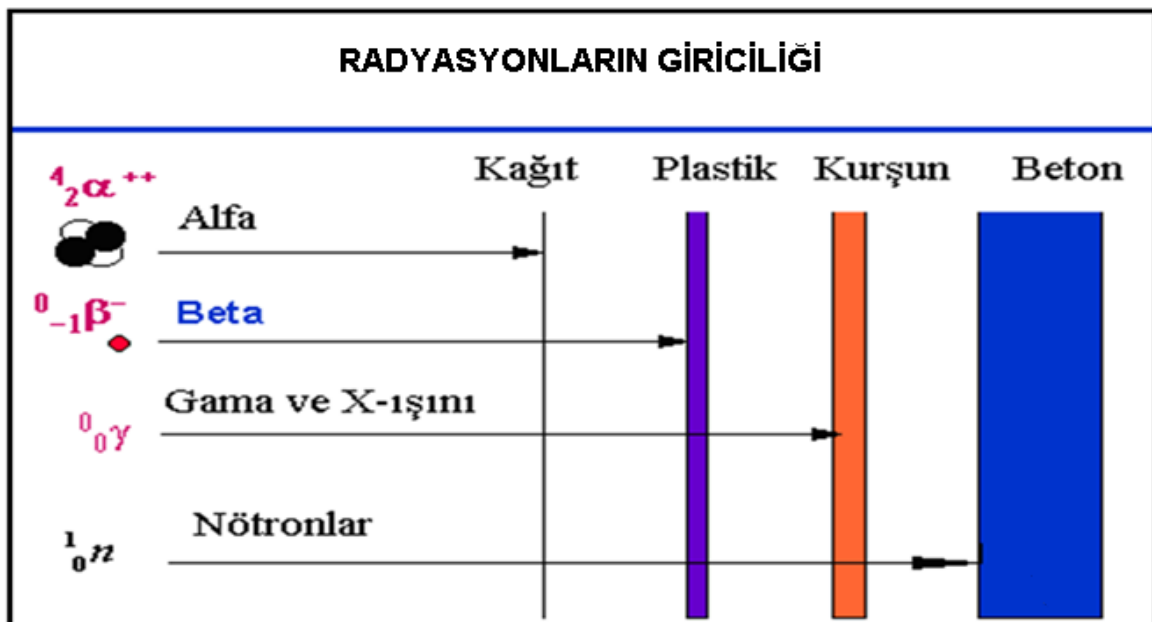


1.2.1. İyonlaştırıcı radyasyon

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, bazıları da kararsızdır. Kararlılık bir atom çekirdeğinin bünyesinde barındırdığı nötron ve proton sayıları arasındaki oran ile 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 n/p 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 kütesiz yüksek enerjili foton olan *gama ışınları* yayımlayarak 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 zırhlanmasında kullanılan bazı maddeler gösterilmiştir.



Şekil 1.1. İyonize edici radyasyonların çeşitli maddelerle zırhlanması

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
${}^{232}\text{Th}$	4,012 (%77) 3,953 (%23)	$1,4 \times 10^{10}$ yıl
${}^{238}\text{U}$	4,196 (%77) 4,149 (%23)	$4,5 \times 10^9$ yıl
${}^{226}\text{Rd}$	4,871 (%100)	1602 yıl
${}^{241}\text{Am}$	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

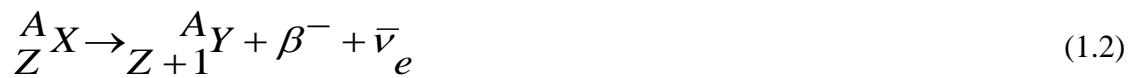
Yükü ve kütlesi olan beta parçacıkları da (e^-), alfa parçacıkları gibi madde ile temas ettiklerinde iyonlaşmaya neden olurlar. Beta parçacıkları alfa parçacıklarına göre daha hafif ve daha giricidir. Hafif olmalarından dolayı alfa parçacıklarına göre daha az iyonlaştırıcı etkiye sahiptirler. Bu parçacıkları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

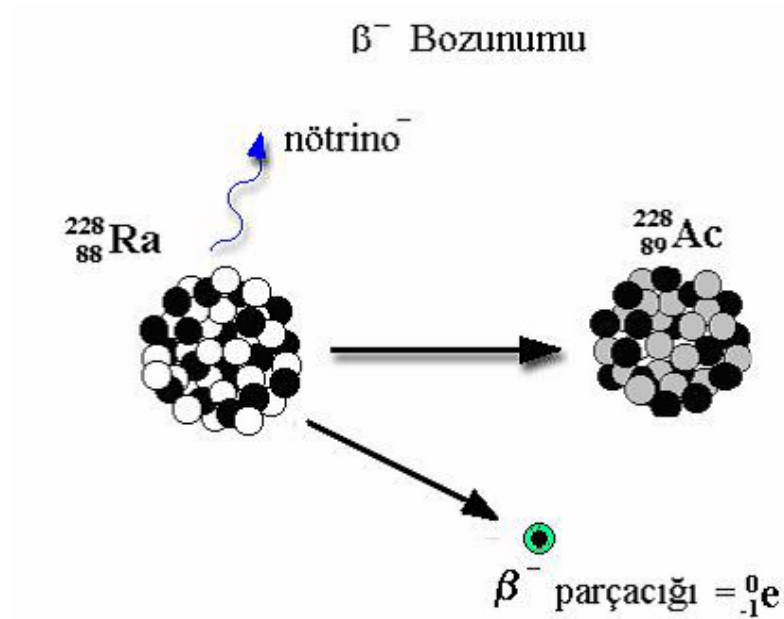
Bu dönüşüm sonucunda elektron açığa çıkar ve çekirdekte kalamayacak olan bu elektron β^- ışınması olarak yayınlanır. Eş. 1.2 ve 1.3'de bu bozunum şekli formüle edilmiştir (Alakuş, 2013).



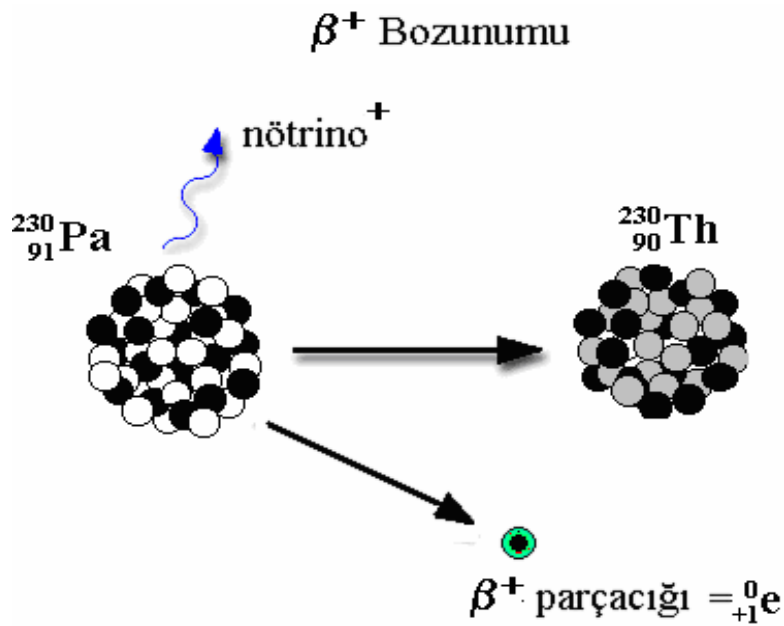
β^+ Bozunumu

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 1.2. ${}^{228}\text{Ra}$ çekirdeğindeki β^- ışınması (Mavi, 2010).



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.

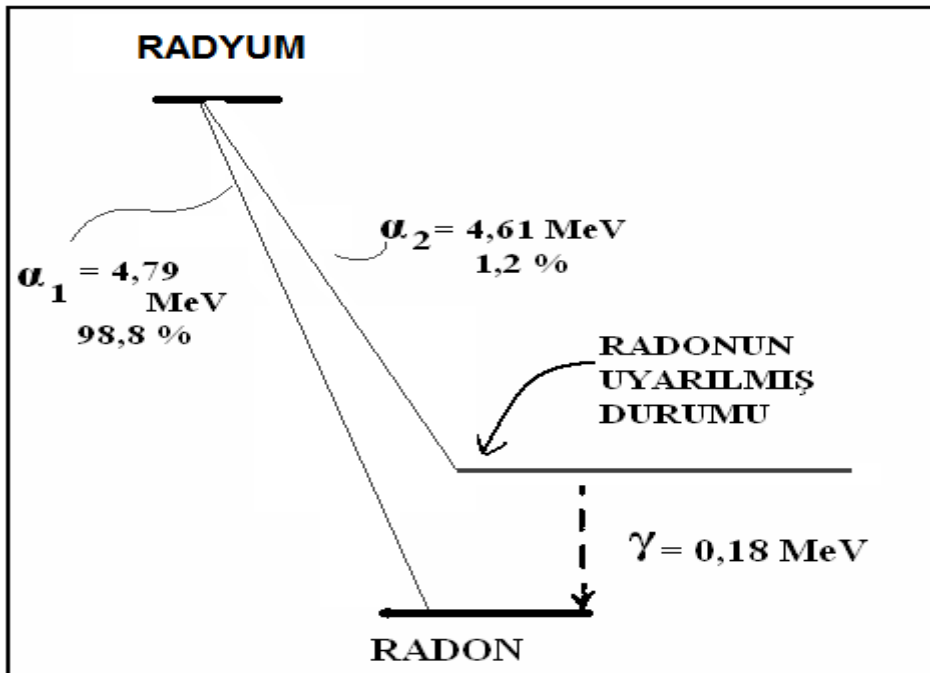


Bu olay neticesinde boşalmış elektron yörüngesini üst yörüngeden bir elektron doldurur ve bu geçişler x-ışını üretimine sebep olur (Magill ve ark., 2005).

1.2.1.3. Gama ışıması

Gama radyasyonu genellikle aynı anda beta parçacığı veya alfa parçacığı yayımlayan 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. ²²⁶Ra'nın bozunma şeması

Gama radyasyonu madde içinden geçerken öncelikle elektronlarla etkileşmeleri 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 zırhlaması 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 seviyede bulunan nükleonlardan birinin düşük enerjili seviyeye 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 giricilik 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).

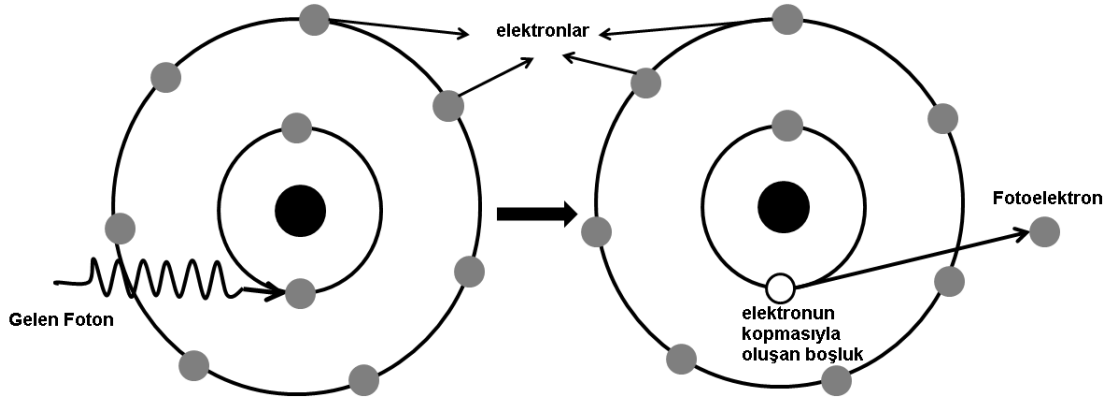
Gama ışınları fotoelektrik soğurma, Compton saçılması ve çift oluşumu biçimlerinde madde ile etkileşebilirler.

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.



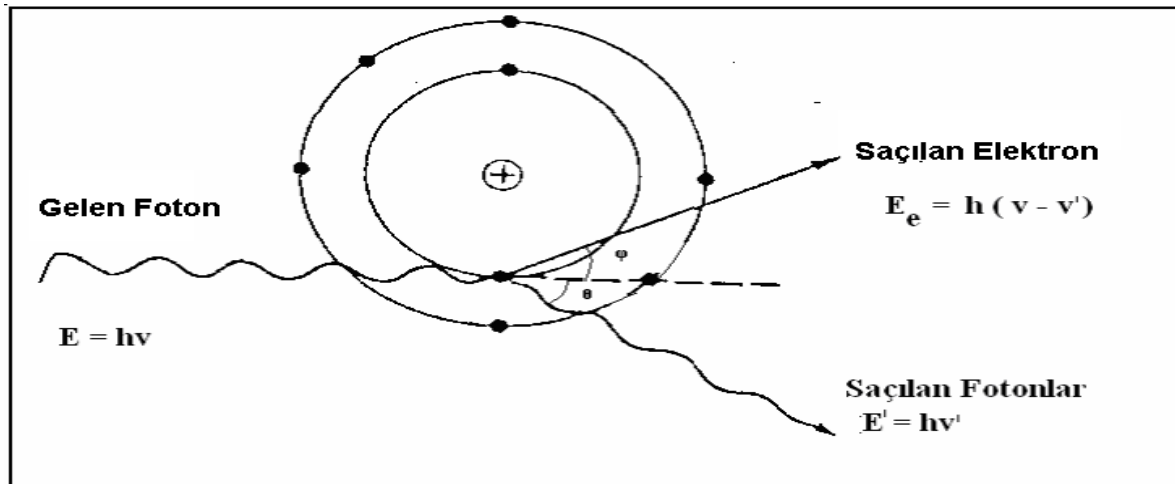
Şekil 1.5. Fotoelektrik olay

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 ($E'\gamma$) saçılabilir. Bu saçılma sonucu gelen fotonun kaybettiği enerji elektronlara kinetik enerji olarak aktarılır (Altekin, 2014). Elektrona aktarılan bu enerji Eş. 1.9'da gösterilmiştir:

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

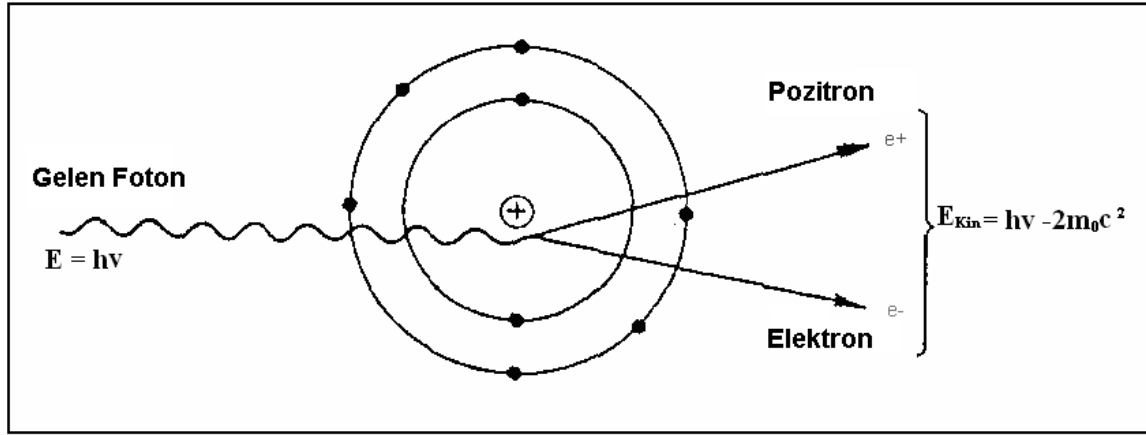
Saçılan gama ışının enerjisi saçılmadan sonra azalacaktır. Ayrıca gama ışını birden fazla Compton saçılmasına da uğrayabilir. Enerji azaldıkça fotoelektrik olayın oluşması ihtimali artar. Bu sebeple gelen fotonun enerjisinin sadece bir kısmı (Compton saçılması ile) veya tamamı (Compton Saçılmasının ardından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



Şekil 1.6. Compton etkileşmesi

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 ($2m_0c^2$) 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

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

$$\lambda_n N = \lambda_n N_0 - \lambda t \quad , \quad N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (1.11)$$

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;

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

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

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;

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

olarak ifade edilebilir.

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

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

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 radyo element ailesinin halen bilinmekte olan tek elementi ^{209}Bi elementi olup yarı ömrü $2,7 \times 10^{17}$ 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).

Radyonüklit	Sembol	Yarılanma Ömrü
Uranyum 235	²³⁵ U	7,04 x 10 ⁸ yıl
Uranyum 238	²³⁸ U	1,47 x 10 ⁹ yıl
Toryum 232	²³² Th	1,405 x 10 ¹⁰ yıl
Radyum 226	²²⁶ Ra	1600 yıl
Radon 222	²²² Rn	3,82 gün
Potasyum 40	⁴⁰ K	1,28 x 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. ²³⁸U (Uranyum serisi)
2. ²³²Th (Toryum serisi)
3. ²³⁵U (Aktinyum serisi)

Serileridir (Krane, 2001).

1.3.1.1. Uranyum bozunum serisi

Uranyum bozunum serisinde; ²³⁸U, ²³⁴U, ²³⁰Th ve ²²⁶Ra izotoplarının yarı ömürleri 22,3 ile 4,5×10⁹ yıl arasında değişmektedir. ²²²Rn, ²¹⁰Bi ve ²¹⁰Po 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 radyonüklitlerin özellikle 5 tanesi ²³⁸U, ²³⁴U, ²³⁰Th ve ²²⁶Ra 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	$2,45 \times 10^5$ yıl	α (% 100)
Toryum	^{230}Th	$7,54 \times 10^4$ 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 arasındadır. 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	$1,405 \times 10^{10}$ 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 yayımlanan 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	$7,04 \times 10^8$ 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)
Kursun	^{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)
Kursun	^{208}Pb	Kararlı	β (% 100)

2. DOĞAL RADYOAKTİVİTE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

2.1. Dedektörler

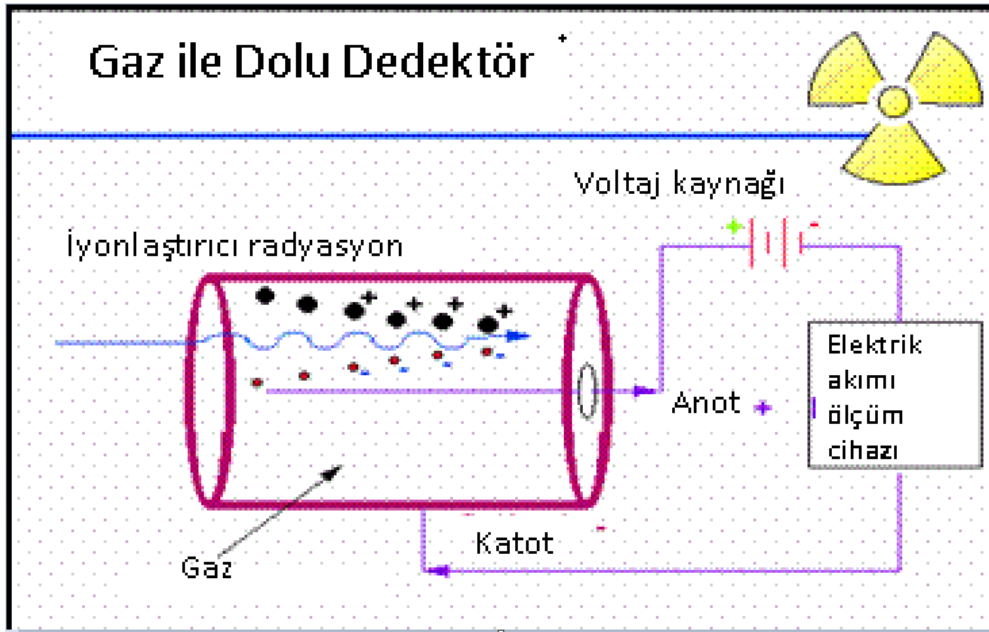
Bir ortamdaki veya bir maddenin radyasyon seviyesini ölçmek için dedektörlere ihtiyaç duyarız. Dedektörler bizim gözlemlemek istediğimiz maddede veya ortamda radyoaktif maddelerin yayınladıkları ışınları sayarak bir çıktı yoluyla radyasyon seviyesini hakkında bilgi edinebilmemizi sağlamaktadır.

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 dedektörü gösterilmiştir.

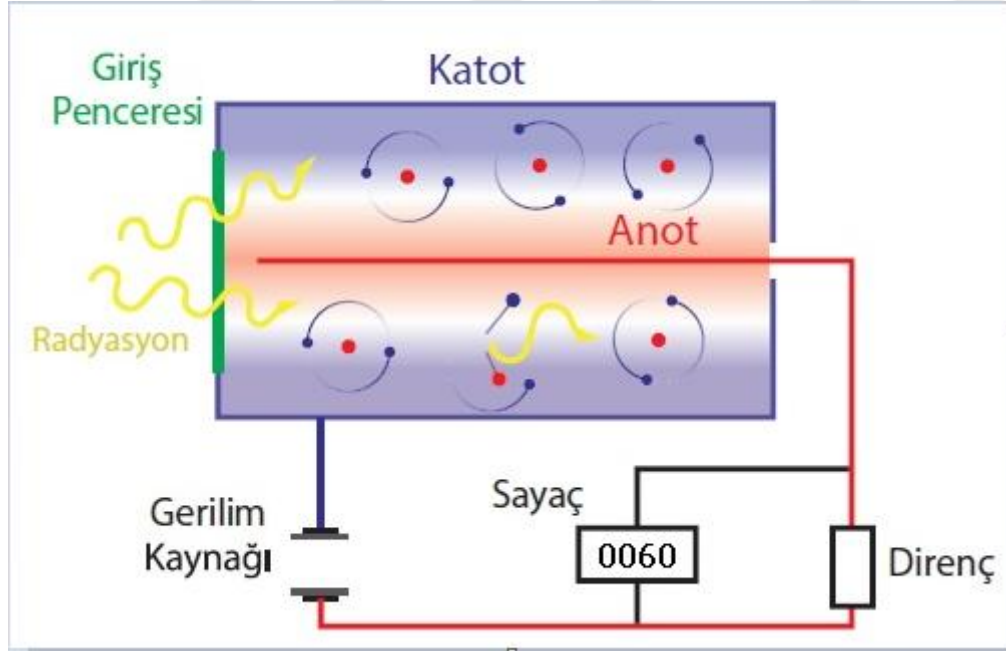


Şekil 2.1. İyon odası dedektörü

Bu dedektör sistemleri yüksek dozdaki radyasyonlarda oldukça yarar sağlamaktadırlar. Çalışma aralığı 60 – 300 volt'tur, fakat 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).

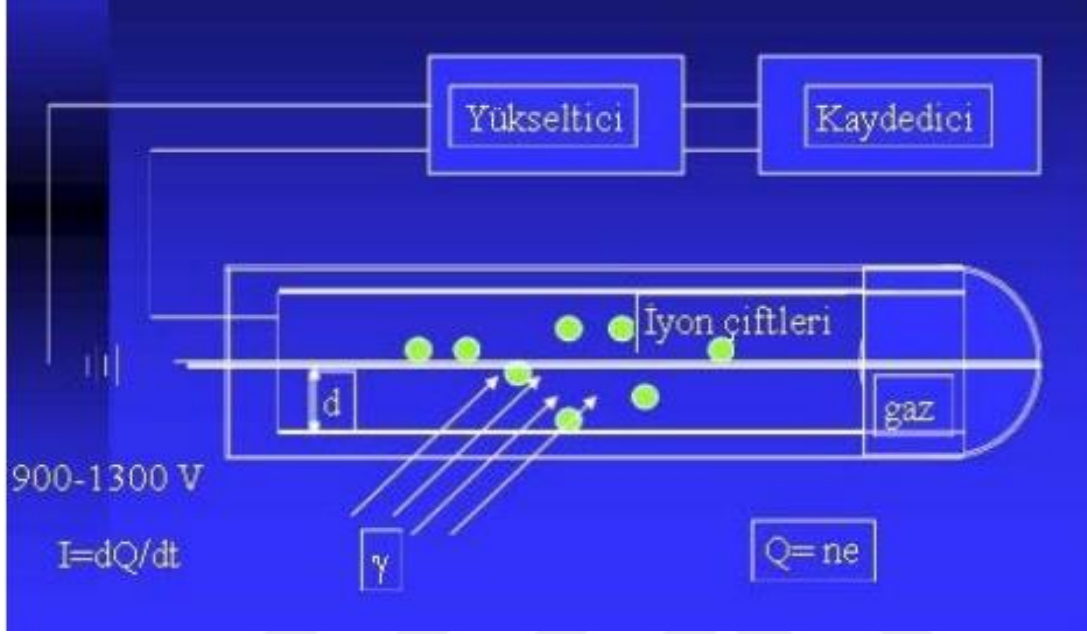


Şekil 2.2. Gazlı sayaç şematik gösterimi

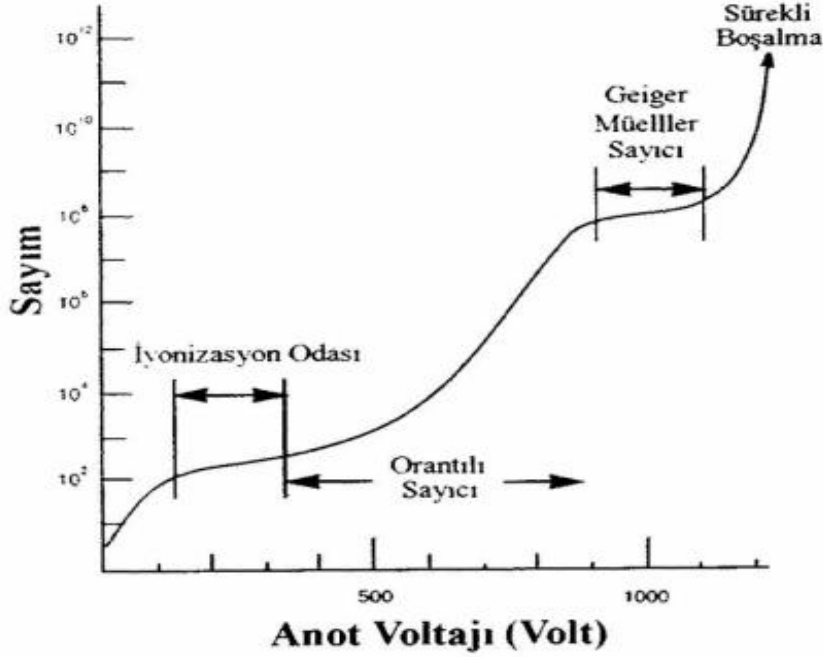
2.1.3. Geiger – Müller sayacı

G-M sayacının çalışma aralığı 900-1300 voltur. Bu dedektörlerle; düşük enerjili x ve gama ışınları ve az iyonlaşma meydana getiren yüklü parçacıklar ölçülür. Bu dedektör sistemlerinde parçacık cinslerinin birbirinden ayırt edilmesi ve parçacık enerjisinin

ölçülmesi mümkün değildir. Odanın önüne bir zırh yerleştirilerek beta parçacıkları engellenip, sadece gama ışınlarının sayımı yapılabilmektedir. (Öter, 2013). Şekil 2.3’de Geiger-Müller dedektörü görülmektedir



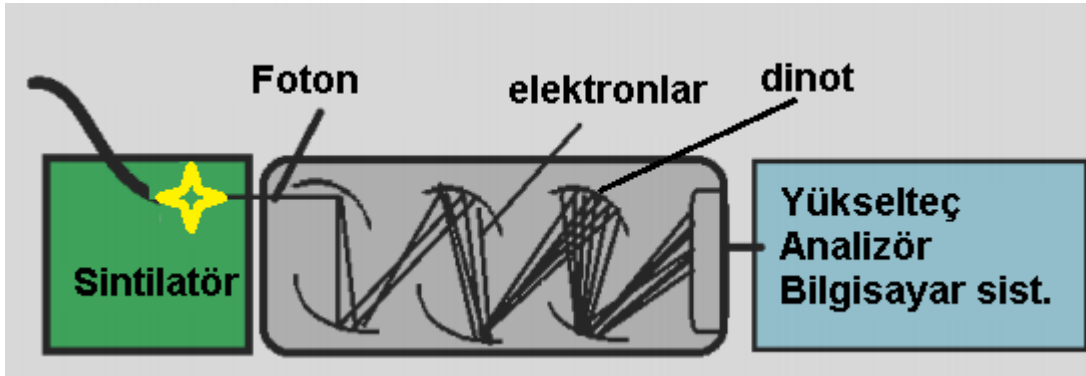
Şekil 2.3. Geiger – Müller Dedektörü (Öter, 2013).



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

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 fotoçöğaltıcı tüp ile çoğaltılıp hızlandırılması ile cihaz için çıkış pulsları elde edilir.

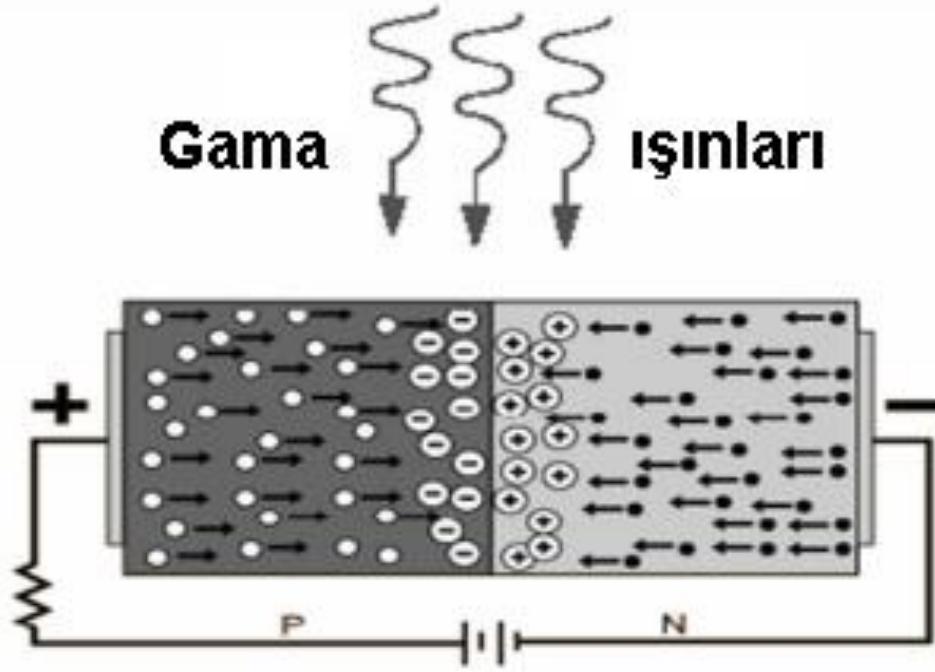
Sintilasyon dedektörlerinin en önemli özelliği gelen radyasyon ile çıkan fotonun enerjisinin orantılı olmasıdır. Bu durum gelen radyasyonun cinsi ve enerjisi hakkında bilgi vermektedir. Farklı uygulamalar için üretilmiş farklı materyaller içeren sintilasyon dedektörleri temelde; inorganik sintilatörler (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 dedektörler, pozitif yük (boşluk) taşıyıcıları fazla p tipi veya negatif yük (elektron) taşıyıcıları fazla n tipi maddeler temas ettirilerek elde edilmektedir. Ters besleme ile dedektörde, 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. İçerideki elektrik alan, boşlukları eklemine negatif, elektronları da pozitif tarafa doğru sürükleyerek bir sayıcı ile sayılabilen bir puls meydana getirmesini sağlar (Keser, 2009).

Şekil 2.6' da yarı iletken dedektörün şematik gösterimi görülmektedir



Şekil 2.6. Yarı iletken bir dedektörün şematik gösterimi

3. KAYNAK ÖZETİ

Doğal radyoaktivitenin başlıca kaynaklarından ve bölgenin coğrafi özelliklerinin temel taşlarından biri olan toprak ile ilgili olarak literatürde birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar bölgesel olduğu için her biri o bölgeye özgüdür ve bölgenin doğal radyoaktivite düzeyleri hakkında bilgi vermektedir. Bu çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Kurnaz ve ark., (2007) yaptıkları bu çalışmada Fırtına vadisinin toprak ve sediment örneklerinde, doğal radyoaktivite düzeylerini tespit etmişlerdir. Topladıkları örnekler için ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyoizotoplarının analizinde HPGe dedektörünü tercih etmişlerdir. Aktivite konsantrasyonları ^{226}Ra , ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{228}Ac , ^{40}K ve ^{137}Cs için Bq/kg türünden tayin edilmiştir. Elde edilen sonuçlar diğer ülkelerin, toprak ve sediment radyoaktivite ölçümleri ile kıyaslanmıştır. Radium eşdeğer aktivitesi, soğrulan doz hızı, dış tehlike endeksi, yıllık doz eşdeğeri ve yıllık etkin doz eşdeğeri hesapları yapılmış ve dünyadaki karşılıkları ile kıyaslanmıştır.

Kaya, Karabıdık ve Çevik (2014) tarafından yapılan çalışmada Gümüşhane çevresinde toplanan toprak ve karayosunu örneklerinde doğal (^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K) ve yapay (^{137}Cs) radyoaktivite konsantrasyonlarını belirlemiştir. Toplanan toprak ve karayosunu örnekleri için doğal ve yapay radyoaktivite konsantrasyonları HPGE dedektörü kullanılarak belirlenmiştir. Toprak ve karayosunu örneklerinde aktivite konsantrasyonları ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K için Bq kg⁻¹ cinsinden ifade edilmiştir. Doğal radyoaktivite ile birlikte yapay ^{137}Cs aktivite konsantrasyonu toprak ve karayosunu örneklerinde ölçülmüştür. Bu değerler kullanılarak toprak ve karayosunu için ortalama eşdeğer radium aktivitesi değerleri (Raeq) bulunmuştur. Ölçülen örneklerin Raeq değerleri; eşdeğer gama doz oranı limit değerinden çok düşüktür.

Yalçın ve Gurler (2007) çalışmalarında Türkiye'nin güney Marmara bölgesinde bulunan farklı yerlerden topladıkları toprak örnekleri için radyoaktivite seviyelerini tespit etmişlerdir. Aktivitelerin değerleri TENNELEC LB 1000-PW dedektörü kullanılarak bulunmuştur. Mutlak beta aktivitesi toprak örneklerinde $0,83 \pm 0,06$ ile $0,50 \pm 0,05$ Bq/kg türünden bu aralıkta belirlenmiştir.

Yapılan bu çalışmada toprak örneklerinin gama spektrumu HPGe dedektörü ile ölçülmüştür. Toprak örnekleri için ^{235}U , ^{214}Pb , ^{134}Cs , ^{137}Cs ve ^{40}K aktiviteleri belirlenmiştir.

Akhtar, Tufail, Ashraf ve M.M. Iqbal (2005) yaptıkları bu çalışmada Pakistan'da bulunan Lahore kentinin toprak örneklerinde çevresel radyoaktivite ölçümlerini gama spektrometrik yöntem kullanarak yapmıştır. Radyonüklit aktivite konsantrasyonları ^{40}K için 524,84-601,62 Bq/kg aralığında, ^{226}Ra için 24,73- 28,17 Bq/kg aralığında ve ^{232}Th için 45,46 – 52,61 Bq/kg aralığında elde edilmiştir. ^{137}Cs için ölçülemediği çünkü limit değerlerinden daha düşük çıkmıştır.

Değerler, Karahan ve Özger (2008) tarafından gerçekleştirilen bu çalışmada Adana civarında toprak yüzeyinde bulunan doğal radyonüklitlerin konsantrasyonları HPGe dedektör kullanılarak gama ışını spektrometrik yöntemiyle belirlenmiştir. ^{238}U için ortalama aktivite konsantrasyonu 17,6 Bq/kg, ^{232}Th için 21,1 Bq/kg ve son olarak ^{40}K 'nin ortalama aktivite konsantrasyonu 297,5 Bq/kg olarak tespit edilmiştir. Numunelerin toplandığı noktalarda, yerden 1 metre yukarıda harici gama dozu ölçümlerini, portatif gama sintilasyon dedektörünü kullanarak yapmışlar ve ortalaması 67 nGy/saat olarak tespit edilmiş ve yıllık etkin dozu 82 μSv olarak bulunmuştur.

Dugalic, Krstic, Jelic, Nikezic, Milenkovic, Pucarevic ve Zeremski-Skoric (2010) yaptıkları bu çalışmada batı Sırbistan'da topladıkları toprak örneklerinde ^{238}U radyonüklitinin ortalama radyoaktivitesini $60,4 \pm 26,2$ Bq/kg, ^{232}Th için $33,2 \pm 13,4$ Bq/kg, ^{40}K için $49,1 \pm 18,5$, 379 ± 108 Bq/kg ve ^{137}Cs için ise $36,4 \pm 23,3$ Bq/kg olarak ölçülmüştür. Toprakta radyoaktivite yükselişi gözlenmiştir. Çalışma bölgesinde, önceki raporlara benzer biçimde yerden bir metre yükseklikte havada soğrulan doz hızı 73,4 nGy/saat ve yıllık etkin doz 90 μSv olarak tespit edilmiştir.

Al-Jundi, Al-Bataina, Abu-Rukah ve Shehadech (2003) tarafından yapılan çalışmada Amman Akabe ulusal otoyolu boyunca toplanan topraklarda, doğal olarak meydana gelen karasal (^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K) radyonüklitlerin, spesifik aktivitesi ve soğrulan doz hızını belirlemek için HPGe gama ışını spektrometresi kullanılmıştır. Toprak aktivitesi ^{238}U için 22-104 Bq/kg, ^{232}Th için 21-103 Bq/kg ve ^{40}K için 138-601 Bq/kg aralığında bulunmuştur. ^{238}U 'nun en yüksek değeri Al-hassa fosfat madeninden aldıkları örneklerde dir.

Çalışma sonucunda yıllık etkin doz eşdeğeri 40-151 μSv aralığında bulunmuştur ve ortalama değer UNSCEAR-2000 de verilen bina içi radyasyon dozunun küresel değerler aralığındadır.

Camgöz ve Yaprak (2009) tarafından gerçekleştirilen bu çalışmada, tarımsal üretimin devam edilebilirliği ve gıda güvenliği baz alınarak Küçük Menderes Havzası tarım topraklarında doğal radyonüklit belirlenmesi ve bölgeye ait radyolojik veri tabanı oluşturulması amacıyla yapılmıştır. Küçük Menderes Havzasında toplanan 105 toprak örneğinde doğal radyonüklit aktivite konsantrasyonlarını ölçmek için HPGe gama spektrometre sistemi kullanılmıştır. ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları, sırası ile 17-76 Bq/kg, 17-51 Bq/kg ve 296-1305 Bq/kg aralığında değiştiği tespit edilmiştir. Topraklarda ölçülen doğal radyonüklit aktivite konsantrasyonlarına bağlı olarak ortalama karasal gama doz hızı 59 nGy/h olarak hesaplanmıştır. Bu kaynaklardan insanların maruz kaldığı yıllık ortalama etkin doz eşdeğeri 70 $\mu\text{Sv/y}$ olarak belirlenmiştir. Radyolojik risk yönünden bu değerlerin literatürde verilen sınır değerleri arasında olduğu gözlenmiştir.

4.MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. Amasya Bölgesi ve Özellikleri

4.1.1. Coğrafi yapısı

Amasya ili; Orta Karadeniz Bölümünün iç kısmında yer almaktadır. Doğudan Tokat, güneyden Tokat ve Yozgat, batıdan Çorum, kuzeyden Samsun illeri ile çevrilidir. İlin yüzölçümü 5701 km² dir. Toplam sınır uzunluğu 492 km olan ilin Samsun'la 169 km, Tokat'la 165 km, Yozgat'la 6 km, Çorum'la 152 km. sınır uzunluğu vardır. İl genelinin deniz seviyesinden ortalama yüksekliği (rakım) 1150 m, il merkezinin ise 411,69 m dir. 34° 57' 06" - 36° 31' 53" Doğu Boyamları ile 41° 04' 54" - 40° 16' 16" Kuzey Enlemleri arasındadır. Ankara'ya 336 km, İstanbul'a 671 km uzaklıkta olan Amasya'nın komşu illere uzaklıklara ise Çorum'a 92 km, Samsun'a 131 km, Tokat'a 114 km, Yozgat'a ise 196 km dir. İl merkezinin ilçelere uzaklıkları; Göynücek 46 km, Gümüşhacıköy 68 km, Hamamözü 90 km, Merzifon 46 km, Suluova 27 km ve Taşova 48 km dir. (Amasya Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Md.)

Bu il, merkezi dahil 7 ilçeye, 372 köye sahiptir. 2010 yılında yapılan genel nüfus sayımına göre il merkezi 99 905, toplam nüfusu ise 334 786'dir. Nüfus yoğunluğu km² başına 59 kişidir.

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).

Yıllık Ortalama Sıcaklık	13,3 C
Yıllık Ortalama Yağış Miktarı	451,1 mm
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	104
Ortalama Aktüel Basınç	967,6 milibar

4.1.3. Jeolojik yapısı

Palaeozoik ve kısmen Mezozoik temel üzerinde yayılan daha genç formasyonlardan oluşan Amasya ili 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 Arazisinin geniş yer tutmasıdır (Amasya Müzesi).

4.2. Numunelerin Toplanması ve Gama Spektrometrik Analiz İçin Hazırlanması

Ölçümü yapılacak toprak numuneleri, Amasya'nın Terziköy ve Gözlek kaplıcaları çevresinden alınmıştır. Numunelerin alındığı noktalar Şekil 4,1- 4,3. de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Terziköy toprak numunelerin alındıkları noktaların konumları



Şekil 4.2. Toprak numunelerin alındıkları noktaların konumları (tam boy)



Şekil 4.3. Gözlek toprak numunelerin alındıkları noktaların konumları

Kaplıca bölgesinden alınan toprak numunelerinin radyoaktivite analizini yaparak, toprak içinde bulunan radyonüklitlerin konsantrasyonunu belirlemek hedeflenmiştir. Çalışmada toplam 24 tane toprak örneği alınmıştır. Bütün numuneler, tarım alanı olarak kullanılmayan, otsuz ve üzeri otlardan temizlenmiş, su geçirgenliği iyi, açık ve düz alanlardan, 0-10 cm derinlikten alınmış, plastik poşetlere konulan numuneler etiketlenmiş, analizlerin yapılacağı Amasya Üniversitesi Radyoaktif Araştırma Laboratuvarı'na getirilmiştir.

Toprak numuneleri burada içlerinde bulunan taş, ot ve odun gibi yabancı maddelerden arındırıldıktan sonra 3 gün süreyle oda sıcaklığında bekletilmiştir.

İyice öğütülen numuneler 1 mm gözenekli elekten geçirildikten sonra etüvde 100 °C sıcaklığında 24 saat neminden kurtulması amacıyla bekletilip çıkartılarak soğutulmuştur. Soğuduktan sonra tartılarak silindir numune kaplarına konulan örneklerin ağızları, hava geçirmeyecek şekilde kapatılarak radyoaktif dengenin sağlanması amacıyla 4 hafta bekletilmiştir (Şekil 4.4).



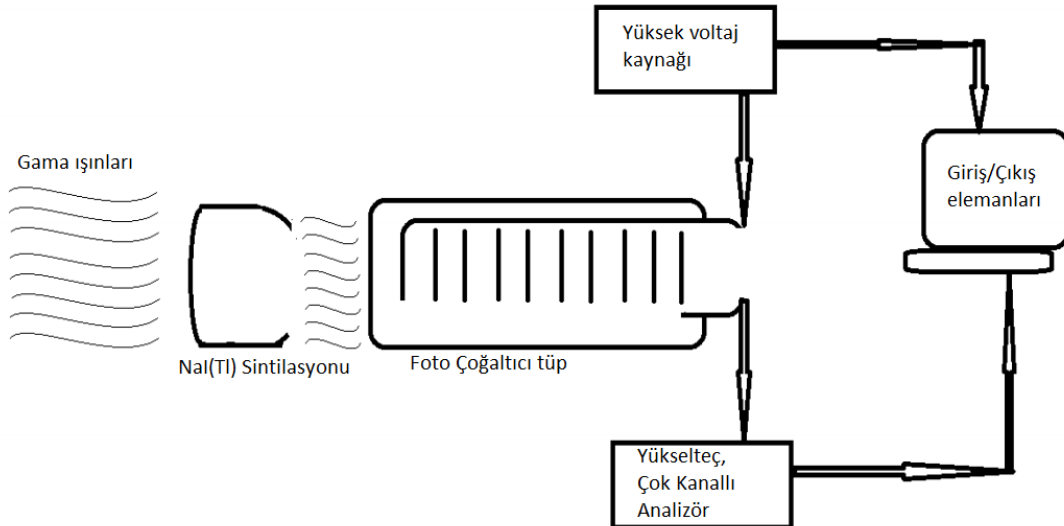
Şekil 4.4. Doldurulmuş, tartılmış ve etiketlenmiş numune kapları

4.3. Gama spektrometre sistemi

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

Araştırılacak kaynaktan yayımlanmakta olan radyasyon, dedektörle etkileşime girerek dedektör ile soğrulan 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 4.5’ de gösterilmiştir.



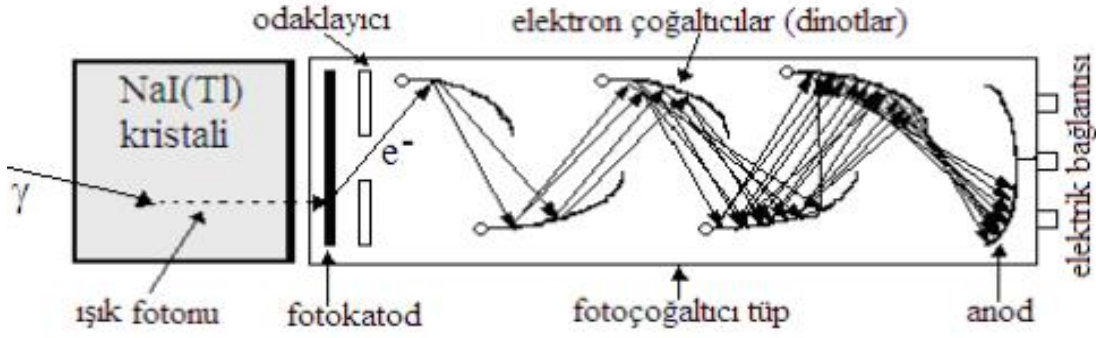
Şekil 4.5. Gama spektrometresinin şematik gösterimi (Berker, 2014)

4.3.1. NaI(Tl) dedektörü

Bu çalışmada gama radyasyonu spektrumları ORTEC marka 3"x3" boyutlu NaI(Tl) sintilasyon dedektörü kullanılarak ölçülmüştür. Bir sintilasyon dedektörü temel olarak içinde parıldayıcı bir malzeme bulunan sintilatör ve içinde foto katot odaklayıcı elektrot, elektron çoğaltıcılar (dinotlar) ve anot bulduran foto çoğaltıcı tüpten oluşmaktadır. Bir sintilasyon dedektörünün 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 yayınlarlar. Bu şekilde oluşmakta olan ışık sinyallerine flüoresan radyasyonu adı verilir (Günoğlu, 2012).

Flüoresan ışınlar dedektörün 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 ilkinе 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 (Şekil 4.6.). 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 4.6. Kullanılan NaI(Tl) dedektörü (üstte) ve iç yapısı (altta)

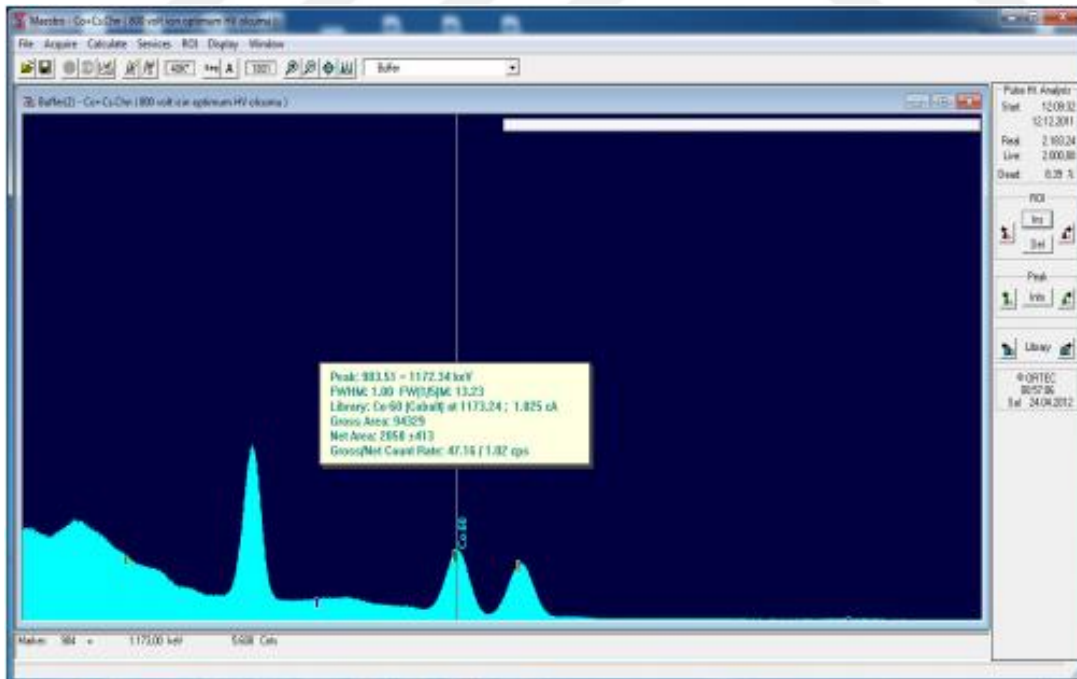
4.3.2. Elektronik üniteler

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.

Şekil 4.7. DSPEC LF ve yüksek gerilim modülünü göstermektedir. Şekil 4.8.'de MAESTRO-32 yazılımı yardımıyla elde edilen örnek bir spektrum gösterilmiştir.



Şekil 4.7. DSPEC LF modülü (üstte) ve yüksek gerilim modülü (altta)



Şekil 4.8. MAESTRO-32 yazılımı yardımıyla elde edilen örnek bir spectrum

4.4. Toprak Numunelerinin Gama Spektrometrik Analizi

Numune kaplarında bekletilerek denge durumuna ulaştırılan numunelerin, NaI(Tl) dedektörlü gama spektrometrik sistemde analizleri yapılmıştır. Her bir numune gama spektrometre cihazında 72000s sayılmıştır. Daha önce yapılmış olan boş ölçümlere karşılık gelen doğal fon alanları, numunelerin alanlarından çıkartılarak net numune alanları bulunmuştur. Numunelere ait aktivite konsantrasyonlarının hesaplamaları, ^{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 kullanılarak yapılmıştır.

5. ARAŞTIRMA BULGULARI

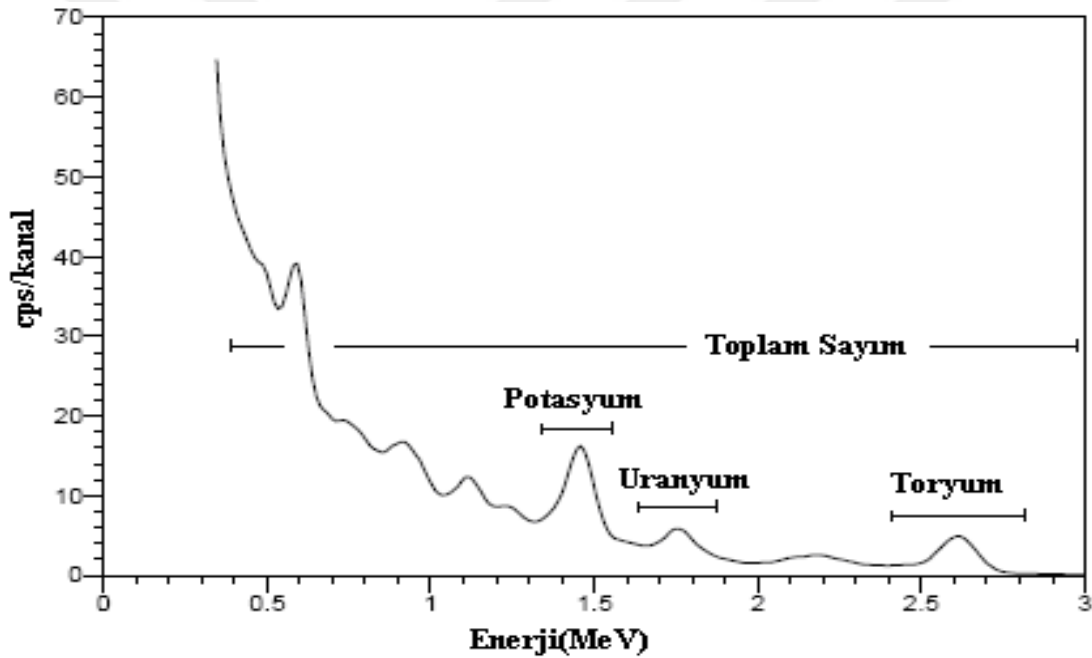
5.1. Aktivite Ölçüm Sonuçları

Numunelere ait doğal radyonüklit 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.

5.2. Aktivite Sonuçlarının Hesaplanması

Hava geçirmeyen numune kaplarında 4 hafta beklemiş numunelerdeki doğal radyonüklit aktivite hesapları gama piklerinin altındaki alanlardan gidilerek doğrudan hesaplanmıştır.

Örnek bir gama spektrumu Şekil 5.1. de görülmektedir.



Şekil 5.1. Örnek gama spektrumu

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 nüklitin gama yayımlanma olasılığıdır.

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

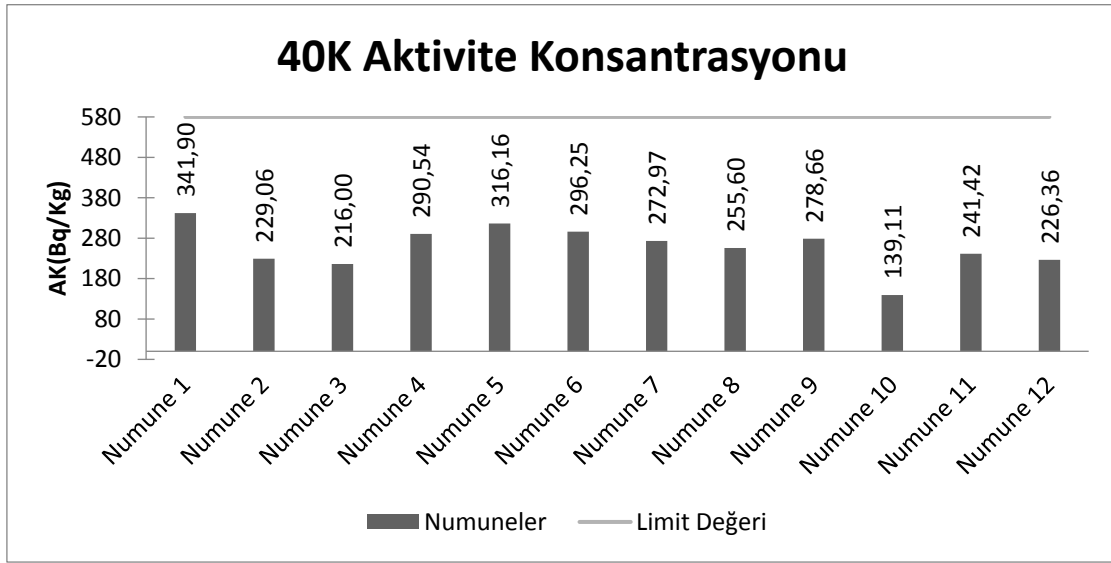
Toryum için en uygun karakteristik gama piki olarak Talyum-208'e ait olan 2,615 MeV enerjili pik kullanılır.

Uranyum için kullanılan en uygun karakteristik gama piki olarak Bizmut-214'ün, 1,76 MeV enerjili piki kullanılır.

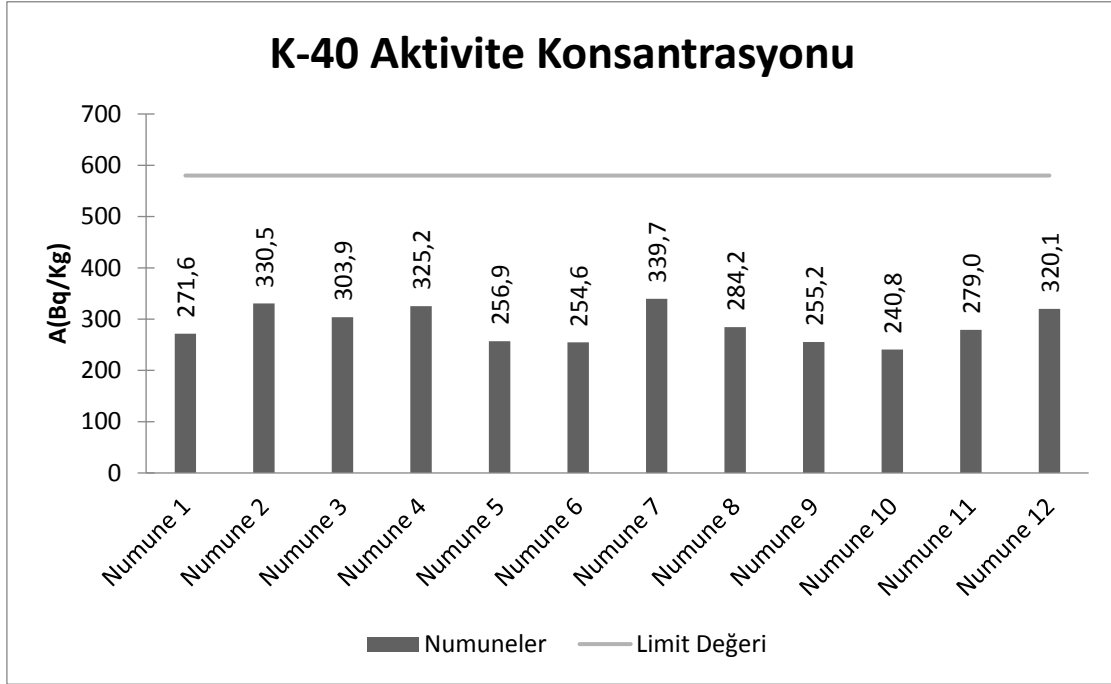
Potasyum için ise 1460 keV enerjili karakteristik pik kullanılır.

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 aktivite sonuçları Şekil 5.2 –5.4'de görülmektedir.

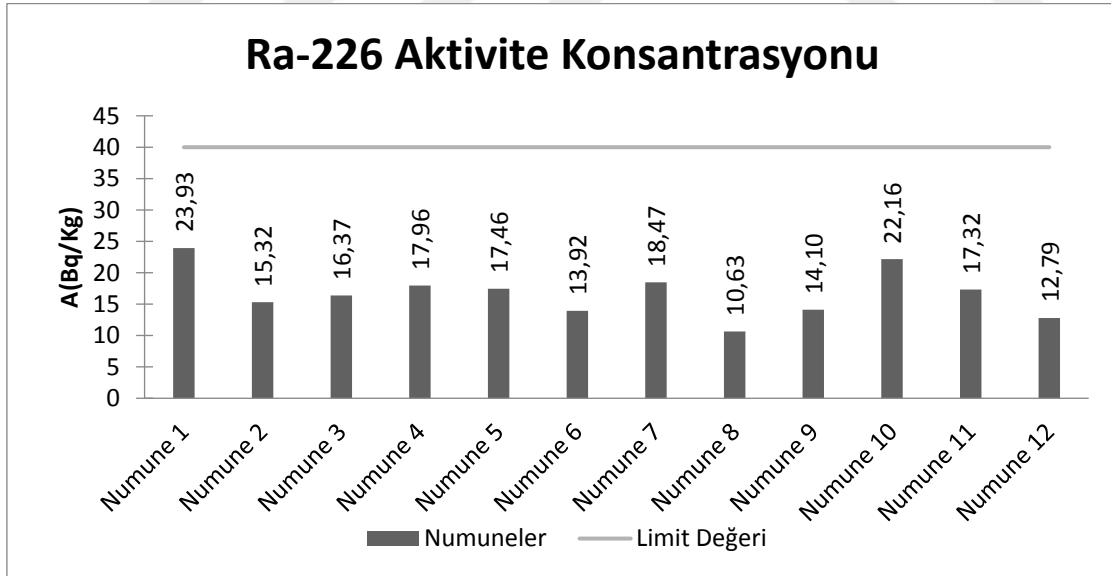


Şekil 5.2.a. Terziköy numunelerinin ^{40}K için aktivite konsantrasyonları

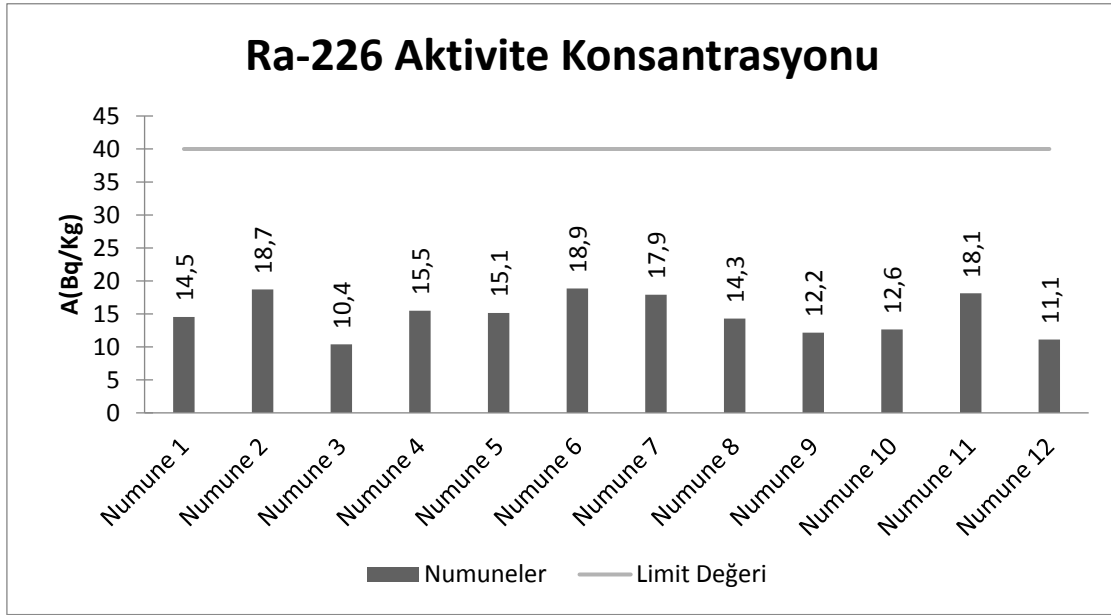


Şekil 5.2.b. Gözlek numunelerinin ^{40}K için aktivite konsantrasyonları

Şekil 5.2'de görüleceği gibi ^{40}K için en yüksek aktivite değeri numune Terziköy için 1-5, Gözlek için 2-7'e aittir.

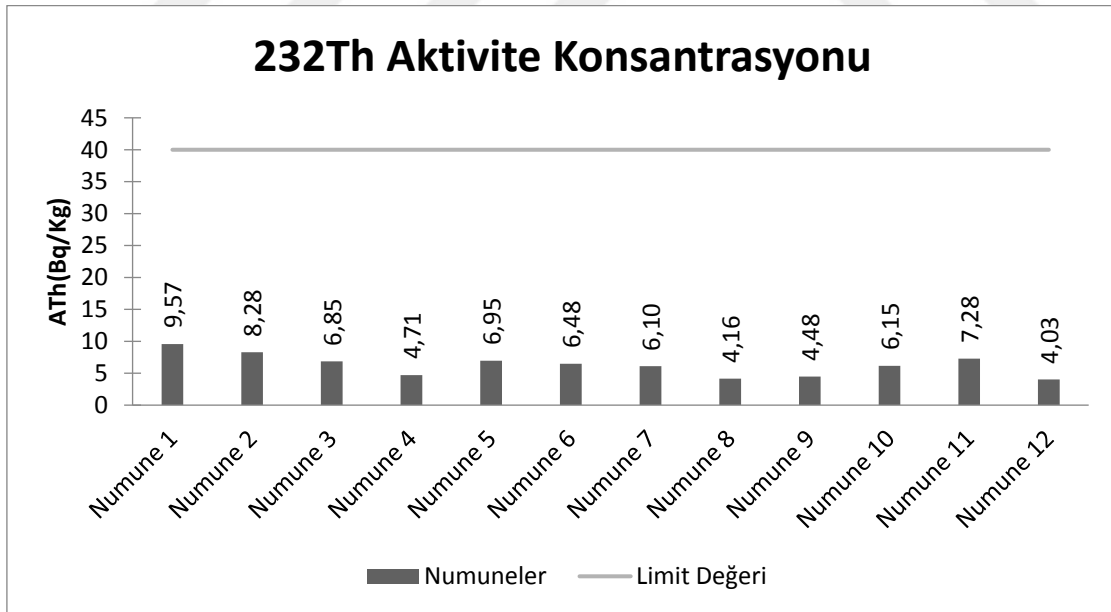


Şekil 5.3.a. Terziköy ^{226}Ra için aktivite konsantrasyonları

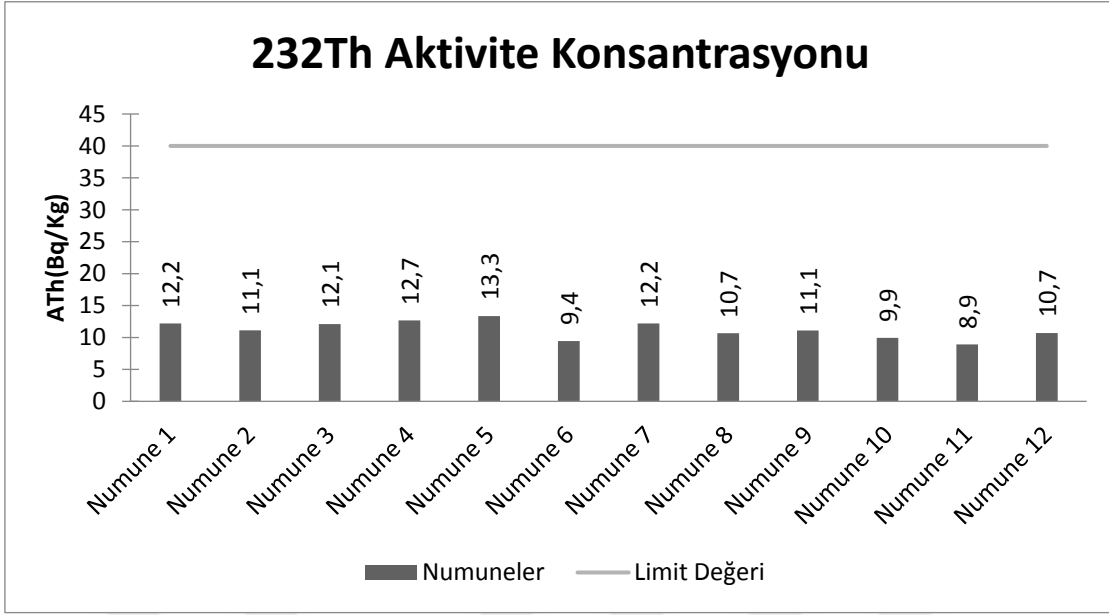


Şekil 5.3.b. Gözlek numunelerin ^{226}Ra için aktivite konsantrasyonları

Şekil 5.3' den görüldüğü üzere ^{226}Ra için en yüksek aktivite değeri Terziköy için numune 1-10, Gözlek için 2 ve 7'ye aittir.



Şekil 5.4.a. Terziköy ^{232}Th için aktivite konsantrasyonları



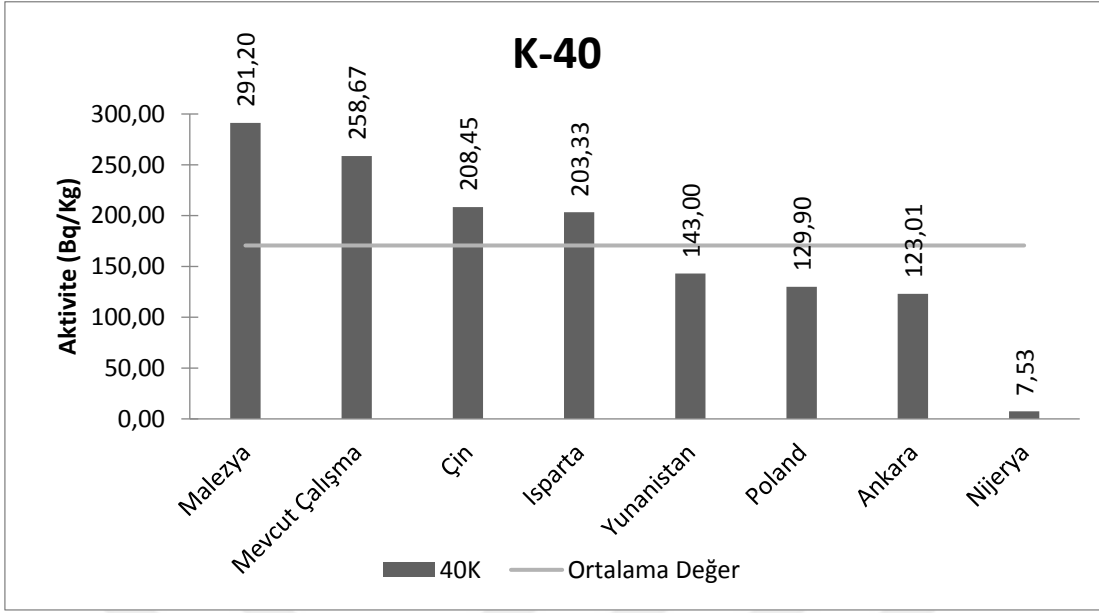
Şekil 5.4.b. Gözlek ^{232}Th için aktivite konsantrasyonları

Şekil 5.5' den görüldüğü üzere ^{232}Th için en yüksek aktivite değeri Terziköy için numune 1-2, Gözlek için 4-5'e aittir.

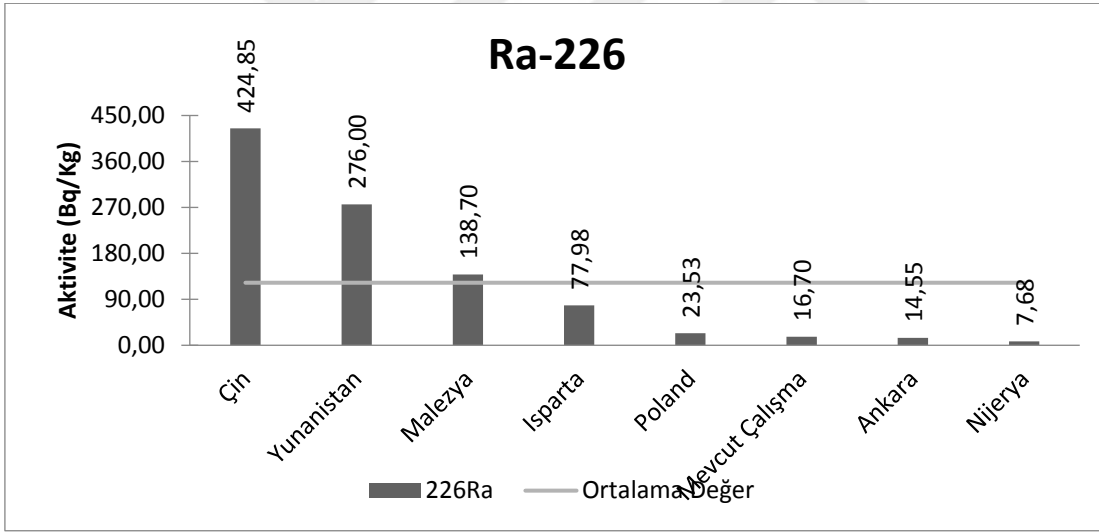
UNSCEAR 1993 raporlarına göre çevresel örnekler için ortalama limit değerleri ^{40}K için 580 Bq kg^{-1} , ^{226}Ra ve ^{232}Th için 40 Bq kg^{-1} olarak verilmektedir (UNSCEAR, 1993).

Aktivite konsantrasyon değerleri bölgesel farklılık göstermekte olup, UNSCEAR 1993 raporlarında verilen ortalama limit değerlerin oldukça altında bulunduğu görülmüştür.

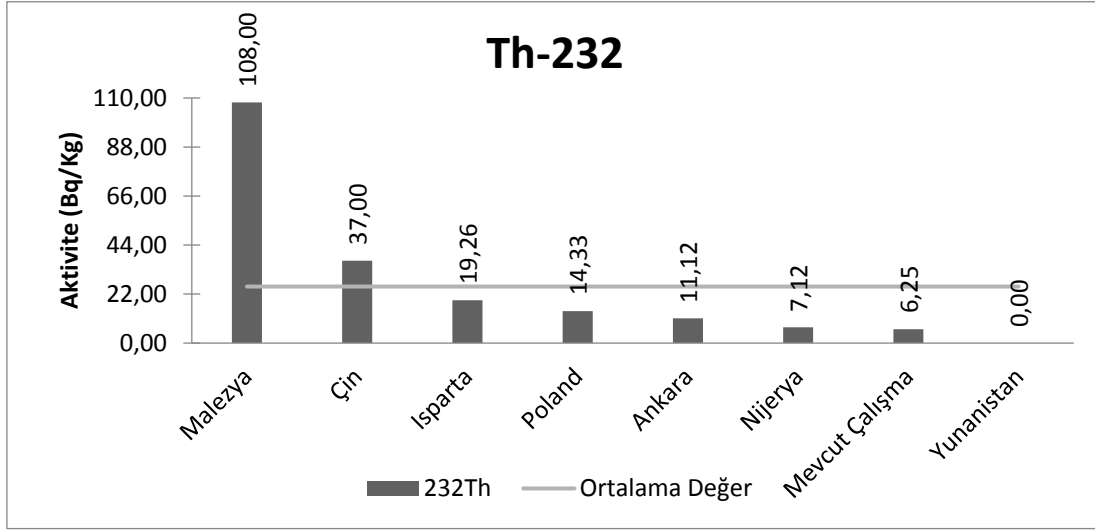
Bu numunelerden elde ettiğimiz aktivite değerlerini farklı coğrafi konumlarda yapılmış ve literatüre geçmiş çalışmalarla kıyasladığımızda ^{40}K aktivite konsantrasyonunun ortalamasının altında, ^{238}U aktivite konsantrasyonunun ortalamasının altında ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonunun ise ortalamasının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



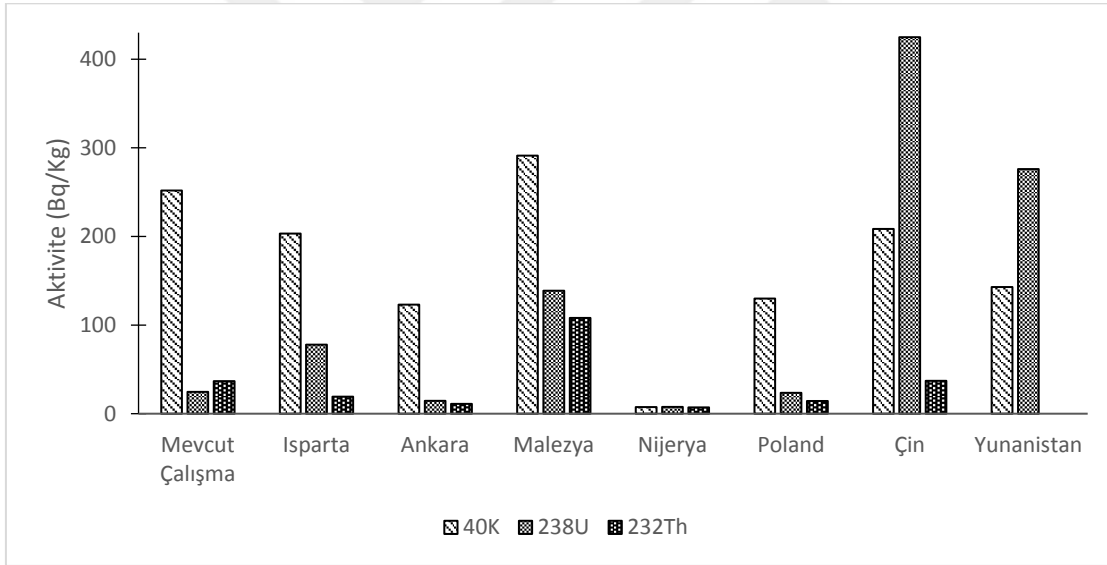
Şekil 5.6. Dünya genelinde elde edilen aktivite değerleri ile bu çalışmada elde edilen ^{40}K aktivite değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 5.7. Dünya genelinde elde edilen aktivite değerleri ile bu çalışmada elde edilen ^{226}Ra aktivite değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 5.8. Dünya genelinde elde edilen aktivite değerleri ile bu çalışmada elde edilen ^{232}Th aktivite değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 5.9. Dünya genelinde yapılan çalışmalarda elde edilen aktivite değerleri ile bu çalışmada elde edilen tüm aktivite değerlerinin karşılaştırılması

Toplanan her bir toprak numunesinin aktivite konsantrasyon değerlerini kullanarak her birine karşılık gelen yıllık etkin doz eşdeğeri, soğurulmuş doz oranları, Radyum eşdeğer aktivitesi, toprak numunelerinden kaynaklanan gama radyasyon doz hızı tespit edilmiştir.

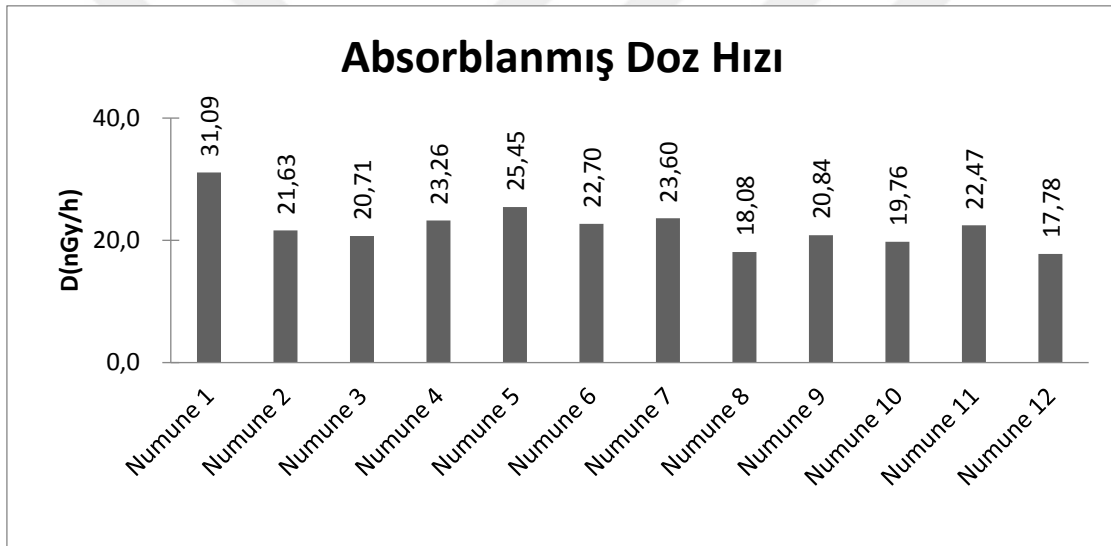
5.3. Absorblanmış Doz Hızı

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

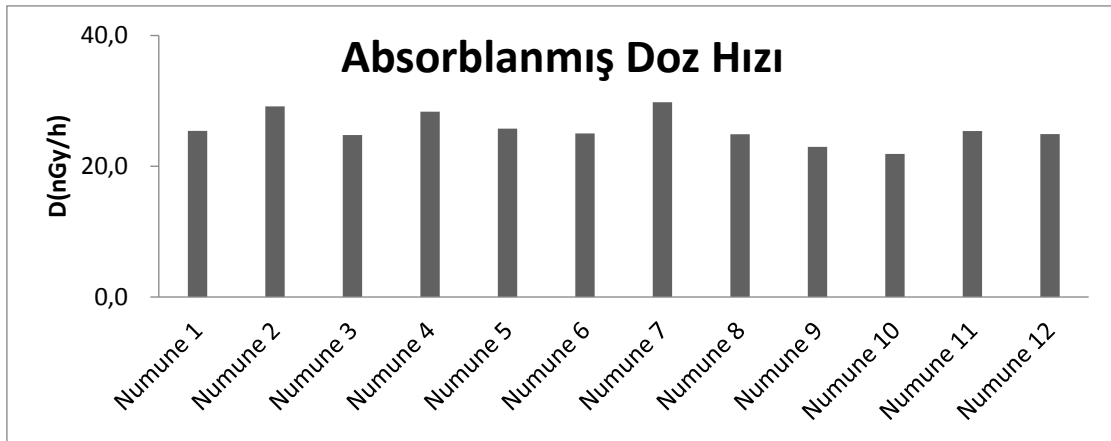
Bu çalışmada zeminden 1m yukarıda hava ortamı içerisinde absorblanmış doz hızı Eş. 5.3 ile hesaplanmıştır (UNSCEAR, 2000).

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

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 5.10.a. Terziköy Absorblanmış Doz Hızı



Şekil 5.10.b. Gözlek Absorblanmış Doz Hızı

Bir ortamdaki absorblanmış doz hızı biliniyorsa aynı ortamdaki yıllık etkin doz eşdeğeride hesaplanılabılır.

5.4. Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri

Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri (YEDE) insanların farklı radyasyon kaynaklarından yayınlanan ışınlarla gerek dışarıdan maruz kalmasıyla gerekse aldığı besinlerle ve teneffüs ettiği havada bulunan radyonüklitleri 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)

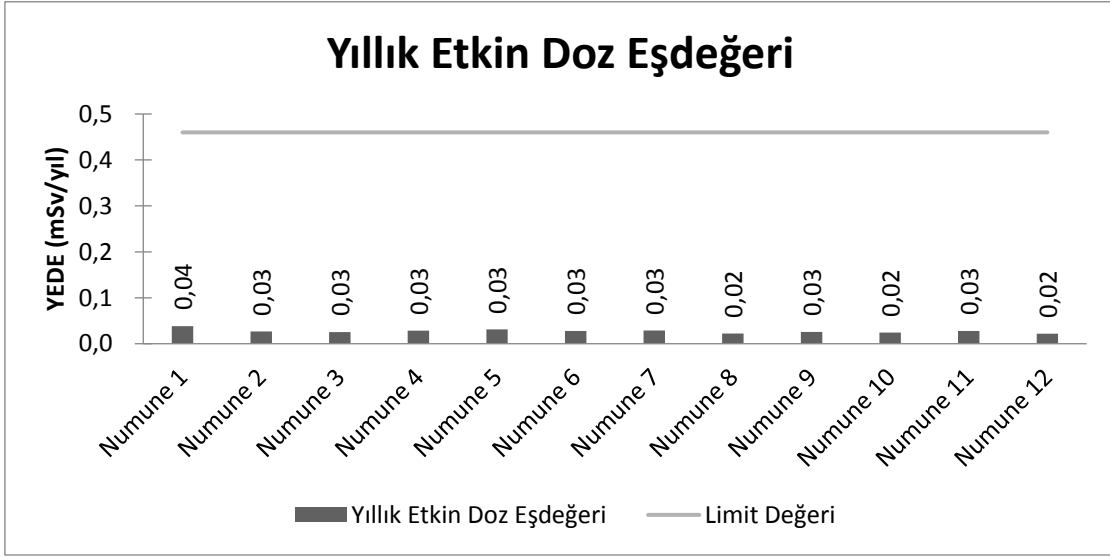
ZGF= Zaman geçirme faktörü

T= Zaman (h/y)

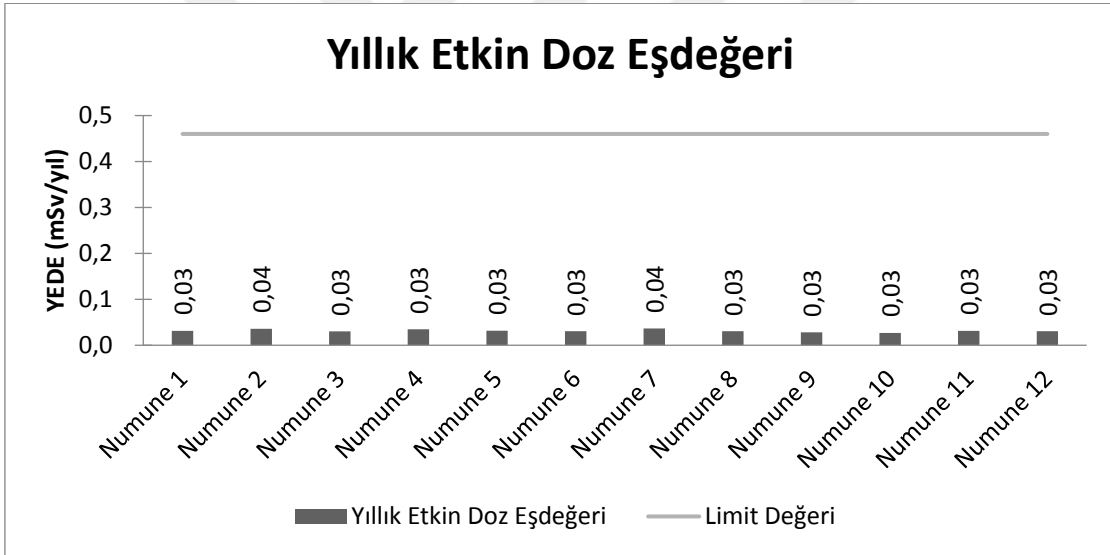
Çevresel gama ışınlamaları için DDF değeri 0,7 Sv/Gy alınmaktadır (UNSCEAR,1982).

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'sinide ev dışı alanlarda geçireceği düşünülerek kullanılmaktadır. (UNSCEAR,1988).

T değeri ise 12 ay düşünülerek 8760 saat/yıl alınmıştır. Yıllık etkin doz eşdeğeri Şekil 5.11'de görülmektedir.



Şekil 5.11.a Terziköy Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri



Şekil 5.11.b Gözlek 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 Kaplıcalardaki toprak numunelerinden 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 Işınlanma		
Kozmik Işınlar	0,4	0,3 – 1,0
Karasal Gama Işınları	0,5	0,3 – 0,6
İç Işınlanma		
Nefes Alma (Çoğunlukla Radon)	1,2	0,2 – 10
Gıda Yolu İle	0,3	0,2 – 0,8
TOPLAM	2,4	1 – 10

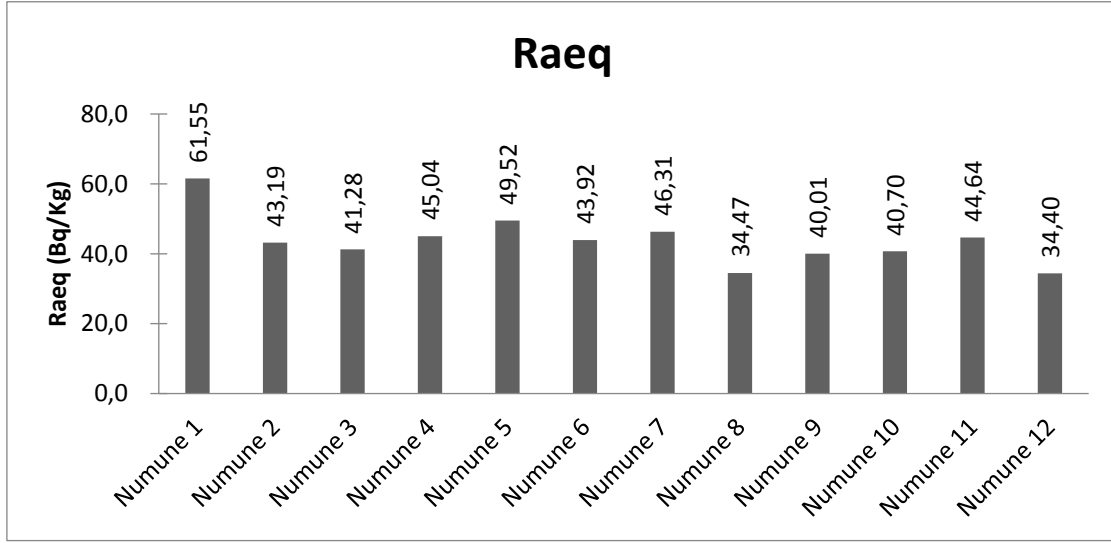
5.5. Radyum Eşdeğer Aktivitesi

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

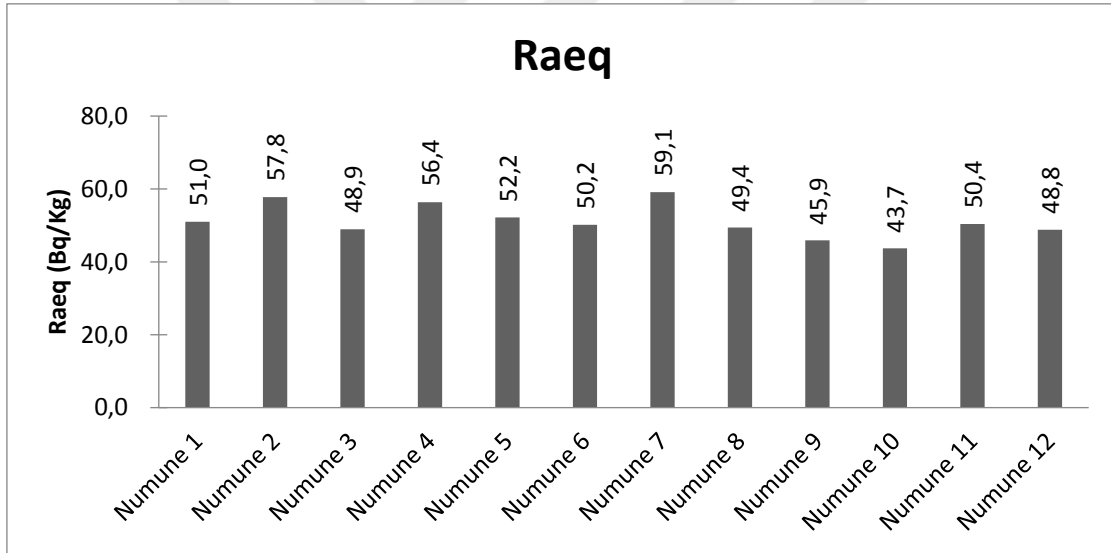
Radyum eşdeğer aktivitesi (R_{eq}) Eş. 5.5 ile hesaplanmaktadır (UNSCEAR, 1982).

$$R_{\text{eq}} = A_{\text{Ra}} + 1.43A_{\text{Th}} + 0.077A_{\text{K}} \quad (5.5)$$

Bu eşitlikte R_{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 5.12’de her bir numunenin Radyum eşdeğer aktivitesi gösterilmiştir.



Şekil 5.12.a Terziköy Radyum eşdeğer aktivitesi



Şekil 5.12.b Gözlek Radyum eşdeğer aktivitesi

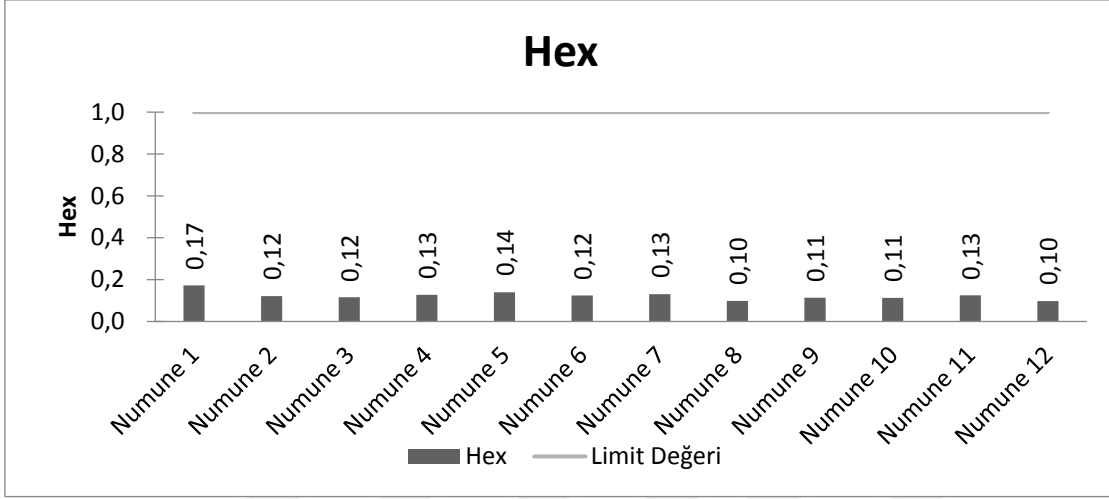
5.6. Topraklar İçin Dış Ortam Tehlike İndeksi ve Gama Aktivite İndeksi

Topraklardan 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).

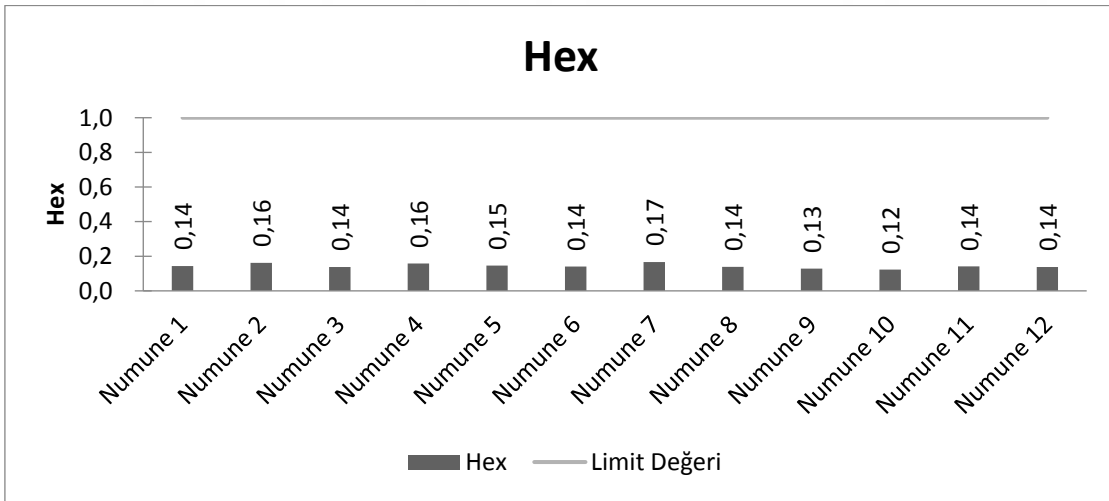
Dış ortam tehlike indeksi Şekil 5.13'da verilmiştir.

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

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 5.13.a. Terziköy dış ortam tehlike indeksi



Şekil 5.13.b. Gözlek dış ortam tehlike indeksi

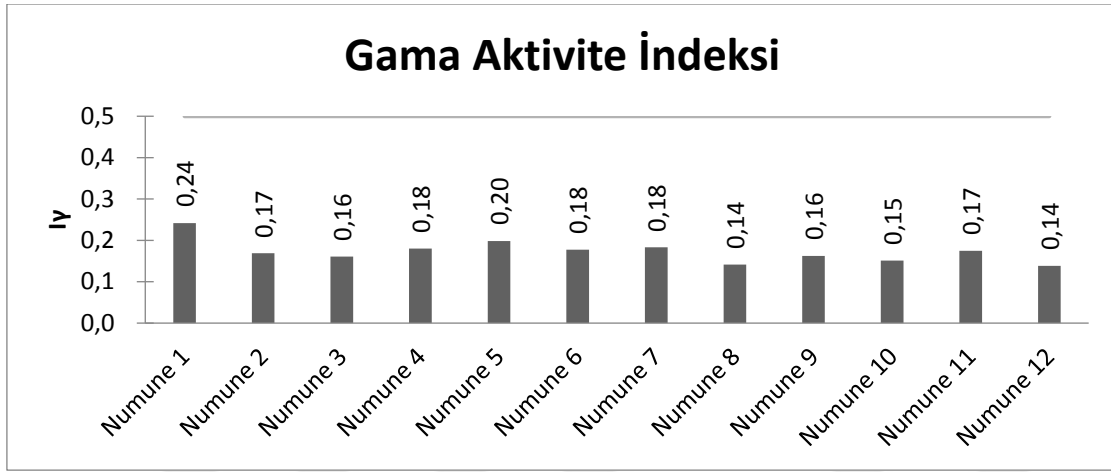
Şekil 5.13'den de görüldüğü üzere dış ortam tehlike indeksi $H_{ex} < 1$ olarak bulunmuştur.

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

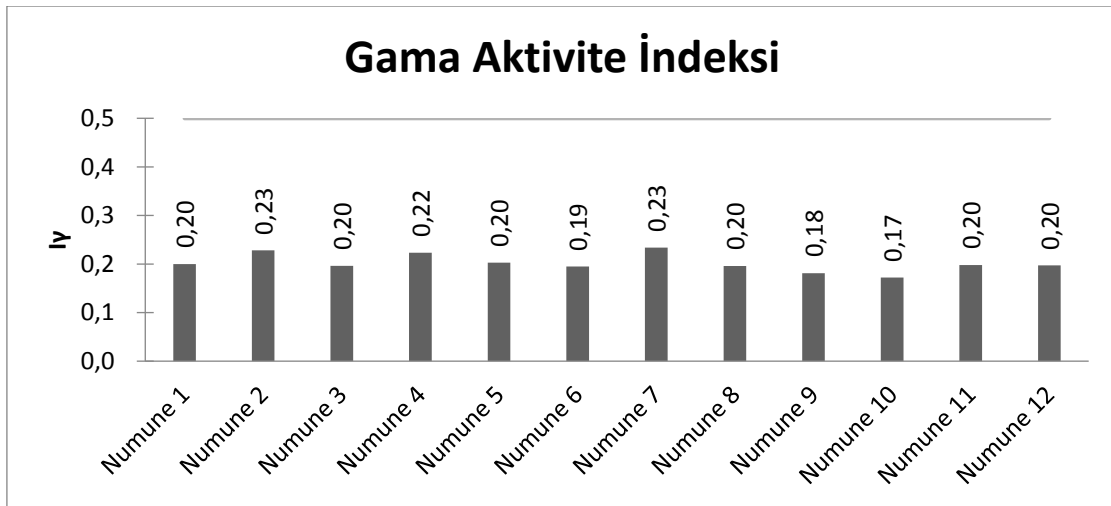
$I_\gamma \leq 1$ ise absorbe edilen gama doz oranı 1 mSv/yıl'a eşit veya daha az, $I_\gamma \leq 0,5$ ise absorbe edilen gama doz oranı 0,3 mSv/yıl'a eşit veya daha az olur (Turhan, 2008).

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

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 5.14'de verilmiştir.



Şekil 5.14.a. Terziköy Gama aktivite indeksi



Şekil 5.14.b. Gözlek Gama aktivite indeksi

Şekil 5.14'den de görüldüğü üzere numunelerin gama aktivite indeksi $I_{\gamma} \leq 0,5$ olarak bulunmuştur.

6. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez çalışmasında Amasya'nın Terziköy ve Gözlek kaplıcaları etrafından alınan toprak numunelerinin gama spektroskopik analizi yapılmış ve toprak içinde bulunan doğal radyonüklit konsantrasyonları belirlenmiştir. Gama spektroskopik ölçümler sonucunda toprak numunelerinde ^{226}Ra aktivite konsantrasyonunun en küçük değeri 10,63 Bq/kg, en büyük değeri 23,93 Bq/kg'dır. ^{232}Th aktivite konsantrasyonunun en küçük değeri 4,03 Bq/kg, en büyük değeri ise 9,56 Bq/kg bulunmuştur. ^{40}K aktivite konsantrasyonunun en küçük değeri 139,11 Bq/kg, en büyük değeri ise 341,89 Bq/kg olarak hesaplanmıştır. Bu numunelerden elde ettiğimiz aktivite değerlerini farklı coğrafi konumlarda yapılmış ve literatüre geçmiş çalışmalarla karşılaştırılmıştır.

Dünya genelinde bir insanın doğal radyasyon kaynaklarından maruz kaldığı yıllık etkin doz değerleri aralığı 0,3–0,6 mSv/y'dir (UNSCEAR, 2007).

Kaplıcalardaki toprak numunelerinden alınan topraklardan kaynaklanan yıllık etkin doz değerleri (0,029-0,038mSv/yıl) bulunmuştur. Bu değer dünya ortalamasının altında kalmaktadır.

Numunelerin alındığı alanlarda doğal radyoaktivite seviyelerinin çok yüksek olmadığı ve aktivite konsantrasyon değerleri bölgesel özelliklere göre farklılık göstermekte olup, Topraklar İçin Dış Ortam Tehlike İndeksi ve Gama Aktivite İndeksi UNSCEAR (1993) raporlarında verilen ortalama limit değerlerin oldukça altında bulunduğu görülmüştür.

7. KAYNAKLAR

- Akbayır, S.,(2008) 2005-2007 Yılları Arasında Iğdır İlinden Alınan Toprak Örneklerindeki Radyasyon Ölçümü, Yüksek Lisans Tezi, *Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kars
- Akça, S., (2011) Mantar Çeşitlerinde Elemental Analiz Ve Doğal Radyoaktivite Ölçümü , Yüksek Lisans Tezi, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kahramanmaraş
- Akhtar, N., Tufail, M., Ashraf, M., Iqbal, M.M., 2005. Measurement of environmental radioactivity for estimation of radiation exposure from saline soil of Lahore, Pakistan. *Radiation Measurements* 39, 11 – 14.
- Akkurt, A. (2006) Afyon Jeotermal Sularında Radon (Rn-222) Aktivitesi Tayini. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Doctoral dissertation, Yüksek Lisans Tezi, Afyonkarahisar).
- Alakuş, F., (2013) Bursa İli Kaynak Sularında Radon Gazı Radyoaktivitesinin Ölçülmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yozgat
- Al-Jundi, J., Al-Bataina, B.A., Abu-Rukah, Y., Shehadeh 2003. Natural radioactivity concentrations in soil samples along the Amman Aqaba Highway, Jordan. *Radiation Measurements* 36, 555-560.
- Altekin, E., (2014) Çeşitli Bal Örneklerinde Radyoaktivite ve Ağır Metal Analizi, Yüksek Lisans Tezi, *Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Rize
- ARYA, A.P., (1999) Çekirdek Fiziğinin Esasları , Yusuf Şahin, *Aktif Yayınevi*, Erzurum. 224-280 p.
- Başkurt B., (2012) Van Gölü Havzasındaki Kanser Sıklığının Araştırılması Ve Çevresel Radyoaktivite İle İlişkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü*, Van
- Beretka, J., (1985) Mathew, P. J., Natural radioactivity of Australian buildingmaterials, industrial wastes and by-products, *Health Physics*, 48:87–95.
- Berker, S., (2014) Mersin Akkuyu Sahillerinden Alınan Kum Örneklerindeki Doğal Radyoaktivite Düzeyinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Mersin
- Bostancı, S., (2011) Ondokuz Mayıs Üniversitesi Kurupelit Kampüsü Ve Samsun İlmerkezinin Doğal Radyoaktivite Seviyesinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Samsun
- Camgöz, Y.I., Yaprak, G., 2009. Küçük Menderes Havzası Tarım Topraklarında Doğal Radyonüklit Seviyesinin Belirlenmesi, *Ekoloji* 18, 70, 74-80.
- Coşkun, A. (2015) Radyoloji birimlerinin ortam radyasyon doz dağılımlarının belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Amasya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Amasya
- Çevik, U., Damla, N., Nezir, S., (2007) Radiological characterization of Cayırhan coal-fired power plant in Turkey, *Fuel*, 86:2509–2513

- Dugalic, G., Krstic, D., Jelic, M., Nikezic, D., Milenkovic, B., Pucarevic, M., Zeremski-Skoric, T., 2010. Heavy metals, organics and radioactivity in soil of western Serbia. *Journal of Hazardous Materials* 177, 697–702.
- Dyer Stephen A., (2001) *Survey of Instrumentation and Measurement* . Wiley-IEEE. p.920.
- Görür, Ş., (2006) Çevresel Radyoaktivite Ile Bu Çevrede Yaşayanlara Ait Dış Örneklerindeki Radyoaktivite Arasındaki İlişkinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana
- Günoğlu, K., (2008) Afyonkarahisar Yöresi Mermerlerinde Doğal Radyoaktivite Tayini, Yüksek Lisans Tezi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyonkarahisar
- Günoğlu, K., (2012) Türkiye’deki Bazı Doğal Taşların Radyoaktivite Tayini Ve Radyasyon Soğurma Özelliklerinin Araştırılması, Doktora Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta
- İnternet: *Amasya Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müd*, Coğrafi Yapı <https://amasya.csb.gov.tr/co-sharp287-rafi-konum-i-1780>
- 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)
- Kara, A., (2008) Karaca ve Çal Mağaraları’nda Radon Konsantrasyonu ve Radyoaktivite Seviyesinin Belirlenmesi , Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon
- Karakılıç, V., (2013) Türk Hızlandırıcı ve Radyasyon Laboratuvarı (TARLA, Ankara) Civarında Doğal Radyoaktivite Ölçümleri , Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta
- Karatepe, Ş., (2008) Bazı Bina Yapım Malzemelerindeki Doğal Radyoaktivitenin Belirlenmesi , Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ
- Kaya, S., Karabıdak, S.M., Çevik, U., 2014, Gümüşhane İli Çevresinde Toplanan Toprak ve Karayosunu Örneklerinde Doğal (^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K) ve Yapay (^{137}Cs) Radyoaktivite Konsantrasyonlarının Belirlenmesi, *Güfbed/Gustij* (2015) 5 (1): 24-33 Research.
- Keser, R., (2009) Rize İli Sahil Kumlarında Ve Bazı Kayaçlarda Doğal Gama Radyoaktivite Seviyelerinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon
- Keskin, S., (2008) Tuz Gölü Civarından Alınan Toprak Örneklerinde Doğal Radyonüklitlerin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi. *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul
- Knoll, G. F., (2000) *Radiation Detection and Measurement*, Third Edition, John Wiley & Sons, Inc.

- Krane, K. S., (2001) Nükleer Fizik Ders Kitabı , 1.cilt, Prof. Dr. Başar Şarer, *Palme Yayıncılık*, Ankara, 174-248
- Kurnaz, A., Küçükömeroğlu, B., Keser, R., Okumusoglu, N. T., Korkmaz, F., Karahan, G. ve Çevik, U., 2007. *Determination of Radioactivity Levels and Hazards of Soil and sediment samples in Firtına Valley* (Rize,Turkey), *Applied Radiation and Isotopes*, 65, 1281-1289.
- Magill, J., Galy J., (2005) *Radioactivity, Radionuclides, Radiation* , *Springer*, Germany, 259 s.
- Mavi, B. (2010). *Isparta'daki bazı yapı malzemelerinde doğal radyoaktivite tayini* (Doctoral dissertation, *SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*).
- NCRP, (1987) *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.
- Öner, F., *Radyasyon ve Canlılar Üzerine Etkisi* , Ders Notu, *Amasya Üniversitesi Eğitim Fakültesi*
- Öter, Ç., (2013) *Van ve Çevresinde Yetiştirilen Bazı Yöresel Ürünlerde Doğal Radyoaktivite Seviyelerinin Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Van
- TAEK, (2007) *Doğal Radyasyon Kaynakları* , www.taek.gov.tr
- TAEK, (2009) *Radyasyon, İnsan ve Çevre* , *TAEK*, Ankara, 3-32
- TAEK, (2009) *TAEK ile Üniversiteler Arasında Çevresel Radyoaktivitenin Belirlenmesi ve İzlenmesine Yönelik İş Birliği Projesi*, Birinci Çalıştay, *TAEK-SANAEM*, Ankara.
- Turhan, Ş., (2008) *Assessment Of The Natural Radioactivity And Radiological Hazards In Turkish Cement And Its Raw Materials* *Journal of Environmental Radioactivity Volume*, 99 (2):404-414
- UNSCEAR 2000, (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation), *Exposure from natural sources of radiation*, U.N.New York
- UNSCEAR, (2015) *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
- UNSCEAR, (2015) *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>
- UNSCEAR, (2015) *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
- Yalçın, S., Gürler, O., (2007) *The Radioactivity Measurements In Soil, Coal And Water In South Marmara Region of Turkey*, *Radiation Measurements*, 42:281 – 285
- Yaren, H., Karayılanoğlu, T., (2005) *Radyasyon ve İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri*, *TSK*

Koruyucu Hekimlik Bülteni, 4(4):199-208



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : BOLAT, Bekir
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 01.01.1972 Tokat/Erbaa
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (530) 737 70 654
 E-mail : bekirbolat@hotmail.com.tr

Eğitim Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	SAMSUNOndokuzmayıs Üniv/Fizik	2000
Ön lisans	TOKAT Gaziosmanpaşa Üniversitesi	1995
Lise	Erbaa Endüstri Meslek Lisesi	1991

İş Deneyimi Yıl	Yer	Görev
2018-2019	Tokat Ayışığı Okulları	Öğretmen
2017-2018	Erbaa Fatih Anadolu Lisesi	Öğretmen
2017-2017	A + OSGB	İş Güv. Uzmanı
2012-2015	Hayat Rehberim Derneği	İş Güv. Uzmanı
2009-2010	Pi Analitik Dershanesi	Öğretmen
2007-2009	Erbaa Final Dershanesi	Öğretmen
2002-2006	Erbaa Sınav Dershanesi	Öğretmen

Yayınlar:

Bolat, B., Öner, F. , Çetin, B. Assessments of Natural Radioactivity Concentration and Radiological Hazard Indices in Surface Soils from the Gozlek Thermal SPA (Amasya-Turkey). Acta Physica Polonica A, 132(3), 1200-1202 (2017) (SCI)

Bekir Bolat, Feda Öner, Betül Çetin. Measurement of Environmental Radioactivity in Gözlek Thermal SPA in Amasya-Turkey. Turkish Physical Society 32nd International Physics Congress, 6-9 Eylül 2017, Konacık/Bodrum-Türkiye.

Bolat, B., Öner, F., Çetin, B., Karpuz, N. Investigation of Natural Radioactivity Concentrations in Soils at Terziköy SPA in Amasya-Turkey. Turkish Physical Society 32nd International Physics Congress, 6-9 Eylül 2016, Konacık/Bodrum-Türkiye

Bekir Bolat, Feda Öner, Betül Çetin. Assessments of Natural Radioactivity Concentration and Radiological Hazard Indices In Surface Soils From the Gözlek SPA (Amasya-Turkey). ICCESN 19-24 October 2016, Antalya-TURKEY