

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

KARS İLİ, DİĞOR İLÇESİ TOPRAKLARINDA VE MERA BİTKİLERİNDE
DOĞAL RADYOAKTİVİTE SEVİYELERİNİN BELİRLENMESİ

Ebru ÖZTANRIÖVER
YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN
Dr. Öğretim Üyesi Gülçin BİLGİCİ CENGİZ

ŞUBAT - 2019

KARS



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



**KARS İLİ, DİĞOR İLÇESİ TOPRAKLARINDA VE MERA BİTKİLERİNDE
DOĞAL RADYOAKTİVİTE SEVİYELERİNİN BELİRLENMESİ**

**Ebru ÖZTANRIÖVER
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

DANIŞMAN

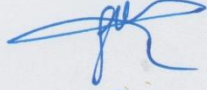
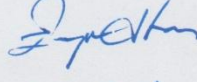
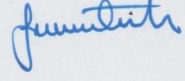
Dr. Öğretim Üyesi Gülçin BİLGİCİ CENGİZ

ŞUBAT - 2019

KARS

T.C. Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Ebru ÖZTANRIÖVER'in Dr. Öğretim Üyesi Gülçin BİLGİCİ CENGİZ danışmanlığında yüksek lisans tezi olarak hazırladığı " Kars İli, Digor İlçesi Topraklarında ve Mera Bitkilerinde Doğal Radyoaktivite Seviyelerinin Belirlenmesi" adlı bu çalışma, yapılan tez savunması sınavı sonunda jüri tarafından Lisansüstü Eğitim Öğretim Yönetmeliği uyarınca değerlendirilerek oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

08/02/2019

	Adı ve Soyadı	İmza
Başkan	:Dr. Öğr. Üyesi Gülçin BİLGİCİ CENGİZ	
Üye	:Doç. Dr. Engin ATEŞER	
Üye	:Dr. Öğr. Üyesi Güventürk UĞURLU	

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun .. / .. / 20.. gün ve
...../..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Doç. Dr. Fikret AKDENİZ

Enstitü Müdürü V.

ETİK BEYAN

Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,

- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

08/02/2019

EBRU ÖZTANRIÖVER



ÖZET

(Yüksek Lisans Tezi)

Kars İli, Digor İlçesi Topraklarında ve Mera Bitkilerinde Doğal Radyoaktivite Seviyelerinin Belirlenmesi

Ebru ÖZTANRIÖVER

Kafkas Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Gülçin BİLGİCİ CENGİZ

Atmosferdeki, sudaki ve topraktaki radyoaktif elementler insanlara, hayvanlara ve bitkilere doğrudan veya dolaylı olarak geçer. Radyoaktif elementlerin topraktan bitkilere geçişi, bitki yüzeyindeki atmosferden gelen radyonüklidlerin toplanması ve ayrıca radyoaktif elementlerin bitkiye kökleri tarafından taşınması gibi işlemlerle gerçekleşir. Topraktaki bu radyoaktif elementler genellikle insanlara ve hayvanlara solunum ve yiyecek yoluyla geçirilir. Bitkilerin gövdesinde topraktaki radyoaktif elementlerin içeriğine ve büyüme mevsiminin diğer koşullarına bağlı olarak potasyum, uranyum, radyum ve diğer elementler bulunabilir. Gıda olarak radyoaktif elementler içeren bitkilerin tüketimi insan ve hayvan sağlığı için tehlikeli olabilir.

Çevresel radyasyon ölçümlerinin temel amacı, insanların yaşadığı alanın doğal radyasyon açısından sağlıklı yaşam için uygun olup olmadığını araştırmaktır. Bu nedenle bu çalışmada, Digor ilçesi ve çevresinden toplanan mera bitkileri ve toprak örneklerindeki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K doğal radyonüklidlerinin aktivite konsantrasyonlarını ve yapay radyonüklid ^{137}Cs 'in aktivite seviyesini ve radyolojik indisleri hesaplamak, ayrıca bunların yöre insanları üzerindeki etkilerini değerlendirmek amacıyla yapılmıştır.

Kars'ın Digor ilçelerinde ekilmemiş alanlardan toplanan topraklardaki doğal radyoaktivitenin dağılımı NaI(Tl) gama ışını spektrometrisi kullanılarak incelenmiştir. İncelenen alanlardaki 55 toprak numunesindeki doğal radyo çekirdeklerinin ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs konsantrasyonu sırasıyla, 21.6 ± 7.0 ile 55.7 ± 8.2 Bqkg^{-1} , 45.0 ± 14.7 ile 94.7 ± 15.3 Bqkg^{-1} , 474.5 ± 0.0 ile 666.5 ± 9.2 Bqkg^{-1} ve BDL (Tespit Sınırının Altında), 13.3 ± 1.5 Bqkg^{-1} arasında değişmektedir. Toprak örneklerinde radyasyon tehlikesi endekslerini hesaplamak için belirlenen ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının ortalama değerleri kullanılmıştır. Çalışılan alanda, radyum eşdeğeri aktivite (R_{eq}) ve açık hava soğurulan gama doz oranı (ADR) ortalama değerleri sırasıyla 171.5 Bqkg^{-1} ve 79.0 nGyh^{-1} olarak bulundu. Radyonüklidlerin varlığına bağlı olarak, yıllık etkin doz eşdeğeri (AED) $96,8$ μSv olarak bulundu. Ortalama bir insan ömrü boyunca kanser oluşumu riskinin (YFKR) ortalama değeri 0.34×10^{-3} olarak belirlenmiştir.

Mera bitkilerindeki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktiviteleri sırasıyla, $21,8 \pm 6,3$ - $49,6 \pm 13,4$, $51,9 \pm 13,2$ - $127,7 \pm 23,8$ ve $309,5 \pm 33,5$ - $807,3 \pm 64,4$ Bqkg^{-1} aralıklarında değişmektedir. ^{226}Ra ve ^{232}Th 'in mera otunun farklı bölümlerinde dağılımı, kök> gövde> yaprak sıralamasına göre azalma eğiliminde olduğu saptanmıştır. ^{40}K , ağırlıklı olarak mera otlarının saplarında birikir ve bunu takip eden eğilim ise sapı> yaprak> kök'tür. Bu çalışmada sunulan sonuçlar, dünyanın farklı bölgelerinde yapılan benzer çalışmaların ortalama değerleri ile karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonuçları gelecekteki değerlendirmeler için referans olarak kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Toprak, mera otu, doğal radyoaktivite konsantrasyonu, gama ışını spektrometresi, doz değerlendirmesi.

2019, 121 sayfa

ABSTRACT

(M. Sc. Thesis)

Determination of Natural Radioactivity Levels in Soil and Pasture Grass Plants Samples
of Digor District, Kars

Ebru ÖZTANRIÖVER

Kafkas University

Graduate School of Applied and Natural Sciences

Department of Physics

Supervisor: Gülçin BİLGİCİ CENGİZ

Radioactive elements in the atmosphere, in water and in soil, pass directly or indirectly to humans, animals and plants. The transition of radioactive elements from soil to the plants takes place in such processes as the collection of the radionuclides coming from the atmosphere on the plant surface and also the transport of the radioactive elements to plant bodies by the roots of the plants. These radioactive elements in the soil are generally passed through to humans and animals by respiration and food. In the body of the plants, depending on the content of the radioactive element in the soil and other conditions of the growing season, potassium, uranium, radium and other elements can be found. Consumption of plants containing radioactive elements as food can be dangerous to human and animal health.

The main purpose of environmental radiation measurements is to investigate whether the area in which humans live is suitable for healthy living in terms of natural radiation. Therefore, the relationship between radionuclides in the environment and the amount of radiation doses that humans are exposed to from environmental sources must be determined, as well as the biological effect of this radiation on humans. The present work purposed to calculate the activity concentration of natural radionuclides ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K and the activity level of artificial radionuclide ^{137}Cs in pasture grass plants and in soil samples were collected from Digor district, and to interpret the radiological indices and their effects on the population who live in this environment.

The distribution of natural radioactivity in soils collected from uncultivated areas in Digor districts of Kars was investigated by using NaI(Tl) gamma-ray spectrometry. The concentration of the natural radio nuclides ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K and ^{137}Cs in the 55 soil samples from the studied areas range from 21.6 ± 7.0 to 55.7 ± 8.2 Bqkg^{-1} , 45.0 ± 14.7 to 94.7 ± 15.3 Bqkg^{-1} , 474.5 ± 0.0 to 666.5 ± 9.2 Bqkg^{-1} and BDL (Below Detection Limit) to 13.3 ± 1.5 Bqkg^{-1} , respectively. The determined mean values of activity concentrations of ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K were used to calculate the radiation hazard indices in soil samples. In the studied area, the mean values of radium equivalent activity (Raeq) and the open air absorbed gamma dose rate (ADR) were found to be 171.5 Bqkg^{-1} and 79.0 nGyh^{-1} , respectively. Depending on the presence of radionuclides, the annual effective air dose ratio (AED) was found to be 96.8 μSv . The mean value of risk for cancer formation (LCR) during an average human lifetime was determined to be 0.34×10^{-3} .

The activities of ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K in pasture-grass were in the range of 21.8 ± 6.3 – 49.6 ± 13.4 , 51.9 ± 13.2 – 127.7 ± 23.8 and 309.5 ± 33.5 – 807.3 ± 64.4 Bq kg^{-1} , respectively. The distribution of ^{226}Ra and ^{232}Th in different parts of pasture-grass indicated a decreasing tendency in order of root > stem > leaf. ^{40}K mainly accumulated in stem of pasture-grass and is followed by declining trend stem > leaf > root.

The results presented in this study, has been compared with the average values of similar studies conducted in different regions of the world. The results of the study can be used as a reference for future evaluations.



Key Words: Soil, pasture-grass, natural radioactivity concentration, gamma ray spectrometry, dose assessment.

2019, 121 pages

ÖNSÖZ

Bu çalışma Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim dalında yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

“Kars İli, Digor İlçesi Topraklarında ve Mera Bitkilerinde Doğal Radyoaktivite Seviyelerinin Belirlenmesi” adlı bu tez çalışmasının deneysel çalışmaları Kafkas Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Radyasyon Ölçüm Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmayı bana öneren ve gerçekleştirmemde benden bilgi, hoşgörü ve güler yüzünü esirgemeyen, araştırmalarımnda engin ve derin bilgisi ile bana yol gösteren, tezimin yazımına kadar her aşamasında değerli zamanını bana ayıran, karşılaştığım zorluklarda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Dr. Öğretim Üyesi Gülçin BİLGİCİ CENGİZ’ e toprak ve mera bitki numunelerinin toplanmasında yardımını esirgemeyen canım eşim Ömer ÖZTANRIÖVER’e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa no

ÖZET	ii
ABSTRACT	iv
ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
TABLolar DİZİNİ	xii
RESİMLER DİZİNİ	xiii
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.1.1. Yapılmış Çalışmalar.....	2
1.1.2. Dünya’da ve Türkiye’ de Bitki Örneklerindeki Doğal Radyoaktivitenin Belirlenmesine Yönelik Çalışmalar.....	13
1.2. Radyasyon ve Radyoaktivite.....	17
1.2.1. Radyasyon Çeşitleri.....	17
1.2.2. Radyasyon Kaynakları.....	21
1.2.3. Radyasyon Doz Birimi.....	33
2. MATERYAL VE YÖNTEM	37
2.1. Gama Spektrometresi.....	37
2.1.1. Sintilasyon Dedektörleri.....	37
2.1.2. NaI(Tl) Sintilasyon Dedektörü.....	39
2.1.3. Gama Spektrometrik Analiz Sistemi.....	41
2.2. Dedektör Ayırma Gücü.....	45
2.3. Dedektörün Verimi.....	46
2.4. Deneysel Çalışmalar.....	47
2.4.1. Ölçüm Sahası.....	48
2.4.2. Toprak Örneklerinin Toplanması ve Sayıma Hazırlanması.....	50
2.4.3. Mera Bitki Örneklerinin Toplanması ve Sayıma Hazırlanması.....	51

2.4.4. Analizlerde Kullanılan Gama Spektrometre Sisteminin Özellikleri	52
3. BULGULAR	63
3.1. Digor İlçesi Toprak Örneklerinin Doğal Radyoaktivite Seviyelerinin Belirlenmesi	63
3.1.1. Toprak Örneklerinde ^{40}K 'nin Aktivite Konsantrasyonu	64
3.1.2. Toprak Örneklerinde ^{232}Th 'nin Aktivite Konsantrasyonu	65
3.1.3. Toprak Örneklerinde ^{226}Ra (^{238}U)'nin Aktivite Konsantrasyonu	66
3.1.4. Toprak Örneklerinde ^{137}Cs 'nin Aktivite Konsantrasyonu	67
3.1.5. Toprak Örneklerinde Belirlenen Radyoaktivite Seviyelerinin Değerlendirilmesi	68
3.2. Digor İlçesinde Mera Bitki Örneklerinde Radyoaktivite Seviyelerinin Belirlenmesi	72
3.2.1. Mera Bitki Örneklerinde ^{40}K 'nin Aktivite Konsantrasyonu	73
3.2.2. Mera Bitki Örneklerinde ^{232}Th 'nin Aktivite Konsantrasyonu	73
3.2.3. Mera Bitki Örneklerinde ^{226}Ra (^{238}U) Aktivite Konsantrasyonu	74
3.2.4. Mera Bitki Örneklerinde Belirlenen Radyoaktivite Seviyelerinin Değerlendirilmesi	75
3.3. Karasal Gama Doz Hızlarının Hesaplanması	77
3.3.1. Soğurulan Gama Doz Oranı (ADR)	77
3.3.2. Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri (AED)	80
3.3.3. Radyum Eşdeğer Aktivitesi (Ra_{eq})	84
3.3.4. Yaşam Boyu Fetal Kanser Riski (YFKR)	86
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	90
5. KAYNAKLAR	91
6. EKLER	101
ÖZGEÇMİŞ	103

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa no

Şekil 1.1: Elektromanyetik Radyasyonun Enerji Spektrumu [47].....	19
Şekil 1.2 : İyonlaştırıcı Radyasyon Türlerinin Soğurulması [47].....	21
Şekil 1.3: Doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan küresel radyasyon oranları [47].....	22
Şekil 1.4: Doğal radyasyon kaynakları nedeniyle maruz kalınan küresel radyasyon dozlarının yüzdesel oranları [47].	23
Şekil 1.5: Bir saat süresince kozmik ışınlardan alınan radyasyon dozunun rakımla değişimi [47].	25
Şekil 1.6 : ^{238}U 'in bozunma serisi [50].....	27
Şekil 1.7 : ^{232}Th 'nin bozunma serisi [50].	29
Şekil 1.8: Yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan küresel radyasyon dozunun oransal değerleri [47].....	32
Şekil 1.9 : Doğal ve yapay radyasyon kaynaklarının küresel radyasyon dozuna oransal katkıları [47].....	33
Şekil 2.1 : Sintilasyon dedektör şeması [54].	38
Şekil 2.2 : NaI(Tl) foto-çoğaltıcı tüpün şematik diyagramı [48].....	40
Şekil 2.3 : NaI(Tl) dedektörünün kurulum şeması [58].....	41
Şekil 2.4 : Çok kanallı analizörde kanal numarası ve puls yüksekliği arasındaki ilişki [48].	44
Şekil 2.5 : Gaussyen yapılu pikin enerji çözünürlüğünü gösteren şema [48].....	46
Şekil 2.6 : Kaynaktan dedektöre gelen parçacıkların dedektörle etkileşimleri[48].	47
Şekil 2.7 : Toprak ve mera bitki numunelerinin alınmasının şematik gösterimi [48].	52
Şekil 2.9: NaI(Tl) dedektörünün enerji-kanal kalibrasyonu grafiği [58].....	56
Şekil 2.10 : NaI(Tl) dedektörünün mutlak verim eğrisi [58].....	57
Şekil 2.11 : Gama pik alanının hesaplanmasında kullanılan parametrelerin gösterimi [48].	59
Şekil 3.1 : Digor bölgesinden alınan toprak örneklerindeki K-40 dağılımı.....	64
Şekil 3.2 : Digor bölgesinden alınan toprak örneklerindeki Th-232 dağılımı.	65
Şekil 3.3 : Digor bölgesinden alınan toprak örneklerindeki Ra-226 dağılımı.	67
Şekil 3.4 : Digor bölgesinden alınan toprak örneklerindeki Cs-137 dağılımı.	68
Şekil 3.5 : Topraktaki K-40 aktivite konsantrasyonlarının Dünya, Türkiye, Kars M., Selim, Sarıkamış, Akyaka, Arpaçay, Susuz ve Digor ilçelerine ait ortalaması [65 - 67].....	69
Şekil 3.6 : Topraktaki Th-232 aktivite konsantrasyonlarının Dünya, Türkiye, Kars M., Selim, Sarıkamış, Akyaka, Arpaçay, Susuz ve Digor İlçelerine ait ortalaması [65 - 67].	70
Şekil 3.7 : Topraktaki Ra-226 aktivite konsantrasyonlarının Dünya, Türkiye, Kars Merkez, Selim, Sarıkamış, Akyaka, Arpaçay, Susuz ve Digor İlçelerine ait ortalaması [65 - 67, 69].	71
Şekil 3.8 : Topraktaki Cs-137 aktivite konsantrasyonlarının Türkiye, Doğu Anadolu Bölgesi, Kars Merkez, Selim, Sarıkamış, Akyaka, Arpaçay, Susuz ve Digor İlçelerine ait ortalaması [65 - 67].	72
Şekil 3.9 : Digor bölgesinden alınan mera bitki örneklerindeki K-40 dağılımı.	73

Şekil 3.10 : Digor bölgesinden alınan mera bitki örneklerindeki Th-232 dağılımı.	74
Şekil 3.11 : Digor bölgesinden alınan mera bitki örneklerindeki Ra-226 dağılımı.	75
Şekil 3.12 : Digor bölgesinden alınan toprak örneklerindeki soğurulan gama doz hızı dağılımı.	78
Şekil 3.13 : Digor bölgesinden alınan mera bitki örneklerindeki soğurulan gama doz hızı dağılımı.	79
Şekil 3.14 : Soğurulan gama doz hızının sırasıyla, Dünya, Türkiye, Kars M., Selim, Sarıkamış, Akyaka, Arpaçay, Susuz ve Digor ortalaması [65 - 67, 69].	80
Şekil 3.15 : Digor bölgesinden alınan toprak örneklerinin yıllık etkin doz dağılımı.	81
Şekil 3.16 : Dünya, Türkiye, Kars M., Selim, Sarıkamış, Akyaka, Arpaçay, Susuz ve Digor bölgesine ait yıllık etkin doz ortalamasının karşılaştırılması [65 - 67, 69].	82
Şekil 3.17 : Digor bölgesinden alınan mera bitki örneklerinin yıllık etkin doz dağılımı.	83
Şekil 3.18 : Dünya, Malezya ve Digor bölgesi yıllık etkin doz ortalamasının karşılaştırılması[37].	83
Şekil 3.19 : Digor bölgesi toprak örneklerinin Ra_{eq} dağılımı.	85
Şekil 3.20 : Digor bölgesi mera bitki örneklerinin Ra_{eq} dağılımı.	85
Şekil 3.21 : Dünya, Türkiye, Kars M., Selim, Sarıkamış ve Digor bölgesi radyum eşdeğer aktivite ortalaması[65, 66].	86
Şekil 3.22 : Digor bölgesi toprakları kanser risk oranı dağılımı.	87
Şekil 3.23 : Digor bölgesi mera bitkileri kanser risk oranı dağılımı.	88

TABLolar DİZİNİ

	Sayfa no
Tablo 1.1: Radyasyon Çeşitleri.....	18
Tablo 1.2: Dünya genelinde canlıların doğal radyasyon kaynakları nedeniyle maruz kaldıkları ortalama radyasyon doz değerleri [47].....	23
Tablo 1.3 : Uranyumun Özellikleri [50].	27
Tablo 1.4 : Doğal Uranyum İzotopları [50].	28
Tablo 1.5: Toryumun özellikleri [50].....	30
Tablo 1.6 : Toryumun izotopları [50].	30
Tablo 1.7 : Radyasyon birimleri ve dönüşüm faktörleri [47].....	33
Tablo 1.8 : Radyasyon tiplerinin kalite faktörleri [52].....	35
Tablo 1.9 : Bazı doku ve organların eşdeğer doz ve etkin doz sınırları [52].	36
Tablo 2.1: Enerji kalibrasyonu için önerilen izotopları [48].	54
Tablo 3.1: Elde edilen bitki numunelerindeki doğal radyoaktivite düzeylerinin ortalama değerlerinin literatürde bildirilen değerlerle karşılaştırılması.....	76
Tablo 3.2: Digor bölgesinden alınan toprak örneklerinin NaI(Tl) dedektörü ile elde edilen analiz sonuçlar (Digor 2015).....	89

RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa no
Resim 1 : Toprak numunesi alınan istasyonlar.....	49
Resim 2 : Mera bitki numunesinin alındığı istasyonlar.....	50
Resim 3 : NaI(Tl) Sintilasyon Dedektörü.....	53



SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

A	Aktivite
D	Soğurulmuş doz
E	Etkin doz
H	Eşdeğer doz
M	Kütle
n	Nötron
p	Proton
t_{1/2}	Yarılanma süresi
W	Ağırlık faktörü
α	Alfa parçacığı
β	Beta parçacığı
γ	Gamma ışınları
λ	Radyoaktif bozunma sabiti
T	Doku
R	Radyasyon
TAEK	Türkiye Atom Enerji Kurumu
UNSCEAR	United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
UV	Ultraviolet
EM	Elektromanyetik Dalga
IAEA	Uluslararası Atom Enerji Kurumu (International Atomic Energy Agency)

ICRP Uluslararası Radyolojik Korunma Komisyonu (International Commission on Radiation Protection)

PMT Foto Çoğaltıcı Tüp (Photomultiplier tube)

MCA Çok Kanallı Analizör (Multi Channel Analysers)

PA Ön Yükselteç (Preamplifikatör)

MA Ana Yükselteç (Amplifikatör)

PC Bilgisayar

ADC Analog-Dijital Sinyal Dönüştürücü (Analog-to-Digital Converter)

HV Yüksek Voltaj Kaynağı

BDL Tespit Sınırının Altında

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Dünya üzerinde yaşam bulan tüm canlılar ve insanlar, doğal radyasyona ve insanlar tarafından üretilen yapay radyasyona maruz kalmaktadırlar. Doğal radyasyon; kozmik ve karasal orijinli radyasyon olmak üzere iki ana başlık altında incelenir. Gama Radyasyonu, doğal ve yapay radyonüklitlerinden yayınlanır ve dış ışınımına sebep olurken; α (alfa) ve β (beta) radyasyonunu ise solunum ve sindirim yoluyla vücuda alındığından iç ışınlanmaya neden olurlar. İnsanların ve diğer canlıların maruz kaldıkları radyasyon çeşitliliği, yaşadıkları çevrenin fiziki ve coğrafi koşullarına, yaşam standartlarına ve kullandıkları ürünlere göre değişiklik göstermektedir. İnsanların tıp alanındaki uygulamalardan, endüstriyel uygulamalardan, nükleer enerjiden ve tüketim ürünlerinden (modem, cep telefonu v.b.) maruz kaldıkları doz miktarları değişmektedir. İnsanların bir yılda alacakları ortalama yapay radyasyon doz miktarları, 0,6 mSv ve doğal kaynaklardan alacakları yıllık ortalama eşdeğer doz miktarları ise 2,4 mSv olarak belirlenmiştir[1,2].

Çevresel radyoaktivite çalışmalarının yapılmasındaki amaç; insanların ve diğer canlıların yaşam süreleri boyunca nasıl etkilendiklerini araştırmaktır. Yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar, insanların yıl boyunca maruz kaldıkları radyasyon seviyesinin hesaplanması içinde kullanılmaktadır. Çevresel radyoaktivite düzeyinin araştırılması için bilim insanları ülkemizde ve dünyanın çeşitli yerlerinde topraktaki radyonüklitlerden (başlıcalar: ^{87}Rb , ^{232}Th , ^{238}U , ^{40}K) kaynaklanan radyasyonun belirlenmesi için çalışmalar yapmaktadırlar.

1.1.1. Yapılmış Çalışmalar

Dünya’da ve ülkemizde doğal radyonüklitlerden kaynaklanan karasal radyasyonu belirleme çalışmaları bu bölümde özetlenmiştir.

1.1.1.1. Dünya’da Topraktaki Doğal Radyoaktivite Seviyesinin Belirlenmesine Yönelik Çalışmalar

Agbalagba E.O. ve arkadaşları tarafından 2011 yılında Nijerya’daki petrol yataklarından toprak örnekleri alınmıştır. NaI(Tl) sintilatör dedektörü kullanan gama ışın spektrometresi ile yapılan ölçümler sonucunda ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K doğal radyonüklitlerin aktivite konsantrasyon aralıkları sırasıyla; $19,2\pm 5,6-94,2\pm 7,7 \text{ Bqkg}^{-1}$, $17,1\pm 3,0-47,5\pm 5,3 \text{ Bqkg}^{-1}$ ve $107,0\pm 10,2-712,4\pm 38,9 \text{ Bqkg}^{-1}$ olarak bulunmuştur. ^{226}Ra için ortalama değer $41,0\pm 5,0 \text{ Bqkg}^{-1}$, ^{232}Th için ortalama değer $29,7\pm 4,0 \text{ Bqkg}^{-1}$ ve ^{40}K için ortalama değer $412,5\pm 20,0 \text{ Bqkg}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Buldukları ortalama değerlerin dünya ortalama değer aralığının (^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K için sırasıyla; 35, 30 ve 400 Bqkg^{-1}) biraz üzerinde olduğu gözlemlenmiştir. Yine bu çalışmada, radyum eşdeğer aktivitesi (Ra_{eq}) $98,5\pm 12,3 \text{ Bqkg}^{-1}$, soğurulmuş doz oranı (ADR) $54,6 \text{ nGyh}^{-1}$ ve yıllık etkin doz oranı (AED) $0,07 \mu\text{Svy}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır[1].

Singh Surinder ve arkadaşları tarafından 2005 yılında Hindistan’da yapılan araştırmada, toprak örneklerindeki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K ’a ait ortalama doğal radyoaktivite değerleri gama ışın spektrometresi kullanılarak sırasıyla; 57 Bqkg^{-1} , 87 Bqkg^{-1} ve 143 Bqkg^{-1} olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte yıllık etkin doz oranı $0,11 \text{ mSv}$ ve karasal gama doz hızı $86,54 \text{ nGyh}^{-1}$ olarak bulunmuştur[3].

Xinwei Lu, Caifeng Zhao ve arkadaşları tarafından 2012 yılında Çin’de gama ışın spektrometresi kullanılarak yapılan ölçümlerde, ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının aralığı sırasıyla, $26,6-48,8 \text{ Bqkg}^{-1}$, $44,4-61,4 \text{ Bqkg}^{-1}$ ve $640,2-$

992,2 Bqkg⁻¹ olarak bulunmuştur. ²²⁶Ra, ²³²Th ve ⁴⁰K doğal radyonüklidlerine ait ortalama aktivite değerleri ise sırasıyla, 36,1 Bqkg⁻¹, 51,1 Bqkg⁻¹ ve 733,9 Bqkg⁻¹ olarak tespit edilmiştir. Soğurulmuş doz oranı ile yıllık etkin doz oranının ortalama değeri ise sırasıyla, 78,9±5,7 nGyh⁻¹ ve 0,097±0,007 mSvyr⁻¹ olarak hesaplanmıştır [4].

Adel G.E. Abbady ve arkadaşları tarafından 2005 yılında Mısır'da yapılan çalışmada, NaI(Tl) sintilatör dedektörlü gama ışın spektrometresi kullanılarak, toplanan fosfat kaya örneklerindeki ²²⁶Ra, ²³²Th ve ⁴⁰K aktivite konsantrasyonları ölçülmüştür. El-Mashash bölgesindeki kaya örneklerinde ²²⁶Ra, ²³²Th ve ⁴⁰K aktivite konsantrasyonlarının ortalama değerleri sırasıyla, 665,8±33,4; 329,4±17 ve 587,6±29,4 Bqkg⁻¹ olarak bulunmuştur. El-Mahamid bölgesindeki fosfat kaya örneklerinde ise ²²⁶Ra, ²³²Th ve ⁴⁰K aktivite konsantrasyonlarının ortalama değerleri sırasıyla, 566,8±28,6; 217,3±11,8 ve 560,1±28 Bqkg⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Yüksek çözünürlüklü gama ışın spektrometresi ile ölçülen değerlerin yüksek olduğu ve fosfat madeninde çalışanlar için tehlike olup olmadığına bakılması için alınan yıllık doz miktarının ölçülmesine karar verilmiş ve bu değer 538-418 µSvy⁻¹ aralığında olduğu belirlenmiştir. Buldukları bu değerler Uluslararası radyasyondan korunma komisyonu tarafından maden işçileri için önerilen doz değeri olan 20 mSvy⁻¹ oldukça düşüktür[5].

Mehra Rohit ve Singh Surinder tarafından Hindistan'ın Punjab kentinde toplanan toprak örneklerinde HpGe yüksek çözünürlüklü gama ışın spektrometresi ile yapılan ölçümlerde ²²⁶Ra, ²³²Th ve ⁴⁰K ortalama aktivite konsantrasyonları sırasıyla 32, 126 ve 348 Bqkg⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada soğurulmuş doz oranının ortalama değeri 107,97 nGyh⁻¹ olarak hesaplanmıştır[6].

Tzortzis Michalis ve arkadaşları tarafından 2003 yılında Kıbrıs'ta kayalarda yüksek çözünürlüklü gama ışın spektrometresi kullanılarak karasal gama radyasyon seviyesi ölçülmüştür. ²³²Th aktivite konsantrasyonu aralığı 1,3–52,8 Bqkg⁻¹, ²³⁸U aktivite konsantrasyonu aralığı 0,9–90,3 Bqkg⁻¹ ve ⁴⁰K aktivite konsantrasyonu aralığı ise 13–894 Bqkg⁻¹ olarak bulunmuştur. Bu çalışmada havada soğurulan doz oranı 0,1–50

nGyh⁻¹ aralığında olup ortalama değeri ise 14,7±7,3 nGyh⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Yıllık etkin doz oran aralığı ise 0,1–61,4 µSvyr⁻¹ aralığında hesaplanmıştır[7].

Thabayneh Kaleel Mohammed ve Jazzar Mohanad tarafından 2011 yılında Filistin’de toplanan toprak örneklerinde yüksek çözünürlüklü HpGe gama ışın spektrometresi kullanılarak yapılan ölçümlerde doğal radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonu değerlerinin ²³⁸U için 9,7–83,5 Bqkg⁻¹, ²³²Th için 5,3–44,8 Bqkg⁻¹ ve ⁴⁰K için 10,2–404,0 Bqkg⁻¹ aralıklarında olduğu bulunmuştur[8].

Siak Kuan Lee ve arkadaşları tarafından 2003-2005 yılları arasında Malezya’da Perak’taki Kinta bölgesi civarında toplanan bitkilerde, dış gama doz oranı ve ²³⁸U, ²³²Th ve ⁴⁰K konsantrasyonları yüksek çözünürlüklü HPGe dedektör sistemi kullanılarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda, aktivite konsantrasyonlarının ²³⁸U için; 12–426 Bqkg⁻¹, ²³²Th için 19–1377 Bqkg⁻¹ ve ⁴⁰K için; 19-2204 Bqkg⁻¹ aralıklarında değiştiği görülmüştür. Bu çalışmada ortalama soğurulmuş dış gama doz oranı 222±191 nGyh⁻¹ hesaplanarak, toplum için radyolojik etkileri araştırılmış ve Kinta bölgesinin izodoz haritası çizilmiştir[9].

Senthilkumar B. ve arkadaşları tarafından Hindistan’ın Thanjavur bölgesinde 2009 yılında toplanan 10 (on) çeşit toprak örneklerinde, gama ışın spektrometresi kullanılarak karasal gama radyasyonu seviyeleri hesaplanmıştır. Ortamda bulunan killi, hornblent, biyotit gnays ve quartzofeld spaticgnays gibi başkalaşıma uğrayan kayalara ait ²³²Th, ²³⁸U ve ⁴⁰K’in aktivite konsantrasyon değerleri hesaplanmıştır. Ortalama aktivite konsantrasyonu değeri ²³²Th için 42,9±9,4 Bqkg⁻¹, ²³⁸U için 14,7±1,7 Bqkg⁻¹ ve ⁴⁰K için 149,5±3,1 Bqkg⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Soğurulmuş gama doz oranının ortalama değeri ise 43,3±9 nGyh⁻¹ olarak belirlenmiştir. Bölgede hayatını devam ettiren insanlar için maruz kalınan dış gama radyasyon değeri hesaplanmış ve insanlar için bir tehlike oluşturmadığını bulmuşlardır [10].

Vanden Bygaart A.J. ve Protz R. tarafından 1999 yılında Kanada’da toplanan podzolik toprak örneklerinde HpGe dedektörü kullanılarak, ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K ’nin aktivite konsantrasyonları ölçülmüş ve bu radyonüklitlere ait ortalama aktivite değerleri sırasıyla $15,6 \text{ Bqkg}^{-1}$, $12,3 \text{ Bqkg}^{-1}$ ve $415,8 \text{ Bqkg}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Elde ettikleri değerlerin dünya ortalama değerlerinden daha küçük olduğunu bulmuşlardır. Bu çalışma esnasında yapay radyonüklit ^{137}Cs ’nin Akimiski Adasında azami miktarda varlığı ve tepelerden aşağıya indikçe katmanlar arası ^{137}Cs ‘nin arttığını tespit ederek, fırtınalarla aşağılara taşınmış olduğunu ispatlamışlardır [11].

Avwiri G.O. ve arkadaşları 2012 yılında Nijerya’da toplanan toprak örneklerinde gama spektrometresi kullanılarak, yaşam boyu süren kanser tehlike endekslerini hesaplamışlardır. Açılan iki farklı kuyudan 20 m aralıklarla sondaj çalışması ile toprak numunelerini alarak 1. kuyuda 200 m derinliğe ve 2. kuyuda ise 140 m derinliğe ulaşılmışlardır. Toprak numunelerindeki ^{40}K , ^{226}Ra ve ^{232}Th ortalama değerleri; 1. kuyu için sırasıyla; $57,7 \text{ Bqkg}^{-1}$, $13,71 \text{ Bqkg}^{-1}$ ve $10,49 \text{ Bqkg}^{-1}$ ve 2. kuyu için sırasıyla; $59,77 \text{ Bqkg}^{-1}$, $11,49 \text{ Bqkg}^{-1}$ ve $8,83 \text{ Bqkg}^{-1}$ olarak bulmuşlardır. Tehlike indislerini ve aşırı ömür boyu kanser riskini, standart analitik yöntem kullanarak hesaplamışlardır. 1. ve 2. kuyu için aşırı ömür boyu kanser riski sırasıyla, $0,065 \times 10^{-3}$ ve $0,057 \times 10^{-3}$ olarak bulmuşlardır. Elde ettikleri sonuçları Uluslararası kabul edilen ortalama radyoaktivite konsantrasyon değerleri; ^{40}K , ^{232}Th ve ^{226}Ra için sırasıyla; 400 Bqkg^{-1} , 30 Bqkg^{-1} ve 35 Bqkg^{-1} ile kıyaslayarak standart limit sınırların altında olduğu ve bu nedenle bu alandaki toprakların yapı malzemesi olarak kullanılabilceğini ortaya koymuşlardır [12].

Fadol Nooreldin ve arkadaşları tarafından 2015 yılında Sudan’ın Kuzey Kordofan Eyalet’i civarındaki toprak numunelerindeki, doğal radyoaktivite seviyeleri gama ışın spektrometresi kullanarak tespit edilmiştir. ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs ’nin ortalama radyoaktivite konsantrasyonları sırasıyla, 22,83; 25,11; 284,31 ve $0,28 \text{ Bqkg}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Bu çalışmada ayrıca soğurulan doz oranı, 25 ile $29,61 \text{ nGyh}^{-1}$ değerleri arasında, yıllık etkin doz değeri ise 30 ile $41 \mu\text{Svy}^{-1}$ değerleri arasında bulunmuş ve ICRP (Uluslararası Radyolojik Koruma Komisyonu) tarafından verilen 1 mSvy^{-1} limit değerinin altında olduğu belirtilmiştir[13].

Srilatha M. C. ve arkadaşları tarafından 2014 yılında Hindistan'daki Karnataka'nın Ramanagara ve Tumkur ilçelerinin topraklarında, ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K doğal radyonüklidlerinin aktivite konsantrasyonları HPGe dedektörü kullanılarak belirlenmiştir. Toplanan toprak örnekleri, 110 °C 'de bir gece fırında kurutulduktan sonra ölçümler yapılarak ortalama aktivite konsantrasyonları ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K için sırasıyla; $33,78 \pm 1,99$, $77,44 \pm 2,37$ ve $791,58 \pm 5,78$ Bqkg⁻¹ olarak bulunmuştur. Bu radyonüklitlerin ölçülen aktivite konsantrasyonları dünya ortalama değerleri ile karşılaştırıldığında tehlike arz etmediği görülmüştür. Çalışma alanlarındaki toprak numuneleri için ortalama iç ve dış soğurulmuş doz oranları, kapalı alanlar için 154,26 nGyh⁻¹ ve açık alanlar için ise 95,07 nGyh⁻¹ olarak bulunmuştur. Bu değerler UNSCEAR tarafından önerilen dünya ortalamalarından (84 nGyh⁻¹ ve 60 nGyh⁻¹) biraz yüksektir [14].

Garba N. N. ve arkadaşları tarafından 2014 yılında Malezya'nın Terengganu Eyaleti'nde 145 lokasyondan alınan toprak örneklerinin NaI(Tl) spektrometresi ile ölçümleri yapılmıştır. Karasal gama radyasyon dozunun ortalama değeri 150 nGyh⁻¹ olarak bulunmuştur. Gama izodoz haritası çıkartılmış ve yıllık etkin doz 0.92 mSvy⁻¹ olarak hesaplanmıştır [15].

Harb S. ve arkadaşları tarafından 2015 yılında yapılan çalışmada Yemen bölgesinin güneyindeki Aden limanı etrafındaki 36 farklı yerden tarım toprağı örnekleri toplanarak NaI(Tl) dedektörü ile ölçümler yapılmıştır. Beer Ahmed- Beer Fadle bölgesindeki tarım alanındaki radyonüklitlerin ortalama konsantrasyonları ^{226}Ra için; $48,01 \pm 3,84$ Bqkg⁻¹, ^{232}Th için; $58,11 \pm 4,65$ Bqkg⁻¹ ve ^{40}K için; $624,80 \pm 49,98$ Bqkg⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Daar-Saad-Al-Masabian bölgesine ait çiftlik topraklarında ise ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklidlerinin ortalama konsantrasyon değerleri sırasıyla; $70,78 \pm 5,66$, $84,75 \pm 6,78$ ve $771,53 \pm 61,72$ Bqkg⁻¹ olarak bulunmuştur. Her iki bölge için radyum eşdeğer aktivitesi sırasıyla; 179,23; 251,38 Bqkg⁻¹, yıllık etkin doz oranı sırasıyla; 82,98; 114,07 nGyh⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Bulunan değerler Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi (UNSCEAR) raporlarındaki dünya ortalama değerleriyle benzer sonuçlar olduğu görülmüştür [16].

Al-Hamarneh Ibrahim F. ve arkadaşları tarafından 2008 yılında Ürdün'ün kuzeyindeki Yarmouk Nehri'nden güneydeki Wadi Wala'ya kadar uzanan tarım bölgesinden 220 yüzey toprağı toplanarak gama-ışın spektrometresi ile doğal radyonüklitlerin radyoaktivite seviyeleri tespit edilmiştir. ^{226}Ra , ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K 'a ait ortalama aktivite konsantrasyonları sırasıyla; 42,5; 49,9; 26,7 ve 291,1 Bqkg^{-1} olarak belirlenmiştir. Soğurulmuş doz ortalama değeri $51,5 \text{ nGyh}^{-1}$ ve yıllık etkin doz eşdeğeri ortalama $63,2 \mu\text{Svy}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Radium eşdeğer aktivitesi $103,1 \text{ Bqkg}^{-1}$ olarak hesaplanmış ve bu değerlerin fosfat kaynaklı kayalar hariç izin verilen sınırlar içinde olduğu görülmüştür [17].

Brevik E. C. Ve arkadaşları tarafından 2014 yılında ABD'de toprağın geçmiş, şimdi ve gelecekteki insan sağlığına etkilerini araştırarak, insan sağlığının toprağa bağılılığı fikrinin yeni olmadığını M. Ö. 1400 yıllarına kadar İncil'de Musa'nın verimli toprakların halkın refahı için gerekli olduğunu tasvir ettiğini, 400'lü yıllarda Yunan filozof Hipokrat'ın uygun tıbbi değerlendirmelerde ele alınması gereken toprak listesini hazırladığını, yerel toprakların 1700'lerin sonları ve 1800'lerin başında Amerikan çiftçiler tarafından toprak özelliklerinin insan sağlığıyla bir bağlantısı olduğunu göstermişlerdir. Modern dünyada toprağın insan sağlığı için önemli olduğunun farkında olduklarını ve toprağın etkilerini; yiyecek kullanılabilirliği ve kalitesi (gıda güvenliği), çeşitli kimyasallarla insan teması ve çeşitli patojenlerle insan teması olarak ayırmışlardır. Topraklar ve insan sağlığı çalışmaları, birçok besin zincirini ve patojenleri içerdiğini birçok bilimsel çalışmalarda ele alınması gerektiğini, gelecekle ilgili toprağın çevreyi/ekosistemi nasıl etkileyeceğini, toprak ve sağlık arasındaki ilişkiyi etkileyen başka bir değişken olabileceğini ileri sürmüşlerdir[18].

Chiozzi P. ve arkadaşları tarafından 1999 yılında İtalya'da toprak ve çeşitli kaya tipi (obsidyen, andezit, riyalit ve bozalt gibi) örneklerinde gama ışın spektroskopisi kullanılarak ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K radyoaktivite konsantrasyonları NaI(Tl) ve HpGe dedektörleri ile ölçülmüştür. Bu değerler dedektörlerin sırasıyla; ^{238}U toprak için; $0,027 - 0,065 \text{ Bqg}^{-1}$, kaya için; $0,046 - 0,194 \text{ Bqg}^{-1}$, ^{232}Th toprak için; $0,035 - 0,052 \text{ Bqg}^{-1}$ kaya için; $0,048 - 0,142 \text{ Bqg}^{-1}$ ve ^{40}K toprak için; $0,857 - 0,847 \text{ Bqg}^{-1}$ kaya için; $0,984$

- 1,305 Bqg⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Ulusal İyonlaştırıcı Radyasyon Metroloji Enstitüsü'nden (ENEA, Roma) alınan sonuçlarda her iki gama spektrometresinden elde ettikleri değerleri karşılaştırdıklarında değerlerin birbirine yakın çıktığı gözlemlenmiştir[19].

Ajayi I. R. tarafından Nijerya' da 2008 yılında Bukuru-Jos bölgesindeki kalay madeni sahasını çevreleyen yüzey topraklarında doğal gama ışını yayan radyonüklitlere (²³⁸U, ²³²Th ve ⁴⁰K) bağlı olarak insanların maruz kaldığı eşdeğer dozu tespit etmek için bu çalışma yapılmıştır. NaI(Tl) sintilasyon dedektörünü kullanılarak her bir radyonüklitin konsantrasyonu tek tek incelenmiştir. Bu değerleri, ⁴⁰K için; 35,4±17,6 Bqkg⁻¹, ²³⁸U için; 776,0±158,0 Bqkg⁻¹ ve ²³²Th için; 2,72±0,58 kBqkg⁻¹ bulunmuştur. Topraktan 1 m yükseklikte hesaplanan doğal radyoaktiviteye bağlı ortalama soğurulmuş doz oranı 2,16 µGyh⁻¹ ve eşdeğer doz oranı ise 3,0 mSvy⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak elde edilen bu değerler, dünya ortalama eş değer doz değeri olan 0,41 mSvy⁻¹'nin çok üstünde olmasına rağmen radyasyon işçilerinin yıllık radyasyon limiti olan 20 mSvy⁻¹'nin altında olduğundan işyerindeki işçiler için bir sağlık riski oluşturmadığını görmüşlerdir[20].

Shenber M. A. tarafından 1996 yılında Libya'nın Trablusgarp Bölgesi yüzey topraklarında radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonları, gama ışın spektrometresi ile ölçülmüştür. Radyonüklitlerin ortalama aktivite konsantrasyonları ²³⁸U, ²³²Th ve ⁴⁰K için sırasıyla, 10,5; 9,5 ve 270 Bqkg⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Yüzeyin 1 m üstündeki gama ışını radyasyonundan kaynaklanan havadaki ortalama karasal soğurulmuş doz oranı, 23 nGyh⁻¹ olarak bulunmuştur[21].

Mehra Rohit ve arkadaşları tarafından Hindistan'ın Punjab eyaletindeki Mansa ve Faridkot İlçelerinden toplanan toprak örneklerinde, HPGe dedektörü kullanılarak, doğal radyonüklitlerin aktivite konsantrasyon aralıkları ²²⁶Ra için; 21,42 – 40,23 Bqkg⁻¹, ²³²Th için; 61,02–142,34 Bqkg⁻¹ ve ⁴⁰K için; 227,11-357,13 Bqkg⁻¹ olarak belirlenmiştir. ²²⁶Ra, ²³²Th ve ⁴⁰K için ortalama aktivite konsantrasyonları ise sırasıyla; 27,17; 95,22 ve 312,76 Bqkg⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Toplam soğurulmuş doz oranının ortalama değeri

84,80 nGyh⁻¹ olarak bulunmuştur. Bu çalışmada, açık ve kapalı alanlarda yıllık etkin doz sırasıyla, 0,417 mSv ve 0,10 mSv olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar, Avrupa Komisyonunun 1999 yılında yayınladığı rapora göre verilen limit değerlerden düşük çıkmış ve hiçbir radyolojik risk oluşturmadığı için bu bölgelerden gelen topraklar inşaat malzemesi olarak kullanılabilir olduğu sonucuna varılmıştır[22].

1.1.1.2. Türkiye’de Bu Alanda Yapılan Çalışmalar

Gümüş Hasan tarafından 2011 yılında Samsun ilinde toplanan toprak örneklerinde ve şişelenmiş içme sularında NaI(Tl) ve HPGe dedektörleri kullanılarak ölçümler yapılmıştır. Aktivite konsantrasyonlarının ortalama değerler ²³⁸U için; 18,64±1.96 Bqkg⁻¹, ²³²Th için; 22,06±4,18 Bqkg⁻¹ ve ⁴⁰K için; 525,07±22,81 Bqkg⁻¹ olarak bulunurken, yapay radyonüklid olan ¹³⁷Cs için ise ortalama değer 14,85±1,32 olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada ayrıca soğurulmuş doz hızı 45,28±4,43 nGyh⁻¹, etkin doz hızı 56±5,4 µSvy⁻¹ olarak hesaplanmıştır. İçme suyu örneklerinde ise ²²⁶Ra, ²³²Th ve ⁴⁰K doğal radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonları sırasıyla 0,52-1,21 Bql⁻¹, 0,23-1,87 Bql⁻¹ ve 1,54-2,57 Bql⁻¹ aralığında bulunmuştur[23].

Kam Erol ve Bozkurt Ahmet tarafından 2006 yılında Kastamonu ili çevresinde toplanan toprak örnekleri incelenmiştir. Ölçümler sonucunda doğal radyonüklitler ²³⁸U aktivite konsantrasyonu 32,93 Bqkg⁻¹, ²³²Th aktivite konsantrasyonu 27,17 Bqkg⁻¹, ⁴⁰K aktivite konsantrasyonu 431,43 Bqkg⁻¹ ve fizyon ürünü olan ¹³⁷Cs aktivite konsantrasyonu ise 8,02 Bqkg⁻¹ olarak ölçülmüş ve incelenen ölçüm sonuçlarında doğal radyasyon seviyesinin UNSCEAR (2000) raporunda belirtilen limit sınırları içerisinde olduğu gözlemlenmiştir[24].

Bozkurt Ahmet ve arkadaşları tarafından Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nin Şanlıurfa ilinde toplanan 45 adet toprak ve 53 adet içme suyu örneklerindeki ortalama radyoaktivite değerleri gama ışın spektrometresi ve alfa-beta sayım yöntemleri

kullanılarak hesaplanmıştır. Ortalama aktivite değerleri ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K doğal radyonüklitleri için sırasıyla; 20,80; 24,95 Bqkg^{-1} ve 298,6 Bqkg^{-1} ve fisyon ürünü olan ^{137}Cs için bu değer 9,08 Bqkg^{-1} olarak belirlemişlerdir. Doğal radyoaktivite kaynaklarının neden olduğu etkin doz ise 46,9 Svy^{-1} olarak hesaplamışlardır. Ortalama soğurulmuş doz miktarı 60,9 nGyh^{-1} ve 53 içme suyundaki ölçümlerde gross-alfa ve beta aktiviteleri diğer şehirlerimiz için mevcut verilerle kıyaslandığında daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir[25].

Turhan Ş. ve ekibi tarafından 2011 yılında Türkiye'nin yedi coğrafi bölgesinden toplam 1031 adet yüzeysel toprak örneği toplanarak ve bu örneklerdeki doğal ve yapay radyonüklitlerin dağılımını belirlemek için ölçümler yapılmıştır. Bu ölçüm için yaşam alanı olmayan yerlerden, 0-5 cm derinlikten yaklaşık olarak 1,5-2 kg ağırlığında toprak örnekleri toplanmıştır. Yüksek çözünürlüklü gama ışın spektrometresi ile HPGe dedektörü kullanılarak ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs 'nin ortalama aktivite konsantrasyon değerleri sırasıyla; $28,6 \pm 0,7 \text{ Bqkg}^{-1}$, $33,0 \pm 0,7 \text{ Bqkg}^{-1}$, $448,5 \pm 7,3 \text{ Bqkg}^{-1}$ ve $13,4 \pm 0,8 \text{ Bqkg}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Ölçümlerde ^{137}Cs aktivite konsantrasyon değerinin mevcut olmasının nedeni Çernobil Kazası olarak gösterilmiştir. Bu çalışmada yıllık etkin doz oranı $0,064 \text{ mSvy}^{-1}$ ve soğurulmuş gama doz oranı ise $51,9 \text{ nGyh}^{-1}$ olarak hesaplamışlardır[26].

Taşkın H. ve arkadaşları tarafından 2008 yılında Türkiye'nin Kırklareli şehrinde yüz yetmiş yedi lokasyon GPS (yer bulma sistemi) ile belirlenerek 230 toprak örneği toplanarak kozmik ve karasal gama doz oranları incelenmiştir. Dış gama doz oranları, Eberline akıllı taşınabilir cihaz (ESP-2) ile belirlemişlerdir. Dış ortalama gama doz oranı $118 \pm 34 \text{ nGyh}^{-1}$ ve yıllık etkin gama dozu $144 \mu\text{Sv}$ ve yaşam boyu fadal kanser riski $5,0 \times 10^{-4}$ olarak hesaplamıştır. Gama spektroskopisi ile analizi yapılan toprak örneklerinde ^{226}Ra , ^{238}U , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları sırasıyla, $37 \pm 18 \text{ Bqkg}^{-1}$; $28 \pm 13 \text{ Bqkg}^{-1}$; $40 \pm 18 \text{ Bqkg}^{-1}$; $8 \pm 5 \text{ Bqkg}^{-1}$ ve $667 \pm 281 \text{ Bqkg}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan ortalama toprak radyonüklid konsantrasyonlarının bazılarının dünya ortalamasının ve ılık etkin gama dozları ve yaşam boyu kanser riskinin dünya ortalamasının üzerinde olduğu bulunmuştur.[27].

Çevik U. ve arkadaşları tarafından 2006 yılında Ankara'ya bağlı Çayırhan ilçesindeki linyit kömürünün çevreye olan etkisini tespit etmek için, enerji santralindeki kül ve santral sahasındaki kül ile karışık toprak numunelerini araştırılmıştır. Karşılaştırma amacıyla tesisin 4 km güneyinden toprakla karışan küller ve cüruflardan (cüruf: yüzeyde toplanan hafif metaller) toprak örnekleri toplamışlardır. Ölçümlerde yüksek saflıkta koaksiyel HPGe tabanlı gama spektrometre sistemi kullanılmış ve doğal radyonüklidler ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları sırasıyla, 57,82; 30,45 ve $322,21 \text{ Bqkg}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada ortalama radyum eşdeğer aktivitesi $123,9 \text{ Bqkg}^{-1}$, havada soğurulmuş doz oranı $58,90 \text{ nGyh}^{-1}$ ve yıllık etkin doz $71,99 \mu\text{Svy}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır[28].

Değerlier M. ve arkadaşları tarafından 2007 yılında Türkiye'nin güneyinde yer alan Adana çevresindeki yüzey topraklarındaki doğal radyonüklidlerin konsantrasyonları, bir HPGe dedektörü ile gama ışını spektrometresi kullanılarak belirlenmiştir. Örneklerin alındığı lokasyonlardan yerden 1 m yukarıda havadaki açık hava gama doz ölçümleri ise taşınabilir bir gama sintilasyon dedektörü kullanılarak tespit edilmiştir. ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K 'a ait ortalama aktivite konsantrasyonları sırasıyla, 17,6; 21,1 ve $297,5 \text{ Bqkg}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Örnek alınan istasyonlardaki ortalama açık hava gama doz oranı 67 nGyh^{-1} ve yıllık etkin doz ise $82 \mu\text{Sv}$ olarak belirlenmiştir[29].

Kaya Selim ve arkadaşları tarafından 2014 yılında Türkiye'nin Gümüşhane ili çevresinde karayosunu ve toprak örneklerinde; 1332,5 keV'de 1,9 keV rezülasyona ve %15 lik görelî verime sahip olan Canberra GC 1519 model yüksek saflıkta coaxial HPGe dedektörü kullanılarak incelenmiştir. Toprak ve karayosunu örneklerinde aktivite konsantrasyonları ^{226}Ra için; 17,31 ile $141,62 \text{ Bqkg}^{-1}$, ^{232}Th için; 9,70 ile $35,34 \text{ Bqkg}^{-1}$ ve ^{40}K için; 236,83 ile 1039 Bqkg^{-1} arasında bulunmuştur. Fisyon ürünü olan ^{137}Cs aktivite konsantrasyon aralığı ise toprak numuneleri için; 7,63 ile $39,44 \text{ Bqkg}^{-1}$ arasında ve karayosunu numuneleri için; 12,45 ile $196,89 \text{ Bqkg}^{-1}$ arasında bulunmuştur. Bu çalışmada, toprak ve karayosunu Radyum eşdeğer aktivite değerleri ise sırasıyla, 96 ve 157 Bqkg^{-1} olarak hesaplanmıştır[30].

Kumru M. N. ve arkadaşları tarafından 2003 yılında X ışın spektrometresi kullanılarak Türkiye'nin Aydın havzasında yaklaşık olarak 4 km aralıklarla toplanan toprak örneklerinin elemental analizi yapılmıştır ve doğal radyasyon ürünü olan ^{40}K , ^{238}U , ^{232}Th ve ^{226}Ra için ortalama değerleri sırasıyla $25,9 \text{ Bqkg}^{-1}$; $0,135 \text{ Bqkg}^{-1}$; $0,042 \text{ Bqkg}^{-1}$ ve $0,16 \text{ Bqkg}^{-1}$ olarak tespit edilmiştir[31].

Kurnaz A. ve arkadaşları tarafından 2011 yılında Türkiye'nin Trabzon ilinin 18 ilçesinden alınan 222 adet toprak örneğinde HPGe dedektörü kullanarak doğal radyonüklitlerin (^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K) ve yapay radyonüklid olan ^{137}Cs 'in aktivite konsantrasyonları ve soğurulmuş gama doz oranı tespit edilmiştir. Toprak numunelerindeki ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs ortalama aktivite konsantrasyonları sırasıyla, 41, 35, 437 ve 21 Bqkg^{-1} olarak bulunmuştur. Havada soğurulmuş gama doz oranı 59 nGyh^{-1} ve karasal gama radyasyonundan kaynaklanan yıllık etkin doz $72 \mu\text{Svy}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada ayrıca, aynı koordinatlarda 222 lokasyonda taşınabilir NaI dedektörü kullanılarak açık havada yıllık etkin doz oranının $66 \mu\text{Svy}^{-1}$ olduğu bulunmuştur. Sonuçlar kullanılarak Trabzon ilinin radyolojik haritası oluşturulmuştur[32].

Kapdan Enis ve arkadaşları 2011 yılında Türkiye'nin kuzeybatısında yer alan önemli sanayi kentlerinden biri olan Adapazarı'nda çevresel radyasyon kaynaklarına bağlı sağlık risklerini belirlemek için araştırma yapmışlardır. Çünkü insan vücudu hem atmosferde meydana gelen yüksek enerjili kozmik ışınlarla hem de yer kabuğundan kaynaklanan radyoaktif nüklitler tarafından içten ve dıştan iyonlaştırıcı radyasyonlara maruz kalmaktadır. Bu çalışmada açık ve kapalı ortamlarda ortalama karasal radyasyon dozu sırasıyla, $0,08$ ve $0,35 \text{ mSv}$ olarak belirlenmiştir. Doğrudan iyonize eden foton bileşenleri ve nötron bileşenleri için yıllık ortalama kozmik radyasyon dozları sırasıyla, $0,08$ ve $0,05 \text{ mSv}$ olarak bulmuşlar. Bölgede yaşayan insanların Toron ve Radon gazının varlığı nedeniyle solunum yoluyla maruz kaldıkları yıllık ortalama dozlar sırasıyla, $1,42$ ve $0,19 \text{ mSv}$ olarak hesaplanmıştır. Doğal radyasyon kaynakları nedeniyle beslenme yoluyla alınan yıllık ortalama etkin doz oranı $2,35 \text{ mSv}$ olarak belirlenmiştir. İyonlaştırıcı radyasyona bağlı olarak ömür boyu kanser riski ortalama

yaşam ömrü 70 yıl olan Adapazarı şehrinde yaşayan insanlar için, $0,9 \times 10^{-2}$ olarak hesaplanmıştır[33].

Baykara Oktay ve Doğru Mahmut yaptıkları çalışmada, Türkiye'nin iki büyük fay hattı üzerinden toplanan 72 adet toprak örneğinde ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklitlerinin aktivite konsantrasyonlarını belirlemiştir. Kuzey ve Doğu Anadolu aktif fay hatlarında topraktaki doğal radyonüklitlerinin oluşturduğu karasal gama radyasyon dozunu, NaI(Tl) gama spektroskopik sistemi ve doz hızı ölçer kullanılarak bulmuşlardır. ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklitlerinin aktivite konsantrasyonuna ait ortalama değerleri Kuzey Anadolu Fay Hattı için sırasıyla; $88,80 \text{ Bqkg}^{-1}$, $67,72 \text{ Bqkg}^{-1}$ ve $626,01 \text{ Bqkg}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Doğu Anadolu Fay Hattı için aktivite konsantrasyonu ortalama değerleri ise ^{238}U için; $77,78 \text{ Bqkg}^{-1}$, ^{232}Th için; $62,52 \text{ Bqkg}^{-1}$ ve ^{40}K için; $572,43 \text{ Bqkg}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. İki fay hattındaki bulunan ortalama aktiviteler karşılaştırıldığında; kuzey fay hattındaki toprak örneklerinde ortalama aktivite değerleri, doğudaki ortalama aktivite değerlerine göre daha yüksek çıkmıştır. Bu çalışmada hesaplanan gama doz hızları Kuzey ve Doğu Anadolu Fay hatları için sırasıyla; 107 ve 100 nGyh^{-1} olarak belirlenen bu değerlerin dünya ortalaması 57 nGyh^{-1} den yüksek olduğu gözlemlenmiştir[34].

1.1.2. Dünya'da ve Türkiye' de Bitki Örneklerindeki Doğal Radyoaktivitenin Belirlenmesine Yönelik Çalışmalar

Karunakara N. ve arkadaşları tarafından 2003 yılında yapılan çalışmada çeşitli bitki türlerinden yaprak, gövde ve kabuk örnekleri, 220 MW'lık iki nükleer güç reaktörünün devreye girdiği ve diğer ikisinin yapım aşamasında olduğu Hindistan'ın batı kıyısındaki Kaiga tropikal ormanlarından toplanmıştır. Bu örneklerdeki ^7Be , ^{226}Ra ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının belirlenmesi için analizleri yapılmıştır. Bitkilerdeki ^{226}Ra ve ^{40}K aktiviteleri sırasıyla BDL- 13,2 ve 12,0- $797,3 \text{ Bqkg}^{-1}$ aralığında değiştiği bulunmuştur. Bitkilerin yapraklarında $72,5 - 1060,8 \text{ Bqkg}^{-1}$ arasında değişen önemli bir miktarda ^7Be

aktivitesinin olduğu görülmüştür. Bitkilerin gövdesinde ve kabuğunda ^{226}Ra ve ^{40}K 'ın aktivite konsantrasyon seviyelerinin yapraklardaki konsantrasyon seviyesinden daha yüksek olduğu bulunmuştur [35].

Pulhani V. A. ve arkadaşları tarafından 2005 yılında Hindistan'da tarım alanlarından toplanan buğday örneklerinde HpGe dedektörlü gama spektrometresi kullanılarak doğal radyonüklitler ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K 'a ait aktivite konsantrasyon aralıkları sırasıyla; 0,2'den daha az, 0,1-0,2 ve 116-130 Bqkg⁻¹ olarak hesaplanmıştır[36].

Asaduzzman Kh. ve arkadaşları tarafından Malezya Yarımadasında 2013 yılında pirinç bitkisinin doğal radyoaktivite düzeylerinin belirlenmesi için araştırma yapılmıştır. Malezya'da pirinç insanların ana yemeği olup yaygın olarak tüketilir. Bu nedenle, pirinç tüketimi ile oluşabilecek radyasyon tehlikelerini değerlendirmek için çalışmalar yapmışlardır. Pirinç tarımı yapılan alanlardaki toprak numunelerindeki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklitlerinin aktivite konsantrasyonları sırasıyla, $7,2\pm 2,0$ ile $9,1\pm 1,8$ Bqkg⁻¹, $11,6\pm 1,9$ ile $20,6\pm 3,1$ Bqkg⁻¹ ve $76,5\pm 5,7$ ile $114,6\pm 6,6$ Bqkg⁻¹ arasında değiştiğini tespit etmişlerdir. Pirinç örneklerindeki doğal radyonüklitlerin konsantrasyon değerleri ^{226}Ra için; $1,5\pm 0,4$ ile $2,8\pm 0,7$ Bqkg⁻¹, ^{232}Th için; $3,6\pm 1,4$ ile $7,5\pm 2,7$ Bqkg⁻¹ ve ^{40}K için; $59,9\pm 6,0$ ile $92,2\pm 5,4$ Bqkg⁻¹ arasında değiştiği bulunmuştur. Pirinç tüketimi yoluyla radyonüklitlerin vücuda alınmasıyla insanların maruz kaldıkları tüm çalışma alanlarında hesaplanan toplam etkin doz $153,4\pm 33,2$ ile $294,3\pm 49,8$ μSvy^{-1} aralığında değiştiği için UNSCEAR (2000) tarafından belirtilen dünya ortalama değeri olan 290 μSvy^{-1} ile uygun olduğunu hesaplamıştır. Pirinç tüketimi yoluyla insanların maruz kaldıkları yaşam boyu kanser riskinin ortalama değeri, radyolojik risk olarak kabul edilen 10^{-3} sınırının altında bulmuşlardır[37].

Shtangeeva I. ve arkadaşları 2005 yılında Rusya'da ^{232}Th biyokimyası ile ilgili verilerin kısıtlı olmasından ve yüksek bitkiler üzerindeki radyonüklitin toksik etkileri az bilindiğinden, buğday fidelerinin topraktan ^{232}Th alımını sera deneyleri yapılarak ölçülmüştür. Buğday tohumlarının toryum varlığında 6 gün boyunca çimlenmesi

sonucunda, fidelerin tüm kısımlarında metal birikmesi gözlenmiştir. Toryum bakımından zengin olan fideler, yedi gün içinde büyümüş ve bu süreçte fidelerin kök ve yapraklarındaki toryum konsantrasyonunun önemli ölçüde azaldığı ancak tohumlarda toryum içeriği değerinin değişmediği görülmüştür. Toprağa toryum eklenmesi sonucunda bitkilerin kök ve tohumlarında ^{232}Th artışı gözlenmesine rağmen bitkinin yapraklarında Toryum konsantrasyonunun değişmediğini gözlemlemiştirler[38].

Mitchell N. ve arkadaşları 2012 yılında ^{238}U radyonüklit serisi radyonüklitlerin, toprak ve bu toprak üzerinde yetişen bitkiler üzerindeki etkisini incelemiştirler. ^{238}U serisi radyonüklitler, eski uranyum madenciliği ve öğütme tesislerinin iyileştirilmesinden, katı radyoaktif atığın depolanmasına kadar değişen çeşitli çevresel bağlamlarda önemlidir. Bu çalışmada, toprakta ve bitkilerdeki ^{238}U 'in bozunma zincirindeki radyonüklitlerin davranışı ile ilgili bilgiler gözden geçirilmiştir. Gözden geçirmenin amacı bu bozunum zinciriyle ilgili çevresel etki değerlendirme çalışmalarını yürüten araştırmacılara kapsamlı bir bilgi kaynağı sağlamaktır. Uranyum, toryum, radyum, kurşun ve polonyuma uygun dağılım katsayılarının farklı aralıktaki ve çevresel koşullardaki değerleri ile ilgili sonuçlar çıkarılmıştır. Benzer şekilde farklı bitki ve toprak türleri için bu elementlerin bitki:toprak konsantrasyon oranları çıkarılarak bu elementlerin hem kök alımı hem de yaprakta dağılımı göz önünde bulundurulmuştur[39].

Topcuoğlu S. ve arkadaşları tarafından 2003 yılında Batı Anadolu'daki Emendere termal kaynak alanından alınan lahanalar örneklerinde gama spektrometresi kullanılarak doğal radyonüklitler ^{232}Th ve ^{40}K ortalama aktivite konsantrasyon değerleri sırasıyla; $45,5 \pm 5,2$ ve $766,0 \pm 40$ Bqkg⁻¹ olarak hesaplanmıştır[40].

Abu Shayeb Mohammad ve arkadaşları tarafından 2018 yılında Suudi Arabistan'da toplanan toprak ve hurma örneklerinde yüksek çözünürlüklü HpGe gama ışın spektrometresi kullanılarak ölçümler yapılmıştır. Doğal radyonüklitlerin ortalama aktivite konsantrasyon değerleri toprak örneklerinde ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K için sırasıyla; $12,8 \pm 2,2$; $10,2 \pm 2,1$; $0,28 \pm 0,10$ ve 329 ± 87 Bqkg⁻¹, hurma örneklerinde ^{226}Ra ,

^{232}Th ve ^{40}K için sırasıyla; $5,6\pm 1,2$; $2,8\pm 0,4$ ve 181 ± 17 Bqkg^{-1} olarak hesaplanmıştır[41].

Kılıç Önder ve arkadaşları tarafından 2009 yılında Türkiye’de üretilen 10 farklı market çayı örneklerinde yüksek çözünürlüklü gama ışın spektrometresi kullanılarak yapılan ölçümlerde, doğal ve yapay radyonüklitlerin ortalama aktivite konsantrasyonu değerlerinin ^{232}Th için $2,7\pm 1,0$ Bqkg^{-1} ^{238}U için $0,9\pm 0,4$ Bqkg^{-1} ^{40}K için 501 ± 42 Bqkg^{-1} ve ^{137}Cs için $45,04\pm 2,6$ Bqkg^{-1} olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada çay tüketiminin bir sonucu olarak ^{137}Cs ’den kaynaklanan yıllık ortalama etkin dozu, yetişkin bir kişi için 385 nSv olarak bulunmuş ve dünya ortalama değeri 2,7 mSv’den düşük olduğu belirlenmiştir dolayısıyla halk sağlığı için tehlike oluşturmadığı belirtilmiştir[42].

Keser Recep ve arkadaşları tarafından 2011 yılında Rize’de toplanan lahanada örneklerinde yüksek çözünürlüklü HPGe gama ışın spektrometresi kullanılarak yapılan ölçümlerde radyonüklitlerin ortalama konsantrasyon değerleri ^{232}Th ve ^{40}K için sırasıyla; $5,9\pm 1,7$ ve $489,0\pm 11,2$ Bqkg^{-1} olarak hesaplanmıştır[43].

Canbazoğlu Cumhur ve arkadaşı tarafından 2013 yılında Elazığ’da gama spektrometresi kullanılarak yapılan çalışmada Elazığ yöresinde yetişen sebze ve meyvelerde ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları hesaplanmıştır. Sebzelerdeki aktivite konsantrasyonları ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K için sırasıyla; $0,64\pm 0,26$; $0,65\pm 0,14$ ve $13,98\pm 1,22$ Bqkg^{-1} olarak hesaplanmıştır. Meyvelerdeki ortalama aktivite konsantrasyonları ise yukarıda belirtilen radyonüklitler için sırasıyla; $1,52\pm 0,34$; $0,98\pm 0,23$ ve $18,66\pm 1,13$ Bqkg^{-1} olarak belirlenmiştir[44].

Gorica Djelic ve arkadaşları tarafından 2016 yılında Sırbistan’da toplanan tıbbi bitki örneklerinde yüksek çözünürlüklü HPGe dedektörü kullanılarak yapılan ölçümlerde doğal radyonüklitler ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K ortalama aktivite konsantrasyon değerleri sırasıyla; 14,6; 9,87 ve 647 Bqkg^{-1} olarak hesaplanmıştır[45].

Chakraborty Shyamal Ranjon ve arkadaşları tarafından 2013 yılında Bangladeş'te toplanan çimen örneklerinde yüksek çözünürlüklü HPGe gama ışın spektrometresi kullanılarak ortalama aktivite konsntrasyon değerleri ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K için sırasıyla; $1,26\pm 0,11$; $3,66\pm 0,31$ ve $134,95\pm 3,68$ Bqkg⁻¹ olarak hesaplanmıştır[46].

1.2. Radyasyon ve Radyoaktivite

Radyasyon, doğal ya da yapay radyoaktif çekirdeklerin kararlı yapıya geçebilmek için yayınladıkları hızlı parçacıklar ve elektromagnetik dalga şeklinde taşınan fazla enerji olarak tanımlanabilir. Radyasyon, parçacık radyasyonu ve dalga tipi radyasyon olmak üzere iki kısımda incelenebilir. Çok hızlı belli bir kütle ve enerjiye sahip parçacıklara parçacık radyasyonu ve kütsüz ancak belli bir enerjiye sahip radyasyonlara ise dalga tipi radyasyon denir. Atom çekirdeğinin kendiliğinden kararlı hale geçişine radyoaktivite ve radyasyon yayan atom çekirdeğine radyonüklid denir [47].

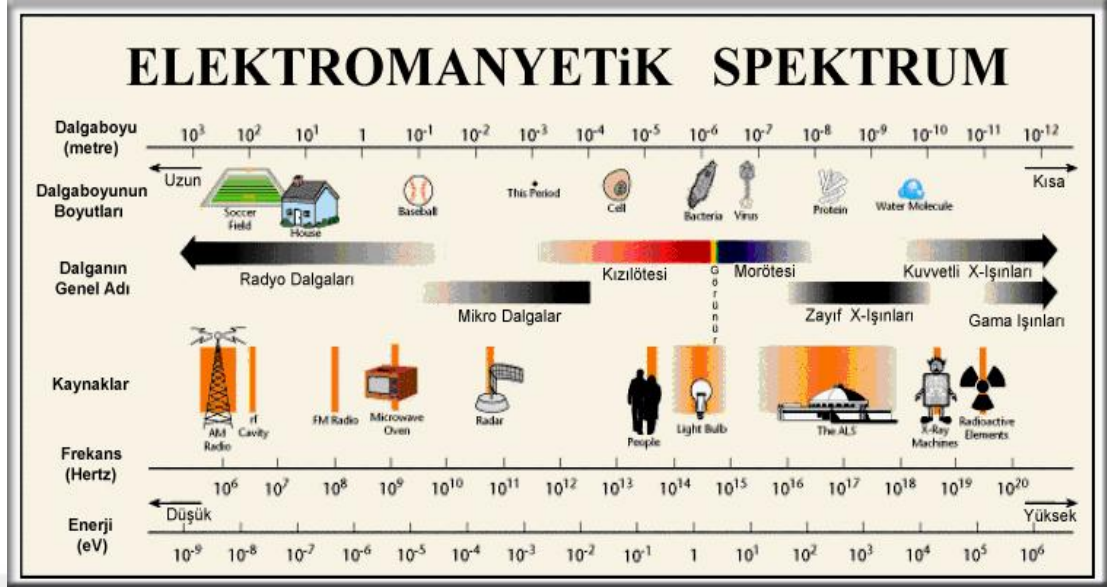
1.2.1. Radyasyon Çeşitleri

Tablo 1.1'de görüldüğü gibi radyasyonu iyonlaştırıcı radyasyon ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olarak iki ana başlık altında toplayabiliriz. Tablo 1.1'de radyasyon sınıflandırılması yapılmıştır.

Tablo 1.1: Radyasyon Çeşitleri

RADYASYON		
İyonlaştırıcı Radyasyon		İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon
Parçacık Tipi	Dalga tipi	Dalga Tipi
Alfa parçacıkları	Gama ışınları	Radyo dalgaları
Beta parçacıkları	X-ışınları	Mikrodalgalar
Nötron parçacıkları		Kızılötesi ışık
		Görülebilir ışık
		Mor ötesi ışık

İyonlaştırıcı radyasyondan parçacık tipi radyasyon olan alfa parçacıkları, beta parçacıkları ve nötronlar belli bir kütlesi ve enerjisi olan hızlı hareket eden radyasyon formudur. Kütlesiz ama enerjiye sahip dalga tipi radyasyonlar ise ışık hızında hareket ederler (ışık hızı= $3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$). Bu radyasyon tipi elektrik ve manyetik enerji dalgaları gibi titreşim yaparak ilerler[48]. Şekil 1.1' de elektromanyetik radyasyonun enerji spektrumu ve dalga boyları gösterilmiştir.



Şekil 1.1: Elektromanyetik Radyasyonun Enerji Spektrumu [47].

1.2.1.1. İyonlaştırıcı Radyasyon

Etkileştiği atomların elektronlarını koparmaya yetecek kadar enerjiye sahip, parçacık veya elektromagnetik dalga şeklindeki radyasyondur. İyonlaştırıcı radyasyon etkileştiği madde içerisindeki atom veya moleküllerden elektron kopararak iyonlaşmalarına neden olur. İyonlaştırıcı radyasyonun tüm canlılar ve maddeler üzerindeki etkisi uzun süreli ve olumsuzdur. Canlı hücrelere etkisi ise doğrudan ya da dolaylı olabilir. Yüksek enerjili X-ışınları, gama ışınlar radyoaktif bozunma sonucu yayımlanan alfa, beta ve nötronlar iyonlaştırıcı radyasyon çeşitleridir[47].

Alfa (α) radyasyonu; kararsız atom çekirdeklerinin kararlı hale geçerken pozitif yüklü helyum çekirdekleri (2 proton, 2 nötron) dır. Diğer radyasyon çeşitlerine göre daha büyük elektrik yüklerine sahip olduklarından kolayca durdurulabilir ve sadece havada 1-2 cm'lik menzile sahiptirler. Şekil 1.2'de gösterildiği gibi alfa parçacıklarını durdurmak için bir yaprak kağıt, vücudumuz ve her çeşit kıyafet yeterlidir. Solunum ve sindirim yoluyla vücuda alındığında akciğere, mide dokularına, kemik yüzeylerine etkisi büyük ve zararlı olabilir[47].

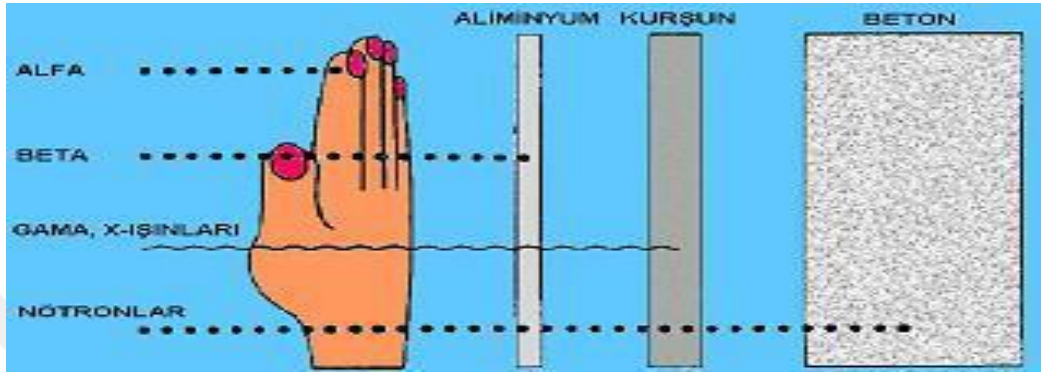
Beta (β) radyasyonu; alfa ışınları gibi atom çekirdeklerinin bozunması ile oluşan negatif veya pozitif yüklü parçacıklardır. β parçacıklarının pozitif yüklü olanına pozitron (β^+), negatif yüklü olanına da elektron (β^-) denir. Alfa parçacıklarına göre daha hafif olduklarından madde içerisine giricilikleri daha fazla, etkili ve hızlıdır. Yüklü oldukları için manyetik alanda saparlar. Alfa parçacığına göre β parçacığını durdurmak daha zordur. Şekil 1.2'de gösterildiği gibi herhangi metal tabaka, cam veya plastik kullanılarak durdurulabilir. Cildin üst tabakasında durdurulabilir ama bu sırada yüksek enerjili olan β ışınımına maruz kalan deride yanıklar oluşabilir. Solunum ve sindirim yoluyla vücuda alındığında daha etkili ve zararlıdır[47].

Gama radyasyonu; çekirdekte yayınlanan, ışık hızıyla ilerleyen elektromanyetik enerji veya yüksek enerjili fotondur. Atomun çekirdeğinden alfa veya beta parçacığı yayınladıktan sonra ürün çekirdek uyarılmış duruma geçer ve çekirdekte oluşan fazla enerjisini taban durumuna geçerken gama ışını olarak yayınlar. Yüksüzdürler, elektrik ve manyetik alanda sapmazlar. Birkaç cm kalınlığındaki kurşun tuğlalarla sadece belli bir kısmı durdurulabilir. Bu yüzden, çelik ve yoğun kurşunla zırhlama yapılmalıdır (Şekil 1.2). Vücuda alındığında iç organlara yüksek miktarda radyasyon dozu verir[47].

X- ışınları; yüksek enerjili elektron demetinin çok hızlı yavaşlatılması sonucu ile üretilen yüksek enerjili fotonlardır. Yüksek enerjiye sahip olduklarından giricilikleri gama radyasyonu gibi hızlı ve çok etkilidir. Bu yüzden zırhlamanın olmadığı durumlarda iç organlarda ciddi derecede radyasyon dozu verebilir[47].

Nötronlar; nükleer fisyon (nükleer bölünme, parçalanma) ve nükleer füzyon (atomik birleşme) sırasında aktif atom çekirdeği veya kararsız atom çekirdeğinden yayınlanırlar. Genellikle yapay olarak üretilen nötronlar elektriksel olarak yüksüz olduklarından hızlı ve girici olabilirler. Madde veya doku ile etkileşimleri sırasında gama ve beta yayınlanmasına neden olurlar. Bu yüzden ikinci bir ışınım olmaması veya azaltılması için ciddi bir zırhlamaya gerek duyulmaktadır[47].

Kozmik Radyasyon; uzayın derinliklerinden gelen alfa ve beta parçacıkları, elektronlar ve yüksek enerjili parçacıklar dahil pek çok farklı radyasyon tiplerinin karışımıdır. Bu radyasyon atmosfer ile yoğun etkileşim halindedir. Sonuçta yeryüzünde müonlara, nötronlara, elektronlara, pozitronlara ve fotonlara dönüşür[47].



Şekil 1.2 : İyonlaştırıcı Radyasyon Türlerinin Soğurulması [47].

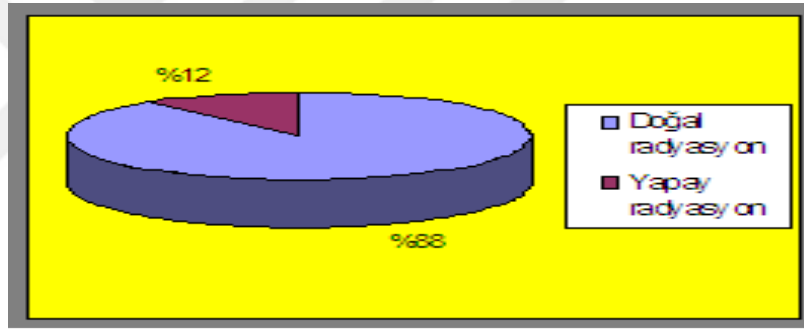
1.2.1.2. İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon

İyonlaştırıcı olmayan radyasyon etkileştiği maddede molekül ve atomların dögüsel, titreşimsel veya elektronik değeriğini değıştirme yeteneğine sahiptir. Etkileştiği maddedeki atomların yörüngesinde meydana gelen değışim organizma üzerinde hasara neden olmaz[48]. 10 nm ve üzeri dalga boylu elektromanyetik radyasyondur. Şekil 1.1’de gösterildiği gibi; morötesi ışık (ultraviyole ışık, $\lambda=390-10$ nm), radyo dalgaları, mikrodalgalar, görülebilir ışığın dalga boyu 770-390 nm arasındadır[48]. Diğer yandan cep telefonlarından yayılan elektromanyetik dalgalar, radar dalgaları, bilgisayar ve televizyonların çalıştığı elektromanyetik dalgalar ve benzerlerini içermektedir[49].

1.2.2. Radyasyon Kaynakları

İnsanoğlu ve tüm canlılar varoluşlarından itibaren devamlı ve kaçınılmaz olarak radyasyona maruz kalmaktadır. Evrenin oluşumuyla birlikte çok uzun ömre sahip

(milyonlarca yıl) ve halen radyasyon yayımlamaya devam eden, radyoaktif elementler ve evrenden yayımlanan kozmik ışınlar çevresel radyasyon seviyesini oluşturmaktadır. Son zamanlarda yapılan nükleer bomba denemeleri, teknolojik ürünlerin yanlış kullanımları maruz kalınan radyasyon seviyelerinde artışa neden olmuştur. Canlıların maruz kaldıkları doğal radyasyon seviyesini belirleyen nedenler arasında yaşanan çevre, binalarda kullanılan yapı malzemeleri, mevsimlerdeki değişiklik (kutuplara yakın olup-olmaması), toprak yapısı ve hava şartları sayılabilir. Radyasyon seviyesi; rüzgar yönü, alçak ve yüksek basınçlar, kar ve yağmur gibi faktörlerden etkilenmektedir. Radyasyon kaynaklarını doğal ve yapay radyasyon olarak iki temel başlık altında inceleyebiliriz. Şekil 1.3'de doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından dolayı maruz kalınan küresel radyasyonun oransal değerleri verilmiştir.

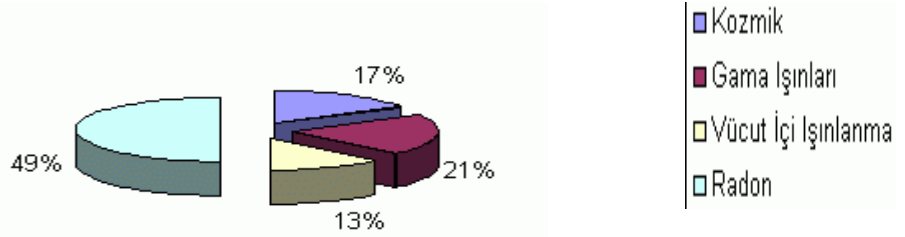


Şekil 1.3: Doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan küresel radyasyon oranları [47].

1.2.2.1. Doğal Radyasyon Kaynakları

Sindirim ve solunum yoluyla vücudumuza aldığımız radyoaktif elementler vücudumuzda birikmekte ve zamanla çeşitli organlarımıza zarar verebilmektedir. Buna ek olarak uzaydan dünya atmosferine gelen kozmik ışınlarla, yerkürede bulunan radyoaktif elementlerden yayılan radyasyon miktarı da eklenirse insanoğlu iç ve dış ışınlanmaya maruz kalmaktadır. Şekil 1.4'de dünya genelinde maruz kalınan doğal

radasyon kaynakları nedeniyle maruz kalınan küresel radasyon dozlarının yüzdesel oranları gösterilmiştir.



Şekil 1.4: Doğal radasyon kaynakları nedeniyle maruz kalınan küresel radasyon dozlarının yüzdesel oranları [47].

Tablo 1.2’ de deniz seviyesinden yüksekliğe, toprak ve yapı malzemelerinin elementer yapısına, Radon gazı konsantrasyonlarına, yiyecek ve içme sularındaki radyoizotopların konsantrasyonlarına bağlı olarak maruz kalınan ortalama doz değerleri gösterilmektedir.

Tablo 1.2: Dünya genelinde canlıların doğal radasyon kaynakları nedeniyle maruz kaldıkları ortalama radasyon doz değerleri [47].

Dünya Genelinde Doğal Radasyon Kaynaklarından Maruz Kalınan Ortalama Radasyon Doz Değerleri		
Işınlanma Kaynağı	Yıllık Etkin Doz Değeri (mSv)	
	Ortalama	Değişim Aralığı
KOZMİK RADYASYON		
• Foton bileşeni	0,28	
• Nötron bileşeni	0,10	
KOZMOJENİK RADYOİZOTOPLAR	0,01	
Toplam	0,39	0,3 – 1,0 (a)
YERYÜZÜ KAYNAKLI DIŞ IŞINLANMA		
• Bina dışı	0,07	
• Bina içi	0,41	
Toplam	0,48	0,3 – 0,6 (b)
SOLUNUM YOLU İLE IŞINLANMA		
• Uranyum ve Toryum serileri	0,006	
• Radon (Rn -222)	1,15	
• Toron (Rn -220)	0,10	
Toplam	1,26	0,2 – 10 (c)
BESLENME YOLU İLE IŞINLANMA		
• K-40	0,17	
• Uranyum ve Toryum serileri	0,12	
Toplam	0,29	0,2 – 0,8 (d)
GENEL TOPLAM	2,4	1 – 10

(a) Deniz seviyesinden yüksekliğe bağlı, (b) Toprak ve yapı malzemelerinin karışımına bağlı, (c) Radon gazı konsantrasyonuna bağlı, (d) Yiyecek ve içme sularındaki radyoizotopların konsantrasyonlarına bağlı.

Doğal radyasyona bağlı olarak yıllık alınan ortalama doz değeri 2.4 mSv civarındadır. Bazı ülkelerde (örneğin: Nevada- ABD, Bikini ve Enewetak- ABD gibi) bu değer 10 mSv'ın üzerindedir[47].

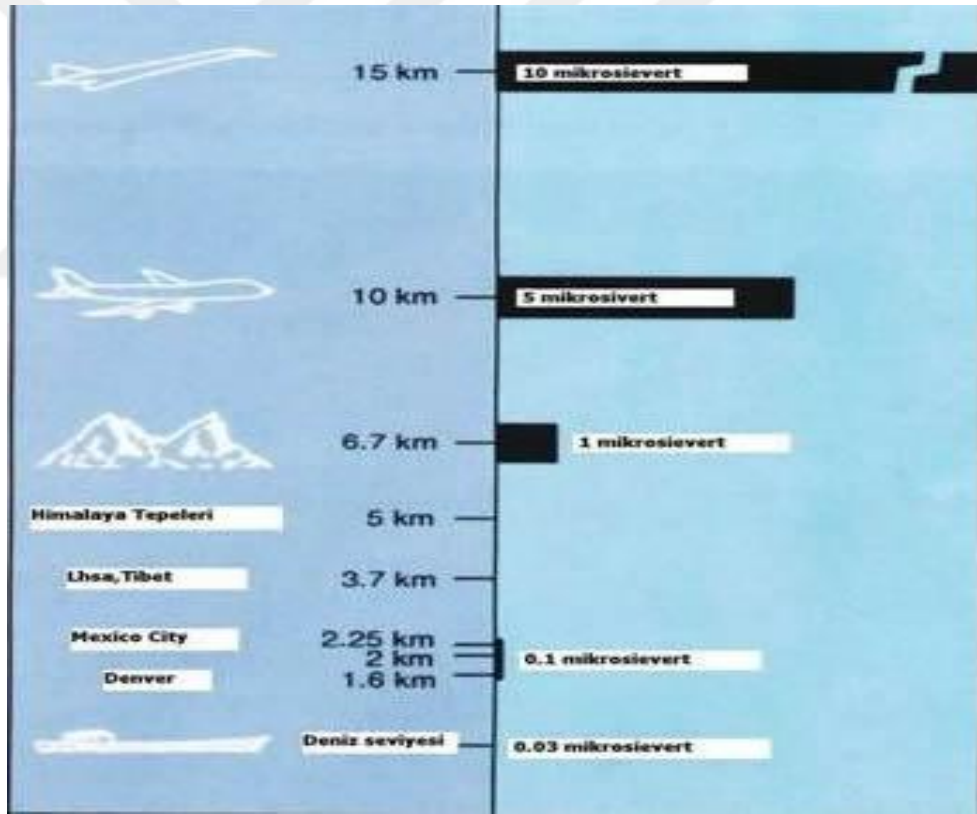
1.2.2.1.1. Kozmik Işınlr

Dünyamız sürekli olarak uzaydan gelen yüksek enerjili parçacıkların etkisi altındadır. Atmosfere ulaşan yüksek enerjili parçacıklar çoğunlukla protonlardır. Atmosfere ulaşan kozmik ışınların yoğunluğu yerin manyetik alanına, yerküreden yüksekliğe ve güneş patlamalarına bağlı olarak değişkenlik gösterir. Atmosfere ulaşan protonlar, yüklü parçacıklar olduklarından dünyanın manyetik alanı tarafından çekilirler. İnsanları etkileyen kozmik ışınların yoğunluğu bazı etkenlere göre azalır veya artar. Ekvatordan kutuplara gidildikçe ve enlem arttıkça kozmik ışın yoğunluğu dolayısıyla maruz kaldıkları doz miktarı artar. İnsanlar genellikle rakımı düşük yerlerde ikamet ettikleri için kozmik ışınlardan etkilenme yoğunlukları birbirine yakındır. Atmosfer zırhlama görevi yaptığı için dünyaya ulaşan kozmik ışınların yoğunluğu azalır. Kozmik ışınlar nedeniyle insanların maruz kaldıkları doz miktarı, yerin yüksekliğine veya alçaklığına ve aynı zamanda enleme göre değişse de yıllık etkin miktarı ortalama olarak 0,4 mSv civarındadır[47]. Fakat nüfus yoğunluğu fazla olan yaşam yerlerinde bu oranlarda artış görülür. Uçakla yapılan yolculuklarda yerden yüksekliğe ve uçuş süresine göre alınan kozmik ışın dozu değişmektedir. İnsanların günlük yaşantılarında kozmik ışınlar nedeniyle maruz kaldıkları radyasyon dozu $0,39 \text{ mSv}^{-1}$ olarak belirlenmiştir[47].

Atmosferde yüksek enerjili kozmik ışınlar atmosferin alt tabakalarındaki elementlerle etkileşime geçerek trityum, karbon-14, berilyum-7, sodyum-22 gibi çeşitli

radyoizotoplar oluşturmaktadır. Oluşan bu radyoizotoplar gerek solunum yoluyla gerekse yediğimiz ve içtiğimiz besinler yoluyla vücudumuzda iç ışınlamaya neden olurlar. Bu radyoizotoplara bağlı olarak alınan tahmini ortalama etkin doz değerleri trityum, berilyum, karbon-14 ve sodyum-22 için sırasıyla, 0,01 μSv , 0,03 μSv , 12 μSv ve 0,15 μSv 'dir. Şekil 1.5' de bir saat süresince kozmik ışınlardan alınan radyasyon dozunun rakımla değişimi verilmiştir[47].

Canlılar vücudunda bulunan potasyum-40, karbon-14 ve radyum-226 gibi radyoaktif elementlerden dolayı vücut içi radyasyona maruz kalırlar. Canlıların bir yıl boyunca maruz kaldıkları iç radyasyon dozunun dünya ortalaması 0,23 mSv'dir[47].



Şekil 1.5: Bir saat süresince kozmik ışınlardan alınan radyasyon dozunun rakımla değişimi [47].

1.2.2.1.2. Yeryüzü Kaynaklı Doğal Radyasyon

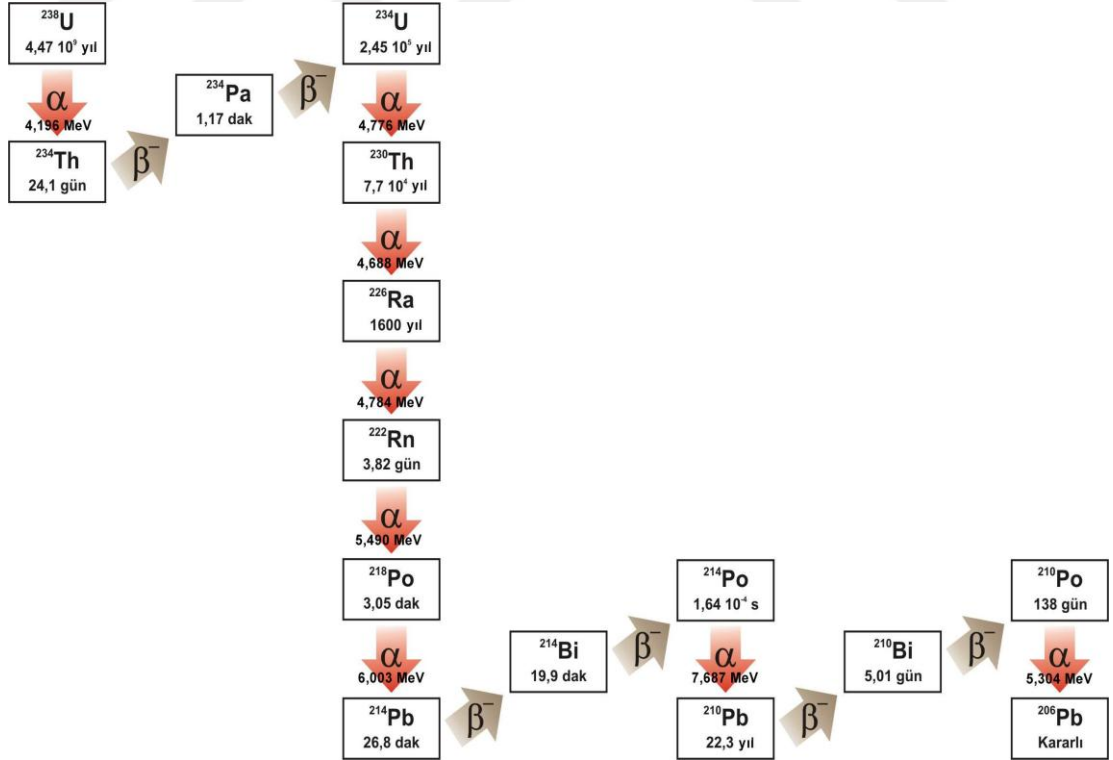
Çevremizdeki toprak, su, hava ve granitik, volkanik ve fosfat kayaçları içeren topraklardan üretilen yapı malzemeleri gibi birçok ortamda doğal olarak bulunan radyoaktif malzemelerden salınan radyasyonlara yeryüzü kaynaklı doğal radyasyonlar denir. Dünyanın oluşumundan bu yana var olan birçok radyoaktif maddenin yarılanma süreleri boyunca devam eden zincirlerinde radyoizotoplar meydana gelmektedir. Diğer yandan yüksek enerjiye sahip kozmik ışınlar atmosferin üst tabakalarında sürekli olarak yeni radyoaktif maddeler üretmeye devam etmektedir. Bu radyoizotoplar arasından Tritiyum (^3H) ve Karbon-14 (^{14}C) yağmur sularıyla ve hava akımıyla etkileşime geçerek yeryüzüne inerler. Karasal radyasyonu oluşturan birçok radyonüklitler arasından ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklitleri insanlar tarafından vücuda alınan doz oranlarına göre başta gelmektedir. Bu radyonüklitler birçok bozunuma uğrayarak en sonunda kurşun'a (Pb) dönüşerek kararlı duruma geçerek son bulurlar[49].

Uranyum; Dünyanın var oluşundan bu yana bulunan Uranyum radyonüklidi serbest halde bulunmaz, oksijen ile bileşik halde bulunur. Gümüş renkli, saf görünüşlü ağır bir metal olan Uranyumun atom ağırlığı 238,03 gr, atom numarası 92, 146 nötron ve yedinci enerji düzeyinde bulunan radyoaktif elementtir. Doğal olduğu için her yerde bulunabilir. Suda ve her tip kaya içerisinde az da olsa bulunur. Hekzavalent (U^{+6}) şeklinde sıvı çözeltilerde bulunur. Tablo 1.3'de uranyumun özellikleri verilmiştir[50].

Tablo 1.3 : Uranyumun Özellikleri [50].

İsmi	Uranyum
Sembolü	U
Atom numarası	92
Atom ağırlığı	238,02891
Grup ismi	Aktinit
Periyot numarası	7
Blok	f-blok
Standart hali	298 K de katı durumda
Rengi	Metalik gri
Sınıfı	Metalik
Isı özellikleri ve sıcaklıkları	-
Erime noktası [K]	1405,3
Kaynama noktası [K]	4200
Süper iletkenlik sıcaklığı [K]	0,2

Uranyum bozunum serisinin ana nüklidi ^{238}U 'dir. Bu nüklidler 8 α , 6 β parçacık emisyonu içerir. Şekil 1.6'de görüldüğü gibi Uranyum serisinin gama spektrumundaki farklı enerjilerden dolayı birçok gama ışını içerir. Bu yüzden Uranyum serisi çok komplekstir.



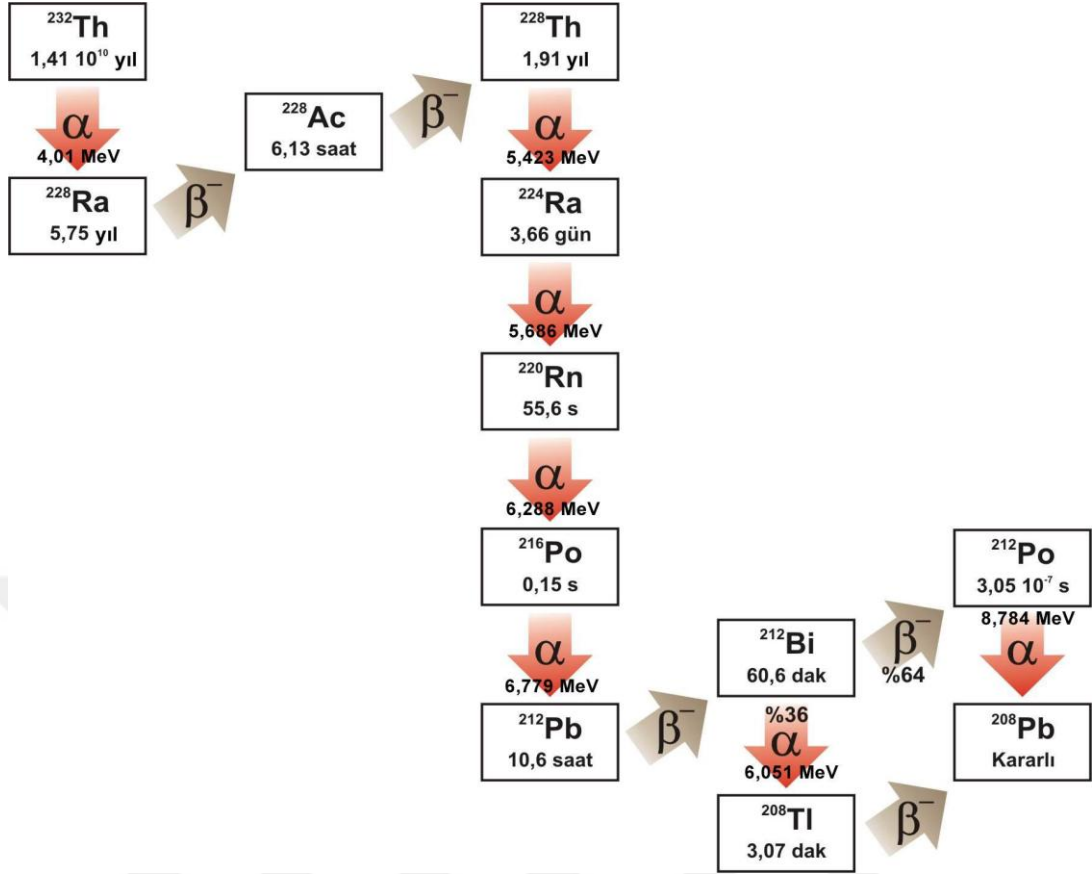
Şekil 1.6 : ^{238}U 'in bozunma serisi [50].

Uranyum bozunum serisinde farklı enerjide birçok γ ışını içermesinden dolayı kompleks olan Uranyumun nicel ölçümler için karakteristik bir piki olmadığından 1,76 MeV enerji pikindeki ^{214}Bi kullanılır[50]. Uranyumun doğal olarak çevrede var olan 3 izotopu Tablo 1.4' de verilmiştir.

Tablo 1.4 : Doğal Uranyum İzotopları [50].

İzotop	Yarı Ömür (yıl)	Doğal Çokluk
U-238	$4,6 \times 10^9$	%99,238
U-235	$7,1 \times 10^8$	%0,72
U-234	$2,5 \times 10^5$	%0,057

Toryum; doğal radyoaktif bozunum serisine sahip olan ^{232}Th , 11 ürün nüklid içerir. Şekil 1.7' de görüldüğü gibi Toryum kompleks bir gama spektrumu verir ve hemen hemen hepsi kararsızdırlar. Serbest halde bulunmayan Toryum 60 civarında mineralin yapısı içerisinde yer almaktadır. Yer kabuğunun $\%7 \times 10^{-4}$ lük kısmını oluşturmaktadır. Toryum serisinin en karakteristik pikine sahip olan ^{208}Tl 'e ait 2,615 MeV enerjili piktir. Doğal Toryumun en önemli radyoizotopu ^{232}Th 'dir. ^{232}Th 'in spesifik aktivitesi $4,1 \text{ Bqmg}^{-1}$, yarılanma ömrü ise $1,39 \times 10^{10}$ yıldır. Doğal kaynaklarda jeolojik ölçüm ve tahlille için kullanılan karakteristik üç gama enerjisi 1,461 MeV (K), 1,764 MeV (^{214}Bi) ve 2,615 MeV (^{208}Tl)'dur. Doğal Toryumun tek izotopu ^{232}Th 'dir. Atom numarası 90, atom ağırlığı 232,0381 gr'dır. ^{232}Th bozunma serisinin sonunda kararlı olan ^{208}Pb 'e bozunur[50].



Şekil 1.7 : ^{232}Th 'nin bozunma serisi [50].

Toryumun özellikleri Tablo 1.5'de, Tablo 1.6'de Toryuma ait izotoplar verilmiştir.

Tablo 1.5: Toryumun özellikleri [50].

İsmi	Toryum
Sembölü	Th
Atom numarası	90
Atom ağırlığı	232,0381
Grup ismi	Aktinit
Periyot numarası	7
Standart hali	Katı
Rengi	Gümüş beyaz
Sınıfı	Metal
Termal Özellikler ve Sıcaklıklar	-
Erime noktası	2115°K (veya 1842°C)
Kaynama noktası	5093°K (veya 4820°C)
Süperiletkenlik sıcaklığı	1,38°K (veya-271,77°C)

Tablo 1.6 : Toryumun izotopları [50].

İzotop	Kütle	Yarı ömür	Spin
²²⁷ Th	227,027699	18,72 gün	3/2
²²⁸ Th	228,028731	1,913 yıl	0
²²⁹ Th	229,031754	7900 yıl	5/2
²³⁰ Th	230,033126	75400 yıl	0
²³¹ Th	231,036296	1,063 gün	5/2
²³² Th	232,0380508 (23)	1,4x10 ¹⁰ yıl	0
²³³ Th	233,041576	22,3 dakika	½
²³⁴ Th	234,036596	24,10 gün	0

Potasyum; doğal radyoaktif element olan Potasyum 39, 40, 41 kütle numaralı üç izotopa sahiptir. Bunlar içerisinde sadece ⁴⁰K radyoaktiftir. ⁴⁰K'nın yarı ömrü 1,3×10⁹ yıldır. Potasyum yiyeceklerde, içeceklerde, yapı malzemelerinde ve daha birçok alanda bulunduğundan yaşam için vazgeçilmezdir.

1,461 MeV'lik gama çıkışına sahip olan ^{40}K bozunumu sonucunda oluşan ürün çekirdek kararlıdır. Yer kabuğunun %2,6'sını kapladığı için önemli bir element olan potasyumun yarı ömrü $1,26 \times 10^9$ yıl ve spesifik aktivite değeri $3,3 \text{ Bqg}^{-1}$ 'dir[48].

Doğada Potasyum bazı granitlerde %3,5, kireç taşlarında %0,1 oranlarında bulunurken kumtaşlarında %0,1 veya daha az bulunmaktadır. ^{40}K iki çeşit bozunum yapmakta olup birincisi Ca-40'a bozunduğu beta ışımasıdır. Beta ışıması sonucu %89,3 bozunma sabiti ile yayılan β^- parçacıklarının enerjileri 1,311 MeV'tur, ikinci bozunum ise Ar-40'a bozunduğu elektron yakalamasıdır ve %10,7 bozunma sabiti ile oluşan elektron yakalama olayı sonucunda 1460,8 keV'lik gama ışını yayınlar[48].

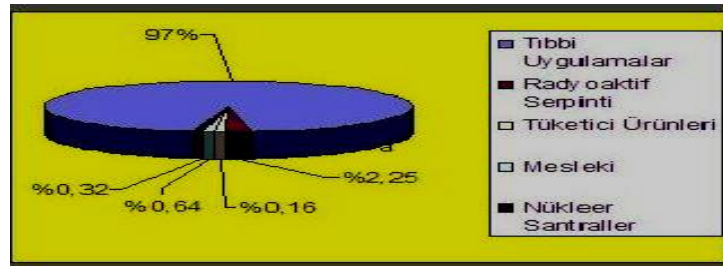
Radyum; Marie ve Pierre Curie tarafından ilk defa 1898 yılında bulunmuştur. Radyum elementi α , β ve γ ışınları yayımlar. Radyumun bozunmasından sonra meydana gelen bütün izotopları radyoaktif özellik gösterir. Radyuma gıda maddelerinde, yapı malzemelerinde, kayalarda, toprakta ve suda gibi birçok alanda rastlamak mümkündür. Atom numarası 88 olan Radyum, Uranyumun radyoaktif parçalanması sonucu elde edilir. Yapay ve doğal olarak 14 radyoaktif izotopu bilinmektedir. Ancak doğal izotopları dört tane olup, bunlar ^{223}Ra , ^{224}Ra , ^{226}Ra ve ^{228}Ra 'dır[48].

Radon; Radon (^{222}Rn) doğada, yer katmanlarında ve Uranyum kaynaklarında bulunan radyoaktif bir elementtir. Radon gazı ^{238}U bozunma serisinde α yayan bir soygaz olup yarılanma ömrü 3,82 gündür. Doğada bulunma oranları; deniz seviyesine yakınlığına ve uzaklığına göre, sıcaklığa ve rüzgarın yönüne ve mevsimsel farklılıklar ile coğrafi bölgenin jeolojik yapısına göre değişiklik göstermektedir[51].

1.2.2.2. Yapay Radyasyon Kaynakları

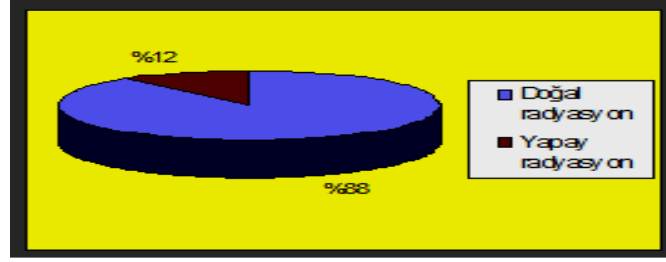
Teknolojinin gelişmesi sonucu doğal radyasyonun yanı sıra yapay radyasyon kaynaklarından da ışınlanmaktadır. Yapay radyasyon kaynakları insanoğlunun çalışmalarındaki ihtiyaçlarından ortaya çıkmıştır. Yapay radyasyon kaynaklarına da maruz kalındığında radyasyon: birikimine neden olmaktadır. Fakat doğal radyasyon kaynaklarının aksine yapay radyasyon kaynaklarından alınan doz oranı düşüktür ve bu dozun miktarını ayarlamak mümkündür.

Son zamanlarda nükleer silah denemeleri, Çernobil ve Fukushima gibi nükleer kazalar ve nükleer reaktörlerin serpintileri sonucunda yayılan x-ışınları ile tıbbi, zirai ve endüstriyel amaçlarla kullanılan radyoaktif maddeler başlıca yapay radyasyon kaynaklarıdır. Diğer açıdan teknoloji ve bilim alanlarında kullanılan yapay radyoaktif maddeler iyonlaştırıcı radyasyon kaynakları, iyonlaştırıcı ışınlar yayan televizyon gibi aygıtlarda kullanılan radyoaktif kaynaklar, yapay radyasyon kaynaklarıdır[47]. Şekil 1.8'da yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyonun doz oranları verilmiştir.



Şekil 1.8: Yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan küresel radyasyon dozunun oransal değerleri [47].

Doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozunun dünya ortalaması 2,7 mSv/yıl'dır[47]. Şekil 1.9'da doğal ve yapay radyasyon kaynaklarının küresel radyasyon dozuna katkı oranları verilmiştir.



Şekil 1.9 : Doğal ve yapay radyasyon kaynaklarının küresel radyasyon dozuna oransal katkıları [47].

1.2.3. Radyasyon Doz Birimi

Madde içerisinden geçen iyonlaştırıcı radyasyonlar, madde içerisindeki atomlar ile etkileşerek enerjisini geçtiği ortama aktararak gözlenebilir etkiler meydana gelmektedir. Bu etkiler kimyasal, fiziksel ve biyolojik etkiler olup herhangi bir noktadaki radyasyon miktarının ölçülmesinde kullanılmaktadır. Buradaki ölçüm sırasında geçen enerji değil, soğurulan enerji kullanılmaktadır[50]. Tablo 1.7’de Radyasyon birimleri ve dönüşüm faktörleri verilmiştir.

Tablo 1.7 : Radyasyon birimleri ve dönüşüm faktörleri [47].

Terim	Birimi		Dönüşüm Faktörü
	Özel Birim	SI birimi	
Aktivite	Curie (Ci)	Becquerel (Bq)	1 Ci = $3,7 \times 10^{10}$ Bq
Işınlama	Röntgen (R)	Coulomb/kg	1 C/kg = 3876 R
Absorblanan doz	Rad (rad)	Gray (Gy) (J/kg)	1 Gy = 100 rad
Eşdeğer doz	Rem (rem)	Sievert (Sv)	1 Sv = 100 rem

1.2.3.1. Aktivite Birimi

Aktivite; bir radyoaktif izotopun her bir birim zaman içinde parçalanma sayısı olarak ifade edilir. Aktivite birimleri Becquerel (Bq) ve Curie (Ci)'dir. Curie, saniyede $3,7 \times 10^{10}$ çekirdeğin parçalanması bir maddenin aktivitesi olup 1Ci'dir. Uluslar Arası Birimler Sistemine (SI) göre aktivite birimi Bq olup, bir saniyede bir çekirdeğin parçalanması 1Bq'dir. $1\text{Ci}=3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}=37 \text{ GBq}$ şeklinde dönüşür. Ci büyük aktivite değerlerinde, Bq ise küçük aktivite değerlerinde kullanılır[48].

1.2.3.2. Işınlama Birimi

X-ışınları ve γ -ışınları için tasarlanmış olan ışınlama birimi, hava içerisinde geçen radyasyon demetinin iyonlaşma ölçüsü olup 3 MeV'ye kadar ulaşan enerjiyi göstermektedir. Uluslar arası kabul edilen ilk ışınlama birimi Röntgen (R)'dir. 0°C'de 760 mm-Hg basıncı altında havanın 1kg'ında $2,58 \times 10^{-4} \text{ C}$ 'luk elektrik yükündeki pozitif ve negatif iyonları oluşturan x ve gama ışın miktarıdır. SI birim sisteminde ışınlama birimi coulomb/kg olarak verilir. $1 \text{ Ckg}^{-1}=3876 \text{ R}$ veya $1\text{R}=2,58 \times 10^{-4} \text{ Ckg}^{-1}$ şeklindedir[48].

1.2.3.3. Soğurulmuş Doz

Soğurulmuş doz, insan dokusu veya herhangi bir maddenin birim kütlesine aktarılmış enerji miktarıdır. Rad (Roentgen absorbed dose), soğurulmuş dozun özel birimidir. 1 Rad, malzemenin 1 kg'ına 10^{-2} Joulelik enerji veren radyasyon miktarı olarak tanımlanır. SI birim sisteminde soğurulmuş doz birimi olarak Gray (Gy) kullanılmaktadır. 1 Gy maddenin 1 kg'ına 1 Joule'luk enerji veren radyasyon dozu miktarıdır. $1 \text{ Rad}=10^{-2} \text{ Jkg}^{-1}$, $1 \text{ Gray (Gy)}=1 \text{ Jkg}^{-1}=100 \text{ rad}$ 'tır[48].

1.2.3.4. Eşdeğer Doz Birimi

Radyasyon çeşitlerinin madde içerisinde verdiği hasarlar aynı değildir. Eşit miktarda gönderilen farklı tiplerdeki radyasyonlar madde özelliklerine göre farklı hasarlar verir. Çünkü maddedeki giricilikleri ve etkileri farklıdır. Bu yüzden bu farkı hesaplayabilmek için eşdeğer doz hesabı kullanılmaktadır. Eşdeğer doz, soğurulmuş dozun radyasyon tipinin kalite faktörünün çarpımı ile bulunur. H_T ile gösterilen eşdeğer doz;

$$H_T = \sum W_R D_{TR} \quad (1.1)$$

bağıntısı ile hesaplanmaktadır. Burada, D_{TR} : R radyasyonundan kaynaklanan T dokusundaki ortalaması alınmış soğurulmuş doz, W_R = Radyasyon ağırlık faktörünü ifade eder. Rem (Roentgen Equivalent Man) eşdeğer doz birimidir. SI' de eşdeğer doz birimi Sievert (Sv) olarak kabul edilmiştir. $Sv=Joulekg^{-1}$, 1 Sv=100 rem dir. Eşdeğer doz (H_T), doku üzerinde farklı radyasyon tiplerinin vermiş olduğu hasarın olasılığını göstermektedir.

İyonlaştırıcı radyasyonun madde içerisinde birim yol başına kaybettiği enerjiye, kalite faktörü denir. Radyasyon tiplerine göre farklılık göstermektedir. Tablo 1.8'de radyasyon tiplerinin kalite faktörleri verilmiştir[48].

Tablo 1.8 : Radyasyon tiplerinin kalite faktörleri [52].

Radyasyonun tipi	Kalite faktörü
X-ışınları, gamma ışınları, beta ışınları	1
Termal nötronlar	5
Nötronlar	5-20
Protonlar, recoil protonlar, $E > 2MeV$	5
Alfa ve ağır çekirdekler	20

1.2.3.5. Etkin Doz Birimi

Ağırlıklı eşdeğer dozların toplamı etkin dozu verir. Vücuttaki organların ağırlıkları yoğunlukları farklı olduğundan maruz kaldıkları radyasyon ve uğradıkları hasarlarda farklılık göstermektedir. Buradaki farklılıkları karşılaştırabilmek ve radyasyon enerjisini ve tipini belirleyebilmek için etkin doz kullanılmaktadır. Etkin doz, vücuttaki organların eşdeğer dozu ile doku ağırlık faktörünün çarpılması sonucu hesaplanır. Birimi Sievert'dır. Radyasyondan korunmak için mSv (mili Sievert) kullanılır. Etkin doz (E) ,

$$E = \sum_T W_T H_T \quad (1.2)$$

denklemini ile hesaplanır. Burada: W_T , T dokusu veya organın ağırlık faktörü, H_T , T dokusu veya organın eşdeğer dozudur. Tablo 1.9'da bazı doku ve organların eşdeğer doz ve etkin doz sınırları verilmiştir[53].

Tablo 1.9 : Bazı doku ve organların eşdeğer doz ve etkin doz sınırları [52].

		Radyasyon Görevlileri	Halk
Etkin doz	Yıllık Ortalama	20 mSv/yıl	1 mSv/yıl
	Tek Yıl	50 mSv/yıl	5 mSv/yıl
Eşdeğer doz	Göz	150 mSv/yıl	15 mSv/yıl
	Cilt	500 mSv/yıl	50 mSv/yıl
	El-Ayak	500 mSv/yıl	50 mSv/yıl

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde; analiz için kullandığımız NaI(Tl) sintilasyon dedektörü, dedektörün verimi ve dedektör çözünürlüğü hakkında bilgi verilmektedir.

2.1. Gama Spektrometresi

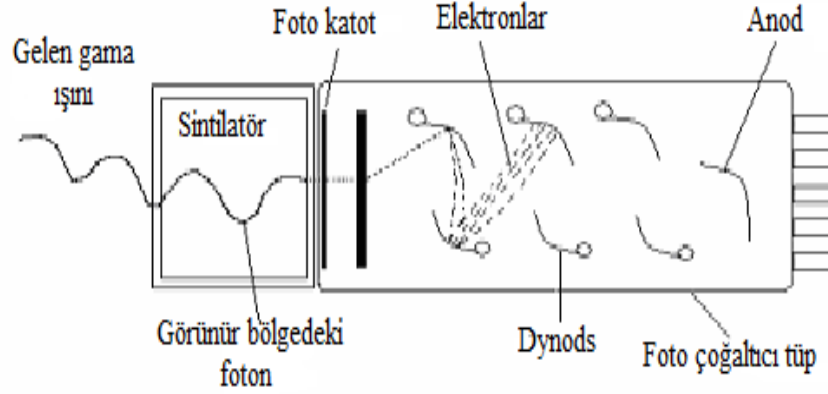
Gama spektrometresi çevremizdeki radyoaktif maddelerin varlığını ve aktiviteleri tespit etmek için en yaygın kullanılan yöntemdir. Gama ışınlarının ölçülmesinde; NaI(Tl) gibi sintilasyon dedektörleri veya Ge(Li) ve HPGe gibi yarı iletken dedektörler kullanılmaktadır. Ölçümün yapılmadan önce dedektör seçimi, radyasyonun tipine bakılarak karar verilmektedir. Çıkış puls genliğinin radyasyon enerjisi ile doğru orantılı olduğu dedektör seçilerek radyasyon enerjisinin ölçümü yapılmaktadır. Dedektör seçimi yapılırken; dedektörün kullanım alanının uygunluğuna, dedektörün verimine ve çözünürlüğüne dikkat edilmelidir. Hazırlanan numune içindeki farklı radyoaktif çekirdeklerin tek tek belirlenmesi aynı anda gerçekleştirilir. Yüksek enerjili elektromanyetik dalgalar olan gama ışınları madde içerisinden geçerken soğurulma ihtimalleri düşük, yoğunluklarındaki azalma ihmal edilecek kadar az ve önemsizdir[48].

2.1.1. Sintilasyon Dedektörleri

Antrasen, naftalin ve fenantren gibi maddelerin üzerine düşen radyasyon enerjisi (X- ışını veya γ - ışını çarptığı zaman) ile orantılı olarak dışarıya görünür ışık yayılır. Bunlara sintilatör adı verilir. Yayılan görülebilir ışıklara sintilasyon denir ve ışık pırıltıları daha sonra elektrik pulslarına dönüştürülür. Daha sonra bu pulslar yükseltirilerek anlamlı sayılabilir sinyallere dönüştürülür. Radyasyon enerjisini ilk

olarak ışık fotonlarına sonra foto-çoğaltıcı tüp yardımıyla elektrik pulslarına dönüştüren dedektörlere sintilasyon dedektörleri denir[53].

Şekil 2.1’de sintilasyon dedektörünün şeması verilmiştir.



Şekil 2.1 : Sintilasyon dedektör şeması [54].

Sintilasyon dedektörleri, sintilatör ve fotoçoğaltıcı tüp olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Gelen gama ışını ilk olarak sintilatör maddesi ile etkileşirler, bunun sonucunda uyarılmış durumda kalan atomlar, hızlı bir şekilde taban durumuna geçerken görünür bölgede foton yayınlanmasına neden olurlar. Yayınlanan fotonların şiddetleri gelen gama ışınlarının enerjisiyle doğru orantılıdır. Yayınlanan fotonlar foto-çoğaltıcı tüp içerisinde elektronlara dönüştürülerek puls ölçümleri yapılır. Foto-çoğaltıcı tüp kısmında bulunan foto katot sayesinde, çift oluşumu, foto elektrik olay ve compton saçılması sonucu elektron koparılır. Koparılan elektronun oluşturduğu puls yeterli olmadığından elektron foto-çoğaltıcı tüp içerisinde artan potansiyellerin olduğu bölgede hızlandırılarak “dynode” olarak adlandırılan elektrotlara çarparak daha fazla elektron koparılması sağlanır. Koparılan elektronlar foto-çoğaltıcı tüpün anod kısmına gelerek tüpün çıkış kısmında yüksek bir puls oluştururlar. Oluşan pulsün yüksekliği gelen gama ışının enerjisi ile doğru orantılıdır[55].

Sintilatörler iki tiptir. İnorganik ve organik sintilatörler. Genellikle gama ışın dedektörleri, inorganik maddelerle kullanılan dedektörlerdir. İnorganik maddeler NaI

(Sodyum iyodür) ve CsI (Sezyum iyodür) gibi alkali (herhangi bir halojen asit tuzu) tuzlardır. İnorganik maddelere foton yayınlanma olasılığını arttırmak ve ışığın kendiliğinden soğurulmasını azaltmak için aktivatör (aktifleyici) denilen katkı eklenir. Bu aktivatörlerden en çok Talyum (Tl) ve sodyum (Na) kullanılır[55].

Uygun kristal seçilerek parçacık tipi radyasyonların da sayımı yapılabilmektedir. Sayım yaparken aynı zamanda enerji hesabı için kullanılan dedektörlerde ise ZnS kristali ile alfa parçacıklarının sayımını, antrasen fosforu ile beta parçacıklarının sayımını yapmak mümkündür ve bu kristaller yaygın olarak kullanılmaktadır[57].

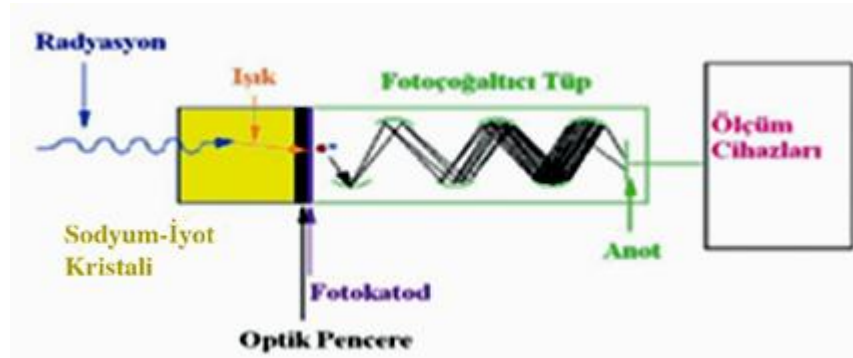
2.1.2. NaI(Tl) Sintilasyon Dedektörü

X-ışınları ve γ -ışınlarının dedeksiyonunda genellikle NaI(Tl) kristali kullanılır. Çok iyi ayırma gücüne sahip olan kristal gama ışınının iyi bir çözünürlüğünü sağlamasının yanında ekonomik olmasından dolayı da tercih edilir. ^{137}Cs 'nin 662 keV'lik gama ışını için 3'' \times 3'' boyutlarında kristal kullanılarak %7,5 ile %8,5 oranında bir enerji ayırımı hesaplamak mümkündür. NaI(Tl) sintilatör dedektöründe γ -ışını dedeksiyonunda yüksek verim elde etmek ve foton soğurulması ihtimalini arttırmak için yüksek atom numaralı iyod kullanılmaktadır[48].

Aktivatörler dedektörlerde foton yayınlanma olasılığını arttırdığı için NaI sintilatöründe aktivatör olarak Tl kullanılmaktadır. Aktivatör kullanılan dedektörlere katkılı sintilatörler denilmektedir. Eneji bant teorisine göre elektronlar katı maddelerde valans ve iletim bantları arasında uyarılmış duruma geçerler ve uyarılan elektronlar iletim bandından taban durumuna geçerken enerji seviyesindeki değişim katkısız sintilatörlere göre daha düşük olan görünür bölgedeki fotonların yayılmasına neden olacaktır.

Katkılı sintilatörler sayesinde daha büyük kristaller yapılabilir. Bu da dedektörün verimini arttırdığı gibi kaynaktan çıkan gama ışınlarının gözlenme olasılığını da artırır[55].

NaI(Tl) dedektörlerine yapı malzemelerinden ve çevresinden gelebilecek radyasyondan dolayı yan yüzeyleri ve tabanı kurşun bloklarla kaplıdır. Foto-çoğaltıcıya optik kontak yapılan yüzü haricinde NaI(Tl) kristalinin nem kapmaması için Al (Alüminyum) levha ile kaplıdır. Şekil 2.2’de NaI(Tl) foto-çoğaltıcı tüpün şematik diyagramı verilmiştir. Al levhanın iç kısmının magnezyum oksit ile kaplı olması, ışık yansıtıcı olarak iş görmesini sağlar. Kristalin içindeki foton veya yüklü bir parçacığın ilk iyonlaşmasından dolayı serbest elektronlar meydana gelir. Serbest elektronların kristalin atom veya moleküllerine bağlanması sırasında görünür bölgede 3000 Å’ dan 5000 Å’ a kadar değişen dalga boylarında ışık yayınlanır. Sintilatörlerin kendi ışıkları şeffaf olduğundan foto-çoğaltıcı tüpün foto katodu üzerine düşerler. Foto katodun yüzeyi, ince bir sezyum antimon alaşımıyla kaplı levhadan yapılmış olduğundan gelen ışınlar buradan elektron yayınlanmasına neden olurlar[53].



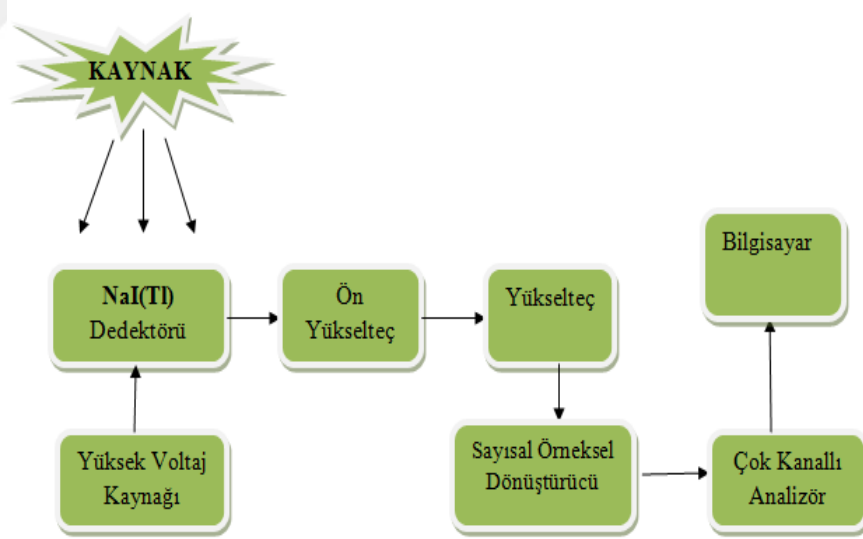
Şekil 2.2 : NaI(Tl) foto-çoğaltıcı tüpün şematik diyagramı [48].

Foto-çoğaltıcıda 800 ile 1500 volt arasındaki voltajda çalışan her bir çoğaltıcıya peş peşe gelen voltajlarda artmalar olacaktır. Bundan dolayı elektronların foto katottan son çoğaltıcıya kadar giderken sayılarının peş peşe artması sonucunu verir. Çoğalmanın veya toplam kazancın 10^6 ile 10^7 aralığında olması mümkündür. Elektron çoğalmasıyla

elde edilen darbenin yüksekliği gelen fotonun veya yüklü parçacığın enerjisiyle orantılıdır. Darbeler yükseltilerek bir sayıcı yardımıyla sayılabilir. Yerin manyetik alanını etkisiz hale getirmek için foto-çoğaltıcı bir manyetik perdeleyici ile çevrilidir[53].

2.1.3. Gama Spektrometrik Analiz Sistemi

Gama spektrometre sistemi NaI(Tl) gibi; Sintilasyon veya Ge (Li) ve HPGe gibi yarı iletken bir dedektör (D), Bir ön yükseltici (PA), Bir adet yüksek voltaj filtresine sahip güç kaynağı (HV), Yükseltici (MA), Analog sayısal dönüştürücü (ADC), Çok kanallı analizör (MCA), Bilgisayar (PC) yazıcıdan oluşmaktadır[58]. Şekil 2.3'de NaI(Tl) sintilatör dedektörünün kurulum şeması verilmiştir.



Şekil 2.3 : NaI(Tl) dedektörünün kurulum şeması [58].

Dedektörün çalışması için yüksek voltaj gerekmektedir (Çalıştığımız dedektöre 700V verilmiştir). Kaynaktan yayılan radyasyon dedektör ile etkileşerek soğurulan enerji ile

orantılı akım darbesi meydana getirmektedir. Meydana gelen darbe, yükselticiler sayesinde voltaj darbesine çevrilip yükseltip şekillendirilir ADC' ye ulaşır ve bilgiler çok kanallı analizöre (MCA) gönderilir. MCA'da sayısal hale çevrilen bilgiler ekranda spektrum olarak gözlemlenmektedir. MCA'ya uyumlu bilgisayarda spektrum veya spektrum ile ilgili bilgiler görülür[48].

Ön Yükselteç (PA): Dedektörün gama ışınları ile etkileşmesinde oluşan yükler ön yükselteç ile toplanır. Dedektörden gelen pulsları depolanan enerji ile orantılı olarak şekillendiren ön yükselteçler bunları voltaj sinyaline dönüştürür.

Ön Yükselteç dedektöre yüksek empedans vererek yükselteç ve dedektör arasında empedans uyuşturucu görevi yapar. Ön yükselteçler gerilime duyarlı, akıma duyarlı ve yüke duyarlı tasarlanabilir. Genellikle yük duyarlı ön yükselteçler kullanılır, fakat düşük maliyetli voltaj duyarlı tipleri de yaygın kullanılmaktadır. Gama spektrometrelerinde voltaj duyarlı ön yükselteçler tercih edilmemektedir, tercihen kullanıldığında küçük sorunlar ortaya çıkmaktadır. Bu yüzden yük duyarlı ön yükselteçler gama spektrometrelerinde kullanılmaktadır. Hızlı zaman ölçme uygulamaları için özellikle akım-duyarlı ön yükselteç kullanılması şarttır, fakat normal enerji spektrumları için kullanılmamaktadır[59].

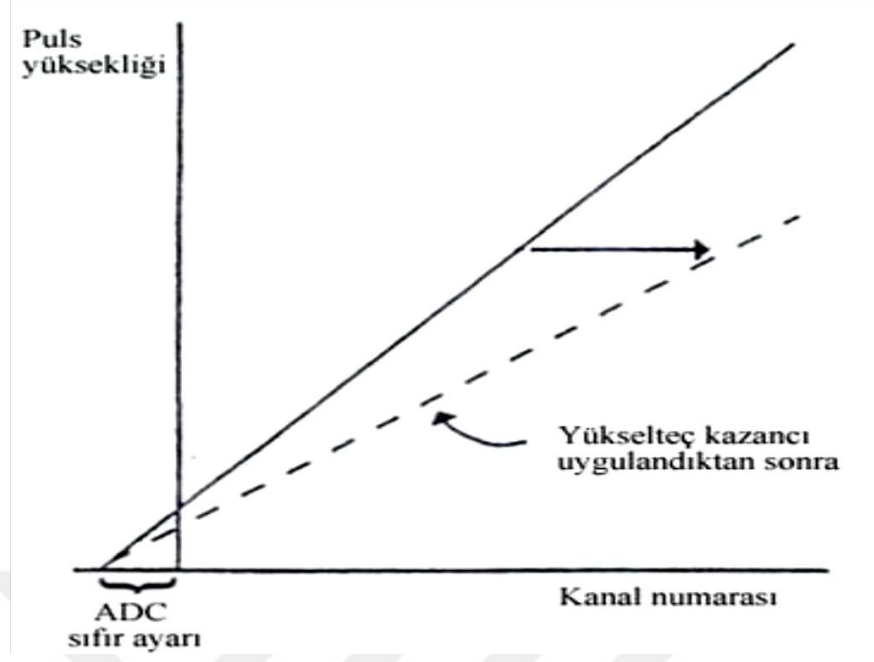
Yükselteçler (MA): Ön yükselteçten gelen sinyali yükseltmek, yeniden şekillendirmek ve şekillendirmek için gerekli bilgileri depolamak için kullanılır.

Dedektör sistemleri ve bilgisayardaki gelişmeler kolay sintilasyon sistemlerinin bilgisayarlara doğrudan bağlanabilmesini sağlar. Tüm fonksiyonların kolayca taşınabilmesi sağlanır. ORTECdigiBASE™ sistemci ön yükselteci, dijital sinyal işlemcisini ve yüksek voltaj kaynağını foto-çoğaltıcıya USB kablosuyla uygun donanımlı bilgisayara bağlanacak şekilde foto-çoğaltıcıya dahil eder. Yükselteçlerin bazı önemli özellikleri; sinyal büyütme, toplam yükün doğru bir şekilde ölçülmesi ve balistik zarar etkisinin olmayacağı bir puls şekillenmesi, puls yığılmalarını en fazla

yüklemeyi en az seviyede tutacak şekilde yüksek sayım hızlarında puls şekillenmesi, her pulsun ayrı ayrı sinyal-gürültü oranının analiz edilebilmesi için en iyi puls şekillenmesi, Yüksek sayım hızlarındaki performansını korumak için puls yığılması ve temel seviye koruması için aktif devreler içermesi gibi sıralanmaktadır[48].

Çok Kanallı Analizör (MCA): Detektöre gelen ışınların ön yükselteçten büyütüldükten sonra gelen gama ışını enerjisiyle orantılı olarak yükselteçte şekillendirilen pulslar çok kanallı analizörde yüksekliklerine göre sıralanmaktadır. Bu birim Analog sayısal dönüştürücüde (ADC) verileri depolayıp, spektrum olarak gösteren, verilerin kanal olarak tanımlanan hafızada saklanmasını, analizini ve rapor edilmesini sağlayan, enerji kalibrasyonu yapan bir programdır. Çok kanallı analizör gama spektrometrelerinde bilgi saklama ve işleme ünitesi olarak çalışmaktadır. MCA'ya gelen pulsun yüksekliği ve bu pulsa karşılık gelen kanal numarası ile ilişkisi doğrusal olmalıdır. Şekil 2.4'de çok kanallı analizördeki puls yüksekliği ve kanal numarası arasındaki ilişki verilmektedir.

Genlikleri küçük gürültü pulslarının yok edilmesi için analog-sayısal dönüştürücü sıfır ayarı yapılmasını sağlar. MCA' da integral ve diferansiyel olmak üzere iki farklı doğrusallık tanımlanır.



Şekil 2.4 : Çok kanallı analizörde kanal numarası ve puls yüksekliği arasındaki ilişki [48].

Puls yüksekliği ve kanal numarası arasındaki doğrusallıktan sapmanın ölçüsü integral doğrusallığını verir. Diferansiyel doğrusallık ise kanal genişliklerinin kararlılığını gösterir ve daha hassastır. Sintilasyon spektrometresi çok kanallı analizör üzerinde özel bir yer teşkil etmez. Genellikle yarı iletken dedektörle kıyaslandıklarında çözünürlükleri düşük olduğundan spektrum boyutları çok daha küçük olabilir[59].

Sayısal Örneksel Dönüştürücü: Çok kanallı analizörün önemli yardımcısı, elektrik pulsunun sayısal niceliğe çeviren analog-sayısal dönüştürücü, ADC birimi olup darbe yüksekliğinin analog büyüklüğünü (volt) kanal başına düşen sayısal veriye dönüştürür[55].

Kaydedici: Çok kanallı analizörden veya bağlı olduğu bilgisayardan alınan bilgilerin kaydedilmesi için, grafik çizici veya yazıcı kullanılır. Topraktaki radyoaktivite seviyelerini belirlemek için kullanılan gama spektrometreleri etrafı kurşunla zırhlanmış

NaI(Tl) dedektörü ve buna bağlı birçok elektronik birimden oluşmuştur. Deneysel veriler uygun yazılım programı ile otomatik olarak elde edilmektedir[55].

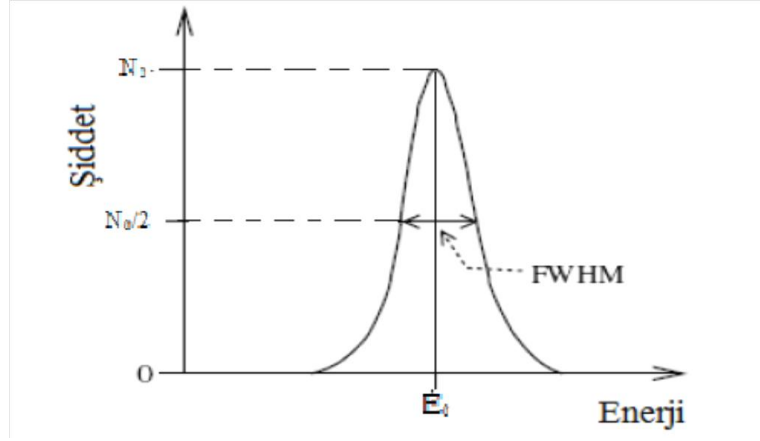
2.2. Dedektör Ayırma Gücü

Radyasyon enerjisini ölçmek için tasarlanmış dedektörlerin en önemli faktörü, enerji ayırma gücüdür. Dedektörün ayırma gücü birbirine yakın enerjili iki gama ışınını ayırt etme ölçüsüdür. Ayırma gücü genellikle dedektöre tek enerjili bir radyasyonun gönderilmesi ve spektrumun gözlenmesi ile ölçülüdür. Görülmesi gereken Dirac-delta fonksiyon tepesi iken tepe yapısı genelde Gaussiyen biçimli olup sonlu bir genişliğe sahiptir. Bu genişlik uyarılmış ve iyonlaşmış atom sayısındaki dalgalanmaya bağlıdır[60].

Gaussiyen tepesinin maksimum yüksekliğinin yarısındaki genişlik ile kalınlık ölçülmektedir. Kalınlık Şekil 2.5'te gösterilmektedir. FWHM(Full width at half maximum) veya Γ ile gösterilir. Dedektörün farklı enerjilerdeki parçacıkları tanımlayabilme özelliğine enerji çözünürlüğü ($R(E_0)$) denilir ve denklem 2.1'deki oran ile hesaplanmaktadır.

$$R(E_0) = \frac{\Gamma}{E_0} \quad (2.1)$$

Enerji çözünürlüğü, dedektörde üretilen yük taşıyıcılarının sayısındaki istatistiksel dalgalanmalardan, ön yükselteçteki ve yükselteçteki elektronik gürültüden ve üretilen yüklerin tamamının toplanmasından etkilenmektedir[48].

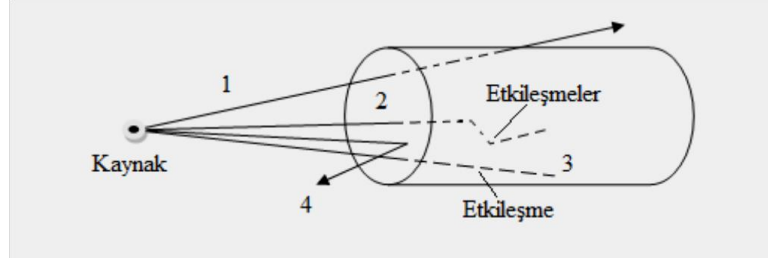


Şekil 2.5 : Gaussyen yapılı pikin enerji çözünürlüğünü gösteren şema [48].

R değeri genellikle yüzde ile verilir. NaI(Tl) dedektörü 1MeV'lik γ -ışınını yaklaşık %8 veya %9 ayırma gücüne sahiptir. Fakat germanyum dedektöründe bu değer ise %0,1 civarındadır. Örneğin; ^{137}Cs 'nin 661,7 keV'deki piki için NaI(Tl) dedektörünün FWHM'si 45 keV iken HPGe dedektörünün FWHM'si 30 kat daha az olup 1,5 keV'dir[47].

2.3. Dedektörün Verimi

Bir parçacığın ölçülebilmesi; parçacığın enerjisine, etkileştiği ortamın şekline, yapıldığı malzemeye ve büyüklüğüne bağlı olarak değişmektedir. Şekil 2.6'da kaynaktan dedektöre gelen parçacıkların, dedektörle etkileşimleri verilmektedir. Şekil 2.6'da gösterildiği gibi parçacık dedektörle etkileşim yapmadan gidebilir (1), parçacık dedektörle etkileşerek soğurulabilir (2), parçacık ölçülemeyecek kadar küçük sinyal meydana getirebilir (3), parçacık dedektör penceresinden saçılarak dedektör ile etkileşmeyebilir (4) [48].



Şekil 2.6 : Kaynaktan dedektöre gelen parçacıkların dedektörle etkileşmeleri[48].

Dedektör verimi ikiye ayrılır. Birincisi mutlak (absolute) verim, ikincisi gerçek (intrinsic) verimdir. Mutlak verim (ϵ_{abs}) kaynaktan saçılan fotonların dedektör tarafından ölçülebilme olasılığını, gerçek verim (ϵ_i) dedektöre çarpan fotonların ölçülebilme olasılığını vermektedir. Mutlak verim dedektörde alınan sayıların kaynaktan yayımlanan gama ışınlarına oranıyla, gerçek verim de dedektör tarafından üretilen sinyallerin gelen gama ışınlarına oranıyla hesaplanmaktadır. Mutlak verim ve gerçek verim arasındaki ilişki denklem 2.2’de verilmektedir.

$$\epsilon_i = \frac{4\pi}{\Omega} \times \epsilon_{abs} \quad (2.2)$$

Burada Ω , dedektörün kapladığı katı açı olup dairesel bir dedektör için $\Omega = \pi a^2/d$ olarak verilir. Mutlak verim katı açıdan bağımsız radyasyon enerjisine, dedektörün kalınlığına ve materyaline bağlıdır[47,60].

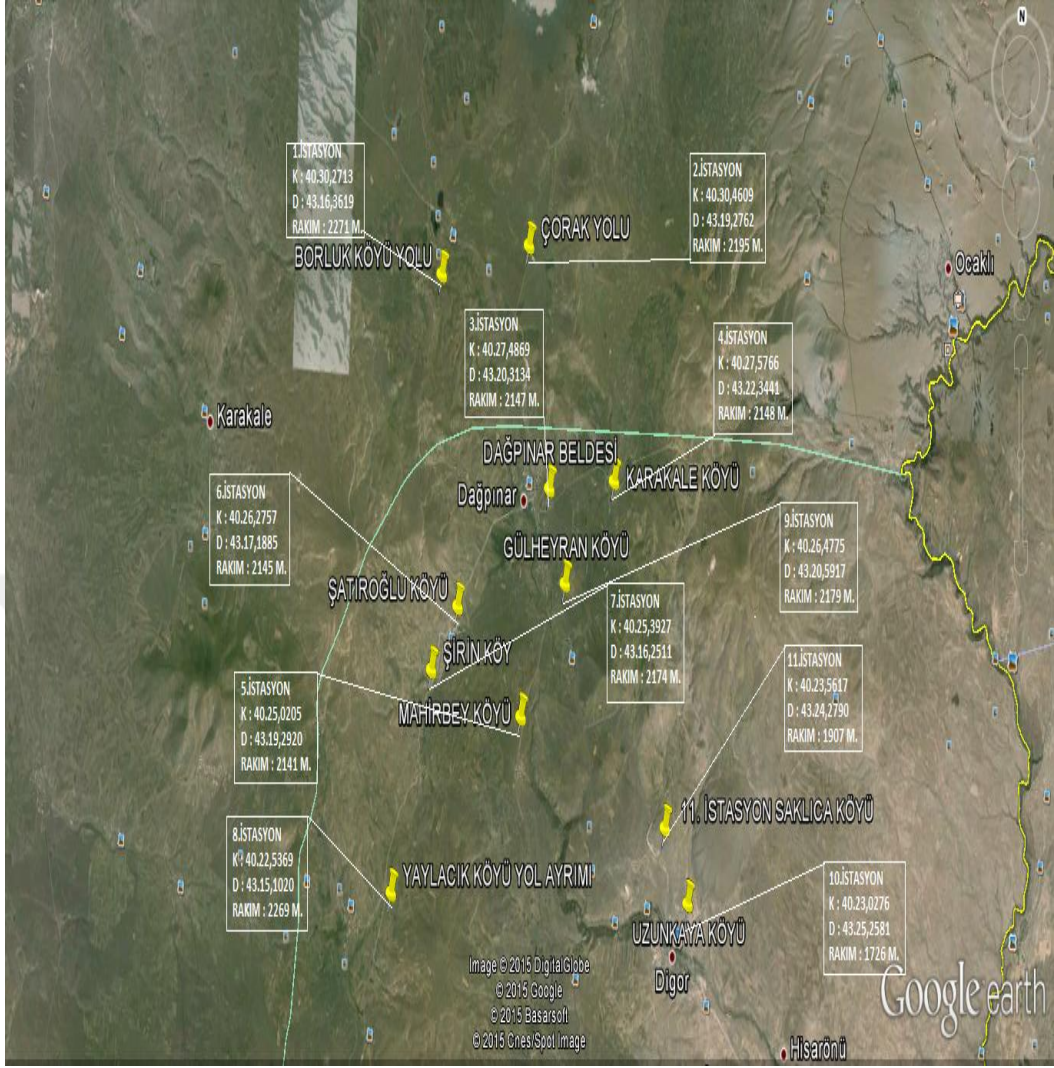
2.4. Deneysel Çalışmalar

Bu bölümde Kars ili Digor ilçesi ve çevre bölgesinden toprak ve mera bitki örneklerinin toplanıp analize hazırlanması, toprak ve mera bitki örneklerinin toplandığı istasyonlarının haritası ve örneklerin gama spektrometrik analizleri hakkında bilgi verilmektedir.

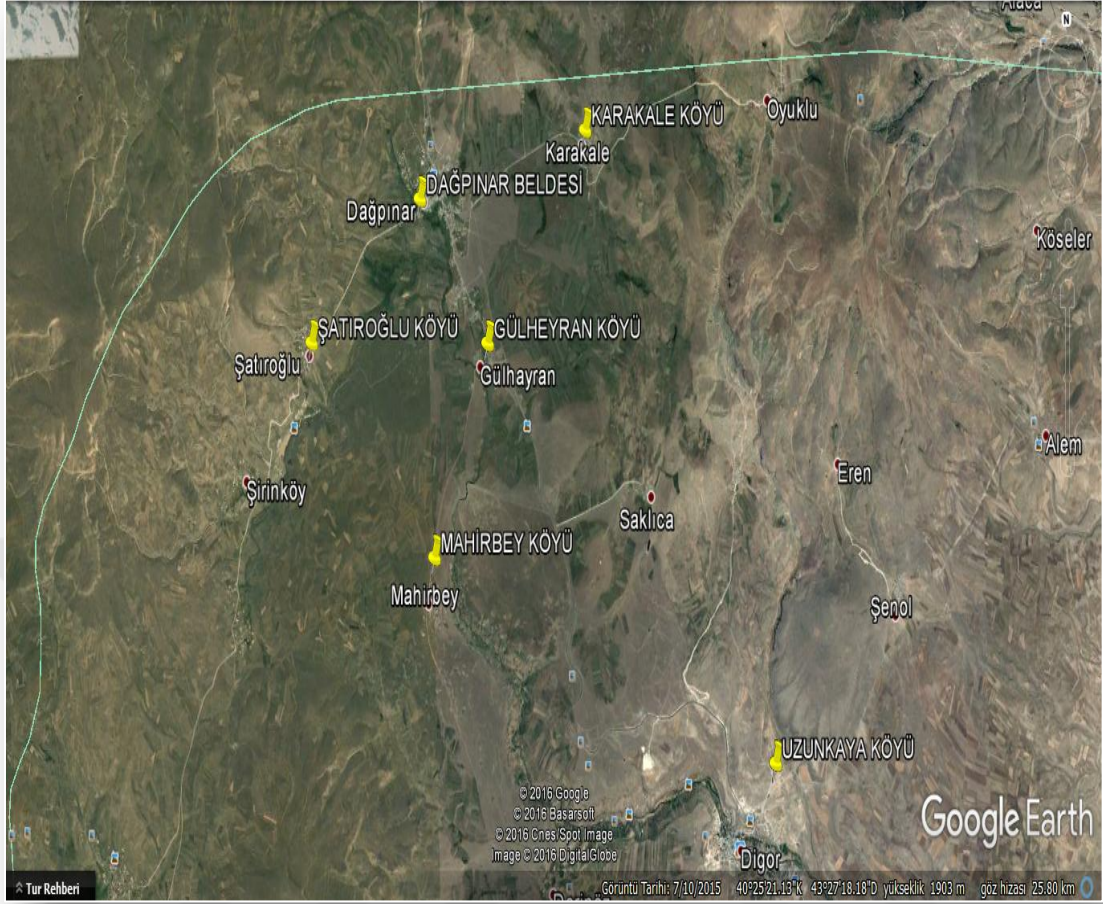
2.4.1. Ölçüm Sahası

Doğu Anadolu Bölgesi'nde, Kars ilinin bir ilçesi olan Digor'un doğusunda Ermenistan, batı ve kuzeyinde Kars merkez ilçe ve güney sınırında ise Kağızman ve Iğdır'ın Tuzluca ilçeleri bulunmaktadır. 40°22'32" Kuzey enlem ve 43°24'45" Doğu boylamları arasında yer alan ilçenin denizden yüksekliği 1.450 m ve yüzölçümü 1.136 km² olup, 2000 yılı yapılan nüfus sayımına göre toplam nüfus 25.125 kişidir. İlçe toprakları Erzurum-Kars Platosu'nun doğu ucunda yer almaktadır. İlçe, Anadolu'nun kuzey yarısındaki kıvrım sistemine bağlı olan dağlar nedeniyle engebelidir. İlçe topraklarını, Arpaçay ile Dumanlı Dağı'ndan doğan ve sonra Arpaçay Nehri ile birleşen Digor Çayı sulamaktadır. Bu akarsuların vadi tabanlarında da düzlükler yer almaktadır. İlçenin ekonomik yapısı tarım ve hayvancılığa dayanmaktadır. İlçede ekilebilen arazilerin ancak % 5'inde sulu tarım yapılabilmektedir. Kuru tarım arazisi 380.473 dekar, sulu tarım arazisi 18.000 dekar, çayırılık alan 15.000 dekar, mera arazisi 300.000 dekar, meyve bahçesi 48 dekar, çeltik 20 dekar, sebze 61 dekar, yem bitkileri 17.058 dekar, vasıfsız arazi 401.877 dekar ve her yıl nadasa bırakılan arazi ise 100.000 dekadır. İlçede 1000 adet kültür ırkı büyükbaş hayvan, 28.200 adet toplam büyükbaş hayvan, 69.000 adet küçükbaş hayvan, 2200 adet tek tırnaklı ve 16.300 adet kümes hayvanı bulunmaktadır[61].

Bu çalışmada Digor ilçesi ve çevresindeki 11 farklı istasyondan alınan toprak örnekleri ve toprak örneklerinin alındığı 7 farklı istasyondan alınan mera bitkileri örnekleri incelenerek doğal radyoaktivite konsantrasyonları deneysel olarak belirlenmiştir. Resim 1'de toprak numunelerinin alındığı istasyonlar ve Resim 2'de bitki numunelerinin toplandığı istasyonlar gösterilmiştir.



Resim 1 : Toprak numunesi alınan istasyonlar



Resim 2 : Mera bitki numunesinin alındığı istasyonlar

2.4.2. Toprak Örneklerinin Toplanması ve Sayıma Hazırlanması

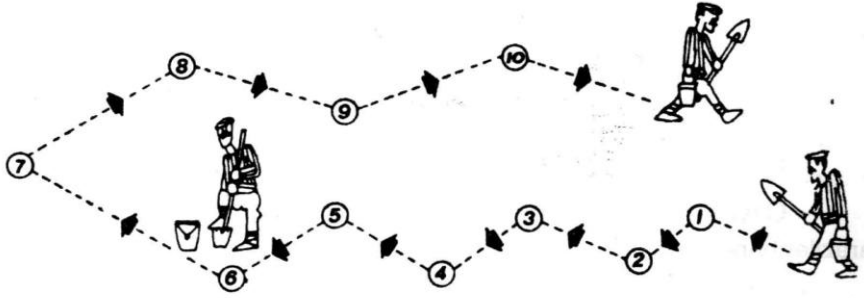
Doğal radyoaktivite konsantrasyonu belirlenmesi amacıyla toprak örneklerinin alınacağı arazinin bazı özelliklere sahip olması gerekir. Örneklerin toplandığı arazi açık ve düzlük olmalı, su geçirgenliği iyi, yüzeyinin otsuz veya yüksek bitkilerle kaplanmamış olmasıdır. Yerleşim bölgelerinden uzak, toprak yüzeyinin doğal afetlerden (sel, erozyon vb.) çok etkilenmemiş ve farklı türde yüzey bitkisine sahip olmalıdır. Ortalama konsantrasyonun belirlenmesi amacıyla mümkün olduğu kadar geniş bölgelerden paralel örnekler toplanmalı ve daha sonra ölçüm sonuçlarının tekrar kullanılması durumu göz önünde tutularak istasyonların koordinatlarının kaydedilmesi gerekir. 1-1,5 m²'lik alandan 25-30 cm derinliğe kadar inebilen, 10 cm çapında toprak alma kapasitesi

v.b. bir alet kullanılarak en az beş örnek alınmalı ve alınan her örnek arasında belirli bir mesafe bırakılmalıdır. Toplanan toprak örneklerinin her biri içindeki taş, ot gibi yabancı maddelerden arındırılarak şeffaf plastik torbalara doldurularak etiketlenmeli ve ölçüm yapılacak laboratuara taşınmalıdır. Kâğıt üzerine serilerek oda sıcaklığında kurutulan örnekler istenilen büyüklük ve homojenliğe ulaşması için bir öğütücü yardımıyla öğütülerek toz haline getirilip 2 mm gözenekli eleklerle elenmelidir. Elenmiş toprak örnekleri darası alınmış 65x55 mm ebatlı 5 cm yükseklikli plastik sayım kaplarına konularak, kuru ağırlıkları kaydedilir. Kapların ağızları sıkıca kapatılarak radyoaktif dengeye gelmeleri için 45 gün boyunca bekletilmelidir.

2.4.3. Mera Bitki Örneklerinin Toplanması ve Sayıma Hazırlanması

Mera otu ve diğer hayvan yemlerinin toplanmasında, toplanan otun geniş bir bölgeye yayılmış olması dolayısıyla o bölgeyi temsil etmesi gereklidir. Daha önce toprak örneklerinin alındığı yerler tercih edilerek toprak - bitki ilişkisi hakkında bilgi sahibi olunur. Örneklerin alınacağı arazinin yapısı göz önünde tutulmalı ve üzerinden normalin üstünde yağmur suyunun aktığı bitkiler örnek olarak seçilmemelidir. Birkaç parçaya bölünmüş araziden yaklaşık 4 kg topraktan arındırılmış örnekler ağzı kapalı plastik poşetlere konularak etiketlenir. Bu tezde olduğu gibi radyolojik açıdan toprak - bitki ilişkisinin belirlenmesine yönelik bir çalışma yapılacaksa bitki örnekleri kök, sap ve yaprak şeklinde kısımlara ayrılır. Ayrılmış olan kısımlar önce kurutulur daha sonra blender (öğütücü) yardımıyla 2 mm gözenekli elekten geçecek şekilde öğütülerek kuru ağırlıkları kaydedilir. Örnekler 300 °C' de kül fırınında beyaz kül haline gelene kadar yakılır ve kül ağırlıkları tartılarak kaydedilir. Soğumuş küller darası alınmış 65x55 mm ebatlı ve 5 cm yükseklikli plastik sayım kaplarına hava almayacak şekilde ağzı bantla sıkıca kapatılarak yaklaşık 45 gün süreyle radyoaktif çekirdeklerin kendi bozunum ürünleriyle dengeye gelmelerini sağlamak için bekletilir.

Şekil 2.7’de toprak ve mera bitki örneklerinin toplanmasına yönelik şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 2.7 : Toprak ve mera bitki numunelerinin alınmasının şematik gösterimi [48].

2.4.4. Analizlerde Kullanılan Gama Spektrometre Sisteminin Özellikleri

Gama spektrometrik analizler Kafkas Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Radyasyon Ölçüm Laboratuvarında, 3”×3” NaI(Tl) sintilasyon dedektörü ve Scintivision™-32(A35-B32) bilgisayar programı kullanılarak yapılmıştır. Resim 3’de NaI(Tl) dedektörü gösterilmektedir. NaI(Tl) dedektörü detaylı bir şekilde Bölüm 2.1.2’de tanıtılmıştır.



Resim 3: NaI(Tl) Sintilasyon Dedektörü

2.4.4.1. Enerji Kalibrasyonu

Çok kanallı analizöre gelen her bir puls yüksekliklerine göre bir kanalda sayım olarak sayılır ve her bir kanal bir enerji değerine karşı gelmektedir. Foto-çoğaltıcı tüpe uygulanan yüksek gerilim ve yükseltecin farklılıklarına göre puls yükseklikleri değişiklik gösterir ve buna karşılık gelen değeride değişmektedir. Bu yüzden, enerji kalibrasyonu yapmak zorunluluktur[60].

Her bir kanala karşılık gelen enerji değerlerine göre bilgisayar hafızasında toplanan spektrumlar analiz edilir. Analiz sayesinde numunede bulunan radyoaktif çekirdek türleri de bulunabilir.

Enerji kalibrasyonu MCA (Çok kanallı analizör) ile kalibre edilir. Kalibrasyon işleminden sonra MCA da kanal başına düşen enerji hesaplanır. Sonra bilinmeyen bir numunenin MCA da oluşacak piklerinin nitel olarak tanımlanmasında elde edilen kalibrasyon ifadesi kullanılmaktadır[58].

Değişik enerjilere sahip standart gama kalibrasyon kaynakları kullanılarak sayım sisteminin enerji kalibrasyonu yapılır. Tablo 2.1’de en çok kullanılan kalibrasyon kaynakları verilmektedir. 50-1500 keV enerji aralığında kaynaklar seçilirken olabildiğince tek veya az sayıda gama enerjili (enerji kalibrasyonu için değil fakat verim kalibrasyonu için önemli) uzun ömürlü kaynaklar tercih edilir[48,58].

Tablo 2.1: Enerji kalibrasyonu için önerilen izotopları [48].

Radyonüklid	Yarılanma süresi	E (keV)	f_{γ}
Am-241	432.70 yıl	59.54	0.359
Co-57	271.80 gün	122.06 - 136.47	0.855 - 0.106
Co-60	5.27 yıl	1173.24 - 1332.50	0.9990 - 0.9998
Cs-137	30.10 yıl	661.67	0.851
Mn-54	312.10 gün	834.84	0.99975
Na-22	1.61 yıl	1274.52	0.9994

Enerji kalibrasyonu yapılırken enerjisi bilinen radyoaktif kaynaklar dedektöre yerleştirilir ve yeterli verim alınana kadar sayım işlemi devam eder. Kullanılan kaynakların spektrumda oluşturduğu piklerin tepe noktalarına göre o enerjideki piklerin hangi kanallarda oluştuğu tespit edilir. Oluşan spektrumda gözlenen piklerden düşük ve yüksek enerjili bölgede bulunan en az ikisi seçilerek enerji değerlerine karşılık gelen kanal numaraları 2.3’deki denklemlerle kaydedilir.

$$\langle K \rangle = [\sum_{k=1}^N k(C_k - C_c)] / [\sum_{k=1}^N (C_k - C_c)] \quad (2.3)$$

Burada $\langle K \rangle$; pikin ağırlık merkezi, C_k ; k kanalındaki sayım değeri, C_c ; kanal başına ortalama Compton zemin sayım değeri, N ise pikin başlangıcından bitiş kanalına kadar olan kanal sayısı değeridir. Pratikte pik ağırlık merkezi yerine, pikin tepe noktasına karşılık gelen kanal numarası da kullanılabilir (en yüksek 2-3 sayımın alındığı kanalların ortalaması pikin tepe noktasını verir). Kanallardaki enerji değerleri, bir fonksiyona fit edilerek enerji kalibrasyonu eğrisinin denklemi elde edilir ve çok kanallı analizörün bütün kanalları kalibre edilmiş olur. Kalibrasyon eğrisi temelde doğrusal olmalıdır; fakat yükselticide ve doğrusal yükselticide çevirme ve yükseltmelerin tam doğrusal olmamasından kaynaklanan standart kaynaklarla elde edilen enerji değerleri doğrusallıktan sapabilir. Kalibrasyon eğrisinin denklemi, denklem 2.4' deki gibi üssel, logaritmik ve eksponansiyel bir denkleme eşitlenir.

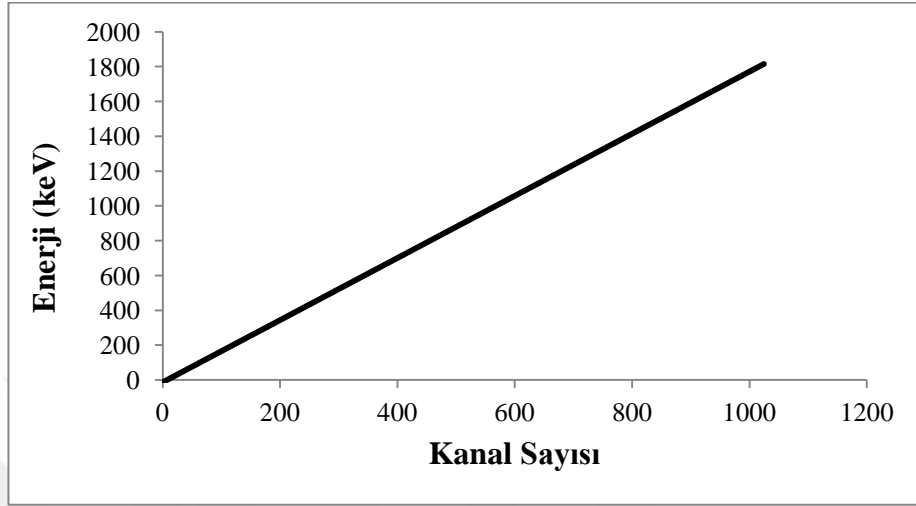
$$E = a_0 + a_1 \langle K \rangle + a_2 \langle K^2 \rangle + \dots \quad (2.4)$$

Burada E; ilgilenilen pikin enerjisi (keV), $\langle K \rangle$; kanal numarası, a_0 ; başlangıç kanalındaki enerji, a_1 ; eğim (keV/kanal) ve a_2 ; doğrusallıktan sapma katsayısı (keV/kanal²)'dir.

Bilinen enerji değerlerine karşılık gelen pik ağırlık merkezleri denklem 2.4'de yerine konarak [Kanal] ve [Enerji] grafiğinden enerji kalibrasyonunu belirleyen a_0 , a_1 ve a_2 sabitleri hesaplanır. Buna göre enerjinin kanal numarasına göre değişim gösteren birinci dereceden ($E=a_0+a_1\langle K \rangle$) veya ikinci dereceden ($E=a_0+a_1\langle K \rangle+a_2\langle K \rangle^2$) polinom denklemleri bulunmuş olur[58].

Çalışmada analizler için kullandığımız dedektör; standart kaynaklar ²⁴¹Am'in 59,54 keV'lik enerjisi, ⁵⁷Co'nin 122,07 keV'lik enerjisi, ¹³⁴Cs'ün 604,66 ve 795,76 keV'lik

enerjisi kullanılarak kalibre edildi. Şekil 2.9'de analizler için kullanılan NaI(Tl) dedektörünün enerji-kanal kalibrasyon grafiği verilmektedir.



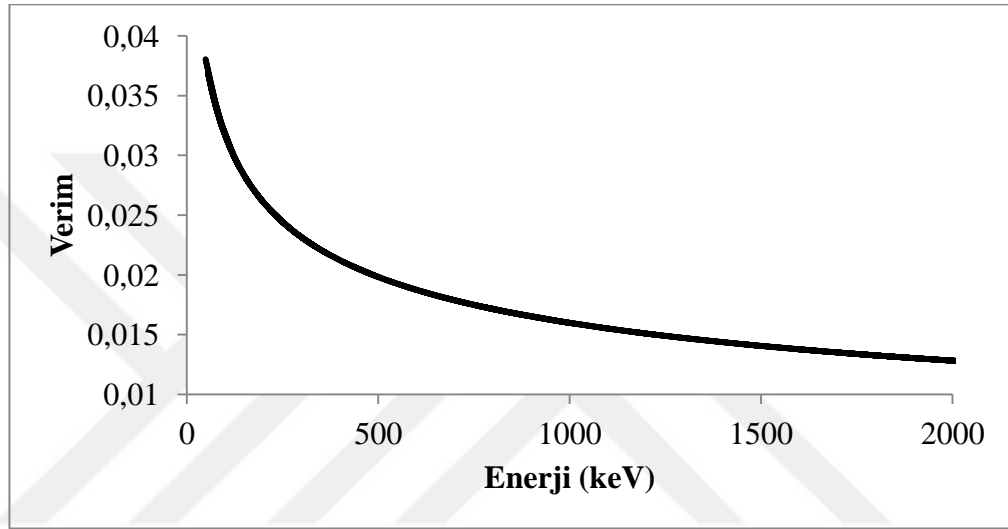
Şekil 2.8: NaI(Tl) dedektörünün enerji-kanal kalibrasyonu grafiği [58].

2.4.4.2. Verim Kalibrasyonu

Gama spektrometresinde tüm aşamalar bittikten sonra belirlenmesi gereken en önemli parametre verimdir. Dedektör verimi, dedektörde sayılabilir büyüklükte puls üreten fotonların sayısının, gelen fotonların sayısına oranı veya dedektörde sayılabilir büyüklükte puls üreten fotonların yüzdesi olarak tanımlanır. Verim hesabı için, kesin olarak bilinen aktivite, belirli geometri ve yoğunluklarda standart kaynaklar kullanılır. Gama enerjileri için bilinen standart kaynaklarla alınan spektrumdan dedektör verimi denklem 2.5'deki ifadeden yararlanılarak gama aktiviteleri (A) belirlenir.

$$\epsilon_{\gamma} = \frac{N}{A \cdot \gamma \cdot t_s \cdot K} \quad (2.5)$$

Burada, N ; ilgilenilen tam enerji pikinin (fotopik) düzeltilmiş net alanı, A ; ilgili fotopikin ait olduğu radyonüklidin aktivitesi, γ ; ilgilenilen fotopikin E_γ enerjisine karşılık gelen gama yayınlanma ihtimali, t_s ; numune spektrumunun elde edilmesi için geçen saniye cinsinden sayım süresi, K ; düzeltme faktörüdür[48]. Bu işlem çok sayıda gama enerjileri için yapılarak verim değerleri ile enerji grafiği elde edilir. Şekil 2.10'de NaI(Tl) dedektörünün mutlak verim eğrisi gösterilmektedir.



Şekil 2.9 : NaI(Tl) dedektörünün mutlak verim eğrisi [58].

2.4.4.3. Pik Alanı Hesabı

Gama spektrometresi kullanılarak yapılan ölçümlerde fotopik alanı doğru alınmamışsa, diğer yapılan işlemler ne kadar hassas olursa olsun aktivite ölçümleri ya da nicel analizler hata verir. Net fotopik alanı bulunurken farklı yöntemler kullanılabilir. Burada verilen fotopik alanı hesabı, ilgilenilen pike diğer bitişik piklerden hiçbir girişimin olmadığı durumda geçerli olan yaygın bir yöntemdir [58].

Fotopik alanı, bilinen enerjideki pikin sürekli Compton fotonunun (background) üstündeki toplam sayım olarak verilir. Bu pik alanının hesaplanmasında Covell metodu ile önce pikin uç noktalarındaki kanal sayısı tespit edilir. Daha sonra her bir kanalda biriken sayımların toplamından doğal fon alanı çıkarılarak net pik alanı (N_p) hesaplanır. Şekil 2.11’de verilen tek örnekte tek bir pik üzerindeki pik alanı gösterilmiştir.

$$\text{Net Pik Alanı}(N_p) = \text{Toplam Alan} - \text{Doğal Fon Alanı} \quad (2.6)$$

$$\text{Toplam Alan} = \sum_{i=u}^v X_i \quad (2.7)$$

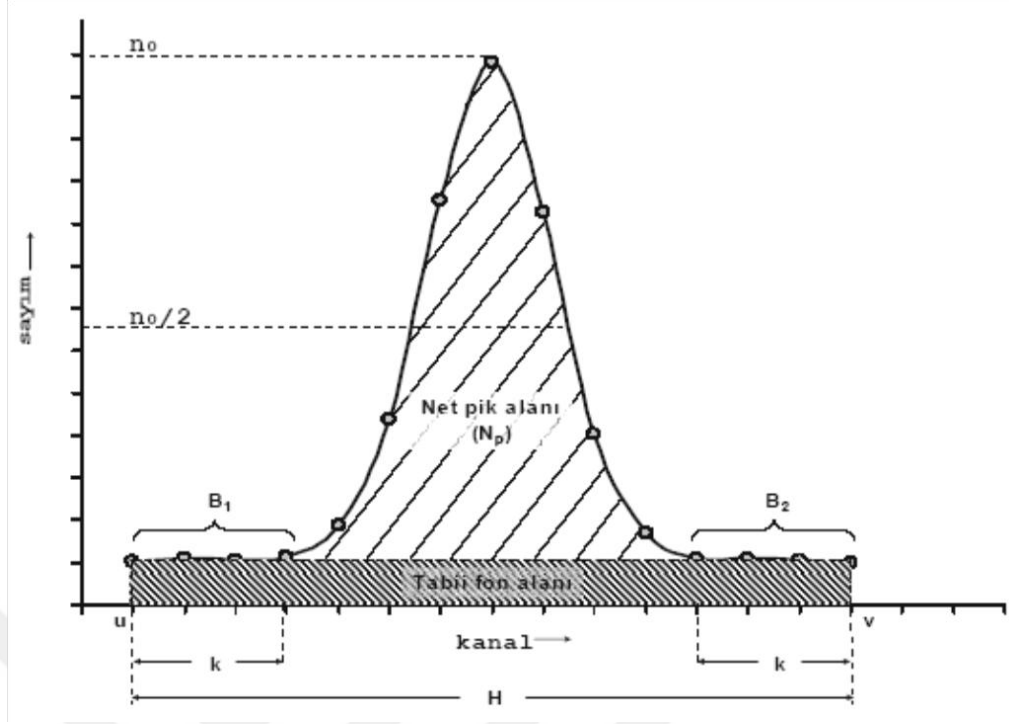
$$\text{Doğal Fon Alanı} = \frac{H}{2} \times (B_1 + B_2) \quad (2.8)$$

$$\text{Net Pik Alan} = \sum_{i=u}^v X_i - \left\{ \frac{H}{2} \times (B_1 + B_2) \right\} \quad (2.9)$$

$$B_1 = \frac{1}{k} \left\{ \sum_{i=u}^{u+k-1} X_i \right\} \quad (2.10)$$

$$B_2 = \frac{1}{k} \left\{ \sum_{i=v-k+1}^v X_i \right\} \quad (2.11)$$

(2.6), (2.7), (2.8) ve (2.9) denklemleriyle net pik alanı hesaplanır. Burada u; pikin başlangıç kanal numarasını, v; pikin bitiş kanal numarasını, H; piki oluşturan tüm kanalların sayısını ($H=v-u+1$), x_i ; i. kanaldaki sayım miktarını ve B_1 ve B_2 sırasıyla pikin sağ ve sol tarafındaki doğal fon ortalama sayım miktarını, k; pikin sağ ve sol uç taraflarında devam eden ve süreklilik gösteren kanalların sayısını göstermektedir (Şekil 2.11) ve 2.10 ve 2.11 denklemleriyle hesaplanmaktadır [48].



Şekil 2.10 : Gama pik alanının hesaplanmasında kullanılan parametrelerin gösterimi [48].

2.4.4.4. Standartla Karşılaştırma Yöntemi

Standartla karşılaştırma yöntemi, bir örneğin radyoaktivitesinin belirlenmesi için; aktivitesi bilinen, aynı radyonüklidlere, aynı geometride, benzer matrise ve yoğunluğa sahip bir referans örneğin sayımının kullanıldığı alternatif ve güvenilir bir yöntemdir [47].

Standartla karşılaştırma yöntemine göre, ölçeceğimiz örneklerin geometrisi ile aynı geometride daha önceden aktivitesi bilinen aktif uranyum, toryum ve potasyum standartları ölçülür, sayım hızları bulunur ve sonra aynı geometride hazırlanan örnekler ölçülür. Bilinen standardın aktivitesi için sayım hızları oranından örneklerin aktivitesi kolaylıkla ve güvenli bir şekilde bulunabilir [48].

$$\frac{A_s}{A_x} = \frac{(Sayım)_s t_x m_x}{(Sayım)_x t_s m_s} \quad (2.12)$$

Denklem 2.12 da verilen, A_s : Standardın aktivitesi, A_x : Örneğin aktivitesi, m_s : Standardın kütlesi, m_x : Örneğin kütlesi, t_s : Standardın sayım süresi, t_x : Örneğin sayım süresini ifade etmektedir. Sayım/t= Sayım hızı olarak alınırsa örneğin aktivitesi;

$$A_x = A_s \times \frac{(sayım hızı)_x m_s}{(sayım hızı)_s m_x} \quad (2.13)$$

denklemleri ile bulunur. Bu yöntem sayesinde, sayım hızları oranlanırken dedektör verimlerinin birbirini yok etmesi ve bunun sonucunda verime bağlı hataların ortadan kalkması, düzeltilmesi zor olan gerçek çakışma düzeltmeleri gibi sonuca fazladan belirsizlik getiren bazı düzeltmelerin ortadan kalkması sağlanır[47, 48].

2.4.4.5. Belirsizlik Hesabı

Ölçüm sonucu ile beraber yer alan ve ölçülen büyüklüğe karşılık gelebilecek değerlerin dağılımını belirlemek için kullanılan parametredir. Diğer bir deyişle, yapılan ölçümlerde, ölçülen değeri etkileyen faktörlerin dağılımının toplamıdır. Belirsizlik faktörleri yapılan ölçüm ve kullanılan deneysel aletlerin türüne göre değişir [62]. Bu çalışmada her bir örneğin aktivitesindeki belirsizlik denklem 2.14 ile hesaplanmıştır.

$$U = A_{\text{örnek}} \sqrt{(U_{A \text{ ref}})^2 + \frac{(U_{CPS \text{ örnek}})^2 + U_{CPS \text{ doğal fon}}^2}{(U_{CPS \text{ örnek}} - U_{CPS \text{ doğal fon}})^2} + \frac{(U_{CPS \text{ ref}})^2 + U_{CPS \text{ doğal fon}}^2}{(U_{CPS \text{ ref}} - U_{CPS \text{ doğal fon}})^2}} \quad (2.14)$$

Burada;

U; mutlak belirsizlik,

$U_{A\text{ ref}}$; referans kaynak aktivitesinin bağıl belirsizliği,

$U_{\text{CPS örnek}}$; örnek sayım hızı belirsizliği,

$U_{\text{CPS doğal fon}}$; doğal fon sayım hızı belirsizliği,

$U_{\text{CPS ref}}$; referans kaynak sayım hızı belirsizliği,

$\text{CPS}_{\text{örnek}}$; örnek sayım hızı,

$\text{CPS}_{\text{doğal fon}}$; doğal fon sayım hızı,

CPS_{ref} ; doğal fon sayım hızı,

$A_{\text{örnek}}$;örneğin aktivitesidir.

2.4.4.6. Dahili (İnceltme / Zayıflama) Düzeltme Faktörleri

İncelenen örnekteki radyoizotop tarafından yayınlanan gama ışını, Compton saçılımı, fotoelektrik etki ve örnek içinde çift üretimi gibi etkileşimlere sahip olabilir[63].

Bu etkileşimlerin bir sonucu olarak, gama ışını örnek içinde zayıflar. Gama ışını zayıflaması doğrudan örneğin geometrisi ve doğrusal zayıflatma katsayısı ile ilgilidir. Ayrıca, incelenen örnekteki lineer zayıflamanın temel nedenleri; incelenen örneğin yoğunluğu ve örneğin kimyasal yapısıdır. Örnek içinden geçen gama ışınının zayıflaması aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$I = I_0 e^{-\mu_L d} \quad (2.15)$$

Yukarıdaki formülde;

I_0 ; incelenen örneğe gelen gama ışını şiddeti,

I ; d (cm) kalınlığındaki numune içinden geçtikten sonraki gama ışınının şiddeti ve μ_L (cm^{-1}) malzemenin doğrusal zayıflatma katsayısıdır.

μ ; incelenecek örneğin kimyasal yapısı ve yoğunluğu kullanılarak elde edilir. Dahili zayıflatma faktörü kullanılarak verim hesabı yapılabilir.

İncelenen toprak ve mera otu örneklerinin kütle zayıflatma katsayıları (μ ve μ_{ot} , cm^2/g) ilgilenilen enerjilerde, örneklerin kimyasal bileşenleri (yapısı) kullanılarak, xcom yazılım paketi kullanılarak elde edilir[64].

Bu çalışmada xcom yazılım paketi kullanılarak seçilen enerjilerdeki toprak örneğinin ve mera otuna ait kütle zayıflatma katsayıları sırasıyla, μ ve μ_{ot} (cm^2/g); yoğunlukları ρ ρ_{ot} (g/cm^3) ve plastik numune kapları içindeki yükseklikleri h ve h_{ot} (cm) değerleri aşağıdaki (2.16) denkleminde yerine yazılarak, Mera- otu örneklerinin dahili zayıflatma faktörü (F_z);

$$F_z = \frac{1 - e^{-\mu_{ot}\rho_{ot}h_{ot}}}{\mu_{ot}\rho_{ot}h_{ot}} \times \frac{\mu\rho h}{(1 - e^{-\mu\rho h})} \quad (2.16)$$

değerleri ile hesaplanır.

Toprak ve mera otu örneklerinin yoğunlukları sırasıyla, 1.50 ve 0.60 g/cm^3 ve toprak ve mera-otu örneklerinin yükseklikleri ise sırasıyla, 5 ve 2.6 cm'dir. Bu amaçla 583, 609, 1764 ve 2614,5 keV gama enerjileri için doğrusal zayıflatma katsayıları (μ_L) sırasıyla, 0,070; 0,069; 0,052; 0,046; 0,042 ve 0,035 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca dahili zayıflatma düzeltme katsayıları da yukarıda verilen gama enerjileri için sırasıyla, 1.25; 1.24; 1.17; 1.15; 1.13 ve 1.10 olarak bulunmuştur.

3. BULGULAR

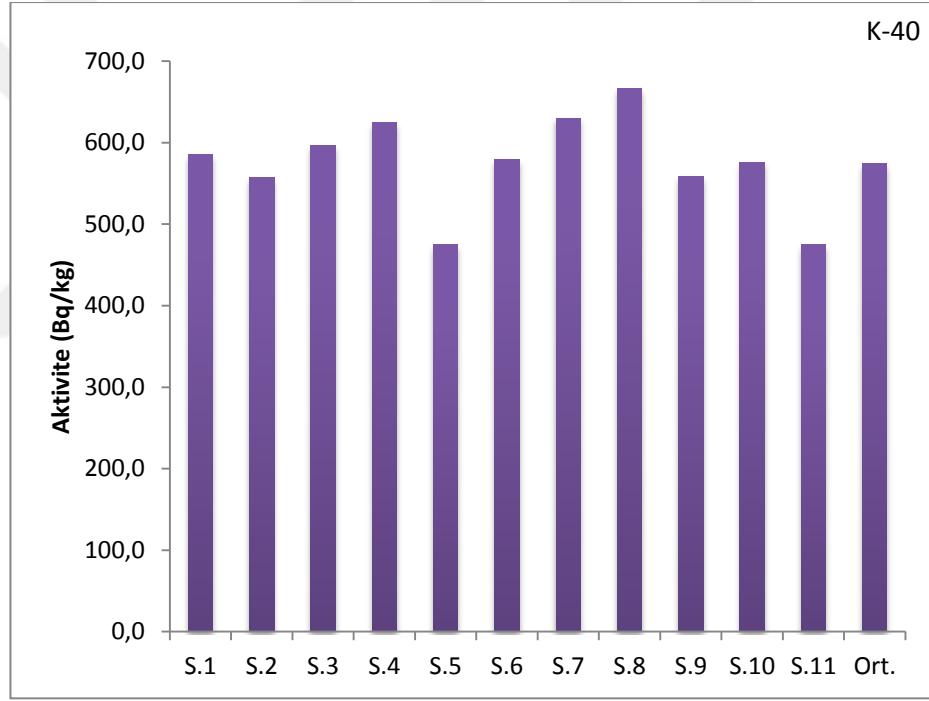
Digor ilçesi ve çevre köylerinden toplanan topraktaki ve bu toprakta yetişen mera bitkilerindeki doğal ve yapay radyonüklitlerin aktivitelerinin belirlenmesi amacıyla yapılan bu çalışmada bulunan sonuçlar verilmiştir. Ayrıca insanların topraktaki doğal radyonüklitlerin varlığı nedeniyle maruz kaldıkları radyolojik tehlike indisleri hesaplanmıştır.

3.1. Digor İlçesi Toprak Örneklerinin Doğal Radyoaktivite Seviyelerinin Belirlenmesi

Digor ilçesi ve çevresinin toprak örneklerinin içerdikleri doğal radyonüklitlerin konsantrasyonlarının belirlenmesi amacıyla, 11 farklı istasyondan toplam 55 adet toprak örneği alınarak gama spektrometrik analizleri yapılmıştır. Bu analizlerde ^{226}Ra ve ^{232}Th doğal radyasyon serilerinin elemanlarının ve ^{40}K radyoizotopunun aktivite konsantrasyonları belirlenmiştir. Ayrıca doğada doğal olarak bulunmayan, nükleer denemeler ve kazalar sonucu çevreye yayılan bir fisyon ürünü olan, ^{137}Cs radyoizotopunun konsantrasyonu da tespit edilmiştir. Toprak örneklerinin gama spektrometrik analizleri NaI(Tl) sintilasyon dedektörü ile yaklaşık 24 saat boyunca sayılarak yapılmıştır. Aktivite konsantrasyonlarının hesabı için, çeşitli enerjilerdeki karşılık gelen fotopikler dikkate alınarak, her bir fotopikin altında kalan alanlar seçilmiştir. Net pik alanı hesaplanırken dışarıdan gelecek katkıların hesaplanması için, sistemi değiştirmeden aynı zaman aralığında dedektörde örnek olmadan doğal fon ölçümü yapılmıştır. ^{40}K ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonlarının hesaplanması için sırasıyla 1460 keV ve 661 keV gama pikleri analiz edilmiştir. ^{226}Ra konsantrasyonu, ^{214}Bi 'den 609, 1120 ve 1764,5 keV gama ışınlarının ölçülmesi ile tespit edilirken, ^{208}Tl 'den 583 ve 2614,5 keV' deki gama ışınları ise ^{232}Th 'nin aktivite konsantrasyonunun belirlenmesi için kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar; Türkiye'de ve Dünyada yapılan bazı çalışmalarda bulunan sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

3.1.1. Toprak Örneklerinde ^{40}K 'nın Aktivite Konsantrasyonu

1460 keV' de %11 bollukta bulunma piki olan ^{40}K , önceden bahsedildiği gibi bozunum serilerine ait olmadığından tek başına doğada bulunmaktadır. 11 farklı istasyondan aldığımız ve üzerinde çalıştığımız 55 adet toprak örneklerinde ^{40}K 'ın radyoaktivite konsantrasyonu $474,5 \pm 0,0 \text{ Bqkg}^{-1}$ ile $666,5 \pm 9,2 \text{ Bqkg}^{-1}$ değerleri arasında olup ortalama aktivite konsantrasyonu ise $574,7 \pm 7,4 \text{ Bqkg}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Şekil 3.1'de çalışma alanlarından alınan toprak örneklerindeki, ^{40}K 'a ait aktivite konsantrasyonlarının, istasyonlara göre dağılımı verilmektedir.



Şekil 3.1 : Digor bölgesinden alınan toprak örneklerindeki K-40 dağılımı

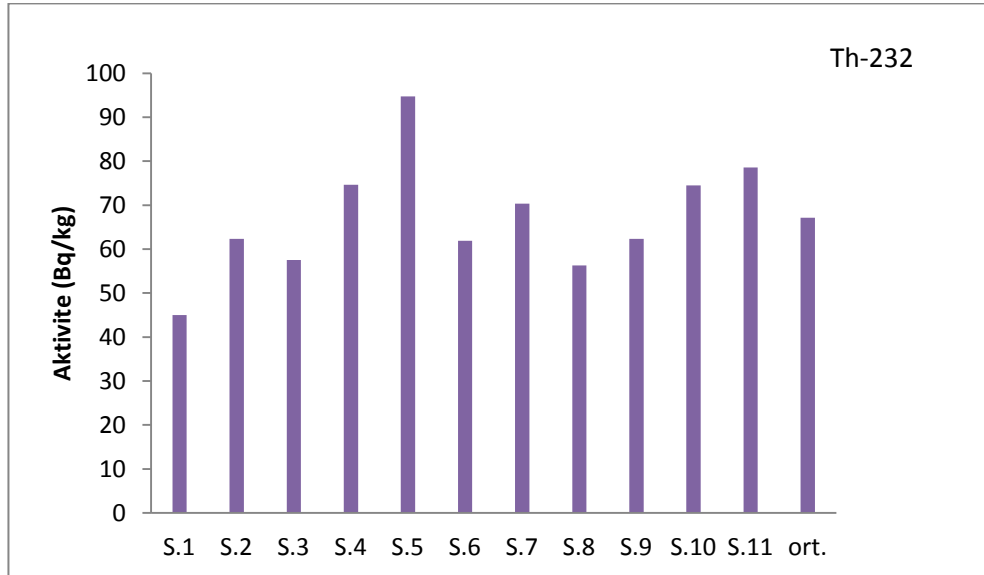
Yapılan benzer çalışmalarda ^{40}K 'ın ortalama aktivite konsantrasyonu, Samsun ili toprak örneklerinde $525,07 \pm 22,81 \text{ Bqkg}^{-1}$ [23], Kastamonu toprak örneklerinde $431,43 \text{ Bqkg}^{-1}$ [24], İç Anadolu bölgesi topraklarında $512,3 \pm 19,0 \text{ Bqkg}^{-1}$ [26], Kars merkez, Selim, Sarıkamış, Akyaka, Arpaçay ve Susuz ilçeleri toprak örneklerinde sırasıyla, 771,57;

562±132; 448,7±34,6; 483,8±20,5; 383,0±19,3 ve 510,4±21,2 Bqkg⁻¹[65 - 67] ve Iğdır ilinin toprak örneklerinde 333 Bqkg⁻¹[68] olarak hesaplanmıştır.

3.1.2. Toprak Örneklerinde ²³²Th'nin Aktivite Konsantrasyonu

²³²Th'nin radyoaktivite konsantrasyonu bulunurken, bozunum serisindeki ²⁰⁸Tl aktivitesinin %30,7 ve %35,6 bollukta bulunma olasılığı olan 583 keV ve 2614,5 keV'deki enerji pikleri kullanılmıştır.

Çalıştığımız istasyonlardan alınan toprak örneklerinde ²³²Th'nin aktivite konsantrasyonu 44,98±14,73 Bqkg⁻¹ ile 94,72±15,29 Bqkg⁻¹ değerleri aralığında değişmekte olup, ortalama aktivite konsantrasyonu 67,11±13,77 Bqkg⁻¹ olarak tespit edilmiştir. Şekil 3.2'de Digor bölgesinden alınan toprak örneklerindeki, ²³²Th aktivite konsantrasyonlarının istasyonlara göre dağılımı verilmektedir.



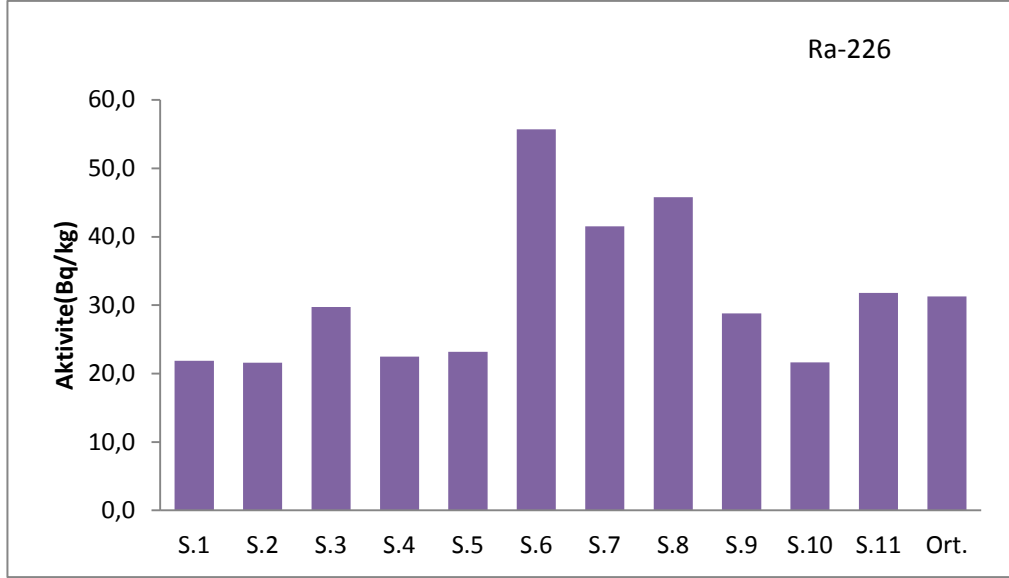
Şekil 3.2 : Digor bölgesinden alınan toprak örneklerindeki Th-232 dağılımı.

^{232}Th 'nin ortalama aktivite konsantrasyonu; Samsun ili toprak örneklerinde $22,06\pm 4,18$ Bqkg^{-1} [23], Kastamonu toprak örneklerinde $23,56$ Bqkg^{-1} [24], İç Anadolu bölgesi toprak örneklerinde $46,6\pm 2,1$ Bqkg^{-1} [26] Kars merkez, Selim, Sarıkamış, Arpaçay, Akyaka ve Susuz ilçeleri toprak örneklerinde sırasıyla, $51,08$; $57,94\pm 14,61$; $30,7\pm 6,8$; $23,3\pm 4,8$; $29,9\pm 4,9$ ve $29,9\pm 5,0$ Bqkg^{-1} [65 - 67] ve Iğdır ili toprak örneklerinde 18 Bqkg^{-1} [68] olarak hesaplanmıştır.

3.1.3. Toprak Örneklerinde ^{226}Ra (^{238}U)'nin Aktivite Konsantrasyonu

Bu çalışmamızda ^{226}Ra 'ın aktivite konsantrasyonu ^{238}U 'in bozunma ürünü olan ^{214}Bi 'ün bulunma bollukları %49, %15 ve %16 olan sırasıyla, 609 keV, 1120 keV ve 1764 keV' deki enerji piklerinden yararlanılmıştır.

İncelediğimiz toprak örneklerinde değişik konsantrasyonlarda ^{226}Ra radyoizotopuna rastlanmıştır. ^{226}Ra 'ın aktivite konsantrasyonu Digor ilçesinden alınan toprak örneklerinde $21,6\pm 7,0$ Bqkg^{-1} ile $55,7\pm 8,2$ Bqkg^{-1} değerleri arasında olup, ortalama aktivite konsantrasyon değeri ise $31,3\pm 8,4$ Bqkg^{-1} olarak tespit edilmiştir. Şekil 3.3'de Digor bölgesinden alınan toprak örneklerinde ^{226}Ra (^{238}U)'nin aktivite konsantrasyonlarının dağılımı verilmektedir.



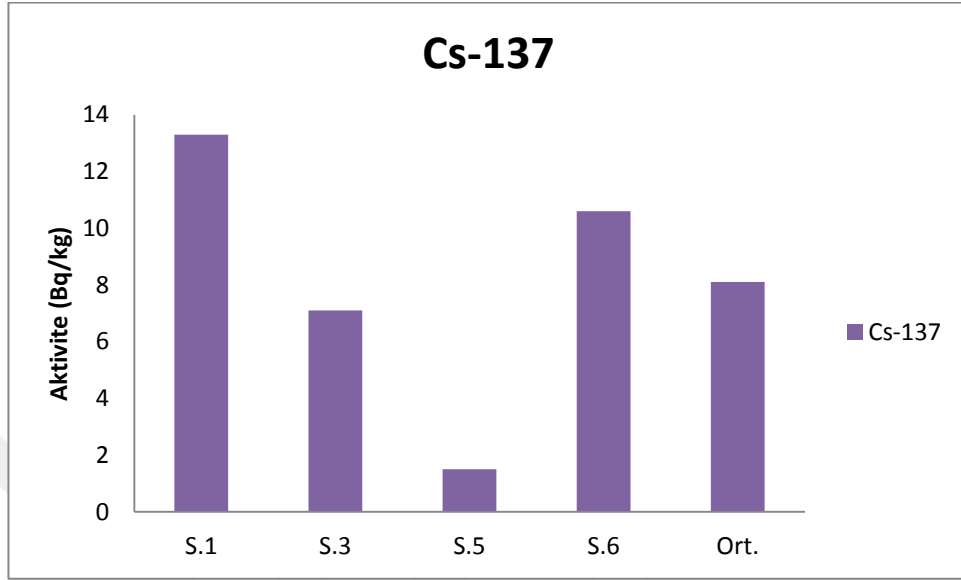
Şekil 3.3 : Digor bölgesinden alınan toprak örneklerindeki Ra-226 dağılımı.

^{226}Ra (^{238}U) aktivite konsantrasyonu; Samsun ili topraklarında $18,64 \pm 1,96 \text{ Bqkg}^{-1}$ [23], Kastamonu toprak örneklerinde $37,4 \text{ Bqkg}^{-1}$ [24], İç Anadolu bölgesi topraklarında $37,6 \pm 1,9 \text{ Bqkg}^{-1}$ [26], Kars merkez, Selim, Sarıkamış, Akyaka, Arpaçay ve Susuz ilçeleri toprak örneklerinde sırasıyla, $47,8$; $19,9 \pm 7,5$; $17,9 \pm 7,7$; $31,3 \pm 7,4$; $28,9 \pm 6,8$ ve $37,7 \pm 7,2 \text{ Bqkg}^{-1}$ [65 - 67] ve Iğdır ili olarak toprak örneklerinde 19 Bqkg^{-1} [68] olarak tespit edilmiştir.

3.1.4. Toprak Örneklerinde ^{137}Cs 'nin Aktivite Konsantrasyonu

Doğada doğal olarak bulunmayan ^{137}Cs fisyon ürünüdür. Bazı nükleer kazalar ve nükleer denemeler sonucu doğaya yayılmıştır. 662 keV 'de %85 bollukta piki olan ^{137}Cs 'nin yarılanma ömrü 30,17 yıldır. Çalışma yaptığımız toprak örneklerinden bazılarında ^{137}Cs 'nin değişik konsantrasyonlarında radyoizotopuna rastlanmıştır. Digor ilçesinden alınan toprak örneklerindeki ^{137}Cs 'nin aktivite konsantrasyonu 0 ile $13,3 \pm 1,5 \text{ Bqkg}^{-1}$ değerleri arasında ortalama konsantrasyonu ise $8,1 \pm 1,4 \text{ Bqkg}^{-1}$ olarak tespit

edilmiştir. Şekil 3.4’de Digor ilçesinden alınan toprak örneklerinde ^{137}Cs ’nin dağılımı verilmektedir.



Şekil 3.4 : Digor bölgesinden alınan toprak örneklerindeki Cs-137 dağılımı.

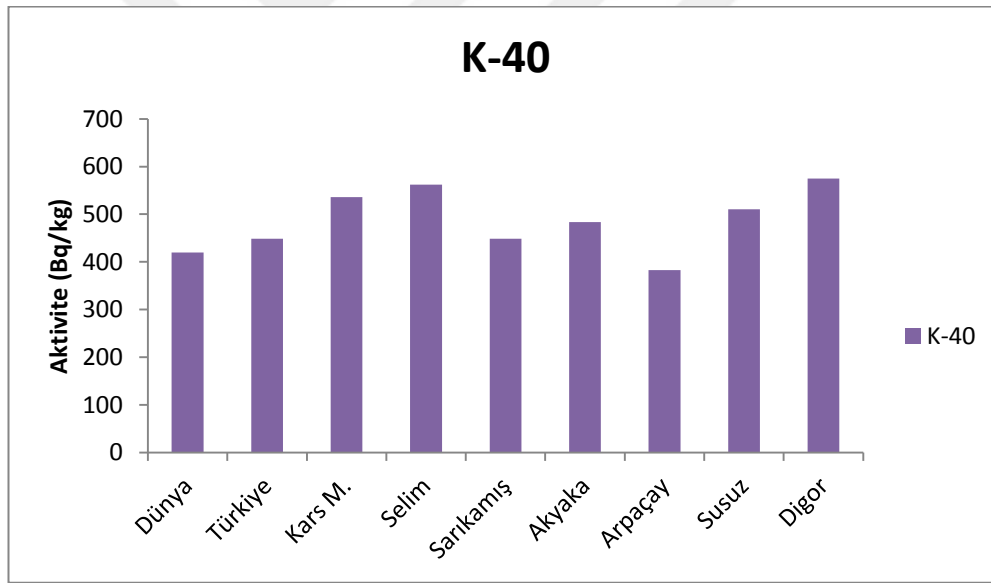
^{137}Cs ’nin ortalama aktivite konsantrasyonu Samsun ili toprak örneklerinde $14,85 \pm 1,32 \text{ Bqkg}^{-1}$ [23], Kastamonu toprak örneklerinde $8,02 \text{ Bqkg}^{-1}$ [24], İç Anadolu bölgesi topraklarında $13,6 \pm 1,6 \text{ Bqkg}^{-1}$ [26], Kars merkez, Selim, Sarıkamış, Akyaka, Arpaçay ve Susuz ilçeleri toprak örneklerinde sırasıyla, 18 ; $6,1 \pm 1,2$; $5,8 \pm 1,0$; $8,0 \pm 2,5$; $21,7 \pm 3$ ve $8,0 \pm 2,5 \text{ Bqkg}^{-1}$ [65 - 67] olarak belirlenmiştir.

3.1.5. Toprak Örneklerinde Belirlenen Radyoaktivite Seviyelerinin Değerlendirilmesi

Şekil 3.5, 3.6, 3.7 ve 3.8’de Dünya, Türkiye, Kars Merkez, Selim, Sarıkamış, Akyaka, Arpaçay, Susuz ve Digor İlçesi topraklarında ^{40}K , ^{232}Th , ^{226}Ra (^{238}U) ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonlarının ortalama değerleri verilmektedir[65].

Literatürde ^{40}K aktivite konsantrasyonunun ortalama değerleri; Dünya, Türkiye ve Kars il merkezi, Selim, Sarıkamış, Akyaka, Arpaçay ve Susuz ilçeleri için sırasıyla; 420; 448,5±7,3; 536±52; 562±132; 448,7±34,6; 483,8±20,5; 383,0±19,3 ve 510,4±21,2 Bqkg⁻¹ olarak verilmiştir[65 - 67]. Çalışmamızda elde ettiğimiz sonuçlarla ^{40}K 'ın ortalama aktivite konsantrasyonu Digor ilçesi için 574,7±7,4 Bqkg⁻¹ olarak hesaplanmıştır.

Hesaplamaların sonuçlarını karşılaştırdığımızda Şekil 3.5'den de görüldüğü gibi Digor ilçesinin ^{40}K ortalama aktivite konsantrasyonu, Dünya, Türkiye, Kars Merkez, Selim, Sarıkamış, Akyaka, Arpaçay ve Susuz ilçelerinin ortalama aktivite konsantrasyon değerlerinin üzerinde olduğu görülmektedir.

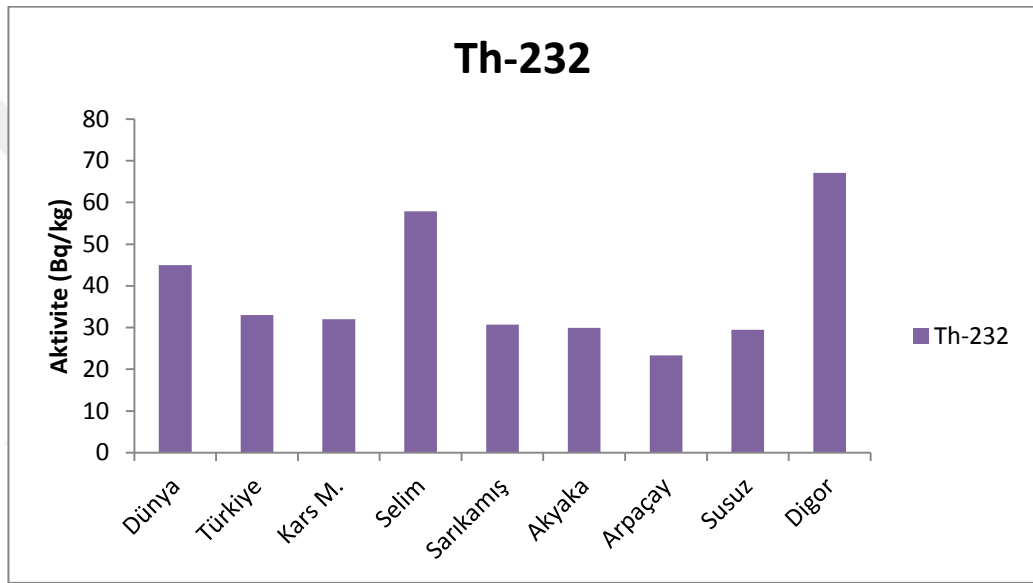


Şekil 3.5 : Topraktaki K-40 aktivite konsantrasyonlarının Dünya, Türkiye, Kars M., Selim, Sarıkamış, Akyaka, Arpaçay, Susuz ve Digor ilçelerine ait ortalaması [65 - 67].

Yapılan çalışmalarda ^{232}Th 'nin ortalama aktivite konsantrasyonu Dünya, Türkiye, Kars il merkez, Selim, Sarıkamış, Akyaka, Arpaçay, Susuz ilçeleri için sırasıyla; 45; 33±0,7; 32±6; 57,9±14,6; 30,7±6,8; 29,9±4,9; 23,3±4,8 ve 29,5±5,0 Bqkg⁻¹ olarak tespit

edilmiştir[65 - 67]. Çalışmamız sonucunda elde ettiğimiz ^{232}Th 'nin ortalama aktivite konsantrasyonu Digor ilçesi için $67,1\pm 13,7 \text{ Bqkg}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır.

Elde ettiğimiz sonuçları karşılaştırdığımızda Şekil 3.6'dan da görüldüğü gibi Digor ilçesi ^{232}Th ortalama aktivite konsantrasyonu Dünya, Türkiye, Kars il merkezi, Selim, Sarıkamış, Akyaka, Arpaçay ve Susuz ilçelerine ait değerlerinin üzerinde olduğu görülmektedir.

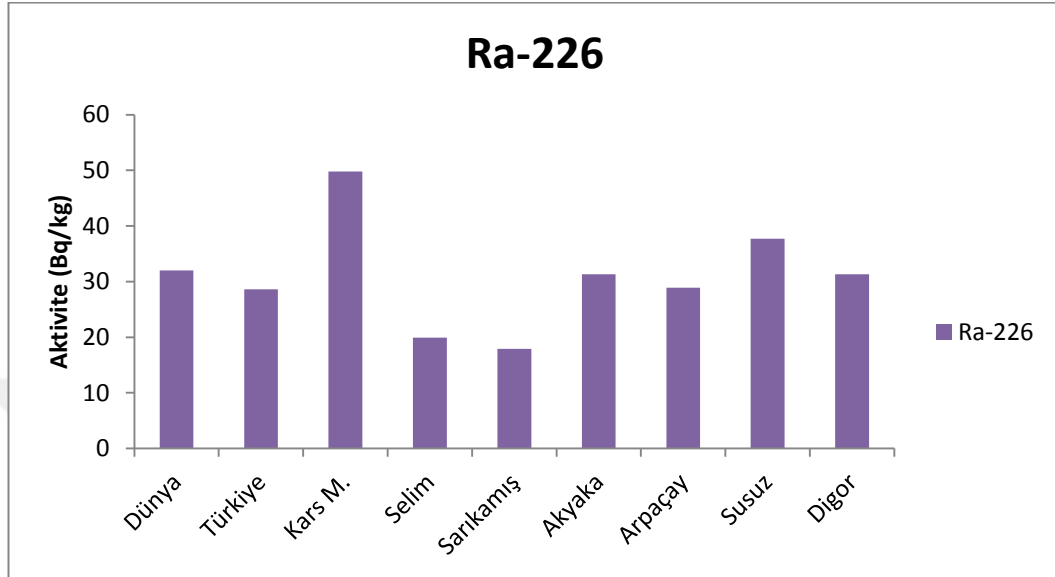


Şekil 3.6 : Topraktaki Th-232 aktivite konsantrasyonlarının Dünya, Türkiye, Kars M., Selim, Sarıkamış, Akyaka, Arpaçay, Susuz ve Digor İlçelerine ait ortalaması [65 - 67].

^{226}Ra (^{238}U) aktivite konsantrasyonunun ortalama değerleri Dünya, Türkiye, Kars Merkez, Selim, Sarıkamış, Akyaka, Arpaçay ve Susuz ilçeleri için sırasıyla; 32 ; $28,6\pm 0,7$; $49,79\pm 5,36$; $19,9\pm 7,5$; $17,9\pm 7,7$; $31,3\pm 7,4$; $28,9\pm 6,8$ ve $37,7\pm 7,2 \text{ Bqkg}^{-1}$ olarak tespit edilmiştir[65 - 67, 69]. Digor ilçesi toprak örneklerinden elde ettiğimiz ^{226}Ra 'nın ortalama konsantrasyonu $31,3\pm 8,4 \text{ Bqkg}^{-1}$ olarak bulunmuştur.

Elde ettiğimiz sonuçları karşılaştırdığımızda Şekil 3.7'den de görüldüğü gibi Digor ilçesi ^{226}Ra (^{238}U) aktivite konsantrasyonunun Dünya, Türkiye, Akyaka ortalamalarına

yaklaşık değerinde, Selim, Sarıkamış ve Arpaçay ilçeleri ortalama değerlerinin üzerinde ve Kars Merkez ve Susuz ilçesi ortalamalarının altında olduğu görülmektedir.



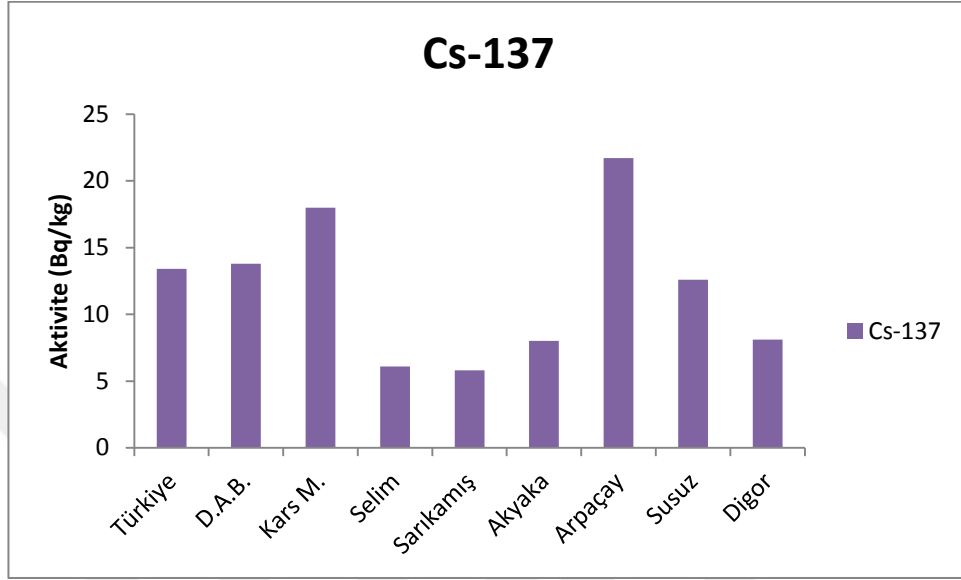
Şekil 3.7 : Topraktaki Ra-226 aktivite konsantrasyonlarının Dünya, Türkiye, Kars Merkez, Selim, Sarıkamış, Akyaka, Arpaçay, Susuz ve Digor İlçelerine ait ortalaması [65 - 67, 69].

^{137}Cs 'nin ortalama aktivite konsantrasyonu Türkiye, Doğu Anadolu Bölgesi, Kars il merkezi, Selim, Sarıkamış, Akyaka, Arpaçay ve Susuz ilçeleri için sırasıyla; $13,4\pm 0,8$; $13,8\pm 1,3$; $18\pm 2,7$; $6,1\pm 1,2$; $5,8\pm 1,0$; $8,0\pm 2,5$; $21,7\pm 3,0$ ve $12,6\pm 2,7$ Bqkg^{-1} olarak tespit edilmiştir [41, 57, 59, 67]. Çalışmamızda ^{137}Cs 'nin ortalama aktivite konsantrasyonu Digor ilçesi için $8,1\pm 1,4$ Bqkg^{-1} olarak hesaplanmıştır.

^{137}Cs doğal radyoaktif bir element olmadığından aktivite konsantrasyonu doğadaki kirlenmelerden dolayı farklılık gösterdiği için Şekil 3.8'de dünya ortalaması verilmemiştir.

Çalışmamızda elde ettiğimiz sonuçlar kıyaslandığında Şekil 3.8'den de görüldüğü gibi Digor ilçesinin ^{137}Cs aktivite konsantrasyon değerinin; Türkiye, Doğu Anadolu Bölgesi,

Kars il merkez, Arpaçay ve Susuz ilçelerinin ortalamalarının altında Selim ilçesi ve Sarıkamış ilçesi ortalamalarının üzerinde ve Akyaka ortalama değeriyle hemen hemen aynı olduğu görülmektedir.



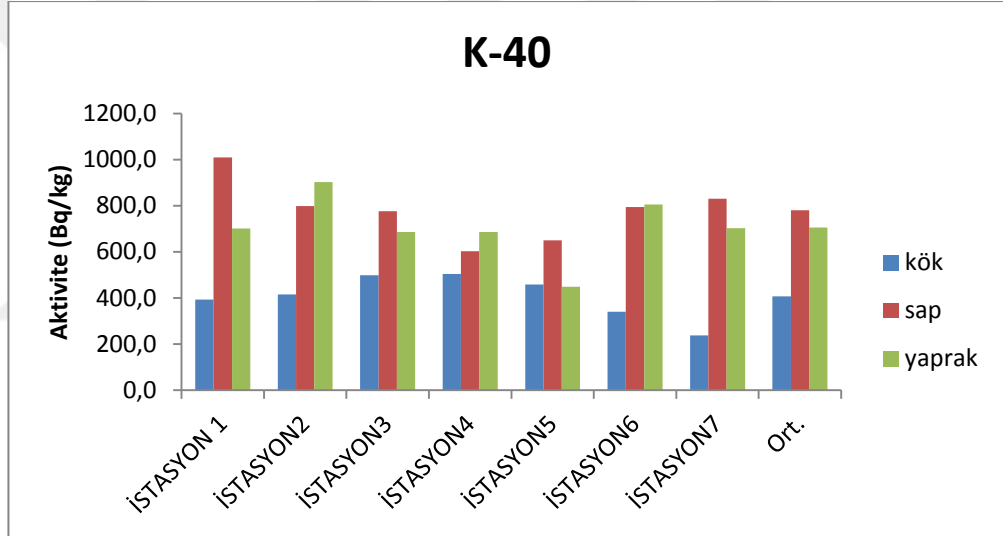
Şekil 3.8 : Topraktaki Cs-137 aktivite konsantrasyonlarının Türkiye, Doğu Anadolu Bölgesi, Kars Merkez, Selim, Sarıkamış, Akyaka, Arpaçay, Susuz ve Digor İlçelerine ait ortalaması [65 - 67].

3.2. Digor İlçesinde Mera Bitki Örneklerinde Radyoaktivite Seviyelerinin Belirlenmesi

Kars ili Digor ilçesi bölgesinde 7 farklı istasyondan alınan toplam 21 adet mera bitki örneğinin kök, sap ve yaprak kısımlarının doğal radyonüklitlerinin aktivite konsantrasyonları ve dağılımları belirlendi. Ölçümler NaI(Tl) dedektörü kullanılarak gama ışını spektrometresi ile gerçekleştirildi. Bölgede yetişen mera bitkileri hayvan yemi olarak hayvan besiciliğinde kullanıldığından ve bu hayvanların hem yöre halkı hem de ülkemizin diğer şehirlerinde yaşayan insanlar tarafından beslenme amaçlı tüketilmesi nedeniyle çevre sağlığı açısından incelenmesi faydalı olacaktır.

3.2.1. Mera Bitki Örneklerinde ^{40}K 'nın Aktivite Konsantrasyonu

Digor ilçesinden alınan mera bitki örneklerinde ^{40}K radyoaktivite konsantrasyonu kök için; $237,0 \pm 9,2 \text{ Bqkg}^{-1}$ ile $504,8 \pm 14,9 \text{ Bqkg}^{-1}$ değerleri arasında olup ortalama değeri $406,8 \pm 13,5 \text{ Bqkg}^{-1}$, sap için; $603,1 \pm 0,0 \text{ Bqkg}^{-1}$ ile $1009,8 \pm 5,5 \text{ Bqkg}^{-1}$ değerleri arasında olup ortalama değeri $780,3 \pm 8,4 \text{ Bqkg}^{-1}$, yaprak için; $448,4 \pm 0,0 \text{ Bqkg}^{-1}$ ile $902,7 \pm 33,9 \text{ Bqkg}^{-1}$ değerleri arasında olup ortalama değeri $704,8 \pm 14,8 \text{ Bqkg}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Şekil 3.9'da ^{40}K 'ın çalışma istasyonlarından alınan mera bitki örneklerindeki kök, sap ve yaprak aktivite konsantrasyonlarının istasyonlara göre dağılımı verilmektedir.

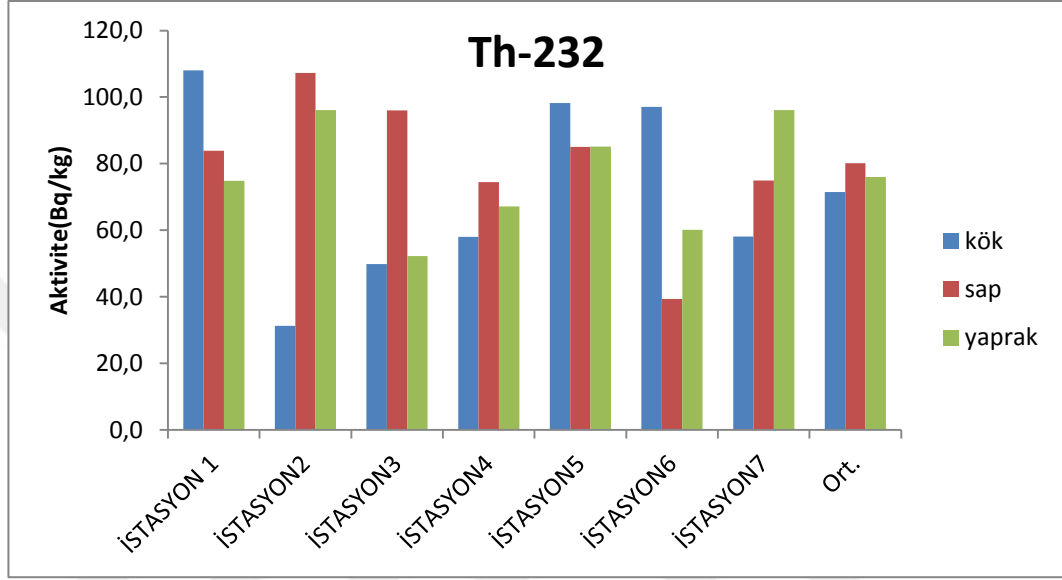


Şekil 3.9 : Digor bölgesinden alınan mera bitki örneklerindeki K-40 dağılımı

3.2.2. Mera Bitki Örneklerinde ^{232}Th 'nin Aktivite Konsantrasyonu

Çalışmamızdaki mera bitki örneklerinde, ^{232}Th 'nin farklı konsantrasyonlarda radyoizotoplarına rastlanmıştır. Digor ilçesi mera bitki örneklerinde kök için; $31,3 \pm 22,4 \text{ Bgkg}^{-1}$ ile $108,1 \pm 19,9 \text{ Bgkg}^{-1}$ değerleri arasında olup ortalama değeri $71,5 \pm 19,2 \text{ Bgkg}^{-1}$, sap için; $39,3 \pm 17,3 \text{ Bgkg}^{-1}$ ile $107,2 \pm 20,7 \text{ Bgkg}^{-1}$ değerleri arasında olup ortalama

değeri $80,1 \pm 20,5$ Bqkg⁻¹, yaprak için; $52,3 \pm 14,9$ Bqkg⁻¹ ile $96,1 \pm 21,8$ Bqkg⁻¹ değerleri arasında olup ortalama değeri $76,0 \pm 18,9$ Bqkg⁻¹ olarak tespit edilmiştir. Şekil 3.10'da ²³²Th'nin çalışma istasyonlarından alınan mera bitki örneklerindeki kök, sap ve yaprak aktivite konsantrasyonlarının istasyonlara göre dağılımı verilmektedir.

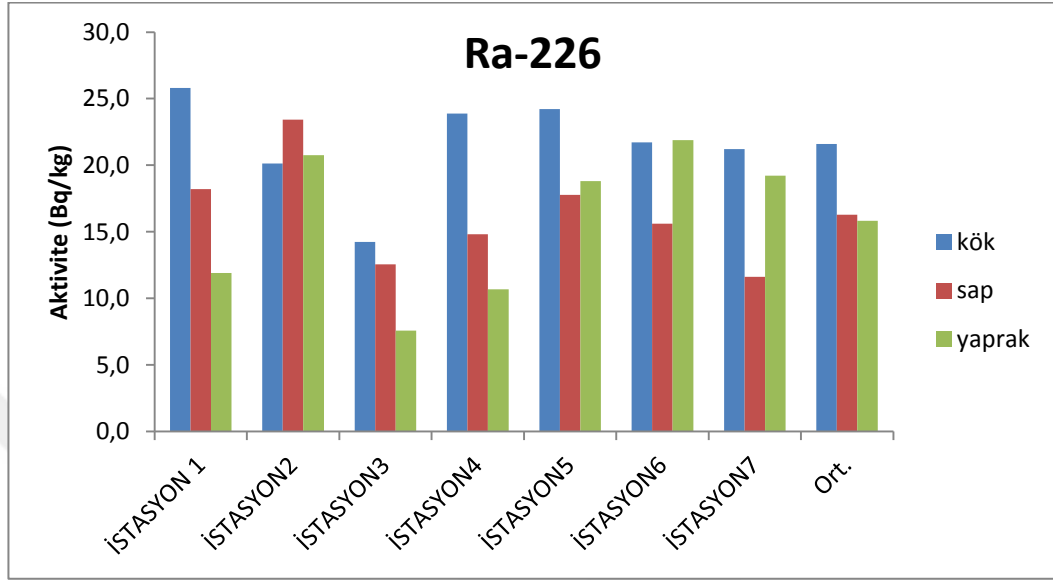


Şekil 3.10 : Digor bölgesinden alınan mera bitki örneklerindeki Th-232 dağılımı.

3.2.3. Mera Bitki Örneklerinde ²²⁶Ra (²³⁸U) Aktivite Konsantrasyonu

Radyonüklidlerin bozunum ürünleri olan doğal radyonüklidlerin gama piklerinden ve ²³⁸U'nin bozunum ürünü olan ²¹⁴Pb'nin farklı enerji değerlerindeki piklerinden faydalanır. Çalışmamızda ²²⁶Ra'nın mera bitki örneklerinde farklı radyoizotoplarına rastlanmıştır. ²²⁶Ra'nın aktivite konsantrasyonu Digor ilçesinden alınan mera bitki örneklerinde, kök için; $14,2 \pm 8,5$ Bqkg⁻¹ ile $25,8 \pm 10,0$ Bqkg⁻¹ değerleri arasında olup ortalama değeri $21,6 \pm 9,6$ Bqkg⁻¹, sap için; $11,6 \pm 13,2$ Bqkg⁻¹ ile $23,4 \pm 14,1$ Bqkg⁻¹ değerleri arasında olup ortalama değeri $16,3 \pm 12,3$ Bqkg⁻¹ ve yaprak için; $7,6 \pm 7,7$ Bqkg⁻¹ ile $21,9 \pm 9,7$ Bqkg⁻¹ değerleri arasında olup ortalama değeri $15,8 \pm 9,3$ Bqkg⁻¹ olarak hesaplanmıştır.

Şekil 3.11’de Digor bölgesinden alınan mera bitki örneklerinde kök, sap ve yaprak ^{226}Ra (^{238}U)’nın aktivite konsantrasyonlarının dağılımı verilmektedir.



Şekil 3.11 : Digor bölgesinden alınan mera bitki örneklerindeki Ra-226 dağılımı.

3.2.4. Mera Bitki Örneklerinde Belirlenen Radyoaktivite Seviyelerinin Değerlendirilmesi

Digor bölgesinden toplanan mera bitki örneklerinde Şekil 3.9, 3.10 ve 3.11’den de görüleceği gibi ^{226}Ra ortalama aktivite konsantrasyonu için kök > sap > yaprak, ^{232}Th ve ^{40}K ortalama aktivite konsantrasyonları için sap > yaprak > kök sonuçları hesaplanmıştır. Malezya ve Hindistan’da yapılan çalışmalarda kök > sap > yaprak sonucu belirlenmiştir. Malezya için ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları sırasıyla, 0,26-0,60, 0,50-1,5 ve 13,1-17,5 Bqkg⁻¹ aralıklarında, Hindistan için ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları sırasıyla, 0,4-0,8, 0,8-1,2 ve 86,1-109,9 Bqkg⁻¹ aralıklarında hesaplanmıştır[35, 36]. Elde ettiğimiz sonuçları karşılaştırdığımızda Digor bölgesi bitki örneklerindeki değerlerin daha yüksek çıktığı belirlenmiştir.

Elde edilen mera bitkisi numunelerindeki doğal radyoaktivite düzeylerinin ortalama değerlerinin literatürde bildirilen değerlerle karşılaştırılması Tablo 3.1’de verilmektedir.

Tablo 3.1: Elde edilen bitki numunelerindeki doğal radyoaktivite düzeylerinin ortalama değerlerinin literatürde bildirilen değerlerle karşılaştırılması

Aktivite konsantrasyonları (Bqkg ⁻¹)					
Referanslar	Çalışılan Bölge	Çalışılan Bitki	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K
Bu çalışma	Digor	Mera bitkisi	17,9±10,4	75,9±19,5	630,6±12,3
Keser et al. (2011)	Rize	Lahana		5,9±1,7	489,0±11,2
Topçuoğlu et al (2003)	Batı Anadolu	Lahana		45,5±5,2	766,0±40
Cumhur et al (2013)	Elazığ	Sebze	0,64±0,26	0,65±0,14	13,98±1,2
Kılıç et al. (2009)	Türkiye	Market Çayı		5,9±1,7	766,0±40
Pulhani et al. (2005)	Hindistan	Buğday	<0,2	0,1-0,2	116-130
Karunakara et al. (2003)	Hindistan	Bitki	ÖSA-13,2		12,0±797,3
Chakraborty ve ark. (2013)	Bangladeş	Çimen	1,26±0,11	3,66±0,31	134,95±3,68-
Abu Shayeb et al. (2018)	Suudi Arabistan	Hurma	5,6±1,2	2,8±0,4	181±17
Djelic et al. (2016)	Sırbistan	Tıbbi Bitki	14,6	9,87	647

ÖSA: Ölçüm sınırının altında

3.3. Karasal Gama Doz Hızlarının Hesaplanması

İnsanların yaşadıkları çevre içinde maruz kaldıkları radyasyonun temel kaynağı doğal radyasyondur. Hesaplamalar, insanların yaşamları boyunca maruz kaldıkları toplam gama dozunun %50 – 80 kadarını yer yüzeyindeki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K doğal nüklitlerinden ileri geldiğini göstermektedir. Maruz kalınan doğal radyasyon seviyesinin büyüklüğü; yaşanılan yerin toprak yapısı, yaşam için kullanılan binalarda kullanılan malzemeler, mevsimler, hava şartları ve kutuplara olan uzaklık gibi nedenlerle dünyanın her bölgesindeki topraklar için değişiklik gösterir. Çalışmamızın bu bölümünde, Diğor ilçesi ve çevresinden toplanan toprak örneklerinin Radyum eşdeğer aktivitesi (Ra_{eq}), açık havada soğurulan gama doz oranı (ADR), radyonüklitlerin varlığına bağlı havadaki yıllık etkin doz oranı (AED) ve ortalama bir insan ömrü boyunca bu dozların kanser oluşturma riski (YFKR) değerleri belirlendi. Elde edilen sonuçlar, Türkiye'nin farklı bölgelerinde yapılan benzer çalışmaların sonuçları ve dünya ortalamaları ile karşılaştırılmıştır.

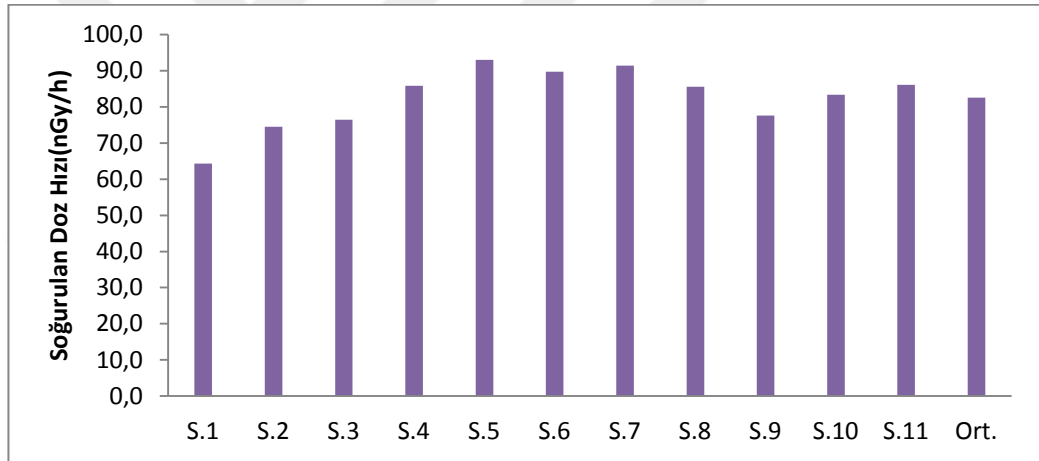
3.3.1. Soğurulan Gama Doz Oranı (ADR)

Çevredeki radyoaktif kaynakların neden olduğu gama radyasyonunun o bölgede yaşayan insanların sağlığı üzerindeki etkileri çoğunlukla yerden 1 m yükseklikteki açık havadaki toplam soğurulan gama doz oranı (ADR) ile açıklanır. Çeşitli ülkelerde yapılan benzer çalışmalarda, soğurulan gama doz oranı (ADR) (nGyh^{-1}) toprak içindeki ^{226}Ra (^{238}U), ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları için sırasıyla, 0,462; 0,604 ve 0,0417 dönüşüm faktörleri ve aşağıdaki eşitlik (3.1) kullanılarak hesaplanır [67, 69].

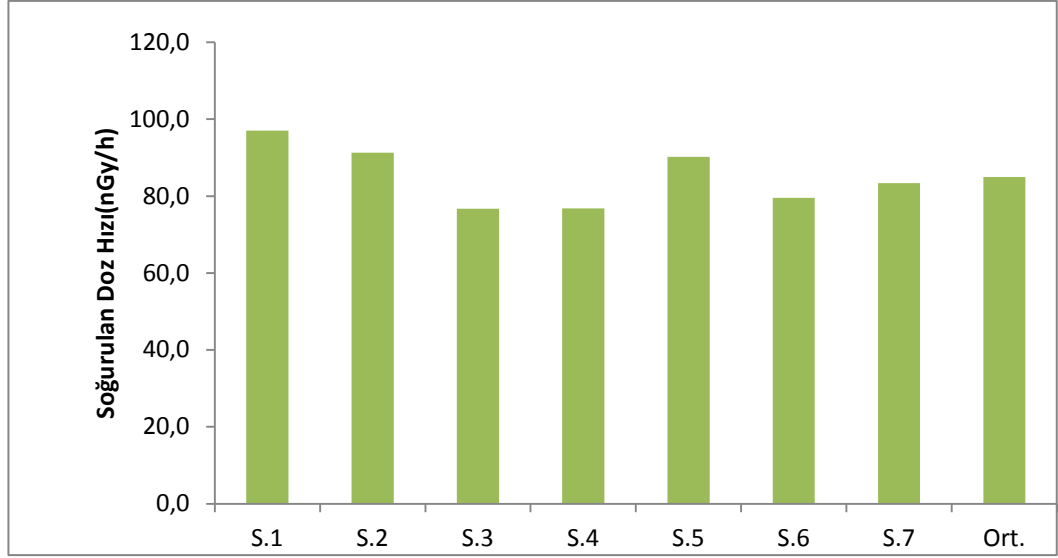
$$ADR = [0,462 C_{Ra} + 0,604 C_{Th} + 0,0417 C_K] \text{ nGyh}^{-1} \quad (3.1)$$

olarak hesaplanır. C_{Th} , C_{Ra} , C_K ve C_{Cs} sırasıyla toprak örneklerinde ^{232}Th , ^{226}Ra ve ^{40}K 'ın Bqkg^{-1} birimindeki aktivite konsantrasyonlarıdır.

Yaptığımız çalışmada Digor ilçesinden alınan toprak örneklerinin soğurulan gama doz hızı $64,3 \text{ nGyh}^{-1}$ ile $93,0 \text{ nGyh}^{-1}$ değerleri arasında olup, ortalama değer ise $82,5 \text{ nGyh}^{-1}$ olarak tespit edilmiştir. Şekil 3.12'de Digor bölgesinden alınan toprak örneklerindeki ve Şekil 3.13'de alınan mera bitki örneklerindeki soğurulan gama doz hızı dağılımları verilmektedir.

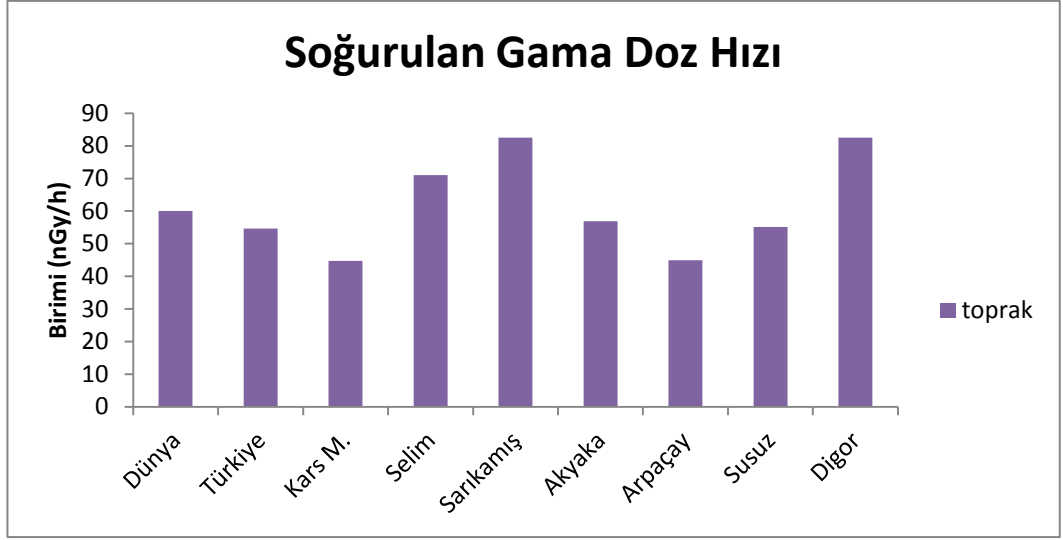


Şekil 3.12: Digor bölgesinden alınan toprak örneklerindeki soğurulan gama doz hızı dağılımı.



Şekil 3.13 : Digor bölgesinden alınan mera bitki örneklerindeki soğurulan gama doz hızı dağılımı.

Toprak örneklerinde soğurulan gama doz hızı ortalama değerleri Dünya, Türkiye, Kars Merkez, Selim, Sarıkamış, Akyaka, Arpaçay ve Susuz ilçeleri sırasıyla; 60; 54,6; 44,76; 71; 82,5; 56,9; 44,9 ve 55,1 nGyh⁻¹ olarak tespit edilmiştir[65 - 67, 69]. Elde ettiğimiz sonuçları karşılaştırdığımızda Şekil 3.14' den de görüldüğü gibi Digor ilçesi toprak incelemesiyle soğurulan gama doz hızı değeri; Dünya, Türkiye, Kars Merkez, Selim ve Sarıkamış ilçesi ortalamalarının üzerinde olduğu görülmektedir.



Şekil 3.14 : Soğurulan gama doz hızının sırasıyla, Dünya, Türkiye, Kars M., Selim, Sarıkamış, Akyaka, Arpaçay, Susuz ve Digor ortalaması [65 - 67, 69].

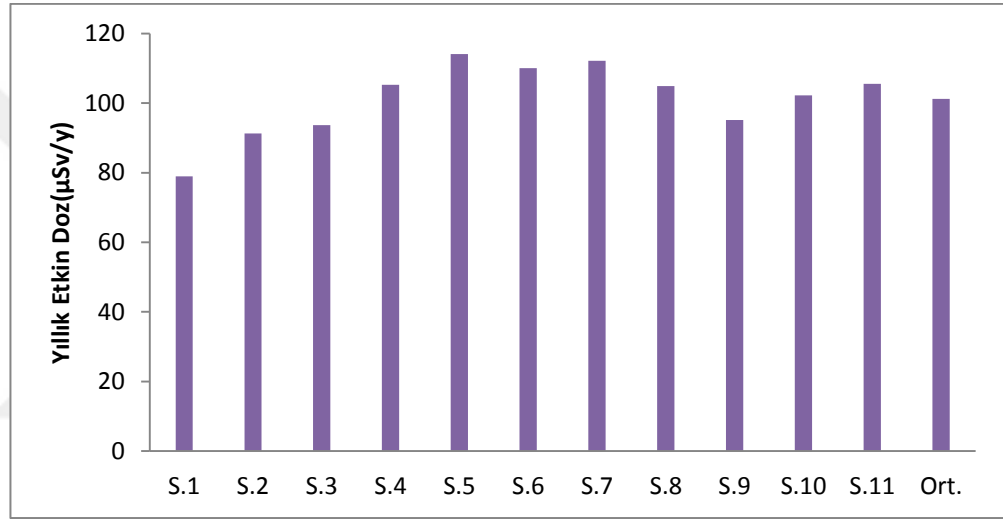
3.3.2. Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri (AED)

İnsanların yaşadıkları çevrede açık alanda çeşitli radyasyon kaynaklarından yayınlanan radyasyonlardan dolayı maruz kalacakları yıllık tahmini ortalama etkin doz eşdeğeri (AED) eşitlik (3.2) kullanılarak belirlenir[69].

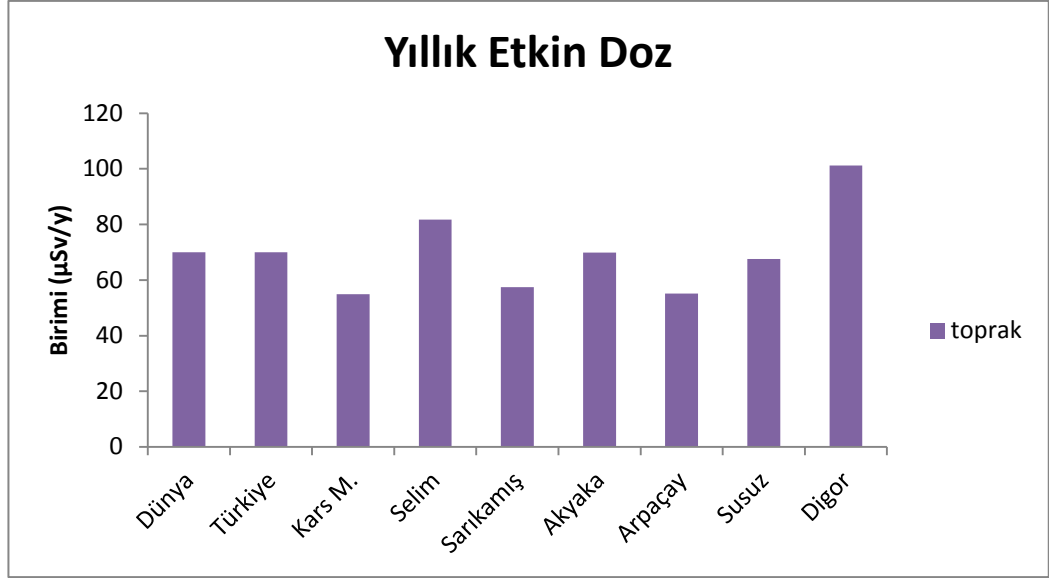
$$\text{AED (açık alan)} (\mu\text{Sv/y}) = \text{ADR (nGy/sa)} \times 8760 \text{ sa} \times 0,7(\text{Sv/Gy}) \times 0,2 \times 10^{-3} \quad (3.2)$$

Yukarıdaki eşitlikte 0,7 Sv/Gy katsayısı soğurulan doz oranını yıllık etkin doz eşdeğer oranına dönüştürmek için kullanılmıştır. İnsanların bir yıl boyunca (8760 saat/yıl) zamanlarının yaklaşık %20'sini açık alanlarda geçirdiği varsayılarak ev dışı meşguliyet faktörü olarak 0,2 katsayısı kullanılmıştır.

Digor ilçesinde yaptığımız çalışmada alınan toprak örneklerinde yıllık etkin doz 78,9 μSvy^{-1} ile 114,1 μSvy^{-1} değerleri arasında olup ortalama değeri ise 101,2 μSvy^{-1} olarak hesaplanmıştır. Şekil 3.15’de Digor bölgesinden alınan toprak örneklerindeki yıllık etkin doz dağılımı verilmektedir. Dünya, Türkiye, Kars Merkez, Selim, Sarıkamış, Akyaka, Arpaçay ve Susuz ilçeleri yıllık etkin doz ortalama değerleri sırasıyla, 70; 70; 54,9; 81,7; 57,5; 69,9; 55,1 ve 67,6 μSvy^{-1} verilmektedir[65 - 67, 69]. Şekil 3.16 ‘da Dünya, Türkiye, Kars Merkez, Selim, Sarıkamış, Akyaka, Arpaçay Susuz ve Digor bölgesi yıllık etkin doz ortalama değerleri verilmektedir [65 - 67].

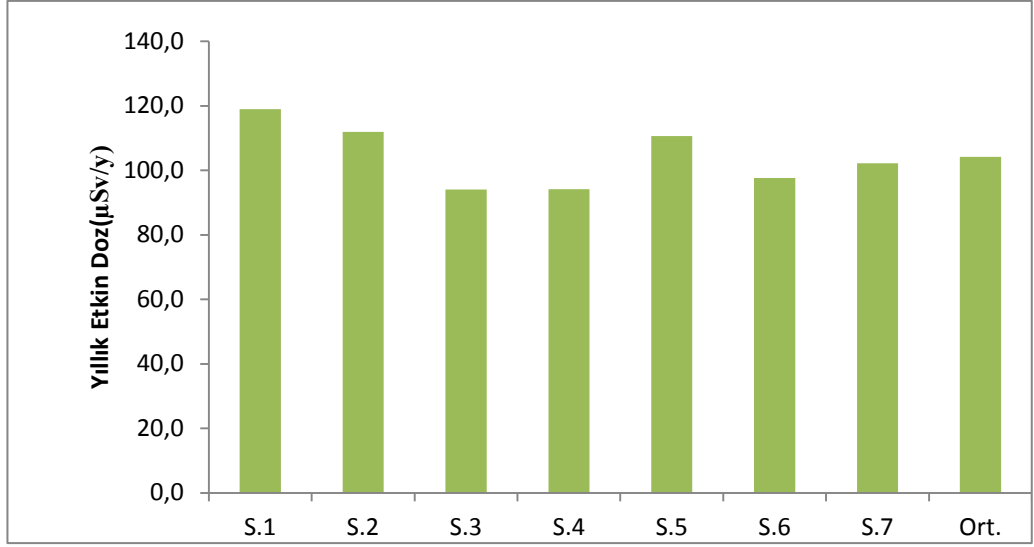


Şekil 3.15 : Digor bölgesinden alınan toprak örneklerinin yıllık etkin doz dağılımı.

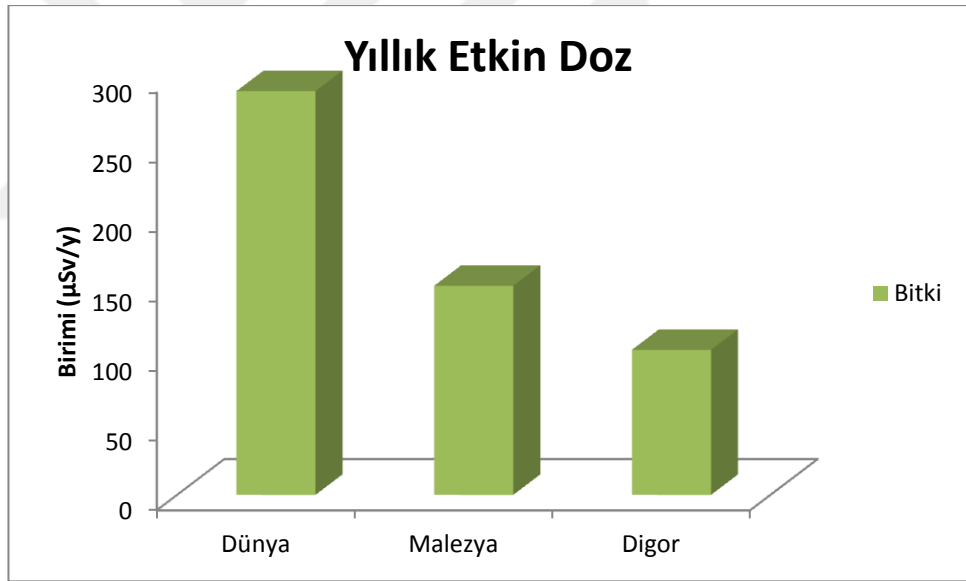


Şekil 3.16 : Dünya, Türkiye, Kars M., Selim, Sarıkamış, Akyaka, Arpaçay, Susuz ve Digor bölgesine ait yıllık etkin doz ortalamasının karşılaştırılması [65 - 67, 69].

Digor ilçesinde yaptığımız çalışmada alınan mera bitki örneklerinde yıllık etkin doz $94,1 \mu\text{Sv}^{-1}$ ile $119,0 \mu\text{Sv}^{-1}$ değerleri arasında olup ortalama değeri ise $104,2 \mu\text{Sv}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Şekil 3.17’de Digor bölgesinden alınan mera bitki örneklerindeki yıllık etkin doz dağılımı verilmektedir. Dünya ve Malezya için yıllık etkin doz ortalama değerleri sırasıyla, 290 ve $150,2 \mu\text{Sv}^{-1}$ verilmektedir[37]. Şekil 3.18’de Dünya, Malezya ve Digor bölgesi yıllık etkin doz ortalama değerleri verilmektedir[37].



Şekil 3.17 : Digor bölgesinden alınan mera bitki örneklerinin yıllık etkin doz dağılımı.



Şekil 3.18 : Dünya, Malezya ve Digor bölgesi yıllık etkin doz ortalamasının karşılaştırılması[37].

Şekil 3.16'dan da görüldüğü gibi Digor bölgesi toprak örnekleri için yıllık etkin doz ortalama değeri; Dünya, Türkiye, Kars Merkez, Selim, Sarıkamış, Akyaka, Arpaçay ve Susuz ilçeleri ortalama değerlerinin üstünde çıkmıştır. Şekil 3.18'den de görüldüğü gibi

Digor bölgesi mera bitki örnekleri için yıllık etkin doz ortalama değeri Dünya ve Malezya ortalama değerlerinin altında çıkmıştır.

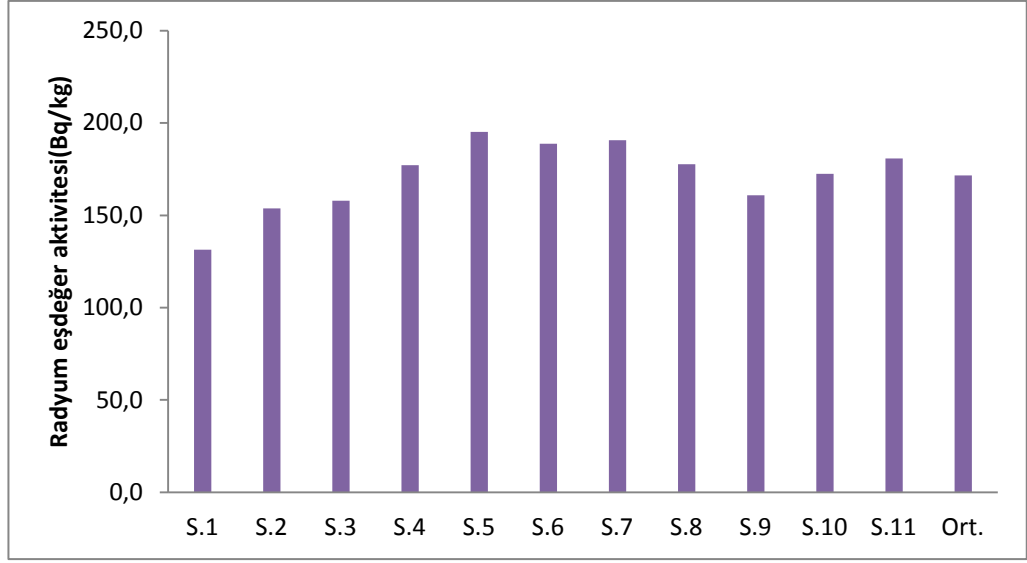
3.3.3. Radyum Eşdeğer Aktivitesi (Ra_{eq})

Topraktaki doğal radyoaktiviteyi ölçmenin nedenlerinden biride, çevrede yaşayan canlıların maruz kalabilecekleri olası radyasyon dozunu tahmin etmektir. Genellikle topraktaki farklı miktarlardaki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklitlerin varlığı nedeniyle ortaya çıkabilecek sağlık açısından tehlikeli durumları değerlendirmek amacıyla radyum eşdeğer aktivite (Ra_{eq}) verileri aşağıdaki eşitlik (3.3) kullanılarak hesaplanır[69].

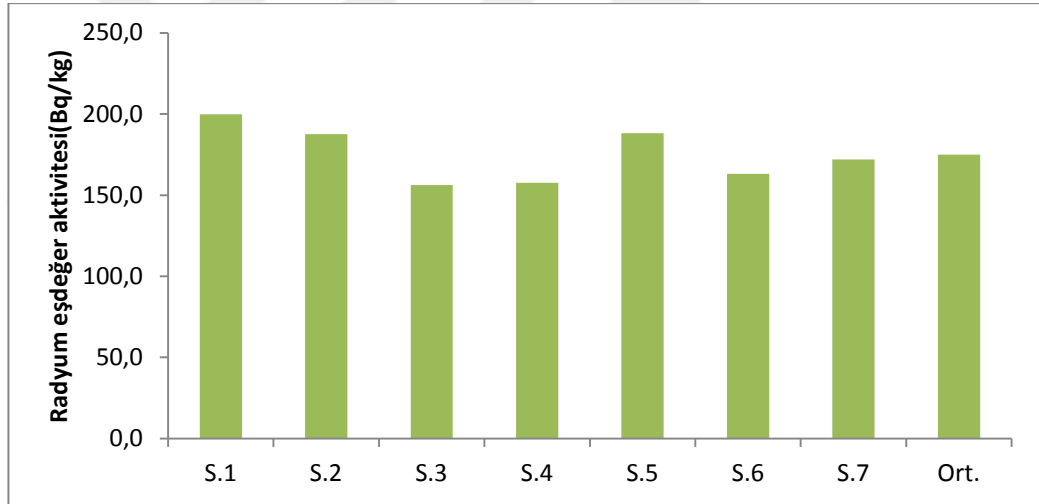
$$Ra_{eq} (\text{Bqkg}^{-1}) = C_{Ra} + 1,43 C_{Th} + 0,077 C_K \quad (3.3)$$

Burada C_{Ra} , C_{Th} ve C_K sırasıyla Bqkg^{-1} cinsinden ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarıdır.

OECD (Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü) - IAEA (Uluslar arası Atom Enejisi Ajansı), 1979 raporuna göre Radyum eşdeğer aktivitesi üst limiti 370 Bqkg^{-1} olarak kabul edilmiştir[22]. Şekil 3.19'da Digor bölgesi toprak örneklerinin, Şekil 3.20'de mera bitki örneklerinin Ra_{eq} değerlerinin dağılımı ve ortalamaları verilmiştir. Şekil 3.19 ve 3.20'den de görüldüğü gibi Ra_{eq} değerleri toprak için; $131,3 \text{ Bqkg}^{-1}$ ile $195,1 \text{ Bqkg}^{-1}$ değerleri arasında olup ortalama değeri $171,5 \text{ Bqkg}^{-1}$, mera bitkisi için; $156,2 \text{ Bqkg}^{-1}$ ile $199,8 \text{ Bqkg}^{-1}$ değerleri arasında olup ortalama değeri 175 Bqkg^{-1} olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar dünya ortalamasının altında çıkmıştır.

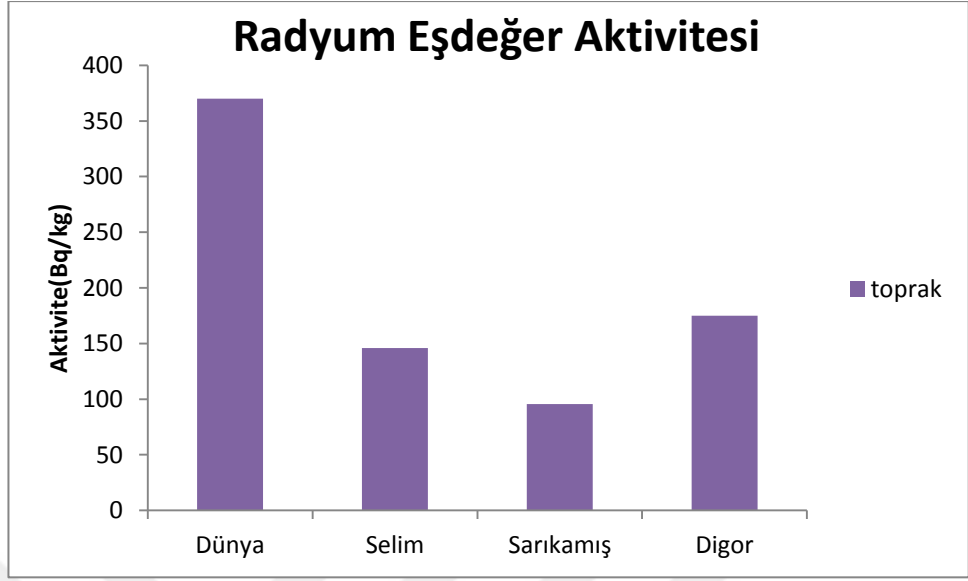


Şekil 3.19 : Digor bölgesi toprak örneklerinin Ra_{eq} dağılımı.



Şekil 3.20 : Digor bölgesi mera bitki örneklerinin Ra_{eq} dağılımı.

Selim, Sarıkamış ilçeleri radyum eşdeğer aktivitesi ortalama değerleri sırasıyla, 146 ve 95,5 $Bqkg^{-1}$ verilmektedir[65, 66]. Şekil 3.21 'de Dünya, Selim ve Sarıkamış ilçeleri ve Digor bölgesi radyum eşdeğer aktivitesi ortalama değerleri verilmektedir[65, 66].



Şekil 3.21 : Dünya, Türkiye, Kars M., Selim, Sarıkamış ve Digor bölgesi radyum eşdeğer aktivite ortalaması[65, 66].

3.3.4. Yaşam Boyu Fetal Kanser Riski (YFKR)

Yeryüzündeki ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K radyoizotoplarının yaydığı gama ışınları nedeniyle insan vücudu dış kaynaklı radyasyona maruz kalır. Bu radyoizotoplar vücudumuzda da bulduklarından alfa ve beta parçacıkları ile çeşitli organlarda iç ışınlanmaya neden olurlar. Yaşanılan bölgenin jeolojik özellikleriyle birlikte, bina yapımında kullanılan yapı malzemeleri (hammaddesi taş ve toprak olduğu için) alınan radyasyon dozunu etkilemektedir.

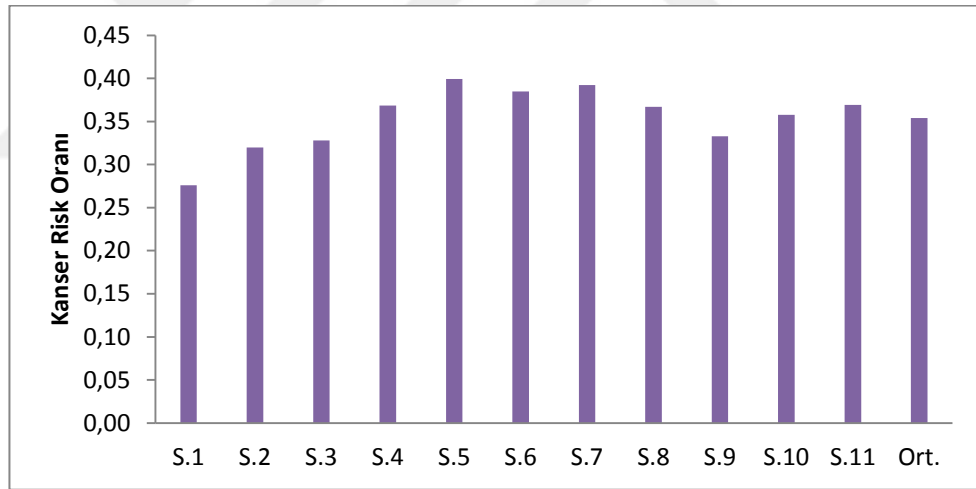
Değişik büyüklüklerdeki radyasyon dozlarına maruz kalan insanların vücutlarının, farklı bölgelerinde farklı zamanlarda çeşitli sağlık sorunları ortaya çıkabilir. İnsanlar doğal veya yapay radyasyon kaynaklarından aldıkları radyasyon miktarına bağlı olarak kanser hastası olabilirler. Radyasyon ışınlanmasından kaynaklanan ölümcül kanser riskinin belirlenmesi için yaş, cinsiyet gibi faktörleri hesaba katmak gerekir. Yaşam boyu fetal

kanser riski, belirli bir maruz kalma düzeyinde bir ömür boyu kanser gelişme olasılığı (YFKR) aşağıdaki eşitlikle (3.4) hesaplanır[70].

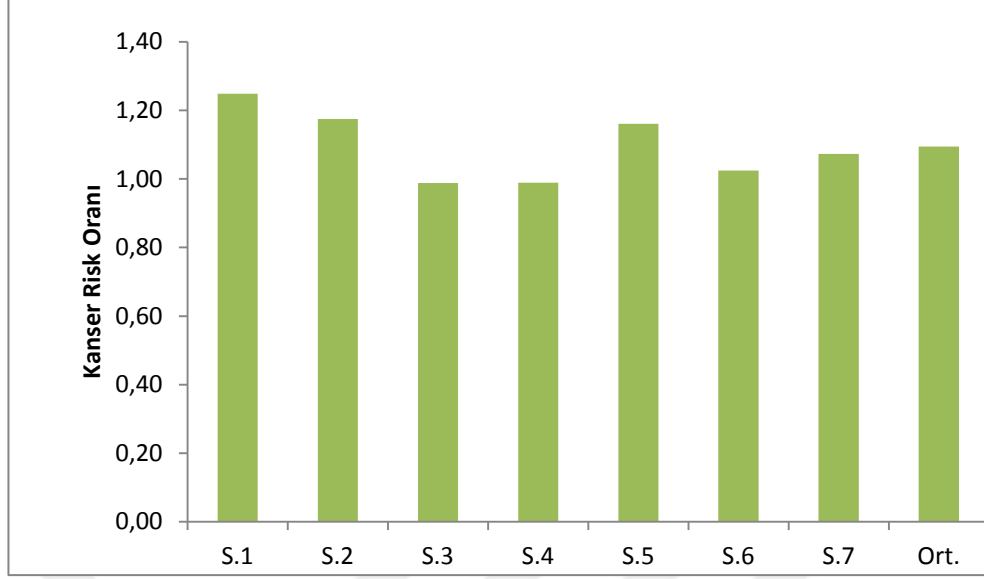
$$YFKR=AED \times YS \times F \quad (3.4)$$

AED, yıllık etkin doz eşdeğeri; YS, ortalama yaşam süresi (70 yıl) ve birim doz başına artan kanser riski faktörü (RF)'dir. Toplumun tamamında ölümcül kanser için ICRP risk faktörleri RF'yi $5 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ olarak kullanmaktadır (UNSCEAR 2000)[69].

Digor bölgesi çalışmamızda alınan toprak ve mera bitki örneklerinin kanser risk oran sonuçları dağılımı sırasıyla, Şekil 3.22 ve Şekil 3.23'de verilmektedir.



Şekil 3.22 : Digor bölgesi toprakları kanser risk oranı dağılımı.



Şekil 3.23 : Digor bölgesi mera bitkileri kanser risk oranı dağılımı.

Şekil 3.22 ve 3.23'den de görüldüğü gibi Digor bölgesi değerleri toprak için; $0,28 \times 10^{-3}$ ile $0,40 \times 10^{-3}$ değerleri arasında olup ortalama değeri $0,35 \times 10^{-3}$, mera bitkisi için; $0,99 \times 10^{-3}$ ile $1,25 \times 10^{-3}$ değerleri arasında olup ortalama değeri $1,09 \times 10^{-3}$ olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler dünya ortalama değeri $0,29 \times 10^{-3}$ (UNSCEAR 2000) kabul edilen oranın üzerinde çıkmıştır.

Tablo 3.2'de Çalışma yaptığımız Digor bölgesinden 11 farklı istasyondan alınan toprak örneklerinin NaI(Tl) dedektörü ile elde edilen sonuçların en düşük, en yüksek değer ve ortalama değerleri verilmektedir.

Tablo 3.2: Digor bölgesinden alınan toprak örneklerinin NaI(Tl) dedektörü ile elde edilen analiz sonuçlar (Digor 2015)

	En Düşük	En Yüksek	Ortalama
²²⁶ Ra(Bq/kg)	21,6±7,0	55,7±8,2	31,3±8,4
²³² Th(Bq/kg)	44,98±14,73	94,72±15,29	67,11±13,77
⁴⁰ K(Bq/kg)	474,5±0,0	666,5±9,2	574,5±7,4
¹³⁷ Cs(Bq/kg)	0,0	13,3±1,5	8,1±1,4
Soğurulan doz hızı (nGy/sa)	64,3	93,0	82,5
Etkin doz hızı(μSv/y)	78,9	114,1	101,2
Radyum eşdeğer aktivitesi (Bq/kg)	131,3	195,1	171,5
Kanser risk oranı	0,28×10 ⁻³	0,40×10 ⁻³	0,35×10 ⁻³

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Kars İli, Digor ilçesinin farklı lokasyonundaki araştırma alanlarından toplanan 55 adet toprak numunesindeki ve 36 adet mera bitkisi numunesindeki doğal radyonüklidlerin aktivite konsantrasyonları ve incelenen bu numunelerdeki radyasyon tehlikesi seviyeleri gamma ışını spektrometresi ile belirlendi. Toprak numunesindeki doğal radyonüklidlerin ve ^{137}Cs 'nin ortalama aktivite konsantrasyonları sırasıyla, 31.3 ± 8.4 , 67.1 ± 13.8 , 574.7 ± 7.4 ve 8.1 ± 1.4 Bqkg⁻¹'dir. ^{232}Th ve ^{40}K ortalama aktivite konsantrasyonlarının UNSCEAR (2000)'de bildirilen sırasıyla, 30 ve 400 Bqkg⁻¹ olan dünya ortalama değerlerinden daha yüksek olduğu bulundu. Bununla birlikte, ^{226}Ra ve ^{137}Cs 'ye ait ortalama aktivite konsantrasyonları ise dünya ortalama değerlerine çok yakındır.

Bölgede yaşayan insanlar için, radyum aktivite eşdeğeri (Ra_{eq}), açık hava soğurulan gama doz oranı (ADR), yıllık etkin doz eşdeğeri (AED) ve yaşam boyu kanser riski (YFKR) gibi radyolojik tehlike endeksleri sırasıyla, 171,5 Bqkg⁻¹; 79,0 nGyh⁻¹; 96,8 $\mu\text{Sv y}^{-1}$ ve $0,34 \times 10^{-3}$ olarak hesaplandı. Bu sonuçlar ortalama ulusal ve dünyaca önerilen değerlerle iyi bir şekilde karşılaştırıldı. Araştırılmakta olan bölgenin normal düzeyde doğal arka plan radyasyonuna sahip olduğundan bölge nüfusu için sağlık riski bulunmadığı tespit edildi.

Mera-bitki numunelerinin farklı kısımlarında ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyoaktivite konsantrasyonları incelendi. Sonuçlar, ^{226}Ra 'nın gövdelere ve yapraklara kıyasla, köklerde tutulduğunu göstermiştir. Mera-bitkisinin numunelerinin farklı kısımlarında ^{232}Th 'a ait aktivite konsantrasyonunun sırasıyla; sap, yaprak ve kök olarak azalan eğilimde olduğu saptandı. ^{40}K konsantrasyonu esas olarak bitkilerin gövdesi tarafından taşınır, bu nedenle mera otu örneklerinin sapında yaprak ve kökte olduğundan daha yüksek konsantrasyon görüldü. Mera otu gibi bitkiler biyo izleme için kullanılabilirliğinden, bu çalışmadan elde edilen veriler çevresel sağlık riskinin radyolojik değerlendirmesinde kullanılabilir.

5. KAYNAKLAR

- [1] Agbalagba, E.O., Avwiri, G.O., Chad-Umoreh. Y.E., (2012). γ -Spectroscopy measurement of natural radioactivity and assessment of radiation hazard indices in soil samples from oil fields environment of Delta State, Nigeria. *Journal of Environmental Radioactivity*, 109;64-70.
- [2] Sroor, A., El-Ahi, S.M., Ahmed, F., Abdel-Haleem, A.S. (2001). Natural radioactivity and radon exhalation rate soil in Southern Egypt. *Applied Radiation and Isotopes*, 55; 873-879.
- [3] Singh, S., Rani, A., Mahajan, R. K., (2005). ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K analysis in soil samples from some areas of Punjab and Himachal Pradesh, India using gamma ray spectrometry. *Radiation Measurements*, 39;431-439.
- [4] Lu, X., Zhao, C., Chen C., Liu, W.,(2012). Radioactivity level of soil around Baqiao coal-fired power plant in China. *Radiation Physics and Chemistry*, 81;1827-1832.
- [5] Abbady Adel, G.E., Uosif, M.A.M., El-Taher, A., (2005). Natural radioactivity and dose assessment for phosphate rocks from Wadi El-Mashash and El-Mahamid Mines,Egypt. *Journal of Environmental Radioactivity*, 84;65-78.
- [6] Mehra, R., Singh, S., (2009). Use of Gamma Ray Spectroscopy Measurements for Assessment of the Average Effective Dose from the Analysis of ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K in Soil Samples. *Indoor Built Environ*, 18(3);270-275.

[7] Tzortzis, M., Tsertos, H., Christofides, S., Christodoulides, (2003). Gamma-ray measurements of naturally occurring radioactive samples from Cyprus characteristic geological rocks. *Radiation Measurements*, 37;221-229.

[8] Thabayneh, K. M., Jazzar, M. M., (2012). Natural Radioactivity Levels and Estimation of Radiation Exposure in Environmental Soil from Tulkarem Province- Palestine. *Open Journal of Soil Science*, 2;7-16.

[9] Lee Siak Kuan, Wagiran Husin, Ramli Ahmed Termizi, Apriantoro Nursama Heru, Wood A.Khalik, 2009 "Radiological monitoring:terrestrial natural radionuclides in Konta District,Perak, Malaysia" *Journal of Environmental Radioactivity* Vol.100;368-374.

[10] Senthilkumar, B., Dhavamani, V., Ramkumar, S., Philominathan, P., (2010). Measurement of gamma radiation levels in soil samples from Thanjavur using γ -ray spectrometry and estimation of population exposure. *Journal of Medical Physics*, .35(1);48-53.

[11] Bygaard, A.J. Vanden, Protz R., (1999). Gamma radioactivity in podzolic soils of Northern Ontario, Canada. *Journal of Environmental Radioactivity*, 42;51-64.

[12] Avwiri, G.O.,Osimobi, J.C., Agbalagba, E.O., (2012). Evaluation of Radiation Hazard Indices and Excess Lifetime Cancer Risk Due to Natural Radioactivity in soil profile of Udi and Ezeagu Local Government Areas of Enugu State, Nigeria. *Comprehensive Journal of Environmental and Earth Sciences*, 1(1);1-10.

[13] Fadol, N., Salih, I., Idriss, H., Elfaki, A., Sam, A., (2015). Investigation of Natural Radioactivity levels in Soil Samples from North Kordofan State, Sudan. *Research Journal of Physical Sciences*, 3(7);1-7.

- [14] Srilatha, M.C., Rangaswamy, D.R., (2015). Measurement of natural radioactivity and radiation hazard assessment in the soil samples of Ramanagara and Tumkur districts, Karnataka, India. *J Radioanal Nucl Chem*, 303;993-1003.
- [15] Garba, N.N., Ramil, A.T., Saleh, M.A., Sanusi, M.S., Gabdo, H.T., (2015). Terrestrial gamma radiation dose rates and radiological mapping of Terengganu state, Malaysia. *J Radioanal Nucl Chem*, 303;1785-1792.
- [16] Harb, S., El-Kamel, A.H., Zahran, E.M., Abbady, A., Ahmed, F.A., (2015) Assessment of Agriculture Soil Primordial Radionuclide Concentrations in Aden Governorate South Of Yemen Region. *International Journal of Horizons in Physics*, 2;81-86.
- [17] Al-Hamarneh, I.F., Awadallah, M. I., (2009). Soil radioactivity levels and radiation hazard assessment in the highlands of northern Jordan. *Radiation Measurements*, 44;102-110.
- [18] Brevik, E.C., Sauer, T.J., (2015). The past, present, and future of soils and human health studies. *SOIL*, 1;35-46.
- [19] Chiozzi, P., De Felice, P., Fazio, A., Pasquale, V., Verdoya, M., (2000). Laboratory application of NaI(Tl) γ -ray spectrometry to studies of natural radioactivity in geophysics. *Applied Radiation and Isotopes*, 53;127-132.
- [20] Ajayi, I.R., (2008). An evaluation of the equivalent dose due to natural radioactivity in the soil around the consolidated Tin mine in Baukuru-Jos, plateau state of Nigeria. *Iran Journal Radiation Research*, 5(4);203-206.

[21] Shenber, M.A., (1997). Measurement of Natural Radioactivity Levels in Soil in Tripoli. *Applied Radiation and Isotopes*, 48;147-148.

[22] Mehra, R, Singh, S., Singh, K, (2009). Analysis of ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K in soil samples for the assessment of the average effective dose. *Indian J.Phys.*, 83;1031-1037.

[23] Gümüş, H., Samsun İli ve Çevresi Gama Radyasyonu Düzeyinin Belirlenmesi Çalışmaları. Samsun Sempozyumu, (2011).

[24] Kam, E., Bozkurt, A., (2007). Environmental radioactivity measurements in Kastamonu region of northern Turkey. *Applied Radiation and Isotopes*, 65;440-444.

[25] Bozkurt, A., Yorulmaz, N., Kam, E., Karahan, G., Osmanliođlu, A.E., (2007). Assessment of environmental radioactivity for Sanliurfa region of southeastern Turkey. *Radiation Measurements*, 42;1387-1391.

[26] Turhan, Ő., Köse, A., Varinliođlu, A., Şahin, N.K., Arıkan, İ., Ođuz, F., Yücel, B., Özdemir, T., (2012). Distribution of terrestrial and anthropogenic radionuclides in Turkish surface soil samples. *Geoderma*, 187-188;117-124.

[27] Taskin, H., Karavus, M.,Ay, P., Topuzoglu, A., Hidiroglu, S., Karahan, G., (2009). Radionuclide concentrations in soil and lifetime cancer risk due to gamma radioactivity in Kirklareli, Turkey. *Journal of Environmental Radioactivity*, 100;49-53.

[28] Cevik, U., Damla, N., Nezir, S., (2007). Radiological Characterization of Cayırhan coal-fired power plant in Turkey. *Fuel*, 86;2509-2513.

[29] Degerlier, M., Karahan, G., Ozger, G., (2008). Radioactivity concentrations and dose assessment for soil samples around Adana, Turkey. *Journal of Enviromental Radioactivity*, 99;1018-1025.

[30] Kaya, S., Karabıdak, S. M., Çevik, U., (2015). 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*, 5(1);24-33.

[31] Kumru, M.N., Bakaç, M., (2003). R-mode factor analysis applied to the distribution of elements in soils from the Aydın basin, Turkey. *Journal of Geochemical Explaration*, 77;81-91.

[32] Kurnaz, A., Kucukomeroglu, D.N., Cevik, U., (2011). Radiological maps for Trabzon, Turkey. *Journal of Environmental Radioactivity*, 102;393-399.

[33] Kapdan, E., Altinsoy, N., Karahan, G., Taskin, H., (2011). Determination of the health hazards due to background radiation sources in the city of Adapazari, Northwestern Turkey. *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 47;93-100.

[34] Baykara, O., Doğru, M., (2009). Determination of terrestrial gamma, ^{238}U , ^{232}Th and ^{40}K in soil along fracture zones. *Radiation Measurements*, 44;116-121.

[35] Karunakara, N., Somashekarappa, H.M., Narayana, Y., Avadhani, D.N., Mahesh, H.M., Siddappa, K., (2003). ^{226}Ra , ^{40}K and ^7Be activity concentrations in plants in the environment of Kaiga, India. *Journal of Environmental Radioactivity*, 65;255-266.

- [36] Pulhani, V.A., Dafauti, S., Hegde, A.G., Sharma, R.M., Mishra, U.C., (2005). Uptake and distribution of natural radioactivity in wheat plants from soil. *Journal of Environmental Radioactivity*, 79;331-346.
- [37] Asaduzzaman, Kh., Khandaker, M.U., Amin, Y.M., Mahat, R., (2015). Uptake and distribution of natural radioactivity in rice from soil in north and west part of peninsular malaysia for the estimation of ingestion dose to man. *Annals of Nuclear Energy*, 76;85-93.
- [38] Shtangeeva, I., Ayrault, S., Jain, J., (2005). Thorium uptake by wheat at different stages of plant growth. *Journal of Environmental Radioactivity*, 81;283-293.
- [39] Mitchell, N., Pérez-Sánchez, D., Thorne, M .C., (2013). A review of the behaviour of U-238 series radionuclides in soils and plants. *Journal of Radiological Protection*, 33; R17-R48.
- [40] Topcuoğlu, S., Karahan, G., Güngör, N., Kırbaşoğlu, Ç., (2003). Natural and artificial in Emendere thermal spring area in Western Anatolia. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 256, No.3(395-398).
- [41] Shayeb, M.A., Alharbi, T., Baloch, M.A., (2018). Transfer factors for natural radioactivity into palm pits. *Journal of Environmental Radioactivity*, 167;75-79.
- [42] Kiliç, Ö., Belivermiş, M., Topcuoğlu, S., Çotuk, Y., (2009). ^{232}Th , ^{238}U , ^{40}K , ^{137}Cs radioactivity concentrations and ^{137}Cs dose rate in Turkish market tea. *Radiation Effects& Defects in Solids*, 164(2);138-143.

[43] Keser, R., Korkmaz, F.G., Akçay, N., Okumuşođlu, N.T., (2011). Radionuclide concentration in tea, cabbage, orange, kiwi and soil and lifetime cancer risk due to gamma radioactivity in Rize, Turkey. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(6);987-991.

[44] Canbazoğlu, C., Doğru, M., (2013). A preliminary study on ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K and ^{137}Cs activity concentrations in vegetables and fruits frequently consumed by inhabitants of Elazığ Region, Turkey. *Journal of Radioanaly and Nuclear Chemistry*, 295(2);1245-1249.

[45] Djelic, G., Krstic, D., Stajic, J.M., Milenkovic, B., Topuzovic, M., Nikezic, D., Vucic, D., Zeremski, T., Stankovic, M., Kostic, D., (2016). Transfer factors of natural radionuclides and ^{137}Cs from soil to plants used in traditional medicine in central Serbia. *Journal of Environmental Radioactivity*, 158-159;81-88.

[46] Chakraborty, S.R., Azim, R., Rahman, A.K.M.R., Sarker, R., (2013). Radioactivity Concentrations in Soil and Transfer Factors of Radionuclides from Soil to Grass and Plants in the Chittagong City of Bangladesh. *Journal of Physical Science*, 24(1);95-113.

[47] <http://www.taek.gov.tr>, (Eriřim Tarihi: 03 04 2017).

[48] ađlar, İ., (2014). Akyaka, Arpaçay ve Susuz İlçeleri Topraklarında Doğal Radyoaktivite Seviyelerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kafkas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kars.

[49] Bilim ve Teknik Dergisi, İyonlayıcı Radyasyon, Sayı: Nisan 2006.

[50] Barış, C., (2006). İzmir-Çeşme Yeraltı-Termal Suları ve Çevresindeki Topraklarda Radyoaktivite Araştırmaları. Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayer Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa.

[51] Kamışlıoğlu, M., Külahcı, F., Niksarlıoğlu, S., (2014). Toprak Radon (^{222}Rn) Gazı Anomalilerinin Arıma Analizi. SDU Journal of Science (E-Journal), 9(2);93-99.

[52] Uludağ Üniversitesi Radyasyon Güvenliği Komitesi, Doküman Kodu: KLLK-HAD-RAD, 21 Ocak 2010, sayfa;13.

[53] Arya Atom.P., Çekirdek Fizikinin Esasları, Çeviri Editörü Şahin Y.Balkanlar Yayıncılık, (1999), Erzurum.

[54] Prof. Dr. Ocak, S.B., Radyasyon Algılama Sistemleri, Sintilasyon Dedektörleri, Ocak, Gazi Üniversitesi, Hazırlayan Harun Çetin, syf:10.

[55] Say, M., (2012). Gama Spektroskopisi ve Kullanım Alanları. Lisans Tezi, 7 Aralık Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Kilis.

[56] Değerlier, M., (2007). Adana İli Ve Çevresinin Çevresel Doğal Radyasyonların Yıllık Etkin Doz Eşdeğerinin Bulunması. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

[57] Zorer, Ö.S., (2006). Bendimahi Çayı'nda Ve Çayın Van Gölü'ne Döküldüğü Nuktada Doğal Radyoaktivite Seviyesinin Belirlenmesi. Doktora Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Van.

[58] Ayçık, G.A., (1992). Çevre Radyoaktivitesinin İzlenmesinde Örneklemeye Ölçme Ve Analiz Yöntemleri, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu.

[59] Gordan, R., Gilmore, J., Wiley&Sons, (2008). Practical Gamma-ray Spectrometry 2nd Edition Ltd. ISBN:978-0-470-86196-7.

[60] Akkoyun, S., (2006). Uzayda Gama Işını Ölçümleri- Bir Geant Simülasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Ankara.

[61] Digor ilçe Kaymakamlığı, [www.digor.gov.tr./](http://www.digor.gov.tr/)22.04.2018.

[62] <http://www.standartoloji.blogcu.com/olcum-belirsizligi-nedir/5448743>.

[63] Cengiz, G.B.,(2018). Transfer factors of ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K from soil to pasture-grass in the northeastern of Turkey. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry.

[64] Berger, MJ, Hubbell, JH, Seltzer, SM, Chang, J, Coursey, JS, Sukumar, R, Zucker, DS Olsen K (2010) XCOM: photon cross section database (version 1.5). National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg. <http://physics.nist.gov/xcom>. 8 Oct 2018

[65] Cengiz, G.B., (2017). Selim İlçesinin Toprak Örneklerinde Doğal Radyoaktivite Düzeyleri ve Radyolojik Etkilerinin Değerlendirilmesi. Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt 10, Sayı 1, 37-47.

[66] Cengiz, G.B., Çağlar, A., (2017). Evaluation of Natural Radioactivity Levels and Radiological Hazards in Soil Samples of Sarıkamış Province, Kars, Turkey. *Radiation Science and Technology*, 3(6): 68-73.

[67] Cengiz, G.B., Çağlar, İ., (2016). Determination of the health hazards and life time cancer risk due to natural radioactivity in soil of Akyaka, Arpacay and Susuz areas of Kars, Turkey. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 7(3);619-626.

[68] Cengiz, G.B., Göksu, V., Ertap, H., (2017). Iğdır Yöresinde Çevresel Radyoaktivitenin Belirlenmesi. *Iğdır Üni. Fen Bilimleri Enst. Der.*, 7(2): 131-139.

[69] UNSCEAR (United Nations Scientific Comitee on the Effects of Atomic Radiation) Annex B: Exposures from natural radition sources (page 116).

[70] Oyeyemi, K.D., Usikalu, M.R., Aizebeokhai, A.P., Achuka, J.A., Jonathan, O. (2017). Measurements of radioactivity levels in part of Ota Southwestern Nigeria: Implications for radiological hazards indices and excess lifetime cancer-risks IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 852,1-8.

6. EKLER

Ek. 1: Bazı doku ve organların doku ağırlık faktörleri[41].

Doku veya Organ	Doku Ağırlık Faktörü(W_T)
Üreme organları	0,20
Kırmızı kemik iliği	0,12
Kolon	0,12
Akciğer	0,12
Mide	0,12
Mesane	0,05
Meme	0,05
Karaciğer	0,05
Yemek borusu	0,05
Troit	0,05
Cilt	0,01
Kemik yüzeyi	0,01

Ek. 2: Digor bölgesinden toprak örneği alınan istasyonların koordinatları

İstasyon Adı	Enlem	Boylam	Yükseklik (m)
S.1(Borluk Köyü)	K40° 30' 56.52"	D43° 16' 4.1196"	2263
S.2(Oyuklu Köyü)	K40° 30' 20.9052"	D43° 19' 13.9944"	2194
S.3(Dağpınar Beldesi)	K40° 27' 42.2352"	D43° 20' 12.1416"	2104
S.4(Karakale Köyü)	K40° 27' 58.6404"	D43° 22' 21.3636"	2132.7
S.5(Mahirbey Köyü)	K40° 25' 22.9836"	D43° 19' 38.9352"	2137
S.6(Şatıroğlu Köyü)	K40° 26' 20.022"	D43° 17' 6.5508"	2137
S.7(Şirinköy)	K40° 25' 12.342"	D43° 16' 8.5512"	2200
S.8(Yaylacık Köyü)	K40° 24' 19.1664"	D43° 15' 52.002"	2213
S.9(Gülheyran Köyü)	K40° 26' 30.786"	D43° 20' 49.0632"	2100
S.10(Uzunkaya Köyü)	K40° 23' 43.26"	D43° 23' 59.9208"	1802
S.11 (Saklıca Köyü)	K40° 23' 37.806"	D43° 23' 21.75"	2126

Ek. 3: Digor bölgesinden ot örneği alınan istasyonların koordinatları

İstasyon Adı	Enlem	Boylam	Yükseklik (m)
S.1(Gülheyran Köyü)	K40° 26' 30.786"	D43° 20' 49.0632"	2100
S.2(Oyuklu Köyü)	K40° 30' 20.9052"	D43° 19' 13.9944"	2194
S.3(Dağpınar Beldesi)	K40° 27' 42.2352"	D43° 20' 12.1416"	2104
S.4(Uzunkaya Köyü)	K40° 23' 43.26"	D43° 23' 59.9208"	1802
S.5(Mahirbey Köyü)	K40° 25' 22.9836"	D43° 19' 38.9352"	2137
S.6(Şatıroğlu Köyü)	K40° 26' 20.022"	D43° 17' 6.5508"	2137
S.7(Karakale Köyü)	K40° 27' 58.6404"	D43° 22' 21.3636"	2132.7

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ebru ÖZTANRIÖVER

Doğum Yeri : Ödemiş

Doğum Tarihi : 24.10.1986

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl):

Lise : ÖDEMiŞ YABANCI DİL AğIRLIKLI LİSESİ

Lisans : ANKARA ÜNİVERSİTESİ (2010)

Yüksek Lisans : KAFKAS ÜNİVERSİTESİ (2019)