

T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANA BİLİM DALI



SİNOP İLİ İLÇELERİNE AİT SU VE YÜZEY TOPRAĞI
ÇEVRESEL ÖRNEKLERDE RADYOAKTİFLİĞİN
ÖLÇÜLMESİ VE YILLIK ETKİN DOZUN BELİRLENMESİ

Yüksek Lisans Tezi

Gülsüm ÖĞRETİCİ

Danışman

Prof. Dr. Hasan GÜMÜŞ

SAMSUN
2021

Tez Kabul ve Onay

Gülsüm ÖĞRETİCİ tarafından, Prof. Dr. Hasan GÜMÜŞ danıŐmanlıĖında hazırlanan "Sinop İli İlçelerine ait Su ve Yüzey Toprağı evresel örneklerde Radyoaktifliğin llmesi ve Yıllık Etkin Dozun Belirlenmesi" baŐlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından 12.07.2021 tarihinden yapılan sınav sonucunda oy çokluğu ile baŐarılı bulunarak Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

	Unvanı Adı Soyadı Üniversitesi Ana Bilim/Ana Sanat Dalı	İmza	Sonuç
BaŐkan	Prof. Dr. Hasan GÜMÜŞ Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fizik Anabilim Dalı		<input checked="" type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret
ye	Prof. Dr. Mustafa ÇaĖatay TUFAN Ondokuz Mayıs Üniversitesi Radyolojik Bilimler Anabilim Dalı		<input checked="" type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret
ye	Prof. Dr. Recep KESER Samsun Üniversitesi Temel Bilimler Bölümü		<input checked="" type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen ve yukarıda adları yazılı jüri yeleri tarafından uygun grlmŐtir.

ONAY
... / ... / ...
Prof. Dr. Ali BOLAT
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım Dönem Projesi tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin Kaynaklar' da gösterilenlerden oluştuğunu, her unsurun enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği' nin 3. bölüm 9. maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığını taahhüt ve beyan ederim.

12/07/2021
Gülsüm ÖĞRETİCİ

TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

Tez Başlığı: Sinop İli İlçelerine ait Su ve Yüzey Toprağı Çevresel Örneklerde Radyoaktifliğin Ölçülmesi ve Yıllık Etkin Dozun Belirlenmesi

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 14/06/2021 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : % 27.

Tek kaynak oranı : %3 çıkmıştır.

Danışman Prof. Dr. Hasan GÜMÜŞ

ÖZET

SİNOP İLİ İLÇELERİNE AİT SU VE YÜZEY TOPRAĞI ÇEVRESEL ÖRNEKLERDE RADYOAKTİFLİĞİN ÖLÇÜLMESİ VE YILLIK ETKİN DOZUN BELİRLENMESİ

Gülsüm ÖĞRETİCİ

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Fizik Ana Bilim Dalı

Yüksek Lisans, Haziran/2021

Danışman: Prof. Dr. Hasan GÜMÜŞ

Bu tez çalışmasında Sinop ve Sinop ilçelerinde 29 farklı noktadan alınan toprak ve 27 farklı noktadan alınan su örneklerinin NaI(Tl) gama spektrometresi kullanılarak doğal (^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K) ve yapay (^{137}Cs) aktivite derişim değerleri belirlendi. Toprak numunelerinde ^{238}U 'in ortalama aktivite derişimi 15.93 ± 4.16 Bq/kg, ^{232}Th 'nin ortalama aktivite derişimi 22.02 ± 6.90 Bq/kg, ^{40}K ortalama aktivite derişimi 403.21 ± 26.28 Bq/kg ve ^{137}Cs ortalama aktivite derişimi ise 10.32 ± 2.31 Bq/kg olarak bulundu. Su numunelerinde ise ^{238}U 'in ortalama aktivite derişimi 17.05 ± 1.72 mBq/l, ^{232}Th 'nin ortalama aktivite derişimi 20.39 ± 2.88 mBq/l, ^{40}K ortalama aktivite derişimi 333.20 ± 5.87 mBq/l olarak hesaplandı ve ^{137}Cs için aktivite değeri gözlenememiştir.

Elde edilen değerleri kullanılarak yıllık etkin doz ve diğer radyasyon parametreleri hesaplandı. Buna göre toprak örneklerinin soğurulan gama doz hızı, 15.24 ± 1.98 nGy h^{-1} ile 58.04 ± 28.58 nGy h^{-1} arasında; yıllık etkin doz eşdeğeri, 18.69 ± 2.43 $\mu\text{Sv y}^{-1}$ ile 71.18 ± 35.05 $\mu\text{Sv y}^{-1}$ arasında; dış tehlike indexi (H_{ex}) 0.08 ± 0.01 ile 0.34 ± 0.18 arasında; İç tehlike indexi (H_{in}) 0.08 ± 0.01 ile 0.38 ± 0.08 arasında; radyum eşdeğer aktivite konsantrasyonu indeksi (R_{aeq}) 28.13 ± 3.65 Bq/kg ile 126.23 ± 66.56 Bq/kg arasında, yıllık gonadal doz eşdeğeri (AGDE), 114.73 ± 14.88 $\mu\text{Sv y}^{-1}$ ile 414.77 ± 199.07 $\mu\text{Sv y}^{-1}$ arasında, aktivite kullanım indeksi (AUI) 0.03 ± 0.00 ile 0.79 ± 0.16 arasında, yaşam boyu kanser riski (ELCR) 65.42 ± 8.51 ile 249.14 ± 122.67 arasında ve gama temsili seviye indeksi (I_{yr}), 0.24 ± 0.03 ile 0.95 ± 0.47 arasında bulundu.

Yapılan çalışma sonucunda, UNSCEAR 2000 raporuna göre toprak örneklerinde ^{238}U , ^{232}Th dünya ortalamasından düşük çıkmıştır. ^{40}K değeri dünya ortalamasından biraz üstünde çıkmıştır.

Bu tez çalışmasında toprak örnekleri için bulunan aktivite değerlerinin TAEK tarafından 2009 yılında yayımlanan raporda belirtilen Türkiye ortalaması değerlerinden düşük çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler: Doğal ve yapay radyoaktivite, toprak, su, gama spektrometresi, yıllık etkin doz.

ABSTRACT

MEASUREMENT OF RADIOACTIVITY IN WATER AND SURFACE SOIL ENVIRONMENTAL SAMPLES BELONGING TO SINOP PROVINCE DISTRICTS AND DETERMINATION OF ANNUAL EFFECTIVE DOSE

Gülsüm ĞRETİCİ

Ondokuz Mayıs University
Institute of Graduate Studies

Department of Physics

Master, July/2020

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Hasan GMŞ

In this thesis study, the activity concentrations (^{238}U , ^{232}Th and ^{40}K) and artificial (^{137}Cs) of soil samples taken from 29 different points in Sinop province and water samples taken from 27 different points were determined by using NaI(Tl) gamma spectrometry. In soil samples, the mean activity concentration of ^{238}U was 15.93 ± 4.16 Bq/kg, the mean activity concentration of ^{232}Th was 22.02 ± 6.90 Bq/kg, the mean activity concentration of ^{40}K was 403.21 ± 26.28 Bq/kg and the mean activity concentration of ^{137}Cs was 10.32 ± 2.31 Bq/kg. In water samples, the average activity concentration of ^{238}U was 17.05 ± 1.72 mBq/l, the average activity concentration of ^{232}Th was 20.39 ± 2.88 mBq/l, the average activity flow of ^{40}K was 333.20 ± 5.87 mBq/l, and the activity value for ^{137}Cs was not observed. The Annual effective dose and other radiation parameters were calculated using the obtained values.

The annual effective dose and other radiation parameters were calculated using obtained these values. Accordingly, the soil samples observed gamma dose rate was between 15.24 ± 1.98 nGy h^{-1} and 58.04 ± 28.58 nGy h^{-1} ; annual effective dose equivalent ranged from 18.69 ± 2.43 $\mu\text{Sv y}^{-1}$ to 71.18 ± 35.05 $\mu\text{Sv y}^{-1}$, external hazard index (H_{ex}) ranges from 0.08 ± 0.01 to 0.34 ± 0.18 , the internal hazard index (H_{in}) is between 0.08 ± 0.01 and 0.38 ± 0.08 , radium equivalent activity concentration index ($R_{\text{a,eq}}$) ranged 28.13 ± 3.65 Bq/kg to 126.23 ± 66.56 Bq/kg annual gonadal dose equivalent (AGDE) between 114.73 ± 14.88 $\mu\text{Sv y}^{-1}$ and 414.77 ± 199.07 $\mu\text{Sv y}^{-1}$, activity utilization index (AUI) between 0.03 ± 0.00 and 0.79 ± 0.16 , lifetime cancer risk (ELCR) between 65.42 ± 8.51 and 249.14 ± 122.67 , and gamma representation level index ($I_{\gamma\text{r}}$) was found to be between 0.24 ± 0.03 ile 0.95 ± 0.47 .

As a result of the study, according to the UNSCEAR 2000 report, ^{238}U , ^{232}Th in soil samples was lower than the world average. The ^{40}K value is slightly above the world average.

In this thesis study, it was seen that the activity values found for soil samples were lower than the Turkey average values stated in the report published by TAEK in 2009.

Keywords: Natural and artificial radioactivity, soil, water, gamma spectrometer, annual effective dose.

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans çalışmalarım esnasında bilgi ve tecrübesi ile bana katkı sunan Prof. Dr. Hasan GÜMÜŞ' e, çalışma boyunca bilgilerini paylaşan Prof. Dr. Azmi GENÇTEN' e yol gösterici ve öğretici olan Aydan ALTIKULAÇ' a teşekkürlerimi arz ederim.

Çalışmalarım esnasında yanımda olan aileme, eşime ve oğluma çok teşekkür ederim.

TEMMUZ 2021/SAMSUN

Gülsüm ÖĞRETİCİ

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
TABLO DİZİNİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR	x
1.GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı	2
1.2. Literatür Çalışmaları.....	2
2.GENEL BİLGİLER	5
2.1. Radyasyon	5
2.1.1. Alfa parçacıkları	6
2.1.2. Beta parçacıkları	6
2.1.3. Nötronlar	7
2.1.4. Elektron	7
2.1.5. X ışınları	7
2.1.6. Gama ışınları	9
2.2. Radyasyon Kaynakları	9
2.2.1. Doğal radyasyon kaynakları	10
2.2.2. Yapay radyasyon kaynakları	10
2.3. Radyasyon Birimleri.....	11
2.3.1. Aktivite birimi	11
2.3.2. Işınlanma birimi	11
2.3.3. Soğurulan doz birimi	12
2.3.4. Eşdeğer doz birimi.....	12
3. MATERYAL VE METOT	14
3.1. Gama Spektrometresi	14
3.2. Gama Spektrometre Elemanları	14
3.2.1. Dedektör sistemi	14
3.2.2. Yüksek voltaj kaynağı	15
3.2.3. Ön yükselteç	15
3.2.4. Yükselteç	15
3.2.5. Analog dijital çevirici (ADC).....	15
3.2.6. Çok kanallı analizör (MCA)	15
3.3. Toprak Örneklerinin Toplanması	16

3.4. Su Örneklerinin Toplanması.....	20
3.6. Hesaplanan Radyasyon Parametreleri	21
3.6.1. Soğurulan gama doz hızı (D).....	21
3.6.2. Yıllık etkin doz eşdeğeri (AEDE)	22
3.6.3. Dış tehlike indeksi (H_{ex})	22
3.6.4. İç tehlike indeksi (H_{in}).....	22
3.6.5. Radyum eşdeğer aktivite konsantrasyon indeksi (Ra_{eq}).....	22
3.6.6. Yıllık gonadal doz eşdeğeri (AGDE)	23
3.6.7. Yaşam boyu kanser riski (ELCR).....	23
3.6.8. Gama indeksi (I_{yr})	23
3.6.9. Aktivite kullanım indeksi (AUI)	23
3.6.10. Etkili doz	24
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	25
4.1. NaI(Tl) Dedektörlü Spektrometre Sistemi ile Bulunan Gama Radyoaktivite Değerleri	25
4.1.1 Toprak örneklerinin analiz sonuçları	25
4.1.2. Su örneklerinin analiz sonuçları	35
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	42
KAYNAKLAR.....	44
EKLER.....	46
Ek A. ^{238}U kalibrasyon kaynağının sertifika bilgileri.....	46
Ek B. ^{232}Th kalibrasyon kaynağının sertifika bilgileri	47
Ek C. ^{40}K kalibrasyon kaynağının sertifika bilgileri.....	48
ÖZ GEÇMİŞ.....	49

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Elektromanyetik spektrum	5
Şekil 2.2. Radyasyon çeşitleri	6
Şekil 2.3. X ışını oluşturan tüpün iç yapısı	7
Şekil 2.4. Sürekli spektrum X-ışınları	8
Şekil 2.5. Karakteristik X-ışınları	8
Şekil 2.6. Farklı tipteki radyasyon ışınlarının geçişi	9
Şekil 2.7. Radyasyon kaynakları	9
Şekil 2.8. Doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan küresel radyasyon dozlarının oransal değerleri	10
Şekil 2.9. Yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan küresel radyasyon dozlarının oransal değerleri	11
Şekil 3.1. Tipik gama spektrometre şeması.....	14
Şekil 3.2. Alınan toprak numunesi	16
Şekil 3.3. Toprak örneklerinin toplandığı noktalar	18
Şekil 3.4. G11540S D model fırın.....	18
Şekil 3.5. Numunelerin elenerek uygun tanecik boyutuna getirilmesi	19
Şekil 3.6. Ölçüm işlemi için detektöre yerleştirilmiş toprak örneği.....	19
Şekil 3.7. Alınan su numunesi.....	20
Şekil 3.8. Su örneklerinin toplandığı noktalar.....	20
Şekil 4.1. Durağan-3 nolu toprak örneğinin spektrumu	26
Şekil 4.2. Sinop-1 nolu toprak örneğinin spektrumu	26
Şekil 4.3. Toprak örneklerindeki ^{282}U aktivite konsantrasyonlarının dağılımı	32
Şekil 4.4. Toprak örneklerindeki ^{232}Th aktivite konsantrasyonlarının dağılımı.....	32
Şekil 4.5. Toprak örneklerindeki ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının dağılımı	33
Şekil 4.6. Toprak örneklerindeki ^{137}Cs aktivite konsantrasyonlarının dağılımı.....	33
Şekil 4.7. Toprak örneklerindeki ^{232}Th , ^{238}U , ^{40}K ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonlarının dağılımı.....	34
Şekil 4.8. Erfelek-2 nolu su örneğinin spektrumu.....	35
Şekil 4.9. Gerze-1 nolu Su örneğinin spektrumu	35
Şekil 4.10. Su örneklerindeki ^{238}U aktivite konsantrasyonlarının dağılımı	38
Şekil 4.11. Su örneklerindeki ^{232}Th aktivite konsantrasyonlarının dağılımı.....	39
Şekil 4.12. Su örneklerindeki ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının dağılımı.....	39
Şekil 4.13. Su örneklerindeki ^{232}Th , ^{238}U , ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının dağılımı	40

TABLO DİZİNİ

Tablo 2.1. Radyasyon birimleri	13
Tablo 3.1. Toprak örnek bilgi formu	16
Tablo 3.2. Toprak örneklerinin koordinatları	17
Tablo 3.3. Su örneklerinin koordinatları	21
Tablo 3.4. Bazı radyoaktif çekirdeklerinin doz katsayıları (WHO, 2003)	24
Tablo 4.1. Toprak örneklerde U ve Th radyoaktif çekirdeklerinin bozunum ürünlerinin aktivite konsantrasyonları	27
Tablo 4.2. Toprak örneklerde ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs elementlerinin aktivite konsantrasyonları	28
Tablo 4.3. Toprak örneklerinin hesaplanan radyasyon parametreleri	29
Tablo 4.3. Toprak örneklerinin hesaplanan radyasyon parametreleri (Devam)	30
Tablo 4.4. Su örneklerde U ve Th radyoaktif çekirdeklerinin bozunum ürünlerinin aktivite konsantrasyonları	36
Tablo 4.5. Su örneklerde ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs elementlerinin aktivite konsantrasyonları	37
Tablo 4.6. Su örneklerinin yetişkinlerde tespit edilen yıllık etkin doz eşdeğeri	41
Tablo 5.1. Tez çalışmasında ulaşılan sonuçların benzer çalışmalarla karşılaştırılması	43

SİMGELER VE KISALTMALAR

Sv:	Sievert, eş değer doz birimi
Rem:	Roentgen Equivalent Man, eş değer doz birimi
Rad:	Radiation Absorbed Dose, soğurulan doz birimi
Gy:	Gray, soğurulmuş doz birimi
Bq:	Becquerel, aktivite birimi
Ci:	Curie, aktivite birimi
R:	Röntgen, ışınlama birimi
μ :	Mikro, alt birim (10^{-6})
m:	Mili, alt birim (10^{-3})
α :	Alfa radyasyonu
β :	Beta radyasyonu
γ :	Gama radyasyonu
λ :	Bozunma sabiti
D:	Soğurulan gama doz hızı
AEDE:	Yıllık etkin doz eşdeğeri
H_{ex} :	Dış tehlike indeksi
H_{in} :	İç tehlike indeksi
R_{aeq} :	Radyum eşdeğer aktivite konsantrasyon indeksi
AGDE:	Yıllık gonadal doz eşdeğeri
ELCR:	Yaşam boyu kanser riski
I_{γ} :	Gama indeksi
AUI:	Aktivite kullanım indeksi
NaI(Tl):	Talyum katkılı sodyum iyodür
MDA:	Minimum Dedekte Edilebilir Aktivite
WHO:	Dünya Sağlık Örgütü
NEA:	Nükleer Enerji Ajansı
TAEK:	Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
OECD:	The Organization for Economic Co-operation and Development
UNSCEAR:	United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Birleşmiş Milletler Atom Radyasyonunun Etkileri Bilimsel Komitesi

1.GİRİŞ

İnsanlar yaşamları boyunca hem doğal hem de yapay radyasyona maruz kalmaktadırlar. Ortalama bir insanın maruz kaldığı radyasyonun büyük bir kısmı doğal radyasyondan kaynaklanmaktadır. Dünyanın oluşumundan itibaren uzaydan gelen kozmik ışınlar ve yer kabuğunda ki doğal radyoaktif maddelerden yayılan radyasyon nedeniyle sürekli olarak doğal kaynaklı radyasyona maruz kalmaktayız. Doğal kaynaklı radyasyon yolu ile alınan yıllık etkin doz ortalama 2.4 mSv dir (UNSCEAR, 2000).

Yeryüzü uzaydan gelen yüksek enerjili parçacıklarla devamlı olarak bombardımana maruz kalmaktadır. Parçacıkların çoğunluğu atmosfere ulaşan hızlı protonlardır. Güneşin patlamalarında, yerin manyetik alanına ve yerküreden yüksekliğe bağlı olarak kozmik ışınların yoğunluğu değişir. Elektrik yüklü parçacıklar olan protonlar, atmosfere ulaştıklarında manyetik alanın etkisine girerler, bundan dolayı kozmik ışınların yoğunluğu ekvator dan kutuplara gidildikçe artar (Gönen, 2012).

Taş ve topraktan üretilen yapı malzemelerinden doğal radyoaktif maddelerden yayınlanan gama ışınlarından ötürü yapının içerisinde de radyasyondan etkilenirler. Yaşanılan bölgenin jeolojik ve coğrafi koşullarına, binada kullanılan yapı malzemelerine bağlı olarak, alınan radyasyon dozu değişmektedir. Ayrıca insan vücudu içerisinde bulunan radyoaktif elementler (^{40}K ve ^{14}C gibi), gama ışınlarında olduğu gibi, alfa ve beta parçacıkları ile çeşitli organlarda iç ışınlanmaya sebep olmaktadır (Gönen, 2012).

İç ışınlama, doğal olarak bulunan radyoaktif maddelerden solunum ve sindirim yolu ile alınmasından meydana gelmektedir. Solunum yolu ile havada bulunan ^{238}U ve ^{232}Th bozunum ürünlerinden oluşan toz parçacıkları vücuda alınmaktadır ve iç ışınlamaya neden olduğu en önemli bileşen ise radon ürünlerinden oluşturmaktadır. Sindirim yolu ile alınan yiyecek ve içeceklerde bulunan ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K radyoaktif madde iç ışınlamaya neden olmaktadır (UNSCEAR, 2000).

Doğal kaynaklı radyasyon düzeyini arttıran önemli sebeplerden biri, yer kabuğunda yaygın olarak bulunan radyoaktif radyum elementinin (^{226}Ra) bozunması esnasında salınan “radon gazı”dır. Bu radyoaktif bozunma sırasında oluşan diğer radyoaktif maddeler toprak içerisinde kalırken, sadece radon gazı toprak yüzeyine doğru yükselmektedir (Kurnaz, 2009).

Yapay kaynaklı radyasyonun önemli miktarı, nükleer silah testlerinden ve Çernobil gibi nükleer kazalardan ileri gelmektedir. Bu deneme ya da kazalar sonucunda nükleer serpinti

oluşmakta ve yeryüzünde ^{137}Cs gibi yapay radyoaktif kaynaklardan ileri gelen radyasyonuna sebep olmaktadır (Gürsu, 2020).

1.1. Tezin Amacı

Bu tez çalışması, Sinop ilinde nükleer santral kurulması halinde, kurulma çalışması öncesinde çevrede bulunan doğal radyoaktivite düzeylerini belirlemek amacıyla, yapılan deneysel bir çalışmadır.

Yapılan bu tez çalışmasında Sinop ve Sinop ilçelerinde 29 farklı noktadan alınan toprak ve 27 farklı noktadan alınan su örneklerinin NaI(Tl) gama spektrometresi kullanılarak doğal (^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K) ve yapay (^{137}Cs) aktivite derişim değerleri belirlenmiştir. Ayrıca doğal ve yapay olarak bulunan radyonüklidlerin aktivite konsantrasyonları kullanılarak yıllık etkin doz ve diğer radyasyon parametreleri hesaplanarak Türkiye ve Dünya daki farklı bölgelerde yapılmış olan çalışmalar ile karşılaştırılması yapılmıştır.

1.2. Literatür Çalışmaları

Bu bölümde 2000 ile 2019 yılları arasında topraktaki doğal radyoaktivite konulu daha önce yapılmış benzer çalışmalara yer verilmiştir.

Karahan ve Bayulken tarafından İstanbul ve çevresinde yapılan çalışmada topraktaki doğal radyoaktivite değerleri ölçülerek ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklidleri için sırasıyla 21 Bq/kg, 37 Bq/kg ve 342 Bq/kg bulunmuştur (Karahan ve Bayulken, 2000).

Trabzon ili ve Şebinkarahisar (Giresun) ilçesinden Kurnaz tarafından yapılan çalışmada toplanan toprak örneklerinde ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs ' nin ortalama aktivite konsantrasyonları sırasıyla, Trabzon ili için, 42.51 ± 1.48 Bq/kg, 35.47 ± 1.88 Bq/kg, 437.89 ± 10.96 Bq/kg ve 21.29 ± 0.99 Bq/kg ve Şebinkarahisar (Giresun) ilçesinde ise 129.82 ± 2.10 Bq/kg, 123.96 ± 3.99 Bq/kg, 914.27 ± 18.44 Bq/kg ve 26.37 ± 0.70 Bq/kg olarak bulunmuştur. Şebinkarahisar kaya örneklerinde ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K nin ortalama aktivite konsantrasyonları sırasıyla, 110.95 ± 1.94 Bq/kg, 109.69 ± 4.20 Bq/kg ve 828.65 ± 13.94 Bq/kg olarak belirlenmiştir (Kurnaz, 2009).

Kırıkkale ili ve çevresinde Albayrak tarafından yapılan çalışmada 84 toprak örneklerinin ortalama aktivite konsantrasyonları ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyonüklidleri için sırasıyla 20.9 Bq/kg, 38.1 Bq/kg 577.3 Bq/kg ve 3.6 toplanan 85 su örneklerinin ise ortalama toplam alfa ve toplam beta aktivite konsantrasyonu sırasıyla 0.17 Bq/l ve 0.23 Bq/l bulunmuştur. Ayrıca 170 noktada havada gama doz hızı belirlenerek ortalama gama doz hızı 121 nGy/h bulunmuştur (Albayrak, 2011).

Mutuk tarafından Samsun ili Bafra Kızılırmak deltasında yapılan çalışmada toprak numunelerinin ortalama aktivite konsantrasyonları ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklidleri için sırayla 37.24 ± 3.75 Bq/kg, 32.57 ± 2.17 Bq/kg ve 412.99 ± 11.91 Bq/kg bulunmuştur (Mutuk, 2012).

Samsun İli ve ilçelerinden yapılan çalışmada toplanan 115 toprak örneklerinin içerdiği ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K doğal radyonüklitlerinin aktivite derişimlerinin ortalama değerleri, sırasıyla 37.4 ± 5.2 Bq/kg, 39.5 ± 5.2 Bq/kg ve 377.1 ± 33.4 Bq/kg olarak bulunmuştur. Toplanan 52 su örneklerinin yapılan gama spektrometrik analizler neticesinde sırasıyla ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{208}Tl , ^{228}Ac , ^{40}K ve ^{137}Cs ortalama aktivite derişimi 0.15 Bq/l, 0.09 Bq/l, 0.04 Bq/l, 0.06 Bq/l, 0.49 Bq/l ve 0.06 Bq/l olduğu tespit edilmiştir. Toplanan 14 Mantar örneklerinin içerdiği ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs 'nin aktivite derişimlerinin ortalama değerleri, sırasıyla 0.219 Bq/kg, 0.141 Bq/kg, 102.7 Bq/kg ve 0.537 Bg/kg olarak tespit edilmiştir. Toplanan 14 karalahana örneklerinin içerdiği, ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs nin aktivite derişimlerinin ortalama değerleri de, sırasıyla 0.138 Bq/kg, 0.151 Bq/kg, 57.26 Bq/kg ve 0.043 Bg/kg olarak bulunmuştur (Altıkulaç, 2014).

Ardahan ili ve çevresindeki ilçelerden Balcı tarafından toplanan toplam 35 adet toprak numunesinin ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonları NaI(Tl) dedektörü gama spektrometresi ile ölçülmüştür. Toprak numunelerinin ^{226}Ra , ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyonüklidlerinin ortalama aktivite konsantrasyonları sırasıyla 29.9 Bq/kg, 36.7 Bq/kg, 435 Bq/kg ve 14.5 Bq/kg bulunmuştur. Sonuçlar Türkiye nin diğer illeri ve dünya ortalama değerleri ile karşılaştırılmıştır (Balcı, 2015).

Gümüşhane ili ve çevresinde toplanan toprak ve karayosunu örneklerinde doğal (^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K) ve yapay (^{137}Cs) radyoaktivite konsantrasyonları HPGE dedektörü kullanılarak toprak örneklerinde ortalama aktivite konsantrasyonları sırasıyla, 26.1 Bq/kg, 23.9 Bq/kg, 519.9 Bq/kg ve 18.6 Bq/kg bulunmuştur. Karayosunu örneklerinde ise ortalama aktivite konsantrasyonları sırasıyla, 76.6 Bq/kg, 24.8 Bq/kg, 643.7 Bq/kg ve 54.7 Bq/kg bulunmuştur (Kaya, Karabıdak ve Çevik, 2015).

Yılmaz tarafından Sinop ili ve Mersin ili Akkuyu bölgelerinde yapılan çalışmada tekrarlı olarak Mersin/Akkuyu 42 numune, Sinop 44 numune olmak üzere toplamda 86 farklı noktadan toprak numunesi toplanmıştır. Sinop bölgesinden toplanan toprak numunelerindeki ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyonüklidlerinin aktivite konsantrasyon değer aralıkları sırasıyla 12.28 - 48.94 Bq/kg, 8.78 - 27.22 Bq/kg, 79.21 - 239.97 Bq/kg ve 0.94 - 20.26 Bq/kg bulunmuştur. Elde edilen değerler kullanılarak toprak örnekleri için ortalama soğrulan doz hızı 16.25 - 43.93 nGy/h aralığındadır. Akkuyu bölgesinden toplanan toprak numunelerinin de ise ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs

değer aralıkları sırasıyla 7.60-91.27 Bq/kg, 9.41-52.36 Bq/kg, 183.83-849.93 Bq/kg ve 0.21-17.85 Bq/kg olarak ölçülmüştür. Bu bölgedeki ortalama soğrulan doz hızı 17.52-108.78 nGy/h hesaplanmıştır. İki bölge de karşılaştırıldığında Akkuyu bölgesinde ortalama soğrulan doz hızı aralığı değerinin daha fazla olduğu görülmektedir (Yılmaz, 2017).

Bilgici Cengiz tarafından yapılan çalışmada Kars ili Selim ilçesi toprak örneklerinde doğal radyoaktivite düzeyinin belirlenmesidir. İlçenin farklı yerlerinden toplanan 99 örneğinin aktivite konsantrasyonları NaI(Tl) gama spektrometresi kullanılarak ölçülmüştür. Örneklerdeki ortalama ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K değerlerinin sırasıyla 9.4-27.9 Bq/kg 16.3-45.0 Bq/kg ve 290.9-913.9 Bq/kg arasında değiştiği görülmüştür. Ayrıca 1 Bq/kg ile 29.6 Bq/kg arasında değişen ^{137}Cs değerleri tespit edilmiştir (Bilgici Cengiz, 2017)

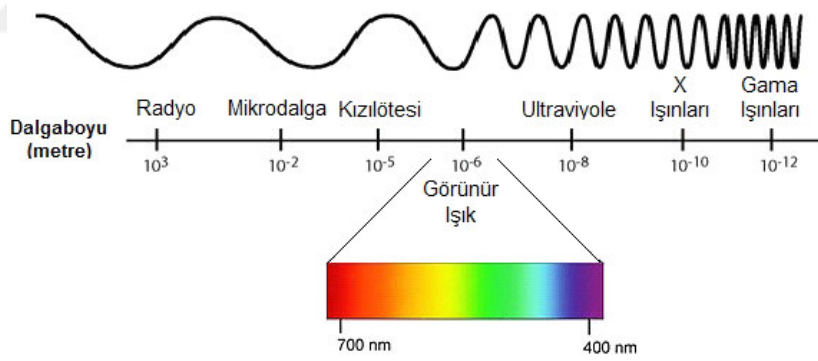
Arıman ve Gümüş tarafından Samsun ili Bafra Kızılırmak Deltası nda yapılan çalışmada NaI(Tl) dedektörü kullanılarak toprak numunelerinin ortalama aktivite konsantrasyonları ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklidleri için sırayla 28.59 Bq/kg, 17.48 Bq/kg ve 150.59 Bq/kg bulunmuştur. Ayrıca radyum eşdeğer ortalamasını 5.32 Bq/kg bulunmuştur (Arıman, Gümüş, 2018)

Bir diğer çalışmada ise Samsun ilinin Yakakent, Alaçam, Ondokuzmayıs ve Bafra ilçelerindeki toplanan 36 adet toprak örneklerinde NaI(Tl) dedektörü kullanılarak toprak örneklerinde ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyonüklidlerinin ortalama aktivite konsantrasyonları sırasıyla 36.07 ± 7.75 Bq/kg, 52.36 ± 5.38 Bq/kg, 362.02 ± 27.84 Bq/kg, 4.55 ± 1.40 Bq/kg bulunmuştur. Aynı toprak numunelerinin HPGe dedektörü kullanılarak ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyonüklidlerinin ortalama aktivite konsantrasyonları sırasıyla, 22.45 ± 1.03 Bq/kg, 30.01 ± 1.47 Bq/kg, 378.56 ± 7.29 Bq/kg, 8.33 ± 2.3 Bq/kg bulunmuştur (Bozkurt, 2019).

2.GENEL BİLGİLER

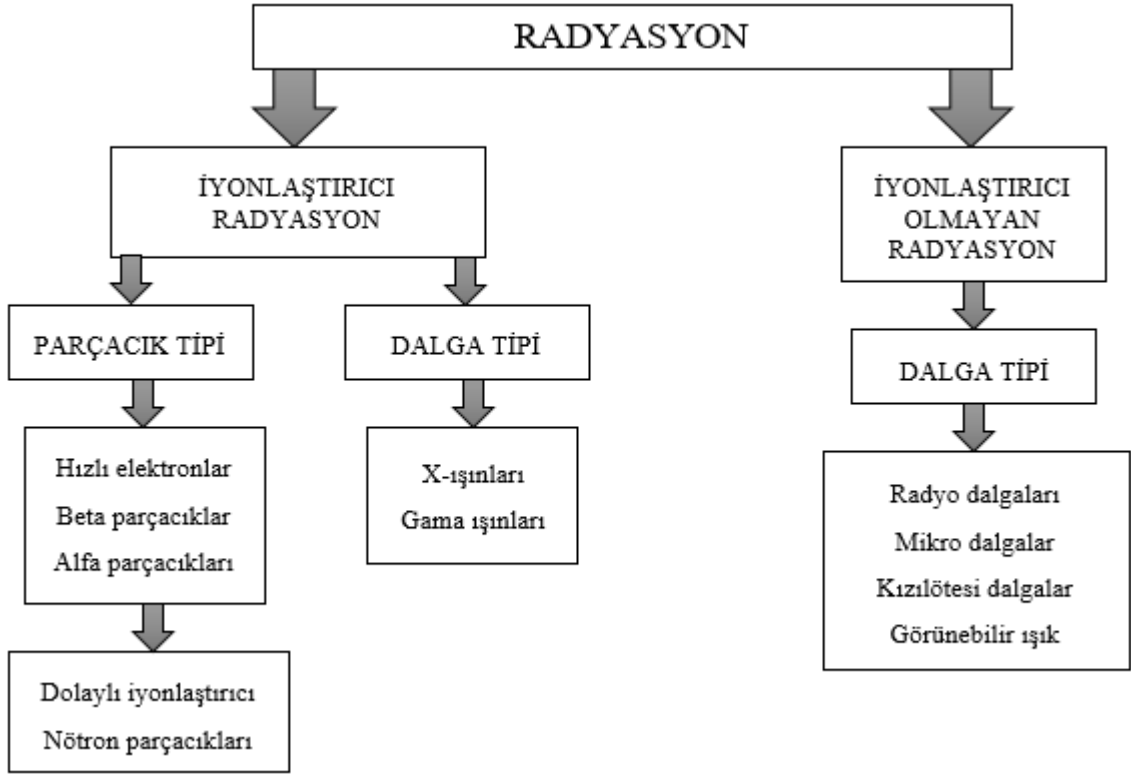
2.1. Radyasyon

Radyasyon, bir kaynaktan parçacık veya elektromanyetik dalgalar şeklinde enerji yayımı olarak ifade edilir. Anlaşılacağı üzere, radyasyon temel olarak elektromanyetik dalga ve parçacık tipi olarak ikiye ayrılmaktadır. Parçacık tipi radyasyonlar, belli bir kütle ve enerjisi olan çok hızlı hareket eden parçacıklardır. Dalga tipi radyasyon ise, belli bir enerjisi olan kütsüz radyasyon türüdür. Elektrik ile manyetik dalgaların birleşmeleri sonucu ortaya çıkarlar, titreşim yaparak ışık hızında hareket ederler. Elektromanyetik dalgalar foton olarak adlandırılan ışık hızında hareket eden enerji paketçikleridir. Elektromanyetik dalgalar, dalga boyları ve buna bağlı olan frekans ve enerjilerine göre sınıflandırılırlar. Bu sınıflandırmaya elektromanyetik spektrum denir. Bu spektrumun bir ucunda dalga boyları en büyük, frekansları ve enerjileri en küçük radyo dalgaları, diğer ucunda ise dalga boyları çok küçük, frekans ve enerjileri büyük olan X ve gama ışınları bulunur. Bütün elektromanyetik dalga tipi radyasyonlar ışık hızıyla (3×10^8 m/s) hareket ederler (Mutuk, 2012).



Şekil 2.1. Elektromanyetik spektrum (<https://gunesisigi.weebly.com/spektrum.html> 01.06.2021)

Radyasyon madde etkileşimlerine göre; iyonlaştırıcı radyasyon ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olarak iki gruba ayrılır. İyonlaştırıcı radyasyonlar, madde içerisine girerek atomların elektronlarını kopararak madde ile etkileşime girer. İyonlaştırıcı olmayan radyasyon ise, enerjileri çok düşük olduğu için madde içerisine giremeyip sadece maddenin atomlarını titreştirebilirler. İyonlaştırıcı radyasyon ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon Şekil 2.2’de gösterilmiştir (<https://www.taek.gov.tr/ogrenci/r02.htm> 01.06.2021).



Şekil 2.2. Radyasyon çeşitleri

2.1.1. Alfa parçacıkları

Alfa parçacıkları, pozitif yüklü iki proton ve iki nötrondan oluşmuş yüksek enerjili helyum (${}^4_2\text{He}$) çekirdeğidir. Alfa çekirdeği α sembolüyle gösterilmektedir. Atom numarası büyük olan izotoplarda görülür ve genel olarak doğal radyoaktif maddelerde rastlanır. Çekirdeğin, alfa parçalanması sonucu kütle numarası dört (4), atom numarası iki (2) azalır. Elektrik yüklerinden dolayı madde içinde iyonlaşmaya sebep olması nedeniyle alfa tanecikleri cisimler tarafından kolayca soğurulur, enerjisi kolay kaybetmesinden dolayı havada sadece birkaç santimetre ilerleyebilir. Alfa parçacıklarını, ince bir kâğıt tabaka ile durdurabilmek mümkündür. Bu yüzden dış radyasyon tehlikesi yapmazlar (Sarıkaya, Soykan, 2018).

2.1.2. Beta parçacıkları

Beta parçacıkları, bir elementin çekirdeğindeki proton ve nötron fazlalığından dolayı kararsız elementlerin kararlı hale geçerken, çekirdeklerinden salınan yüksek enerjili elektronlardır. Pozitif yüklü pozitron (β^+) ve negatif yüklü negatron (β^-) olmak üzere iki gruba ayrılır. Çekirdekteki enerji fazlalığı proton fazlalığından meydana geliyorsa pozitron (β^+), nötron fazlalığından meydana geliyorsa negatron (β^-) çıkar. Belli bir kütle ve yüke sahip olduklarından madde içerisinden geçerken iyonlaşmaya neden olurlar. Bunlardan korunmak için ince alüminyum levhadan yapılmış bir zırh malzemesi yeterlidir (Sarıkaya, Soykan, 2018).

2.1.3. Nötronlar

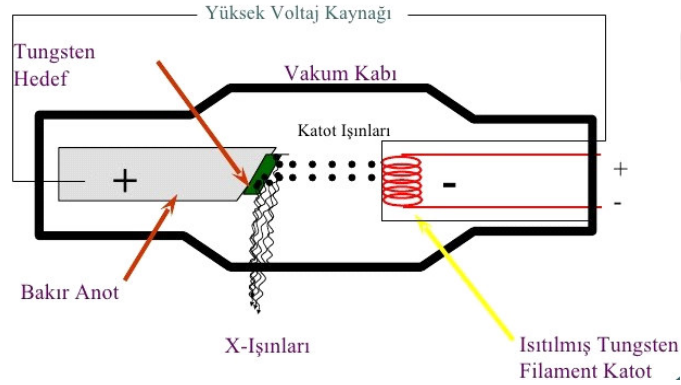
Nötronlar, atomunun çekirdeğinde bulunan yüksüz parçacıklardır. Bu özelliğinden dolayı, elektronla değil, çekirdekle etkileşerek madde içerisine kolaylıkla nüfuz edebilirler (Gönen, 2012). Hidrojen dışında her atomun çekirdeğinde en az bir nötron vardır (Albayrak, 2011). Ayrıca nötronlar, su ve parafin ile kalın beton kütleleriyle durdurulabilirler (Gönen, 2012).

2.1.4. Elektron

Elektron, en küçük elektrik yüküne sahip ve atomu meydana getiren taneciklerdir. Elektronlar, atomun yapısında ve çekirdeğin yörüngelerinde hareket edebilen negatif yüklü parçacıklardır.

2.1.5. X ışınları

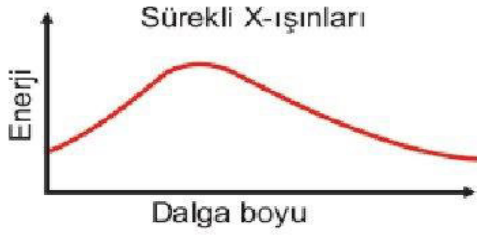
X ışınları, dalga boyu küçük, enerjisi yüksek olan elektromanyetik dalgalardır. Yüksüz olduklarından dolayı, elektrik ve manyetik alandan saptırılmazlar. X ışınları, hızlandırılmış elektronların anot metale çarptırılması sonucu oluşur.



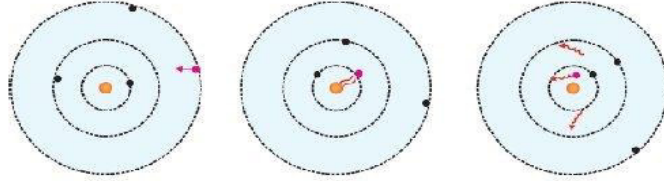
Şekil 2.3. X ışını oluşturan tüpün iç yapısı (<https://www.slideshare.net/guestf717d7a/cdocuments-and-settingspcdesktopdifraktometre-eitleri-ve-veri-toplama> 01.06.2021)

Hızlandırılan yüksek enerjili elektronlar anota çarparak, hedef atom çekirdeğine çarpan elektronlar atom çekirdeği ile elektron arasında Coulomb kuvveti nedeniyle yavaşlatılır ve ivmeli hareket yapar. Bu yavaşlama sonucunda her enerji düzeyinde X ışını oluşturur. Bu ışınlar sürekli spektrum X ışını denir. Oluşan bu ışınım Bremsstrahlung ışınımı anlamındaki “frenleme ışınımı” ya da “beyaz ışım” denir (<https://neu.edu.tr/wp-content/uploads/2015/11/BMT-211-ders-notu-X-Işinlari.pdf> 01.06.2021).

1. YOL SÜREKLİ X IŞINLARI



Bütün dalga boylarında enerji var.



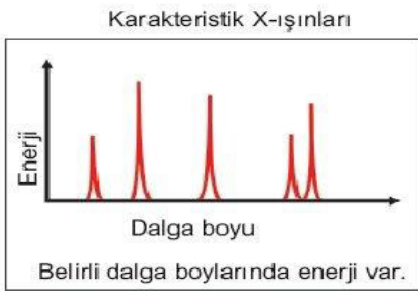
Şekil 1 : Sürekli spektrum X-ışını eldesi

Katottan çıkan (-) yüklü elektronlar Şekil 1'de görüldüğü gibi hedef atomun (+) yüklü çekirdeğinden kaynaklanan Coulomb kuvvetleri tarafından yavaşlatılır. Bu yavaşlatma sonucunda X-ışını oluşur. Bu yolla her enerji düzeyinde X-ışını oluşturulabildiğinden bu ışınlar **sürekli spektrum X-ışını** denir.

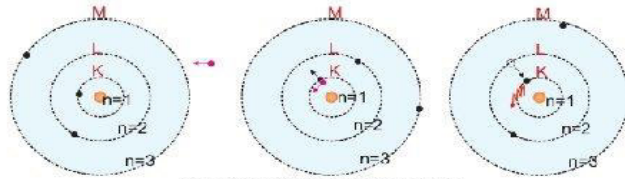
Şekil 2.4. Sürekli spektrum X-ışınları (<https://slidetodoc.com/xnlar-nasl-oluturulur-bunun-iin-yandaki-gibi-bir/> 01.06.2021)

Hızlandırılmış yüksek enerjili elektronlar hedef atomun üzerine çarptıkları yörüngedeki elektronları uyarıp üst yörüngeye çıkarır. Uyarılmış olan elektron temel hale dönerken iki yörünge arasındaki enerji seviyeleri farkına eşit büyüklükteki enerjiye sahip ışın oluşturur. Bu oluşan ışın karakteristik X ışını denir (<https://neu.edu.tr/wp-content/uploads/2015/11/BMT-211-ders-notu-X-Işinlari.pdf> 01.06.2021).

2. YOL KARAKTERİSTİK X IŞINLARI



Belirli dalga boylarında enerji var.



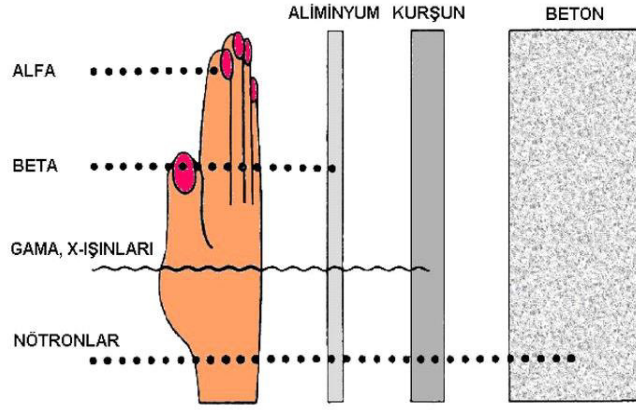
Şekil 2 : Karakteristik X-ışını eldesi

Şekil 2'de görüldüğü gibi katottan çıkan elektronların hedef atomun K iç yörüngesindeki elektronlardan birine çarparak onu üst yörüngeye çıkarır. Bunun sonucunda X-ışını oluşur. Üst yörüngedeki elektron temel hâle dönerken iki yörünge arasındaki enerji düzeyleri farkı kadar enerjiye sahip X-ışını yayar. Bu yolla oluşan ışınlar **karakteristik X-ışını** denir.

Şekil 2.5. Karakteristik X-ışınları (<https://slidetodoc.com/xnlar-nasl-oluturulur-bunun-iin-yandaki-gibi-bir/> 01.06.2021)

2.1.6. Gama ışınları

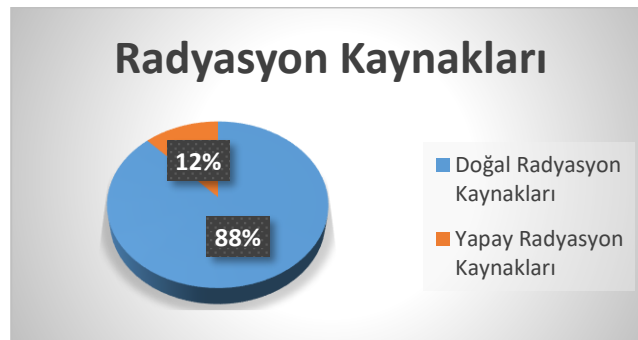
Gama ışınları, çekirdek içerisindeki yük dağılımının değişmesi nedeniyle yayınlanır. Gama ışınların ana kaynağı atomun çekirdeğidir. Gama ışınları atom çekirdeğinin içinde bulunan enerji düzeylerindeki farklılıklardan meydana gelmektedirler. Çekirdek bir alfa veya bir beta parçacığı yayınladıktan sonra genellikle kararlı bir durumda olmaz fakat içinde kalan ve fazla olan çekirdek enerjisi bir radyasyon halinde yayılır (Albayrak, 2011). Ayrıca gama ışınları kurşun gibi ağır metaller kullanılarak durdurulabilir.



Şekil 2.6. Farklı tipteki radyasyon ışınlarının geçişi (<https://studylibr.com/doc/852586/radyasyon---madde-etkilesimi> 01.06.2021)

2.2. Radyasyon Kaynakları

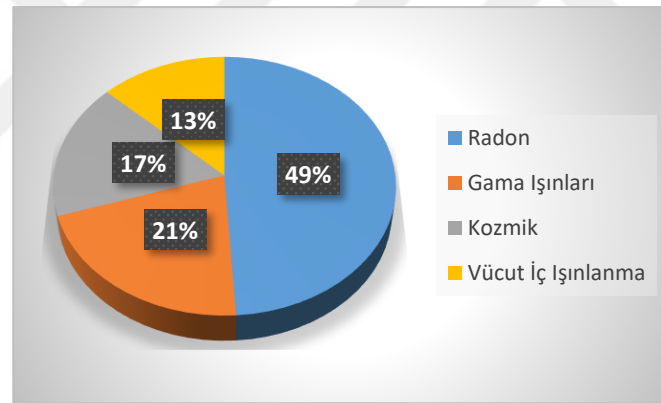
Radyasyon kaynakları iki gruba ayrılır, doğal radyasyon kaynakları ve yapay radyasyon kaynaklarıdır.



Şekil 2.7. Radyasyon kaynakları

2.2.1. Doğal radyasyon kaynakları

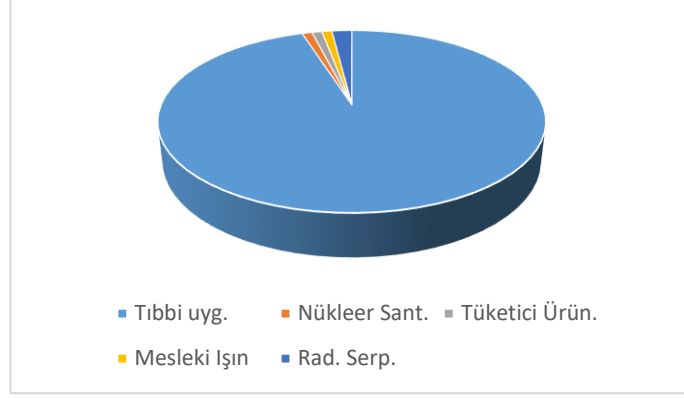
Doğal radyasyon kaynakları, atmosfere giren yüksek enerjili kozmik ışınlar ve yer kabuğunda bulunan doğal radyoaktif maddelerden oluşur. Kozmik ışınlar uzaydan dünyamıza gelen yüksek enerjili ışınlardır ve dünyanın en üst atmosferine çarparlar. Kozmik ışınlarının %87 si protonlardan, %11 i alfa parçacıklarından, %1 i daha ağır atomlardan ve geri kalan %1 elektronlardan oluşan yüksek enerjili kozmik ışınlardır. Deniz seviyesinden yukarılara çıkıldıkça maruz kalınan radyasyon miktarının artması bu sebeptendir. Kozmik ışınlar sebebiyle aldığımız radyasyon dozunun dünya ortalaması 0.39 mSv/yıl dır. Yerkürede bulunan kısa yarı ömürlü radyoizotopların yaydığı gama ışınlarının ilavesiyle topraktan aldığımız radyasyon dozunun dünya ortalaması 0.46 mSv/yıl dır. Vücudumuz içerisinde bulunan radyoaktif elementlerden dolayı da belli bir radyasyon dozuna maruz kalırız. Doğal radyasyon düzeyini yükselten en önemli sebeplerden biri, radyum elementinin bozunması sırasında salınan radon gazıdır. Radon gazından dolayı maruz kalınan yıllık dünya ortalama doz 1.3 mSv/yıl dır (Seyrek, 2007).



Şekil 2.8. Doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan küresel radyasyon dozlarının oransal değerleri

2.2.2. Yapay radyasyon kaynakları

Yapay radyasyon kaynakları, endüstri, zirai ve tıbbi amaçla kullanılan X ışınları ve yapay radyoaktif maddeler, nükleer bomba denemeleri neticesinde ortaya çıkan nükleer serpintiler, nükleer güç üretiminden salınan radyoaktif maddeler ve tüketici ürünlerinde kullanılan radyoaktif maddelerdir. Yapay radyasyondan dolayı maruz kalınan yıllık radyasyon dozunun dünya ortalaması 0.3 mSv dir (Seyrek, 2007).



Şekil 2.9. Yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan küresel radyasyon dozlarının oransal değerleri

2.3. Radyasyon Birimleri

2.3.1. Aktivite birimi

Aktivite birim, eski birim sisteminde Curie (Ci) olup, bir saniyede 3.7×10^{10} bozunma gösteren radyoaktif madde miktarı olarak tanımlanmıştır. Yani $1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10}$ bozunma/s dir. Yapılan bu tanımdan Curie nin sadece birim zamandaki bozunma sayısına dayandığı anlaşılmaktadır. Ancak radyoaktif bozunma sırasında bazen bozunma başına birden fazla γ ışına da yayınlanır. Bir foton yayınlanması çoğunlukla bir yüklü parçacığın yayınlanmasını izler, dolayısı ile bu olay bir tek parçalanma olarak yorumlanır. Buradan Curie tanımının radyoaktif madde tarafından yayınladığı radyasyonların sayısını göstermediği sonucu çıkmaktadır. (Görür, 2006: 8). Uygulamada genellikle küçük katları olan mCi ve μCi kullanılır. Uluslararası Birim Sisteminde (SI) Becquerel (Bq) olup, bir sanayide bozunma yapan maddenin aktivitesidir. $1 \text{ Bq} = 1$ bozunma/s dir. Buna göre,

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq},$$

$$1 \text{ Bq} = 2.703 \times 10^{-11} \text{ Ci}$$

dır.

2.3.2. Işınlanma birimi

Işınlama birimi, X ve γ radyasyonu havayı iyonlaştırma özelliğine dayanan bir ölçüdür. Işınlanma birimi Röntgen (R), normal hava şartları (0°C ve 760 mm Hg basıncı) havanın 1 kilogramında 2.58×10^{-4} C luk elektrik yükü değerinde pozitif ve negatif iyonlar oluşturan X ve γ radyasyon miktarı olarak tanımlanır. Uluslararası birim sisteminde (SI) Coulomb/kg (C/kg) olup normal hava şartlarında havanın 1kg ında 1 Coulomb luk elektrik yükü değerinde pozitif ve negatif iyonlar oluşturan X ve Gama ışının radyasyon birimidir (Görür, 2006). Buna göre,

$$1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C / kg}$$

$$1 \text{ C/kg} = 3.876 \times 10^3 \text{ R}$$

dır.

2.3.3. Soğurulan doz birimi

Soğurulan doz birimi, rad (Radiation Absorbed Dose) olan, ışınlanan maddenin 1 kg'ına 10^{-2} Joule lük enerji veren radyasyon dozudur. Bu doz birimi soğurulan enerji miktarını gösterdiği gibi parçacık veya foton özellikli radyasyonlara uygulanabilen bir büyüklüktür. Uluslararası birim sisteminde (SI) Gray (G) olup, ışınlanan maddenin 1 kilogramına 1 Joule lük enerji veren radyasyon dozudur (Görür, 2006). Buna göre,

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

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

dır.

2.3.4. Eşdeğer doz birimi

Eşdeğer doz birimi, absorbe doz biriminin kalite faktörüyle çarpımını ifade eder. Farklı radyasyonlarda soğurulan enerji aynı olsa bile dokuda aynı biyolojik etkiyi meydana getirmezler. Biyolojik etki sadece soğurulan doza bağlı değildir.

$$\text{Eşdeğer Doz (rem)} = \text{Soğurulan Doz (rad)} \times \text{Çarpanlar}$$

Birimi rem (Roentgen Equivalent Man) olan, 1 röntgenlik X ve γ ışınının oluşturduğu biyolojik etkiyi meydana getiren herhangi bir radyasyonun absorbe olan miktarıdır.

Uluslararası birim sisteminde (SI) Sievert (Sv) olup, aynı zamanda bir kilogram doku tarafından absorbe edilen bir joule lük enerji veren radyasyon miktarıdır (Görür, 2006). Buna göre,

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

dır.

Tablo 2.1. Radyasyon birimleri

Terim	Birim		Dönüşüm
	Klasik Sistem	SI Birim	
Aktivite Birimi	Ci	Bq	1 Ci = 3.7x10 ¹⁰ Bq 1 Bq = 2.703x10 ⁻¹¹ Ci
Işınlanma Düzeyi Birimi	R	C/kg	1 R = 2.58x10 ⁻⁴ C / kg 1 C/kg = 3.876x10 ³ R
Soğurulan Doz Birimi	rad	Gy, J/kg	1 Rad = 10 ⁻² Gy 1 Gy = 100 Rad
Eşdeğer Doz Birimi	rem	Sv, J/kg	1Sv = 100 rem

3. MATERYAL VE METOT

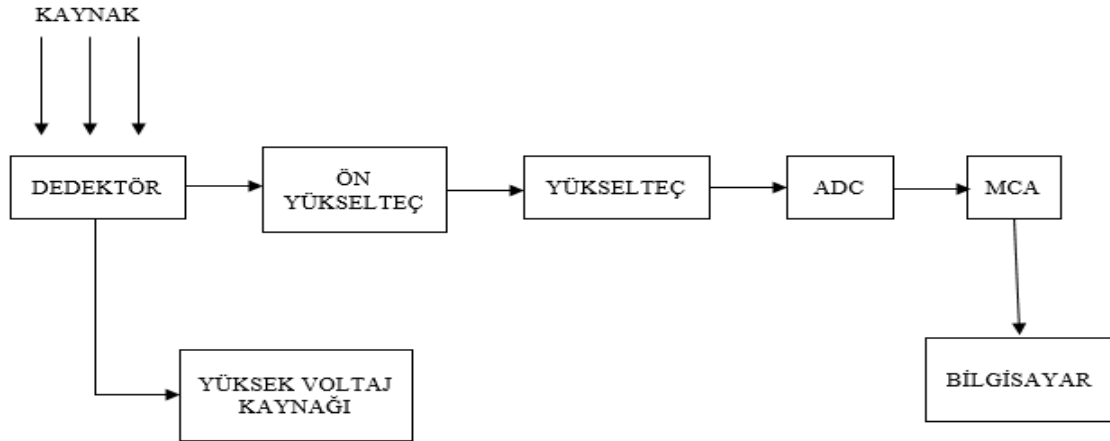
3.1. Gama Spektrometresi

Gama spektrometresi, çevrede bulunan maddelerin radyoaktif olup olmadığını ve radyoaktif ise hangi elementlerden olduğunu belirlenebilir. Ayrıca bu radyoaktif elementler tarafından yayınlanan gama ışınlarını enerjilerine göre ayıran bir sistemdir (Günoğlu, 2012).

Belli bir kaynaktan gelen gama ışınları, dedektörle etkileşmesi sonucu elde edilen enerji ile orantılı olarak ortaya çıkan spektrumlar, dedektörün bağlı olduğu elektronik aygıtların uygun bir düzen yardımıyla analiz edilir (Bostancı, 2011).

Gama spektrometresi, çeşitli radyoaktif maddelerden radyoizotopların tanımlanmasında yaygın kullanılan metottur, ayrıca gama ışınlarının enerjisi her bir çekirdek için kesikli ve karakteristiktir (Albayrak, 2011).

Dedektör, yüksek voltaj kaynağı, ön yükselteç (preamplifikatör), yükselteç (amplifikatör), analog dijital çevirici (ADC), çok kanallı analizör (MCA) bu sistemin elemanlarıdır. Sistem bilgisayara bağlanır, ilave olarak yazıcı da eklenebilir (Bozkurt, 2019).



Şekil 3.1. Tipik gama spektrometre şeması

3.2. Gama Spektrometre Elemanları

3.2.1. Dedektör sistemi

Radyasyon dedektörleri kullanılan malzemeye göre gazlı, nötron, yarı-iletken ve sintilasyon (parıldayıcı) dedektörler olmak üzere dört gruba ayrılır.

Ondokuzmayıs Üniversitesi Nükleer Fizik Laboratuvarında yapılan tez çalışmalarında gama radyasyonu spektrum sistemi ORTEC marka 905-4 (3"x3") model talyum katkılı sodyum iyodür (NaI(Tl)) sintilasyon dedektörü kullanıldı.

NaI(Tl) dedektörünün çözünürlüğü 0.5 MeV de %2.2 MeV de %1.3 (10 cm mesafede 1 μCi ^{137}Cs için) dür. Al kabının kalınlığı 0.5 mm dir. Kullanılan yazılım programı ScintiVision dur (Bozkurt, 2019).

3.2.2. Yüksek voltaj kaynağı

Dedektörün yük birikiminde gerekli olan elektrik alanı oluşturmak için kullanılır. Besleme gerilimini NaI(Tl) dedektörü için 800 V sağlamaktadır (Bozkurt, 2019).

3.2.3. Ön yükselteç

Dedektörden gelen sinyalleri yükseltece göndermeden önce küçük sinyali şekillendirir ve büyütür. Elektronik devre ile dedektör arasında direnç seviyesini ayarlar ve empedans uyumu sağlar (Bozkurt, 2019).

3.2.4. Yükselteç

Ön yükselteç den gelen sinyali gerilimini artırıp şekillendirir. Ön yükselteç den çıkan sinyal yüksekliği ölçümünde uygun olmayan sinyallerin analizini yapabilmek için sinyalleri yükseltir. Ön yükselticiden gelen sinyaller yükseltici tarafından büyütülürler, yükselme zamanı daha kısa olan sinyallere dönüştürülürler (Bozkurt, 2019).

3.2.5. Analog dijital çevirici (ADC)

Yükselteçten gelen sinyalleri sayısal sinyallerine dönüştürür. Yükselteçten gelen çıkış sinyali (analog sinyal) ADC de genliği ve gama ışınlarının enerjisiyle orantılı bir tam sayıya dönüştürülür. Her sinyal yüksekliklerine (genliklerine) göre sıralanır. Bu sinyaller daha sonra uygun kanallara gönderilir. Sonuç olarak bu bilgi enerji spektrumu şeklinde ekrana aktarılır (Bozkurt, 2019).

3.2.6. Çok kanallı analizör (MCA)

Çok kanallı analizör her kanal belirli bir enerjiye karşılık gelecek şekilde sıralanır ve hafızaya kaydedilir. Spektrumun elde edilmesinde kullanılacak kanal sayısı dedektörün ayırma gücüne ve enerji aralığına bağlı olarak seçilir. Yükselticinin çıkış sinyalleri çok kanallı analizör yardımıyla analiz edilir. Gelen her sinyal, sayısal hale dönüştürüldükten sonra genliği ile

orantılı olacak şekilde hafıza kanallarına yerleştirilir. Her kanalın belli bir enerji değeri vardır. Sayım süresi boyunca gelen pulslar pikleri oluşturur (Kurnaz, 2009) .

3.3. Toprak örneklerinin toplanması

Toprak numuneleri, tarım dışı, üzeri açık ve temiz arazilerden 20 cm kadar derinlikten uygun alet ile alınır. Örnekler, 1 m² lik alanın dört köşesi ve merkezinden olmak üzere beş farklı noktadan toplanıp, plastik poşetlere yerleştirilerek bilgi formları dolduruldu. Örnek bilgi formu Tablo 3.1 de gösterildi. Toplanan toprak numunelerinin koordinatları Tablo 3.2 de ve toplandığı noktalar ise Şekil 3.2 de gösterildi. Toplanan numuneler OMÜ Fen-Edebiyat Fakültesi, Nükleer Fizik Laboratuvarına getirildi.

Tablo 3.1. Toprak örnek bilgi formu

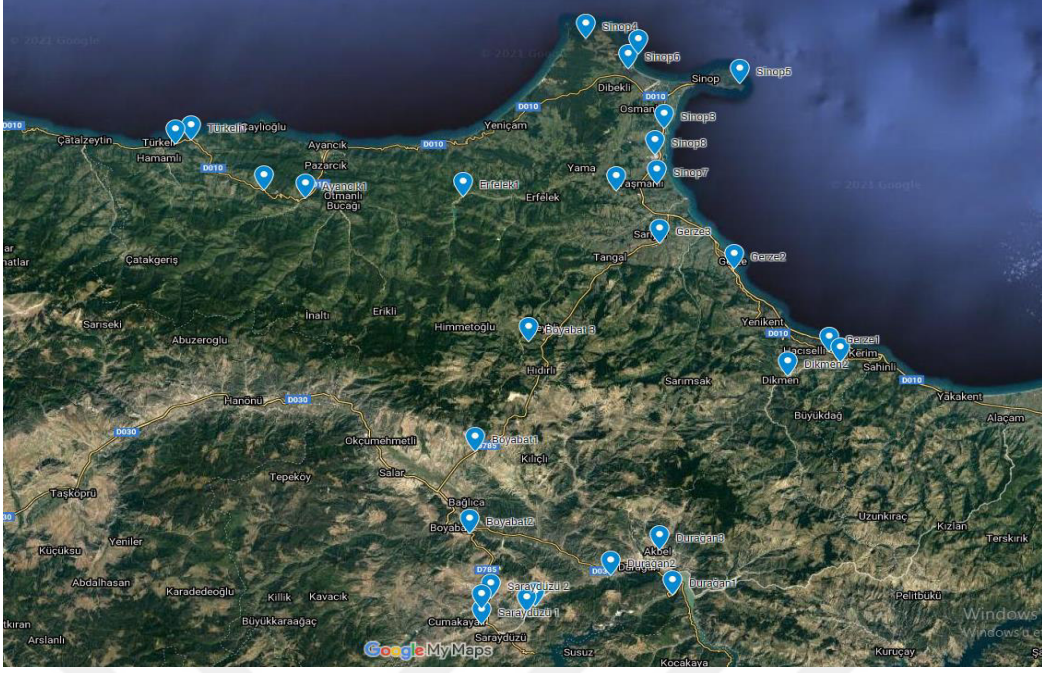
Toprak Örnekleri Bilgi Formu	
Örnek kodu	
GPS koordinatları	
Yerleşke	
Dönemi	
Temsil ettiği alan (m²)	
Açık arazi (A) Tarımsal alan (T)	
Örneğinin alınış tarihi ve saati	
Örneği alanın adı	
1 m yükseklikteki gama sayımı	
Ek açıklamalar	



Şekil 3.2. Alınan toprak numunesi

Tablo 3.2. Toprak örneklerinin koordinatları

Toprak Örneği	Koordinatlar
Ayancık-1	41°87'83" , 34°55'45"
Ayancık-2	41°88'87" , 34°49'36"
Saraydüzü-1	41°34'45.5223" , 34°81'75.766"
Saraydüzü-2	41°37'80.0848" , 34°83'04.777"
Saraydüzü-3	41°36'01" , 34°88'42"
Saraydüzü-4	41°36'79" , 34°89'66"
Saraydüzü-5	41°36'45.208" 34°81'75.410"
Gerze-1	41°68'73" , 35°33'43"
Gerze-2	41°79'06" , 35°19'29"
Gerze-3	41°82'30" , 35°08'18"
Durağan-1	41°38'19.553" , 35°10'10.024"
Durağan-2	41°40'62.593" , 35°00'97.55"
Durağan-3	41°43'85.726" , 35°08'19.550"
Boyabat-1	41°56'15.709" , 34°80'77.117"
Boyabat-2	41°45'90.834" , 34°79'97.063"
Boyabat-3	41°69'99.12" , 34°88'69.005"
Dikmen-1	41°67'35" , 35°35'18"
Dikmen-2	41°65'60" , 35°27'24"
Türkeli-1	41°95'13" , 34°38'51"
Türkeli-2	41°94'59" , 34°36'11"
Erfelek-1	41°88'05" , 34°79'00"
Sinop-1	41°88'79" , 35°01'75"
Sinop-2	42°04'12" , 35°08'29"
Sinop-3	41°96'60" , 35°08'84"
Sinop-4	42°07'83" , 34°97'29"
Sinop-5	42°02'18" , 35°20'18"
Sinop-6	42°04'03" , 35°03'60"
Sinop-7	41°89'63" , 35°07'74"
Sinop-8	41°93'33" , 35°07'59"



Şekil 3.3. Toprak örneklerinin toplandığı noktalar

Laboratuvarda içlerinde bulunan taş, ot, ağaç kabukları gibi yabancı cisimlerden temizlenmiş, numuneleri eleyerek uygun tanecik boyutuna getirildikten sonra yaklaşık olarak bir hafta oda sıcaklığında kurutmaya bırakılmıştır. Örnekler bir gün süreyle sıcaklığı 105 °C ye ayarlanmış G11540SD model kuru havalı stabilizör fırında işleme tabi tutulmuştur.



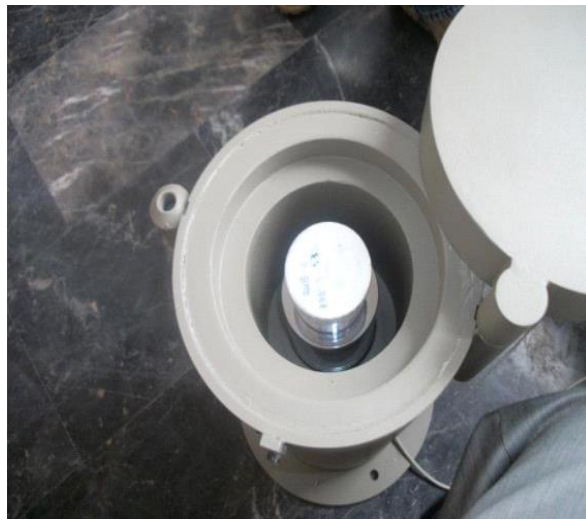
Şekil 3.4. G11540S D model fırın

Kurutma işleminden sonra numuneler, verim kalibrasyonunda kullanılan kalibrasyon kaynaklarının geometrisine uygun hâle getirebilmek amacıyla öğütücüde öğütülerek 0.1 mm gözenekli eleklerden geçirildi. Toz haline getirilen toprak örnekleri 5x6 cm lik boyutlardaki sayma kaplarına doldurularak her bir kabın darası alındıktan sonra tartılarak kütleleri kaydedildi.



Şekil 3.5. Numunelerin elenerek uygun tanecik boyutuna getirilmesi

Toprak içerisinde bulunan radon ve toron gibi bozunma ürünlerinin dengeye gelmesi için örnek kaplarının ağzı parafilm ile sıkıca kaplanarak sızdırmaz hâle getirilip bir ay süreyle beklemeye bırakıldı. Bir ay sonunda her bir toprak örneği için, NaI(Tl) dedektörlü gama spektrometresinde 80000 s süreyle ölçüm alındı.



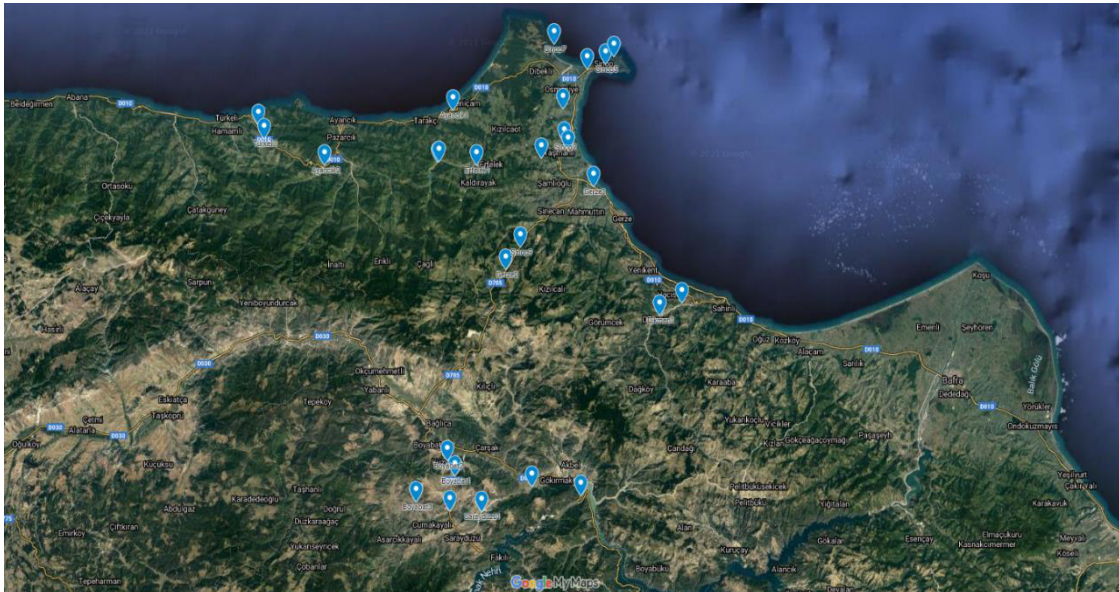
Şekil 3.6. Ölçüm işlemi için detektöre yerleştirilmiş toprak örneği (Altıkulaç, 2014)

3.4. Su Örneklerinin Toplanması

İçme suyu örnekleri köy, kasaba ve şehir gibi yerleşim merkezlerinden 500 ml lik pet şişeler kullanılarak alındı. Toplanan su örnekler, OMÜ Fen-Edebiyat Fakültesi Nükleer Fizik Laboratuvarına getirildi. Alınan su örneklerinin koordinatları ise Tablo 3.3 te verilmektedir. Su içerisinde bulunan radon ve toron gibi bozunma ürünlerinin dengeye gelmesi için kaplarının ağzı parafilm ile kapatılarak bir ay bekletildi. Bir ay sonunda, her bir su örneği için NaI(Tl) dedektörlü gama spektrometresinde 80000 s ölçüm yapılmıştır.



Şekil 3.7. Alınan su numunesi



Şekil 3.8. Su örneklerinin toplandığı noktalar

Tablo 3.3. Su örneklerinin koordinatları

Su Örneği	Koordinatlar
Dikmen-1	41°06'51" , 35°27'24"
Dikmen-2	41°06'51" , 35°32'07"
Durağan-1	41°38'97.167" , 35°10'29.662"
Durağan-2	41°40'32.427" , 34°99'63.652"
Gerze-1	41°08'46" , 35°13'04"
Gerze-2	41°07'23.029" , 34°94'02.007"
Boyabat-1	41°41'94.779" , 34°83'04.5777"
Boyabat-2	41°44'18.271" , 34°81'38.064"
Boyabat-3	41°38'07.4" , 34°74'72.9"
Sarayüzü-1	41°36'65" , 34°88'84"
Sarayüzü-2	41°36'72.006" , 34°81'94.77"
Türkeli-1	41°09'166" , 34°41'89"
Türkeli-2	41°09'367" , 34°40'60"
Ayancık-1	41°09'583" , 34°08'61"
Ayancık-2	41°08'773" , 34°54'86"
Erfelek-1	41°08'778" , 34°08'77"
Erfelek-2	41°08'816" , 34°07'31"
Erfelek-3	41°08'833" , 34°07'58"
Sinop-1	42°03'67.9" , 35°17'44.1"
Sinop-2	41°09'111" , 35°06'76"
Sinop-3	41°09'603" , 35°06'40"
Sinop-4	41°08'879" , 35°01'78"
Sinop-5	42°02'59" , 35°15'69"
Sinop-6	42°01'82" , 35°11'63"
Sinop-7	42°05'52" , 35°04'46"
Sinop-8	41°08'995" , 35°07'58"
Sinop-9	41°07'570.487" , 34°97'15.895"

3.6. Hesaplanan Radyasyon Parametreleri

3.6.1. Soğurulan gama doz hızı (D)

Çevresel radyoaktif maddelerden gelen gama radyasyonunun insan sağlığı üzerinde oluşturduğu etki toprak yüzeyinden 1 m yükseklikteki havada soğurulmuş gama radyasyon doz hızı (D) ile tanımlanır (Bilgici Cengiz, 2017). ^{137}Cs aktivite derişimi yokken,

$$D \text{ (nGy h}^{-1}\text{)} = 0.463A_U + 0.604A_{Th} + 0.0417A_K \quad (3.1)$$

ifade ile hesaplandı (Saito and Jacob, 1995). ^{137}Cs aktivite derişimi varken,

$$D \text{ (nGy h}^{-1}\text{)} = 0.470A_U + 0.572A_{Th} + 0.0421A_K + 0.156A_{Cs} \quad (3.2)$$

ifade ile hesaplanır (Markkanen, 1995). Burada, A_U , A_{Th} ve A_K sırasıyla ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K 'ın aktiviteleridir.

3.6.2. Yıllık etkin doz eşdeğeri (AEDE)

Yıllık etkin doz eşdeğeri (AEDE), insanın bir yılda maruz kaldığı, farklı radyasyon kaynaklarından yayınlanan radyasyonlardan alacağı doz miktarıdır. Aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır (Bozkurt, 2019).

$$AEDE (\mu\text{Sv y}^{-1}) = [D(\text{nGy h}^{-1}) \times 8760 \text{ h} \times 0.2 \times 0.7 \text{ Sv Gy}^{-1}] \times 10^{-3} \quad (3.3)$$

Çevresel Gama Dozu Dönüşüm Faktörü 0.7 Sv/Gy olarak belirlenmiştir. Ölçümler hem iç hem de dış alanlarda yapıldığında bu değer değişmez. Diğer faktör ise insanların bir yıl süresince (8760 h) zamanlarının yaklaşık %20'sini açık mekanlarda geçirdiği göz önünde tutularak dış mekanlarda meşguliyet faktörü olarak 0.2 katsayısı kullanılmıştır.

3.6.3. Dış tehlike indeksi (H_{ex})

Dış kaynaklı tehlike indeksi olarak tanımlanan H_{ex} değeridir (UNSCEAR, 2000).

$$H_{\text{ex}} = A_{\text{U}}/370 + A_{\text{Th}}/259 + A_{\text{K}}/4810 \quad (3.4)$$

Burada, A_{U} , A_{Th} ve A_{K} sırasıyla ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K in aktiviteleridir. Radyasyon zararının önemsiz olabilmesi için dış tehlike indeksinin 1 ve 1 den küçük olması gerekir.

3.6.4. İç tehlike indeksi (H_{in})

İç tehlike indeksi, radon gazı ve kısa yarı ömürlü radon ürünlerinin solunum organlarına tehlike düzeyini ve maruz kalınan iç radyasyon oranını belirlemek için kullanılan ifadedir. İç tehlike indeksi aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır (UNSCEAR, 2000).

$$H_{\text{in}} = A_{\text{U}}/185 + A_{\text{Th}}/259 + A_{\text{K}}/4810 \quad (3.5)$$

Burada, A_{U} , A_{Th} ve A_{K} sırasıyla ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K 'in aktiviteleridir. İç tehlike indeksinin 1 ve 1 den küçük olması gerekir.

3.6.5. Radyum eşdeğer aktivite konsantrasyon indeksi (R_{aeq})

Radyasyona maruz kalma oranını tanımlamak için, Bq kg^{-1} cinsinden ölçülen radyum eşdeğer aktivitesi (R_{aeq}) değerleri, genellikle farklı miktarlarda ^{40}K , ^{238}U ve ^{232}Th farklı konsantrasyonu içeren spesifik aktivitesini karşılaştırmak için kullanılır (Beretka and Matthew, 1985).

$$R_{\text{aeq}} (\text{Bq kg}^{-1}) = A_{\text{U}} + 1.43A_{\text{Th}} + 0.077A_{\text{K}} \quad (3.6)$$

3.6.6. Yıllık gonadal doz eşdeğeri (AGDE)

Yıllık dozun genetik öneminin bir ölçüsüdür, nüfusun üreme organları tarafından alınan eşdeğeridir. Kemik iliği ve kemik yüzey hücrelerinin aktivitesi, tarafından ilgilenilen organlar olarak kabul edilir. Bu nedenle, ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K spesifik aktiviteleri nedeniyle yıllık gonadal doz eşdeğeri (AGDE) aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır (Ravisankar, et al., 2014).

$$\text{AGDE } (\mu\text{Sv y}^{-1}) = 3.09A_{\text{U}} + 4.18A_{\text{Th}} + 0.314A_{\text{K}} \quad (3.7)$$

3.6.7. Yaşam Boyu Kanser Riski (ELCR)

Yaşam boyu kanser riski (ELCR) aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanır.

$$\text{ELCR} = \text{AEDE} \times \text{DL} \times \text{RF} \quad (3.8)$$

AEDE, DL ve RF' nin yıllık etkili doz eşdeğeri olduğu durumlarda, yaşam süresi 70 yıl, risk faktörü 0.05 Sv^{-1} alınır (UNSCEAR, 2000).

3.6.8. Gama indeksi (I_{yr})

Belirli bir yapı malzemesinde doğal radyonüklidlerle ilişkili γ -radyasyon tehlikesi seviyelerini tahmin etmek için kullanılan bir diğer radyasyon tehlikesi indeksi, Gama indeksi (I_{yr}), eşitlik ile hesaplanır.

$$I_{\text{yr}} = A_{\text{U}}/150 + A_{\text{Th}}/100 + A_{\text{K}}/1500 \quad (3.9)$$

$I_{\text{yr}} \leq 1$ değerleri, yıllık etkin doza daha az karşılık gelir. 1 mSv den büyük veya eşit (Sivakumar, et al., 2014).

3.6.9. Aktivite kullanım indeksi (AUI)

Topraktaki üç radyonüklitin farklı kombinasyonlarından havadaki doz oranlarının hesaplanmasını kolaylaştırmak ve uygun dönüşüm faktörlerini uygulayarak, aşağıdaki ifade ile verilen bir aktivite kullanım indeksi (AUI) oluşturulur.

$$\text{AUI} = \frac{A_{\text{U}}}{50 \frac{\text{Bq}}{\text{kg}}} f_{\text{U}} + \frac{A_{\text{Th}}}{50 \frac{\text{Bq}}{\text{kg}}} f_{\text{Th}} + \frac{A_{\text{K}}}{500 \frac{\text{Bq}}{\text{kg}}} f_{\text{K}} \quad (3.10)$$

A_{Th} , A_{U} ve A_{K} , dikkate alınan yapı malzemelerinde ^{232}Th , ^{238}U ve ^{40}K birim kütle başına faaliyetlerin gerçek değerleridir (Bq kg^{-1}); f_{Th} (0.604), f_{U} (0.462) ve f_{K} (0.041), bu radyonüklitlerin gerçek konsantrasyonlarından gama radyasyonu nedeniyle havadaki toplam doz oranına kısmi katkılardır. NEA-OECD Raporunda, A_{Th} , A_{U} ve A_{K} yapı malzemelerinde ^{232}Th , ^{238}U ve ^{40}K birim kütle başına tipik aktiviteler sırasıyla 50, 50 ve 500 Bq kg^{-1} olarak belirtilmektedir. Tortu numunelerinin aktivite kullanım indeksi formül kullanılarak hesaplanır.

Bu değer AUI nin 2 den küçük olduğunu gösterir ve bu da $<0.3 \text{ mSv y}^{-1}$ yıllık etkin doza karşılık gelir (Sivakumar, et al., 2014).

3.6.10. Etkili doz

Radyasyona maruz kalan bir birey üzerindeki zararlı biyolojik etkileri hesaplamak için, ölçülebilen bir radyasyon dozunun eşdeğeridir. Su örneklerinden alınan yıllık etkin doz eşdeğerleri aşağıdaki ifade ile bulunur.

$$D = A_c A_i C_f \quad (3.11)$$

D yıllık etkin doz eşdeğeri ($\mu\text{Sv y}^{-1}$), A_c , radyoaktif çekirdeklerinin aktivite konsantrasyonu (mBq/l), C_f , doz katsayısı (mSv Bq^{-1}) ve A_i yıllık ortalama su tkretimidir (Kaya vd., 2016). Yetiřkin su tkretimi için 700 l y^{-1} değeri alınır (Kabadayı, Gümüş, 2011).

Tablo 3.4. Bazı radyoaktif çekirdeklerinin doz katsayıları (WHO, 2006)

Radyoaktif ekirdek	Doz Katsayısı (mSv/Bq)
^{238}U	4.5×10^{-5}
^{232}Th	2.3×10^{-4}
^{137}Cs	1.3×10^{-5}
^{40}K	6.2×10^{-6}
^{226}Ra	2.8×10^{-4}

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Sinop ili ve ilçelerinden, 29 adet istasyondan toprak örneği, 27 adet istasyondan su örneği toplanmıştır. Bu tezin önceki bölümünde belirtildiği gibi her bir örneğin gama radyoaktivite düzeyinin belirlenmesi için NaI(Tl) detektörlü gama spektrometre sisteminde 80000 s süreyle sayımlar alınmıştır.

4.1. NaI(Tl) Dedektörlü Spektrometre Sistemi ile Bulunan Gama Radyoaktivite Değerleri

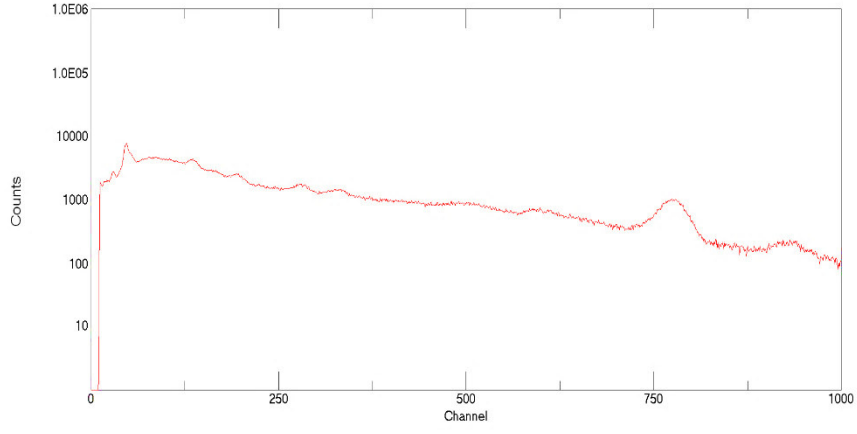
Ölçümler için hazır hale getirilen numune örnekleri NaI(Tl) dedektörüne yerleştirilip sayımları alındı. Sayımlar sonucunda elde edilen spektrumların analizleri yapılarak ^{232}Th , ^{238}U , ^{40}K ve ^{137}Cs radyoizotoplarının gama radyoaktivite değerleri tespit edildi.

Toprak ve su örneklerinde bulunan ^{238}U ve ^{232}Th ye ait radyoaktivite değerleri, bu radyoaktif çekirdeklerin bozunma ürünlerinin gama piklerinden bulunur. Elde edilen spektrumlarda ^{238}U serisinin bozunma ürünlerinden ^{214}Pb (351 keV) ve ^{214}Bi (609, 1120, 1764) ün pikleri gözlemlendi. ^{232}Th serisi için ise ^{212}Pb (238 keV) ve ^{208}Tl (583 keV) in pikleri gözlemlendi. Bu bozunma ürünlerinin aktivite yoğunluklarının ortalaması alınarak ^{238}U ve ^{232}Th nin aktivite yoğunluklarını hesaplandı. ^{40}K (1460.2) ve ^{137}Cs (662) nin aktivite yoğunluklarının doğrudan kendi piki üzerinden belirlendi.

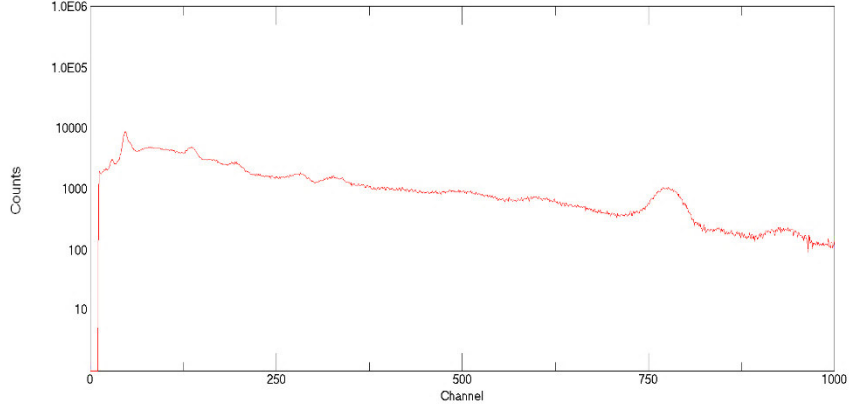
^{232}Th serisinin bozunma ürünü olan ^{208}Tl 'in aktivitesini analiz sonuçlarındakiyle aynıını alamıyoruz. Çünkü ^{208}Tl , ^{232}Th serisinde ^{212}Bi nin bozunma ürünüdür. ^{212}Bi radyoaktif çekirdeği bozunurken %35.94 ^{208}Tl ve %64.06 ^{212}Po radyoaktif çekirdeklerini yayımlar (Gilmore, 2008). Bu yüzden ^{208}Tl 'un aktivite yoğunluğu 0.3594 e bölünerek ^{232}Th nin aktivite hesabına katılır.

4.1.1 Toprak örneklerinin analiz sonuçları

İki adet toprak spektrum örnekleri Şekil 4.1 ve Şekil 4.2 de gösterilmiştir. ^{238}U ve ^{232}Th radyoaktif çekirdeklerinin bozunum ürünlerinin aktivite konsantrasyonları Tablo 4.1 de ve ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyoaktif çekirdeklerinin aktivite konsantrasyonları Tablo 4.2 de verildi. Hesaplanan radyasyon parametreleri ise Tablo 4.3 te verildi.



Şekil 4.1. Durağan-3 nolu toprak örneğinin spektrumu



Şekil 4.2. Sinop-1 nolu toprak örneğinin spektrumu

Tablo 4.1. Toprak örneklerde U ve Th radyoaktif çekirdeklerinin bozunum ürünlerinin aktivite konsantrasyonları

Toprak Örneği	Aktivite Konsantrasyonları (Bq/kg)			
	²³⁸ U		²³² Th	
	²¹⁴ Pb	²¹⁴ Bi	²¹² Pb	²⁰⁸ Tl
Ayancık-1	17.31±4.16	22.89±12.77	21.55±1.82	14.70±2.32
Ayancık-2	15.27±2.78	29.09±4.61	14.37±1.76	15.91±3.46
Saraydüzü-1	15.93±2.42	2.86±0.51	12.03±1.52	13.19±1.97
Saraydüzü-2	11.09±2.85	19.35±7.23	7.19±1.75	17.57±3.71
Saraydüzü-3	10.19±1.93	17.80±6.45	7.89±1.23	10.26±1.59
Saraydüzü-4	7.43±1.79	22.72±4.29	7.98±1.12	8.12±1.47
Saraydüzü-5	8.95±1.92	10.04±1.71	5.65±1.20	7.38±1.58
Gerze-1	MDA	23.59±2.35	MDA	MDA
Gerze-2	MDA	10.45±0.96	11.62±1.75	14.15±2.32
Gerze-3	17.53±2.62	24.67±10.74	MDA	12.43±2.06
Durağan-1	MDA	19.04±11.64	11.26±1.49	11.83±1.94
Durağan-2	15.19±2.21	25.59±3.43	11.48±1.36	12.59±1.77
Durağan-3	MDA	21.38±3.47	5.33±1.38	14.45±3.39
Boyabat-1	MDA	18.03±1.78	9.74±1.44	MDA
Boyabat-2	21.37±2.94	31.22±17.07	25.81±1.91	20.52±2.43
Boyabat-3	15.40±2.28	14.06±0.96	18.74±1.48	19.22±3.19
Dikmen-1	15.25±2.38	23.25±8.33	17.74±1.52	13.11±1.94
Dikmen-2	MDA	23.36±9.85	MDA	16.41±2.09
Türkeli-1	11.16±2.12	24.17±3.39	9.69±1.35	15.41±2.60
Türkeli-2	12.14±2.24	11.19±1.40	12.56±1.43	16.46±1.79
Erfelek-1	MDA	MDA	MDA	MDA
Sinop-1	13.86±2.55	25.55±10.26	MDA	20.24±3.12
Sinop-2	MDA	MDA	16.46±5.50	MDA
Sinop-3	12.41±7.13	MDA	MDA	MDA
Sinop-4	MDA	MDA	MDA	MDA
Sinop-5	MDA	MDA	13.48±4.86	34.65±20.44
Sinop-6	MDA	MDA	MDA	21.77±15.76
Sinop-7	13.86±2.55	25.54±10.26	MDA	20.24±3.12
Sinop-8	13.86±2.55	26.42±2.96	MDA	MDA
Ort	13.79±2.74	26.23±5.93	13.37±1.99	15.94±4.00

Tablo 4.2. Toprak örneklerde ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs elementlerinin aktivite konsantrasyonları

Toprak Örneği	Aktivite Konsantrasyonları (Bq/kg)			
	^{238}U	^{232}Th	^{40}K	^{137}Cs
Ayancık-1	16.78±5.19	16.54±5.99	484.46±24.82	MDA
Ayancık-2	16.89±5.12	19.87±7.49	436.27±24.49	13.45±2.63
Saraydüzü-1	8.44±1.29	13.01±3.27	410.93±21.01	MDA
Saraydüzü-2	18.32±5.12	18.97±8.32	552.78±24.81	MDA
Saraydüzü-3	14.82±3.29	11.15±2.99	306.08±17.21	MDA
Saraydüzü-4	11.65±2.50	9.06±2.53	423.79±15.98	MDA
Saraydüzü-5	9.49±1.82	13.09±5.60	164.04±16.82	MDA
Gerze-1	23.59±2.35	MDA	297.45±26.20	MDA
Gerze-2	10.45±0.96	33.87±11.32	158.01±24.64	MDA
Gerze-3	21.10±6.68	34.57±5.74	301.58±22.83	MDA
Durağan-1	19.04±11.64	22.08±6.88	314.06±21.06	MDA
Durağan-2	20.39±2.82	23.26±6.28	285.72±18.92	MDA
Durağan-3	21.38±3.47	22.77±10.81	236.18±19.34	MDA
Boyabat-1	18.03±1.78	9.74±1.44	195.75±20.31	MDA
Boyabat-2	26.29±10.00	41.45±8.66	343.31±25.71	MDA
Boyabat-3	14.73±1.62	36.11±10.35	318.43±20.11	MDA
Dikmen-1	19.25±5.35	27.11±6.91	371.49±20.93	MDA
Dikmen-2	23.36±9.85	45.66±5.83	315.90±22.59	MDA
Türkeli-1	17.66±2.75	26.29±8.59	219.39±18.86	MDA
Türkeli-2	6.93±1.12	29.18±6.42	328.61±19.91	MDA
Erfelek-1	MDA	MDA	365.37±47.39	MDA
Sinop-1	19.71±6.41	56.32±8.69	256.78±22.42	4.77±2.36
Sinop-2	6.21±3.57	16.46±5.50	227.07±74.33	MDA
Sinop-3	12.41±7.13	MDA	735.54±62.46	MDA
Sinop-4	MDA	MDA	577.87±51.11	14.43±5.49
Sinop-5	MDA	6.74±2.43	804.31±65.62	MDA
Sinop-6	MDA	60.57±43.84	514.60±50.43	MDA
Sinop-7	19.71±6.41	56.32±8.69	256.78±22.42	4.77±2.36
Sinop-8	20.14±2.76	MDA	913.00±22.42	4.77±2.36
Ort	15.93±4.16	22.02±6.90	403.21±26.28	10.32±2.31

Tablo 4.1 ve Tablo 4.2 de bazı aktivite değerleri minimum dedekte edilebilir (MDA) aktivite değerinden küçük kaldığı için NaI(Tl) gama dedektörlü sistemi tarafından ölçülemedi. Bu yüzden tabloda MDA şeklinde belirtilmiştir.

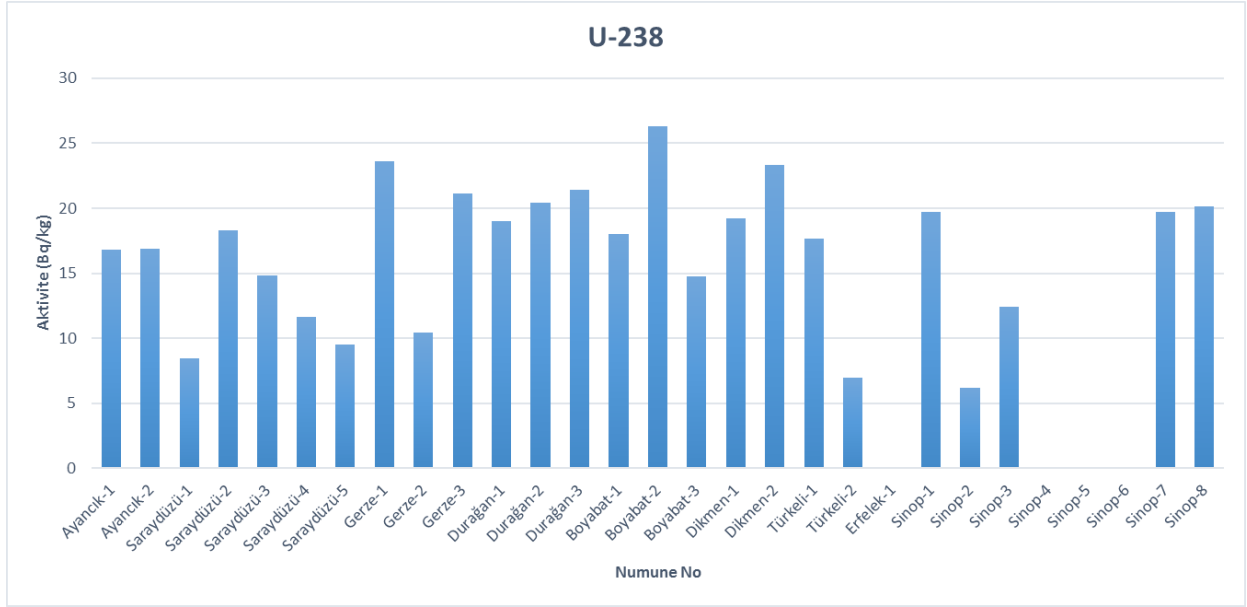
Tablo 4.3.Toprak örneklerinin hesaplanan radyasyon parametreleri

Toprak Örneği	Soğurulan Gama Doz Hızı (D, nGy h ⁻¹)	Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri (AEDE, µSv y ⁻¹)	Dış Tehlike İndeksi (H _{ex})	İç Tehlike İndeksi (H _{in})
Ayancık-1	37.96±7.06	46.55±8.65	0.21±0.04	0.26±0.06
Ayancık-2	39.77±8.99	48.78±11.02	0.21±0.05	0.26±0.05
Saraydüzü-1	28.90±3.45	35.45±4.24	0.16±0.02	0.18±0.03
Saraydüzü-2	42.98±8.16	52.72±10.0	0.24±0.05	0.29±0.06
Saraydüzü-3	26.37±4.05	21.99±3.66	0.14±0.03	0.19±0.04
Saraydüzü-4	28.54±4.87	35.00±4.11	0.16±0.02	0.19±0.03
Saraydüzü-5	19.15±4.93	23.48±6.05	0.11±0.03	0.14±0.03
Gerze-1	23.33±2.18	28.61±2.67	0.13±0.01	0.19±0.02
Gerze-2	31.88±8.31	39.10±10.19	0.19±0.05	0.22±0.05
Gerze-3	43.23±7.51	53.01±9.21	0.25±0.04	0.31±0.06
Durağan-1	35.25±10.43	43.23±12.79	0.20±0.06	0.25±0.09
Durağan-2	35.41 ± 5.89	43.42±7.22	0.20±0.04	0.26±0.04
Durağan-3	33.50±8.94	41.09±10.96	0.19±0.06	0.25±0.06
Boyabat-1	22.39±2.54	27.46±3.12	0.13±0.01	0.18±0.02
Boyabat-2	51.53±10.94	63.19±13.41	0.30±0.07	0.37±0.09
Boyabat-4	41.91±7.84	51.39±9.62	0.25±0.05	0.29±0.05
Dikmen-1	40.08±7.53	50.01±9.23	0.23±0.05	0.29±0.05
Dikmen-2	51.57±9.02	63.24±11.07	0.31±0.05	0.37±0.08
Türkeli-1	33.21±7.25	40.72±8.89	0.18±0.04	0.24±0.05
Türkeli-2	34.54±5.23	42.36±6.41	0.19±0.03	0.22±0.03
Erfelek-1	15.24±1.98	18.69±2.43	0.08±0.01	0.08±0.01
Sinop-1	53.03±9.29	65.03±11.39	0.32±0.06	0.38±0.07
Sinop-2	22.29±8.07	27.33±9.90	0.13±0.05	0.14±0.06
Sinop-3	36.42±5.91	44.66±7.24	0.19±0.03	0.22±0.05
Sinop-4	26.60±3.01	32.62±9.34	0.12±0.01	0.12±0.01
Sinop-5	37.61±4.20	46.13±5.16	0.19±0.02	0.19±0.02
Sinop-6	58.04±28.58	71.18±35.05	0.34±0.18	0.34±0.18
Sinop-7	53.03±9.29	65.03±11.39	0.32±0.06	0.38±0.08
Sinop-8	48.65±2.61	59.66±3.19	0.24±0.01	0.29±0.02
Ort	35.59±6.70	42.76±8.23	0.20±0.04	0.24±0.05

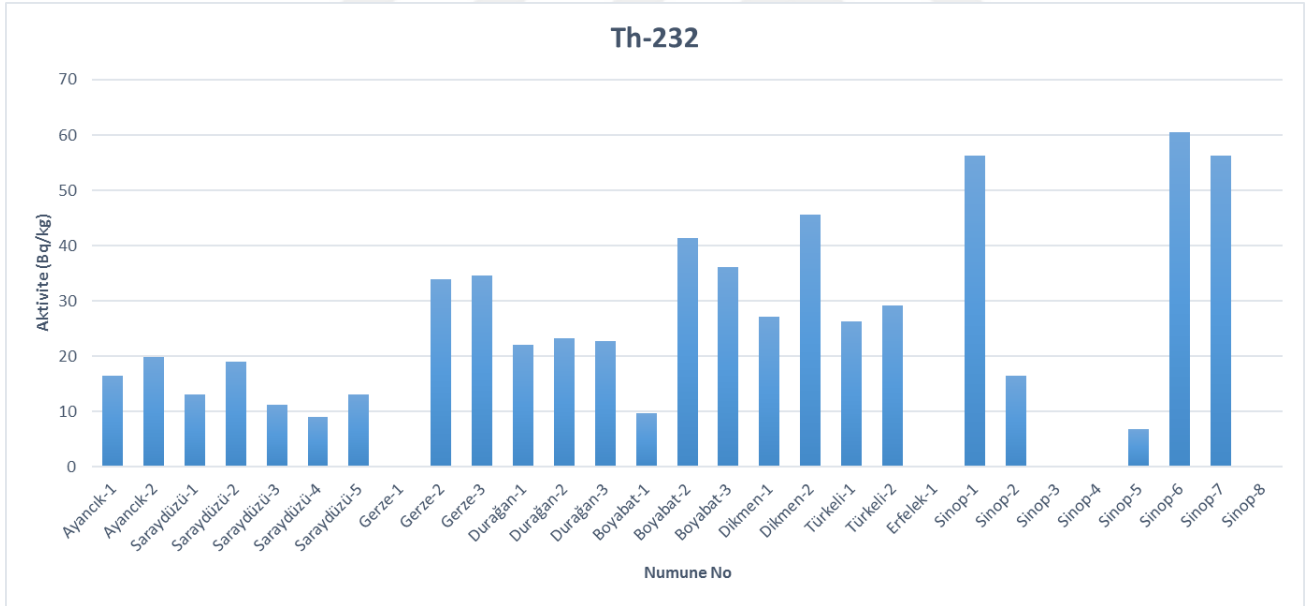
Tablo 4.3. Toprak örneklerinin hesaplanan radyasyon parametreleri (Devam)

Toprak Örneği	Aktivite Kullanım İndeksi (AUI)	Yaşam Boyu Kanser Riski (ELCR)	Gama İndeksi (Iyr)	Radyum Eşdeğer Aktivite Konsantrasyon İndeksi (R_{eq} , Bq/kg)	Yıllık Gonadal Doz Eşdeğeri (AGDE, $\mu\text{Sv y}^{-1}$)
Ayancık-1	0.40±0.09	165.19±30.27	0.60±0.11	77.73±15.66	273.08±48.83
Ayancık-2	0.42±0.14	202.32±31.29	0.60±0.13	78.89±17.72	249.98±54.83
Saraydüzü-1	0.27±0.05	124.07±14.83	0.40±0.05	58.68±7.59	209.49±24.28
Saraydüzü-2	0.44±0.14	184.52±35.01	0.68±0.13	87.99±18.33	309.43±56.55
Saraydüzü-3	0.29±0.06	76.99±12.82	0.42±0.06	54.34±8.89	188.53±28.06
Saraydüzü-4	0.25±0.06	122.49±14.38	0.45±0.05	57.24±7.34	206.94±23.30
Saraydüzü-5	0.26±0.09	82.18±21.18	0.30±0.08	40.85±11.12	135.58±34.30
Gerze-1	0.24±0.02	100.12±9.35	0.36±0.03	46.49±4.36	166.29±15.48
Gerze-2	0.52±0.15	136.85±35.67	0.51±0.14	71.05±19.05	223.47±58.03
Gerze-3	0.64±0.13	185.54±32.25	0.69±0.12	93.76±16.65	304.40±51.82
Durağan-1	0.47±0.19	151.29±44.75	0.56±0.10	74.79±23.11	249.73±71.36
Durağan-2	0.49±0.10	151.97±25.27	0.56±0.09	75.66±13.26	249.97±40.90
Durağan-3	0.49±0.16	143.81±38.37	0.53±0.14	72.13±20.41	235.42±61.97
Boyabat-1	0.30±0.04	96.11±10.90	0.35±0.39	47.03±5.40	157.88±17.89
Boyabat-2	0.77±0.19	221.19±46.94	0.82±0.17	112.0±24.37	362.30±75.20
Boyabat-3	0.59±0.14	179.89±33.67	0.67±0.13	90.88±17.97	296.43±54.59
Dikmen-1	0.54±0.13	175.05±32.30	0.65±0.12	86.62±16.85	289.44±51.99
Dikmen-2	0.79±0.16	221.35±38.73	0.82±0.14	112.98±19.92	362.25±61.89
Türkeli-1	0.49±0.13	142.53±31.125	0.53±0.12	72.15±16.49	233.35±50.34
Türkeli-2	0.44±0.09	148.26±22.44	0.56±0.08	73.97±11.84	246.59±36.56
Erfelek-1	0.03±0.00	65.42±8.51	0.24±0.03	28.13±3.65	114.73±14.88
Sinop-1	0.54±0.17	227.62±39.89	0.87±0.14	120.01±20.56	376.93±63.16
Sinop-2	0.27±0.11	95.66±34.65	0.36±0.13	47.23±17.16	159.29±57.35
Sinop-3	0.17±0.07	156.32±25.35	0.57±0.09	69.05±11.94	269.31±41.65
Sinop-4	0.05±0.00	114.18±32.69	0.39±0.03	44.49±3.94	181.45±16.05
Sinop-5	0.15±0.03	161.44±18.06	0.60±0.07	71.57±8.53	280.70±30.76
Sinop-6	0.41±0.53	249.14±122.67	0.95±0.47	126.24±66.57	414.77±199.07
Sinop-7	0.54±0.17	158.49±39.89	0.87±0.14	120.01±20.56	376.93±63.16
Sinop-8	0.26±0.03	208.82±11.19	0.74±0.03	90.44±4.48	348.91±15.55
Ort	0.38±0.11	151.12±28.16	0.55±0.11	73.66±14.62	251.66±45.72

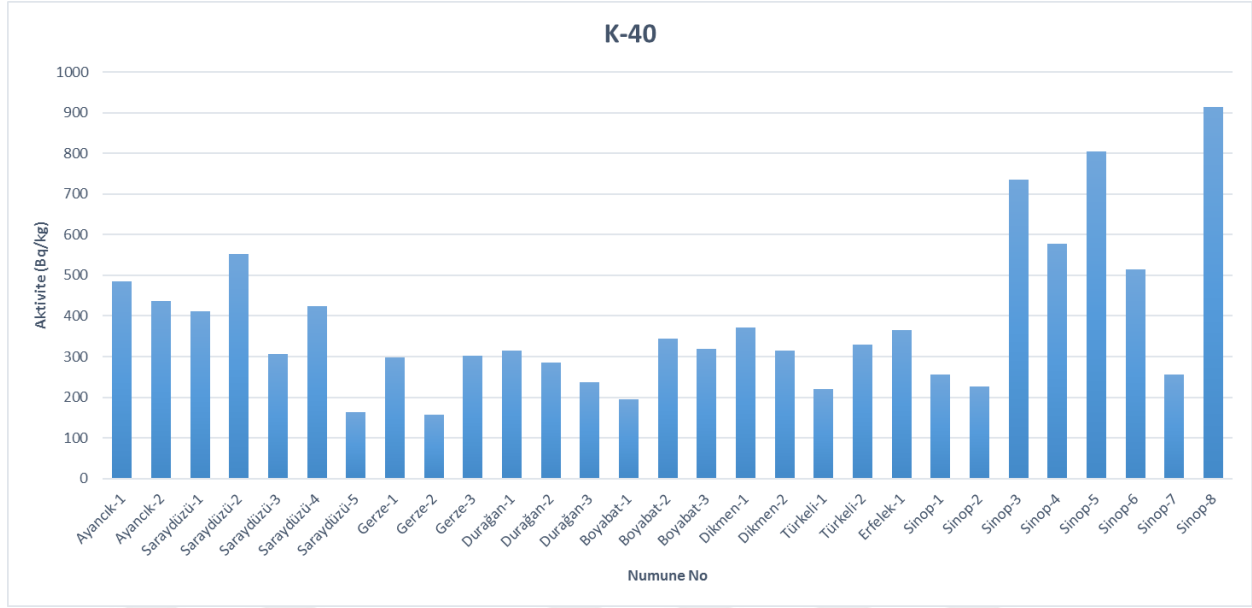
^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyoaktif çekirdeklerinin aktivite konsantrasyonları Tablo 4.2 de toprak örnekleri verildi. Bu tabloya göre ^{238}U in aktivite konsantrasyonu 6.21 ± 3.57 Bq/kg ile 26.29 ± 10.01 Bq/kg değerleri arasında değişmektedir ve ^{238}U 'in ortalama aktivite konsantrasyonu 15.93 ± 4.16 Bq/kg dır. ^{232}Th 'nin aktivite konsantrasyonu ise 6.74 ± 2.43 Bq/kg ile 60.57 ± 43.84 Bq/kg değerleri arasında değişmektedir ve ortalama aktivite konsantrasyonu 22.02 ± 6.90 Bq/kg olarak hesaplandı. ^{40}K doğada tek başına bulunan radyoaktif çekirdeklerdendir ve toprakta da oldukça yüksek konsantrasyonlarda bulunmaktadır. ^{40}K in aktivite konsantrasyonu 1460.2 keV enerjideki pikinden yararlanılarak aktivite konsantrasyonu belirlendi. ^{40}K in aktivite konsantrasyonu 158.01 ± 24.64 Bq/kg ile 913.00 ± 22.42 Bq/kg arasında değişmekte olup ortalama aktivite konsantrasyonu 403.21 ± 26.28 Bq/kg dır. Doğada doğal olarak bulunmayan, fisyon ürünü olan ^{137}Cs ise 662 keV enerjideki pikinden yararlanılarak aktivite konsantrasyonu belirlendi. ^{137}Cs için aktivite konsantrasyonu 4.77 ± 2.36 Bq/kg ile 14.43 ± 5.49 Bq/kg arasında değişmektedir. Ortalama aktivite konsantrasyonu ise 10.32 ± 2.31 Bq/kg dır. Şekiller 4.3-7 de her bir örnek için hesaplanan bu değerler grafik üzerinde karşılaştırmalı olarak, sırasıyla ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs için gösterilmektedir. Hesaplanan tüm aktivite değerleri ise toplu olarak Şekil 4.7 de karşılaştırmalı olarak verilmektedir.



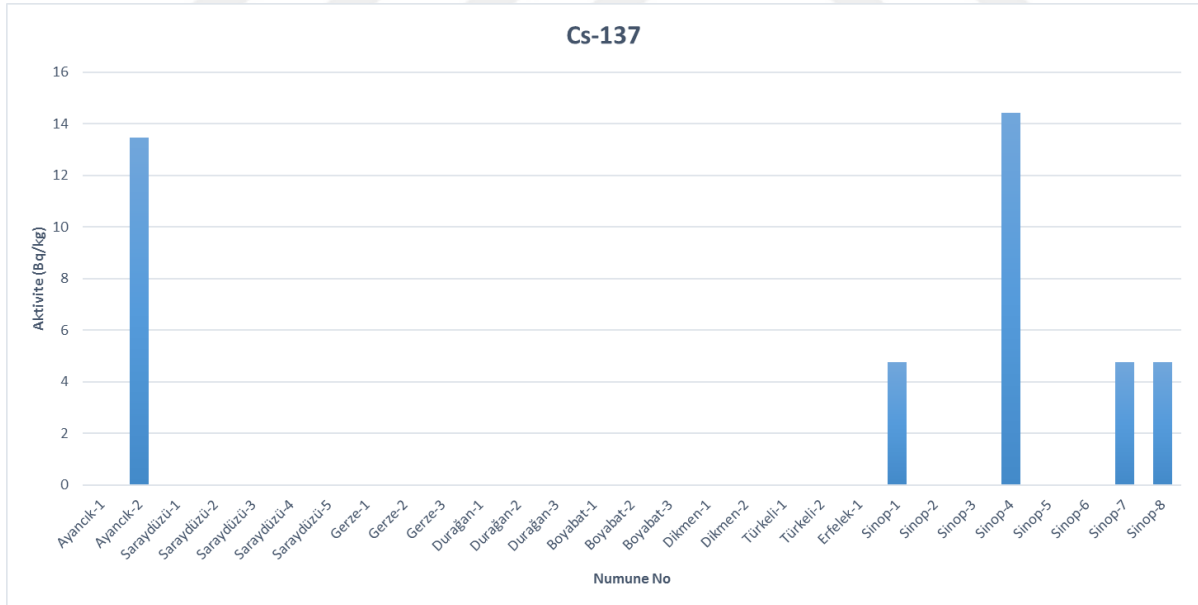
Şekil 4.3. Toprak örneklerindeki ^{238}U aktivite konsantrasyonlarının dağılımı



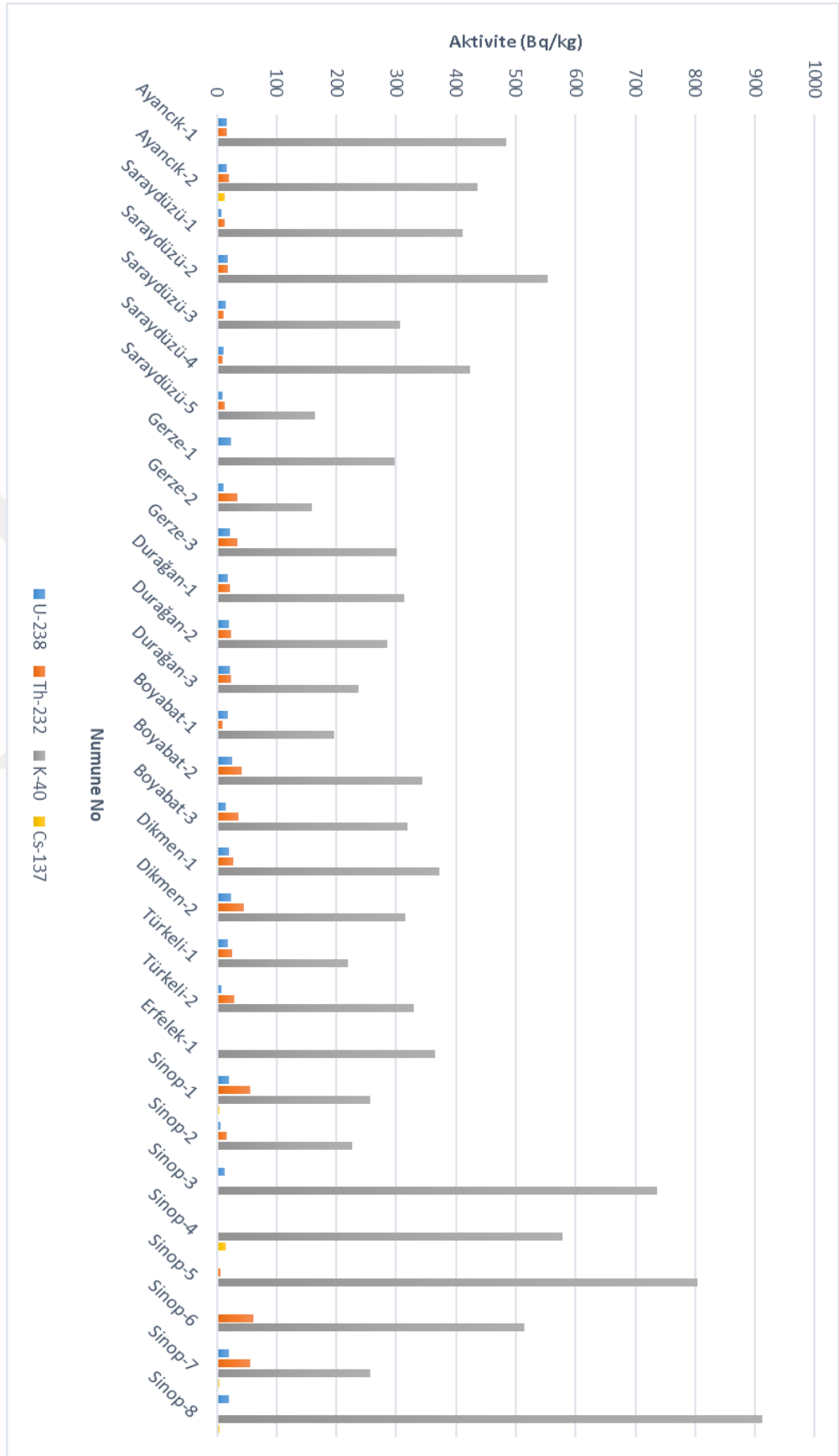
Şekil 4.4. Toprak örneklerindeki ^{232}Th aktivite konsantrasyonlarının dağılımı



Şekil 4.5. Toprak örneklerindeki ⁴⁰K aktivite konsantrasyonlarının dağılımı



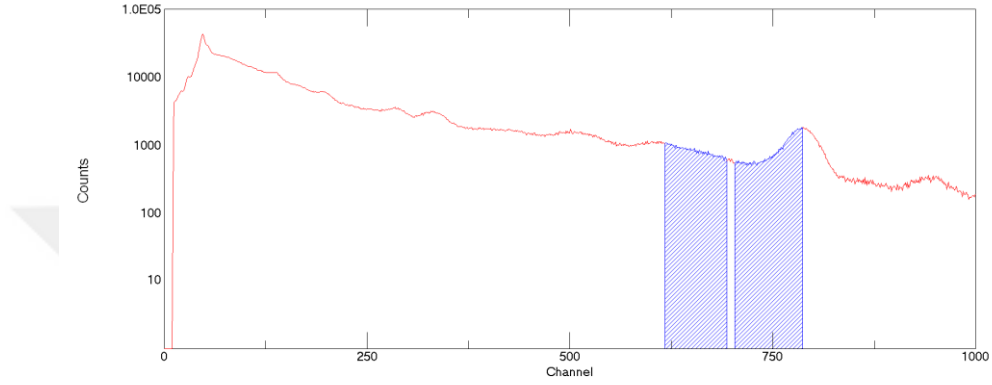
Şekil 4.6. Toprak örneklerindeki ¹³⁷Cs aktivite konsantrasyonlarının dağılımı



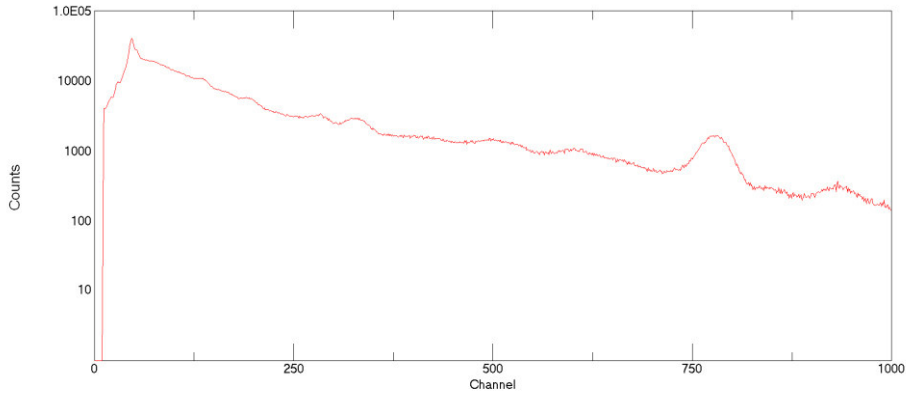
Şekil 4.7. Toprak örneklerindeki ^{232}Th , ^{238}U , ^{40}K ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonlarının dağılımı

4.1.2. Su örneklerinin analiz sonuçları

İki adet su spektrum örnekleri Şekil 4.8 ve Şekil 4.9 de gösterildi. ^{238}U ve ^{232}Th radyoaktif çekirdeklerinin bozunum ürünlerinin aktivite konsantrasyonları Tablo 4.4 te ve ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyoaktif çekirdeklerinin aktivite konsantrasyonları Tablo 4.5 de gösterildi. Su örneklerinin yetişkinlerde tespit edilen yıllık etkin doz eşdeğeri ise Tablo 4.6 da gösterildi.



Şekil 4.8. Erfelek-2 nolu su örneğinin spektrumu



Şekil 4.9. Gerze-1 nolu Su örneğinin spektrumu

Tablo 4.4. Su örneklerde U ve Th radyoaktif çekirdeklerinin bozunum ürünlerinin aktivite konsantrasyonları

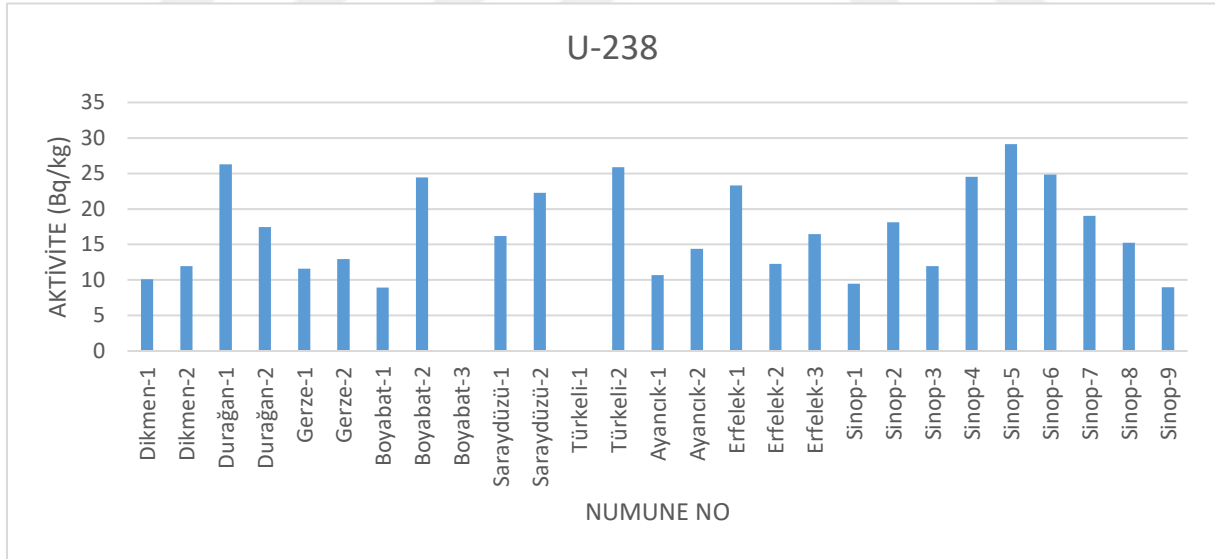
Su Örneği	Aktivite Konsantrasyonları (mBq/l)			
	²³⁸ U		²³² Th	
	²¹⁴ Pb	²¹⁴ Bi	²¹² Pb	²⁰⁸ Tl
Dikmen-1	4.33±0.78	15.88±2.11	3.36±0.53	5.34±0.59
Dikmen-2	4.81±0.78	19.12±1.49	MDA	6.69±1.01
Durağan-1	MDA	26.28±2.52	MDA	14.05±1.96
Durağan-2	MDA	17.46±1.73	3.03±0.53	8.28±0.90
Gerze-1	3.18±0.83	20.02±2.19	MDA	7.16±0.63
Gerze-2	5.29±0.83	20.56±2.36	MDA	17.83±2.09
Boyabat-1	4.69±0.83	13.16±1.19	MDA	6.98±0.62
Boyabat-2	MDA	24.44±2.65	MDA	11.57±1.01
Boyabat-3	MDA	MDA	MDA	8.81±0.96
Saraydüzü-1	MDA	16.18±2.12	MDA	6.22±0.64
Saraydüzü-2	MDA	22.26±3.95	MDA	8.21±1.14
Türkeli-1	MDA	MDA	MDA	8.33±1.17
Türkeli-2	MDA	25.87±2.52	MDA	8.65±1.12
Ayancık-1	MDA	10.68±1.12	3.52±0.54	4.34±0.59
Ayancık-2	MDA	14.37±2.89	MDA	6.72±0.59
Erfelek-1	MDA	23.34±1.52	MDA	9.42±0.94
Erfelek-2	4.48±0.81	20.05±2.46	3.13±0.56	9.04±1.07
Erfelek-3	6.21±0.81	26.67±2.16	3.41±0.55	9.11±0.99
Sinop-1	4.68±0.82	14.24±0.63	4.08±0.55	8.41±1.06
Sinop-2	MDA	18.14±2.24	4.02±0.55	10.72±0.99
Sinop-3	4.69±0.81	19.23±1.19	3.52±0.55	8.97±1.03
Sinop-4	MDA	24.52±1.50	4.31±0.57	10.21±0.95
Sinop-5	MDA	29.14±1.52	MDA	10.14±0.93
Sinop-6	MDA	24.84±1.62	MDA	6.57±0.61
Sinop-7	MDA	19.02±1.20	4.83±0.55	8.45±1.18
Sinop-8	MDA	15.23±1.17	MDA	6.66±0.61
Sinop-9	3.37±0.79	14.56±1.48	MDA	5.56±0.59
Ort	4.57±0.81	19.81±1.90	3.72±0.53	8.61±0.96

Tablo 4.5. Su örneklerde ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs elementlerinin aktivite konsantrasyonları

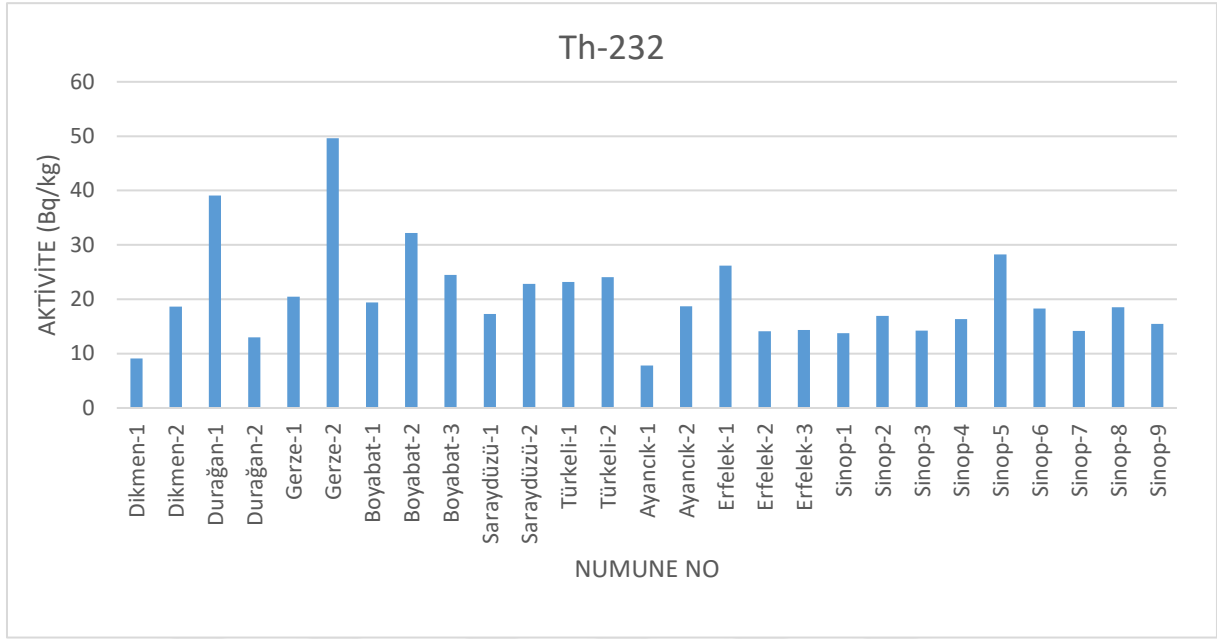
Su Örneği	Aktivite Konsantrasyonları (mBq/l)			
	^{137}Cs	^{40}K	^{238}U	^{232}Th
Dikmen-1	MDA	306.18±5.69	10.11±1.44	9.11±2.19
Dikmen-2	MDA	295.41±5.71	11.97±1.14	18.63±2.81
Durağan-1	MDA	296.20±5.71	26.28±2.52	39.08±5.46
Durağan-2	MDA	315.07±5.71	17.45±1.73	13.03±3.05
Gerze-1	MDA	331.04±5.95	11.59±1.51	20.48±1.74
Gerze-2	MDA	MDA	12.93±1.59	49.61±5.82
Boyabat-1	MDA	MDA	8.92±1.10	19.42±1.72
Boyabat-2	MDA	MDA	24.44±2.65	32.19±2.79
Boyabat-3	MDA	313.27±6.34	MDA	24.51±2.68
Saraydüzü-1	MDA	MDA	16.18±2.12	17.30±1.77
Saraydüzü-2	MDA	MDA	22.26±3.95	22.86±3.16
Türkeli-1	MDA	MDA	MDA	23.19±3.27
Türkeli-2	MDA	MDA	25.87±2.52	24.07±3.12
Ayancık-1	MDA	321.58±6.38	10.68±1.12	7.79±2.17
Ayancık-2	MDA	MDA	14.37±2.89	18.71±1.64
Erfelek-1	MDA	344.02±5.86	23.34±1.52	26.21±2.62
Erfelek-2	MDA	342.10±5.84	12.26±1.64	14.14±3.54
Erfelek-3	MDA	355.67±5.81	16.44±1.49	14.38±3.31
Sinop-1	MDA	346.19±5.86	9.46±0.72	13.74±3.50
Sinop-2	MDA	348.05±5.82	18.14±2.24	16.93±3.32
Sinop-3	MDA	345.39±5.84	11.96±1.01	14.23±3.40
Sinop-4	MDA	366.48±5.86	24.52±1.50	16.35±3.20
Sinop-5	MDA	354.23±5.82	29.14±1.52	28.22±2.59
Sinop-6	MDA	345.75±5.85	24.84±1.61	18.29±1.71
Sinop-7	MDA	352.80±5.82	19.02±1.20	14.16±3.84
Sinop-8	MDA	358.81±5.84	15.23±1.17	18.52±1.71
Sinop-9	MDA	292.52±5.76	8.97±1.14	15.46±1.64
Ort	-	333.20±5.87	17.05±1.72	20.39±2.88

Tablo 4.4 ve Tablo 4.5 de bazı aktivite değerleri minimum dedekte edilebilir (MDA) aktivite değerinden küçük kaldığı için NaI(Tl) gama dedektörlü sistemi tarafından ölçülemedi. Bu yüzden tabloda MDA şeklinde belirtilmiştir.

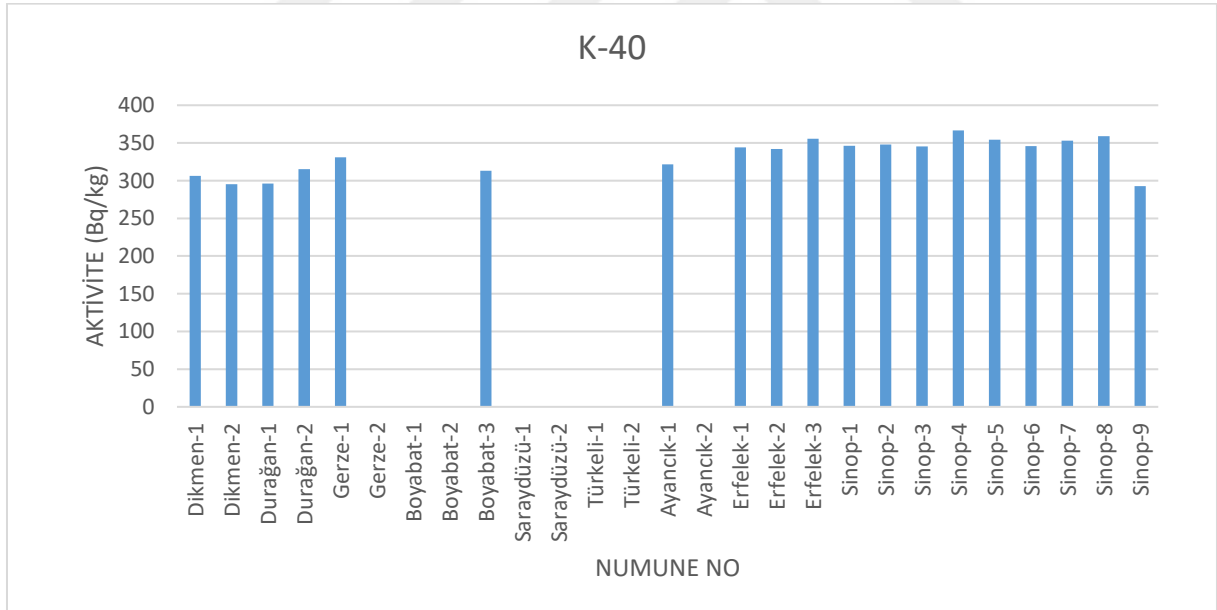
^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyoaktif çekirdeklerinin aktivite konsantrasyonları Tablo 4.5 de su örnekleri verilmiştir. Bu tabloya göre ^{238}U in aktivite konsantrasyonu 8.92 ± 1.10 mBq/l ile 29.14 ± 1.52 mBq/l değerleri arasında değişmektedir ve ^{238}U in ortalama aktivite konsantrasyonu 17.05 ± 1.72 mBq/l dir. ^{232}Th 'nin aktivite konsantrasyonu ise 7.79 ± 2.17 mBq/l ile 49.61 ± 5.82 mBq/l değerleri arasında değişmektedir ve ortalama aktivite konsantrasyonu 20.39 ± 2.88 mBq/l olarak hesaplanmıştır. ^{40}K doğada tek başına bulunan radyoaktif çekirdeklerdendir ve toprakta da oldukça yüksek konsantrasyonlarda bulunmaktadır. ^{40}K in aktivite konsantrasyonu 1460.2 keV enerjideki pikinden yararlanılarak aktivite konsantrasyonu belirlendi. ^{40}K in aktivite konsantrasyonu 292.52 ± 5.76 mBq/l ile 366.48 ± 5.85 mBq/l arasında değişmekte olup ortalama aktivite konsantrasyonu 333.20 ± 5.87 mBq/l dir. Doğada doğal olarak bulunmayan, fisyon ürünü olan ^{137}Cs ise 662 keV enerjideki pikinden yararlanılarak aktivite konsantrasyonu belirlendi. ^{137}Cs için aktivite değeri gözlenememiştir. Şekiller 4.10-13 de her bir örnek için hesaplanan bu değerler grafik üzerinde karşılaştırmalı olarak, sırasıyla ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs için gösterilmektedir. Hesaplanan tüm aktivite değerleri ise toplu olarak Şekil 4.13 de karşılaştırmalı olarak verilmektedir.



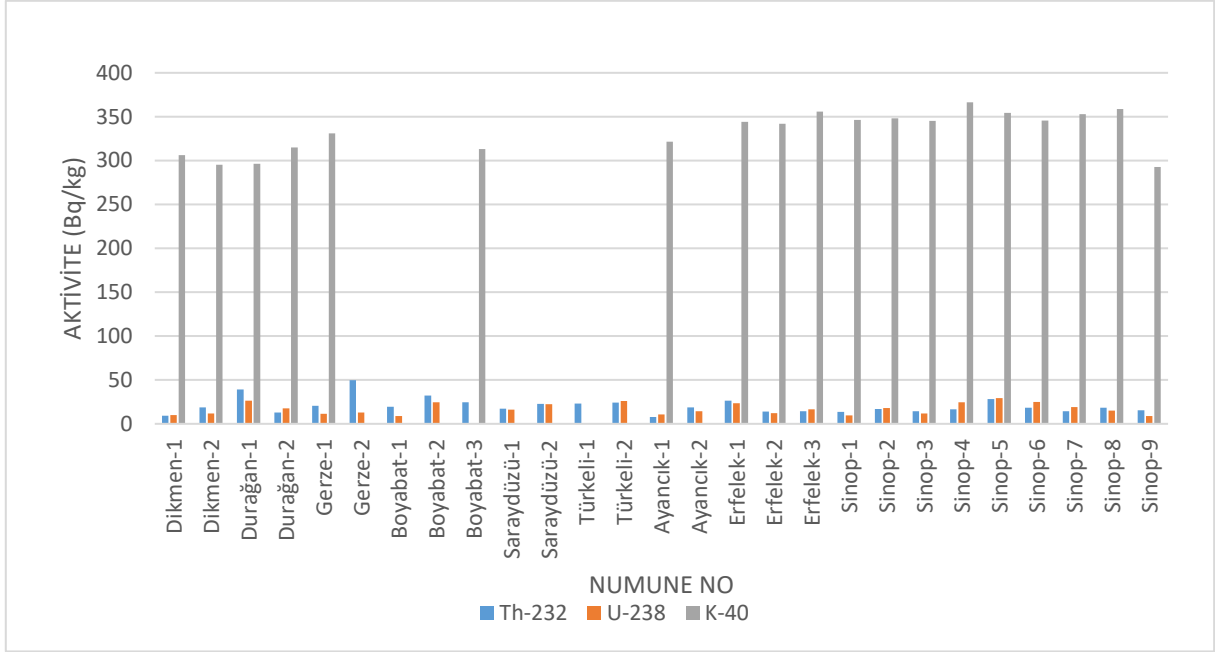
Şekil 4.10. Su örneklerindeki ^{238}U aktivite konsantrasyonlarının dağılımı



Şekil 4.11. Su örneklerindeki ^{232}Th aktivite konsantrasyonlarının dağılımı



Şekil 4.12. Su örneklerindeki ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının dağılımı



Şekil 4.13. Su örneklerindeki ^{232}Th , ^{238}U , ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının dağılımı

Tablo 4.6. Su örneklerinin yetişkinlerde tespit edilen yıllık etkin doz eşdeğeri

D ($\mu\text{Sv y}^{-1}$)			
Su Örneği	^{40}K	^{238}U	^{232}Th
Dikmen-1	1.33	0.32	1.47
Dikmen-2	0.28	0.38	2.99
Durağan-1	1.29	0.83	6.29
Durağan-2	1.37	0.55	2.09
Gerze-1	1.44	0.37	3.29
Gerze-2	MDA	0.41	7.99
Boyabat-1	MDA	0.28	3.13
Boyabat-2	MDA	0.77	5.18
Boyabat-3	1.36	MDA	3.95
Saraydüzü-1	MDA	0.51	2.79
Saraydüzü-2	MDA	0.70	3.68
Türkeli-1	MDA	MDA	3.73
Türkeli-2	MDA	0.81	3.88
Ayancık-1	1.39	0.34	1.25
Ayancık-2	MDA	0.45	3.01
Erfelek-1	1.49	0.74	4.22
Erfelek-2	1.48	0.39	2.28
Erfelek-3	1.54	0.52	2.32
Sinop-1	1.50	0.29	2.21
Sinop-2	1.51	0.57	2.73
Sinop-3	1.49	0.38	2.29
Sinop-4	1.59	0.77	2.63
Sinop-5	1.54	0.92	4.54
Sinop-6	1.50	0.78	2.94
Sinop-7	1.53	0.59	2.28
Sinop-8	1.56	0.48	2.98
Sinop-9	1.27	0.28	2.49
Ort	1.45	0.54	3.28

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Toprak numunelerinde ^{238}U in aktivite konsantrasyonu 6.21 ± 3.57 Bq/kg ile 26.29 ± 10.01 Bq/kg değerleri arasında değişmektedir ve ^{238}U in ortalama aktivite konsantrasyonu 15.93 ± 4.16 Bq/kg dır. ^{232}Th nin aktivite konsantrasyonu ise 6.74 ± 2.43 Bq/kg ile 60.57 ± 43.836 Bq/kg değerleri arasında değişmektedir ve ortalama aktivite konsantrasyonu 22.02 ± 6.90 Bq/kg olarak hesaplandı. Doğada tek başına bulunan ^{40}K radyoaktif çekirdeklerindedir ve toprakta oldukça yüksek konsantrasyonda bulunmaktadır. ^{40}K in aktivite konsantrasyonu 1460.2 keV enerjideki pikinden yararlanılarak aktivite konsantrasyonu belirlendi. ^{40}K 'in aktivite konsantrasyonu 158.01 ± 24.64 Bq/kg ile 913.00 ± 22.42 Bq/kg arasında değişmekte olup ortalama aktivite konsantrasyonu 403.21 ± 26.28 Bq/kg dır. Doğada kendiliğinden bulunmayan, fisyon ürünü olan ^{137}Cs ise 662 keV enerjideki pikinden yararlanılarak aktivite konsantrasyonu belirlendi. ^{137}Cs için aktivite konsantrasyonu 4.77 ± 2.36 Bq/kg ile 14.43 ± 5.49 Bq/kg arasında değişmektedir. Ortalama aktivite konsantrasyonu ise 10.32 ± 2.31 Bq/kg dır. Su numunelerinde ise ^{238}U in aktivite konsantrasyonu 8.92 ± 1.10 mBq/l ile 29.14 ± 1.52 mBq/l değerleri arasında değişmektedir ve ^{238}U 'in ortalama aktivite konsantrasyonu 17.05 ± 1.72 mBq/l dır. ^{232}Th nin aktivite konsantrasyonu ise 7.79 ± 2.17 mBq/l ile 49.61 ± 5.82 mBq/l değerleri arasında değişmektedir ve ortalama aktivite konsantrasyonu 20.39 ± 2.88 mBq/l dır. ^{40}K in aktivite konsantrasyonu 292.52 ± 5.76 mBq/l ile 366.48 ± 5.86 mBq/l arasında değişmekte olup ortalama aktivite konsantrasyonu 333.20 ± 5.87 mBq/l olarak hesaplandı. ^{137}Cs ise aktivite değeri gözlenememiştir.

UNSCEAR 2000 raporuna göre, ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K için spesifik aktivitelerinin dünya ortalaması sırasıyla 35 Bq/kg, 30 Bq/kg ve 400 Bq/kg olarak verilmiştir. Elde ettiğimiz sonuçlar bu rapor ile karşılaştırıldığında toprak örneklerinde ^{238}U , ^{232}Th dünya ortalamasından düşük çıkmıştır. ^{40}K değeri toprak örneklerinde dünya ortalamasından biraz üstünde çıkmıştır.

TAEK tarafından 2009 yılında yayımlanan raporda ^{238}U için ortalama 34.7 Bq/kg, ^{232}Th için ortalama 35.4 Bq/kg, ^{40}K için ortalama 450 Bq/kg ve ^{137}Cs için 11.8 Bq/kg olarak belirlenmiştir. Toprak örneklerinde bulduğumuz değerlerle karşılaştırıldığında Türkiye ortalamasından düşük çıkmıştır.

Doğada kendiliğinden bulunmayan ve fisyon ürünü olan ^{137}Cs nin bazı örneklerde gözlenmesinin nedeni, 1986 yılında meydana gelen Çernobil kazası sonucu radyoaktif çekirdeklerin atmosfere yayılmış olmasıdır. Ayrıca gama radyasyon tehlikesini belirlemek için

hesaplanan dış tehlike indeksi (H_{ex}) değerlerinin de 1 den küçük olması radyolojik riskin olmadığını göstermektedir.

Su örneklerinin yetişkinlerde hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğeri WHO nun belirlediği yıllık etkin doz eşdeğeri için sınır değeri 0.100 mSv y^{-1} çok altındadır ve insan sağlığı için bir tehlike arz etmediği tespit edilmiştir.

Aşağıdaki tabloda farklı çalışmalarda ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs nin aktivite konsantrasyonları, soğurulan doz ve yıllık etkin doz değerleri Türkiye ve dünya ortalaması verilmiştir (Tablo 5.1.).

Tablo 5.1. Tez çalışmasında ulaşılan sonuçların benzer çalışmalarla karşılaştırılması

Referans	Yer	^{238}U (Bq/kg)	^{232}Th (Bq/kg)	^{40}K (Bq/kg)	^{137}Cs (Bq/kg)	Soğurulan Doz Hızı (D, nGy h ⁻¹)	Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri (AEDE, $\mu\text{Sv y}^{-1}$)
Bu Çalışma	Sinop toprak örnekleri	15.930	22.021	403	10.667	35.583	41.821
Yılmaz, 2017	Sinop	23.38	14.61	124.29	5.8	24.82	30.44
Bostancı, 2011	Samsun	18.64	22.06	525.07	14.85	45.28	56
Karahan ve Bayulken, 2000	İstanbul	21	37	342	1.8-81	49	65
Sivakumar, 2014	Tamilnadu	3.8	26.23	328.68	-	32.91	40
(TAEK, 2009)	Türkiye	34.7	35.4	450	11.8	54.6	70
(UNSCEAR, 2000)	Dünya	35	30	400	-	60	70

Sonuç olarak, Sinop ve Sinop ilçelerinde 29 farklı noktadan alınan toprak örnekleri ve 27 farklı su örneklerinin NaI(Tl) gama spektrometresi kullanılarak ölçümler her numune için ortalama 80000 s sürede ölçülüp, scintivision programı ile analiz edildi. Bu çalışma, Sinop ili ve ilçesinde çevresel radyasyon seviyeleri ve radyonüklid dağılımı ile ilgili ön çalışma olup, temel veriler olarak kullanılabilir. Çalışmanın sonuçları, ilerideki değerlendirmeler için bir referans oluşturabilir.

KAYNAKLAR

Albayrak, N. 2011. *Kırıkkale' de (Türkiye) Doğal Radyasyon Kaynaklarının Belirlenmesi ve Gama Doz Oranlarının Değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Ana Bilim Dalı, 209, İstanbul.

Altıkulaç, A. 2014. *Samsun ve İlçelerine ait Çevresel Örneklerdeki (Yüzey Toprağı, Su, Mantar ve Karalahana) Doğal Radyoaktivitenin Ölçülmesi ve Bu Radyoaktiviteden Kaynaklanan Yıllık Etkin Dozun Belirlenmesi*. Doktora Tezi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Ana Bilim Dalı, 167, Samsun.

Anonim, 2021. Türkiye Atom Enerji Kurumu <https://www.taek.gov.tr/ogrenci/r02.htm> (Erişim tarihi:01.06.2021).

Anonim, X-Işınları ve Kullanım Alanları, <https://neu.edu.tr/wp-content/uploads/2015/11/BMT-211-ders-notu-X-Isinlari.pdf> (Erişim tarihi: 01.06.2021).

Arıman, S. and Gümüş, H. (2018). "Radioactivity levels and health risks due to radionuclides in the soil and sediment of mid-Black Sea: Kızılırmak Deltas-Turkey", *Radiochimica Acta*.106(11). 927-937.

Beretka, J. and Matthew, P. J. (1985). "Natural radioactivity of Australian building materials, industrial wastes and by-products", *Health physics*. 48(1). 87-95. doi:10.1097/00004032-198501000-00007.

Balcı, Ş. 2015. *Ardahan merkez, Hanak, Damal, Posof, Çıldır, Göle ilçelerinde topraktaki doğal radyoaktivite seviyelerinin belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Ana Bilim Dalı, 64, Kars.

Bilgici Cengiz, G. (2017). "Selim İlçesinin Toprak Örneklerinde Doğal Radyoaktivite Düzeyleri ve Radyolojik Etkilerinin Değerlendirilmesi", *Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. 10(1). 37-47.

Bostancı, S. 2011. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Kurupelit Kampüsü ve Samsun il merkezinin doğal radyoaktivite seviyesinin belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Ana Bilim Dalı, 79, Samsun.

Bozkurt G. 2019. *Samsun İli Yakakent, Alaçam, Ondokuzmayıs, Bafra İlçelerindeki Toprak Örneklerinde Gama Radyoaktivite Seviyesinin Belirlenmesi ve Etkin Doz Eşdeğerinin Hesaplanması*. Yüksek Lisans Tezi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Ana Bilim Dalı, 144, Samsun.

Gilmore, G. R. (2008). "Practical Gamma-Ray Spectrometry (Second edition)", *John Wiley and Sons*. 2-38, New York.

Gönen, E. 2012. *Edirne İlinin Çevresel Radyoaktivitesinin Belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Ana Bilim Dalı, 83, Edirne.

Görür, Ş. 2006. *Çevresel Radyoaktivite ile Bu Çevrede Yaşayanlara ait Dış Örneklerindeki Radyoaktivite Arasındaki İlişkinin Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Ana Bilim Dalı, 74, Adana.

Günoğlu, K. 2012. *Türkiye' deki Bazı Doğal Taşların Radyoaktivite Tayini ve Radyasyon Soğurma Özelliklerinin Araştırılması*. Doktora Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Ana Bilim Dalı, 94, Isparta.

Gürsu, G.2020. *Ankara İlinin Radyoaktif Kirliliğinin Liken Türleriyle Biyoizlenmesi*. Doktora Tezi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Ana Bilim Dalı, 125, Ankara.

Kabadayı, Ö. and Gümüş, H. (2011). "NATURAL ACTIVITY CONCENTRATIONS IN BOTTLED DRINKING WATER AND CONSEQUENT DOSES". *Radiation Protection Dosimetry*. 150(4). 532-535.

Kaya, A. Karabıdak, S.M. ve Kaya, S. (2016). "Gümüşhane Merkez ve Merkeze Bağlı Bahçecik Köyü Su Kaynaklarının Radyoaktivitesinin Tayini". *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. 6(1). 13-22.

Kaya, S. Karabıdak, S.M. ve 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". *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. 5(1). 24-33.

Karahan, G. ve Bayulken, A. (2000). "Assessment of gamma dose rates around Istanbul (Turkey)", *Journal of environmental radioactivity*, 47(2). 213-221.

Kurnaz, A. 2009. *Trabzon İlinin ve Şebinkarahisar İlçesinin Doğal Radyoaktivite Düzeylerinin Belirlenmesi ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri*. Doktora Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Ana Bilim Dalı, 254, Trabzon.

Markkanen M (1995). "Radiation dose assessments for materials with elevated natural radioactivity", *Finnish Centre for Radiation and Nuclear Safety*.

Mutuk, H. 2012. *Bafra Kızılırmak Deltası Toprak Örneklerinde Doğal Gama Radyoaktivite Ölçümleri*. Yüksek Lisans Tezi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Ana Bilim Dalı, 89, Samsun.

Nükleer Enerji Ajansı (NEA-OECD), (1979). Yapı Malzemelerinde Doğal Radyoaktiviteden Kaynaklanan Radyasyona Maruz Kalma. NEA Uzmanlar Grubu Raporu, OECD, Paris. Erişim: 3 Haziran 2021, https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_14466/exposure-to-radiation-from-the-natural-radioactivity-in-building-materials?details=true

Ravisankar, R., et al. (2014). "Spatial distribution of gamma radioactivity levels and radiological hazard indices in the East Coastal sediments of Tamilnadu, India with statistical approach", *Radiation Physics and Chemistry*, 103. 89-98.

Sarıkaya, H. ve Soykan, O. (2018). "Uşak İli ve Çevresinde Kullanılan Yapı Malzemelerinin Doğal Radyoaktivitesinin Belirlenmesi". *Türk Doğa ve Fen Dergisi*. 7(1). 35-40.

Saito, K. and Jacob, P. (1995). "Gamma ray fields in the air due to sources in the ground". *Radiation Protection Dosimetry*. 58(1). 29-45.

Seyrek, E. 2007. *Radyoizotopların Üretimi ve Radyoterapide Kullanılması*. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Fizik Eğitimi Ana Bilim Dalı, 64, Ankara.

Sivakumar, S., et al. (2014). "Measurement of natural radioactivity and evaluation of radiation hazards in coastal sediments of east coast of Tamilnadu using statistical approach", *Journal of Taibah University for Science*, 8(4). 375-384.

TAEK (2009). *Türkiye'deki Çevre Radyoaktivitesinin İzlenmesi, Teknik Rapor*. Erişim:3 Haziran 2021, <https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/Public/42/009/42009936.pdf?r=1&r=1>

UNSCEAR (2000). *Sources and Effects of Ionizing Radiation Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly. United Nations Publication, New York*. Erişim: 3 Haziran 2021, https://www.unscear.org/unscear/en/publications/2000_1.html

WHO (2006). *Guidelines for Drinking-Water Quality (First addendum to third edition, Vol.1,p.595).Recommendations*. Geneva, Switzerland. Erişim: 3 Haziran 2021, https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq0506.pdf

Yılmaz, F.V. *Sinop ve Akkuyu' da Kurulacak Nükleer Santral Alanı Çevresinde Doğal Radyoaktivite Seviyesinin Belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Ana Bilim Dalı, 79, Samsun.

EKLER

Ek A. ²³⁸U kalibrasyon kaynağının sertifika bilgileri

IAEA-RGU-1

Reference Material Online Catalog Radionuclides

IAEA-RGU-1 , Uranium Ore

Inorganic , Ores

- Unit Size: 500g
- Price per Unit: 50 EUR
- Report: IAEA/RL/148
- Date of Release: 1987-01-01

Both, IAEA-RGU-1 and IAEA-RGTh-1 reference materials were prepared on behalf of the International Atomic Energy Agency by the Canada Centre for Mineral and Energy Technology by dilution of a uranium ore BL-5 (7.09% U) and a thorium ore OKA-2 (2.89% Th, 219 µg U/g) with floated silica powder of similar grain size distribution, respectively. No evidence for between-bottles inhomogeneity was detected after mixing and bottling. BL-5 has been certified for uranium, ²²⁶Ra and ²¹⁰Pb confirming that it is in radioactive equilibrium. The agreement between radiometric and chemical measurements of thorium and uranium in OKA-2 shows both series to be in radioactive equilibrium.

Analyte	Value	Unit	95% C.I.	N	R/I/C
²³² Th	< 4 [?]	Bq/kg	-	None	I
²³⁵ U	228 [?]	Bq/kg	226 - 230	None	R
²³⁸ U	4940 [?]	Bq/kg	4910 - 4970	None	R
⁴⁰ K	< 0.63 [?]	Bq/kg	-	None	I
K	< 20	mg/kg	-	None	I
Th	< 1	mg/kg	-	None	I
U	400	mg/kg	398 - 402	None	R

(Value) Concentration calculated as a mean of the accepted laboratory means

(N) Number of accepted laboratory mean values which are used to calculate the recommended or information values and their respective confidence intervals

(R/I/C) Classification assigned to the property value for analyte (Recommended/Information/Certified)

(?) Natural radionuclide activity concentrations derived from the elemental concentrations on basis of isotopic abundance and half-life data

The values listed above were established on the basis of a gravimetric dilution of materials with known uranium, thorium and potassium composition. The details concerning the criteria for qualification as a recommended or information value can be found in the respective report (attached).

Ek B. ²³²Th kalibrasyon kaynağının sertifika bilgileri

IAEA-RGTh-1

Reference Material Online Catalog Radionuclides

IAEA-RGTh-1 , Thorium Ore

Inorganic , Ores

- Unit Size: 500g
- Price per Unit: 50 EUR
- Report: IAEA/RL/148
- Date of Release: 1987-01-01

Both, IAEA-RGU-1 and IAEA-RGTh-1 reference materials were prepared on behalf of the International Atomic Energy Agency by the Canada Centre for Mineral and Energy Technology by dilution of a uranium ore BL-5 (7.09% U) and a thorium ore OKA-2 (2.89% Th, 219 µg U/g) with floated silica powder of similar grain size distribution, respectively. No evidence for between-bottles inhomogeneity was detected after mixing and bottling. BL-5 has been certified for uranium, Ra-226 and Pb-210 confirming that it is in radioactive equilibrium. The agreement between radiometric and chemical measurements of thorium and uranium in OKA-2 shows both series to be in radioactive equilibrium.

Analyte	Value	Unit	95% C.I.	N	R/I/C
²³² Th	3250 [?]	Bq/kg	3160 - 3340	155	R
²³⁵ U	3.6 [?]	Bq/kg	3.3 - 3.9	145	R
²³⁸ U	78 [?]	Bq/kg	72 - 84	145	R
⁴⁰ K	6.3 [?]	Bq/kg	3.1 - 9.5	45	I
K	200	mg/kg	100 - 300	45	I
Th	800	mg/kg	784 - 816	155	R
U	6.3	mg/kg	5.9 - 6.7	145	R

(Value) Concentration calculated as a mean of the accepted laboratory means

(N) Number of accepted laboratory mean values which are used to calculate the recommended or information values and their respective confidence intervals

(R/I/C) Classification assigned to the property value for analyte (Recommended/Information/Certified)

(?) Natural radionuclide activity concentrations derived from the elemental concentrations on basis of isotopic abundance and half-life data

The values listed above were established on the basis of a gravimetric dilution of materials with known uranium, thorium and potassium composition. The details concerning the criteria for qualification as a recommended or information value can be found in the respective report (attached).

Ek C. ⁴⁰K kalibrasyon kaynağının sertifika bilgileri

IAEA-RGK-1

Reference Material Online Catalog Radionuclides

IAEA-RGK-1 , Potassium Sulfate

Inorganic , Ores

- ◊ Unit Size: 500g
- ◊ Price per Unit: 50 EUR
- ◊ Report: IAEA/AL/148
- ◊ Date of Release: 1987-01-01

The IAEA-RGK-1 material is produced from high purity (99.8%) potassium sulphate supplied by the Merck Company. The potassium property value and its uncertainty were obtained from repeated measurements performed at the IAEA Laboratories Seibersdorf and the results confirmed the value certified by Merck. The upper limits for the uranium and thorium property values were estimated by the IAEA Laboratories Seibersdorf using fluorimetry and activation analysis, respectively.

Analyte	Value	Unit	95% C.I.	N	R/I/C
⁴⁰ K	14000 [?]	Bq/kg	13600 - 14400	20	R
K	448000	mg/kg	445000 - 451000	20	R
Th	< 0.01	mg/kg	-	20	I
U	< 0.001	mg/kg	-	20	I

(Value) Concentration calculated as a mean of the accepted laboratory means

(N) Number of accepted laboratory mean values which are used to calculate the recommended or information values and their respective confidence intervals

(R/I/C) Classification assigned to the property value for analyte (Recommended/Information/Certified)

(?) Natural radionuclide activity concentrations derived from the elemental concentrations on basis of isotopic abundance and half-life data

The values listed above were established on the basis of a gravimetric dilution of materials with known uranium, thorium and potassium composition. The details concerning the criteria for qualification as a recommended or information value can be found in the respective report (attached).

