

**T.C.
NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**NEVŞEHİR BÖLGESİNDE FARKLI TİPTE
YETİŞTİRİLEN FASULYE BİTKİSİNİN DOĞAL
RADYOAKTİVİTESİNİN GAMA SPEKTROMETRESİ
YÖNTEMİYLE BELİRLENMESİ**

**Tezi Hazırlayan
Şeyda GÜRHAN**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Meltem DEĞERLİER GUIOT**

**Fizik Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Mayıs 2019
NEVŞEHİR**

**T.C.
NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**NEVŞEHİR BÖLGESİNDE FARKLI TİPTE
YETİŞTİRİLEN FASULYE BİTKİSİNİN DOĞAL
RADYOAKTİVİTESİNİN GAMA SPEKTROMETRESİ
YÖNTEMİYLE BELİRLENMESİ**

**Tezi Hazırlayan
Şeyda GÜRHAN**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Meltem DEĞERLİER GUIOT**

**Fizik Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Mayıs 2019
NEVŞEHİR**

Doç.Dr. Meltem DEĞERLİER GUIOT danışmanlığında **Şeyda GÜRHAN** tarafından hazırlanan “**Nevşehir Bölgesinde Farklı Tipte Yetiştirilen Fasulye Bitkisinin Doğal Radyoaktivitesinin Gama Spektrometresi Yöntemiyle Belirlenmesi**” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalında **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

24 / 05 / 2019

JÜRİ

Başkan : Doç. Dr. Erhan ESER



Üye : Dr. Öğr. Üyesi Hilal İNCEBAY



Üye : Doç. Dr. Meltem DEĞERLİER GUIOT



ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 03.07.19 tarih ve 2019-40-398 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

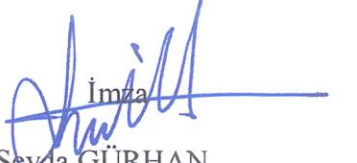
05.07.2019

Prof. Dr. Şahlan ÖZTÜRK
Enstitü Müdürü



TEZ BİLDİRİM SAYFASI

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada yer alan bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu ve bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.


İmza
Şeyda GÜRHAN

TEŞEKKÜR

Nevşehir Bۆlgesinde Farklı Tipte Yetiştirilen Fasulye Bitkisinin Doğal Radyoaktivitesinin Gama Spektrometresi Yöntemiyle Belirlenmesi konulu tez çalıőmasını bana öneren ve bu çalışma esnasında her türlü yardımını esirgemeyerek çalıőmamı tamamlamamı sağlayan değerli danıőmanım Sayın Doç. Dr. Meltem DEęERLIER GUIOT'a sonsuz teşekkür ederim.

Ayrıca çalıőmamın deneysel kısımlarını yapmam için bana laboratuvarlarını açarak her türlü alet ve cihazlarını kullanmama yardımcı olan Türkiye Atom Enerjisi Kurumu ekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezine ve çalıőmam esnasında her türlü desteği sağlayan Sayın Dr. Halim TAŐKIN ve Ayhan YÜKSEL'e sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Ayrıca çalıőmam için gerekli olan numuneleri toplamamda yardımcı olup evlerinde misafir eden Nevşehir halkına çok teşekkür ederim.

Tüm eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi her türlü desteklerini sabırla bana veren, bu çalıőmayı oluőturan verileri toplama esnasında beni yalnız bırakmayan eőime ve aileme en içten ve sonsuz teşekkür ederim.

NEVŞEHİR BÖLGESİNDE FARKLI TİPTE YETİŞTİRİLEN FASULYE BİTKİSİNİN DOĞAL RADYOAKTİVİTESİNİN GAMA SPEKTROMETRESİ YÖNTEMİYLE BELİRLENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Şeyda GÜRHAN

NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Mayıs 2019

ÖZET

Nevşehir, Türkiye'nin İç Anadolu Bölgesi'nde bulunan 5467 km² yüzölçümlü alana yerleşmiş ve yaklaşık 282337 kişilik nüfusa sahip olan bir ildir. Bu çalışmada Nevşehir bölgesinde yetiştirilen fasulye bitkisinin doğal radyasyon miktarını tespit etmek ve tüketilmesi halinde maruz kalınan yıllık etkin doz eşdeğerini hesaplamak amacıyla çeşitli türdeki fasulye bitkilerinin yetiştirildiği 21 farklı tarladan örnekler toplanmıştır. Toplanan fasulye numunelerinin doğal radyoaktivite içeriği gama spektrometrik yöntemle belirlenmiştir. Fasulye numunelerindeki radyum-226 ortalaması 1,04 Bq/kg, toryum-232 ortalaması 0,89 Bq/kg ve potasyum-40 ortalaması 461,47 Bq/kg olarak bulunmuştur.

Nevşehir bölgesinde yetişen fasulyelerin tüketilmesi nedeniyle yıllık etkin doz eşdeğerleri bir yaşımdan büyük bebekler, çocuklar ve yetişkinler için hesaplanmıştır. Yetişkinler için bu üç radyonüklit kaynaklı yıllık etkin doz eşdeğeri ortalaması 10,73µSv/y; çocuklar için 15,12 µSv/y; bebekler için ise 22,16 µSv/y olarak hesaplanmıştır.

Anahtar kelimeler: *Gama spektrometresi, Fasulye, Doğal Radyoaktivite, Nevşehir, Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri.*

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Meltem DEĞERLİER GUIOT

Sayfa Adeti: 47

**ASSESSMENT OF THE NATURAL RADIOACTIVITY OF THE BEAN PLANT
BY GAMMA SPECTROMETRY METHOD**

(M.Sc. Thesis)

Şeyda GÜRHAN

**NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

May 2019

ABSTRACT

Nevşehir is a city that located in central Anatolia and has 5467 km² areas and 282337 populations. In this study the bean plant which produces in Nevşehir regions investigated natural radioactivity by gamma spectrometry method and determine annual effective doses of bean plant in case of consume as nutrition. The 21 different kind of bean plant samples were picked up from different agriculture lands. The mean value of the samples is found 1.04 Bq/kg for ²²⁶Ra, 0.89 Bq/kg for ²³²Th, 461.47 Bq/kg for ⁴⁰K. The annual effective doses were calculated for different age groups. The mean value of annual effective doses stem from three radionuclides is calculated 10.73 µSv/y for adults, 15.12 µSv/y for children and 22.16 µSv/y for babies.

Key Words: Gama spectrometry, Bean, Natural, Nevşehir, Annual Effective Doses
Thesis Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Meltem DEĞERLİER GUIOT

Page Number: 47

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY SAYFASI.....	i
TEZ BİLDİRİM SAYFASI	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
KISALTMA VE SİMGELER	xii
1. BÖLÜM	1
GİRİŞ	1
2. BÖLÜM	2
GENEL BİLGİLER.....	2
2.1. Radyoaktivite.....	2
2.1.1. Radyoaktif Bozunma Şekilleri	2
2.1.1.1. Alfa Bozunması	2
2.1.1.2. Beta Bozunması	2
2.1.1.3. Gama Bozunumu	4
2.2. Radyoaktif Denge	4
2.2.1. Seküler (Kalıcı) Denge	4

2.2.2.	Geçici Denge	4
2.3.	Gama Radyasyonunun Madde İle Etkileşimi.....	5
2.3.1.	Fotoelektrik Olay	6
2.3.2.	Compton Saçılması.....	6
2.4.	Doğadaki Radyoaktivitenin Çevresel Kaynakları	8
2.4.1.	Doğal Radyoaktivite Kaynakları	9
2.4.1.1.	Başlangıçta Var Olan Radyonüklitler.....	9
2.4.1.2.	Bozunma Zinciri Radyonüklitler	11
2.4.2.	Karasal Radyasyon	13
2.4.3.	Kozmik Radyasyon.....	13
2.4.5.	Yiyeceklerdeki Doğal Radyoaktivite Kaynakları.....	14
3. BÖLÜM	15
MATERYAL VE METOT	15
3.1.	Materyal	15
3.1.1.	Gama spektrometresi	15
Şekil 3.1.	Yüksek Saflıktaki Germanyum Detektörlü Gama Spektrometresi [14]	
3.1.2.	Ölçümlerde Kullanılan Gama Spektrometresi	15
3.1.4.	Radyonüklitlerinin Analizinde Kullanılan Fotopiklerin Seçimi	17
3.1.5.	Aktivite Ölçme	18
3.1.6.	HPGe Detektörünün Enerji Kalibrasyonu.....	18
3.1.7.	HPGe Detektörünün Mutlak Verim Kalibrasyonu	20

3.2.	METOT.....	22
3.2.1.	Örneklerin Toplanması ve Ölçme İşlemine Hazırlanması.....	22
3.2.2.	Ölçme İşlemi	25
4.	BÖLÜM.....	26
	BULGULAR.....	26
4.1.	Fasulye Bitkisinde Bulunan Doğal Radyoaktivitenin Tayini.....	26
4.2.	Radyum Eşdeğer Aktivitesi.....	30
4.3.	İç Işınlama İndeksi.....	30
4.5.	Yıllık Etkin Doz Eşdeğerinin Hesaplanması.....	31
5.	BÖLÜM.....	41
	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	41
	KAYNAKLAR.....	45
	ÖZGEÇMİŞ.....	47

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Başlangıç (Primordial) nüklitler	10
Tablo 2.2. Doğada Bilinen Dört Doğal Radyoaktif Seri.....	11
Tablo 2.3. Bazı Yiyeceklerdeki ^{40}K ve ^{226}Ra Değerleri.....	14
Tablo 3.1. Yüksek saflıktaki Germanyum detektörünün özellikleri I	16
Tablo 3.2 Yüksek saflıktaki Germanyum detektörünün özellikleri II	17
Tablo 3.3. I. Standart Kalibrasyon Kaynaklarının Özellikleri	18
Tablo 3.4. II. Standart Kalibrasyon Kaynaklarının Özellikleri	19
Tablo 3.5. Verim kalibrasyonu değerleri	21
Tablo 3.6. Toplanan numunelerin bilgileri I	22
Tablo 3.7. Toplanan numunelerin bilgileri II.....	23
Tablo 3.8. Numunelerin marinelli kaplardaki ağırlıkları	24
Tablo 4.1. Fasulye bitkisindeki ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonları (Bq/kg).....	27
Tablo 4.2. Fasulye örnekleri için ölçülen ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K değerleri için yapılan istatistiki çalışmaları göstermektedir.	30
Tablo 4.3. Fasulye Örnekleri İçin Hesaplanan Radyum Eşdeğer Aktivite ve İç Işınlama İndisleri	30
Tablo 4.4. Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri İçin Doz Dönüşüm Faktörleri	32
Tablo 4.5. Yetişkinler İçin Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri.....	32
Tablo 4.6. Çocuklar için hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri.....	34
Tablo 4.7. Bebekler için hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri.....	37

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Yayımlanan elektronların enerji spektrumu (^{210}Bi)	3
Şekil 2.2. Fotoelektrik olay, Compton olayı ve çift oluşumunun baskın olduğu bölgeler	6
Şekil 2.4. Compton saçılmasının şematik gösterimi.....	7
Şekil 2.5. Çift oluşumunun şematik diyagram	8
Şekil 2.6. Radyasyon ve yüzdeleri.....	8
Şekil 2.7. ^{238}U 'in Bozunum Serisi [9].....	11
Şekil 2.8. ^{235}U ' in Bozunum Serisi [9]	12
Şekil 2.9. ^{232}Th ' in Bozunum Serisi [9]	12
Şekil 3.2. Bilgisayardan alınan fasulye örneğinin gama spektrumu.....	17
Şekil 3.3. Detektör I ve Detektör II deki Genie2000 analiz programında oluşturulan enerji kalibrasyon eğrisi.....	19
Şekil 3.4. Detektörün Mutlak Verim Eğrisi	21
Şekil 3.5. Fasulye Bitkisi Örneklerinin Gama Spektrometrik Analiz İçin Hazırlık Aşamaları	24
Şekil 3.6. Gama detektöründe verim kalibrasyonu işlemi	25
Şekil 4.1. Fasulye bitkisi örneklerindeki ^{226}Ra aktivite konsantrasyon değerleri	28
Şekil 4.2. Fasulye Bitkisindeki ^{232}Th aktivite Konsantrasyonları Değerleri.....	28
Şekil 4.3. Fasulye Bitkisindeki ^{40}K aktivite konsantrasyon değerleri	29
Şekil 4.4. Fasulye bitkisindeki ^{137}Cs aktivite konsantrasyon değerleri	29
Şekil 4.5. Yetişkinler İçin Ra-226 kullanılarak hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri	33
Şekil 4.6. Yetişkinler İçin Th-232 kullanılarak hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri	34
Şekil 4.7. Yetişkinler İçin K-40 kullanılarak hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri ...	34
Şekil 4.8. Çocuklar İçin Ra-226 kullanılarak hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri ...	36
Şekil 4.9. Çocuklar İçin Th-232 kullanılarak hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri ..	36
Şekil 4.10. Çocuklar İçin K-40 kullanılarak hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri	37

Şekil 4.11. Bebekler İçin Ra-226 kullanılarak hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri ..	38
Şekil 4.12. Bebekler İçin Th-232 kullanılarak hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri .	39
Şekil 4.13. Bebekler İçin K-40 kullanılarak hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri.....	39
Şekil 4.14. Yaş grupları için yıllık etkin doz eşdeğerleri karşılaştırmaları	40
Şekil 5.1. Fasulye örneklerindeki ^{226}Ra , ^{232}Th karşılaştırması.....	42
Şekil 5.2. Fasulye örneklerindeki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K karşılaştırması.....	42



KISALTMA VE SİMGELER

Bq	: Becquerel, radyoaktivite birimi
Ci	: Curie, radyoaktivite birimi
E	: Enerji (KeV, MeV)
Gy	: Gray, soğurulmuş doz birimi
Sv	: Sievert, eşdeğer doz birimi
T_{1/2}	: Yarılanma süresi
N	: Nano, alt birim(10-9)
M	: Mikro, alt birim (10-6)
γ	: Gama parçacığı
β	: Beta parçacığı
α	: Alfa parçacığı
BDÖ	: Bireysel Doz Ölçütü
YED	: Yıllık Etkin Doz
DK	: Doz Dönüşüm Katsayısı
GPS	: Gamma Per. Second
Ra_{eq}	: Radyum Eşdeğer Aktivitesi
Hin	: İç Işınlama İndeksi
K	: Potasyum
Ra	: Radyum
Th	: Toryum
Cs	: Sezyum
U	: Uranyum
Pb	: Kurşun
Be	: Berilyum
Bi	: Bizmut
(NH₄)₃PO₄	: Amonyum Sülfat
ÇNAEM	: Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi
TAEK	: Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
HpGe	: Yüksek Safılıkta Germanyum
UNSCEAR	: United Nations Scientific Committee On The Effects Of Atomic Radiation

1. BÖLÜM

GİRİŞ

Yerkabuğunun varoluşundan bu yana var olan radyonüklitler çok uzun yarı ömre sahiptirler ve kararlı hale gelebilmek için bozularak çeşitli derecelerde iyonize radyasyon üretirler. Bu radyonüklitler toprak, su ve yiyeceklerde kısaca doğada her yerde bulunurlar. Havada ya da tarım arazileri üzerinde bulunan radyoaktif elementler bu arazilerde yetiştirilen ürünlere geçiş yapabilir. Bu ürünlerin tüketilmesi durumunda bu tarım ürünlerinden insan vücudunda geçebilirler. Bitkilerin bu radyonüklitlere sahip olma olasılığı yetiştirildiği toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre değişmektedir. Yiyecek zinciri nedeniyle insan popülasyonu çoklu risk altındadır. İç ve dış radyasyon maruziyeti olarak adlandırılan iki ana radyasyon maruziyeti söz konusudur. Bu maruziyetler radyasyonun çeşidine ve enerjisine bağlı olarak değişmektedir. Dış radyasyon zararları, dış radyasyon kaynağından yayınlanan radyasyonun vücuda girmesiyle oluşur ve iyonize radyasyon dozuna neden olur. Radyoaktif materyaller solunum, sindirim ya da deri teması yoluyla da vücutta depolanabilir. İçsel maruziyet olarak adlandırılan sindirim yoluyla alınan dozlar yiyeceklerde ve içme sularında bulunan temel olarak potasyum-40 ve uranyum-238 ve toryum-232 kaynaklıdır. Tarım ürünlerinin tüketimi insanların içsel radyasyon dozlarını artırır ve yıllık etkin dozlara önemli bir katkı sağlar.

Bu çalışmanın amacı Nevşehir bölgesinde yetiştirilen farklı türdeki fasulye bitkisini radyolojik açıdan incelemek ve bu bitkilerin tüketilmesi halinde maruz kalınacak olan radyasyon dozlarını hesaplamaktır.

2. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER

2.1. Radyoaktivite

Çekirdeğin parçacık veya bir ışın yayımlayarak farklı bir çekirdeğe dönüşmesi olayına radyoaktivite denir. Radyoaktivite rastlantısal olarak oluşur. Her radyoaktif çekirdeğin farklı bir bozunma ve parçalanma şekli vardır. Çekirdeğin bozunma ya da parçalanması parçalanma hızına, yaydığı radyasyon türüne ve enerjisine bağlı olarak değişir [7].

2.1.1. Radyoaktif Bozunma Şekilleri

Radyoaktif bozunum, kararsız atom çekirdeğinin alfa ya da beta parçacığı, gama ya da elektron yayımlayarak enerji kaybetmesi olayıdır.

2.1.1.1. Alfa Bozunması

Atom çekirdeğindeki kararsızlık hem proton hem de nötron fazlalığından dolayı oluşuyorsa çekirdek kararlı hale gelebilmek için iki proton ve iki nötron içeren bir alfa parçacığı yayımlar. Böylece ana çekirdeğin atom numarası iki kütle numarası dört azalır.

Rutherford yaptığı deneyler sonucunda alfa parçacığının aslında helyum çekirdeği olduğunu bulmuştur.



Bozunum sonucunda oluşan enerjinin büyük bir kısmı momentum korunumu gereğince alfa parçacığına aktarılır.

Alfa bozunumu genellikle kütle numarası 190'dan büyük olan çekirdeklerde gözlemlenir.

2.1.1.2. Beta Bozunması

Bir çekirdeğin nötron fazlalığı nedeniyle kararsız hale gelmesi durumunda bu nötronlardan birisi proton ve elektrona dönüşür ve elektron dışarı atılır.



Bu dışarı atılan elektrona beta parçacığı denir. Radyonüklidin atom numarası bir artar ve böylece kendinden sonraki element izobar atomuna dönüşür. Kütle sayısı değişmediğinden bu bozunma izobarik bozunma diye isimlendirilir.



Çekirdekte nötron sayısı az veya proton sayısı fazla olması durumunda çekirdek kararsız hale geliyorsa protonlardan birisi nötron ve pozitrona dönüşür.



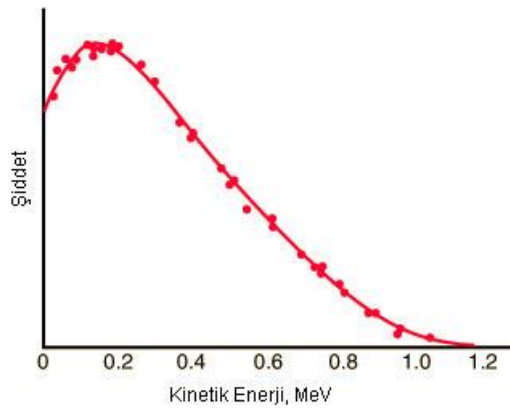
Bu durumda çekirdekte nötron kalırken, bir pozitron dışarı atılır. Böylece proton sayısı bir eksilerek izobar atomuna dönüşür. Sonuç olarak kütle sayısı değişmez.



Elektron yakalama olayı proton fazlalığı nedeniyle çekirdeğin kararsız hale gelmesi durumunda çekirdeğe yakın elektronlarından birinin çekirdek tarafından yakalanması olayıdır. Böylece elektronla proton birleşip nötrino haline gelir. Elektron yakalaması olayında proton sayısı bir eksilir fakat kütle numarası değişmez.



Bu üç beta bozunum sonucunda da yüksüz ve kütesiz parçacıklar yayımlanır, proton veya nötron sayıları değişir buna karşın kütle numarası sabit kalır. Beta bozunumu sonucunda oluşan elektron sürekli enerji spektrumuna sahiptir.



Şekil 2.1. Yayımlanan elektronların enerji spektrumu (^{210}Bi)

2.1.1.3. Gama Bozunumu

Bazı bozunma olaylarından sonra ya da çekirdekte enerji fazlalığı olması durumunda çekirdek kararsız durumdadır. Çekirdek elektromanyetik yapıdaki gama radyasyonunu yayınlarak kararlı duruma geçer. Bu durumda çekirdekteki atom ve kütle numaraları değişmez.

Gama yayınlanması yarı ömrü oldukça kısadır. Enerji spektrumları ise kesiklidir[10].

2.2. Radyoaktif Denge

Radyoaktif madde kararlı olmak için içinde bulundurduğu enerjiyi dışarıya atarak en uygun hale gelmek isteyecektir. Bir ana radyoaktif element bozularak ürün elementine dönüşür, ürün element bozularak torun elementine döner. Bozunma sırasında λ sabiti değişkenlik gösterir. Bunun sonucunda oluşan çekirdek kararlı bir element haline gelerek ışımaya yapmaz.

Ürün çekirdek miktarının yükselmesi birim zamanda oluşacak parçalanmayı, yani aktiviteyi yükseltir.

2.2.1. Seküler (Kalıcı) Denge

Birim zamanda meydana gelen ürün çekirdek miktarı bu süre zarfında bozulan ana çekirdek miktarına ulaştığında, radyoaktif dengeye varıldığı belirtilir. Kalıcı denge durumu ana çekirdeğin yarı ömrünün ürün çekirdeğinin yarı ömründen çok fazla olması durumunda oluşmaktadır.

$$T_{1/2}^P \gg T_{1/2}^D \text{ ya da } \lambda_{dP} \ll \lambda_{dD} \quad (2.8)$$

2.2.2. Geçici Denge

Geçici denge durumuna ana ve ürün çekirdeklerin aktivitelerinin eşit olmaması fakat aralarında sabit bir kesir farkı olması durumunda gerçekleşir. Bu durum ana çekirdeğin yarı ömrü ürün çekirdekten az oranda yüksek olduğu zaman gerçekleşir.

$$T_{1/2}^P > T_{1/2}^D \text{ ya da } \lambda_{dP} < \lambda_{dD} \quad (2.9)$$

$$\frac{A_P}{A_D} \cong 1 - \frac{\gamma_{dP}}{\gamma_{dD}} \quad (2.10)$$

2.3. Gama Radyasyonunun Madde İle Etkileşimi

Maddede ilerleyen gama ışının şiddeti exponansiyel dağılım şeklinde değişim görülmektedir.

$$I = I_0 e^{-\mu \cdot t} \quad (2.11)$$

Burada I_0 kaynaktan çıkan gama ışının şiddetini, I etkileşim sonrası gama ışının şiddetini, μ lineer azaltma katsayısını göstermektedir.

Lineer azalma katsayısının ifadesi;

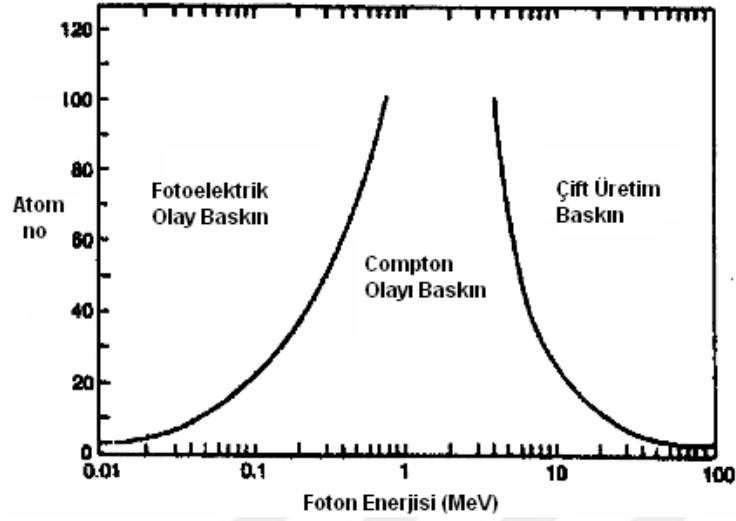
$$\mu = \sigma \times n \quad (2.12)$$

Bu denklemde σ gama için tesir kesitini, n birim hacimdeki atom sayısını göstermektedir. σ , gama ışınlarının maddeyle değişik hallerde etkileşim olasılıklarının toplamı olarak gösterilir

$$\mu = \tau + \sigma + \kappa \quad (2.13)$$

Burada τ fotoelektrik, σ Compton saçılması, κ : çift oluşumu olma olasılıklarını göstermektedir.

Gama ışınlarının madde ile etkileşimleri fotoelektrik, Compton ve Thomson saçılması, çift oluşumu şeklinde gerçekleşir. Büyük atom numarasına ve düşük enerjiye sahip fotonlarda genellikle fotoelektrik olayı gözlemlenir. Yükselen enerji miktarı fotonun soğurulma ihtimalini düşüreceğinde, fotonun çarptığı atom enerjisinin hepsini soğuramayacağından foton, Compton saçılmasına uğrar. 5 MeV 'in üstündeki enerji miktarlarında ise genellikle çift oluşumu daha çok gözlenmektedir. [4]



Şekil 2.2. Fotoelektrik olay, Compton olayı ve çift oluşumunun baskın olduğu bölgeler

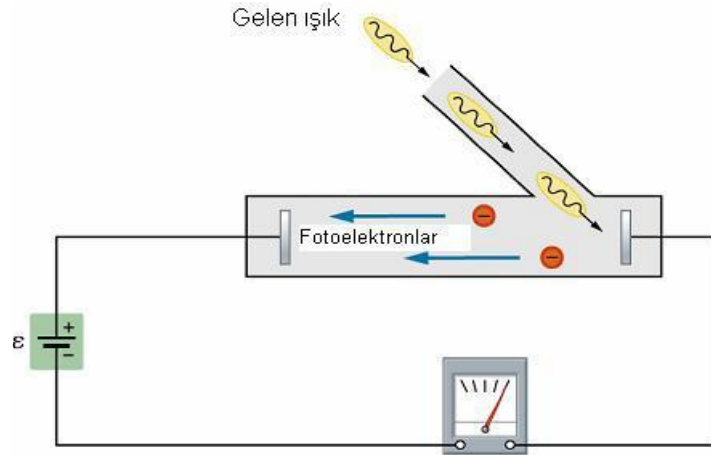
2.3.1. Fotoelektrik Olay

Gama ışınları öncelikle detektörün yüzey alanında bulunan elektronlar ile çarpışarak bütün enerjilerini tüketir. Bu tüketilen enerjinin bir kısmı elektronlarda kinetik enerjiye dönüşürken bir kısmı elektronların serbest (foto elektron) kalması için harcanır.

$$T_e = E_\gamma - E_b \quad (2.14)$$

E_γ gama ışın enerjisini, E_b elektron kopartmak için gerekli enerjiyi ve T_e fotoelektronun kinetik enerjisini göstermektedir.

Fotoelektrik olay sonrası serbest duruma gelen foto elektrondan boşalan kısımları diğer elektronların doldurması sonucu karakteristik x-ışınları oluşur. [4]



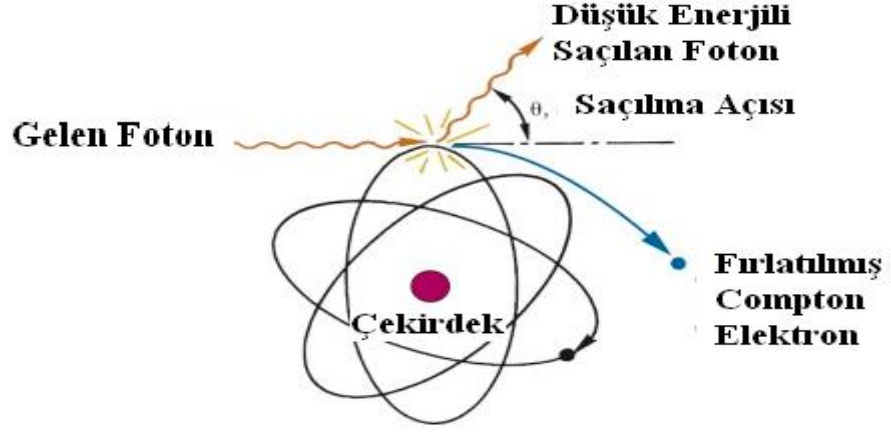
Şekil 2.3. Foto elektrik olayın şematik gösterimi

2.3.2. Compton Saçılması

Compton saçılmasında foton, detektör materyalinde bulunan atomun elektronundan saçılır. E_γ enerjisi bulunan gama ışını, Compton saçılması ile birlikte enerjisi azalarak (E_γ') farklı bir açıyla saçılabilir.

$$E_\gamma' = \frac{E_\gamma}{1 + \left(\frac{E_\gamma}{mc^2}\right)(1 - \cos \theta)} \quad (2.15)$$

Compton saçılması sonucu oluşan gama ışınının enerjisi düşük olmasına rağmen yeniden kristal atomlarıyla, bir ya da birden çok kez Compton saçılmasına uğrayabilir. Bu enerji kayıpları fotoelektrik soğurulmanın meydana gelme ihtimalini artırır.[4]

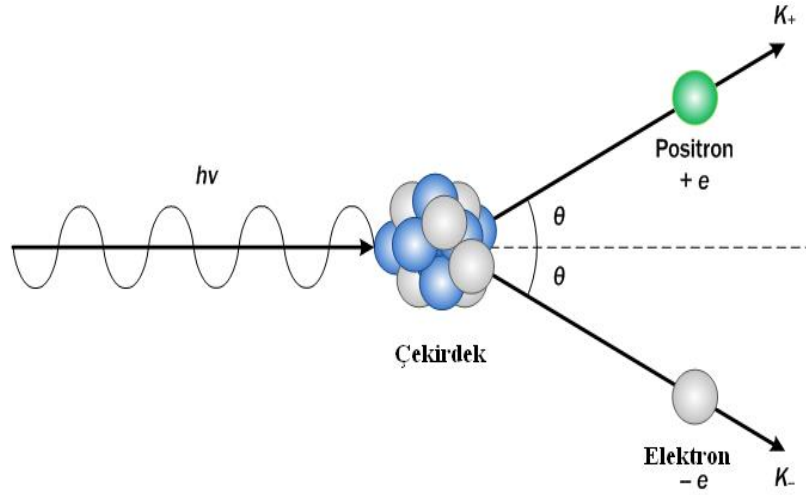


Şekil 2.4. Compton saçılmasının şematik gösterimi

2.3.3. Çift Oluşumu

Çift oluşumu olayı gama ışınının çekirdek yörüngesinde elektron, pozitron çifti oluşturarak kaybolması olayıdır. Çift oluşumunun meydana gelebilmesi için fotonun enerjisinin 1.02 MeV olmalıdır. Gama ışınının, e^- , e^+ oluştuktan sonra kalan enerjisi, elektron ve pozitronun kinetik enerjisine dönüşür.[4]

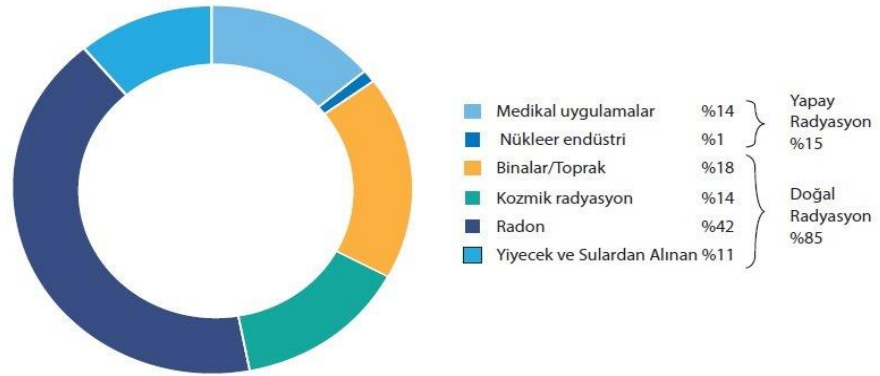
$$E_\gamma = 2m_0c^2 + T_c \quad (2.16)$$



Şekil 2.5. Çift oluşumunun şematik diyagram

2.4. Doğadaki Radyoaktivitenin Çevresel Kaynakları

Tüm canlılar çevremizde her an var olan radyasyon ve radyoaktif maddelerle, sürekli olarak temas halindedirler. Radyasyon, doğal ve yapay radyasyon olarak iki şekilde bulunmaktadır. Bu maddeler dünyamızın her yerinde ve hatta insan vücudunda bile bulunmaktadır. [2-8].



Şekil 2.6. Radyasyon ve yüzdeleri

2.4.1. Doğal Radyoaktivite Kaynakları

Radyasyon çevremizde bulunan birçok kaynaktan oluşabilmektedir. Güneşten ve derin uzaydan gelen kozmik ışınlarda, havada, suda, toprakta ve yediğimiz besinlerde doğal radyoaktif elementler bulunmaktadır. Radyasyona maruziyet durumları karşılaştırıldığında yüksek kesimlerde yaşayan kişilerin kozmik radyasyona maruz kaldığı görülürken, granit kökenli kayaçların parçalanması sonucu oluşan toprakların bulunduğu yerlerde yaşayan kişilerin ise yeryüzüne ait doğal radyasyondan daha çok etkilenmektedir.

Canlı organizmaların yapısında bulunan karbon ve potasyumun radyoaktif izotopları ve kaya, toprak minerallerinin yapısında bulunan uranyum, radyum, radon ve toryum gibi radyoaktivitesi çok fazla olan elementler doğal radyasyon oluşmasına sebep olmaktadır.

Uranyumun bozunumu sonucu açığa çıkan radon elementi doğal radyasyonun en önemli kaynaklarından biridir. Radon renksiz, kokusuz bir gazdır. Radon gazı, toprak katmanlarından yerin yüzeyine doğru yayılarak, havaya ve yeraltı suları ile birleşerek canlılara ulaşmaktadır.

Doğal kaynaklardan yayılan radyasyon insan vücuduna zarar vermezken kullanılan teknolojik ürünlerden kaynaklanan yüksek dozlardaki radyasyon ise insan sağlığını tehdit etmektedir. Bunlara örnek olarak bilgisayar monitörleri, tıbbi olarak kullanılan X ışınları, atom bombası denemeleri ve nükleer santraller gösterilebilir.

2.4.1.1. Başlangıçta Var Olan Radyonüklitler

Başlangıç (Primordial) radyonüklitleri, Dünyanın oluşumundan bu yana var olan radyonüklitlerdir. Yarı ömür süreleri çok fazladır. Bu radyonüklitler, ^{235}U , ^{238}U ve ^{232}Th serilerinden ve ayrıca ^{40}K ve ^{87}Rb den oluşmaktadır. Ayrıca ^{50}V , ^{87}Rb , ^{113}Cd , ^{115}In , ^{123}Te , ^{138}La , ^{142}Ce , ^{144}Nd , ^{147}Sm , ^{152}Gd , ^{174}Hf , ^{176}Lu , ^{187}Re , ^{190}Pt , ^{192}Pt , ^{209}Bi nüklitleri de başlangıç radyonüklitleri arasında sayılabilir.

Tablo 2.1. Başlangıç (Primordial) nüklitler

Başlangıç (Primordial) Nüklitler			
Nüklit	Sembol	Yarı ömür	Doğal Aktivite
Uranyum 235	²³⁵ U	7,04 x 10 ⁸ yıl	Tüm doğal uranyumun 0,72 % si
Uranyum 238	²³⁸ U	4,47 x 10 ⁹ yıl	Tüm doğal uranyumun % 99,2745'i; Yaygın kaya çeşitlerindeki toplam uranyum 0,5 ile 4,7 ppm
Toryum 232	²³² Th	1,41 x 10 ¹⁰ yıl	10,7 ppm kabuk ortalamalı yaygın kaya çeşitlerinde 1,6 ile 20 ppm
Radyum 226	²²⁶ Ra	1,60 x 10 ³ yıl	Kireçtaşıda 0,42 pCi/g (16 Bq/kg) ve volkanik kayalarda 1,3 pCi/g (48 Bq/kg)
Radon 222	²²² Rn	3,82 gün	Asal gazlar; US'deki havada yıllık ortalama konsantrasyon 0,016 pCi/L (0,6 Bq/m ³) den 0,75 pCi/L (28 Bq/m ³)değişir.
Potasyum 40	⁴⁰ K	1,28 x 10 ⁹ yıl	Toprak - 1-30 pCi/g (0,037-1,1 Bq/g)

2.4.1.2. Bozunma Zinciri Radyonüklitler

Bilinen 40 kadar doğal radyoizotop bulunmaktadır. Bunlar genel olarak atom numaraları 81-92 arasında değişen ağır çekirdeklerden meydana gelmektedirler.

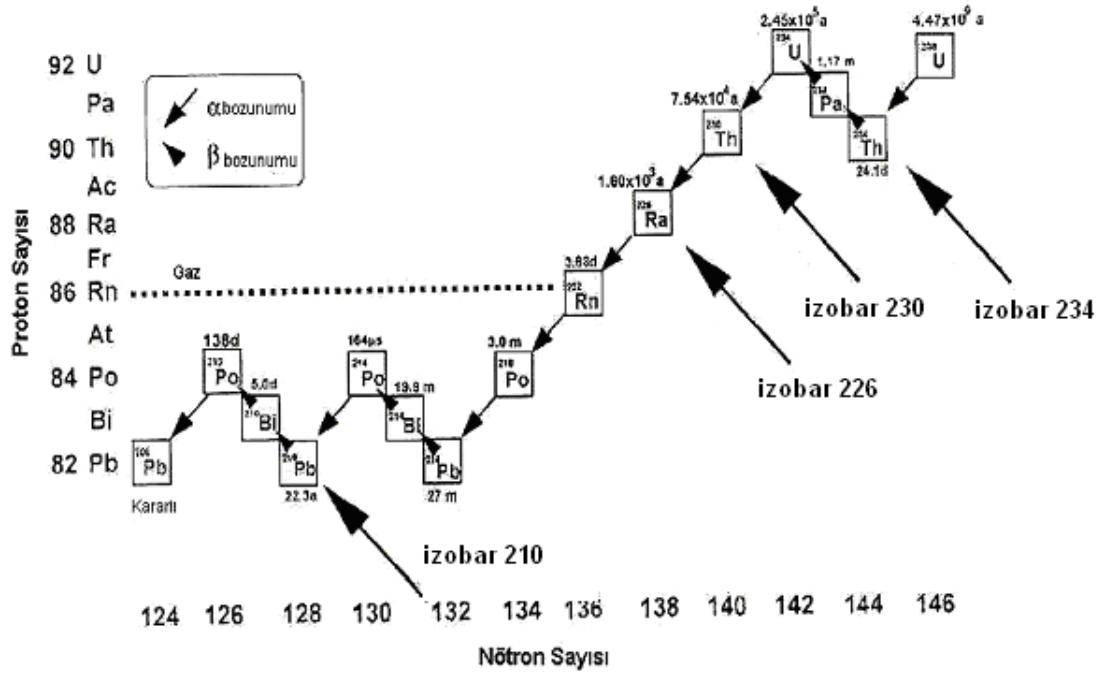
Doğal radyoaktif izotoplar üç seriden oluşur. Bunlar uranyum serisi (^{238}U kaynaklı), toryum serisi (^{232}Th kaynaklı) ve aktinyum serisidir (^{235}U kaynaklı)[6].

Tablo 2.2. Doğada Bilinen Dört Doğal Radyoaktif Seri

Seri Adı	Son Çekirdek (Kararlı)	Çekirdek	En Uzun Ömürlü Üyesi	Yarı-Ömür (yıl)
Toryum	^{208}Pb	^{232}Th		1.41×10^{10}
Neptünyum	^{209}Bi	^{237}Np		2.14×10^6
Uranyum	^{206}Pb	^{238}U		4.47×10^9
Aktinyum	^{207}Pb	^{235}U		7.04×10^8

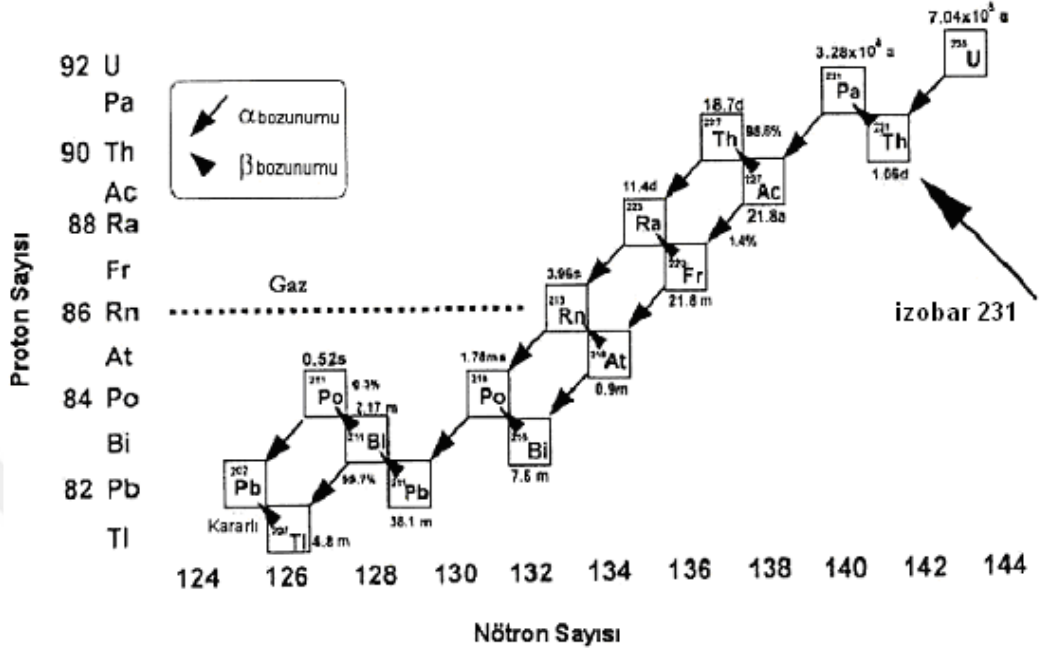
U-238

Uranyum-238, 15 esas çekirdeğin başıdır ve alt serilere bölünür.



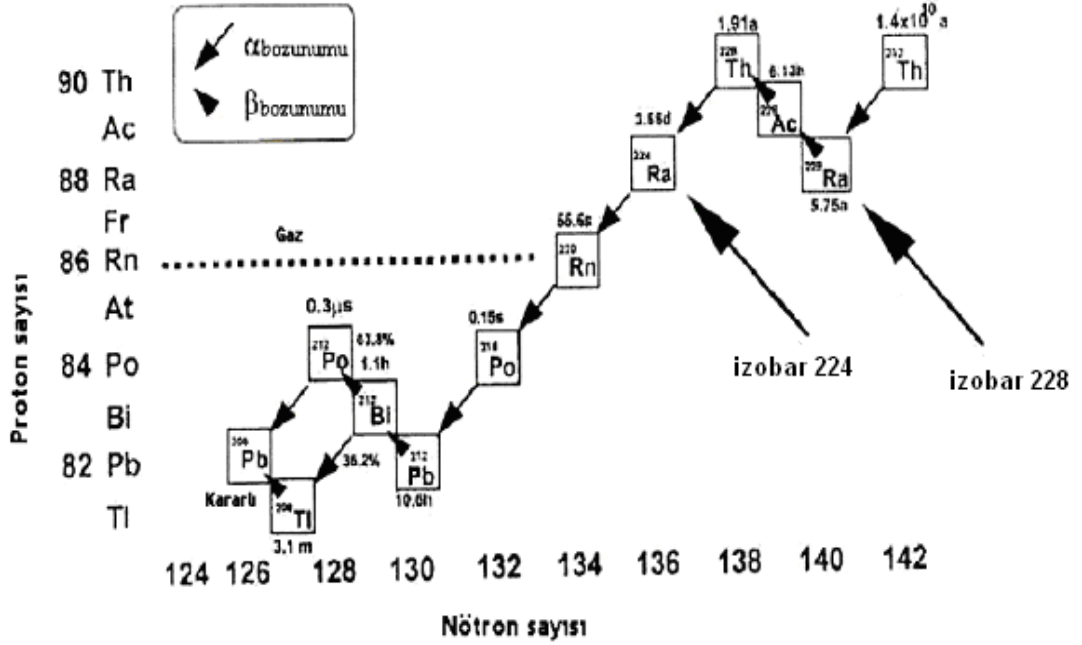
Şekil 2.7. ^{238}U 'in Bozunum Serisi [9]

U-235 (Aktinyum) Serisi



Şekil 2.8. ^{235}U ' in Bozunum Serisi [9]

Toryum- 232



Şekil 2.9. ^{232}Th ' in Bozunum Serisi [9]

^{232}Th ve ^{238}U serileri birbirleri ile çok fazla aynı özellik gösterirler. Toryum-232 ve Uranyum-238 serileri aynı elementin (radyum, radon, kurşun, bizmut, polonyum) izotoplarını bulundurur. Aralarındaki önemli fark ise toryum-232'nin yarı ömrünün uzun olmasıdır.

^{232}Th serileri üç farklı seriye ayrılır;

(a) ^{232}Th kendisi

(b) $^{228}\text{Ra} \rightarrow ^{224}\text{Ra}$

(c) $^{220}\text{Rn} \rightarrow ^{208}\text{Pb}$ [6]

2.4.2. Karasal Radyasyon

Radyoaktif materyaller toprak, su ve bitkilerin doğasında bulunurlar. Önemli radyoaktif elementler olan uranyum, toryum ve onların bozunum ürünleri yer kabuğunun şekillendiği milyonlarca yıl öncesinden beridir vardır. Bazı radyoaktif materyaller su ve yiyeceklerle sindirilir. Uranyumun bozunum ürünü olan radon gazı solunum yoluyla vücuda girer. Dünyanın farklı kısımlarındaki karasal radyasyon miktarı topraktaki uranyum ve toryumun farklı konsantrasyonları nedeniyle farklıdır.

2.4.3. Kozmik Radyasyon

Doğal radyasyonun meydana gelmesinde uzaydan iletilen kozmik ışınlarında etkisi bulunmaktadır. Bu ışınların çoğu atmosferden geçmekte zorlanırken çok az bir miktar yeryüzüne iletilmektedir.

Kozmik ışınların kaynağı farklı şekillerde yorumlanmaktadır. Bir görüş kozmik ışınların yıldızlardan, gezegenlerden geldiğini savunurken diğer bir görüşte tamamen dışarıdan geldiğini söylemektedir. Kozmik ışınlar büyük yıldızların patlamalarından da kaynaklandığı düşünülmektedir.

Yeryüzünün manyetik alanından etkilenen kozmik ışınlar atmosfere nüfuz ettiklerinde reaksiyona uğrayarak atmosferde bir miktar tutulur. Bu nedenle yükseltinin azalması doz miktarını artırdığından yükseklerde yaşayan bir kişi deniz seviyesinde bulunan kişiden daha fazla kozmik radyasyona maruz kalır [6].

2.4.5. Yiyeceklerdeki Doğal Radyoaktivite Kaynakları

Bütün besinler belirli oranda radyoaktivite içerir. Besinlerdeki başlıca radyoaktiviteler ^{40}K , ^{226}Ra ve ^{238}U 'dir. Yediğimiz besinlerin dış kısımlarında çok fazla radyoaktif madde bulunur [6].

Tablo 2.3. Bazı Yiyeceklerdeki ^{40}K ve ^{226}Ra Değerleri

Yiyecek	^{40}K (pCi/kg)	^{226}Ra (pCi/kg)
Muz	3.520	1
Fındık	5.600	1.000 – 7.000
Havuç	3.400	0.6 - 2
Patates	3.400	1 – 2.5
Bira	390	-----
Kırmızı Et	3.000	0.5
Kuru Fasulye	4.640	2 - 5
İçme Suyu	-----	0 – 0.17

3. BÖLÜM

MATERYAL VE METOT

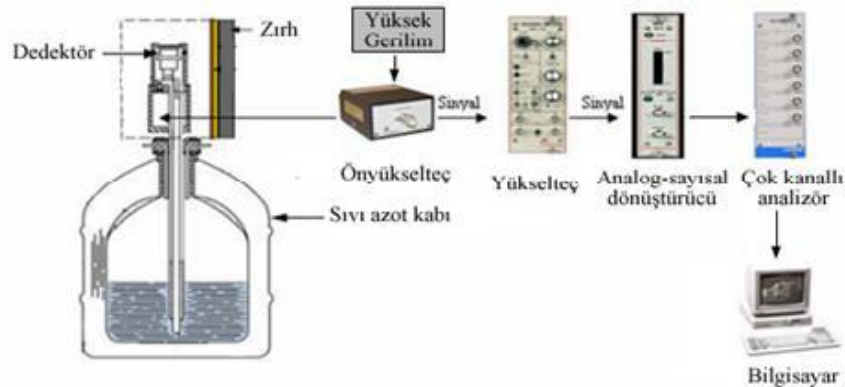
3.1. Materyal

İnsanların doğal yaşam döngüsünde etkileşim içerisinde bulunduğu birçok maddede radyoaktif serilere ait radyonüklitler bulunmaktadır. Bu radyonüklitlerin belirlenmesinde birden fazla yöntem kullanılmakta olup yöntemlerden en yaygın olanları; gama spektrometresi, alfa spektrometresi, sıvı sintilasyon sayımı ve orantılı sayaçlar ile alfa- beta toplam sayımı gibi tekniklerdir. Zıt çalışma prensibine sahip detektörlerin (sintilasyon ve yarı iletken HPGe) kullanıldığı gama spektrometrik yöntem, herhangi bir radyokimyasal ayrıştırma işine gerek olmadan doğrudan, zararsız, hızlı ve eş zamanlı ölçme imkanı sağlamaktadır [9].

Kaynaktan gelen fotonların enerji ve şiddetini bulmak için HPGe (yarıiletken detektörler) kullanılır. Bu detektörler kullanılarak elde edilen bilgiler, kaynak içindeki radyonüklitlerin aktivesini hesaplamada kullanılır [13].

3.1.1. Gama spektrometresi

Gama spektrometresinde, kaynaktan detektör kristaline gelen gama ışınlarının enerjilerinin oluşturduğu sinyaller ön yükselteçte yüksek gerilim uygulanarak iletilmek üzere yükseltece gönderilir. Yükseltelen sinyal, analog sayısal dönüştürücüde (ADC) sayısal veriler haline getirilir ve daha sonra çok kanallı analizörde (MCA) spektruma dönüşür [9].



Şekil 3.1. Yüksek Safılıktaki Germanyum Detektörlü Gama Spektrometresi [14]

3.1.2. Ölçümlerde Kullanılan Gama Spektrometresi

Bu çalışmada Nevşehir ilinde bulunan 21 farklı tarım arazisinden toplanan fasulye bitkisinin içerdiği K-40, Cs-137, Ra-226, Th-232 aktivite konsantrasyonları Çekmece Nükleer Araştırma Ve Eğitim Merkezi (ÇNAEM) Radyoaktivite Ölçme Ve Analiz Birimi (RÖA Birimi) laboratuvarında bulunan eş eksenli ve orta eksenli p-tipi HPGe detektörlü gama- ışını spektrometresi kullanılarak ölçülmüştür.

Detektör, dışarıdan gelen doğal fon radyasyonun etkilerini en aza indirmek için 100 mm kalınlığındaki kurşun (Pb) ile zırhlanmıştır. Bu zırhın iç tarafı, gama-ışını fotonlarının kurşun zırh ile etkileşmesi sonucunda oluşan 72- 88 keV enerji aralığındaki Pb X-ışınları için 1 mm kalınlığındaki kalay ve 1,5 mm kalınlığındaki bakır levha ile kaplanmıştır.

Kurşun zırhtan saçılmaları minimuma indirmek için detektör kurşun zırhın iç kısmına ortali olarak konumlandırılmıştır. Soğutma amaçlı 50 L hacimli sıvı azot tankı kullanılmıştır [3].

Tablo 3.1. Yüksek saflıktaki Germanyum detektörünün özellikleri I

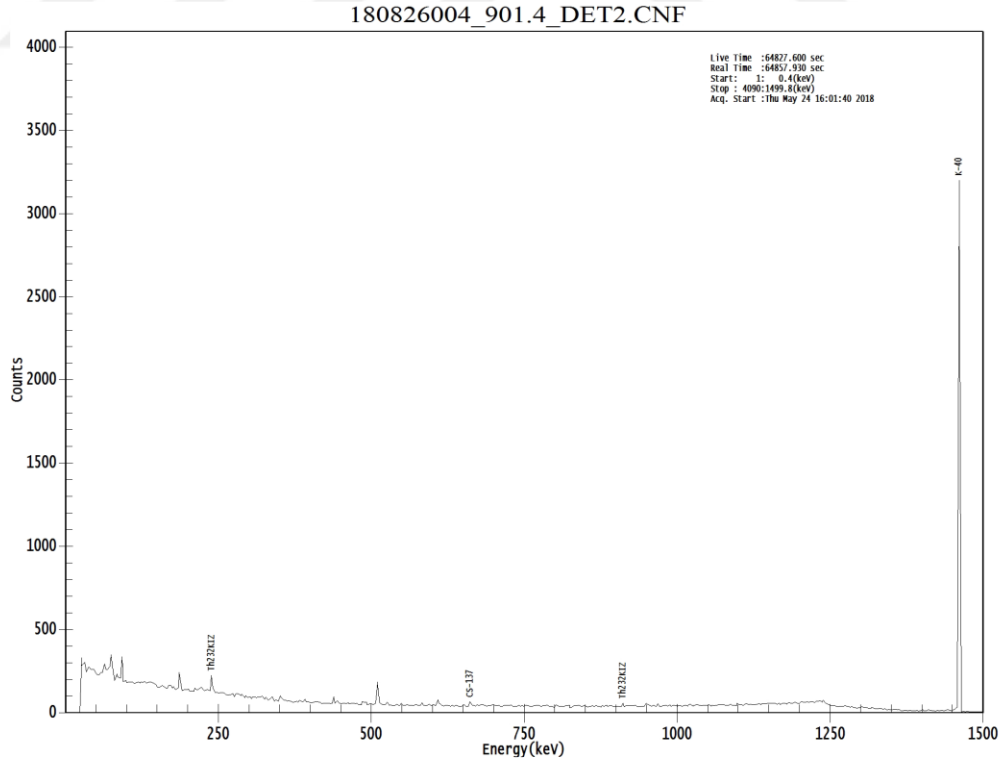
Detektörün modeli	GX5020
Cryostat modeli	7500SL
Seri Numarası	12025151
Bağıl Verim	%50
Enerji Ayırma (Çözünürlük)	1,83keV (Co ⁶⁰ 'ın 1332 keV enerjili fotopikin FWHM değeri)
Pik / Compton oranı	60:1
Detektör geometrisi ve kristal tipi	Kapalı uçlu eş eksenli ve p-tipi HPGe
Çapı ve Yüksekliği	68.5 mm 53 mm
Pencereden uzaklık	5 mm
Kriyostat ve Azot kabı	Dikey geometri 50l
Çalışma Gerilimi	+3000 Vdc

Tablo 3.2 Yüksek saflıktaki Germanyum detektörünün özellikleri II

Detektörün modeli	GCD30185
Seri Numarası	1944-13
Bağıl Verim	%30
Enerji Ayırma (Çözünürlük)	1,85keV (Co ⁶⁰ 'ın 1332 keV enerjili foto pikin FWHM değeri)
Pik / Compton oranı	59:1
Detektör geometrisi ve kristal tipi	Kapalı uçlu orta eksenli ve p-tipi HPGe
Pencereden uzaklık	9 mm
Kriyostat ve Azot kabı	Dikey geometri 30L
Çalışma Gerilimi	+3200 Vdc

3.1.4. Radyonüklitlerinin Analizinde Kullanılan Fotopiklerin Seçimi

Fasulye örneğindeki radyonüklitlerin aktivitelerinin hesaplanmasında belli enerji aralığında bulunan piklere bakılarak işlem yapılmıştır Şekil 3.3' de bir fasulye örneği için gama spektrumu görülmektedir.



Şekil 3.2. Bilgisayardan alınan fasulye örneğinin gama spektrumu

3.1.5. Aktivite Ölçme

Detektörün mutlak verimi foto pikin altındaki net alana, sayım zamanına, foto pikin yayılma olasılığına, radyonüklitin yarılanma süresine, kaynak detektör mesafesine ve kaynağın geometrisine bağlıdır.

3.1.6. HPGe Detektörünün Enerji Kalibrasyonu

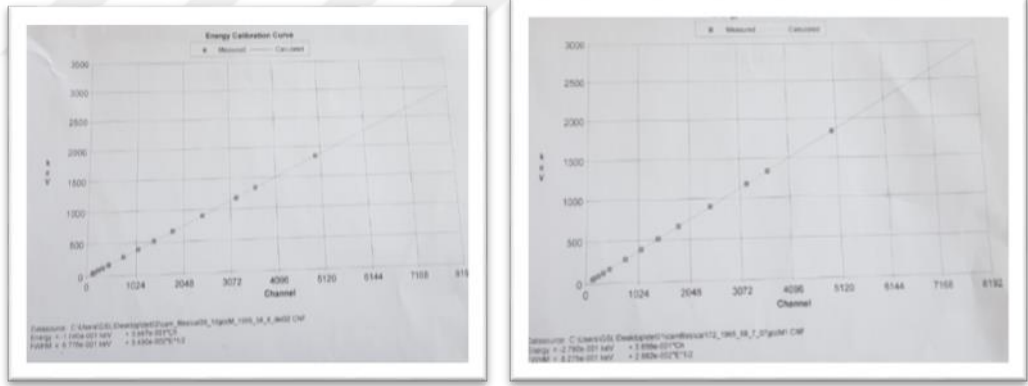
Bilgisayar belleğinde biriken spektrumların değerlendirilmesi için, enerji kalibrasyonuna ihtiyaç vardır. Bu nedenle enerjisi bilinen çekirdeklerin bulunduğu standart kaynaklar kullanılır. Böylelikle spektrumun kanallarının enerji değerleri belirlenmiş olur. Tablo 3.3 ve Tablo 3.5 de genel olarak kalibrasyon için kullanılan standart kaynaklara ait bilgiler verilmektedir [9].

Tablo 3.3. I. Standart Kalibrasyon Kaynaklarının Özellikleri

Gama Enerjisi (keV)	Radyonüklit	Yarı Ömür	Yayınlanma Olasılığı (%)	Aktivite (μCi)	Saniyedeki Gama Çıkışı	Toplam Belirsizlik (%)
47	Pb-210	22.3 \pm 0.2 yıl	4.18	0.3007	465.1	4.1%
60	Am-241	432.17 \pm 0.66 yıl	36.0	0.02955	393.6	3.0%
88	Cd-109	462.6 \pm 0.7 gün	3.63	0.4182	561.7	3.0%
0122	Co-57	271.79 \pm 0.09 gün	85.6	0.01602	507.4	3.0%
166	Ce-139	137.640 \pm 0.02 gün	79.9	0.02053	606.9	3.0%
279	Hg-203	46.595 \pm 0.013 gün	81.5	0.05907	1781	3.0%
392	Sn-113	115.09 \pm 0.04 gün	64.9	0.07740	1859	3.0%
514	Sr-85	64.849 \pm 0.004 gün	98.4	0.09867	3592	3.0%
662	Cs-137	30.17 \pm 0.16 yıl	85.1	0.06959	2191	3.0%
898	Y-88	106.630 \pm 0.02 gün	94.0	0.1610	5600	3.0%
1173	Co-60	5.272 \pm 0.001 yıl	99.86	0.08257	3051	3.0%
1333	Co-60	5.272 \pm 0.001 yıl	99.98	0.08257	3054	3.0%
1836	Y-88	106.630 \pm 0.02 gün	99.4	0.1610	5921	3.0%

Tablo 3.4. II. Standart Kalibrasyon Kaynaklarının Özellikleri

Gama Enerjisi (keV)	Radyonüklit	Yarı Ömür	Yayınlanma Olasılığı (%)	Aktivite (μCi)	Saniyedeki Gama Çıkışı	Toplam Belirsizlik (%)
47	Pb-210	22.3 \pm 0.2 yıl	4.18	0.3095	478.7	4.1%
60	Am-241	432.17 \pm 0.66 yıl	36.0	0.03040	404.9	3.0%
88	Cd-109	462.6 \pm 0.7 gün	3.63	0.4304	578.1	3.0%
0122	Co-57	271.79 \pm 0.09 gün	85.6	0.01648	522.0	3.0%
166	Ce-139	137.640 \pm 0.023 gün	79.9	0.02112	624.4	3.0%
279	Hg-203	46.595 \pm 0.013 gün	81.5	0.06179	1833	3.0%
392	Sn-113	115.09 \pm 0.04 gün	64.9	0.07964	1912	3.0%
514	Sr-85	64.849 \pm 0.004 gün	98.4	0.1015	3695	3.0%
662	Cs-137	30.17 \pm 0.16 yıl	85.1	0.07162	2555	3.0%
898	Y-88	106.630 \pm 0.025 gün	94.0	0.1657	5763	3.0%
1173	Co-60	5.272 \pm 0.001 yıl	99.86	0.08496	3139	3.0%
1333	Co-60	5.272 \pm 0.001 yıl	99.98	0.08496	3143	3.0%
1836	Y-88	106.630 \pm 0.025 gün	99.4	0.1657	6094	3.0%



Şekil 3.3. Detektör I ve Detektör II deki Genie2000 analiz programında oluşturulan enerji kalibrasyon eğrisi

3.1.7. HPGe Detektörünün Mutlak Verim Kalibrasyonu

Detektör penceresine çarpan fotonun foto pik içinde bulunma olasılığı detektörün verimini belirler. Enerjinin fonksiyonu olarak elde edilen verim kalibrasyonu, kaynağın gerçek aktivitesinin belirlenmesi için gereklidir. Detektör verimi mutlak (absolute) ve iç (intrinsic) verim olmak üzere iki kısma ayrılır. Mutlak verim, kaynaktan yayımlanan gama ışınlarının ölçülebilme olasılığını verir. İç verim ise, detektöre çarpan fotonların ölçülebilme olasılığını verir. Mutlak verim detektörün alanına ve kaynaktan uzaklığına bağlıdır[11].

HPGe detektöründe, sabit ve farklı uzaklıklarda ölçülerek her uzaklık için ortalama veriler bulunmuştur. Belli enerjideki radyonüklitin verim hesaplaması yapılırken öncelikle radyonüklitin kalibrasyon sertifikasından yarılanma ömrüne ve gama sayımına bakılır. Daha sonra pik alanı ve süresine bakılarak sayım hızı hesaplanır. Net sayım hızını bulabilmek için fon sayımını bilmek gerekir. Bilgisayardan pik alanına ve süresine bakılarak fon sayım hızı hesaplanır. Net sayım hızı, kalibrasyondan bulunan sayım hızından, bilgisayardan bulunan fon sayım hızını çıkararak bulunur.

Verim kalibrasyon sertifikasının referans bilgileri kısmından ve bilgisayardan kalibre edildiği tarihler belirlenerek kaç gün fark olduğu bulunur, yani t_d hesaplanır. Kalibrasyon sertifikasındaki GPS_0 (Gamma Per. Second) bakılarak gama sayısı belirlenir. Radyonüklitin GPS (Gamma Per. Second) Denklem 3.6 kullanılarak hesaplanmıştır.

Radyonüklitin verimi Denklem 3.7 ile bulunur.

$$GPS = GPS_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t_d} \quad (3.6)$$

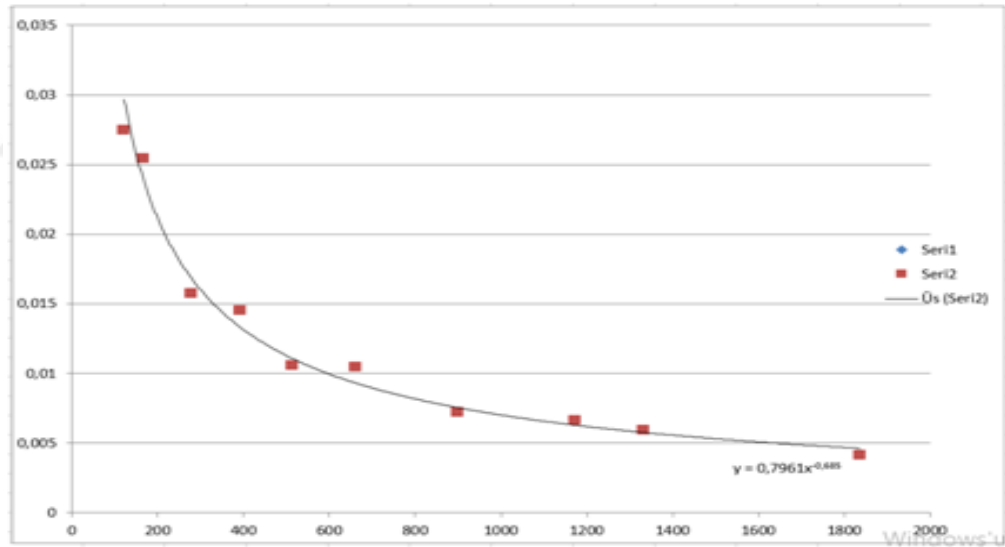
Denklem 3.6, Denklem 3.7 de yerine yazılarak verim hesaplanır.

$$\text{Verim} = \frac{\text{NET SAYIM HIZI}}{\text{GPS}} \quad (3.7)$$

Deneysel olarak hesaplanan verim değerlerini (Tablo 3.5) eğriye uygulanarak detektörün mutlak verim eğrisi elde edilmiştir (Şekil 3.4).

Tablo 3.5. Verim kalibrasyonu değerleri

Radyonüklit	Enerji (keV)	DeneySEL
Pb-210	47	0,001978
Am-241	60	0,008346
Cd-109	88	0,021856
Co-57	122	0,02747
Ce-139	166	0,025455
Hg-203	279	0,015732
Sn-113	392	0,014525
Sr-85	514	0,010597
Cs-137	662	0,01049
Y-88	898	0,007198
Co-60	1173	0,00662
Co-60	1333	0,005968
Y-88	1836	0,00415



Şekil 3.4. Detektörün Mutlak Verim Eğrisi

3.2. METOT

3.2.1. Örneklerin Toplanması ve Ölçme İşlemine Hazırlanması

Nevşehir bölgesinde yetiştirilen fasulye bitkilerinin yetiştirildiği tarım arazileri ürünlerin cinsi, gübreleme, ilaçlama ve sulama şekilleri ve miktarları ayrıca tarım arazilerinin konumları hakkındaki bilgileri belirlenmiştir. Her birinden 2 ile 3 kg arasındaki ağırlıklarda olmak üzere 21 farklı örnek toplanmıştır.

Bu örneklerin içlerinde bulunan yenilmeyecek olan kısımları temizlenmiş daha sonra Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi araştırma laboratuvarında bulunan hassas terazi ile her bir örneğin yaş ağırlıkları belirlenmiştir. Daha sonra 80 °C derecede 24 saat boyunca fırında bekletilerek kurutma işlemi yapılmış sonra tekrar hassas terazide kuru ağırlıkları ölçülmüştür.

Tablo 3.6. Toplanan numunelerin bilgileri I

Numune Kodu	Numunenin alındığı köy	Tarlanın yüz ölçümü m ²	Ürünün cinsi
1	Til köyü	20000	alberto
2	Til köyü	40000	Kanada alberto
3	Til köyü	500	Kanada alberto
4	Til köyü	500	Kanada alberto
5	Ağcaşar köyü	32000	Kanada alberto
6	Ağcaşar köyü	10000	Kanada alberto
7	Ağcaşar köyü	5500	Alman alberto
8	Ağcaşar köyü	10000	Kanada alberto
9	Ağcaşar köyü	18000	Kanada alberto
10	Ağcaşar köyü	20000	Kanada alberto
11	Ağcaşar köyü	8000	Kanada alberto
12	Ağcaşar köyü	11000	Kanada alberto
13	Suvermez köyü	50000	Kanada alberto
14	Suvermez köyü	10000	Kanada alberto
15	Derinkuyu	10000	Kanada alberto
16	Tepeköy	5000	Kanada alberto
17	Tepeköy	5000	Kanada alberto
18	Tepeköy	6000	Kanada alberto
19	Tepeköy	1000	Çalı fasulyesi
20	Tepeköy	1000	Çalı fasulyesi

21	Tepeköy	5000	Çalı fasulyesi
----	---------	------	----------------

Tablo 3.7. Toplanan numunelerin bilgileri II

Numune Kodu	Kullanılan gübre	Gübreleme sayısı (yıl)	Sulama miktarı	Yaş Ağırlığı (kg)	Kuru ve Çekilmiş Ağırlığı (kg)
1	Üre-33lük nitrat- 20/20 –(NH ₄) ₂ SO ₄	4	4 günde 1	2,5	2,3
2	Üre-33lük nitrat- 20/20 –(NH ₄) ₂ SO ₄	3	4 günde 1	2,6	2,3
3	Hayvan gübresi	1	7 günde 1	3	2,8
4	Hayvan gübresi-20/20	1	7 günde 1	2,5	2,3
5	Üre-33lük nitrat-3/15-(NH ₄) ₂ SO ₄	4	6 günde 1	2,5	2,4
6	Üre-20/20	2	4 günde 1	2,6	2,4
7	Üre-33lük nitrat-3/15-(NH ₄) ₃ PO ₄	4	4 günde 1	2,4	2,2
8	20/20-15/15	5	4 günde 1	2,4	2,3
9	Üre-3/15-(NH ₄) ₃ PO ₄	3	4 günde 1	2,3	2,1
10	Üre-33lük nitrat- 20/20	3	4 günde 1	2,5	2,3
11	Üre-33lük nitrat-3/15-(NH ₄) ₃ PO ₄	3	4 günde 1	2,4	2,3
12	Üre-33lük nitrat- 20/20 –(NH ₄) ₂ SO ₄	8	6 günde 1	2,4	2,3
13	Üre-33lük nitrat-3/15-(NH ₄) ₃ PO ₄	5	3 günde 1	2,2	2
14	Üre-33lük nitrat-20/20-(NH ₄) ₃ PO ₄	4	5 günde 1	2,4	2,3
15	33lük nitrat-20/20-(NH ₄) ₃ PO ₄	4	5 günde 1	2,5	2,3
16	Hayvan gübresi	1	7 günde 1	2,3	2,1
17	Üre- hayvan gübresi	2	5 günde 1	2,3	2,1
18	Üre-33lük nitrat-20/20-(NH ₄) ₃ PO ₄	2	4 günde 1	2,4	2,2
19	(NH ₄) ₃ PO ₄	1	4 günde 1	2,8	2,6
20	(NH ₄) ₃ PO ₄	1	4 günde 1	2,4	2,2
21	33lük nitrat-20/20-(NH ₄) ₃ PO ₄	2	4 günde 1	2,5	2,1

Bu 21 örnek makinede toz haline getirilerek öğütülmüştür. Daha sonra İstanbul Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi radyasyon ölçme birimindeki örnek hazırlama laboratuvarında marinelli kapları içerisine konularak hassas terazide ölçülmüştür. Marinelli kaplarının hepsi ayrı ayrı etiketlenerek kodlanmıştır. Kapların sızdırmazlığı sağlanarak radyoaktif dengeye gelmesi için bir ay kadar bir süre bekletilmiştir.



Şekil 3.5. Fasulye Bitkisi Örneklerinin Gama Spektrometrik Analiz İçin Hazırlık Aşamaları

Tablo 3.8. Numunelerin marinelli kaplardaki ağırlıkları

Numune Kodu	Dara + Malzeme Ağırlığı (gr)	Dara Ağırlığı (gr)
1	897.6	283.7
2	949.9	282.3
3	834.1	282.9
4	901.4	282.4
5	878.0	283.6
6	916.3	282.5
7	891.1	283.1
8	863.8	283.5
9	872.5	283.1
10	859.8	282.7
11	913.2	282.8
12	874.3	283.7

13	964.7	283.9
14	879.2	282.4
15	867.5	283.1
16	886.2	282.9
17	862.2	283.3
18	887.2	283.3
19	926	282.5
20	904.1	283.8
21	809.1	284.2

3.2.2. Ölçme İşlemi

Marinelli kaplarda 1 aylık bekleme süresini dolduran 21 farklı fasulye örneği, gama spektrometrik sistemde 86.400 saniye (1 gün) süresince sayılmıştır. Gama sayım sonucu çok kanallı analizörlere aktarılarak ilgili pikler seçilmiş ve daha sonra spektrum bilgileri bilgisayara aktarılarak radyonüklitlerin aktivite değerleri bulunmuştur.



Şekil 3.6. Gama detektöründe verim kalibrasyonu işlemi

4. BÖLÜM

BULGULAR

4.1. Fasulye Bitkisinde Bulunan Doğal Radyoaktivitenin Tayini

Bu çalışmada Nevşehir bölgesinde yetiştirilen farklı türdeki fasulye (*Phaseolus Vulgaris*) bitkisinin sahip olduğu doğal gama radyasyon seviyesi gama spektrometrik analizi yardımıyla incelenmiştir. Bu amaç için Nevşehir bölgesindeki fasulye tarlalarından 21 farklı fasulye bitkisi toplanmıştır. Bu analizler sonucunda fasulye bitkisinde bulunan ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyoizotoplarının aktivite konsantrasyonları belirlenmiştir.

Tablo 4.1 de Nevşehir bölgesini kapsayan 21 farklı örnekleme noktasından alınan fasulye bitkisi örneklerinin gama spektrometrik analizleri sonucunda bulunan ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyonüklitlerinin radyoaktivite konsantrasyon değerleri verilmiştir.

^{226}Ra , ^{238}U 'in bozunum ürünüdür ve gama spektrometresinde 186 keV 'de pik oluşturmaktadır. Fasulye bitkisine ait ^{226}Ra aktivite konsantrasyon değerleri 0,4 Bq/kg ile 2,4 Bq/kg arasında değişmektedir.

Şekil 4.1. de fasulye bitkisi örnekleri için ölçülen ^{226}Ra değerleri grafik halinde gösterilmiştir.

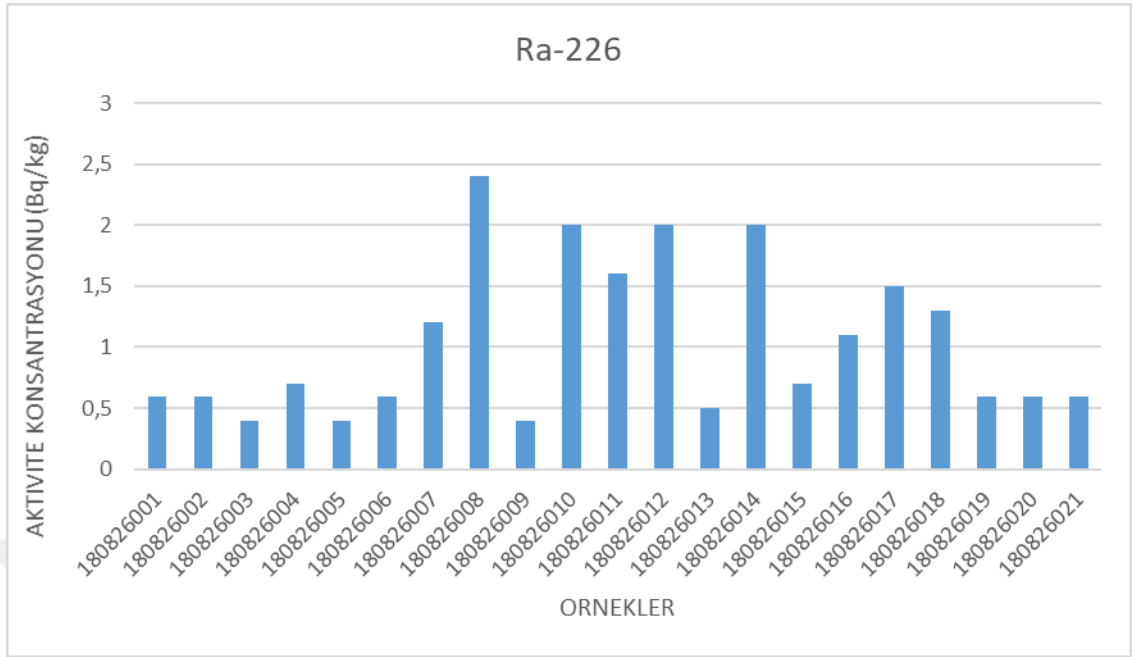
Şekil 4.2. de örneklerdeki ^{232}Th aktivite konsantrasyonlarını göstermektedir. Bu değerler 0,2 Bq/kg ile 2,2 Bq/kg değerleri arasında değişmektedir.

^{40}K radyoizotopu 1460 keV 'de pik oluşturmaktadır. Şekil 4.3. de ^{40}K için aktivite konsantrasyon değerlerini göstermektedir. Bu değerler 420 Bq/kg ile 506,1 Bq/kg arasında değişmektedir.

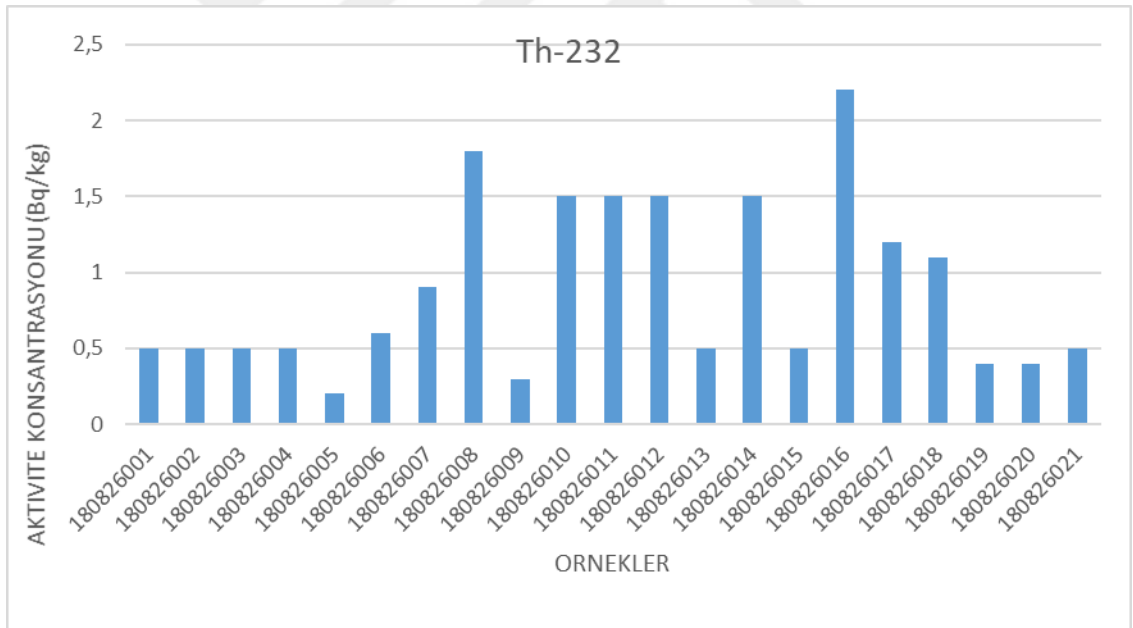
^{137}Cs doğada doğal olarak bulunmayan fisyon ürünü olan bir radyoizotoptur. Nükleer denemeler ya da nükleer santral kazaları sonucunda çevreye yayılırlar ve meteorolojik olaylar sonucu hareket ederek yağışlarla yeryüzüne inerler. Şekil 4.4. de ^{137}Cs aktivite konsantrasyon değerlerini göstermektedir. Bu değerler 0,1 Bq/kg ile 1,1 Bq/kg değerleri arasında değişmektedir.

Tablo 4.1. Fasulye bitkisindeki ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonları (Bq/kg)

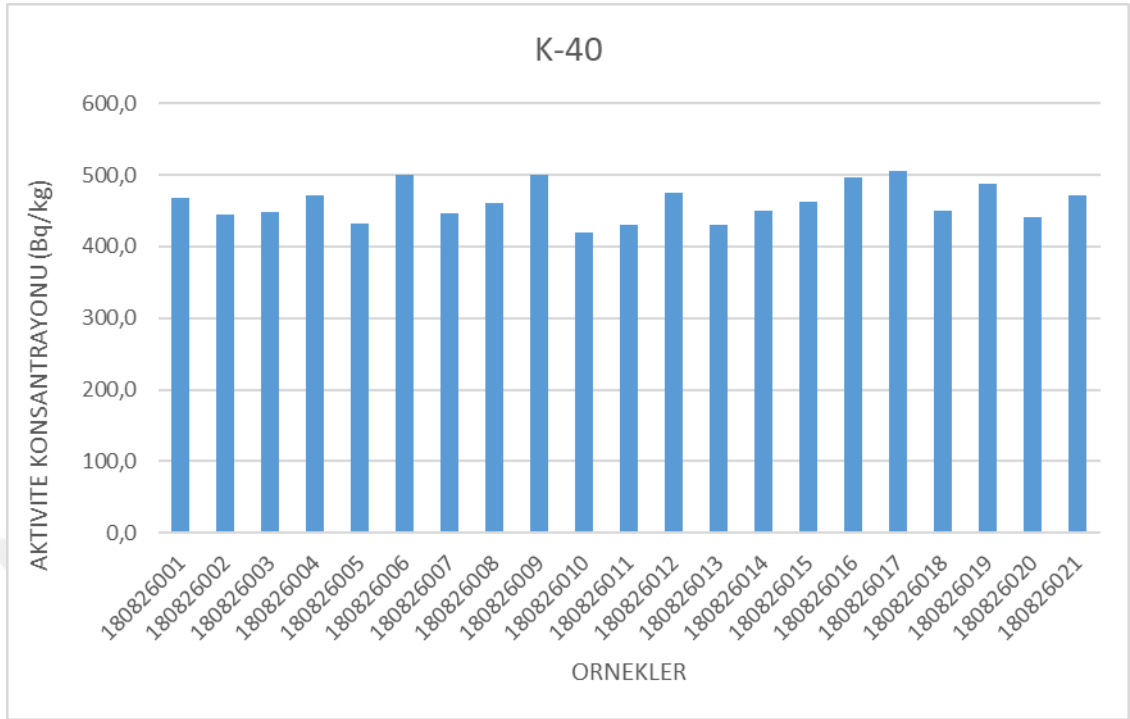
Barkot No	K-40	hata	Cs-137	hata	Ra-226	hata	Th-232	hata
180826001.00	468.3	28.8	< 0,2		< 0,6		< 0,5	
180826002.00	444.0	27.2	< 0,2		< 0,6		< 0,5	
180826003.00	448.7	27.1	0.10	0.03	< 0,4		< 0,5	
180826004.00	472.1	37.4	0.12	0.01	< 0,7		< 0,5	
180826005.00	432.0	33.8	0.3	0.1	< 0,4		0.2	0.1
180826006.00	500.0	39.0	< 0,4		< 0,6		< 0,6	
180826007.00	446.2	36.7	< 0,7		< 1,2		< 0,9	
180826008.00	460.0	42.0	< 0,7		< 2,4		< 1,8	
180826009.00	500.0	38.0	< 0,2		< 0,4		< 0,3	
180826010.00	420.0	30.0	< 0,9		< 2,0		< 1,5	
180826011.00	430.0	30.2	< 0,8		< 1,6		< 1,5	
180826012.00	474.7	42.2	< 1,1		< 2,0		< 1,5	
180826013.00	430.0	26.0	< 0,3		< 0,5		< 0,5	
180826014.00	450.0	32.0	< 1,0		< 2,0		< 1,5	
180826015.00	462.6	36.7	< 0,2		< 0,7		< 0,5	
180826016.00	496.4	41.8	< 0,8		< 1,1		< 2,2	
180826017.00	506.1	42.4	< 0,9		< 1,5		< 1,2	
180826018.00	450.0	29.4	< 0,4		< 1,3		< 1,1	
180826019.00	487.8	38.6	< 0,3		< 0,6		< 0,4	
180826020.00	441.3	27.1	< 0,3		< 0,6		< 0,4	
180826021.00	470.6	29.0	< 0,3		< 0,6		< 0,5	



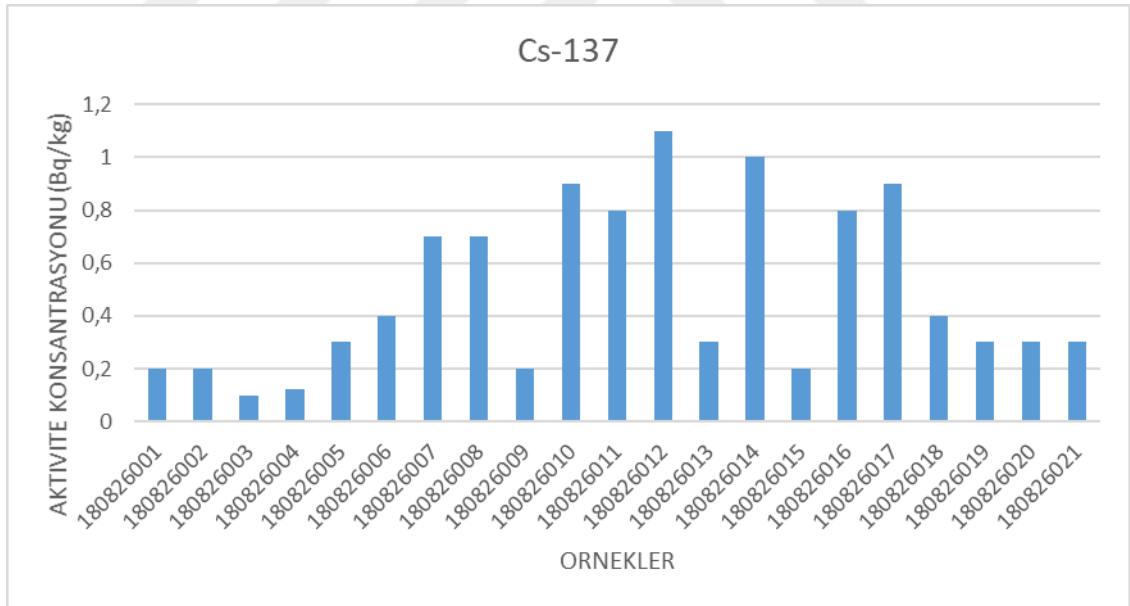
Şekil 4.1. Fasulye bitkisi örneklerindeki ^{226}Ra aktivite konsantrasyon değerleri



Şekil 4.2. Fasulye Bitkisindeki ^{232}Th aktivite Konsantrasyonları Değerleri



Şekil 4.3. Fasulye Bitkisindeki ⁴⁰K aktivite konsantrasyon değerleri



Şekil 4.4. Fasulye bitkisindeki ¹³⁷Cs aktivite konsantrasyon değerleri

Tablo 4.2. Fasulye örnekleri için ölçülen ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K değerleri için yapılan istatistiki çalışmaları göstermektedir.

	Ra-226	Th-232	K-40	Cs-137
Aritmetik Ortalama	1,038	0,89	461,47	0,49
Geometrik Ortalama	0,87	0,722	460,789	0,386
Standart Sapma	0,6383	0,58	25,73	0,322
Standart Hata	0,139	0,126	5,61	0,07
En Küçük Sayı	0,4	0,2	420	0,1
En Büyük Sayı	2,4	2,2	506,1	1,1

4.2. Radyum Eşdeğer Aktivitesi

Radyasyon zarar indeklerinden birisi de radyum eşdeğer aktivitesi (Ra_{eq}) olarak adlandırılan indekstir. Radyum eşdeğer aktivitesi ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K özel aktivitelerini içeren bu üç radyonüklitin aktiviteleri toplamıdır. Aşağıdaki şekilde hesaplanır [1].

$$Ra_{eq} \left(\frac{Bq}{kg} \right) = A_{Ra} + 1,43 A_{Th} + 0,077 A_K$$

Farklı tipteki fasulye bitki örnekleri için hesaplanan radyum eşdeğer aktivite değerleri Tablo 4.3. de gösterilmiştir. Bu değerler 33,95 Bq/kg ile 42,4688 Bq/kg değerleri arasında değişmektedir.

4.3. İç Işınlama İndeksi

İç ışınlama indeksi şu şekilde hesaplanmıştır: [1]

$$Hin = \frac{A_{Ra}}{180} + \frac{A_{Th}}{259} + \frac{A_K}{4810}$$

Toplanan örnekler için iç ışınlama indisleri Tablo 4.3. de gösterilmiştir. Bu değerler 0,092807 ile 0,118185 arasında değişmektedir.

Tablo 4.3. Fasulye Örnekleri İçin Hesaplanan Radyum Eşdeğer Aktivite ve İç Işınlama İndisleri

Örnekler	Raeq(Bq/kg)	Hin
180826001	37,3741	0,102624
180826002	35,503	0,097572
180826003	35,6649	0,097438
180826004	37,7667	0,103969

180826005	33,95	0,092807
180826006	39,958	0,1096
180826007	36,8444	0,102907
180826008	40,394	0,115917
180826009	39,329	0,107331
180826010	36,485	0,104221
180826011	36,855	0,104077
180826012	40,6969	0,115593
180826013	34,325	0,094105
180826014	38,795	0,110458
180826015	37,0352	0,101994
180826016	42,4688	0,117807
180826017	42,1857	0,118185
180826018	37,523	0,105024
180826019	38,7326	0,106291
180826020	35,1521	0,096624
180826021	37,5512	0,103102

4.5. Yıllık Etkin Doz Eşdeğerinin Hesaplanması

Yıllık etkin doz eşdeğeri farklı radyasyon kaynakları ve farklı radyonüklitler nedeniyle sahip olunan radyasyon dozlarını belirlemek için yararlı bir terimdir. Vücuda alınan radyonüklitlerle ilişkilendirilen radyasyon kaynaklı sağlık etkilerini tahmin etmek vücudun çeşitli organlarına dağılan radyonüklitlerin toplam dozları ile orantılıdır. Radyasyon dozları yiyeceklerdeki radyonüklitlerin aktivitelerinin (Bq/kg) ölçülmesiyle ve belli zaman aralığında bu tüketilen yiyeceğin kütlesinin (kg/yıl) çarpılmasıyla bulunur. Doz dönüşüm faktörü (DCF) ($\mu\text{Sv/Bq}$) ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K için tahmin edilen sindirim dozlarıdır. Tablo 4.4. de literatürde yer alan yıllık etkin doz eşdeğeri hesapları için kullanılan doz dönüşüm faktörlerini göstermektedir [1].

Nevşehir bölgesinde yetiştirilen farklı tipteki fasulye bitkisi için yıllık etkin doz eşdeğerleri şu şekilde hesaplanmıştır:

$$AEDE \left(\frac{\mu\text{Sv}}{\text{y}} \right) A \left(\frac{\text{Bq}}{\text{kg}} \right) \times \text{yıllık tüketim miktarı} \left(\frac{\text{kg}}{\text{y}} \right) \times DCF \left(\frac{\mu\text{Sv}}{\text{Bq}} \right)$$

UNSCEAR 2000 raporuna göre yıllık besin tüketim miktarı çocuklar için yetişkinlerin tükettikleri miktarın üçte ikisi ve 1 yaşından büyük bebekler için ise bu miktar üçte biridir. Hesaplamalarda yetişkin bir insanın haftalık tüketim kurutulmuş fasulye tüketim miktarı 200 gram olarak, yıllık tüketim miktarı ise 9,600 gram olarak alınmıştır. Çocuklar için yıllık tüketim miktarı 6,400 gram 1 yaşından büyük bebekler için ise bu miktar 3,200 gram olarak alınmıştır.

Tablo 4.4. Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri İçin Doz Dönüşüm Faktörleri

Yaş Grupları	Radyum-226 (μSv)	Toryum-232 (μSv)	Potasyum-40 (μSv)
Yetişkinler	0,28	0,23	0,0062
Çocuklar (10 yaş)	0,8	0,29	0,013
Bebekler (>1 yaş)	0,96	0,45	0,042

Tablo 4.5. de yetişkinler için hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerlerini göstermektedir. Bu değerler her bir örnek için ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K için değişmektedir. Şekil 4.5. de yetişkinler için ^{226}Ra aktivite değerleri kullanılarak hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri gösterilmiştir. Bu değerler 1,0752 $\mu\text{Sv/y}$ ile 6,4512 $\mu\text{Sv/y}$ arasında değişmektedir.

Yetişkinler için ^{232}Th aktivite değerleri kullanılarak hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri şekil 4.6. da gösterilmektedir. Bu değerler en küçük 0,4416 $\mu\text{Sv/y}$ en büyük ise 4,8576 $\mu\text{Sv/y}$ olarak hesaplanmıştır.

Şekil 4.7. de ise yetişkinler için ^{40}K aktivite değerleri kullanarak hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri gösterilmiştir. Bu değerler ise 24,9984 $\mu\text{Sv/y}$ ile 30,12307 $\mu\text{Sv/y}$ arasında değişmektedir.

Tablo 4.5. Yetişkinler İçin Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri

Yetişkinler İçin Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri			
Örnekler	AEDE($\mu\text{Sv/y}$) (Ra-226)	AEDE($\mu\text{Sv/y}$) (Th-232)	AEDE($\mu\text{Sv/y}$) (K-40)
180826001	1,6128	1,104	27,87322
180826002	1,6128	1,104	26,42688
180826003	1,0752	1,104	26,70662
180826004	1,8816	1,104	28,09939

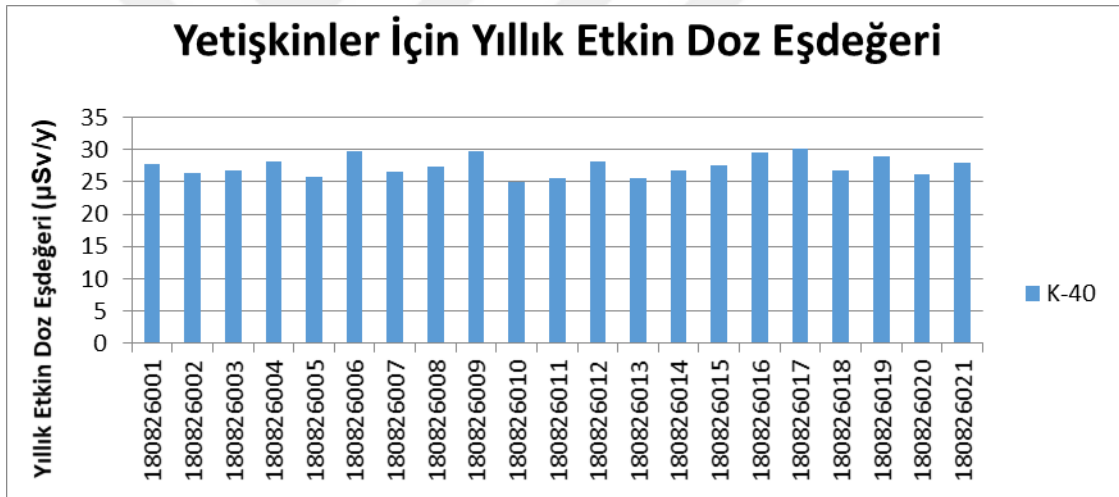
180826005	1,0752	0,4416	25,71264
180826006	1,6128	1,3248	29,76
180826007	3,2256	1,9872	26,55782
180826008	6,4512	3,9744	27,3792
180826009	1,0752	0,6624	29,76
180826010	5,376	3,312	24,9984
180826011	4,3008	3,312	25,5936
180826012	5,376	3,312	28,25414
180826013	1,344	1,104	25,5936
180826014	5,376	3,312	26,784
180826015	1,8816	1,104	27,53395
180826016	2,9568	4,8576	29,54573
180826017	4,032	2,6496	30,12307
180826018	3,4944	2,4288	26,784
180826019	1,6128	0,8832	29,03386
180826020	1,6128	0,8832	26,26618
180826021	1,6128	1,104	28,01011
Ortalama	2,7904	1,955657	27,4665



Şekil 4.5. Yetişkinler İçin Ra-226 kullanılarak hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri



Şekil 4.6. Yetişkinler İçin Th-232 kullanılarak hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri



Şekil 4.7. Yetişkinler İçin K-40 kullanılarak hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri

Tablo 4.6. Çocuklar için hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri

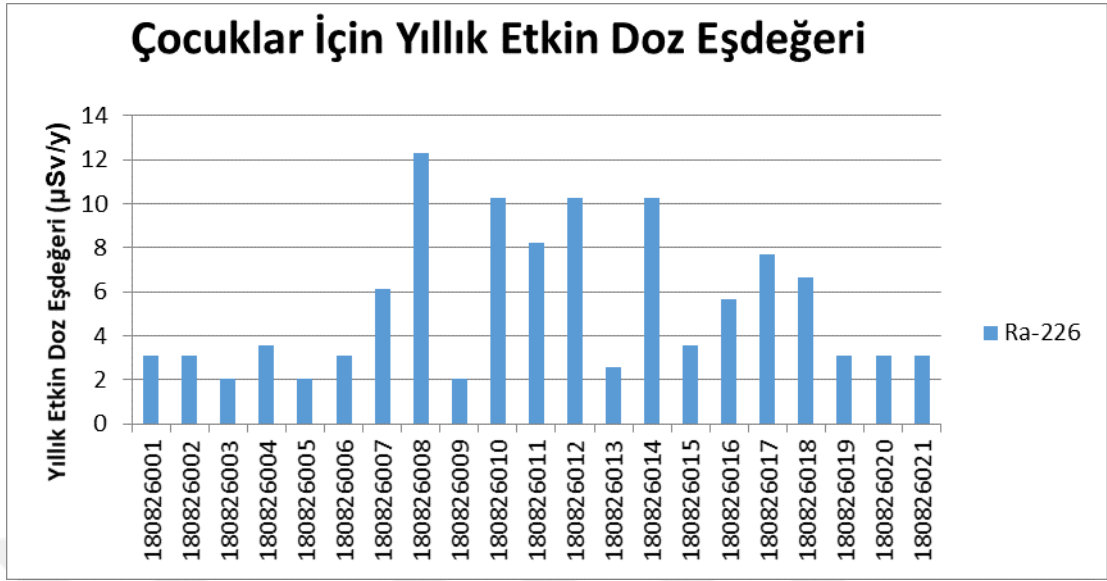
Çocuklar İçin Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri			
Örnekler	AEDE(µSv/y) (Ra-226)	AEDE(µSv/y) (Th-232)	AEDE(µSv/y) (K-40)
180826001	3,072	0,928	38,96256
180826002	3,072	0,928	36,9408
180826003	2,048	0,928	37,33184
180826004	3,584	0,928	39,27872
180826005	2,048	0,3712	35,9424

180826006	3,072	1,1136	41,6
180826007	6,144	1,6704	37,12384
180826008	12,288	3,3408	38,272
180826009	2,048	0,5568	41,6
180826010	10,24	2,784	34,944
180826011	8,192	2,784	35,776
180826012	10,24	2,784	39,49504
180826013	2,56	0,928	35,776
180826014	10,24	2,784	37,44
180826015	3,584	0,928	38,48832
180826016	5,632	4,0832	41,30048
180826017	7,68	2,2272	42,10752
180826018	6,656	2,0416	37,44
180826019	3,072	0,7424	40,58496
180826020	3,072	0,7424	36,71616
180826021	3,072	0,928	39,15392
ORTALAMA	5,315048	1,643886	38,39403

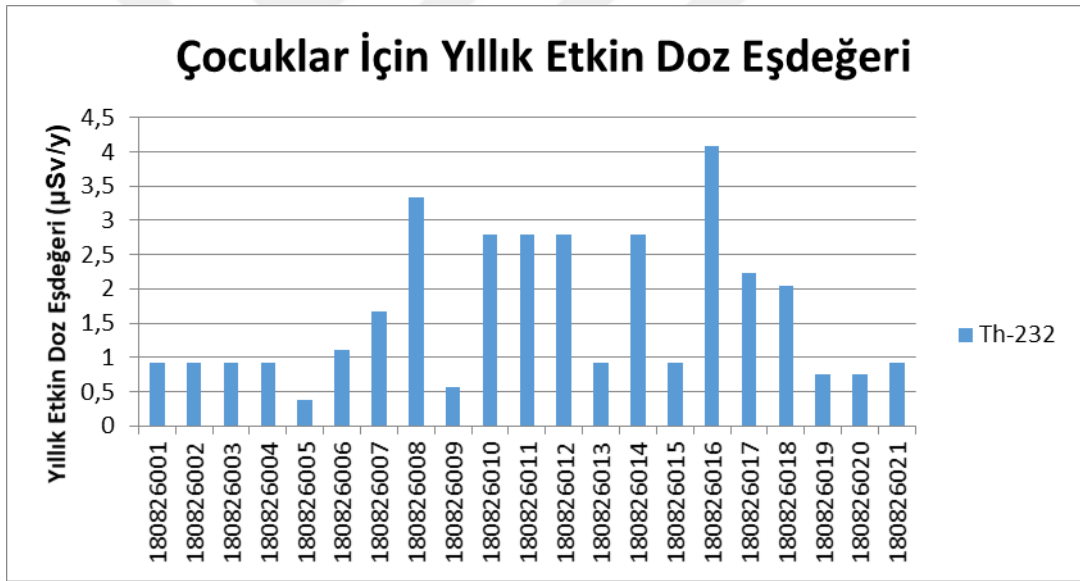
Tablo 4.6. da çocuklar için hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerlerini göstermektedir. Bu değerler her bir örnek için ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K için değişmektedir. Şekil 4.8. de çocuklar için ^{226}Ra aktivite değerleri kullanılarak hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri gösterilmiştir. Bu değerler 2,048 $\mu\text{Sv/y}$ ile 12,288 $\mu\text{Sv/y}$ arasında değişmektedir.

Çocuklar için ^{232}Th aktivite değerleri kullanılarak hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri şekil 4.9. da gösterilmektedir. Bu değerler en küçük 0,3712 $\mu\text{Sv/y}$ en büyük ise 4,0832 $\mu\text{Sv/y}$ olarak hesaplanmıştır.

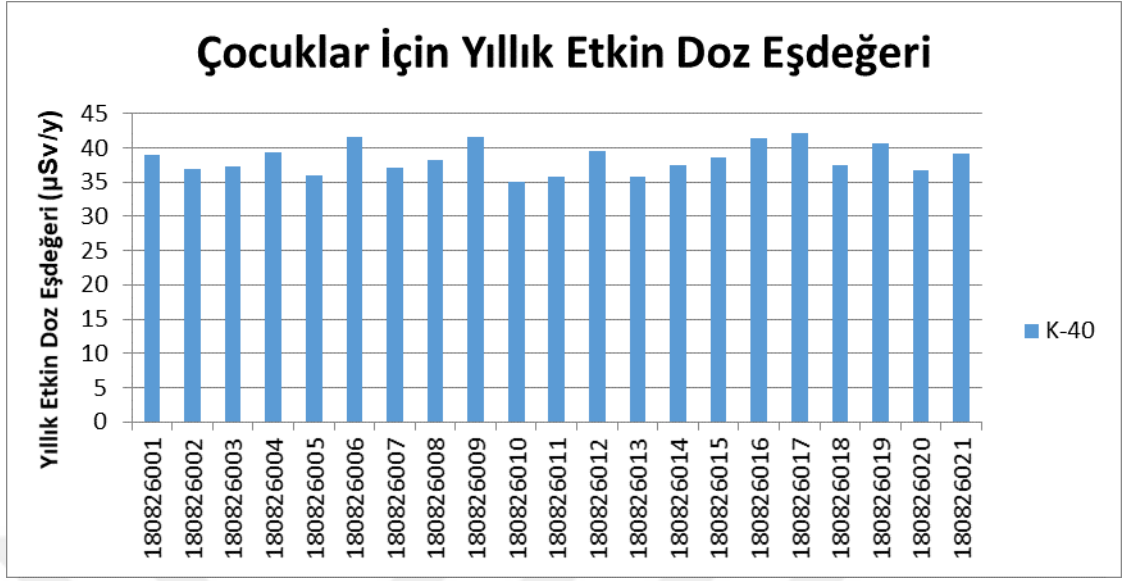
Şekil 4.10. da ise çocuklar için ^{40}K aktivite değerleri kullanarak hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri gösterilmiştir. Bu değerler ise 34,944 $\mu\text{Sv/y}$ ile 42,10752 $\mu\text{Sv/y}$ arasında değişmektedir.



Şekil 4.8. Çocuklar İçin Ra-226 kullanılarak hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri



Şekil 4.9. Çocuklar İçin Th-232 kullanılarak hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri



Şekil 4.10. Çocuklar İçin K-40 kullanılarak hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri

Tablo 4.7. Bebekler için hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri

Bebekler İçin Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri			
Örnekler	AEDE(µSv/y)	AEDE(µSv/y)	AEDE(µSv/y)
	(Ra-226)	(Th-232)	(K-40)
180826001	1,8432	0,72	62,93952
180826002	1,8432	0,72	59,6736
180826003	1,2288	0,72	60,30528
180826004	2,1504	0,72	63,45024
180826005	1,2288	0,288	58,0608
180826006	1,8432	0,864	67,2
180826007	3,6864	1,296	59,96928
180826008	7,3728	2,592	61,824
180826009	1,2288	0,432	67,2
180826010	6,144	2,16	56,448
180826011	4,9152	2,16	57,792
180826012	6,144	2,16	63,79968
180826013	1,536	0,72	57,792
180826014	6,144	2,16	60,48
180826015	2,1504	0,72	62,17344
180826016	3,3792	3,168	66,71616

180826017	4,608	1,728	68,01984
180826018	3,9936	1,584	60,48
180826019	1,8432	0,576	65,56032
180826020	1,8432	0,576	59,31072
180826021	1,8432	0,72	63,24864
ortalama	3,189029	1,275429	62,02112

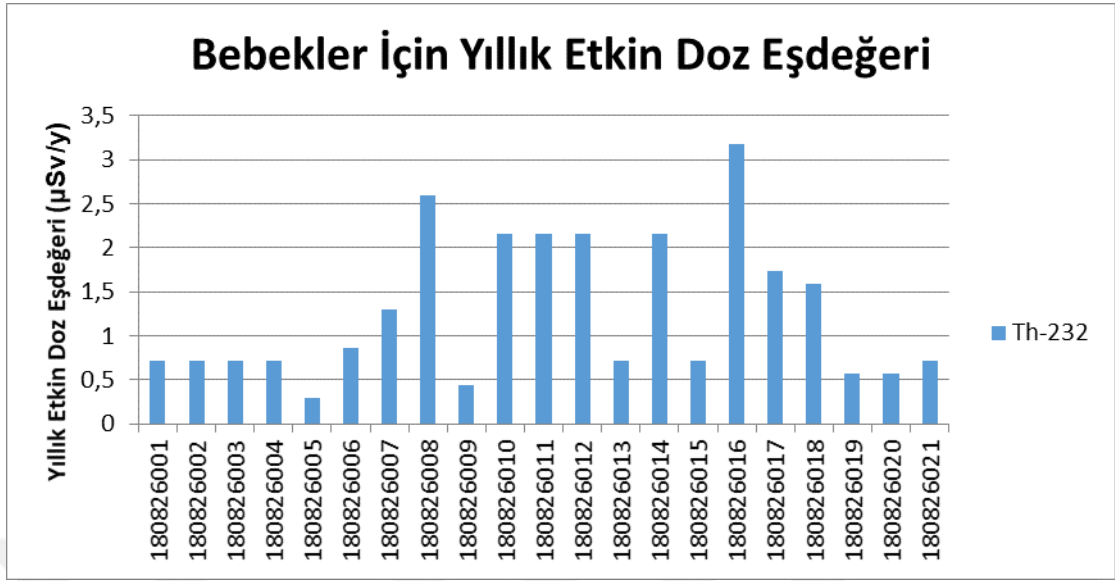
Tablo 4.7. de bebekler için hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerlerini göstermektedir. Bu değerler her bir örnek için ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K için değişmektedir. Şekil 4.11. de bebekler için ^{226}Ra aktivite değerleri kullanılarak hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri gösterilmiştir. Bu değerler 1,2288 $\mu\text{Sv/y}$ ile 7,3728 $\mu\text{Sv/y}$ arasında değişmektedir.

Bebekler için ^{232}Th aktivite değerleri kullanılarak hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri şekil 4.12. de gösterilmektedir. Bu değerler en küçük 0,288 $\mu\text{Sv/y}$ en büyük ise 3,168 $\mu\text{Sv/y}$ olarak hesaplanmıştır.

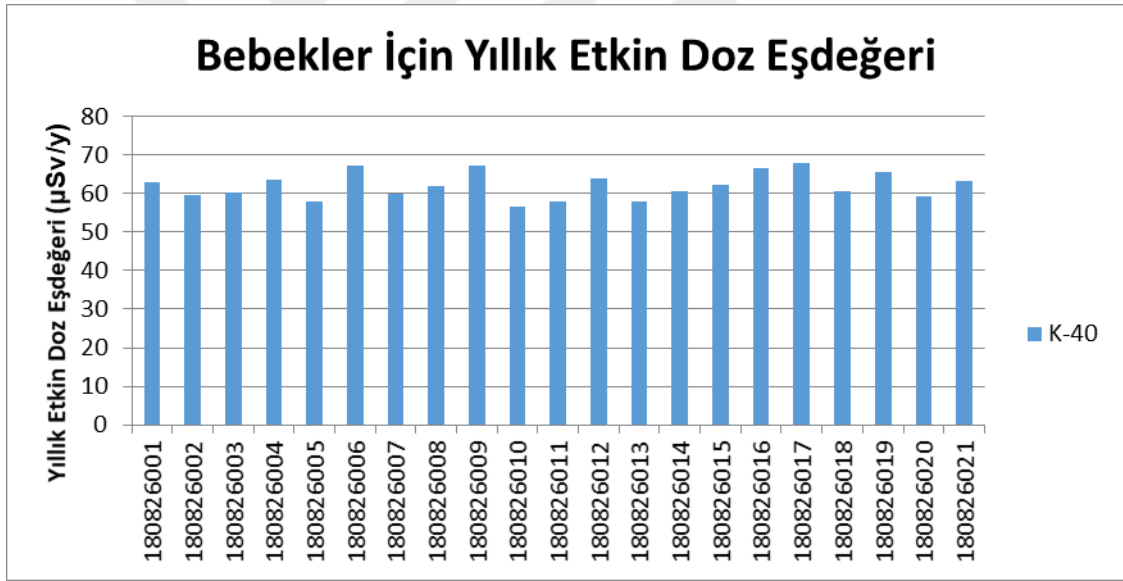
Şekil 4.13. de ise bebekler için ^{40}K aktivite değerleri kullanarak hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri gösterilmiştir. Bu değerler ise 56,448 $\mu\text{Sv/y}$ ile 68,01984 $\mu\text{Sv/y}$ arasında değişmektedir.



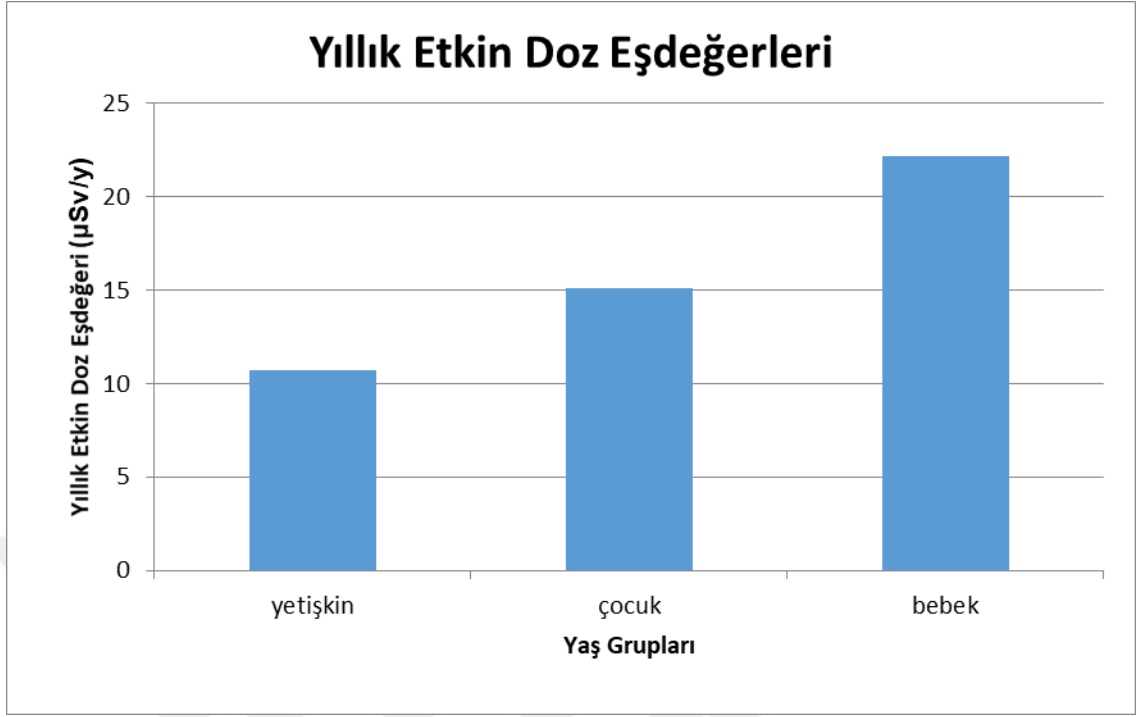
Şekil 4.11. Bebekler için Ra-226 kullanılarak hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri



Şekil 4.12. Bebekler için Th-232 kullanılarak hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri



Şekil 4.13. Bebekler için K-40 kullanılarak hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri



Şekil 4.14. Yaş grupları için yıllık etkin doz eşdeğerleri karşılaştırmaları

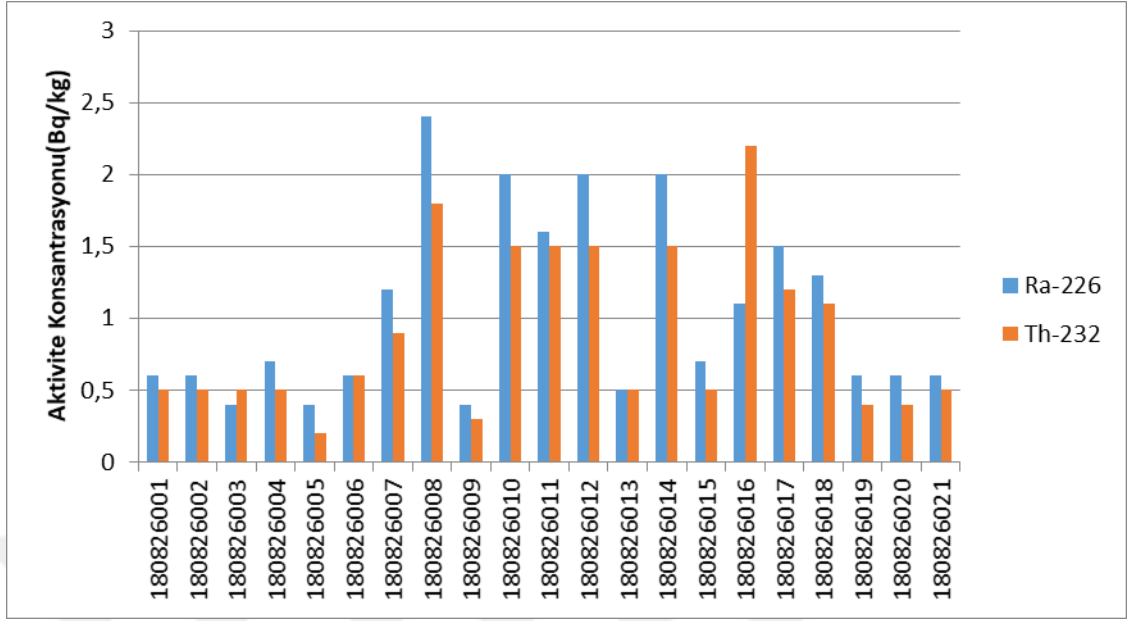
5. BÖLÜM

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Dünyanın oluşumundan beridir var olan radyonüklitler çok uzun yarı ömre sahiptirler, kararlı duruma erişmek için bozunmayı devam ettirirler ve çeşitli derecelerde iyonize radyasyon üretirler. İç ve dış radyasyon maruziyeti olarak adlandırılan iki ana radyasyon maruziyeti radyoizotopları içeren işlerle ilişkilidir. Dış radyasyon zararları dış radyasyon kaynağından yayınlanan radyasyonun vücuda girmesiyle oluşur ve iyonize radyasyon dozuna neden olur. Bu maruziyetler radyasyonun tipine ve enerjisine bağlı olarak değişmektedir. Radyoaktif materyaller solunum, sindirim ya da deri teması yoluyla vücutta depolanabilir. İçsel maruziyet olarak adlandırılan sindirim yoluyla alınan dozlar yiyeceklerde ve içme sularında var olan temel olarak potasyum-40 ve uranyum-238 ve toryum-232 kaynaklıdır. Zirai ürünlerin tüketimi insanların içsel radyasyon dozlarını artırır ve yıllık etkin dozlara önemli bir katkı sağlar.

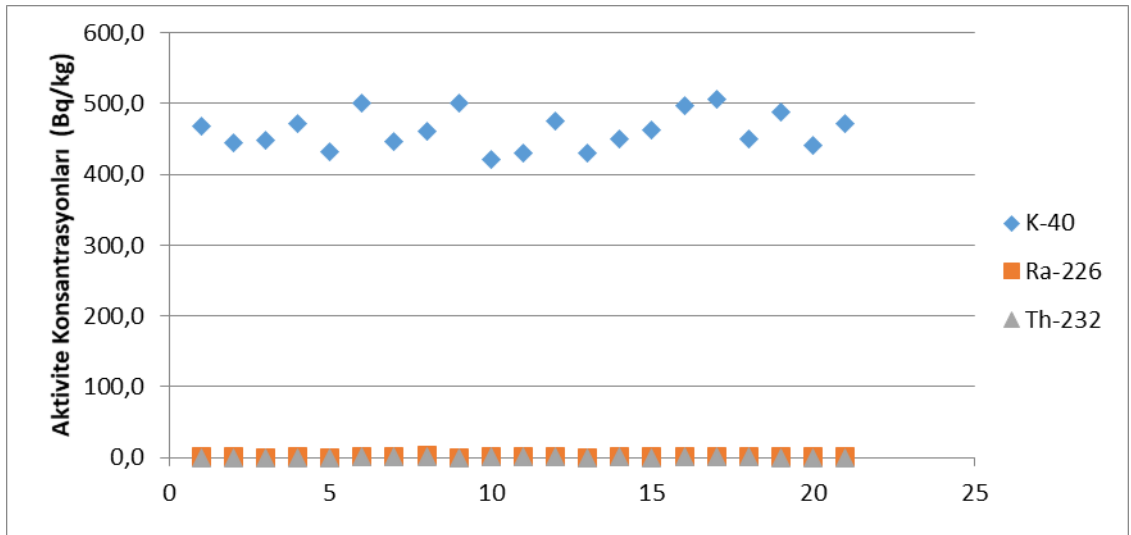
Besin maddelerindeki doğal radyoaktivitenin belirlenmesi bu besinleri tüketen insanların doğal radyasyon nedeniyle almış oldukları dozları belirlemek ve ayrıca ileride oluşabilecek herhangi bir nükleer kirlenme durumunda bu radyoaktif kirlilik durumunu belirlemek açısından oldukça önemlidir. Türkiye’de genellikle kuru haliyle tüketilen fasulyelerin %10’luk bir miktarı Nevşehir bölgesinde yetiştirilmektedir. Türk halkının geleneksel olarak en fazla tükettiği besin maddelerinden birisidir.

Bu çalışmada Nevşehir bölgesinde üretilen ve 1 yaşından büyük bebekler, çocuklar ve yetişkinler tarafından tüketilen fasulyenin doğal radyoaktif içeriği belirlenmiştir. Doğal radyoaktivite içeriği gama spektrometrik yöntemle belirlenmiştir. Fasulye örneklerindeki radyum-226 ortalaması 1,04 Bq/kg, toryum-232 ortalaması 0,89 Bq/kg ve potasyum-40 ortalaması 461,47 Bq/kg olarak bulunmuştur. Radyum-226 için ölçülen en büyük değer 180826008 barkod numaralı örnekte 2,4 Bq/kg’dan az olarak ölçülmüştür. Toryum-232 için ise ölçülen en büyük değer 180826016 numaralı örnekte 2,2 Bq/kg’dan az olarak ölçülmüştür. Potasyum-40 için ise en büyük değer 180826017 numaralı örnekte 506,1 Bq/kg olarak ölçülmüştür.



Şekil 5.1. Fasulye örneklerindeki ^{226}Ra , ^{232}Th karşılaştırması

Şekil 5.1. de fasulye örneklerindeki radyum-226 ile toryum-232 karşılaştırmasını göstermektedir. Genel olarak örneklerde 180826003 ile 180826016 numaralı örneklerin dışında radyum-226 aktivite konsantrasyon değeri daha fazladır.



Şekil 5.2. Fasulye örneklerindeki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K karşılaştırması

Şekil 5.2. de fasulye örneklerindeki radyum-226, toryum-232 ve potasyum-40 radyonüklitlerinin aktivite konsantrasyonları karşılaştırmasını göstermektedir. Fasulye örneklerinde potasyum-40'ın aktivite konsantrasyonu radyum-226 ve toryum-232 aktivite konsantrasyonundan oldukça fazla ölçülmüştür. Potasyum toprakta en fazla bulunan elementlerden birisidir ve potasyum-40, potasyumun doğal radyoaktif bir izotopudur. Fasulye örneklerinde potasyum-40 aktivitesinin diğer radyonüklit aktivitelerinden fazla olmasının nedeni topraktaki aktivitesinin diğer radyonüklit aktivitelerinden fazla olmasıdır. Ayrıca radyum-226 ve toryum-232 ağır elementler iken potasyum-40 onlara nazaran daha hafif bir elementdir. Buda potasyum-40'ın topraktan bitkiye doğru hareket kolaylığı sağlamaktadır. Diğer bir neden de potasyum-40'ın suda çözünürlüğünün radyum-226 ve toryum-232'den daha fazla olmasıdır [12].

Nevşehir bölgesinde yetiştirilen fasulyeler için radyolojik zarar indisleri hesaplanmıştır. Fasulye örnekleri için hesaplanan radyum eşdeğer aktivite ortalaması 37,84 Bq/kg olarak hesaplanmıştır. Bu değer 370 Bq/kg olan dünya ortalamasının altındadır [16].

Ayrıca fasulye örnekleri için iç zarar indisleri de hesaplanmıştır. Bu indis değerleri için tavsiye edilen değerlerin bir den küçük olması beklenir. Fasulye örneklerinin hiçbirisi bir değerini aşmamaktadır.

Nevşehir bölgesinde yetişen fasulyelerden kaynaklı yıllık etkin doz eşdeğerleri bir yaşından büyük bebekler, çocuklar ve yetişkinler için hesaplanmıştır. Yetişkinler için yıllık etkin doz eşdeğeri ortalaması radyum-226 için 2,79 $\mu\text{Sv/y}$, toryum-232 için 1,96 $\mu\text{Sv/y}$, potasyum-40 için ise 27,47 $\mu\text{Sv/y}$ olarak hesaplanmıştır. Yetişkinler için bu üç radyonüklit kaynaklı yıllık etkin doz eşdeğeri ortalaması ise 10,73 $\mu\text{Sv/y}$ olarak hesaplanmıştır. Çocuklar için yıllık etkin doz eşdeğerleri ortalaması ise radyum-226 için 5,31 $\mu\text{Sv/y}$, toryum-232 için 1,64 $\mu\text{Sv/y}$ ve potasyum-40 için ise 38,39 $\mu\text{Sv/y}$ olarak hesaplanmıştır. Çocuklar için bu üç radyonüklit kaynaklı yıllık etkin doz eşdeğeri ortalaması ise 15,12 $\mu\text{Sv/y}$ olarak hesaplanmıştır. Bir yaşından büyük bebekler için ise radyum-226 kaynaklı yıllık etkin doz eşdeğeri ortalaması 3,19 $\mu\text{Sv/y}$, toryum-232 kaynaklı ortalama 1,28 $\mu\text{Sv/y}$ ve potasyum-40 kaynaklı ortalama ise 62,02 $\mu\text{Sv/y}$ olarak hesaplanmıştır. Bebekler için bu üç radyonüklit kaynaklı yıllık etkin doz eşdeğeri ortalaması ise 22,16 $\mu\text{Sv/y}$ olarak hesaplanmıştır. Her bir birey için yıllık etkin doz eşdeğerleri her bir radyonüklit için karşılaştırıldığında bebeklerin en fazla yıllık etkin

doz eşdeğerlerine sahip oldukları görülmektedir. UNSCEAR 2000 raporuna göre bitkilerin tüketilmesiyle sahip olunan ortalama yıllık etkin doz eşdeğeri 290 $\mu\text{Sv/y}$ 'dır. Nevşehir bölgesinde yetiştirilen fasulyelerin tüketilmesiyle sahip olunan yıllık etkin doz eşdeğerleri her bir birey için dünya ortalamasının altındadır.

Sonuç olarak Nevşehir bölgesinde yetiştirilen fasulye bitkisini tüketmenin güvenilir olduğunu söyleyebiliriz.



KAYNAKLAR

1. Ali Abid Abojassim, “Annual effective dose of gamma emitters in infants, children and adults for frozen chicken samples consumed in Iraq”, *Curr Peditr Res.* 21 (3),520-525, 2017.
2. AFAD, www.afad.gov.tr
3. Atıcı, E..“Kapodakya Bölgesinde Yapı Taşı Olarak Üretilen Tüflerdeki Doğal Radyoaktivitenin Gama Spektrometrik Yöntemle Ölçülmesi”,*Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, s.36,37,Nevşehir,2016.
4. Bakkal, S., “ Kilis ili toprak örneklerinde 238U, 232Th, 40K ve 137Cs radyoaktivite konsantrasyonlarının belirlenmesi”, *Kilis 7 Aralık Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, s.9,13, Kilis, 2012.
5. Büyüksulu, H.. “Isparta’nın yalvaç ilçesi ve çevresinin doğal fon (background) radyasyon düzeylerinin araştırılması” ,*Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, s. Isparta, 2007.
6. Değerlier, M., “Adana ili ve çevresinin çevresel doğal radyoaktivitesinin saptanması ve doğal radyasyonların yıllık etkin doz eşdeğerinin bulunması”, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, s.3,17,31, Adana, 2007.
7. Demirel, S., “Konya’nın içme suyunun sağlandığı bazı kuyu sularında ²²²Rn konsantrasyonu değişimlerinin incelenmesi”, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, s.4, Konya, 2013.
8. FEMA, Radiological Emergency Management – Independent Course. Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency, *Radiation*
9. Gezer, F..“Fosfojips’in doğal radyoaktifliğinin belirlenmesi”, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, s. 9,10,37,38,49, Adana, 2011.
10. Görür, Ş.. “ Çevresel radyoaktivite ile bu çevrede yaşayanlara ait dış örneklerindeki radyoaktivite arasındaki ilişkinin araştırılması”*Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, s.20,21,22,23,24, Adana, 2006.

11. Günay, E.. “İnsan saçının nötron aktivasyon analizi yöntemi ile kalitatif ve kantitatif analizi” ,*İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, s. 16,17,İstanbul,2010.
12. H.H. Azerez et.al. 2019.
13. Parmaksız, A..“Gama spektrometrik yöntem ile fosfojipsteki²²⁶Ra, ²³²Th, ⁴⁰K aktivitelerinin ölçülmesi”, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, s.16,17,Ankara,2004.
14. Solmaz, N.. “Düşük seviyeli radyoaktivite ölçümü için kuyu-tipi ge dedektörlü bir gama spektrometresinin 40–2000 keV enerji aralığında verim valibrasyonunun yapılması”, *Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü*, Ankara,2008
15. TAEK, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu. <http://www.taek.gov.tr>.
16. UNSCEAR 2000 Report, United Nations ScientificCommittee on TheEffects ofAtomicRadiationSources, EffectsandRisks of IonizingRadiations. New York.

ÖZGEÇMİŞ

1990 yılında Konya'da doğdum. İlköğretim ve lise öğrenimimi Karaman'da tamamladım. 2008'de kazandığım Selçuk Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünden 2012 yılında mezun oldum. 2013 yılında Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Nükleer Fizik Ana Bilim Dalında Yüksek Lisansa başladım.

Adres : Mustafa Kemal mah.89073. Sokak no:4 daire:1 Mersin/Toroslar

Telefon : 05546936776

e-posta : hacettepeli_1763@hotmail.com

