

T.C.
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇERNOBİLDEN 30 YIL SONRA RİZE İLİ VE İLÇELERİNDEKİ
ÇAY ÖRNEKLERİNDEKİ DOĞAL VE YAPAY RADYOAKTİVİTE
DÜZEYLERİNİN BELİRLENMESİ**

BEYHAN KABAMAKLI

TEZ DANIŞMANI
DR. ÖĞR. ÜYESİ NİLAY AKÇAY
TEZ JÜRİLERİ
PROF.DR. MEHMET ŞAHİN
DOÇ. DR. NEVZAT BATAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI

RİZE-2019

Her Hakkı Saklıdır

T.C.
RECEP TAYYIP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

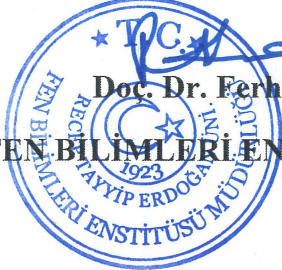
**ÇERNOBİLDEN 30 YIL SONRA RİZE İLİ VE İLÇELERİNDEKİ ÇAY
ÖRNEKLERİNDE DOĞAL VE YAPAY RADYOAKTİVİTE DÜZEYLERİNİN
BELİRLENMESİ**

Dr. Öğr. Üyesi Nilay AKÇAY danışmanlığında, Beyhan KABAMAKLI tarafından hazırlanan bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulu kararıyla oluşturulan jüri tarafından 05/07/2019 tarihinde Fizik Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS** tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	Unvanı Adı Soyadı
Başkan	: Prof. Dr. Mehmet ŞAHİN
Üye	: Doç. Dr. Nevzat BATAN
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Nilay AKÇAY

İmzası

[Handwritten signatures of Prof. Dr. Mehmet ŞAHİN, Doç. Dr. Nevzat BATAN, and Dr. Öğr. Üyesi Nilay AKÇAY]


Doc. Dr. Ferhat KALAYCI
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

ÖNSÖZ

Çernobilden 30 Yıl Sonra Rize İli ve İlçelerindeki Çay Örneklerindeki Doğal ve Yapay Radyoaktivite düzeylerinin Belirlenmesi” başlıklı bu tez çalışması, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalında “Yüksek Lisans Tezi” olarak hazırlanmıştır.

Yüksek lisans tez çalışmam boyunca karşılaştığım zorlukların aşılmasında bana rehber olan, hiçbir zaman desteğini esirgemeyen ayrıca değerli bilgilerinden yararlandığım saygı değer danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Nilay AKÇAY’a en içten teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmam boyunca bana her türlü desteği veren Prof. Dr. Mehmet ŞAHİN’e ve Doç. Dr. Nevzat BATAN’a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca eğitim sürecim boyunca maddi ve manevi yardımlarını hiçbir şekilde benden esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunar, bu tezi ebediyete göç eden sevgili anneme ithaf ederim...

Beyhan KABAMAKLI

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Tarafımdan hazırlanan “Çernobilden 30 Yıl Sonra Rize İli ve İlçelerindeki Çay Örneklerindeki Doğal ve Yapay Radyoaktivite Düzeylerinin Belirlenmesi” başlıklı bu tezin, Yükseköğretim Kurulu Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesindeki hususlara uygun olarak hazırladığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal işlemi kabul ettiğimi beyan ederim. 05/07/2019

Beyhan KABAMAKLI

Uyarı: Bu tezde kullanılan özgün ve/veya başka kaynaklardan sunulan içeriğin kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

ÇERNOBİLDEN 30 YIL SONRA RİZE İLİ VE İLÇELERİNDEKİ ÇAY ÖRNEKLERİNDEKİ DOĞAL VE YAPAY RADYOAKTİVİTE DÜZEYLERİNİN BELİRLENMESİ

Beyhan KABAMAKLI

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi
Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Nilay AKÇAY

Bu çalışmada Çernobil'den 30 yıl sonra Rize ili ve ilçelerindeki çay örneklerindeki doğal ve yapay radyoaktivite düzeyini tespit etmek için Rize ilindeki 11 ilçe ve 32 istasyondan çay örnekleri toplandı ve HPGe dedektör sistemi kullanılarak istasyonlardaki ortalama ^{238}U , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K aktiviteleri sırasıyla 4.60 Bq/kg, 4.93 Bq/kg, 11.98 Bq/kg ve 372.25 Bq/kg olarak bulundu, ilçeler için çay örneklerindeki ortalama ^{238}U , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K aktiviteleri sırasıyla 4.19 Bq/kg, 4.14 Bq/kg, 10.50 Bq/kg, ve 341.19 Bq/kg olarak tespit edildi. Çay örneklerindeki ^{238}U , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K radyonüklitleri için yıllık tüketimden kaynaklanabilecek yıllık etkin doz eşdeğerleri istasyonlar için 3.434 $\mu\text{Sv/yıl}$ ile 19.060 $\mu\text{Sv/yıl}$ aralığında, ilçeler için 10.867 $\mu\text{Sv/yıl}$ ile 14.488 $\mu\text{Sv/yıl}$ aralığında tespit edildi.

2019, 56 sayfa

Anahtar Kelimeler: Çay, Çernobil, Rize, Radyoaktivite, Eşdeğer Doz

ABSTRACT

DETERMINATION OF NATURAL AND ARTIFICIAL RADIOACTIVITY LEVELS IN TEA SAMPLES IN RIZE PROVINCE AND DISTRICTS 30 YEARS AFTER CHERNOBIL

Beyhan KABAMAKLI

Recep Tayyip Erdogan University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Physics
Master Thesis
Supervisor: Asst. Prof. Dr. Nilay AKÇAY

In this study, tea samples were collected from 11 districts and 32 stations in Rize province in order to determine the levels of natural and artificial radioactivity in tea samples in Rize province and districts 30 years after Chernobyl, and average ^{238}U , ^{232}Th , ^{137}Cs and ^{40}K activities in stations were collected by using HPGe detector system, respectively 4.60 Bq / kg, 4.93 Bq / kg, 11.98 Bq / kg and 372.25 Bq / kg, average ^{238}U , ^{232}Th , ^{137}Cs and ^{40}K activities in tea samples for the districts were found 4.19 Bq / kg, 4.14 Bq / kg, 10.50 Bq / kg, and respectively. Annual effective dose equivalents for ^{238}U , ^{232}Th , ^{137}Cs and ^{40}K radionuclides in tea samples were found in the range of 3,434 μSv / year to 19.060 μSv / year, and in the range of 10.867 μSv / year to 14.488 μSv / year for districts.

2019, 56 pages

Keywords: Tea, Chernobyl, Rize, Radioactivity, Equivalent Dose

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	I
TEZ ETİK BEYANNAMESİ	II
ÖZET	III
ABSTRACT.....	IV
İÇİNDEKİLER	V
ŞEKİLLER DİZİNİ	VII
TABLolar DİZİNİ	VIII
SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ	IX
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. Radyasyon	3
1.2.1. Parçacık Tipi Radyasyon	4
1.2.2 . Alfa Parçacıkları	4
1.2.3. Beta Parçacıkları	4
1.2.4. Dalga Tipi radyasyon.....	5
1.2.5. Gama Işınları	5
1.2.6. İyonlaştırıcı Radyasyon	6
1.2.7. İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon	6
1.3. Radyasyon Kaynakları	6
1.3.1. Doğal Radyasyon Kaynakları	6
1.3.1.1. Doğal Radyoaktif Seriler	7
1.3.1.2. Uranyum ve Özellikleri	8
1.3.1.3. Toryum ve Özellikleri.....	10
1.3.1.4. Potasyum ve Özellikleri	11
1.3.2. Yapay Radyasyon Kaynakları	11
1.3.2.1. İnsan Üretimi Radyonüklitler	12
1.3.2.2. Sezyum ve Özellikleri	13
1.4. Radyasyonun Madde ile Etkileşimi	14
1.4.1. Fotoelektrik Olay	14
1.4.2. Compton Saçılması	14

1.4.3.	Çift Oluşumu	15
1.5.	Radyoaktivite ve Radyoaktif Bozunma Kanunu	16
1.6.	Aktivite ve radyasyon Birimleri	18
1.6.1.	Aktivite Birimleri	18
1.6.2.	Işınlanma Birimleri	18
1.6.3.	Soğurulmuş Doz	18
1.6.4.	Eşdeğer Doz	19
1.7.	Yarıiletken Dedektörlü Sayıcılar	19
1.8.	Gama Spektrometrisi Çalışma Prensipleri	20
1.9.	Çay (<i>Camelia sinensis</i>) ve Özellikleri	21
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	22
2.1.	Çalışma Alanı	22
2.2.	Çay Örneklerinin Analize Hazırlanması.....	24
2.3.	Gama Spektrometrik Analiz Sistemi	26
2.4.	Enerji Kalibrasyonu	26
2.5.	Verim Kalibrasyonu.....	27
2.6.	Aktivite Hesabı	28
2.7.	Minimum Dedeksiyon Limiti	29
2.8.	Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri Hesabı.....	29
3.	BULGULAR.....	31
3.1.	Çay Örneklerindeki Radyoaktivite Konsantrasyonları	31
3.2.	Çay Örneklerindeki Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri.....	33
4.	TARTIŞMA ve SONUÇLAR	36
5.	ÖNERİLER.....	51
	KAYNAKLAR	52
	ÖZGEÇMİŞ	56

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Alfa, beta ve gama radyasyonlarının giricilik seviyeleri	6
Şekil 2. Doğal radyasyon kaynakları	7
Şekil 3. Uranyum serisi	9
Şekil 4. Toryum serisi	10
Şekil 5. Dünya genelinde doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından alınan dozların oranları	12
Sekil 6. Dünya genelinde radyasyon dozlarının oransal değerleri	13
Şekil 7. Compton saçılması	15
Şekil 8. Radyoaktif numune miktarının zamanla değişimi	17
Şekil 9. Yarı iletken dedektörlerin genel şematik gösterimi	19
Şekil 10. Gama spektrometre sisteminin çalışma şeması	20
Şekil 11. Çay bitkisi.....	21
Şekil 12. Rize ili haritası	22
Sekil 13. Çalışmada kullanılan elek, hassas terazi ve bitki öğütücüsü.....	24
Sekil 14. Analize hazır hale getirilen numuneler	25
Şekil 15. Çalışmada kullanılan etüv	25
Şekil 16. Çalışmada kullanılan gama spektrometrik analiz sistemi	26
Şekil 17. Enerji kanal grafiği.....	27
Şekil 18. Verim enerji grafiği.....	28
Şekil 19. Çay örneği için gama spektrum örneği.....	29
Şekil 20. Çay örneklerindeki ^{238}U aktivite konsantrasyonları	36
Şekil 21. Çay örneklerindeki ^{232}Th aktivite konsantrasyonları	36
Şekil 22. Çay örneklerindeki ^{137}Cs aktivite konsantrasyonları	37
Şekil 23. Çay örneklerindeki ^{40}K aktivite konsantrasyonları	38
Şekil 24. Çay örneklerindeki ^{238}U aktivite konsantrasyonlarının ilçelere göre ortalaması	39
Şekil 25. Çay örneklerindeki ^{232}Th aktivite konsantrasyonlarının ilçelere göre ortalaması	40
Şekil 26. Çay örneklerindeki ^{137}Cs aktivite konsantrasyonlarının ilçelere göre ortalaması	40

Şekil 27.	Çay örneklerindeki ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının ilçelere göre ortalaması.....	4
Şekil 28.	Çay örneklerindeki ^{238}U aktivite konsantrasyonlarının yıllık etkin doz eşdeğerleri	42
Şekil 29.	Çay örneklerindeki ^{232}Th aktivite konsantrasyonlarının yıllık etkin doz eşdeğerleri	43
Şekil 30.	Çay örneklerindeki ^{137}Cs aktivite konsantrasyonlarının yıllık etkin doz eşdeğerleri	43
Şekil 31.	Çay örneklerindeki ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının yıllık etkin doz eşdeğerleri	44
Şekil 32.	Çay örneklerindeki ^{238}U , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının toplam yıllık etkin doz eşdeğerleri.....	45
Şekil 33.	Çay örneklerindeki ^{238}U aktivite konsantrasyonlarının yıllık etkin doz eşdeğerlerinin ilçelere göre ortalaması	46
Şekil 34.	Çay örneklerindeki ^{232}Th aktivite konsantrasyonlarının yıllık etkin doz eşdeğerlerinin ilçelere göre ortalaması	47
Şekil 35.	Çay örneklerindeki ^{137}Cs aktivite konsantrasyonlarının yıllık etkin doz eşdeğerlerinin ilçelere göre ortalaması	47
Şekil 36.	Çay örneklerindeki ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının yıllık etkin doz eşdeğerlerinin ilçelere göre ortalaması	48
Şekil 37.	Çay örneklerindeki ^{238}U , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının toplam yıllık etkin doz eşdeğerlerinin ilçelere göre ortalaması	48

TABLÖLER DİZİNİ

Tablo 1. Doğal radyoaktif seriler	8
Tablo 2. Bazı doğal radyoaktif izotoplar ve yarıömür değerleri	8
Tablo 3. İnsan üretimi olan radyonüklitler	12
Tablo 4. Çay örneklerinin toplandığı istasyonlar ve koordinatları	23
Tablo 5. Çay örnekleri için dedekte edilen radyonüklitlerin minimum dedeksiyon limitleri	29
Tablo 6. Çay örneklerindeki ^{238}U , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları	32
Tablo 7. Çay örneklerindeki ^{238}U , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının ilçelere göre ortalaması	33
Tablo 8. Çay örneklerindeki ^{238}U , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının yıllık etkin doz eşdeğerleri	34
Tablo 9. Çay örneklerindeki ^{238}U , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının yıllık etkin doz eşdeğerlerinin ilçelere göre ortalaması	35
Tablo 10. Çay örneklerindeki ^{238}U , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının çeşitli araştırmalarla kıyaslanması	49

SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ

A	Aktiflik
Bq	Becquerel
Gy	Gray
Sv	Sievert
$H_{T,r}$	İç Işınlanma Doz Değeri
U_i	Yıl Boyunca Kişi Başına Tüketilen Miktar
C^r	Her Bir Radyoaktif İçin Konsantrasyon Değeri
$G_{T,r}$	Doz Sabiti
IAEA	International Atomic Energy Agency
IARC	International Agency for Research on Cancer
ICRP	International Commission on Radiological Protection
Mdl	Minimum Dedeksiyon Limiti
NRPB	National Radiological Protection Board
TAEK	Türkiye Atom Enerji Kurumu
UNSCEAR	United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

26 Nisan 1986'da eski Sovyet Sosyalist Cumhuriyetler Birliği sınırları içinde, bugün Ukrayna topraklarında yer alan Kiev kentinden 100 km kadar kuzeyde bulunan Çernobil Nükleer Santrali'nin 1000 MW gücündeki dördüncü ünitesinde büyük bir patlama meydana gelmiştir. Patlama sonucu santralin 30 km'lik çevresi yaşanmaz hale gelmiştir ve günümüzde halen o bölgede kazanın etkileri mevcuttur.

Çernobil nükleer kazası sonucu ortaya çıkan patlamada, 1945'te Hiroşima ve Nagazaki'ye atılan atom bombasından 200 kat daha fazla radyasyon ortaya çıkmıştır. Kaza esnasında harap olan reaktörden salınan radyoaktif gazlar ve radyoaktif maddeler havaya karışarak 1200 metre ve üzeri yüksekliklere çıkmış ve yaklaşık 10 gün boyunca atmosferde radyasyon salınmaya devam etmiştir.

Çernobil nükleer santral kazası sonrası yayılan radyoaktif gazlar meteorolojik hareketler sonucu Avrupa'ya ve tüm kuzey yarım küreye yayılarak yüzyılın en büyük ve en korkunç nükleer kazasının ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Türkiye'de kazanın ilk etkileri Trakya'nın kuzeybatısı ve Karadeniz'in kıyı kesimlerinde çevresel gama radyasyon düzeylerinin yükselmesi ile gözlemlenmiştir.

Çernobil nükleer santral kazasından sonra yayılan radyoaktif maddelerin aşırı ulaştığı ülke ve bölgelerde, bir yandan çevre, toprak, su, bitkiler ve besinler kirlenirken bir yandan da buralarda yaşayan insanlarda özellikle kirlenmiş besinleri tüketmeleri nedeniyle sağlık sorunları ortaya çıkmıştır (Emral, 2001).

Sezyum 137 (^{137}Cs), Çernobil nükleer santral kazası sonrası yayılan en önemli radyoaktif nüklitlerden biridir. ^{137}Cs nükleer reaktörler tarafından üretilen bir fisyon ürünüdür. Yarılanma ömrü 30 yıl olan ^{137}Cs , gama ışınımı yayınlayan önemli bir yapay radyoaktif izotoptur.

Besinlerde ^{137}Cs gibi yapay radyoaktif izotopların yanı sıra dünyanın oluşumu ile birlikte yerkürede doğal olarak bulunan ^{238}U (uranyum), ^{232}Th (toryum) ve ^{40}K (potasyum) gibi gama yayınlıyıcı doğal radyoaktif izotoplar da bulunmaktadır.

İnsanların doğal ve yapay radyoaktif izotoplardan aldıkları yıllık etkin doz değerlerinin belirlenmesi o bölgede yaşayan insanların maruz kaldıkları doz değerlerinin değerlendirilmesi açısından önem teşkil etmektedir.

Rize, Türkiye’de çay üretiminde birinci sırada yer alan bir ilimizdir, Türkiye ise dünyada ise beşinci sıradadır (Enginyurt, 2006). Rize ilinde 499.625 dekar alanda 122.271 üretici çay yetiştiriciliği yapmaktadır (Çaykur, 2004). Çaykur’un 2015 verilerine göre 45 fabrikası bulunmaktadır. Bu fabrikalardaki günlük yaş çay işleme kapasitesi 8.000 ton’dur. Bu fabrikaların 32’si Rize’de bulunmaktadır (Çavuş, 2016).

Bu çalışmanın amacı Çernobil’den 30 Yıl Sonra Rize İli ve İlçelerindeki Çay Örneklerindeki Doğal ve Yapay Radyoaktivite Düzeylerinin Belirlenmesidir. Bu amaçla çay örneklerinde doğal ve yapay radyoaktivite düzeylerinin belirlendiği bazı araştırmalar aşağıda özetlenmiştir.

Çetiner ve Özmen 1994 yılında Ankara Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezinde yapmış oldukları çalışmada çay örneklerindeki ^{137}Cs aktivitesini 1987-1989 yılları arası için 3156-702 Bq/kg olarak belirtmişlerdir (Çetiner ve Özmen , 1995).

Di Gregorio vd. Güney Amerika’daki çaylardaki ^{137}Cs ve ^{40}K radyoaktivitesini 10.3 Bq/kg ve 500 Bq/kg olarak bulmuştur (Di Gregorio vd., 2004).

Colk vd. 2015 yılında Japonya’daki çay örnekleri için yaptıkları çalışmada ^{137}Cs radyoaktivitesini 80.4 Bq/kg olarak bulmuşlardır (Colk vd., 2015)

Keser vd. 2011 yılında Rize ilindeki çay örnekleri için yaptıkları çalışmada ^{238}U , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K radyoaktivitelerini sırası ile 36,3 Bq/kg, 23,1 Bq/kg, 20,9 Bq/kg ve 688,4 Bq/kg olarak bulmuşlardır (Keser vd., 2011).

Desideri vd. 2011 yılında İtalya’da yapmış oldukları çalışmada çay örneklerindeki ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K radyoaktivitelerini sırası ile 9 Bq/kg, 2,6 Bq/kg ve 465,8 Bq/kg olarak bulmuşlardır (Desideri vd., 2011).

Jevremoviç vd. 2011 yılında Sırbistan’da yapmış oldukları çalışmada çay örneklerindeki ^{238}U , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K radyoaktivitelerini sırası ile 2,3 Bq/kg, 5,4 Bq/kg, 0,5 Bq/kg ve 486,5 Bq/kg olarak bulmuşlardır (Jevremoviç vd., 2011).

Lalit ve Ramachandran 1985 yılında Hindistan’da yapmış oldukları çalışmada ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K radyoaktivitelerini sırası ile 97,9 Bq/kg, 182,3 Bq/kg ve 27,6 Bq/kg olarak bulmuşlardır (Lalit ve Ramachandran, 1993).

Chu vd. 1969 yılında Tayvan’da yapmış oldukları çalışmada çay örneklerindeki ^{137}Cs radyoaktivitesini 3,1 Bq/kg olarak bulmuşlardır (Chu, 1969).

Tagami vd. 2012 yılında Japonya’da yapmış oldukları çalışmada çay örneklerindeki ^{137}Cs radyoaktivitesi 10 Bq/kg olarak bulmuşlardır (Tagami, 2012).

Hosseini vd. 2006 yılında Sri Lanka’dan ithal edilen çay örnekleri için ^{232}U , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K radyoaktivitelerini sırası ile 2,55 Bq/kg, 2,27 Bq/kg, 2,01 Bq/Kg ve 628 Bq/kg olarak bulmuştur (Haseini, 2006).

1.2. Radyasyon

Radyasyon elektromanyetik dalgalar veya parçacıklar biçimindeki enerji yayımı ya da aktarımıdır. Doğal veya yapay radyoaktif elementlerin çekirdeklerinin kararlı bir yapıya sahip olmak için dışarı saldıkları fazla enerjilerinin elektromanyetik dalga şeklinde taşınma şekline de “radyasyon” denir. Radyasyon parçacık radyasyonu ve dalga radyasyonu olarak iki bölümde incelenir. Parçacık radyasyonu; belli bir kütle ve enerjiye sahip parçacıkların çok hızlı hareket etmesini ifade eder. Dalga tipi radyasyon; belli bir enerjiye sahip ancak kütesiz radyasyonu ifade eder. Dalga tipi radyasyon, titreşim yaparak ilerleyen elektrik ve manyetik enerji dalgalarına benzer. Bütün dalga tipi radyasyonlar ışık hızıyla (3×10^8 m/s) hareket ederler. Parçacık ve dalga tipi

radasyonlar da kendi aralarında iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radasyon olarak iki gruba ayrılır (URL- 4).

1.2.1. Paracak Tipi Radasyon

1.2.2. Alfa Paracakları

Alfa ışınları bir paracak radasyonudur. Aynı zamanda alfa ışınları Helyum ekirdeği olup enerjileri 3–5 MeV arasında değişen pozitif yüklü paracaklardır. Alfa bozunması işleminde ana çekirdek iki proton ve iki nötron kaybederek kütlesi dört birim, yükü ise iki birim azalır ve böylece alfa taneciklerinin enerjileri tümüyle soğurulur. Alfa paracaklarının kütleleri ağır olduğu için maddeden geçirgenliği kısadır. Bu geçirgenlik kısa olduğu için bir kağıt ile bile durdurulabilir. Ancak deriden geçebilirler. Solunum veya sindirim ile vcoda alınmadıkları için etkileri yüzeysel olur.



1.2.3. Beta Paracakları

Beta ışınları kararsız atom çekirdeklerinden yüksek enerjili yayınlanan elektronlardır. Kararsız çekirdeklerde protonlar ve nötronlar arasındaki çekirdek kuvvetleri daha yakından incelendiğinde enerji fazlalığından kurtulmak için nkleonlarda protonların nötronlara, nötronların da protonlara dönüştüğü gözlenir.

Çekirdek kararlı hale gelmek için fazla proton veya ntronundan bir protonunu nötrona veya bir ntronunu protona dönüştürerek üç farklı yolla kurtulabilir. Bu üç yol β^- , β^+ ve elektron yakalama şeklinde olur.

$${}^1_0\text{n} \rightarrow \text{p} + \beta^- + \bar{\nu} \quad (2)$$

$$\text{p} \rightarrow \text{n} + \beta^+ + \nu \quad (3)$$

$$\text{p} + \text{e}^- \rightarrow {}^1_0\text{n} + \nu \quad (4)$$

1.2.4. Dalga Tipi Radyasyon

1.2.5. Gama Işınları

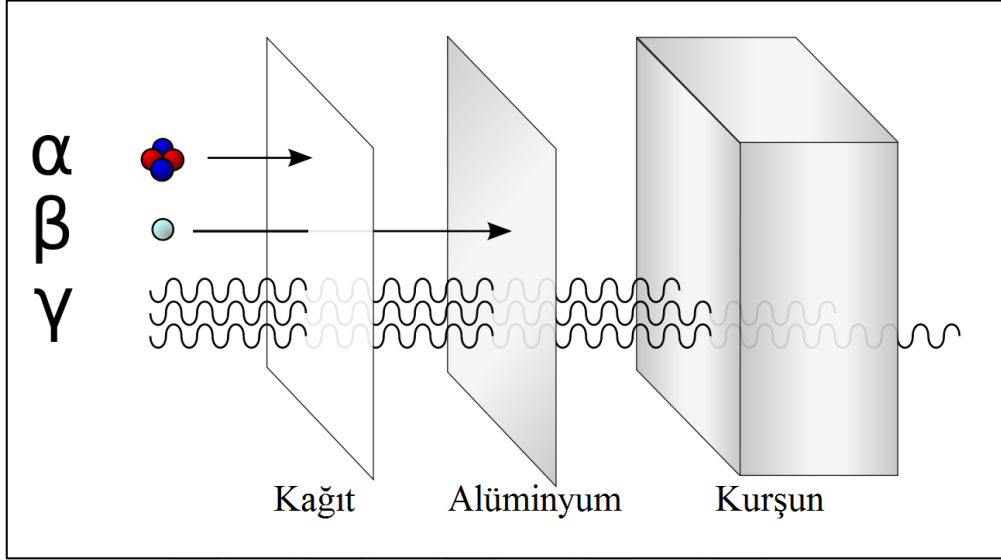
Gama ışınlarının kaynağı atom çekirdeğidir. Bu ışınlar atom çekirdeğinin enerji seviyelerindeki farklılıklarından meydana gelir. Radyoaktif bir çekirdek alfa veya beta yayınlamasından sonra çoğu zaman kararlı durumda kalmayabilir. Bir başka deyişle, radyoaktif parçalanmadan sonra geride kalan çekirdek uyarılmış halde kalabilir. Bu çekirdek, oluştuğundan çok kısa bir zaman sonra bir veya birkaç gama ışını yayınlarak üzerindeki fazla enerjiyi atar ve kararlı hale gelir. Çekirdek ne kadar yüksek enerji seviyesinde uyarılmış olarak kalmışsa, oluşacak gama ışınları o kadar yüksek enerjili olacaklardır.

Gama ışınlarının dalga boyları 10^{-10} m ile 10^{-14} m arasındadır. Bu ışınlar yüksek derecede giricilik özelliğine sahiptirler. Bu nedenle canlı dokular tarafından soğurulduğunda ciddi zararlar oluştururlar. Tedbir olarak bu tür radyasyonun yanında çalışanlar, kalın kurşun tabaka benzeri iyi soğurucu maddelerle korunmalıdır.

Gama ışınları çok yüksek enerjili, elektromanyetik dalgalardır ve ışık hızıyla hareket ederler. Alfa ve beta parçacıklarından daha fazla giricidirler. Alfa, beta ve gama radyasyonlarının giricilik seviyeleri Şekil 1’de gösterilmektedir.

Maddeye girdiklerinde gama ışınları değişik şekillerde atomla etkileşebilirler. Üç ana etkileşim Fotoelektrik Soğurma, Compton Saçılması ve Çift Oluşumudur. Üç durumun tümünde serbest elektronlar üretilir ve bu elektronlar madde içinde yolları üzerinde yavaşlatıldığından elektron-iyon veya elektron-delik çiftleri oluştururlar. Birçok foton dedektöründe, ya bir fotonun geçişini dedekte etmede ya da yüklü

parçacığın miktarını ölçmeyle onun enerjisini tayin etmede bu yüklü parçacıklar kullanılır.



Şekil 1. Alfa, beta ve gama radyasyonlarının giricilik seviyeleri (URL 1)

1.2.6. İyonlaştırıcı Radyasyon

İyonlaştırıcı radyasyon, madde ile etkileştiklerinde etkileştikleri maddelerdeki atomlardan elektron kopararak atomun yüklü veya iyonize olmasına neden olacak düzeyde enerjiye sahip radyasyonlardır. İyonize radyasyon, parçacık ya da dalga karakterinde olabilir. Başlıca iyonlaştırıcı radyasyonlar, gama ışınları, x-ışınları, alfa, beta veya nötronlardır. (Çimen vd., 2017).

1.2.7. İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon

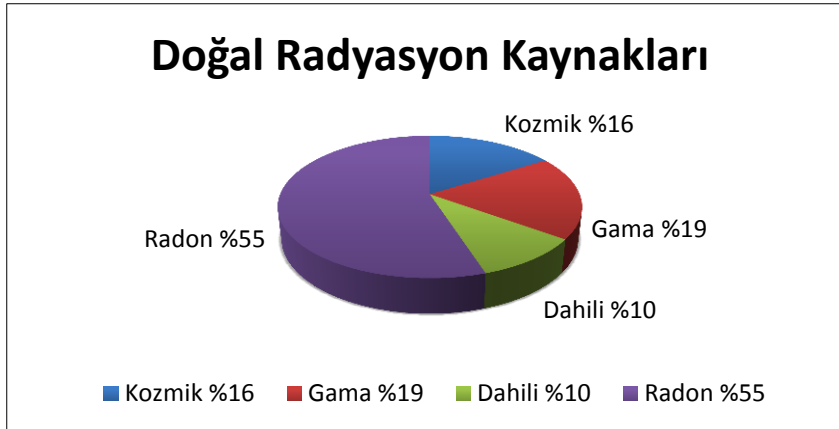
Madde ile etkileştiklerinde, etkileştikleri maddelerdeki atomlardan elektron koparamayacak kadar düşük enerjili radyasyonlara iyonlaştırıcı olmayan radyasyon denir. İyonlaştırıcı olmayan radyasyona elektromanyetik spektrumdaki mikrodalgalar, görünür ışık, kızılötesi ve morötesi ışınları örnek verilebilir (Çimen vd., 2017).

1.3. Radyasyon Kaynakları

1.3.1. Doğal Radyasyon Kaynakları

Doğal radyasyonun bir kısmı uzaydan dünyamıza gelen kozmik ışınlardan oluşmaktadır. Gelen bu ışınların çoğu atmosfer tarafından süzölmektedir. Bu durumda yüksek kesimlerde maruz kalınan radyasyon dozu deniz seviyelerine göre daha fazladır. Günlük hayatımızda, kozmik ışınlar sebebi ile maruz kaldığımız radyasyon dozunun dünya ortalaması 0.39 msv/yıldır.

Fosil yakıtlar ise doğal ve uzun ömürlü radyoaktif elementler içerirler. Bu tür elementler yakıt içinde iken bir radyasyon tehlikesi oluşturmazlar. Fakat fosil yakıtlar yakıldıklarında bu elementler atmosfere yayılır ve daha sonra toprağa dönerek doğal radyasyon düzeyinde az miktarda bir artışa neden olur. Doğada bulunan kısa ömürlü radyoaktif elementlerin yaydığı gama ışınlarının da etkisi ile topraktan maruz kalınan radyasyon dozunun dünya ortalaması 0.46 msv/yıldır. Doğal radyasyon kaynakları şekil 2’de görüldüğü gibi oranlara sahiptir(Değerliler, 2007).



Şekil 2. Doğal radyasyon kaynakları (Değerliler , 2007)

1.3.1.1. Doğal Radyoaktif Seriler

Büyük Patlama (Big Bang) teorisine göre yeryüzü ve güneş sisteminin yaratıldığı zamanlardan beri meydana gelen elementlerin büyük bir kısmı radyoaktifir, fakat o zamandan beri kararlı çekirdeklere bozunmaktadırlar. Birkaç radyoaktif izotopun

yarılanma süresi dünyanın yaşına göre çok uzundur ve bugün hala bunların radyoaktif düzeyleri görülebilmektedir. ^{235}U , ^{238}U ve ^{232}Th serileri ve ^{40}K radyonüklitleri doğal radyoaktif serilerin temelini oluşturmaktadır.

Doğal olarak bulunan radyoizotopların atom numaraları $Z=81$ ile 92 arasında değişmektedir. Bunlar alfa ve beta bozunmalarıyla, kararlı bir çekirdeğe dönüşünceye kadar, bir seri bozunma zincirlerine maruz kalırlar. Atom numarası $Z=81$ ile 92 arasında olan doğal radyoaktif izotoplar, A kütle numaralarına bağlı olarak, Tablo 1’de gösterildiği gibi dört seriden birine dahildirler. Burada n bir tam sayıdır (Keser R, 2009).

Tablo 1. Doğal radyoaktif seriler

Seri Adı	Türü	Son Çekirdek	Ana Çekirdek	Yarılanma Süresi (yıl)
Toryum	$4n$	^{208}Pb	^{232}Th	$1,41 \times 10^{10}$
Neptinyum	$4n+1$	^{209}Bi	^{237}Np	$2,14 \times 10^6$
Uranyum	$4n+2$	^{206}Pb	^{238}U	$4,47 \times 10^9$
Aktinyum	$4n+3$	^{207}Pb	^{235}U	$7,04 \times 10^8$

Doğadaki radyonüklidlerin tek kaynağı bu ağır element serileri değildir, bunların yanı sıra tek başına bulunan ve Tablo 2’de gösterilen bazı doğal radyoaktif izotoplar da vardır.

Tablo 2. Bazı doğal radyoaktif izotoplar ve yarıömür değerleri

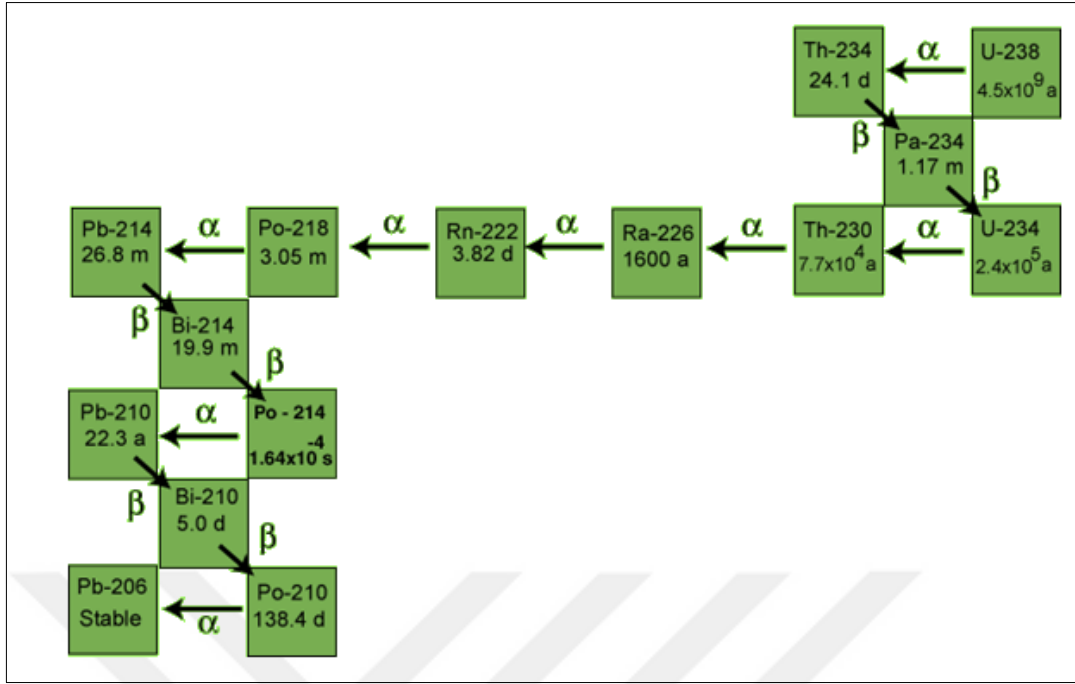
Radyoizotoplar	$t_{1/2}$ (yıl)
^{40}K	1.28×10^9
^{87}Rb	4.28×10^{10}
^{113}Cd	9×10^{15}
^{115}In	4.4×10^{14}
^{138}La	1.3×10^{11}
^{176}Lu	3.6×10^{10}
^{187}Re	5×10^{10}

1.3.1.2. Uranyum ve Özellikleri

Uranyum, simgesi U, atom sayısı 92, atom ağırlığı 238,03 özgül ağırlığı 18,9 erime noktası 1132 °C olan, yoğun, dövülebilir yapıda ve gümüşümsü beyaz renkte radyoaktif metalik bir elementtir. Periyodik tabloda 3B (geçiş metallerinin bir alt serisini oluşturan aktinitler grubunda) 7. periyotta bulunur. Martin Klaproth tarafından 1789'da Almanya'da keşfedilmiştir (Bakkal,2012).

Uranyum yüzyıllar boyunca cam ve sırları renklendirmek için sarı ve turuncu renklerde pigment olarak kullanılmıştır. Radyoaktivite keşfedildikten sonra ise nükleer reaktörlerde ve bombalarda nükleer zincirleme tepkimeleri yapabilen bir yakıt olarak kullanılmaya başlanmıştır. Doğal olarak radyoaktif olduğundan, genellikle uranyum dioksit formunda nükleer enerji endüstrisinde elektrik üretmek için kullanılır. Sadece 1 gram uranyumun ürettiği enerji yaklaşık olarak 2 ton petrolün veya 3 ton kömürün yakılmasıyla üretilen enerjiye eşittir.

Uranyum doğal ^{238}U , ^{235}U ve ^{234}U radyoizotoplarından oluşmaktadır ve sırasıyla bağıl bollukları %99,274, %0,72 ve %0,0055'dir. Doğal Toryum bağıl bolluğu %100 olan ^{232}Th 'dir. Bu dört seri (Şekil 2., 3., 4.)'de bozunum çeşitleri ile birlikte verilmektedir (Değerlier, 2007).



Şekil 3. Uranyum serisi Uranium (URL 2)

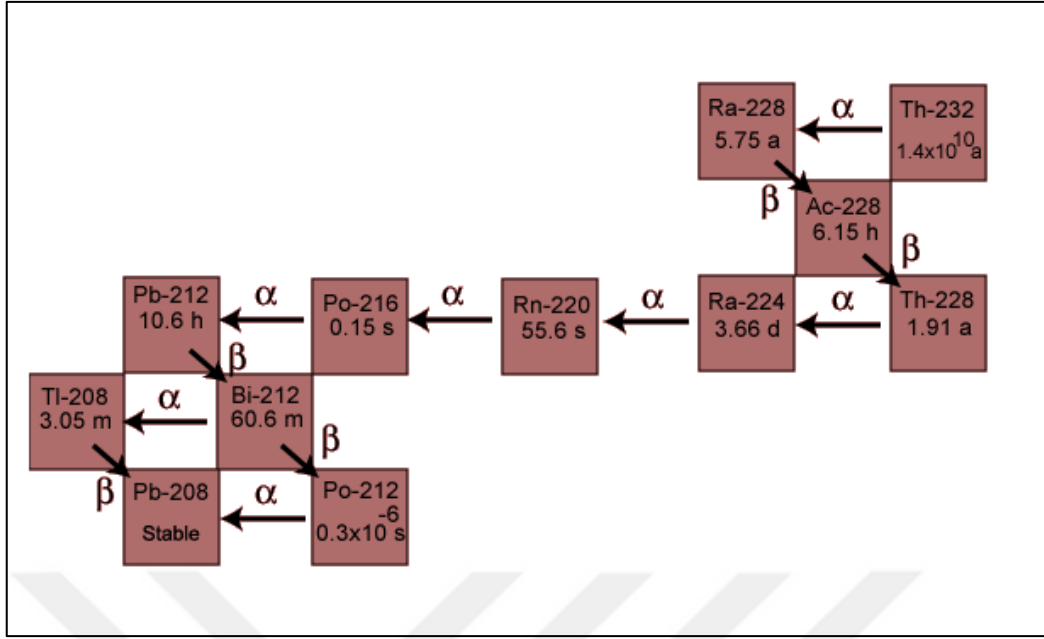
1.3.1.3. Toryum ve Özellikleri

²³²Th, 12 nüklit serisinin başıdır. ²³²Th ve ²³⁸U serileri birbirleri arasında güçlü benzerlikler gösterirler; aynı elementin (radyum, radon, kurşun, bizmut, polonyum) izotoplarını içerir. İki seri arasındaki tek temel fark, ²³²Th'nin çok uzun ömürlü radyonüklit olmasıdır. (Bakkal,2012)

²³²Th serisi kendi içerisinde üç alt seriye ayrılır;

- (a) ²³²Th kendisi
- (b) ²²⁸Ra → ²²⁴Ra
- (c) ²²⁰Rn → ²⁰⁸Pb

²³²Th, doğada bulunan dört toryum izotopundan en yaygın olanıdır. Alfa ve beta bozunumları ile kararlı ²⁰⁸Pb çekirdeğine dönüşür. Yarılma ömrü 1,4x10¹⁰ yıldır.



Şekil 4. Toryum serisi Thorium (URL 3)

1.3.1.4. Potasyum ve Özellikleri

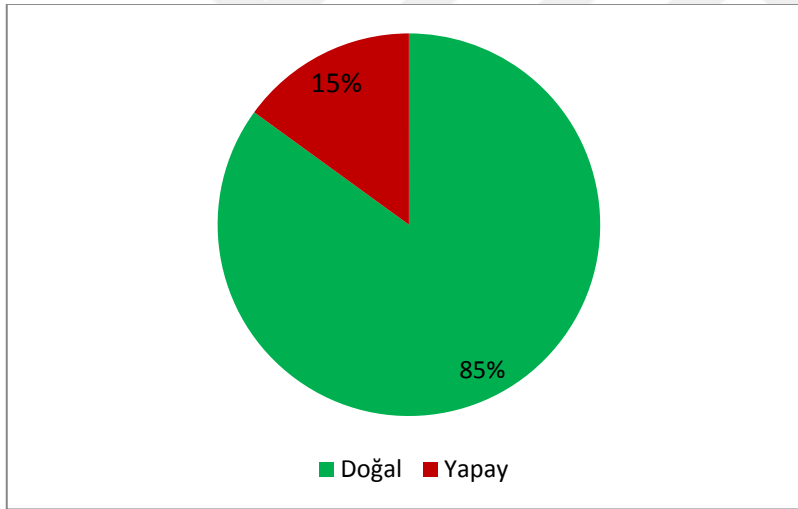
Potasyum doğada ve insan yapısında bulunan esas elementlerden biridir. Doğal olarak bulunan üç izotopundan biri ^{40}K radyoaktif olup, yarılanma ömrü $1,28 \times 10^9$ yıl ve bağıl bolluğu % 0,0117' dir. Doğal potasyum toprakta fazla miktarda olduğu için, doğal gama radyasyon dozunu büyük ölçüde ^{40}K oluşturmaktadır. 70 kiloluk bir insan vücudunda 140 g potasyum bulunmaktadır ve bu 0,0164 g ^{40}K izotopu içerir. Bu miktarın aktivitesi 266000 bozunum/dakikadır. Her 100 bozunmanın 89'unda 1,311 Mev'lik maksimum enerjili beta parçacıkları ve 11'ini de 1,46 Mev enerjili gama fotonu yayınlanır.

1.3.2. Yapay Radyasyon Kaynakları

İlerleyen teknolojiye paralel olarak insanoğlunun hayatını daha kolay bir konuma getirebilmek için araştırmalar yapay radyasyon kaynaklarının üretilmesine neden olmuştur. Yapay radyasyon kaynakları tıpta, ziraatta, endüstride ve teknolojide birçok fayda sağlamasına karşın maruz kalma miktarıyla beraber birçok sağlık problemlerini de beraberinde getirmektedir. Ancak doğal radyasyon kaynaklarının aksine kontrol altında tutulabilme imkânları daha fazladır. Hastalıkların tanı ve tedavisinde

radodiagnostik, nükleer tıp ve radyasyon onkolojisi birimlerinde X-ışınları ve radyoaktif maddeler kullanılmaktadır. Radyasyonun tıbbi kullanımı en çok alınan radyasyon kaynağı olmasına rağmen yıllık dünya ortalaması 0.3 mSv dir. Nükleer santraller, nükleer yakıt çeviriminin her aşamasında çevreye bir miktar radyoaktif madde salarlar. Bu salınımdan alınan yıllık radyasyon dozunun dünya ortalaması 0.008mSv' dir (Albayrak, 2011).

Bir yılda alınan iç radyasyon dozu olarak (dünya ortalaması) 0,23mSV'dır. Sebze, meyve, yiyecek içecek ve havadan aldığımız dozu olarak (dünya ortalaması) yaklaşık 0,25 mSv'dır. Dünya nüfusunun aldığı dozlara en büyük katkıyı, doğal radyasyonun vermesi nedeni ile insanların doğal kaynaklardan aldığı radyasyon miktarları özel bir öneme sahiptir. Şekil 5'de Dünya genelinde doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından alınan dozların oransal değerleri gösterilmiştir.



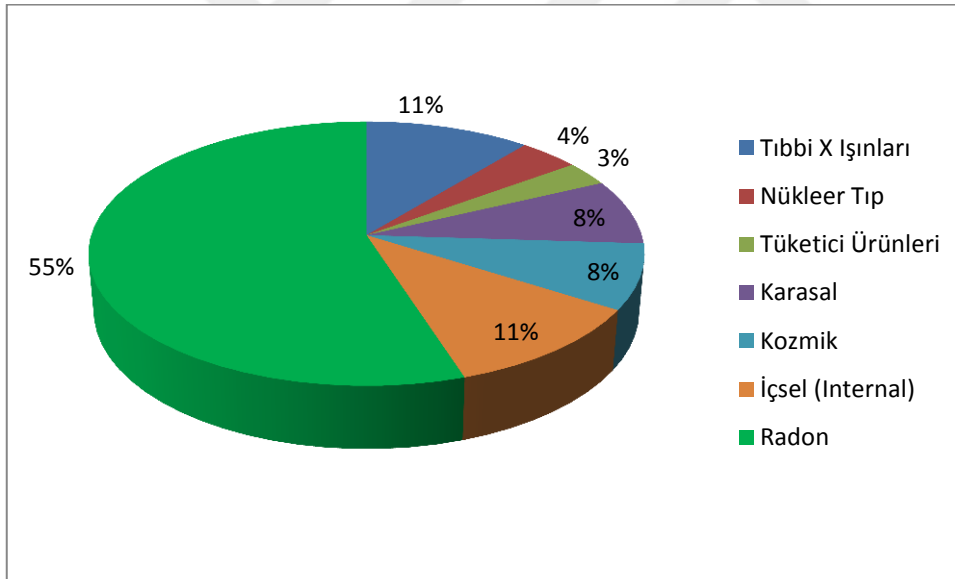
Şekil 5. Dünya genelinde doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından alınan dozların oranları.

1.3.2.1. İnsan Üretimi Radyonüklitler

İnsanlar uzun yıllardır reaktörlerde, tıpta ve savaş silahlarında radyoaktif maddeler kullanmıştır. Nükleer silahların test edilmesinin durdurulmasıyla radyoaktif maddelerde önemli bir azalma görülmüştür (Değerliler, 2007). Tablo 3'de insan üretimi olan radyonüklitler, Şekil 5'de ise dünya genelinde radyasyon dozlarının oransal değerleri verilmiştir.

Tablo 3. İnsan üretimi olan radyonüklitler

Nüklit	Sembol	Yarıömür	Kaynak
Trityum	^3H	12.3 yıl	Savaş silahı, fisyon reaktörleri
İyot 131	^{131}I	8.04 gün	Savaş silahı, test materyali, fisyon reaktörleri, tiroid hastalarının teşhis ve tedavilerinde kullanılır
İyot 129	^{129}I	1.57×10^7 yıl	Savaş silahı, fisyon reaktörleri
Sezyum 137	^{137}Cs	30.17 yıl	Savaş silahı, fisyon reaktörleri
Stronsiyum 90	^{90}Sr	28.78 yıl	Savaş silahı, fisyon reaktörleri
Teknesyum 99	^{99}Tc	2.11×10^5 yıl	^{99}Mo ürünüdür Medikal teşhislerde önemli bir radyoaktif materyaldir
Plutonyum 239	^{239}Pu	2.41×10^4 yıl	^{238}U 'un nötron bombardımanında üretilmektedir. $^{238}\text{U} + n \rightarrow ^{239}\text{U} \rightarrow ^{239}\text{Np} + \beta \rightarrow ^{239}\text{Pu} + \beta$

**Şekil 6.** Dünya genelinde radyasyon dozlarının oransal değerleri (NCRP Report,1987)

1.3.2.2. Sezyum ve Özellikleri

Sezyum alkali metaller grubundan bir elementtir. İlk defa, 1860 yılında Bunsen ve Kirchhoff tarafından Drukheim maden sularında spektroskopik yolla bulunmuştur. Sezyumun atom numarası 50, atom ağırlığı 132,91 g/mol'dür. Gümüş beyazlığında yumuşak bir metal olan sezyumun erime noktası 28,5°C, kaynama noktası 670°C, yoğunluğu 1,90 g/cm³'dür. Sezyum doğada, polusit mineralinde yaklaşık %28 oranında bulunur.

Sezyum çok düşük iyonlaşma potansiyeli ile en elektropozitif elementtir. Soğuk su ile patlama şeklinde reaksiyon verir. Su ile reaksiyonundan meydana gelen sezyumhidroksit (CsOH) cama bile etki edebilen en kuvvetli bazdır ve reaksiyon çok ekzotermiktir. Sezyum çok yumuşak ve kolay kesilebilen bir metaldir. Parlak bir yüzeyi vardır. Havadaki oksijen ve nem ile olan reaksiyonundan dolayı bu parlak yüzey matlaşır. Sezyumun havadaki oksijen ile yakılmasının sonucunda sezyum süperoksit oluşur. Sezyum metali seyreltik sülfürik asit içerisinde çözünerek Cs⁺1 iyonu çözeltiye geçer. Aynı zamanda hidrojen gazı açığa çıkar (Bakkal, 2012)

Sezyumun kütle numarası 112-132 ve 134-151 arasında değişebilen 39 tane radyoizotopu vardır. Sadece ¹³³Cs (doğal bolluk %100) doğada oluşan kararlı izotopudur, diğerleri radyoaktif özellik gösterir. Radyoaktif sezyum izotopları, nükleer güç tesislerinin çalışması sırasında yakıt çubuklarında üretilir. Yarı ömürlerinin uzunluğu nedeni ile ¹³⁵Cs ve ¹³⁷Cs izotopları önemlidir. ¹³⁷Cs, β⁻ (E_β=1,18 MeV) ve γ (E_γ=0,66 MeV) yayınlayarak bozunur.

Sezyum kızılötesi lambalarda ve katalizör olarak belirli elementlerin hidrojenleşmesinde kullanılır. Yakın zamanda, vakum tüplerinde hava kalıntılarını yok etmek ve roket motorlarındaki itici güç sistemlerinde kullanılmaktadır. Sezyum iyonunun toksikliği yüksek değildir. Sezyum florür, florürden dolayı toksik özellik gösterir. Sezyum nitrat oksidanttır. Sezyum hidroksit yakıcı özellik gösterir. Radyoaktif ¹³⁷Cs yumuşak dokuda yani tüm vücutta birikir. Yüksek dozda alındığı takdirde kansere neden olur.

1.4. Radyasyonun Madde ile Etkileşmesi

1.4.1. Fotoelektrik Olay

Fotoelektrik olayda, foton, bağlı bir elektronla etkileşir ve foton enerjisinin tümü soğurulur. Elektron E_e enerjisiyle atomdan fırlatılır:

$$E_e = E_k - E_b \quad (5)$$

Burada E_b bağlanma enerjisidir. Bir miktar enerji atoma verilir. Bu enerji yukarıdaki denklemde ihmal edilmiştir. Hem enerjinin hem de momentumun korunması mümkün olmadığından fotoelektrik soğurma bağlı olmayan elektronlarda vuku bulmaz.

1.4.2. Compton Saçılması

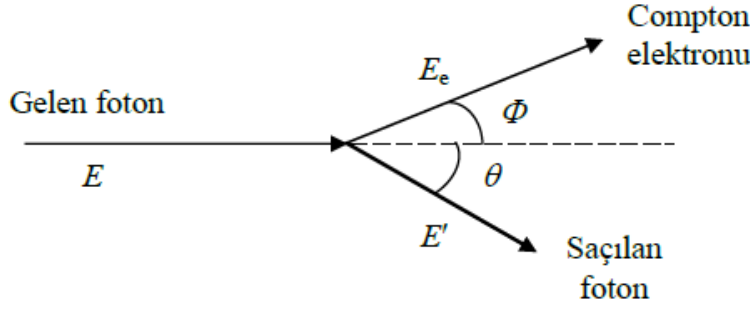
Compton saçılması olayında, foton enerjisinin yalnızca bir kısmı elektrona aktarılır ve arta kalan enerji ikincil bir foton olarak görülür. Enerji ve momentumun korunumundan, saçılan foton ve elektronun enerjileri yayıldıkları açıya bağlıdır. Saçılma açıları Şekil 7'deki gibi tanımlanır. E gelen fotonun enerjisi, E' ve E_e sırasıyla saçılan fotonun ve elektronun enerjileri ve α , $E / m_0 c^2$ olsun. Burada $m_0 c^2$ elektronun durgun kütlesine uyan enerjidir (511 keV). O halde ikincil fotonun enerjisi denklem 6 ve saçılan elektronun enerjisi denklem 7 ile verilir. İki açı ise denklem 8 bağıntısıyla ilişkilidir.

$$E' = E [1 + \alpha(1 - \cos\theta)]^{-1} \quad (6)$$

$$E_e = E \left\{ 1 - \frac{1}{1 + \alpha(1 - \cos\theta)} \right\} \quad (7)$$

$$\tan \varphi = 1 / [1 + \alpha \tan \theta / 2] \quad (8)$$

Çok küçük foton saçılma açıları için elektron enerjisi sıfıra gider ve bundan dolayı ikincil foton yaklaşık olarak gelen fotonla aynı enerjiye sahiptir. Fakat 180° 'lik saçılma açısı için ikincil foton $E / (1 + 2\alpha)$ olan büyük bir enerjiye sahiptir.



Şekil 7. Compton saçılması

1.4.3. Çift Oluşumu

Birkaç MeV'lik γ ışınları için çift oluşumu öne çıkan etkileşme mekanizmasıdır. Bu olayda fotonun enerjisi nükleer Coulomb alanı içinde bir pozitron elektron çiftine dönüşür. Bundan dolayı foton enerjisi, elektronun durgun kütle enerjisinin iki katından daha büyük yani (1022 keV) olmalıdır. Fazla enerji, $E_\gamma - 2m_0c^2$, kinetik enerji olarak iki parçacık arasında paylaşılır. Hem elektron hem de pozitron bitişik materyalde yavaşlatılır. Pozitron son olarak bir elektronla reaksiyona girer ve yok olur. Eğer bu olay, pozitronun kinetik enerjisinin tümü tamamen kaybolduktan sonra vuku bulursa, yaklaşık $m_0c^2 = 511$ keV'lik enerjili iki foton üretilir. Bu iki foton momentumun korunumu için hemen hemen zıt yönde yayılır. Elektron genellikle zayıf bir şekilde atoma bağlı olduğu için, küçük bir miktar enerji uygun bir momentumla birlikte atoma transfer olabilir. Bu enerji kaybının sonucu olarak iki fotonun enerjisi m_0c^2 'den biraz daha az olur.

$$\gamma \text{ fotonu} \rightarrow e^+ + e^- \quad (9)$$

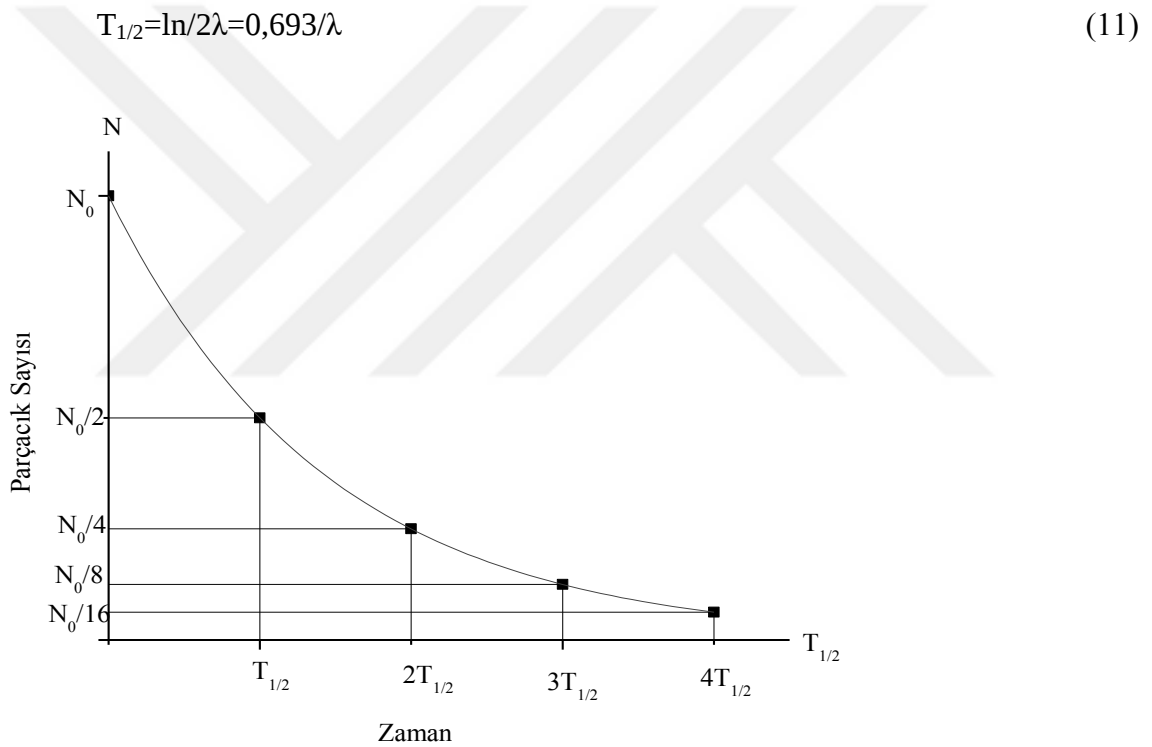
1.5. Radyoaktivite ve Radyoaktif Bazunma Kanunu

Radyoaktivite, 1896 yılında Antoine Henri Becquerel tarafından keşfedilmiştir. Kararsız atom çekirdeklerinin dışarıdan herhangi bir etki olmaksızın radyasyon yayınlaması olayına bozunma ya da radyoaktivite adı verilir. Radyoaktif bozunma sürecinde başlangıçta N_0 tane radyoaktif çekirdeği bulunan bir elementin t kadar süre

sonra bozunmamış çekirdek miktarı (N) Denklem 10 ile hesaplanır. Şekil 8’de radyoaktif bir numunenin miktarının üstel bozunma denklemine göre zamanla değişimi gösterilmektedir.

$$N=N_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad (10)$$

Radyoaktif maddelerle ilgili önemli diğer karakteristik değer de yarı ömür dür. Radyoaktif bir maddenin başlangıçta var olan atomlarının yarısının bozunması için geçen süreye yarı ömür denir. Yarı ömür $T_{1/2}$ sembolü ile gösterilir. Yarı ömür maddelerin karakteristik bir özelliği olup maddeden maddeye değişir. Yarı ömür maddelerde ayırt edici özelliktir. Yarı ömür Denklem 2 ile bulunur.



Şekil 8. Radyoaktif numune miktarının zamanla değişimi

Radyoaktivitenin istatistiksel karakteri nedeni ile radyoaktif bir atomun ömrü, sıfır ile sonsuz arasında herhangi bir değer olabilir. Bu nedenle radyoaktif atomlar için yarı ömürden farklı bir tanım olarak τ ortalama ömür ifadesi kullanılır. t_1 , t_2 ömürlerine sahip atomların sayıları sırası ile $dN_1(t)$, $dN_2(t)$... ise ortalama ömür denklem 4’teki gibi ifade edilir;

$$\tau = \frac{t_1 dN_1(t) + t_2 dN_2(t) + \dots}{dN_1(t) + dN_2(t) + \dots} = \frac{t dN(t)}{dN(t)} \quad (12)$$

Burada ($dN \rightarrow 0$) için

$$\tau = \frac{\int_0^{N_0} t dN(t)}{\int_0^{N_0} dN(t)} = \frac{\int_0^{N_0} t dN(t)}{N_0} \quad (13)$$

denklem 2'deki $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$ bağıntısı yerine konursa

$$\tau = -\lambda \frac{\int_0^{\infty} t N_0 e^{-\lambda t} dt}{N_0} = \int_0^{\infty} \lambda t e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda} \quad (14)$$

elde edilir.

1.6. Aktivite ve Radyasyon Birimleri

1.6.1. Aktivite Birimleri

Aktivite birimi Becquerel veya Curie'dir. 1 Becquerel saniyede bir bozunma meydana getiren herhangi bir radyoaktif madde miktarı olarak tanımlanmaktadır. 1 Curie ise herhangi bir radyoaktif madde miktarının saniyede $3,7 \cdot 10^{10}$ bozunma hızıdır.

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ parçalanma/saniye}$$

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

$$1 \text{ Bq} = 2,7 \times 10^{-11} \text{ Ci'dir}$$

1.6.2. Işınlama Birimi

Işınlama dozu Coulomb/kg (C/kg) ile ifade edilir. Normal şartlar altında 0°C ve 760 mm Hg basıncında havanın 1 kg'ında 1 Coulomb'luk elektrik yükü değerinde pozitif negatif iyonlar oluşturan x veya γ radyasyonu miktarıdır.

1.6.3. Soğurulmuş Doz

SI birim sisteminde 1 kg'lık bir maddeye 1 Joule (J)'lük enerji veren herhangi bir iyonlayıcı radyasyonun dozuna soğurulan doz birimi Gray (Gy) denir. Eski özel birimi rad olup, 1 rad, herhangi bir maddenin gramı başına 100 erg'lik enerji soğurma eşdeğeridir.

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J.kg}^{-1}$$

$$1 \text{ rad} = 10^{-2} \text{ J.kg}^{-1} = 100 \text{ erg.g}^{-1}$$

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

1.6.4. Eşdeğer Doz

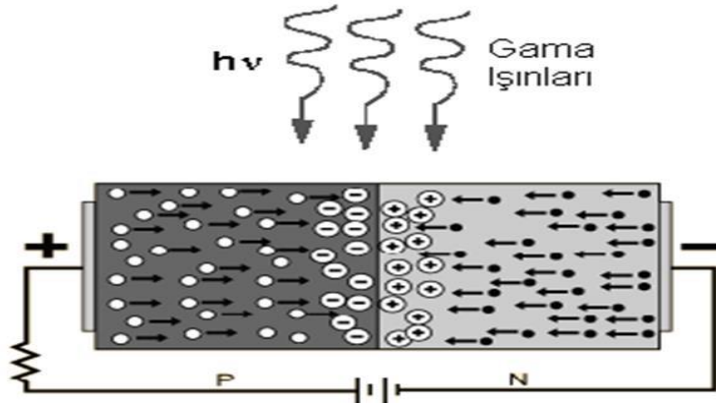
Radyasyonun biyolojik etkilerini tanımlamak için rem birimi kullanılır. SI birim sisteminde eşdeğer doz birimi Sievert (Sv)'dir.

$$1 \text{ Sv} = 1 \text{ J.kg}^{-1}$$

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

1.7. Yarı İletken Dedektörlü Sayıcılar

Yarı iletken dedektörler, negatif yük (elektron) veya pozitif yük (boşluk) taşıyıcıları fazla olan n ve p tipi materyaller temas ettirilerek elde edilir. Ters besleme altında dedektörde, elektron ve boşluk arınmış bir hassas bölge oluşur. Dedektör veriminin yüksek olması için derin bir hassas bölge, derin hassas bölge elde etmek için de oldukça saf madde gerekir. Bir foton, eklem içinden geçtikçe, bir elektron valans bandından iletim bandına yükseltilir ve elektron-boşluk çifti üretilmiş olur. İçerdeki elektrik alan, elektronları eklem pozitif, boşlukları da negatif tarafa doğru götürür. Bu da bir sayıcı ile sayılabilen bir puls oluşmuştur. Şekil 9'da yarıiletken dedektörlerin genel şematik gösterimi verilmiştir (Damla, 2009).



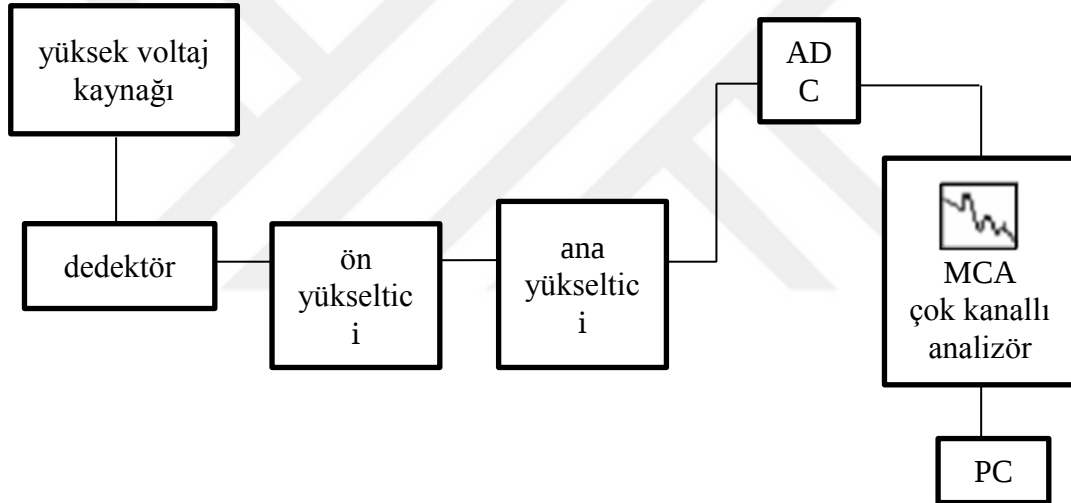
Şekil 9. Yarı iletken dedektörlerin genel şematik gösterimi

Yarı iletken dedektörün avantajları aşağıdaki gibidir:

- 1- Çok düşük verimsiz zamana sahip olmaları sebebi ile çok yüksek sayma hızına sahiptirler.
- 2- Dedektörün cevabı, iyonlaştırıcı partiküllerin arındırılmış tabakada oluşturdukları enerji ile orantılıdır.
- 3- Yaklaşık olarak 25 – 300 V gibi çok düşük voltajlarda çalışır (TAEK Rapor No:32,1985)

Gama Spektrometrisi Çalışma Prensipleri

Bilinen bir gama spektrometre sistemi NaI(Tl) olan sintilasyon ve Ge(Li) ve HPGe gibi yarı iletken bir dedektör (D), yanında ön yükseltici (PA) ve yüksek voltaj filitresi ile, güç kaynağı (HV), yükseltici (MA), analog sayısal dönüştürücü (ADC), çok kanallı analizör (MCA) ve bilgisayar (PC) yazıcından oluşur. Gama ışınlarının dedektör kristalinde anlaşılması sonucu meydana gelen darbeler dedektörün bağlı olduğu elektronik modüllerin uygun bir kombinasyonu yardımıyla analiz yapılır ve gama ışını yayan izotopların nitel ve nicel anlamı yapılır. Gama spektrometresi farklı radyoaktif örneklerdeki radyoizotopların anlaşılmasında en çok kullanılan yöntemdir, çünkü gama ışınlarının enerjisi her bir çekirdek için kesikli ve karakteristiktir. Şekil 10'da gama spektrometri sisteminin çalışma düzeneği gösterilmiştir.



Şekil 10. Gama spektrometre sisteminin çalışma şeması

Gama spektrometresinin bazı özellikleri:

- 1- Aynı örneklerin çeşitli radyoaktif çekirdekler ile birer birer ve aynı anda analiz yapılabilir.
- 2- Malzeme, uzun, yorucu ve özenli çalışmaya neden olan kimyasal ayırma işlemleri gerektirmediğinden numune hazırlanması kolay ve hızlıdır.
- 3- Ölçümlerde meydana gelen yüksek kararlılıklar, bilgi işlemindeki doğruluk ve analiz bilgilerin güvenilirliği oluşur.
- 4- Düşük tayin sınırı nedeniyle genellikle çevre örnekleri analizinde kullanılır.

1.9. ay (*Cemaleia sinensis*) ve özellikleri

ay (*Cemaleia sinensis*) ok eski yıllardan beri taze yapraklarının suda kaynatılması ile elde edilen bir içecek türüdür. Türkiye’de Gürcistan sınırından başlayıp Fatsa’ya kadar olan bölge içerisinde üretilmektedir. Dünyada başlıca çay üretici lkeler Srilanka, in, Türkiye, Kenya, Endonezya ve Vietnam’dır. Türkiye’de kişi başi çay tüketiminin yıllık 3.5 kg olduğu tahmin edilmektedir.



şekil 11. ay bitkisi

ay içerdiği tannik asit sebebi ile acıyı hafifletme özelliğine sahiptir. Kullanılmış ay suyuyla bitkiler sulandığında daha hızlı büyür ve daha parlak görünür. Ayrıca ay kozmetik endüstrisinin önemli hammaddelerinden biridir. ay göz altı morlukları için kompress olarak kullanılmaktadır. Kesiklerden meydana gelen kanamayı yavaşlatma özelliğine sahiptir. Böcek ısırılmalarında kaşıntı oluşumunu dindirme özelliğine sahiptir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Çalışma Alanı

Bu çalışmada Rize ili Merkez İlçe İyidere, Derrepazarı, Çayeli, Pazar, Ardeşen, Fındıklı, Çamlıhemşin, Güneysu, İkizdere ve Kalkandere olmak üzere 11 ilçeden 32 farklı istasyondan çay numuneleri toplandı. Çay numunelerinin toplandığı istasyonlar ve koordinatları Tablo 4’de gösterildi.



Şekil 12. Rize ili haritası (URL-1)

Tablo 4. Çay örneklerinin toplandığı istasyonlar ve koordinatları

İstasyon No	İlçe	İstasyon	Koordinat
İY1	İyidere	Çiftlik	40°.59'13.5" N- 40°.23'14.4" E
İY2		Hazar	40°.59'17.1" N- 40°.20'49.3" E
İY3		Yapraklar	41°00'01.6"N 40°22'44.6"E
D1	Derepazarı	Sandıktaş	41°.01'07.9" N- 40°.23'39.2" E
D2		Maltepe	40°.59'03.6" N- 40°.25'55.3" E
D3		Bürücek	41°.01'25.0" N- 40°.36'39.5" E
M1	Merkez İlçe	Çiftekavak	41°.01'59.6" N- 40°.28'44.2" E
M2		Fener	41°.01'59.2" N- 40°.29'21.6" E
M3		Gündoğdu	41°.03'04.9" N- 40°.37'07.4" E
Ç1	Çayeli	Yenihisar	41°.02'31.9" N- 40°.40'35.2" E
Ç2		Madenli	40°.59'33.3" N- 40°.47'51.8" E
Ç3		Kesmetaş	41°.07'01.2" N- 40°.45'32.9" E
P1	Pazar	Şentepe	41°.05'51.4" N- 40°.54'05.3" E
P2		Güneyköy	41°.08'19.1" N- 40°.48'48.7" E
P3		Ocakköyü	41°.10'15.6" N- 40°.55'43.1" E
A1	Ardeşen	Fırtına Mah.	41°10'44.9"N- 40°57'43.7"E
A2		Ardeşen Merkez	41°.11'03.6" N- 40°.58'56.8" E
A3		Aşağıdurak	41°.07'16.4" N- 41°.04'34.9" E
F1	Fındıklı	Gurupid	41°.14'50.9" N- 41°.07'13.1" E
F2		Sümer	41°.17'13.3" N- 41°.13'25.3" E
F3		Sulak Köy	41°.13'06.9" N- 41°.12'12.2" E
ÇH1	Çamlı Hemşin	Yağmur	41°.04'37.8" N- 41°.01'21.6" E
ÇH2		Topluca	41°.03'50.5" N- 41°.01'37.7" E
ÇH3		Dikkaya	41°.05'03.9" N- 41°.01'39.7" E
G1	Güneysu	Dumankaya	40°.58'07.1" N- 40°.35'49.4" E
G2		Gürgen	40°.57'10.3" N- 40°.39'24.6" E
G3		Ulucami	40°.59'11.4" N- 40°.36'28.3" E
İK1	İkizdere	Şimşirli	40°.48'52.0" N- 40°.29'35.8" E
İK2		İkizdere Merkez	40°.46'32.5" N- 40°.33'31.0" E
K1	Kalkandere	Kalkandere Merkez	40°.54'47.5" N- 40°.25'36.5" E
K2		Hurmalık	40°.51'34.6" N- 40°.28'37.1" E
K3		Dülgerli	40°.54'25.2" N- 40°.28'36.6" E

2.2. ay rneklerinin Analize Hazırlanması

Labaratuara getirilen çay numuneleri etüvde 24 saat boyunca 105°C’de kurumaya bırakılmıştır. Bütün ay numunelerinde homojen dağılım sağlamak için numuneler bitki ğtcsnde ğtlerek toz haline getirilmiş ve 1 mm’lik elekten geçirildikten sonra hassas terazide kütleleri tartılmıştır. Tartılan numuneler 100 ml’lik polietilen kutulara konularak kapatılmıştır ve bu kutuların üzerine numune bilgileri etiketlere yazılıp üzerlerine yapıştırılmıştır. Radyoaktif dengeye gelmeleri için en az 4 hafta bekletilen numuneler sırasıyla HPGe dedektörde 60.000 sn için analize bırakılmıştır.



şekil 13. Çalışmada kullanılan elek, hassas terazi ve bitki ğtcs



Şekil 14. Analize hazır hale getirilen numuneler



Şekil 15. Çalışmada kullanılan etüv

2.3. Gama Spektrometrik Analiz Sistemi

Bu çalışmadaki gama spektrometrik ölçümlerde HPGe dedektörü kullanılmıştır. Bu dedektör Şekil 16’de gösterilmiştir.

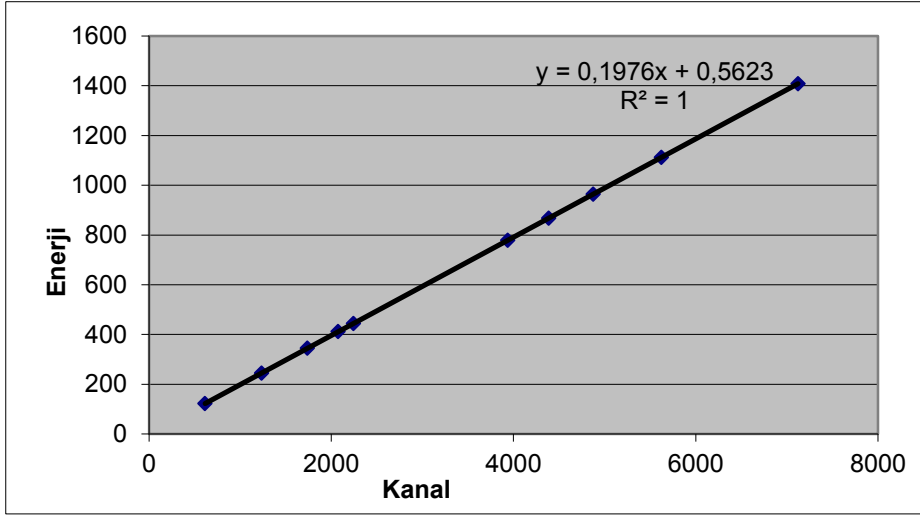


Şekil 16. Çalışmada kullanılan gama spektrometrik analiz sistemi

2.4. Enerji Kalibrasyonu

Çok kanallı analizörde (MCA) elde edilen spektrumda gama enerjilerinin analiz edilebilmesi için, kanalların herbirinin hangi enerjiye karşılık geldiğinin bilinmesi gerekir. Enerji kalibrasyonu yapmak için, dedektör önüne konulan standart kaynağın spektrumu elde edilerek enerjilerin hangi kanallara karşılık geldiği tespit edilir. Şekil 17’de enerjinin kanallara göre değişim grafiği gösterilmiştir.

Enerji kalibrasyonunun yapılabilmesi için, gama enerjileri bilinen standart bir gama kaynağına ihtiyaç vardır. Bu çalışmada birçok gama enerji geçişine sahip ^{152}Eu kalibrasyon kaynağı kullanılmıştır.



Şekil 17. Enerji kanal grafiği

2.5. Verim Kalibrasyonu

Dedektörün saydığı gama sayımlarının gerçek değerini bulabilmek için dedektöre ait verim düzeltmesinin yapılması gereklidir. İlgilenilen enerjilerdeki dedektör verimleri Denklem 15 kullanılarak hesaplanmıştır (Keser, 2009). Burada

ϵ : dedektörünün ilgilenilen gama enerjisindeki verimi

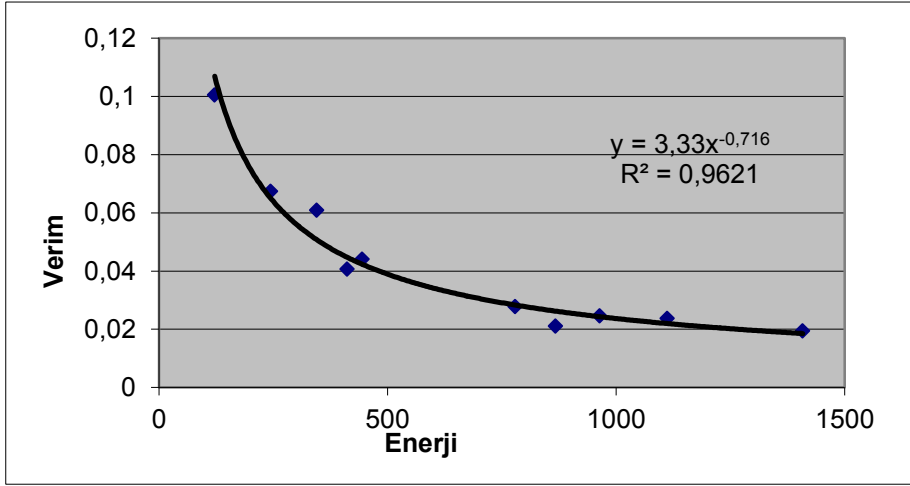
N: ilgilenilen enerjideki toplam sayım hızı (sayım/zaman)

A: verim kalibrasyonu için kullanılan standart kaynağın o anki aktivitesi (boz/s),

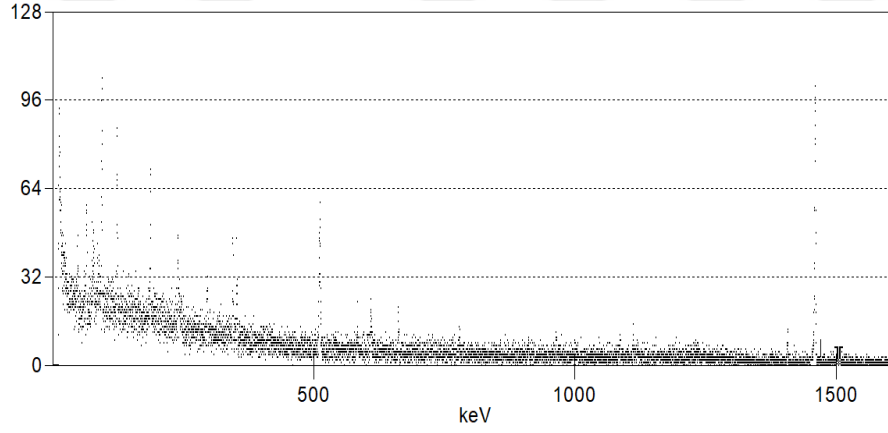
$I\gamma\%$: ilgilenilen gama ışınının bolluğudur

$$E = \frac{N}{A I\gamma\%} \quad (15)$$

Böylece farklı gama enerjileri için hesaplanmış olan verim değerlerinin ilgili gama enerjilerine karşı grafiği (Şekil 18) çizdirilerek eğri denklemi elde edilmiştir.



Şekil 18. Verim enerji grafiği



Şekil 19. Çay örneği için gama spektrum örneği

2.6. Aktivite Hesabı

Ölçümler sonucunda elde edilen radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonlarını hesaplamak için dedektör verimi de hesaba katılarak Denklem 16 ifadesinden yararlanıldı (Keser vd, 2011)

$$\text{Aktivite} = \frac{\text{Net Alan}}{\text{Sayım Süresi} \cdot \text{Kütle} \cdot \text{Dallanma Miktarı} \cdot \text{Verim}}$$

^{238}U serisi için 295 keV, 351 keV ve 609 keV, ^{232}Th serisi için 911 keV ve 968 keV, ^{137}Cs için 661 keV ve ^{40}K için 1460 keV enerjisindeki pikler kullanıldı.

2.7. Minimum Dedeksiyon Limiti

Minimum dedeksiyon limiti, belli şartlar altında ölçüm sisteminin dedeksiyon kapasitesini ifade etmek için kullanılan bir terimdir. Minimum Dedeksiyon Limiti (mdl) için Denklem 17 kullanıldı (IAEA,1989).

$$MDL = 4.66\sqrt{Background} / t.Y.m.\eta \quad (17)$$

Burada t: sayım zamanı, Y: bolluk, m: kütle ve η : fotopikteki verimdir. Tablo 5’de Çay örnekleri için dedekte edilen radyonüklitlerin minimum dedeksiyon limitleri gösterilmiştir.

Tablo 5.Çay örnekleri için dedekte edilen radyonüklitlerin minimum dedeksiyon limitleri

Ana Çekirdek	Ürün Çekirdek	Enerji (keV)	mdl (Bq/kg)
²³⁸ U	²¹⁴ Pb	295	3.72
	²¹⁴ Pb	351	1.12
	²¹⁴ Bi	609	1.31
²³² Th	²²⁸ Ac	911	2.11
	²²⁸ Ac	968	0
¹³⁷ Cs	¹³⁷ Cs	661	0
⁴⁰ K	⁴⁰ K	1460	10.52

2.8 .Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri Hesabı

Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri, insanların farklı radyasyon türlerinden yayılan ışınlarla maruz kalması ile bir yıl içerisinde alacağı radyasyon miktarı olarak tanımlanır. Birimi Sievert'tir. Denklem 18 ile yıllık etkin doz eşdeğeri hesaplanır (Keser vd, 2011).

$$H_{T,r} = \sum (U_i C^r) g_{T,r} \quad (18)$$

Burada U_i : Yıllık çay tüketim miktarı, C^r : İlgilenilen radyonüklit için aktivite konsantrasyonu, $g_{T,r}$: İlgilenilen radyonüklitler için doz katsayısı

3. BULGULAR

3.1. ay örneklerindeki Radyoaktivite Konsantrasyonları

ernobilden 30 yıl sonra Rize ili ve ilçelerindeki çay örneklerinde doğal ve yapay radyoaktivite düzeylerinin belirlendiği bu çalışmada, çay örneklerindeki ^{238}U , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları Tablo 6’da, çay örneklerindeki ^{238}U , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının ilçelere göre ortalaması Tablo 7’de gösterilmektedir.

Tablo 6. Çay örneklerindeki ^{238}U , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları (Bq/kg)

İstasyon No	İlçe	İstasyon	^{238}U	^{232}Th	^{137}Cs	^{40}K
İY1		Çiftlik	3.19±0.40	mdl	2.99±0.29	425.41±9.82
İY2	İyidere	Hazar	6.89±0.79	5.10±0.81	0	502.93±13.43
İY3		Yapraklar	3.69±0.32	6.29±0.77	6.30±0.46	265.55±8.52
D1		Sandıktaş	mdl	mdl	8.85±0.37	296.03±6.81
D2	Derepazarı	Maltepe	mdl	mdl	10.19±0.45	396.08±9.51
D3		Bürücek	5.26±0.47	3.07±0.48	2.56±0.26	720.91±17.52
M1		Çiftekavak	mdl	Mdl	15.35±0.48	511.57±9.26
M2	Merkez	Fener	5.15±0.62	mdl	0	438.68±13.1
M3		Gündoğdu	3.06±0.37	2.68±0.48	24.40±0.66	306.13±8.02
Ç1		Yenihisar	3.18±0.36	3.48±0.50	6.71±0.40	432.18±9.55
Ç2	Çayeli	Madenli	mdl	4.52±0.66	19.26±0.62	348.22±8.88
Ç3		Kesmetaş	mdl	mdl	11.44±0.41	300.21±6.75
P1		Şentepe	2.30±0.29	4.02±0.55	50.78±0.85	372.81±10.07
P2	Pazar	Güneyköy	3.50±0.36	2.16±0.37	8.06±0.41	370.97±9.50
P3		Ocakköyü	6.04±0.59	mdl	9.55±0.44	382.36±8.64
A1		Fırtına	7,31±0.78	9.39±1.48	1,95±0.33	225.23±8.40
A2	Ardeşen	Düz				
		Mahalle	6.60±0.77	7.82±0.95	2.54±0.36	426.85±11.52
A3		Aşağıdurak	mdl	mdl	4.43±0.28	148.97±4.50
F1		Gurupid	6.32±0.59	2.50±0.41	56.54±0.89	211.64±6.17
F2	Fındıklı	Sümer	mdl	12.42±1.87	4.06±0.69	529.44±17.84
F3		Sulakköy	2.83±0.34	4.01±0.64	0.92±0.23	277.29±7.15
ÇH1	Çamlı	Yağmur	4.91±0.47	mdl	1.13±0.21	345.17±7.84
ÇH2	hemşin	Topluca	4.50±0.41	3.55±0.49	1.89±0.28	320.49±6.92
ÇH3		Dikkaya	mdl	mdl	0	329.71±7.98
G1		Dumankaya	2.46±0.19	mdl	0.83±0.21	369.13±7.53
G2	Güneysu	Gürgen	6.09±0.63	6.11±0.85	8.46±0.45	400.17±9.88
G3		Ulucami	mdl	mdl	7.85±0.45	424.73±12.95
İK1	İkizdere	Şimşirli	mdl	mdl	8.42±0.35	378.58±7.65
İK2		Merkez	4.28±0.38	2.30±0.39	Te	363.26±7.70
K1		Merkez	3.12±0.48	2.94±0.48	9.75±0.48	349.5±8.56
K2	Kalkandere	Hurmalık	mdl	6.44±0.98	2.72±0.48	474.51±14.8
K3		Dülgerli	5.95±0.91	mdl	47.54±0.92	267.56±8.27
	Minimum		mdl	mdl	Te	148.97
	Maksimum		7.31	12.42	56.54	720.91
	Ortalama		4.60	4.93	11.98	372.25

mdl: Minimum dedeksiyon limiti altında, te: tespit edilemedi

Tablo 7. Çay örneklerindeki ^{238}U , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının ilçelere göre ortalaması (Bq/kg)

İlçeler	^{238}U	^{232}Th	^{137}Cs	^{40}K
İyidere	4.59	5.69	4.65	397.96
Derepazarı	5.26	3.07	7.20	471.01
Merkez İlçe	4.10	2.68	19.87	418.79
Çayeli	3.18	3.27	12.47	360.20
Pazar	3.94	3.09	22.80	375.38
Ardeşen	6.95	8.60	2.97	267.01
Fındıklı	4.57	6.31	20.51	339.39
Çamlıhemşin	4.70	3.55	1.51	331.79
Güneysu	4.27	6.11	5.71	398.01
İkizdere	4.28	2.68	8.42	370.92
Kalkandere	4.53	4.69	20.0	363.86
minimum	3.18	2.68	1.51	267.01
maksimum	6.95	8.60	22.80	471.01
ortalama	4.19	4.14	10.50	341.19

3.2. Çay Örneklerindeki Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri

Bu çalışmadaki çay örneklerindeki ^{238}U , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının yıllık etkin doz eşdeğerleri Tablo 8’de, çay örneklerindeki ^{238}U , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının yıllık etkin doz eşdeğerlerinin ilçelere göre ortalaması Tablo 9’da gösterilmektedir.

Tablo 8. Çay örneklerindeki ^{238}U , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının yıllık etkin doz eşdeğerleri ($\mu\text{Sv/yıl}$)

İstasyon No	İlçe	İstasyon	^{238}U	^{232}Th	^{137}Cs	^{40}K	$\Sigma\text{H}_{\text{T,r}}$
İY1		Çiftlik Mah.	0.5024	Te	0.136	9.231	9.870
İY2	İyidere	Hazar	1.0852	4.1055	0.000	10.914	16.104
İY3		Yapraklar	0.5812	5.0635	0.287	5.762	11.694
D1		Sandıktaş	te	-	0.403	6.424	6.827
D2	Derepazarı	Maltepe	te	0.0000	0.464	8.595	9.059
D3		Bürücek	0.8285	2.4714	0.116	15.644	19.060
M1		Çiftekavak	te	Te	0.698	11.101	11.799
M2	Merkez	Fener	0.811	Te	0.000	9.519	10.330
M3		Gündoğdu	0.4820	2.1574	1.110	6.643	10.393
Ç1		Yenihisar	0.5009	2.8014	0.305	9.378	12.986
Ç2	Çayeli	Madenli	te	3.6386	0.876	7.556	12.071
Ç3		Kesmetaş	te	Te	0.521	6.515	7.035
P1		Şentepe	0.3623	3.2361	2.310	8.090	13.999
P2	Pazar	Güneyköy	0.5513	1.7388	0.367	8.050	10.707
P3		Ocakköyü	0.9513	Te	0.435	8.297	9.683
A1		Fırtına	1.1513	7.5590	0.089	4.887	13.686
A2	Ardeşen	Düz Mahalle	1.0395	6.2951	0.116	9.263	16.713
A3		Aşağıdurak	te	Te	0.202	3.233	3.434
F1		Gurupid	0.9954	2.0125	2.573	4.593	10.173
F2	Fındıklı	Sümer	te	9.9981	0.185	11.489	21.672
F3		Sulakköy	0.4457	3.2281	0.042	6.017	9.733
ÇH1		Yağmur	0.7773	Te	0.051	7.490	8.315
ÇH2	Çamlıhemşin	Topluca	0.7088	2.8578	0.086	6.955	10.607
ÇH3		Dikkaya	te	Te	0.000	7.155	7.155
G1		Dumankaya	0.3875	Te	0.038	8.010	8.435
G2	Güneysu	Gürgen	0.9592	4.9186	0.385	8.684	14.946
G3		Ulucami	te	Te	0.357	9.217	9.574
İK1	İkizdere	Şimşirli	te	Te	0.383	8.215	8.598
İK2		Merkez	0.6741	1.8515	0.000	7.883	10.408
K1		Merkez	0.4914	2.3667	0.444	7.584	10.886
K2	Kalkandere	Hurmalık	te	5.1842	0.124	10.297	15.605
K3		Dülgerli	0.937	Te	2.163	5.806	8.906
	Minimum		te	Te	te	3.233	3.434
	Maksimum		1.15	9.998	2.573	15.644	19.060
	Ortalama		0.724	3.971	0.545	8.078	11.264

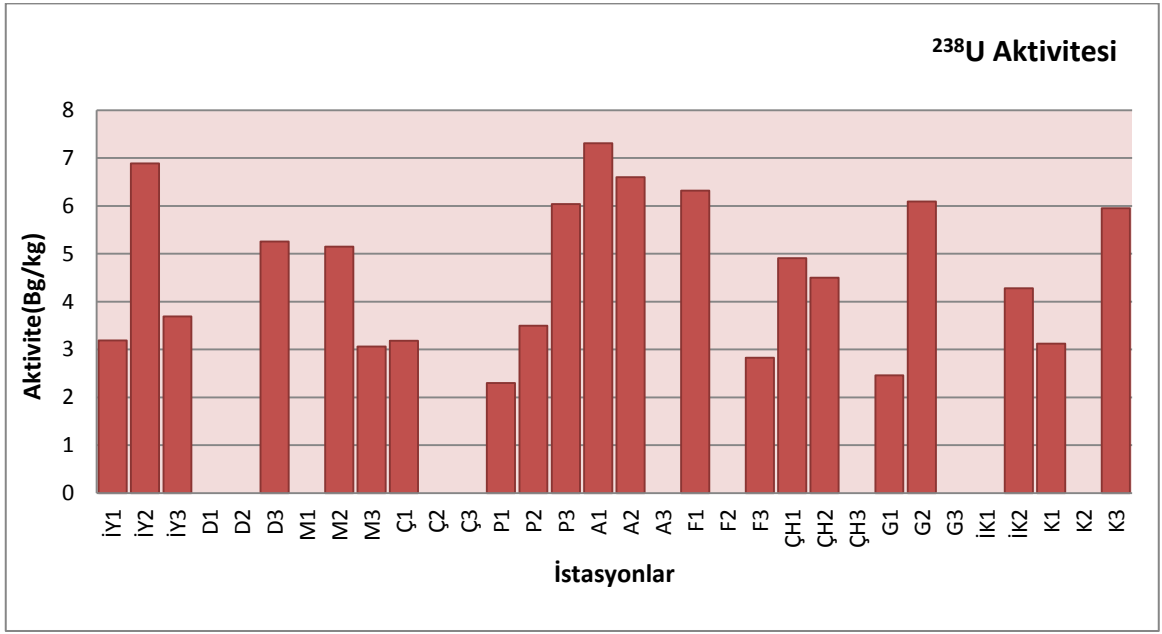
te: tespit edilemedi

Tablo 9. Çay örneklerindeki ^{238}U , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının yıllık etkin doz eşdeğerlerinin ilçelere göre ortalaması ($\mu\text{Sv/yıl}$)

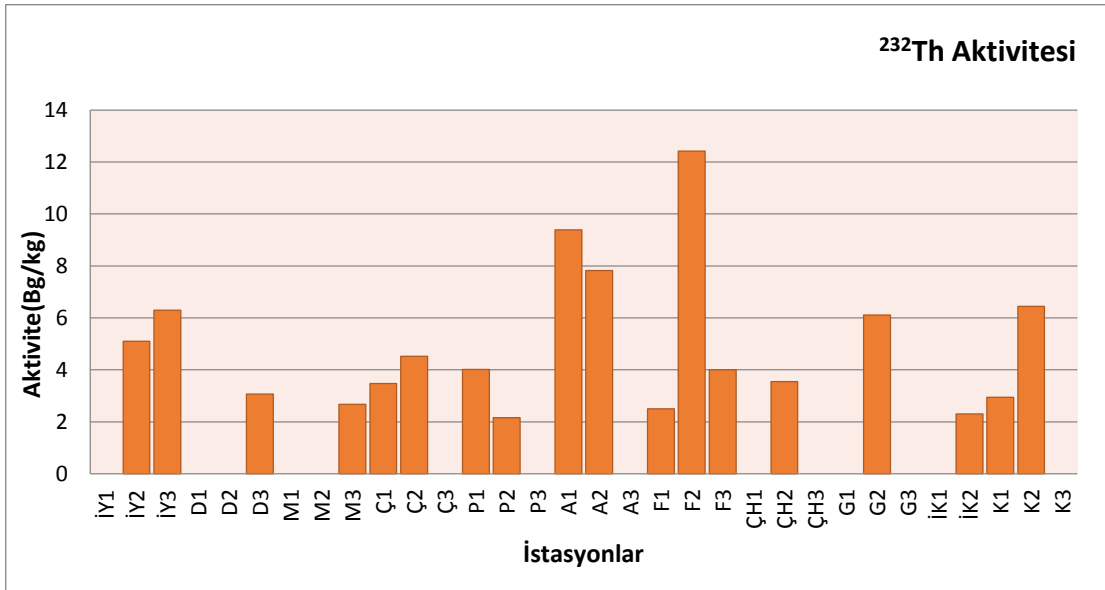
İlçeler	H_{U}	H_{Th}	H_{Cs}	H_{K}	$\Sigma\text{H}_{\text{T,r}}$
İyidere	0.722	4.580	0.212	8.636	14.151
Derepazarı	0.828	2.471	0.328	10.221	13.848
Merkez İlçe	0.645	2.157	0.904	9.088	12.795
Çayeli	0.501	2.632	0.567	7.816	11.517
Pazar	0.620	2.487	1.037	8.146	12.291
Ardeşen	1.094	6.923	0.135	5.794	13.947
Fındıklı	0.719	5.079	0.933	7.365	14.097
Çamlıhemşin	0.740	2.857	0.069	7.200	10.867
Güneysu	0.672	4.918	0.260	8.637	14.488
İkizdere	0.674	2.157	0.383	8.049	11.264
Kalkandere	0.713	3.775	0.910	7.896	13.295
minimum	0.501	2.157	0.069	5.794	10.867
maksimum	1.094	6.923	1.037	10.221	14.488
ortalama	0.720	3.639	0.521	7.422	12.960

4. TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Rize ili ve ilçelerinden toplanan çay örneklerindeki ^{238}U , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları Tablo 6’da verilmektedir. Bu tablodaki verilere göre çay örneklerindeki ^{238}U , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K aktivite konsantrasyonu grafikleri sırasıyla Şekil 20-23’de verilmektedir.



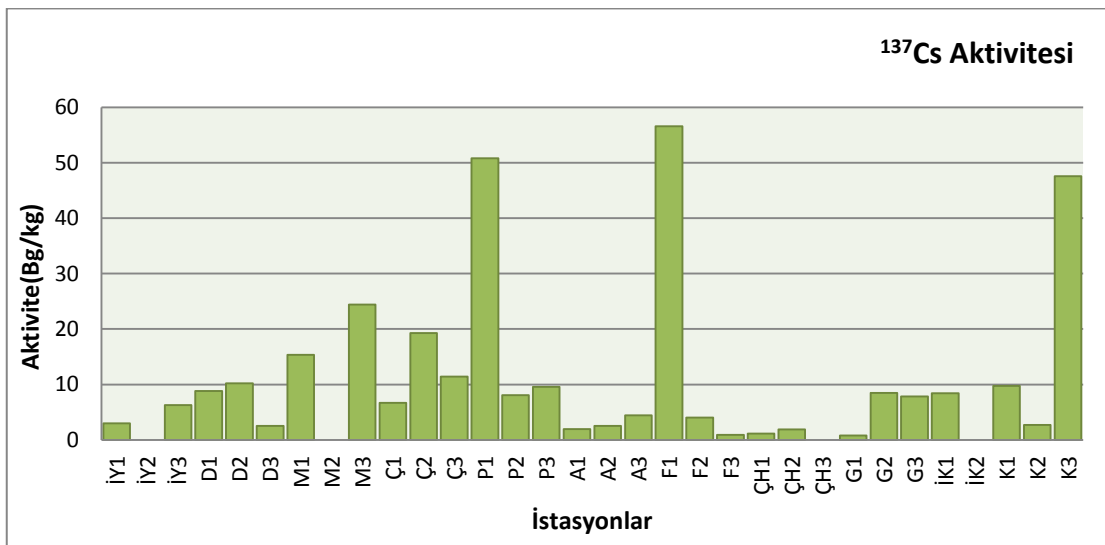
Şekil 20. Çay örneklerindeki ^{238}U aktivite konsantrasyonları



Şekil 21. Çay örneklerindeki ^{232}Th aktivite konsantrasyonları

Tablo 6 ve Şekil 20 incelendiğinde çay örneklerindeki en yüksek ^{238}U aktivite konsantrasyonunun 7.31 Bq/kg ile Ardeşen Fırtına (A1) istasyonunda olduğu, bunu sırasıyla 6.89 Bq/kg ile İyidere Hazar (İY2), 6.60 Bq/kg ile Ardeşen Düz Mahalle (A2), 6.32 Bq/kg ile Fındıklı Gurupid (F1), 6.09 Bq/kg ile Güneysu Gürgen (G2) ve 6.04 Bq/kg ile Pazar Ocakköyü (P3) istasyonlarının izlediği görülmektedir. Derapazarı Sandıktaş (D1) ve Maltepe (D2), Rize Merkez İlçe Çiftekavak (M1), Çayeli Madenli (Ç2) ve Kesmetaş (Ç3), Ardeşen Aşağıdurak (A3), Fındıklı Sümer (F2), Çamlıhemşin Dikkaya (ÇH3), Güneysu Ulucami (G3), İkizdere Şimşirli (İK1) ve Kalkandere Hurmalık (K2) istasyonlarında ^{238}U aktivitesine rastlanmadı. Geri kalan istasyonlarda ise çay örneklerindeki ^{238}U aktivite konsantrasyonlarının 2.30 Bq/kg ile 5.95 Bq/kg aralığında olduğu tespit edildi.

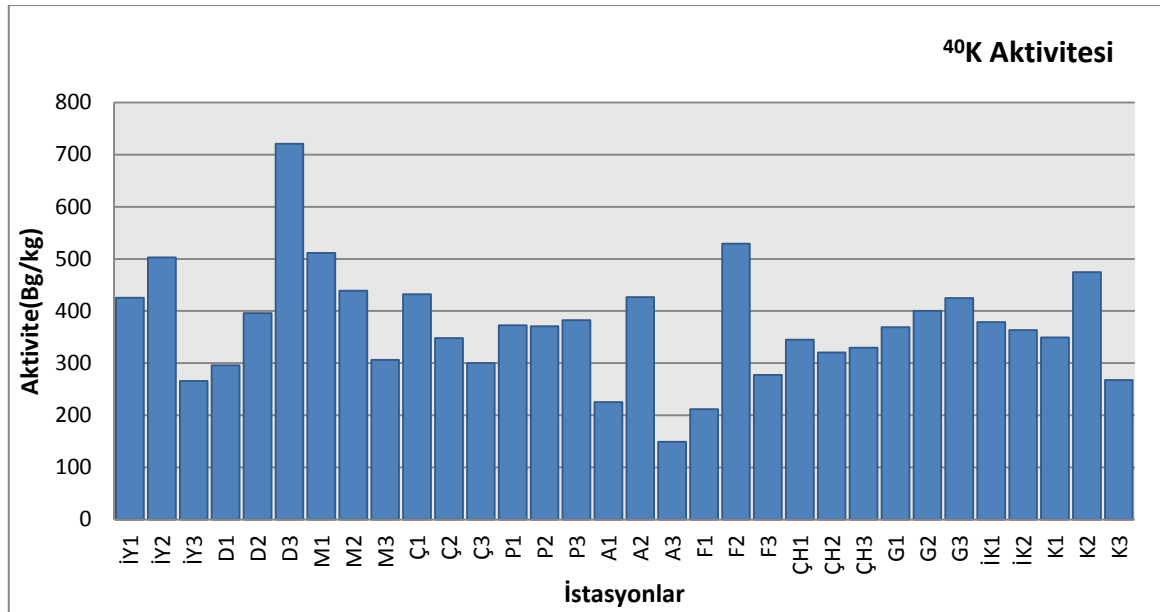
Tablo 6 ve Şekil 21 incelendiğinde çay örneklerindeki ^{232}Th aktivite konsantrasyonlarının Derapazarı Sandıktaş (D1) ve Maltepe (D2), Rize Merkez İlçe Çiftekavak (M1) ve Fener (M2), Çayeli Kesmetaş (Ç3), Pazar Ocakköyü (P3), Ardeşen Aşağıdurak (A3), Çamlıhemşin Yağmur (ÇH1) ve Dikkaya (ÇH3), Güneysu Dumankaya (G1) ve Ulucami (G3), İkizdere Şimşirli (İK1) ve Kalkandere Dülgerli (K3), istasyonlarında minimum dedeksiyon limitlerinin (mdl) altında olduğu, en yüksek ^{232}Th aktivite konsantrasyonunun 12.42 Bq/kg olarak Fındıklı Sümer (F2) istasyonunda bulunduğu, geri kalan istasyonlarda ise ^{232}Th aktivite konsantrasyonlarının 2.16 Bq/kg ve 9.39 Bq/kg aralığında tespit edildiği görülmektedir.



Şekil 22.Çay örneklerindeki ^{137}Cs aktivite konsantrasyonları

Tablo 6 ve Şekil 22 incelendiğinde çay örneklerindeki en yüksek ^{137}Cs aktivite

Konsantrasyonunun 56.54 Bq/kg olarak Fındıklı Gurupid (F1) istasyonunda olduğu, bunu sırasıyla 50.78 Bq/kg ile Pazar Şentepe (P1), 47.54 Bq/kg ile Kalkandere Dülgerli (K3), 24.40 Bq/kg ile Rize Merkez İlçe Gündoğdu (M3), 19.26 Bq/kg ile Çayeli Madenli (Ç2), 15.35 Bq/kg ile Rize Merkez İlçe Çiftekavak (M1) ve 11.44 Bq/kg ile Çayeli Kesmetaş (Ç3) istasyonlarının izlediği görülmektedir. İyidere Hazar (İY2) Rize Merkez İlçe Fener (M2), Çamlıhemşin Dikkaya (ÇH3) ve İkizdere Merkez (İK2) istasyonlarındaki çay örneklerinde ^{137}Cs aktivitesine rastlanmadı. Geri kalan istasyonlardaki çay örneklerinde ise ^{137}Cs aktivite konsantrasyonları 0.83 Bq/kg ile 10.19 Bq/kg aralığında tespit edildi.

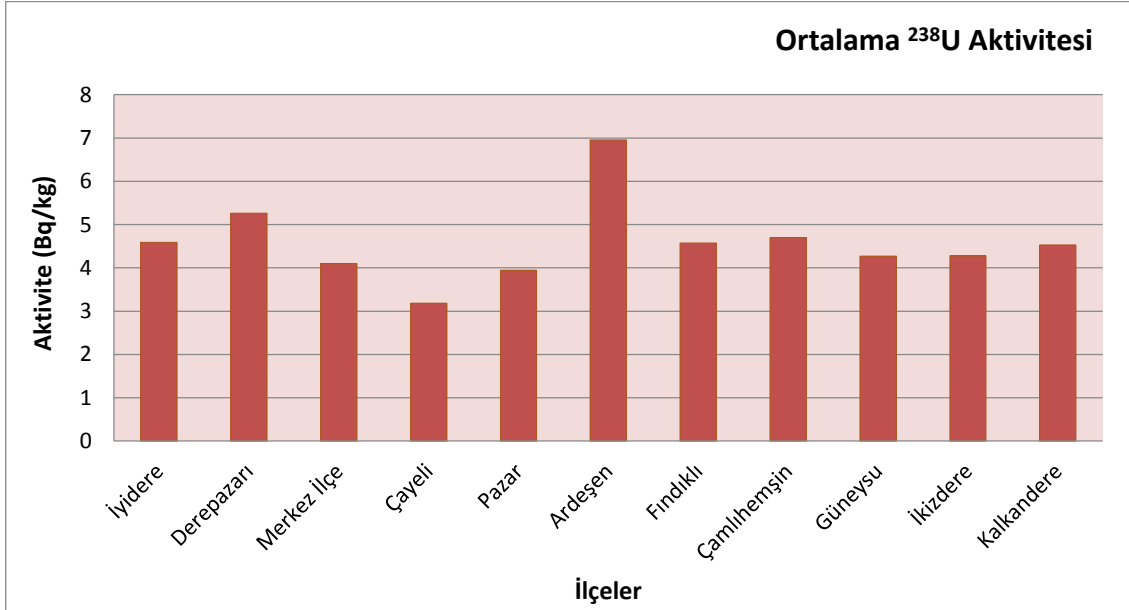


Şekil 23. Çay örneklerindeki ^{40}K aktivite konsantrasyonları

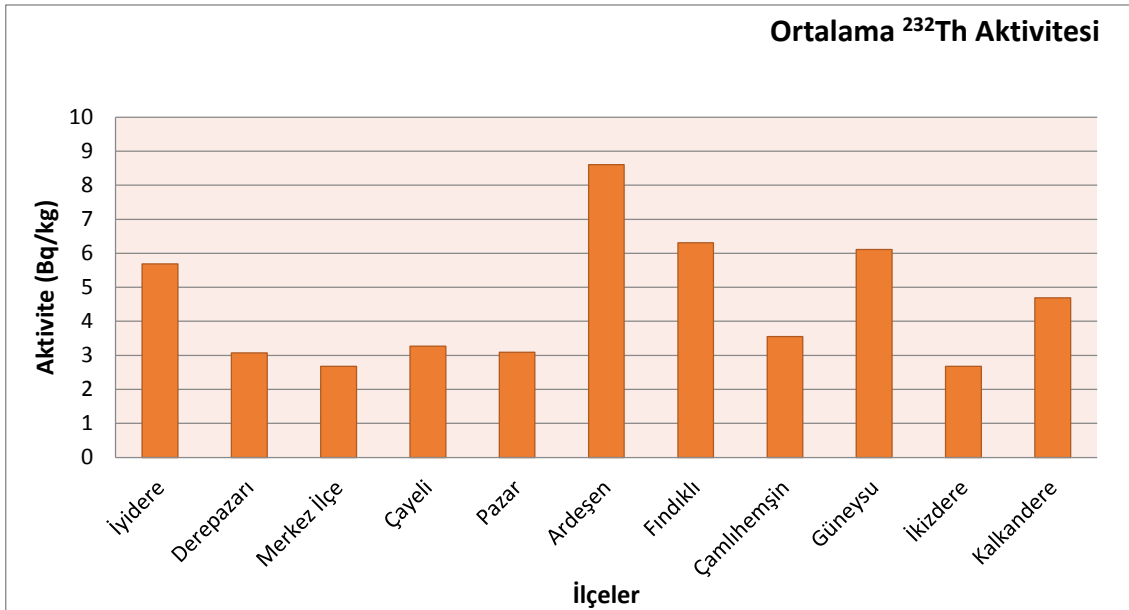
Tablo 6 ve Şekil 23 incelendiğinde çay örneklerindeki en yüksek ^{40}K aktivite konsantrasyonunun 720.91 Bq/kg ile Der pazarı Bürücek (D3) istasyonunda ve en düşük ^{40}K aktivite konsantrasyonunun 148.97 Bq/kg olarak Ardeşen Aşağıdurak (A3) istasyonunda olduğu görülmektedir. Geri kalan istasyonlardaki ^{40}K aktivite konsantrasyonları ise 211.64 Bq/kg ile 529.44 Bq/kg aralığında tespit edildi.

Rize ili ve ilçelerinden toplanan çay örneklerindeki ^{238}U , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının ilçelere göre ortalamaları Tablo 7’de verilmektedir. Bu tablodaki verilere göre çay örneklerindeki ^{238}U , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının ilçelere göre ortalama grafikleri sırasıyla Şekil 24-27’de gösterilmektedir.

Tablo 7, Şekil 24 ve Şekil 25 dikkate alındığında çay örneklerindeki ^{238}U aktivite konsantrasyonlarının ilçelere göre ortalaması en düşük Çayeli ilçesinde (3.18 Bq/kg) ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonlarının ilçelere göre ortalaması en düşük İkizdere ve Rize Merkez İlçe’de (2.68 Bq/kg) olduğu görülmektedir. Hem ^{238}U ve hem de ^{232}Th aktivite konsantrasyonlarının ilçe ortalamalarına göre en yüksek değeri ise sırasıyla 6.95 Bq/kg ve 8.60 Bq/kg olarak Ardeşen ilçesinde tespit edildi.

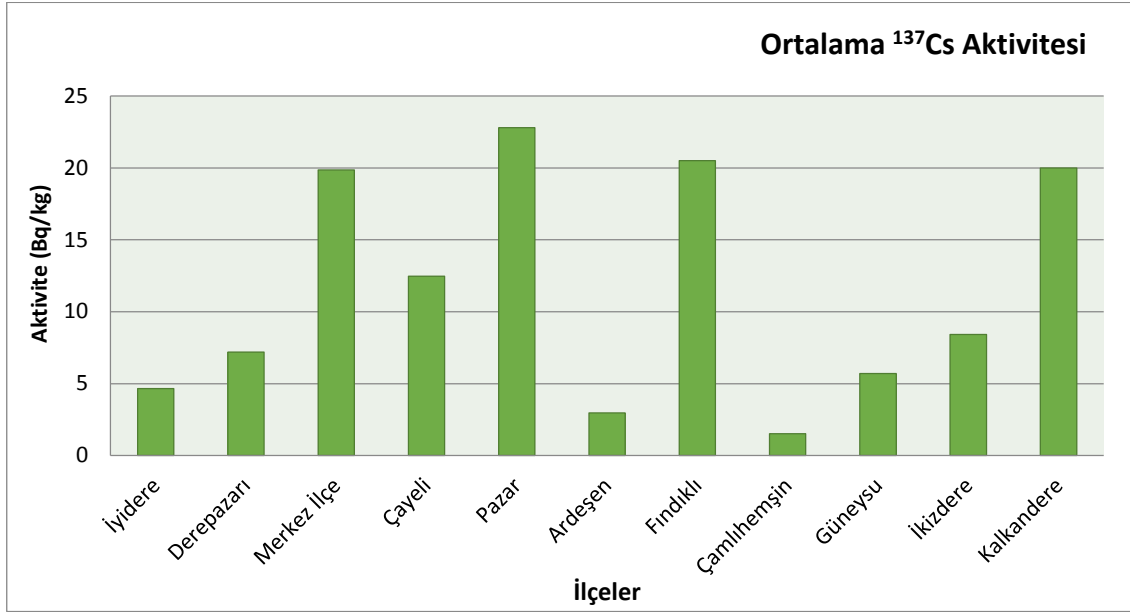


Şekil 24. Çay örneklerindeki ^{238}U aktivite konsantrasyonlarının ilçelere göre ortalaması

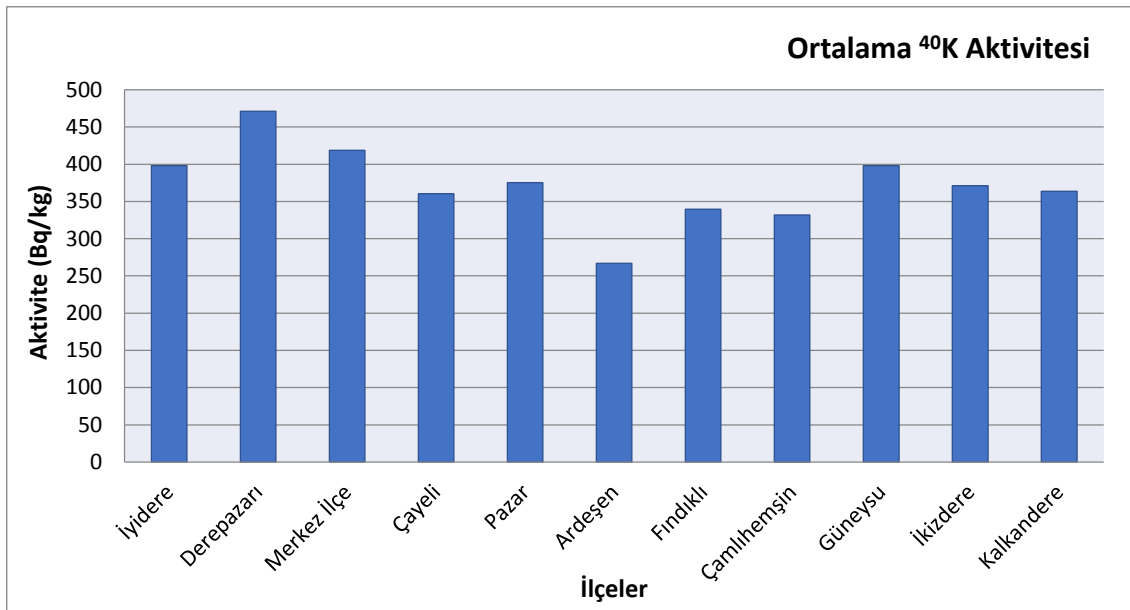


Şekil 25. Çay örneklerindeki ^{232}Th aktivite konsantrasyonlarının ilçelere göre ortalaması

Tablo 7 ve Şekil 26 incelendiğinde çay örneklerindeki ^{137}Cs aktivite konsantrasyonlarının ilçelere göre ortalamasının en yüksek değerinin 22.80 Bq/kg olarak Pazar ilçesinde ve en düşük değerinin 1.51 Bq/kg olarak Çamlıhemşin ilçesinde olduğu görülmektedir. Geri kalan ilçelerdeki ortalama ^{137}Cs aktivite konsantrasyonları ise 2.97 Bq/kg ile 20.51 Bq/kg aralığında tespit edildi.



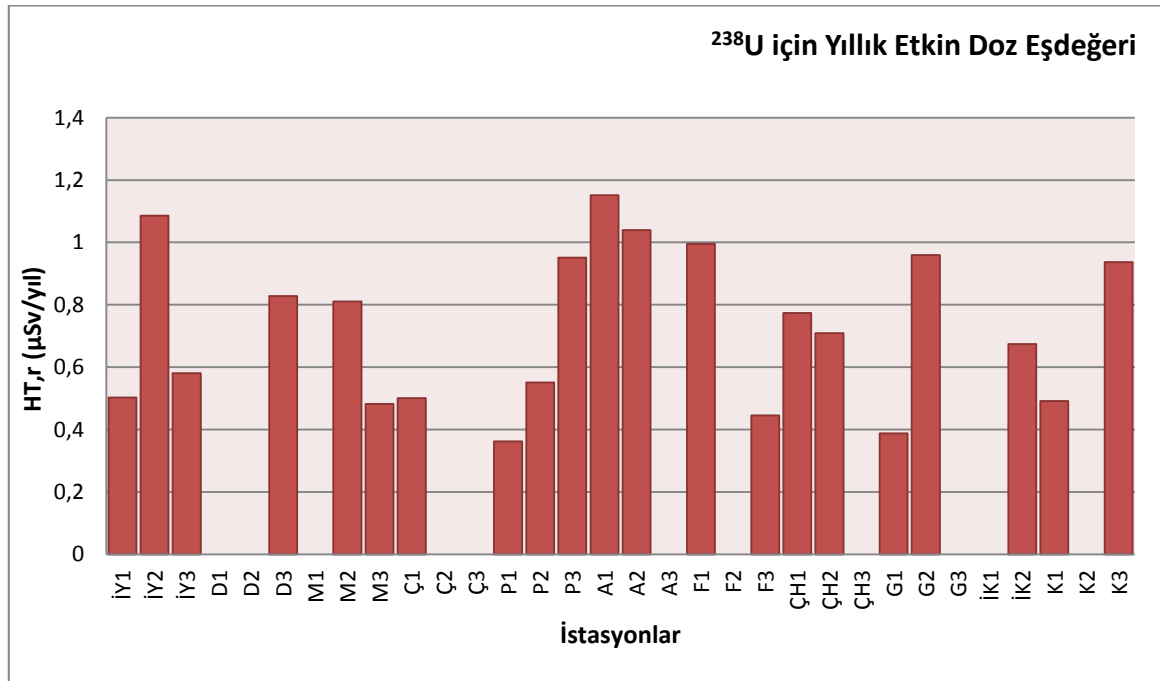
Şekil 26. Çay örneklerindeki ^{137}Cs aktivite konsantrasyonlarının ilçelere göre ortalaması



Şekil 27. Çay örneklerindeki ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının ilçelere göre ortalaması

Tablo 7 ve Şekil 27 incelendiğinde çay örneklerindeki ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının ilçelere göre ortalamasının en yüksek değerinin 471.01 Bq/kg olarak Der pazarı ilçesinde ve en düşük değerinin 267.01 Bq/kg olarak Ardeşen ilçesinde olduğu gör÷lmektedir. Geri kalan ilçelerdeki ortalama ^{40}K aktivite konsantrasyonları ise 331.79 Bq/kg ile 418.79 Bq/kg aralığında tespit edildi.

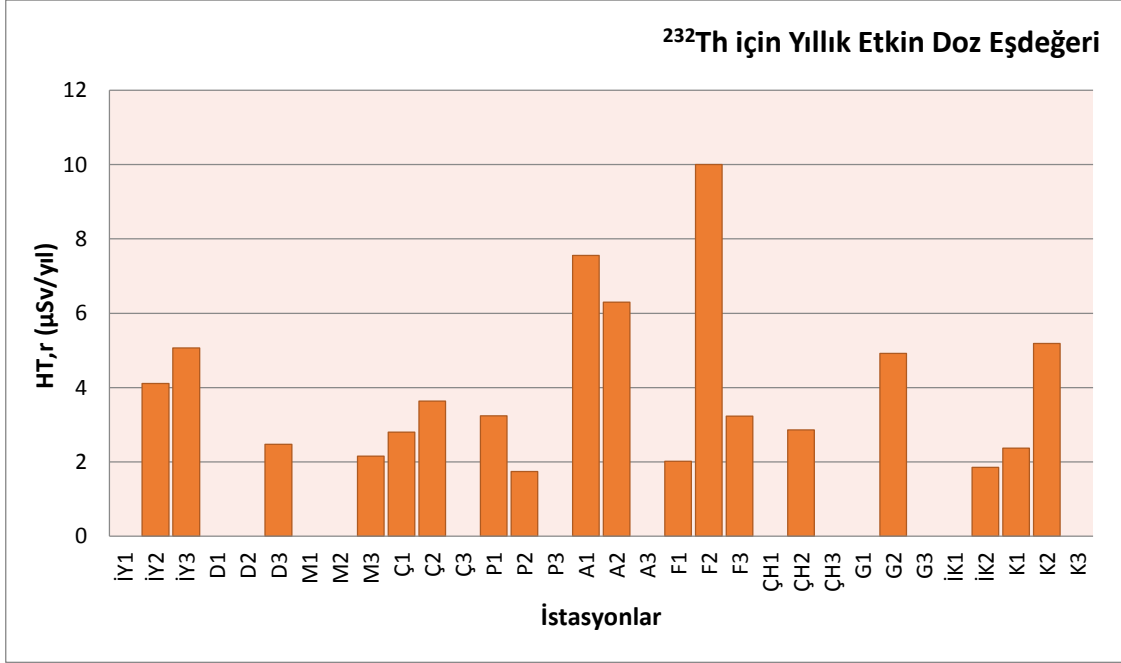
Çay örneklerindeki ^{238}U , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının yıllık etkin doz eşdeğerleri Tablo 8’de verilmektedir. Bu tablodaki verilere göre çay örneklerindeki ^{238}U , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının yıllık etkin doz eşdeğeri grafikleri sırasıyla Şekil 28-31’de gösterilmektedir.



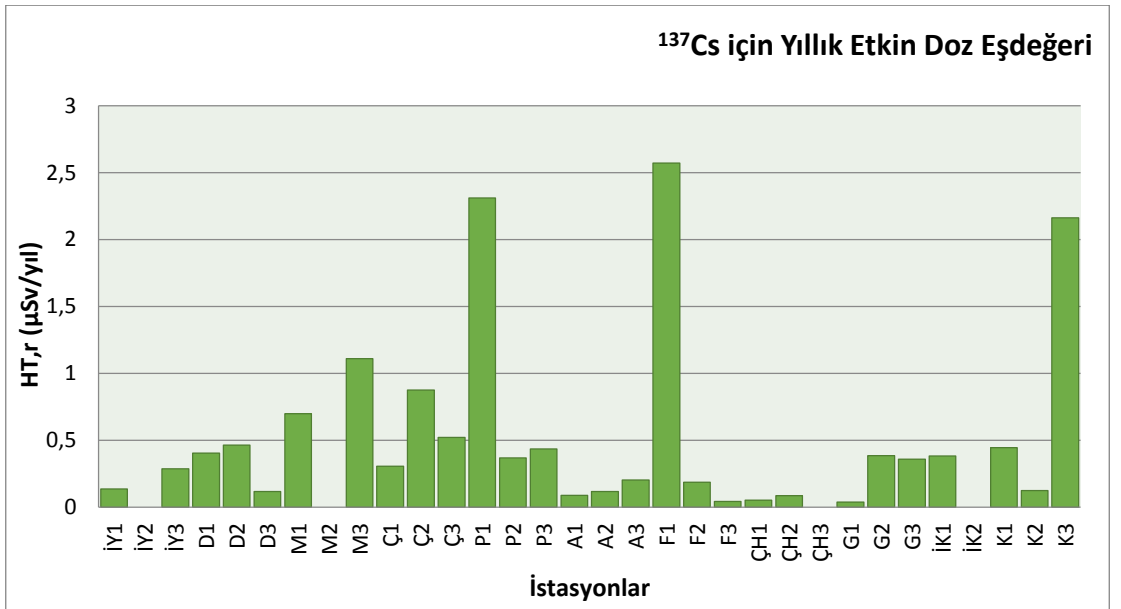
Şekil 28. Çay örneklerindeki ^{238}U aktivite konsantrasyonlarının yıllık etkin doz eşdeğerleri

Tablo 8, Şekil 28 ve Şekil 29 incelendiğinde çay örneklerindeki ^{238}U radyonüklitine ait en yüksek yıllık etkin doz eşdeğerinin 1.15 µSv/yıl olarak Ardeşen Fırtına (A1) istasyonunda ve ^{232}Th radyonüklitine ait en yüksek yıllık etkin doz eşdeğerinin 9.99 µSv/yıl olarak Fındıklı Sümer (F2) istasyonunda tespit edildi. Çayeli Madenli (Ç2), Fındıklı Sümer (F2) ve Kalkandere Hurmalık (K2) istasyonlarında ^{238}U radyonüklitinden, İyidere Çiftlik (İY1), Rize Merkez İlçe Fener (M2), Pazar Ocakköyü (P3), Çamlıhemşin Yağmur (ÇH1), Güneysu Dumankaya (G1) ve Kalkandere Dülgerli (K3) istasyonlarından ^{232}Th radyonüklitinden, Der pazarı Sandıktaş (D1) ve Maltepe

(D2), Rize Merkez İlçe Çiftekavak (M1), Çayeli Kesmetaş (Ç3), Ardeşen Aşağıdurak (A3), Çamlıhemşin Dikkaya (ÇH3), Güneysu Ulucami (G3) ve İkizdere Şimşirli (İK1) istasyonlarında ise hem ^{238}U hem de ^{232}Th radyonuklitlerinden kaynaklanan yıllık etkin eşdeğer doz değerlerine katkıların olmadığı görülmektedir.

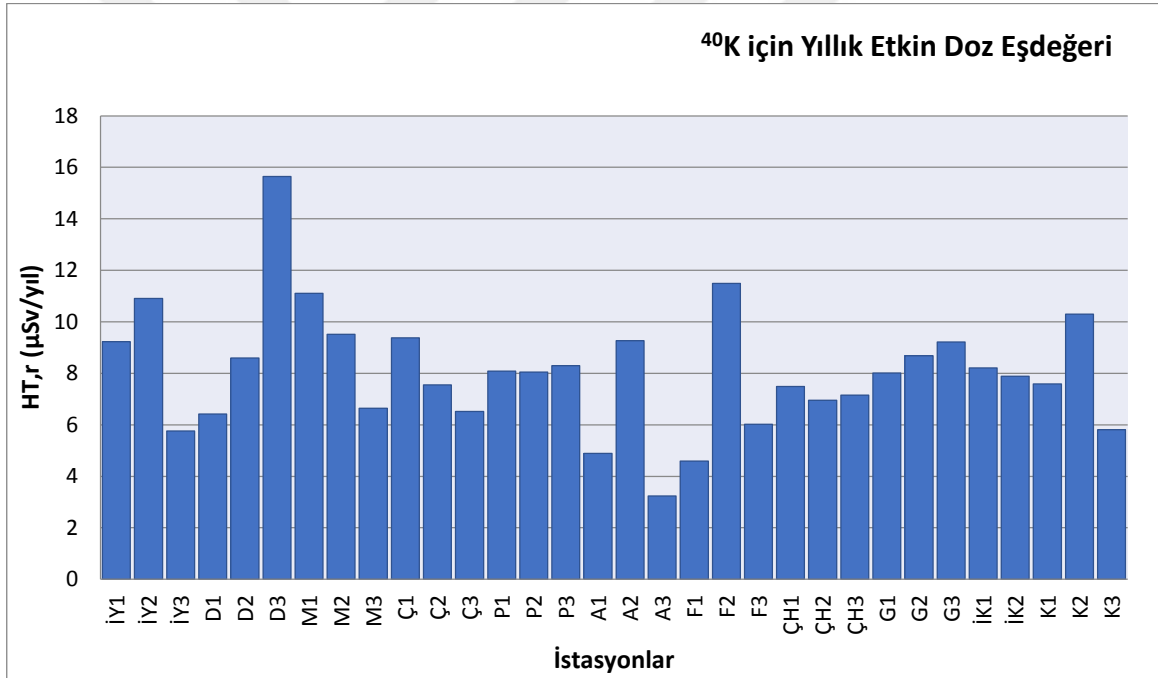


Şekil 29. Çay örneklerindeki ^{232}Th aktivite konsantrasyonlarının yıllık etkin doz eşdeğerleri



Şekil 30. Çay örneklerindeki ^{137}Cs aktivite konsantrasyonlarının yıllık etkin doz eşdeğerleri

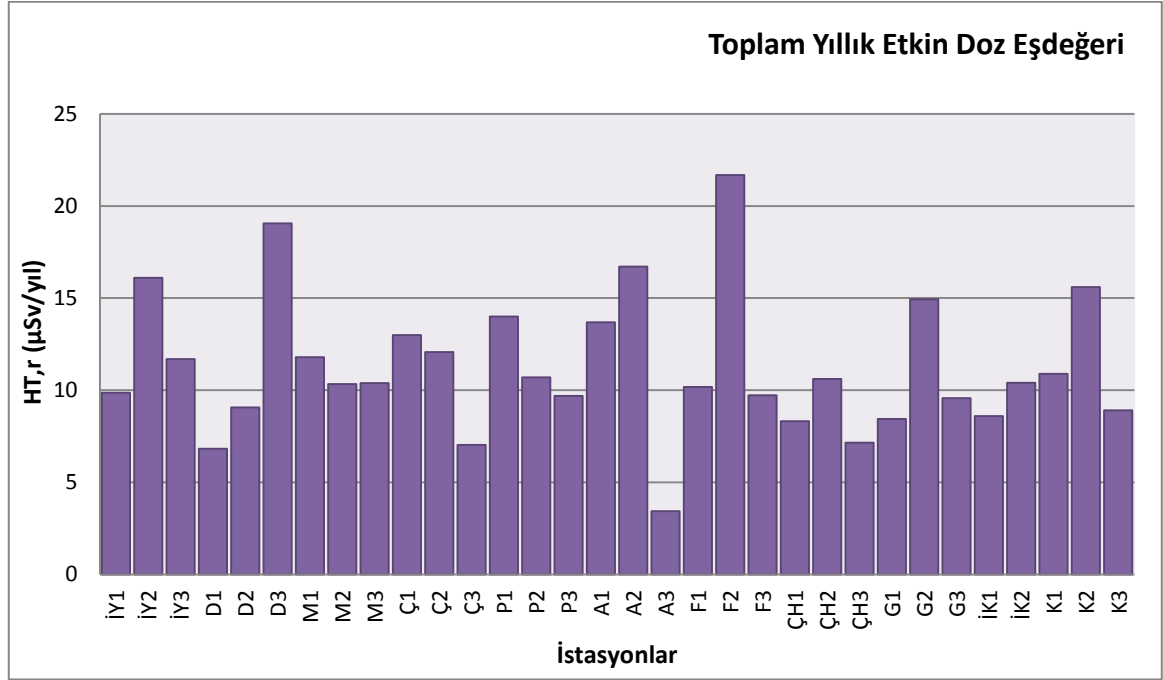
Tablo 8 ve Şekil 30 dikkate alındığında çay örneklerindeki ^{137}Cs radyonüklitinden kaynaklanan yıllık etkin doz eşdeğeri en yüksek $2.57 \mu\text{Sv/yıl}$ olarak Fındıklı Gurupid (F1) istasyonunda tespit edildi. Bunu sırasıyla $2.310 \mu\text{Sv/yıl}$ ile Pazar Şentepe (P1), $2.163 \mu\text{Sv/yıl}$ Kalkandere Dülgerli (K3), $1.110 \mu\text{Sv/yıl}$ ile Rize Merkez İlçe Gündoğdu (M3), $0.876 \mu\text{Sv/yıl}$ ile Çayeli Madenli (Ç2), $0.698 \mu\text{Sv/yıl}$ ile Rize Merkez İlçe Çiftekavak (M1) ve $0.521 \mu\text{Sv/yıl}$ ile Çayeli Kesmetaş (Ç3) istasyonlarının izlediği görülmektedir. İyidere Hazar (İY2), Rize Merkez İlçe Fener (M2), Çamlıhemşin Dikkaya (ÇH3) ve İkizdere Merkez (İK2) istasyonlarındaki çay örneklerinde ^{137}Cs aktivitesine ait yıllık etkin doz eşdeğerine rastlanmadı. Geri kalan istasyonlardaki çay örneklerinde ise ^{137}Cs radyonüklitine ait yıllık etkin doz eşdeğerleri $0.042 \mu\text{Sv/yıl}$ ile $0.464 \mu\text{Sv/yıl}$ aralığında tespit edildi.



Şekil 31. Çay örneklerindeki ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının yıllık etkin doz eşdeğerleri

Tablo 8 ve Şekil 31 incelendiğinde çay örneklerindeki ^{40}K radyonüklitine ait yıllık etkin doz eşdeğerleri $3.233 \mu\text{Sv/yıl}$ ile $15.644 \mu\text{Sv/yıl}$ aralığında olduğu görülmektedir. ^{40}K radyonüklitinden kaynaklanan yıllık etkin doz eşdeğerine en yüksek katkı Derepaşarı Bürücek (D3) istasyonunda en düşük katkı ise Ardeşen Aşağıdurak (A3) istasyonunda tespit edildi.

Çay örneklerindeki ^{238}U , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının toplam yıllık etkin doz eşdeğerleri Tablo 8’de verilmektedir. Bu tablodaki verilere göre çay örneklerindeki ^{238}U , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının toplam yıllık etkin doz eşdeğerleri grafiği Şekil 32’de gösterilmektedir.



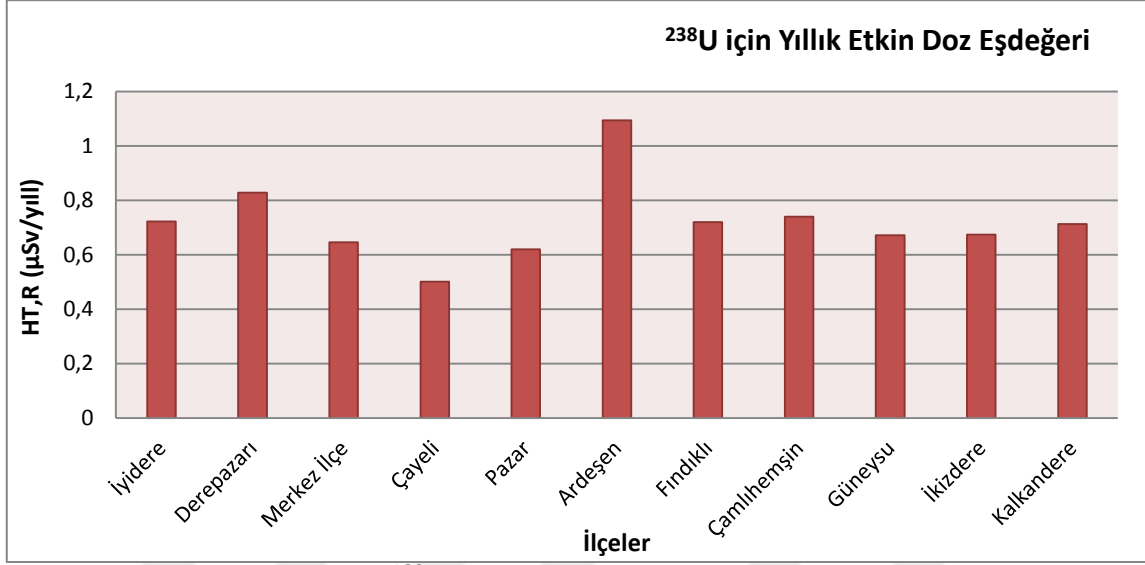
Şekil 32. Çay örneklerindeki ^{238}U , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının toplam yıllık etkin doz eşdeğerleri

Tablo 8 ve Şekil 32 incelendiğinde ^{238}U , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K radyonüklitlerine ait toplam yıllık etkin doz eşdeğerinin en yüksek 21.672 µSv/yıl olarak Fındıklı Sümer (F2) ve en düşük 3.434 µSv/yıl olarak Ardeşen Aşağıdurak (A3) istasyonunda olduğu görülmektedir. Geri kalan istasyonlardaki ^{238}U , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K radyonüklitlerinden kaynaklanan toplam yıllık etkin doz eşdeğerleri ise 6.827 µSv/yıl ile 19.060 µSv/yıl aralığında değişiklik göstermektedir.

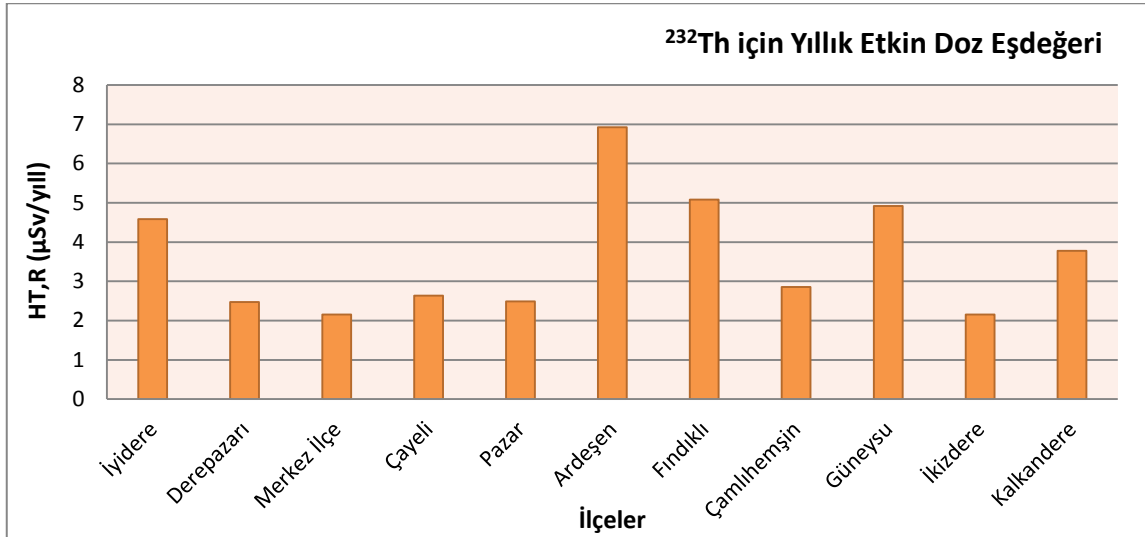
Çay örneklerindeki ^{238}U , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının yıllık etkin doz eşdeğerlerinin ilçelere göre ortalaması Tablo 9’da verilmektedir. Bu tablodaki verilere göre çay örneklerindeki ^{238}U , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının yıllık etkin doz eşdeğerlerinin ilçelere göre ortalama grafikleri Şekil 33-36’da gösterilmektedir. Şekil 37’de ise çay örneklerindeki ^{238}U , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının toplam yıllık etkin doz eşdeğerlerinin ilçelere göre ortalaması

Tablo 9, Şekil 33 ve Şekil 34 incelendiğinde çay örneklerindeki ^{238}U aktivite konsantrasyonlarının yıllık etkin doz eşdeğerlerinin ilçelere göre ortalaması en düşük

Çayeli ilçesinde ($0.501 \mu\text{Sv/yıl}$) ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonlarının yıllık etkin doz eşdeğerlerinin ilçelere göre ortalaması en düşük Rize Merkez İlçe ve İkizdere ilçesinde ($2.157 \mu\text{Sv/yıl}$) tespit edildi. ^{238}U ve ^{232}Th radyonüklitine ait yıllık etkin doz eşdeğerinin ilçe ortalamalarına göre en yüksek değerleri Ardeşen ilçesinde sırasıyla $1.094 \mu\text{Sv/yıl}$ ile $6.923 \mu\text{Sv/yıl}$ olarak bulundu.

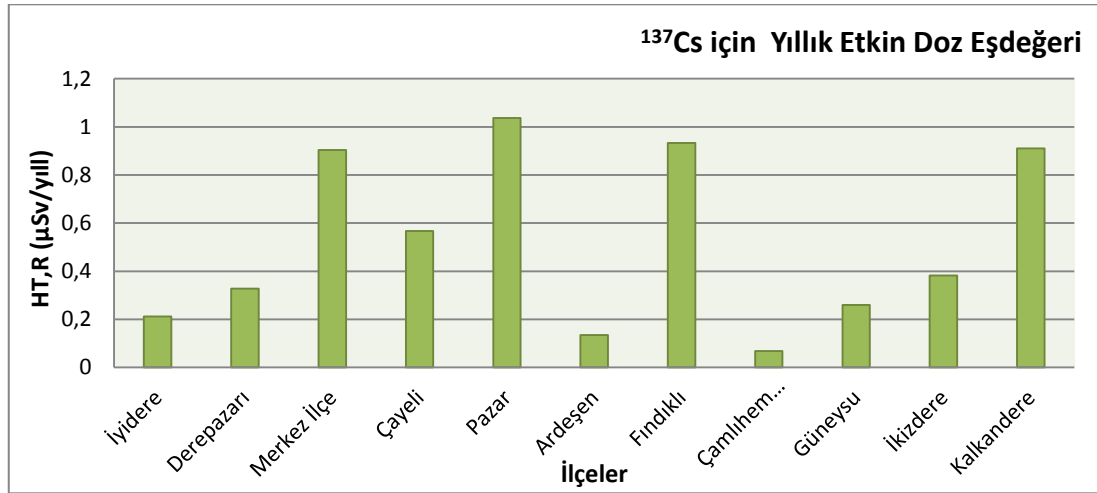


Şekil 33. Çay örneklerindeki ^{238}U aktivite konsantrasyonlarının yıllık etkin doz eşdeğerlerinin ilçelere göre ortalaması

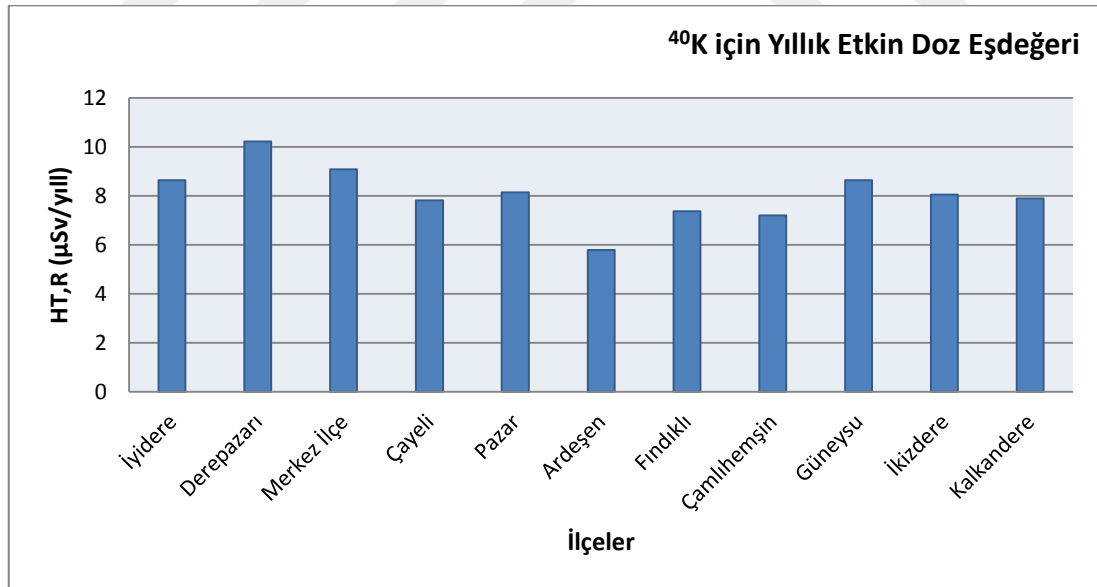


Şekil 34. Çay örneklerindeki ^{232}Th aktivite konsantrasyonlarının yıllık etkin doz eşdeğerlerinin ilçelere göre ortalaması

Tablo 9 ve Şekil 35 dikkate alındığında ^{137}Cs dan kaynaklanan yıllık etkin doz eşdeğerinin ilçe ortalaması en yüksek Pazar ilçesinde ($1.037 \mu\text{Sv/yıl}$) ve en düşük Çamlıhemşin ilçesinde ($0.069 \mu\text{Sv/yıl}$) tespit edildi. Geri kalan ilçeler için ^{137}Cs dan kaynaklanan yıllık etkin doz eşdeğerinin ilçe ortalaması $0.135 \mu\text{Sv/yıl}$ ile $0.933 \mu\text{Sv/yıl}$ aralığında bulundu.



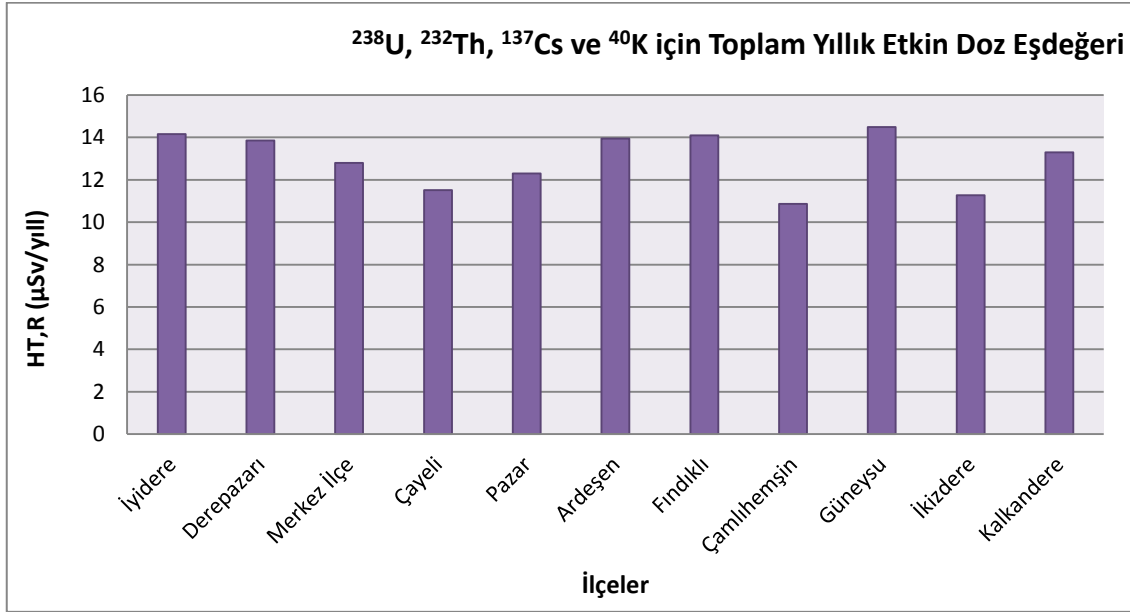
Şekil 35. Çay örneklerindeki ^{137}Cs aktivite konsantrasyonlarının yıllık etkin doz eşdeğerlerinin ilçelere göre ortalaması



Şekil 36. Çay örneklerindeki ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının yıllık etkin doz eşdeğerlerinin ilçelere göre ortalaması

Tablo 9 ve Şekil 36 incelendiğinde ^{40}K dan kaynaklanan yıllık etkin doz eşdeğerinin ilçe ortalaması en yüksek Derne ilçesinde ($10.221 \mu\text{Sv/yıl}$) ve en düşük Ardeş ilçesinde ($5.794 \mu\text{Sv/yıl}$) tespit edildi. Geri kalan ilçeler için ^{40}K dan

kaynaklanan yıllık etkin doz eşdeğerinin ilçe ortalaması 7.200 $\mu\text{Sv/yıl}$ ile 9.088 $\mu\text{Sv/yıl}$ aralığında bulundu.



Şekil 37. Çay örneklerindeki ^{238}U , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının toplam yıllık etkin doz eşdeğerlerinin ilçelere göre ortalaması

Tablo 9 ve Şekil 37 dikkate alındığında herbir ilçeye ait ^{238}U , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının toplam yıllık etkin doz eşdeğerlerinin ilçelere göre ortalaması en yüksek Güneysu ilçesinde (14.488 $\mu\text{Sv/yıl}$) ve en düşük Çamlıhemşin ilçesinde 10.867 $\mu\text{Sv/yıl}$) olduğu tespit edildi

Tablo 10. Çay örneklerindeki ^{238}U , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının çeşitli araştırmalarla kıyaslanması

Çalışma Alanı ve Referanslar	^{238}U	^{232}Th	^{137}Cs	^{40}K
Türkiye, Rize (Keser vd.,2011)	17.3 Bq/Kg	8.2 Bq/Kg	20.9 Bq/Kg	465.8 Bq/Kg
İtalya (Desideri vd.,2011)	-	9 Bq/Kg	2.6 Bq/Kg	936 Bq/Kg
Sırbistan (Jevremović vd.,2011)	2.3 Bq/Kg	5.4 Bq/Kg	0.5 Bq/Kg	486.5 Bq/Kg
Hindistan (Lalit ve Ramachandran, 1985)	97.9 Bq/Kg	182.3 Bq/Kg	-	27.6 Bq/Kg
Tayvan (Chu vd.,1969)	-	-	3.1 Bq/Kg	-
Güney Amerika (Di Gregori vd., 2004)	-	-	10 Bq/Kg	-
Japonya (Tagami vd.,2012)	-	-	183 Bq/Kg	-
Srilanka (Hosseini vd., 2006)	2.55 Bq/Kg	2.27 Bq/Kg	2.01 Bq/Kg	628 Bq/Kg
Bu çalışma istasyonlar	4.60	4.93	11.98	372.25
ortalama ilçeler	4.19	4.14	10.50	341.19

Bu çalışmada Rize ilindeki 32 istasyondan toplanan çay örneklerindeki minimum, maksimum ve ortalama ^{238}U , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K aktiviteleri Tablo 6’da gösterildi. Aynı örnekler için ^{238}U , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K radyonüklitlerinin ilçe ortalamaları açısından minimum, maksimum ve ortalama aktivite değerleri Tablo 7’de gösterildi. Ayrıca istasyonlar ve ilçelerdeki çay örnekleri için hesaplanan ortalama ^{238}U , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K aktiviteleri, Tablo 10’da çay örneklerindeki ^{238}U , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K aktivitelerinin belirlendiği diğer bazı çalışmalarla kıyaslandı.

Tablo 6 ve Tablo 7 dikkate alındığında bu çalışmada istasyonlardaki en yüksek ^{238}U aktivitesi 7.31 Bq/kg olarak Ardeşen Fırtına (A1) istasyonunda tespit edildi, ilçe ortalamaları için en yüksek ^{238}U aktivitesi ise 6.95 Bq/kg olarak Ardeşen ilçesi için hesaplandı. Bu çalışmada istasyonlar ve ilçelerdeki ortalama ^{238}U aktivitesi sırasıyla 4.60 Bq/kg ile 4.19 Bq/kg olarak bulundu. Bu değerler Tablo 3’deki çalışmalar ile kıyaslandığında Sri Lanka ve Sırbistan’daki çay örnekleri için tespit edilen ^{238}U aktivite değerlerinden yüksek ve Hindistan’daki çay örnekleri için tespit edilen ^{238}U aktivitesinden düşüktür. Ayrıca bu çalışmada istasyonlar ve ilçelerin geneli için tespit

edilen ^{238}U aktivite ortalamaları (4.60 Bq/kg; 4.19 Bq/kg) Keser vd, 2011'in Rize ilindeki çay örneklerinde tespit ettikleri ^{238}U aktivitesinden düşüktür.

Tablo 6 ve Tablo 7 dikkate alındığında bu çalışmada istasyonlardaki en yüksek ^{232}Th aktivitesi 12.42 Bq/kg olarak Fındıklı Sümer (F2) istasyonunda tespit edildi, ilçe ortalamaları için en yüksek ^{232}Th aktivitesi ise 8.60 Bq/kg olarak Ardeşen ilçesi için hesaplandı. Bu çalışmada istasyonlar ve ilçelerdeki ortalama ^{232}Th aktivitesi sırasıyla 4.93 Bq/kg ile 4.14 Bq/kg olarak bulundu. Bu değerler Tablo 10'daki çalışmalar ile kıyaslandığında Sri Lanka'daki çay örnekleri için tespit edilen ^{232}Th aktivite değerinden yüksek, İtalya, Sırbistan ve Hindistan'daki çay örnekleri için tespit edilen ^{232}Th aktivitesinden düşüktür. Ayrıca bu çalışmada istasyonlar ve ilçelerin geneli için tespit edilen ^{232}Th aktivite ortalamaları (4.93 Bq/kg; 4.14 Bq/kg) Keser vd, 2011'in Rize ilindeki çay örneklerinde tespit ettikleri ^{232}Th aktivitesinden düşüktür.

Tablo 6 ve Tablo 7 dikkate alındığında bu çalışmada istasyonlardaki en yüksek ^{137}Cs aktivitesi 56.54 Bq/kg olarak Fındıklı Gurupid (F1) istasyonunda tespit edildi, ilçe ortalamaları için en yüksek ^{137}Cs aktivitesi ise 22.80 Bq/kg olarak Pazar ilçesi için hesaplandı. Bu çalışmada istasyonlar ve ilçelerdeki ortalama ^{137}Cs aktivitesi sırasıyla 11.98 Bq/kg ile 10.50 Bq/kg olarak bulundu. Bu değerler Tablo 10'daki çalışmalar ile kıyaslandığında İtalya, Sırbistan, Tayvan ve Güney Amerika'daki çay örnekleri için tespit edilen ^{137}Cs aktivite değerlerinden yüksek ve Japonya'daki çay örnekleri için tespit edilen ^{137}Cs aktivitesinden düşüktür. Ayrıca bu çalışmada istasyonlar ve ilçelerin geneli için tespit edilen ^{137}Cs aktivite ortalamaları (11.98 Bq/kg; 10.50 Bq/kg) Keser vd., 2011'in Rize ilindeki çay örneklerinde tespit ettikleri ^{137}Cs aktivitesinden düşüktür.

Tablo 6 ve Tablo 7 dikkate alındığında bu çalışmada istasyonlardaki en yüksek ^{40}K aktivitesi 720.91 Bq/kg olarak Derepaşarı Bürücek (D3) istasyonunda tespit edildi, ilçe ortalamaları için en yüksek ^{40}K aktivitesi ise 471.01 Bq/kg olarak Derepaşarı ilçesi için hesaplandı. Bu çalışmada istasyonlar ve ilçelerdeki ortalama ^{40}K aktivitesi sırasıyla 372.25 Bq/kg ile 341.19 Bq/kg olarak bulundu. Bu değerler Tablo 3'deki çalışmalar ile kıyaslandığında İtalya, Sırbistan ve Sri Lanka'daki çay örnekleri için tespit edilen ^{40}K değerlerinden düşük ve Hindistan'daki çay örnekleri için tespit edilen ^{40}K aktivitesinden yüksektir. Ayrıca bu çalışmada istasyonlar ve ilçelerin geneli için tespit edilen ^{40}K aktivite ortalamaları (372.25 Bq/kg ile 341.19 Bq/kg) Keser vd, 2011'in Rize ilindeki çay örneklerinde tespit ettikleri ^{40}K aktivitesinden düşüktür.

Bu çalışmada istasyonlardaki çay örneklerinin tüketiminden kaynaklanabilecek yıllık etkin doz eşdeğerleri ^{238}U , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K radyonüklitleri için hesaplandı ve Tablo 8’de gösterildi. Tablo 9’da ise aynı radyonüklitler için çay örneklerinin ilçe genelindeki ortalamaları dikkate alınarak yıllık etkin doz eşdeğerleri gösterildi. Tablo 8 ve Tablo 9 incelendiğinde ^{238}U , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K radyonüklitlerinden kaynaklanan en yüksek yıllık etkin doz değerleri sırasıyla 1.150 $\mu\text{Sv/yıl}$ olarak Ardeşen Fırtına (F1) istasyonunda, 9.998 $\mu\text{Sv/yıl}$ olarak Fındıklı Sümer (F2) istasyonunda, 2.573 $\mu\text{Sv/yıl}$ olarak Fındıklı Gurupid (F1) istasyonunda ve 15.644 $\mu\text{Sv/yıl}$ olarak Derapazarı Bürücek (D3) istasyonunda bulundu. İlçelerin ortalamaları dikkate alındığında en yüksek ^{238}U , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K radyonüklitlerinden kaynaklanan yıllık etkin doz eşdeğerleri sırasıyla 1.094 $\mu\text{Sv/yıl}$ olarak Ardeşen ilçesinde, 6.923 $\mu\text{Sv/yıl}$ olarak Ardeşen ilçesinde, 1.037 $\mu\text{Sv/yıl}$ olarak Pazar ilçesinde ve 10.221 $\mu\text{Sv/yıl}$ olarak Derapazarı ilçesinde hesaplandı. Ayrıca istasyonlar ve ilçelerin ^{238}U , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K radyonüklitlerinin toplamından kaynaklanan yıllık etkin doz değerlerinin ortalaması sırasıyla 11.264 $\mu\text{Sv/yıl}$ ve 12.960 $\mu\text{Sv/yıl}$ olarak bulundu. Çay örnekleri için hesaplanan tüm yıllık etkin doz değerleri, tüm radyasyon kaynaklarından alınan toplam radyasyon doz değeri olan 2400 $\mu\text{Sv/yıl}$ (UNSCEAR, 2000) değerinin oldukça altında olup bu çalışmadaki çay örnekleri halk sağlığı için herhangi bir risk teşkil etmemektedir.

5. ÖNERİLER

Bu çalışmada belirlenen noktalardan belirli aralıklarla ölçümler tekrarlanmalıdır. Yapılan ölçümlerdeki değişimler gözlenmelidir, farklı şehir ve lokasyonlardan tespit edilen sonuçlarla kıyaslanmalıdır.



KAYNAKLAR

- Arya, A.P., 1989.** Çekirdek Fiziğinin Esasları. Aktif Yayıncılık, Erzurum. Çeviren: Yusuf Şahin. 407 s.
- Albayrak, N., 2011.** Kırıkkale’de (Türkiye) Doğal Radyasyon Kaynaklarının Belirlenmesi ve Gama Doz Oranlarının Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye,50.
- Bakkal, S., 2012.** Kilis İli Toprak Örneklerinde ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs Radyoaktivite Konsantrasyonlarının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kilis Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay, Türkiye,50.
- Brai, M., Basile, S., Bellia, S., Hauser, S., Puccio, P., Rizzo, S., Bartolotta, A., Licciardello, A., 2002.** Environmental radioactivity at Stromboli Aerolian islands, Applied Radiation and Isotopes, Vol.57; 99-107
- Chu, T., Cheng, C., Weng, P., 1969.** A survey of strontium. 90 and cesium-137 concentrations in Taiman tea. Hakan Buksiri 4, s. 514-517.
- Çetiner, M. ve Özmen, A., 1994.** Çay örneklerindeki ^{137}Cs aktivitesinin belirlenmesi, Ankara Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi, Ankara,80,25s
- Damla, N., 2009.** Türkiye’deki Bazı İnşaat Malzemelerinde Doğal Radyoaktiflik Seviyelerinin ve Kütle Soğurma Katsayılarının Belirlenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon,80, 25s.
- Değerlier, M., 2007.** Adana İli Ve Çevresinin Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Saptanması Ve Doğal Radyasyonların Yıllık Etkin Doz Eşdeğerinin Bulunması, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana. 175s.
- Desideri, D., Meli, M.A., Roselli, C., Feduzi, L., 2011.** Alpha and gamma spectrometry for determination of natural and artificial radionuclides in tea,herbal tea and comestible marketed in Italy, Microchemical Journal,98,s.170-175.
- Di Gregorio, D.E., Huck, H., Aristegui,R., Lazzaride, G., Jech, A., 2003.** ^{137}Cs contamination in tea and yerba mate in South America Journal of Environmental Radioactivity 76,s. 273-281.
- Gilmore, G., 2013.** Gamma-ray Spectrometry, John Wiley &sons, Ltd, 2011James E. Martin, physics for radiation protection, Third Edition, 2013 by WILEY-VCH verlag GmbH&Co.KGAA., Print ISBN: 978-3-527-41176-4.
- Gür, F., 1999.** Doğal Dış Radyasyonun İzmir ilinde Yasayanların Aldıkları Toplam Doza Katkısının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimler Enstitüsü, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye,23.

- Beck, H.L., 1972.** The Physics of Environmental Radiation Fields. Natural Radiation Environment II, CONF-720805 P2. Proceedings of the Second International Symposium on the Natural Radiation Environment,25.
- IAEA.,** Measurement of Radionuclides in Food and Environment, TRS, No. 295, 1989.
- Jevremovic, M., Lozarevic ,N., Pavlovic ,S., Orlic, M., 2011.** Radionuclide concentrations in sample of madicinal herbs and effective dōşe from in gastion of ¹³⁷Cs and natürel radionuclider in herbal tea products from serbion merket, isotepes in Environmental and health Studies, 47,s. 87-91.
- Karahan, G., Bayulken, A., 2000.** Assessment Of Gamma Dose Rates Around Istanbul, Journal Of Environmental Radioactivity, Vol 47; 213- 221.
- Keser, R., Korkmaz Görür, F., Akçay, N., Okumuşoğlu, N.T., 2011.** Radionlide concentration in the, cabbage, orange, kiwi and sail and life time cancer risk due to gamma radioactivity in Rize Turkey, Journal on the science of food and agriculture,91, s.987-991.
- Keser, R., 2009.** Rize İli Sahil Kumlarında ve Bazı Kayaçlarda Doğal Gama Radyoaktivite Seviyelerinin Belirlenmesi, Doktora Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye,60.
- Korkmaz, F., Keser, R., Akçay, N., Dizman, S., Okumuşoğlu, N.T., 2011.** Radionuclides and heavy metals concentrations in Turkish Market Tea, Food contral,22,s. 2065-2070.
- Kurnaz, A., Küçükömeroğlu, B., Keser, R., Okumuşoğlu, N.T., Korkmaz,F., Karahan, G., Çevik, U., 2007.** Determination of radioactivity levels and hazards of soil and sediment samples in Fırtına Valley Rize, Turkey,65, 1281-1289.
- Lalit, B., Ramachandran, T.V., 1985.** Naturel radioactivity in Indion tea, Radiat Environ Biophys,. 24,s. 75-79.
- Malczewski, D., Teper, L., Dorda, J., 2004.** Assessment of natural and anthropogenic radioactivity levels in rocks and soils in the environs of Swieradow Zdroj in Sudetes, Poland, by in situ gamma-ray spectrometry. *Journal of Environmental Radioactivity, Volume 73, 233-245.*
- Singh, S., Singh, B., Kumar, A., 2003.** Natural radioactivity measurements in soil samples from Hamirpur district, Himachal Pradesh, India, Radiation Measurements,Vol 36; 547-549.
- TAEK, 2007.** Doğal Radyasyon Kaynakları (Erişim Tarihi 20 Mayıs 2007).
- Tagam, K., Vchida, S., İshii, N., 2012.** Extractability of radiocesium from processed green tea leaves with hor water, the first emergent tea leaves horvested after the TEPCO’S Fukushima Darichi Nucleor Power Plant accident.292, s.243-247.

- URL-1, 2019.** <https://images.app.goo.gl/ciZNGC81wZitpfNw5> (30.05.2019).
- URL-2, 2019.** <https://pubs.usgs.gov/of/2004/1050/uranium.htm> (30.05.2019).
- URL-3, 2019.** <https://pubs.usgs.gov/of/2004/1050/thorium.htm> (30.05.2019).
- URL-4, 2019.** <http://w3.gazi.edu.tr/~mkaradag/tezler/ebruseyrek.pdf> (30.05.2019).
- UNSCEAR, United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation, 1988.** Sources, Effects and Risk of Ionizing Radiation, United Nations, New York.
- UNSCEAR, United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation, 2000.** Sources, Effects and Risk of Ionizing Radiation, United Nations, New York.
- Yeboah, J., Boadu, M., Darko, E.O., 2001.** Natural radioactivity in soils and rocks within the greater accra region of Ghana, Journal Of Radioanalytical And Nuclear Chemistry, Vol 249; 629-632.
- Yeltepe, E., 2013.** Gama Spektrometri, TAEK
- Yüksel, A., 2013.** Gama Spektrometri Yönteminde Radyoaktivite Ölçme ve Değerlendirme, 70s..

ÖZGEÇMİŞ

Beyhan KABAMAKLI 27/02/1990 tarihinde Hazro’da doğdu. İlköğretimini Tarsus Çukurova İlköğretim Okulu’nda ve Tarsus Atatürk Lisesi’nde tamamladı. 07/09/2009 tarihinde başladığı lisans eğitimini 18/07/2015 tarihinde Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü’nde tamamladı. 2016 yılında Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı’nda başladığı yüksek lisans öğrenimini halen devam ettirmektedir.

