GİRESUN ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GİRESUN İLİ ÇALDAĞ BELDESİNDEKİ FARKLI ARAZİLERDEN ALINAN TOPRAK NUMUNELERİNDEKİ RADYOAKTİVİTE SEVİYELERİNİN BELİRLENMESİ

FİZİK
ANABİLİM DALI

Yüksek Lisans Tezi

Emine ÇİL ÇALIŞ

20132101005

Şubat 2018

GİRESUN

T.C.
GİRESUN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GİRESUN İLİ ÇALDAĞ BELDESİNDEKİ FARKLI ARAZİLERDEN ALINAN TOPRAK NUMUNELERİNDEKİ RADYOAKTİVİTE SEVİYELERİNİN BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emine ÇİL ÇALIŞ

Enstitü Anabilim Dalı	:	**Fen Bilimleri Enstitüsü** **Fizik Anabilim Dalı**
Tez Danışmanı	:	**Prof. Dr. Birol ERTUĞRUL**

Şubat 2018

T.C.
GİRESUN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GİRESUN ÇALDAĞ BELDESİNDEKİ FARKLI ARAZİLERDEN ALINAN TOPRAK ÖRNEKLERİNDE RADYOAKTİVİTE SEVİYELERİNİN BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emine ÇİL ÇALIŞ

Enstitü Anabilim Dalı : **Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı**

Bu tez 16/02/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Gökhan APAYDIN	**Prof. Dr. Birol ERTUĞRAL**	**Yrd. Doç. Dr. Ahmet ÇELİK**
Jüri Başkanı	**Üye**	**Üye**

Doç. Dr.
Bahadır KOZ
Enstitü Müdürü

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Emine ÇİL ÇALIŞ
27/02/2018

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Giresun Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalında "Yüksek Lisans Tezi" olarak hazırlandı.

Tez çalışmamın bütün aşamalarında ve yükseköğretimdeki öğrenciliğim boyunca yardımlarını ve ilgisini esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Birol ERTUĞRUL'a en içten teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Çalışmalarım boyunca her türlü laboratuvar imkânını kullanmamda kolaylık sağlayan Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölüm Başkanı Prof. Dr. Belgin KÜÇÜKÖMEROĞLU'na;

Çalışmalarım boyunca yardımlarını ve görüşlerini esirgemeyen Sayın Yrd. Doç. Dr. Ahmet ÇELİK'e;

Giresun Üniversitesi Fen-Edebiyat Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünde görev yapan değerli hocalarıma;

Ayrıca tez çalışmam sırasında maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyen eşim ve aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR I
İÇİNDEKİLER II
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ IV
ŞEKİLLER LİSTESİ V
TABLOLAR LİSTESİ VII
ÖZET VIII
SUMMARY IX

BÖLÜM 1. GİRİŞ 1
1.1. Genel Bilgiler ve Literatür Özeti 1
1.2. Radyoaktivite 5
1.2.1. Doğal Radyoaktivite 7
1.2.2. Yapay Radyoaktivite 8
1.3. Bozunma Kanunu 9
1.4. Radyoaktif Bozunma Türleri 10
1.4.1. Alfa Bozunumu 10
1.4.2. Beta Bozunumu 11
1.4.2.1.Elektron Bozunumu 12
1.4.2.2.Pozitron Bozunumu 13
1.4.2.3.Elektron Yakalama 14
1.4.3. Gama Bozunumu 15
1.5. Enerji ve Birimler 18
1.6. Gama Spektroskopisi 19
1.6.1. Sintilasyon Dedektörleri 20
1.6.2. Yarıiletken Dedektörler 21
1.6.3. Gama Işınlarının Madde ile Etkileşmesi 22

1.6.3.1.Fotoelektrik Soğurma..... 22
1.6.3.2.Compton Saçılması..... 24
1.6.3.3.Çift Oluşumu..... 25

BÖLÜM 2. MATERYAL VE YÖNTEM 27
2.1. Çalışma Bölgesi ve Özellikleri..... 27
2.2. Numunelerin Toplanması..... 28
2.3. Radyoaktivite Ölçümleri..... 31
2.3.1. Numunelerin Ölçümlere Hazırlanması..... 31
2.3.2. Deney Sistemi..... 32
2.3.3. Enerji ve Verim Kalibrasyonu..... 34
2.3.4. Numunelerin Ölçülmesi..... 38
2.3.5. Spektrum Analizi ve Aktivite Hesabı..... 39
2.4. Toprak Numunelerinde Ağır Metal Analizi..... 40

BÖLÜM 3. BULGULAR..... 43
3.1. Gama Spektroskopisi Analiz Sonuçları..... 43
3.2. Ağır Metal Analiz Sonuçları..... 49

BÖLÜM 4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR 57
4.1. Radyoaktivite Sonuçlarının Değerlendirilmesi..... 57
4.2. Ağır Metal Sonuçlarının Değerlendirilmesi..... 60

KAYNAKLAR 62
ÖZGEÇMİŞ 65

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

α	: Alfa parçacığı
c	: Işık hızı
e	: Temel elektrik yükü
h	: Plank sabiti
n	: Nötron
p	: Proton
Z	: Atom numarası
λ	: Radyoaktif bozunma sabiti
λ	: Dalga boyu
ε	: Fotopik verimi
σ	: Compton saçılması tesir kesiti
τ_p	: Fotoelektrik tesir kesiti
A	: Aktivite
AED	: Yıllık etkin doz
Ci	: Curie
D	: Soğurulan doz
Gy	: Gray
Sv	: Sievert
Q	: Nükleer reaksiyonlardaki bozunma enerjisi
UNSCEAR	: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Kararlılık eğrisi 7

Şekil 1.2. $^{22}_{11}Na$ çekirdeğinin $^{22}_{10}Ne$ çekirdeğine bozunumu 15

Şekil 1.3. $^{57}_{27}Co$ çekirdeğinin $^{57}_{26}Fe$ çekirdeğine bozunumu 16

Şekil 1.4. Sintilasyon dedektörünün şematik görünümü 20

Şekil 1.5. Yarıiletken dedektörün genel şeması 22

Şekil 1.6. Compton saçılmasının şematik gösterimi 25

Şekil 1.7. Çift oluşum olayı 26

Şekil 2.1. Çaldağ beldesi, Giresun 27

Şekil 2.2. Numune toplama güzergahı 28

Şekil 2.3. Sistematik örnek alımı (İstasyon 5) 30

Şekil 2.4. Sistematik örnek alımı (Arazi Türleri / İstasyon 5) 30

Şekil 2.5. Toplanıp, poşetlenen toprak numuneleri 30

Şekil 2.6. Radyoaktivite ölçümlerine hazırlanan toprak numuneleri 31

Şekil 2.7. ORTEC marka GEM25P4-76 model HPGe gama dedektörü 32

Şekil 2.8. Gama spektroskopisi ve elektronik bileşenlerinin blok diyagramı 33

Şekil 2.9. HPGe dedektörünün verim kalibrasyon eğrisi (5 cm'lik dedektör kaynak mesafesi için) 36

Şekil 2.10. Dedektör kaynak mesafesi ile koinsidans summing olasılığının değişimi 36

Şekil 2.11. HPGe gama dedektörünün enerji kalibrasyon eğrisi 37

Şekil 2.12. HPGe gama dedektörünün verim kalibrasyon eğrisi (dedektör kaynak mesafesi 15 cm) 37

Şekil 2.13. 15 nolu istasyondan alınan toprak numunesine ait spektrum 38

Şekil 2.14. ICP-MS analiz cihazı 40

Şekil 2.15. Numunelerin hassas terazi ile tartılması 41

Şekil 2.16. Teflon tüplere yerleştirilen toprak numuneler 41

Şekil 2.17. Numunelerin mikrodalgada işleme tutulup filtrelenmesi işlemi..... 42
Şekil 3.1. ^{238}U konsantrasyonunun istasyonlara göre değişimi..... 47
Şekil 3.2. ^{232}Th konsantrasyonunun istasyonlara göre değişimi..... 47
Şekil 3.3. ^{137}Cs konsantrasyonunun istasyonlara göre değişimi..... 48
Şekil 3.4. ^{40}K konsantrasyonunun istasyonlara göre değişimi..... 48
Şekil 3.5. Cr konsantrasyonunun istasyonlara göre değişimi..... 52
Şekil 3.6. Mn konsantrasyonunun istasyonlara göre değişimi..... 52
Şekil 3.7. Fe konsantrasyonunun istasyonlara göre değişimi..... 53
Şekil 3.8. Zn konsantrasyonunun istasyonlara göre değişimi..... 53
Şekil 3.9. As konsantrasyonunun istasyonlara göre değişimi..... 54
Şekil 3.10. Se konsantrasyonunun istasyonlara göre değişimi..... 54
Şekil 3.11. Cd konsantrasyonunun istasyonlara göre değişimi..... 55
Şekil 3.12. Pb konsantrasyonunun istasyonlara göre değişimi..... 55
Şekil 3.13. Co konsantrasyonunun istasyonlara göre değişimi..... 56
Şekil 3.14. Cu konsantrasyonunun istasyonlara göre değişimi..... 56

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.1. Elektromanyetik spektrum..... 6
Tablo 1.2. Alfa bozunumu yapan bazı çekirdekler..... 11
Tablo 1.3. Bazı saf beta yayıcı çekirdekler..... 13
Tablo 1.4. Radyasyon birimleri ve dönüşümler..... 19
Tablo 2.1. Numune toplama yerleri ve koordinatları..... 29
Tablo 2.2. Standart kaynaklar ve özellikleri..... 35
Tablo 2.3. Aktivitesi hesaplanan radyoaktif çekirdekler ve ürünleri..... 39
Tablo 3.1. Tarım arazilerindeki radyoaktivite konsantrasyonları (Bq/kg) ve doz değerleri..... 44
Tablo 3.2. Açık arazilerdeki radyoaktivite konsantrasyonları (Bq/kg) ve doz değerleri..... 45
Tablo 3.3. Orman arazilerindeki radyoaktivite konsantrasyonları (Bq/kg) ve doz değerleri..... 46
Tablo 3.4. Açık arazilerde ağır metal konsantrasyonu (mg/kg)..... 49
Tablo 3.5. Tarım arazilerinde ağır metal konsantrasyonu (mg/kg)..... 50
Tablo 3.6. Orman arazilerinde ağır metal konsantrasyonu (mg/kg)..... 51
Tablo 4.1. Dünya ortalamaları bölgede yapılan diğer çalışmalar (Bq/kg)..... 59
Tablo 4.2. İstasyonlardaki ortalama aktivite değerleri (Bq/kg)..... 60
Tablo 4.3. İstasyonlardaki ve dünyadaki ortalama ağır metal konsantrasyonları (mg/kg)..... 61

GİRESUN İLİ ÇALDAĞ BELDESİNDEKİ FARKLI ARAZİLERDEN ALINAN TOPRAK NUMUNELERİNDEKİ RADYOAKTİVİTE SEVİYELERİNİN BELİRLENMESİ

ÖZET

Bu çalışmada, Giresun ili Çaldağ ilçesindeki doğal ve yapay radyonüklitlerin dağılımı üç farklı arazi türü için belirlendi. Toprak numuneleri ormanlık (karışık orman), çayırlık (otlak ve mera) ve tarım arazilerinden toplandı. Numunelendirme işlemi yapılırken ormanlık ve çayırlık alanların yapılarının Çernobil kazasından beri insanlar tarafından değiştirilmediğine dikkat edildi. Topraktaki ^{238}U, ^{232}Th, ^{40}K ve bir fisyon ürünü olan ^{137}Cs radyoaktivite konsantrasyonları belirlendi ve arazi türlerine göre radyoaktivite konsantrasyonlarındaki değişim araştırıldı. Numunelerdeki doğal ve yapay radyoaktivite konsantrasyonları HPGe gama dedektörü kullanarak belirlendi.

Anahtar kelimeler: Giresun, doğal ve yapay radyonüklitler, HPGe gama dedektörü.

DETERMINATION OF RADIOACTIVITY LEVELS IN THE SOIL SAMPLES COLLECTED FROM DIFFERENT LANDS IN THE ÇALDAĞ DISTRICT OF GİRESUN PROVINCE

SUMMARY

In this study, the distribution of natural and artificial radionuclides in the Çaldağ district of Giresun province was determined for three different soil types. Soil samples were collected from forest (mixed forest), grassland (pasture and meadow) and agricultural lands. When the sampling process was carried out, it was noted that the structures of the forest and meadow areas have not been changed by humans since the Chernobyl Nuclear Power Plant accident. The radioactivity concentrations of ^{238}U, ^{232}Th, ^{40}K in the soil and ^{137}Cs as a fission product were determined, and changes in radioactivity concentrations were investigated according to the uses of lands. The concentrations of natural and artificial radioactivity in the samples were determined using the HPGe gamma detector.

Keywords: Giresun, natural and artificial radionuclides, HPGe gamma detector.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1. Genel Bilgiler ve Literatür Özeti

İyonize radyasyon kavramı ilk kez 1895 yılında Alman fizikçi Wilhelm Conrad Röntgen tarafından x-ışınlarının keşfedilmesi ile ortaya çıkmıştır. Daha sonra 1896 yılında Becquerel'in radyoaktiviteyi keşfetmesi bu yöndeki çalışmalara katkılar sağlamıştır. İnsanoğlu ancak bu zamanlarda farkında olmadan etkilendiği iyonize radyasyonu tanımıştır. Çünkü tabiattaki uzun ömürlü radyoaktif çekirdekler ve uzaydan gelen kozmik ışınlar doğal radyasyon kaynaklarını oluşturmaktadır. Aynı zamanda, teknolojideki gelişmelerle birlikte yapay radyasyon kaynakları da ortaya çıkmaktadır. Üretilen nükleer silahlarla yapılan denemeler, nükleer santraller ile nükleer tıptaki uygulamalar başlıca yapay radyasyon kaynaklarını oluşturmaktadır.

Ülkemiz açısından bu alandaki en önemli gelişme, Bağımsız Devletler Topluluğu'nda 26 Nisan 1986 tarihinde meydana gelen Çernobil nükleer santral kazası olmuştur. Bu kaza sonucunda reaktörün çekirdeğinde bulunan uçucu radyoaktif maddelerin tamamı (50 MCi) atmosfere karışmıştır. Atmosfere karışan radyoaktif maddeler meteorolojik olaylarla yön değiştirerek toprak, bitki, bina vb. canlı ve cansız yüzeylere kuru birikim yoluyla tutulmuştur. Yağış yoluyla toprağa tutunan bu radyoaktif madde yağış alan arazinin topoğrafik özellikleri, bitki örtüsü, türü, tek veya çok yıllık oluşu, toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri gibi çevre şartlarına ve buna bağlı olarak ta gıda zinciri aracılığı ile insanları etkilemiştir.

Çevresel radyoaktivite çalışmalarında maruz kalınan doğal radyasyonun insanlar üzerindeki etkilerinin ve oluşturacağı zararların araştırılması büyük bir önem arz etmektedir. Radyasyon konusu ile ilgili insanların her geçen gün artan hassasiyetleri ve bilgilenme gereksinimleri bu konuyu bütün dünyada üzerinde en çok tartışılan

olgulardan biri haline getirmektedir. Bu nedenle, insanların yaşadıkları bölgelerin coğrafik ve jeolojik özelliklerine göre maruz kaldıkları/kalacakları doğal radyasyon konusunda bilgilendirilmeleri son derece önemlidir.

Doğal radyasyonların seviyeleri, bulundukları bölgenin jeolojik ve coğrafik yapısına bağlı olarak farklılıklar gösterirler. Toprak ve kayaların mineralojik özellikleri ile coğrafi yükseklik, bölgenin radyasyon seviyesini değiştirebilmektedir. Kısaca herhangi bir bölgenin veya bir yerin doğal temel seviye radyasyonunun belirlenmesi demek, o yerin radyolojik açıdan incelenmesiyle birlikte o yerin toprağı, suyu ve havasında mevcut olan doğal radyoaktivite seviyesinin belirlenmesi demektir. Canlıların maruz kaldığı karasal kaynaklı doğal radyasyon; ^{40}K, ^{238}U ve ^{232}Th radyoaktif seri elementleri ve bozunum ürünlerinden oluşmaktadır. Radyoaktif elementlerin konsantrasyonlarının belirlenmesi açısından, yaşadığımız çevreyi bir bütün olarak düşünmeli ve bu bütünü oluşturan parçalardaki aktivite tayinleri ayrı ayrı yapılmalıdır.

Literatürde yurt dışında ve yurt içinde toprak ve kayalardaki radyoaktivite ölçümleri ve bunlardan kaynaklanan doz hesaplamalarının yapıldığı çalışmalar mevcuttur.

Karunakura ve arkadaşları (2001), Hindistan'ın Güney Batısında yer alan Kaiga Bölgesinde yapmış olduğu çalışmada topraktaki ^{40}K aktivite konsantrasyonlarını 78,3 - 254,8 Bq/kg, ^{232}Th aktivite konsantrasyonunu 11,4 - 41,9 Bq/kg ve ^{226}Rn aktivite konsantrasyonunu 15,5 - 61,2 Bq/kg aralığında bulmuşlardır. Brai ve arkadaşları (2002), Sicilya'nın kuzey kıyısı açıklarındaki Stromboli adasında yapmış oldukları çalışmada ^{40}K aktivitesini 340 - 1427 Bq/kg, ^{214}Bi aktivitesini 31 - 112 Bq/kg ve ^{228}Ac aktivitesini ise 30 - 106 Bq/kg aralığında ölçmüşlerdir.

Yeboah ve arkadaşları (2001), Gama spektrometresi yardımıyla Gana'da yaptıkları çalışmada toprak örneklerinde ^{40}K aktivitesinin 91,1-1395,9 Bq/kg, ^{238}U aktivitesinin 2,4-62,7 Bq/kg ve ^{232}Th aktivitesinin 3,2-145,7 Bq/kg aralığında, kaya örneklerinde ise ^{40}K aktivitesinin 9,0-1510,1 Bq/kg, ^{238}U aktivitesinin 0,7-40,0 Bq/kg ve ^{232}Th aktivitesinin de 0,5-117,52 Bq/kg aralığında olduğunu buldular. Yine aynı çalışmada,

1m yükseklikte maruz kalınan doz oranını toprakta 0,9-20,6 μR/h ve kayalarda ise 0,6-17,8 μR/h olarak hesaplamışlardır. Malczewski ve arkadaşları (2004), Polonya'da kaya ve toprak örneklerinde doğal ve antropojenik radyoaktivite düzeylerini incelediler ve ^{40}K aktivitesinin 320-1200 Bq/kg aralığında, ^{228}Ac (^{232}Th serisi) aktivitesinin 25-62 Bq/kg aralığında ve ^{226}Rn aktivitesinin 31-122 Bq/kg aralığında değiştiğini buldular. Sujo ve arkadaşlarının (2004) Meksika'da yaptıkları çalışmada, yüksek çözünürlüklü gama spektrometresi kullanarak ^{238}U ve ^{232}Th serileri için aktivite değerlerini 30 Bq/kg civarında hesaplanmıştır. Xinwei ve Xiaolan (2007) tarafından Cuihua dağından alınan toprak örneklerindeki doğal radyoaktivite (^{226}Ra, ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklitlerinin) seviyeleri gamma spektrometresi ile belirlenmiştir.

Singh ve arkadaşları (2003), NaI(Tl) dedektörü kullanarak Hindistan'da yaptıkları çalışmada; ^{226}Ra aktivite konsantrasyonu 25,1-75,7 Bq/kg; ^{232}Th aktivite konsantrasyonu 35,2-122,8 Bq/kg ve ^{40}K aktivite konsantrasyonu 143,7-228,9 Bq/kg aralığında bulmuşlardır. Saravanan ve arkadaşları (2003) tarafından Hindistan'ın Tamilnadu bölgesinde aynı yöntemle yapılan başka bir çalışmada toprakların doğal background radyasyonu ölçülmüş ve ^{232}Th aktivitesi 21,6-69,6 Bq/kg aralığında ve ortalama 43,9 Bq/kg; ^{40}K aktivitesi 73,1-120 Bq/kg aralığında ve ortalama 96,0 Bq/kg ve ^{226}Rn aktivitesi 31,8-52,0 Bq/kg aralığında ve ortalama 42,9 Bq/kg olarak bulmuşlardır. Yine aynı çalışmada, ^{226}Rn eşdeğer aktivitesi 68,3-149,0 Bq/kg aralığında ve ortalama değerin 113 Bq/kg olduğu bulundu. Garimella ve Prasad (2002), Güney Pasifik Okyanusunda, Avustralya'nın batısında, 322 adadan oluşan Fiji'de gama spektrometresi ile yaptıkları çalışmada ^{40}K, ^{232}Th ve ^{238}U'in ortalama aktivitelerini sırasıyla 160, 2,8 ve 3,6 Bq/kg bulmuşlardır

Fasasi'nin (2003) Nijerya'da yaptığı çalışmada, katran toprağındaki doğal radyoaktivite seviyelerini belirlemiş ve ^{232}Th aktivitesini 150,25 Bq/kg, ^{238}U aktivitesini 165,64 Bq/kg olarak ölçmüşlerdir.

Gür (1999) tarafından gerçekleştirilen çalışmada; Manisa'nın Köprübaşı ilçesindeki Kasar uranyum yatağı çevresindeki topraklarda doğal radyoaktivite seviyeleri ^{238}U

için 37,75-88,00 Bq/kg, ^{232}Th için 32,50-77,50 Bq/kg ve ^{40}K için 296 - 888 Bq/kg arasında bulunmuştur. Karahan ve Bayulken (2000) ise gamma spektroskopisi yöntemi kullanarak İstanbul yüzey topraklarındaki doğal radyonüklit aktivite konsantrasyonlarını ^{238}U, ^{232}Th ve ^{40}K için sırasıyla 21, 37 ve 342 Bq/kg olarak ölçmüşlerdir. Karakelle ve arkadaşları (2002), HPGe dedektörü kullanarak Kocaeli ilindeki toprak örneklerinde doğal radyoaktivite düzeyini ölçtükleri çalışmada ^{40}K aktivitesi 161-964 Bq/kg, ^{238}U aktivitesi 11-49 Bq/kg ve ^{232}Th aktivitesi 11-65 Bq/kg olarak ölçmüşlerdir. Değerlier ve arkadaşları (2008), Adana ili içerisinden alınan toprak numunelerinin gamma spektroskopi yöntemiyle doğal radyasyon seviyelerini belirledi.

Bilindiği üzere, radyoaktif ve diğer kirleticiler tarafından çevrenin, havanın, suyun ve toprağın kirlenmesi ve dolayısıyla yaşayan tüm canlıların tehdit altında kalması demektir. Çernobil'deki nükleer santral kazası sonucunda açığa çıkan radyoaktif çekirdeklerden ^{131}I, ^{134}Cs ve ^{137}Cs insan sağlığı, uzun vadede meydana getireceği çevre sorunları ve troposfere salınan miktarlar dikkate alındığında en önemlileridir. Ancak ^{131}I ve ^{134}Cs radyoizotoplarının kısa yarı ömürlerinden dolayı kaza sonucu kirletilen çevrelerde gözlenmesi beklenmemektedir. Öte yandan, ^{137}Cs, yarı ömrü yaklaşık 30 yıl olmasından ve kazanın üzerinden 28 yıl geçmesinden dolayı, yaşadığımız çevrede hala varlığını devam ettirmektedir. Kazanın meydana geldiği tarihlerde, Türkiye için Trakya-Edirne-Kapıkule arası ve Doğu Karadeniz sahil kesimi kritik bölgeler ve bu bölgelerde yaşayan halk da kritik gruplar olarak nitelendirilmiştir.

Yukarıda belirtilen bölgelerde yaşayan insanlarımızın bu kazadan ne kadar etkilendikleri konusunda hala tartışmalar devam etmektedir. Bunun ana kaynağı da bahsi geçen bölgeler için kaza öncesine ait verilerin olmamasıdır. Kazadan sonra başta bu bölgeler olmak üzere ülkemizin birçok yerinde, radyasyon seviyelerinin belirlenmesi ve insan sağlığına etkileri üzerine çalışmalar gerçekleştirilmektedir.

Yapılan literatür çalışması sonucunda, Giresun ilinde arazi türlerine göre radyasyon seviyelerinin nasıl değişiklik gösterdiği konusunda herhangi bir çalışmaya

rastlanmamıştır. Bu amaçla, Giresun ilindeki arazi türlerinin doğal ve yapay radyoaktivite seviyeleri ve ağır metal kompozisyonları belirlendi.

1.2. Radyoaktivite

Radyasyon kavramı 1900'lü yıllara kadar sadece elektromanyetik dalgaları ifade etmek için kullanılıyordu. XX. yüzyılın başlarında keşfedilen elektronlar, x ışınları ve doğal radyoaktivite de radyasyon kavramına dahil olmuştur. Böylelikle radyasyon için en genel sınıflandırma şekli olan dalga ve parçacık tipi radyasyonlar ortaya çıkmış oldu. 1924 yılında Louis Victor de Broglie "hareket eden tüm parçacıklar dalga özelliğine sahiptir" şeklindeki teorisi kısa bir zaman sonra elektron kırınımı deneyi ile kanıtlanınca parçacık ve dalga kavramları arasındaki kati ayırım ortadan kalkmış oldu. Bu durumda radyasyon için "atomik veya nükleer olaylar sonucunda açığa çıkan enerjidir" ifadesini kullanabiliriz ve elektromanyetik spektrumun tamamını (Tablo 1.1), tüm atomik ve atom altı parçacıkları kapsamaktadır.

Aslında radyasyon için yapmış olduğumuz genel tanımlama radyoaktivite için de geçerlidir. Radyoaktivite, doğal olarak ya da yapay nedenlerle kararsız olan çekirdeklerin elektromanyetik ışıma (gama ışınları) ya da parçacıklar (alfa, beta ve nötron) yayınlayarak bozunması olayıdır ve bu süreç çekirdek kararlı hale gelinceye kadar devam eder.

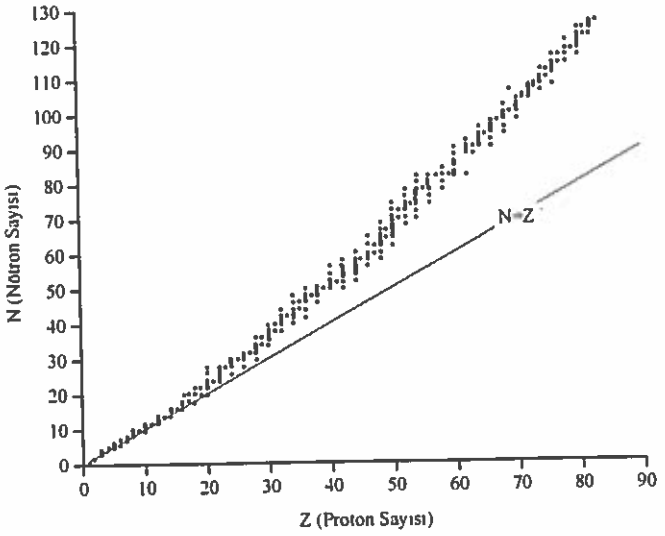
Doğadaki en basit çekirdek olan hidrojen dışındaki çekirdekler, nükleon adı verilen, temel yük birimine ($+e$) sahip proton (p) ve net bir yüke sahip olmayan nötronlardan (n) oluşur. Nükleonlar çekirdek içerisinde Coulomb ve çekirdek etkileşmelerinin etkisi altında bir arada bulunurlar. Kararlı bir çekirdekte (Coulomb etkileşmesi hesaba katılmadığında) proton ve nötronlar hemen hemen eşit sayıda bulunurlar. Bu durum, Coulomb kuvvetinin etkisi nükleer kuvvetlere kıyasla çok küçük olduğu için, atom numarası 20'den küçük olan hafif çekirdeklerde geçerlidir.

Tablo 1.1. Elektromanyetik spektrum

Oluşum Şekli	Elektromanyetik Radyasyon	Dalgaboyu	Frekans (s^{-1})
Elektrik Akımının Ossilasyonu	Uzun Radyo Dalgaları	km	10^0
	AM Radyo Dalgaları	m	10^5
	FM Radyo Dalgaları	cm	
	TV Dalgaları	mm	
	Mikrodalgalar		10^{11}
Moleküllerin Titreşimi	Kızılötesi	μm	
Dış Yörünge Elektronlarının Hareketi	Görünür Bölge	nm	10^{14}
İç Yörünge Elektronlarının Geçişi ve Titreşimi	UV - Işınları	Å	
	X - Işınları		10^{16}
Nükleer Reaksiyonlar	Gama Işınları		10^{20}
	Kozmik Işınlar		10^{22}

Atom numarası büyüdükçe çekirdekteki nükleonların sayısı (proton sayısı) arttığı için Coulomb kuvvetinin etkisi önemli hale gelmektedir. İtme kuvvetindeki artış çekirdek içerisindeki kararlılığı olumsuz yönde etkiler ve belirli bir aşamadan sonra çekirdek kararlı halde kalabilmek için fazladan bir nötrona ihtiyaç duyar. Nötron

sayısı proton sayısında fazla olan çekirdekler kararsız özelliğe sahiptir ve kararlı hale gelebilmek ışıma yaparlar.



Şekil 1.1. Kararlılık eğrisi

Şekil 1.1'de literatürde var olan çekirdeklerin nötron (N) ve proton sayılarının (Z) dağılımı görülmektedir. Proton ve nötron sayıları eşit olan hafif çekirdekler (atom numarası 20'ye kadar olan çekirdekler) dar bir dağılıma sahiptir. Bu dağılım kararlılık bölgesi ile temsil edilir. Atom numarası arttıkça çekirdeklerin kararlılık bölgesinden uzaklaştığı görülür ve nötron proton oranı 1,5 ve üzeri olan çekirdekler kararsızdır (Krane, 2001).

1.2.1. Doğal Radyoaktivite

Doğal radyoaktivite, bozunuma uğrayan çekirdek (izotop) doğada bulunan diğer radyoizotopların bozunumu sonrasında ortaya çıkmasına denir. Yaklaşık olarak doğada 340 civarında bilinen radyoaktif çekirdek vardır. Periyodik cetvelde atom numaraları Z = 81-92 arasındaki elementler doğal radyoaktif özellikler taşırlar.

Yer kabuğunda ^{238}U, ^{232}Th, ^{40}K, gibi doğal radyonüklitlerin olması toprağın radyoaktif olmasına neden olmaktadırlar. Yer kabuğundaki doğal radyonüklitler en fazla volkanik, granit, fosfat ve tuz kayalarında yüksek yoğunluklarda bulunurlar. Bu

kayalar zamanla doğa şartlarından etkilenerek çok küçük parçalar haline gelirler ve zaman içerisinde akıntı suları veya yağmurlar vasıtasıyla toprağa karışırlar. Bu şeklide topraktaki mevcut olan temel doğal radyoaktivite seviyesinin yükselmesine neden olurlar (NCRP, 1975). Ayrıca, dünyanın jeolojik yapısı incelendiğinde belli kalınlıktaki toprak tabakasının alt kısmında kaya yataklarının bulunduğu görülmektedir. Mevcut olan bu kaya yataklarının da topraktaki doğal radyoaktiviteye sebep olduğu düşünülmektedir. Özellikle, 0-25 cm derinlikteki yüzey tabakası gamma radyasyonlarının büyük bir bölümüne katkı sağladığı bilinmektedir (UNSCEAR, 1988).

1.2.2. Yapay Radyoaktivite

Yapay radyoaktivite, genel bir ifadeyle nükleer reaktör veya hızlandırıcılarda üretilen bir radyoizotopun bozunuma uğraması şeklinde tanımlanır. Teknolojik büyümelerde, bazı radyasyon kaynaklarının yapay yollarla üretilmesi ihtiyacı oluşmuştur. Bu radyasyon kaynakları, istenilen birden fazla işlerin daha ucuz, kolay, hızlı ve iyi bir şekilde yapılmasına olanak sağlar. Bunların bazı özel durumlarda alternatifleri hemen hemen yok gibidir (Aykamış, 2008). Son zamanlarda tıbbi, zirai ve endüstriyel gibi farklı hedefler için kullanılan X-ışınları ile yapay radyoaktif maddeler, nükleer silah denemeleriyle oluşan nükleer serpintiler, az da olsa nükleer güç üretimini sonucunda salınan ve bazı tüketici ürünlerinde kullanılan radyoaktif maddelerden dolayı doğal radyasyon seviyelerinde artışlar meydana gelmiştir. Başlıca yapay radyoaktif çekirdekler ^{60}Co, ^{65}Zn, ^{90}Sr, ^{90}Y, ^{125}I, ^{131}I, ^{134}Cs , ^{137}Cs, ^{155}Eu, ^{238}Pu, ^{239}Pu ^{240}Pu, ^{241}Pu dır.

İnsanların almış olduğu radyasyon doz miktarının çoğu doğal radyoaktif çekirdeklerden yayınlanan radyasyondan alınmış olmasına rağmen, insan yapımı olan yapay radyoaktif çekirdeklerden yayınlanan radyasyonlar, yaydıkları radyasyon türü nedeniyle daha fazla endişe vericidirler (Damla, 2009).

1.3. Bozunma Kanunu

Doğada kararlı ve kararsız atom çekirdekleri mevcuttur. Kararsız çekirdeklerin kendi kendine parçacık çıkararak veya ışıma yaparak başka izotop ile aynı izotopun başka bir haline dönüşmesi durumu *radyoaktif bozunma* olarak tanımlanır. Bazı radyoaktif atomların kendi kendine bozunması zamandan bağımsız olabilir ve bu durum tamamıyla tesadüfî karakteristik bir özellik gösterir. Bozunma sayısı mevcut atom sayısı ile orantılı olup zaman birimindeki ortalama bozunma sayısı olarak ifade edilir. 1896 yılında radyoaktifliğin keşfi ile birlikte takip eden üç yıl boyunca yapılan çalışmalar neticesinde, saf olan radyoaktif maddenin zamanla bozunma hızının üstel kanunla uyum içersinde olduğu gösterilmiştir. Uzun bir zamanı kapsayan çalışmalar neticesinde radyoaktifliğin tüm numunede değil de tek tek atomlarda değişikliği temsil ettiği anlaşılmıştır. Herhangi bir atomun ne zaman bozunacağının bilinememesi durumu bozunmanın istatistiksel yapıda olduğunu gösterir. Bu durum, hipotezin doğrudan üstel kanuna uyduğunu göstermiş ve iki yıllık bir süre almıştır. Bununla birlikte bu durumun kabul edilmesi Kuantum teorisinin gelişmesinden önce oldukça zor olmuştur (Krane, 2001).

Radyoaktif bir çekirdek içersinde birim zamanda gerçekleşen bozunma sayısı çekirdeğin *bozunma hızı* veya *aktivitesi* olarak tanımlanır. Bu durum ise numunede herhangi bir t anında N tane radyoaktif çekirdek olmak üzere ve dışarıdan çekirdek ilave edilmeden sonsuz küçük dt zaman aralığı içinde bozunan çekirdek sayısı N ile orantılı olacaktır şeklinde ifade edilir.

$$\frac{dN(t)}{dt} = -\lambda N(t) \tag{1.1}$$

Burada eksi işaret, radyoaktif atomların zamanla azaldığını ifade etmektedir. Denklemin çözümü sonucunda radyoaktif bozunma yasası elde edilir.

$$N(t) = N(0)e^{-\lambda t} \tag{1.2}$$

N(t) = Herhangi bir t anındaki çekirdeklerin sayısı, N(0) = Başlangıçtaki çekirdeklerin sayısı ve λ = Bozunma sabiti (s^{-1})

Radyoizotopun fiziksel yarı ömrü bir radyonüklidin aktivitesinin, ilk başta sahip olduğu değerinin yarısına düşmesi için geçen süre ($t_{1/2}$) olarak ifade edilir ve yarı ömürler saniyeden başlayarak milyar yıl mertebesine kadar değişmektedir. Her radyonüklitin yarı ömür süreleri farklıdır. Örneğin; ^{137}Cs için yarı ömür süresi 30 yıl olmakla birlikte ^{238}U için yarı ömür süresi ise 4470 milyon yıl olmaktadır. Birbirini peş peşe takip eden radyoaktif yarı ömürler dikkate alındığında, bir radyonüklidin veya radyoizotopun aktivitesi, 1/2, 1/4, 1/8 gibi oranlarda bozunmaya veya parçalanmaya uğrayarak azalıp gitmektedirler. Böylece, ileride herhangi bir zaman için, geriye kalan aktivite önceden belirlenebilir. Genel olarak ifade edilirse; radyonüklit miktarı azalırken, yayınlanan radyasyon miktarı veya radyasyon dozu da orantılı olarak azalır (Taner, 2007).

1.4. Radyoaktif Bozunma Türleri

1.4.1. Alfa Bozunumu

Alfa bozunumu, radyoaktif bir çekirdekten 2 protonu ve 2 nötronu olan ^4_2He çekirdeğinin yayınlandığı nükleer bir süreçtir.

$$^A_ZX \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^4_2He + Q \qquad (1.3)$$

Burada Q, ana ve ürün çekirdekler arasındaki kütle farkına denk gelen bozunma enerjisidir. Bu enerji ürün çekirdekler arasında momentumun korunumuna göre paylaştırılır. Bu yüzden alfa parçacıkları karakteristik bir enerjiye sahiptir ve spektrumları da keskin bir yapıya sahiptir. Alfa bozunumu yapan bazı çekirdekler Tablo 1.2'de görülmektedir. Çoğu durumda, özellikle düşük atom numaralı çekirdekler alfa bozunumu sonucunda doğrudan ürün çekirdeğin taban durumuna dönüşür. Ağır çekirdekler ise alfa bozunumundan sonra ürün çekirdeğin uyarılmış bir seviyesinde kalır ve gama ışını yayarak taban durumuna dönüşür.

Tablo 1.2. Alfa bozunumu yapan bazı çekirdekler

Ana Çekirdek	Yarı – Ömür	Alfa Parçacığının Enerjisi (MeV)
^{232}Th	$1,4 \times 10^{10}$ yıl	4,012
^{238}U	$4,5 \times 10^{9}$ yıl	4,196
^{235}U	$7,1 \times 10^{8}$ yıl	4,598
^{236}U	$2,4 \times 10^{7}$ yıl	4,494
^{230}Th	$7,7 \times 10^{4}$ yıl	4,687
^{243}Am	$7,4 \times 10^{3}$ yıl	5,275
^{241}Am	433 yıl	5,485
^{238}Pu	88 yıl	5,499

Alfa parçacıkları sahip olduğu yük ve kütle nedeniyle madde içerisine çok fazla nüfuz etme kabiliyetine sahip değildir. Alfa parçacıkları madde içerisine girdiğinde iki farklı mekanizma ile iyonlaşmaya neden olur. Madde içerisinden geçerken, pozitif yüke sahip alfa parçacıkları ile negatif yüklü elektronlar arasındaki Coulomb kuvveti (yeteri kadar kısa mesafelerde) iyonlaşmaya neden olur. Diğer durumda ise elektronlara oranla alfa parçacığının (proton ve nötronlardan dolayı) sahip olduğu büyük kütle ve kinetik enerji çarpışmalar sonucunda elektronların kolaylıkla iyonlaşmasına neden olur. Bu etkilerin sonucunda alfa parçacıkları, enerjisi büyük olmasına rağmen çok kısa erişim mesafelerine sahiptir (Knoll, 2000; Gilmore, 2008).

1.4.2. Beta Bozunumu

Çekirdeklerin negatif yüklü elektron yayınlaması ilk gözlenen radyoaktif olaylardan biridir. Bu olayın tersi, yani bir çekirdeğin atom elektronlarından birini yakalaması ise 1938 yılında Alvarez'in çekirdek tarafından yakalanan atom elektronunun boşalttığı yerin doldurulması sırasında yayınlanan karakteristik x ışınlarını bulmasına kadar gözlenememiştir. 1934 yılında Joliot-Curies ilk kez radyoaktif bozunma olayında pozitif yüklü elektronların (pozitronların) yayınlandığını gözlemlediler. Bundan yalnızca iki yıl sonra pozitronlar kozmik ışınlarda keşfedildi. Bu üç olay birbirleri ile yakından ilgili olup beta bozunumu olarak adlandırılırlar.

1.4.2.1. Elektron Bozunumu

Beta (β^-) bozunumuna karşı kararsız olan tüm çekirdekler nötron fazlalığı bulundurur. Beta bozunumu olayı sonucunda çekirdekteki bir nötron protona dönüşmüş olur. Böylelikle çekirdeğin atom numarası artarken bozunuma karşı olan kararsızlığı da azalmış olur.

$$^{A}_{Z}X \rightarrow {}_{Z+1}{}^{A}Y + \beta^- + \bar{\nu}_e \qquad (1.4)$$

Aslında beta bozunumunda, nötronlar serbest denebilecek kadar çekirdeğe zayıf bağlıdır. Serbest haldeki nötron kısa bir zamanda proton ve beta parçacığına (elektrona) bozunarak yok olur.

$$n \rightarrow p + \beta^- + \bar{\nu}_e \qquad (1.5)$$

Bozunum olayı sonucunda, madde ile etkileşme olasılıkları çok düşük olduğu için ancak çok özel deneysel düzeneklerle gözlemlenebilen anti-nötrinolar açığa çıkar. Anti-nötrinolar enerji, açısal momentum ve Lepton sayısının korunumu zorunluluğundan reaksiyon sonucunda oluşması gereken parçacıklardır. Beta bozunumu reaksiyonunda kütle farkından açığa çıkan enerji, momentumun korunumuna göre ürünler arasında kütleleri ile ters orantılı olacak şekilde paylaştırılır. Ürün çekirdeğin kütlesi diğer ürünlere (beta ve antinötrino parçacıklarına) oranla çok büyük olduğundan açığa çıkan enerjinin küçük bir kısmını alır. Bunun için doğrudan dedekte edilemezler. Enerjinin kalan kısmı ise beta ve anti-nötrino arasında değişik oranlarda paylaştırılır. Bundan ötürü açığa çıkan beta parçacıkları sürekli bir spektruma sahiptir ve alabilecekleri maksimum enerji ($E_{\beta max}$) ile tanımlanır. Bu süreçle elde edilen elektronları (beta parçacıklarını) diğer süreçlerle elde edilen elektronlardan ayıran en belirgin özellikleri sahip oldukları sürekli enerji spektrumudur. Diğer özellikleri dikkate alındığında beta parçacıkları elektronlarla aynı karaktere sahiptir, yani elektronun kendisidir.

Beta bozunumu olayında ürün çekirdek genellikle uyarılmış bir seviyede kalır ve sonuç olarak beta parçacığıyla beraber gama ışını da yayınlanır. Bazı durumlarda da beta bozunumu yapan çekirdekler doğrudan ürün çekirdeğin taban seviyesine dönüşür ve bu tip çekirdekler saf beta yayıcıları olarak adlandırılırlar. Bazı saf beta yayıcı çekirdekler Tablo 1.3' de gösterilmiştir (Knoll, 2000; Gilmore, 2008).

Tablo 1.3. Bazı saf beta yayıcı çekirdekler

Çekirdek	Yarı - Ömür	Maksimum Enerjisi (MeV)
^{3}He	12,3 yıl	0,019
^{14}C	5730 yıl	0,156
^{32}P	14,3 yıl	1,711
^{33}P	24,4 gün	0,248
^{35}S	87,3 gün	0,167
^{36}Cl	$3,01 \times 10^{5}$ yıl	1,142
^{45}Ca	165 gün	0,252
^{63}Ni	98,7 yıl	0,067
^{99}Tc	$2,12 \times 10^{5}$ yıl	0,294
^{147}Pm	2,62 yıl	0,225
^{204}Tl	3,81 yıl	0,763

1.4.2.2. Pozitron Bozunumu

Beta (β^-) bozunumu nötron zengini çekirdeklerde oluşurken, pozitron bozunumu protonca zengin çekirdeklerde meydana gelir. Pozitron bozunumunda çekirdekteki bir proton nötrona dönüşerek, daha düşük atom numaralı ve kararlı bir çekirdeğin oluşmasını sağlar.

$$^{A}_{Z}X \rightarrow {}_{Z-1}^{A}Y + \beta^{+} + \nu_e \qquad (1.6)$$

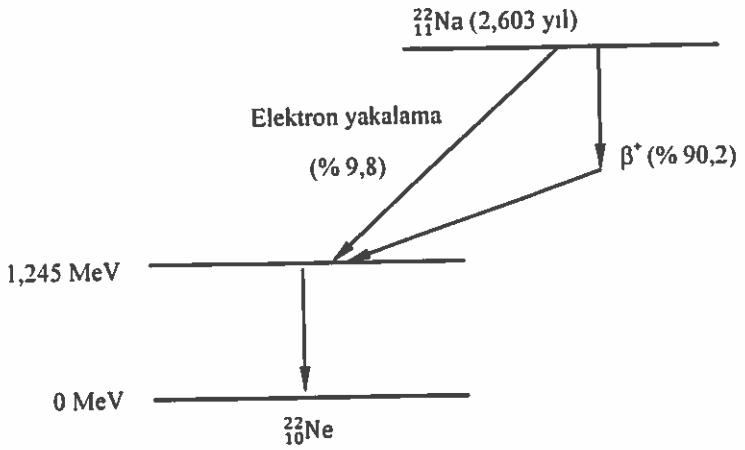
Bu bozunum türünde de korunum yasaları gereğince ürünlerde nötrino açığa çıkar. Beta bozunumunun tersi yönde gerçekleşen bu bozunum olayında açığa çıkan pozitronlar pozitif yüklü elektronlardır. Yükleri dışındaki tüm özellikleri elektrona özdeş olan bu parçacıklar anti-elektron olarak adlandırılır. Pozitron bozunumunun gerçekleşebilmesi için çekirdekteki protonun bir elektron ile birleşmesi gerekir.

Çekirdek içerisinde elektron bulunamayacağından ihtiyaç duyulan bu elektron diğer nükleer süreçlerden elde edilir. Pozitron bozunumu için bu elektron kaynağı çift oluşum olayıdır. Çekirdekte fazlalık olarak bulunan protonun elektron ile birleşerek pozitron salınımının gerçekleşebilmesi için reaksiyondaki izobar çekirdekler arasındaki kütle farkının 1022 keV'tan daha büyük olmalıdır. Pozitronlar da beta parçacıkları gibi maksimum bir değere kadar uzanan sürekli bir spektruma sahiptir. Pozitronlar çok kısa ömürlü oldukları için madde içerisinde çok kısa mesafelere kadar ilerleyebilirler. Çünkü pozitronlar elektronların anti parçacıklarıdır ve elektronla birleşerek yok olurlar. Yok-olma denilen bu süreçte hem elektron hem de pozitron yok olurken birbirine zıt yönlerde yayılan ve elektronun kütlesine eşit enerjili (511 keV) iki foton açığa çıkar. Yayınlanan bu fotonlar yok-olma radyasyonu olarak adlandırılır ve gama spektroskopisinde elde edilen spektrumlarda sıklıkla ortaya çıkar. Bu yolla elde edilen yok-olma fotonlarının spektrumdaki pikleri, nükleer geçişler sonucu elde edilen aynı enerjili gama fotonlarının piklerinden belirgin bir şekilde daha geniştir. Bu genişlemenin nedeni ise Doppler etkisidir. Yok-olma olayının başlangıcında, yani pozitron-elektron etkileşimi başladığı anda parçacıklar tamamen durgun değildir. Bundan ötürü parçacıklar, yok olmadan önce net bir momentuma (yani kinetik enerjiye) sahip olur. Korunum yasalarına göre sahip olunan bu kinetik enerji yok-olma fotonlarının enerjilerinde bir miktar artışa neden olur. Bu artış istatistiksel belirsizliğe ve de yok-olma fotonlarının spektrumda oluşturacağı pikte genişlemeye sebep olur (Knoll, 2000; Gilmore, 2008).

1.4.2.3. Elektron Yakalama

Daha önce bahsedildiği gibi pozitron bozunumu ancak kütle farkı 1,022 MeV'tan büyük olan izobarik çekirdekler arasında meydana gelmektedir. Nötronca fakir (proton fazlalığı), ancak bozunuma karşı daha kararlı olan çekirdeklerde yani pozitron salınımı gerçekleştirebilecek kütle farkına sahip olmayan çekirdeklerde kararlılık farklı bir bozunum olayı gerçekleşerek sağlanır. Burada protonu nötrona dönüştürmek için ihtiyaç duyulan elektron çekirdek dışındaki orbitallerden sağlanır. Orbital elektronlarının çekirdek tarafından tutulmasına "Elektron Yakalama" olayı adı verilir. Elektron yakalama olayı, çekirdeğe en yakın elektron kabuğu (dalga

fonksiyonlarının üst üste gelme olasılığı daha büyük) olması nedeniyle K-kabuğunda daha baskındır. Elektron yakalama olayı sonucunda atomik yörüngelerde meydana gelen elektron boşluğu üst yörünge elektronları tarafından çok kısa bir zamanda doldurulur. Bu olay sonucunda da karakteristik x ışınları oluşur. Oluşan karakteristik x ışınları her zaman atomu terk etmeyebilir. Bazen dış yörünge elektronlarını uyararak "Auger" olayına neden olur.



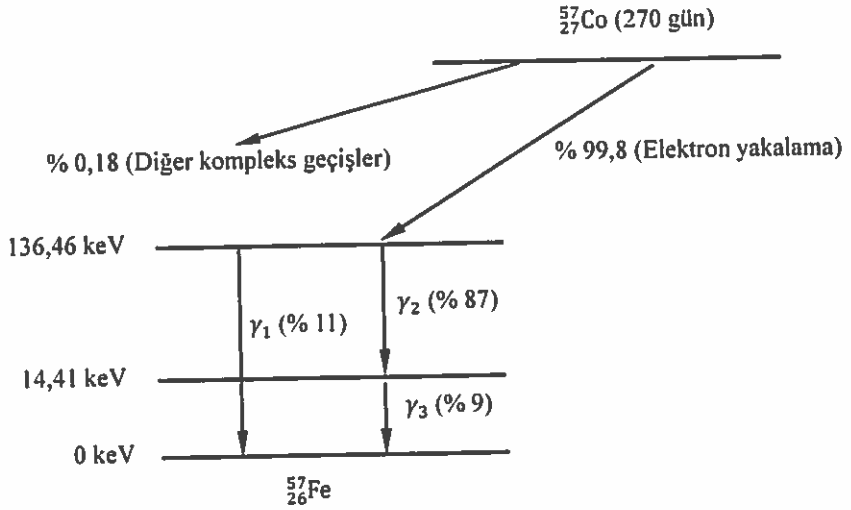
Şekil 1.2. $^{22}_{11}$Na çekirdeğinin $^{22}_{10}$Ne çekirdeğine bozunumu

Kütle farkı 1,022 MeV' tan biraz büyük olan çekirdeklerde hem pozitron bozunumunu hem de elektron yakalama olayı meydana gelebilir. Bunun en tipik örneği ^{22}Na çekirdeğinin ^{22}Ne çekirdeğine bozunumudur (Şekil 1.2).

1.4.3. Gama Bozunumu

Gama ışınları genel olarak beta bozunması ve nükleer reaksiyonlar sonucunda oluşur. Çekirdekten gama ışınlarının yayınlanması, alfa ve beta bozunumlarından daha farklı bir yapıya sahiptir. Diğer bozunma türlerinin aksine çekirdekteki nükleonların sayısında ve türünde değişiklik olmaz. Çünkü gama ışınları, uyarılmış nükleer seviyeler arasındaki geçişler sonucu yayınlanan radyasyon türüdür. Gama ışınları, genellikle nükleer bozunma sonucu uyarılmış seviyede kalan ürün çekirdeğin kararlı duruma geçmesi sonucu yayınlanır (Şekil 1.3). Herhangi bir beta bozunması, bir veya birçok gama ışınının yayınlanmasını başlatan bir süreçtir. Beta ışımalarının yarı

ömürleri (birkaç yüz gün veya daha uzun), uyarılmış nükleer durumun yarı ömrüyle kıyaslandığında (piko saniye mertebesinde) çok büyük olduğundan, yayınlanan gama ışınının yarı ömrü ana çekirdeğin yarı ömrüyle, enerjisi ise ürün çekirdeğin enerjisiyle karakterize edilir.



Şekil 1.3. $^{57}_{27}$Co çekirdeğinin $^{57}_{26}$Fe çekirdeğine bozunumu

Nükleer seviyeler çok belirgin enerji değerlerine sahip olduğu için, bu seviyeler arasındaki geçişler sonucunda yayınlanan gama ışınlarının enerjileri de çok belirgin olur. Bu nedenle gama spektroskopisinde gözlenen piklerin çizgisel denebilecek kadar dar bir enerji dağılıma sahip olması beklenir. Ancak dedektör çözünürlüğünü etkileyen diğer faktörler (yük taşıyıcılarının oluşması ve toplanmasındaki belirsizlikler ve elektronik gürültü) bu enerji dağılımının genişlemesine yol açar ve sonuçta pikin Lorentzian ve Gaussian dağılımların birleşimi şeklinde ortaya çıkmasına neden olur (Gilmore, 2008).

Eğer ana çekirdek pozitron (β^+) ışıması yaparsa, bununla beraber diğer bir radyasyon türü daha yayınlanır. Bu radyasyonun kaynağı, temel bozunmada açığa çıkan pozitrona dayanır. Pozitronlar bütün kinetik enerjilerini kaybetmeden önce sadece birkaç milimetre yol alabilirler ve ana çekirdeği saran materyalin elektronlarından biriyle birleşerek yok olurlar. Bunun sonucunda elektron ve pozitron kaybolur, buna

karşın zıt yönlerde yönlenmiş her biri 0,511 MeV olan ve yok olma radyasyonu olarak adlandırılan iki foton yayınlanır.

Beta ışımasını takiben oluşan gama ışınlarından daha yüksek enerjili gama ışınları nükleer reaksiyonlar ile elde edilir. Reaksiyonda ana çekirdek, reaksiyonu gerçekleştirebilecek enerjiye sahip parçacıklar ile bombardıman edilir. Reaksiyon sonucunda iki veya daha fazla ürün çekirdek oluşur. Ürün çekirdeklerden biri, beta bozunumuna (uyarılmış seviyede kalan ürün çekirdeğe) göre daha üst seviyelerde uyarılmış halde kalır. Uyarılmış seviyede bulunan ürün çekirdeğin taban durumuna geçerek kararlı hale gelmesi sırasında yüksek enerjili gama ışınları yayınlanır. Bu reaksiyonlardan bir tanesi aşağıda verilmiştir.

$$^{4}_{2}\alpha + {}^{9}_{4}\mathrm{Be} \rightarrow {}^{12}_{6}\mathrm{C}^{*} + {}^{1}_{0}\mathrm{n} \qquad (1.7)$$

Burada reaksiyon sonucunda $^{12}_{6}\mathrm{C}^{*}$ ürün çekirdeği uyarılmış bir seviyede kalır. Bu seviyenin taban durumuna bozunması sonucu, enerjisi 4,44 MeV olan bir gama ışını yayınlanır. Ancak bu uyarılmış seviyenin ömrü o kadar kısadır ki (61 fs) reaksiyon sonucunda üretilen gama ışınlarının enerji dağılımı Doppler olayının etkisi ile genişler. Gama ışınının enerjisindeki bu genişleme birçok dedektörün kalibrasyonu için yeterli olmasına rağmen çözünürlüğü çok iyi olan dedektörlerin kalibrasyonu için büyük bir sorundur.

Gama ışını üreten bir başka nükleer reaksiyon örneği aşağıda verilmiştir.

$$^{4}_{2}\alpha + {}^{13}_{6}\mathrm{C} \rightarrow {}^{16}_{8}\mathrm{O}^{*} + {}^{1}_{0}\mathrm{n} \qquad (1.8)$$

Burada $^{16}_{8}\mathrm{O}^{*}$ uyarılmış seviyede kalan çekirdektir ve ömrü yaklaşık $2\mathrm{x}10^{-11}$ saniyedir. Ortalama ömrün Doppler etkisini yok edecek kadar uzun olması yayınlanan gama ışınlarının çok dar bir enerji dağılımına sahip olmasına neden olur (Knoll, 2000).

1.5. Enerji ve Birimler

Radyasyon enerjisinin geleneksel birimi "elektron volt" veya eV olarak bilinir. 1 eV, bir elektronun 1 V potansiyel altında hızlandırılması sonucu elde edilen enerjidir. İyonlaştırıcı radyasyonlar için keV veya MeV daha genel kullanımlardır. Buna karşı enerjinin SI birim sistemindeki karşılığı joule (J)'dür. Öte yandan x ışını veya gama ışınının enerjisi ise radyasyon frekansıyla ilişkili olarak;

$$E = h \times \upsilon \tag{1.9}$$

E = Enerji, h = Planck sabiti ($6{,}625 \times 10^{-34}$ J.s), υ = Frekans

şeklinde tanımlanır.

Bir numunede var olan radyoaktif çekirdeklerin sayısını bilmek yerine birim zamanda (saniye başına) bozunan çekirdeklerin sayısını başka bir deyişle aktivitesini bilmek daha önemlidir. Curie (Ci), tarihi sıralamaya göre aktiviteyi tanımlamada kullanılan ilk birimdir ve bir gram radyum ile dengede bulunan radonun aktivitesi olarak ifade edilmektedir. SI birim sisteminde aktivite için Becquerel (Bq) kullanılmaktadır.

Işınlama birimi olan Coulomb/kg (C/kg), normal şartlarda (0 °C ve 1 atm basınçta) havanın 1 kg'ında $2{,}58 \times 10^{-4}$ C değerinde elektrik yüküne sahip iyon oluşturan x veya gama ışını miktarıdır. Geleneksel sistemdeki birimi Röntgen'dir (1 C/kg = 3876 R).

Radyasyon ile ışınlanan maddenin birim miktarında soğurulan enerji soğurulan doz olarak tanımlanmaktadır. SI birim sisteminde soğurulan doz birimi Gray (Gy) olup, 1 kg'lık maddeye 1 Joule (J)'lük enerji veren iyonize radyasyon dozudur. Geleneksel sistemdeki birimi rad olup, 1 rad, 1 gr maddenin 100 erg'lik enerji soğurma eşdeğeridir.

Radyasyonun oluşturacağı biyolojik etkiler eşdeğer doz ile ifade edilir. Eşdeğer doz, doku ve organlarda birim kütlede soğurulan enerji miktarı ile orantılı bir değerdir. SI birim sisteminde eşdeğer doz birimi Sievert (Sv)'dir. Geleneksel sistemdeki birimi ise rem'dir.

Radyasyon birimleri, doz hesaplamalarında kullanılan özel birimler ve bunlar arasındaki dönüşümler Tablo 1.4'de verilmiştir.

Tablo 1.4. Radyasyon birimleri ve dönüşümler

Terimler	Birimi		Dönüşümler
	Geleneksel	SI	
Aktivite (A)	Curie (Ci)	Becquerel (Bq)	1 Bq = 1 parçalanma/s 1 Ci = $3,7x10^{10}$ Bq
Doz (X)	Röntgen (R)	C/kg	1 C/kg = 3876 R 1 R = $2,58x10^{-4}$ C/kg
Soğurulmuş Doz (D)	rad	Gray (Gy)	1 Gy = 1 J/kg 1 rad = 100 erg/g 1 Gy = 100 rad
Doz Eşdeğeri (DE)	rem	Sievert (Sv)	1 Sv = 1 J/kg 1 Sv = 100 rem

1.6. Gama Spektroskopisi

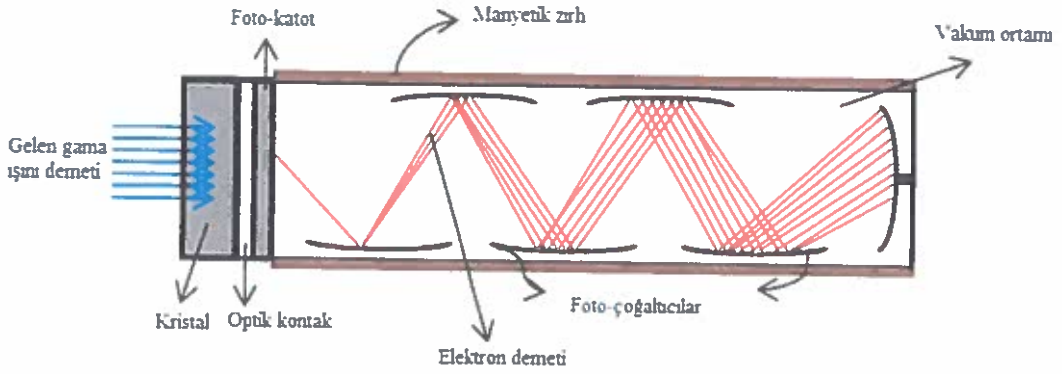
1896 yılında radyoaktivitenin H. Becquerel tarafından keşfedilmesinden beri kaynağını belirlemek için teknikler geliştirilmektedir. İlk olarak parçacıkları ölçebilen sintilasyon dedektörleri geliştirildi. 1903 yılında William Crookes, alfa parçacıklarını ZnS (Çinko Sülfür) ekrana çarptırdığında sintilasyonlar (pırıltılar) gözlemledi. 1910 yılında ise Rutherford ZnS ekrana alfa parçacıklarını çarptırarak oluşan sintilasyonları saydı. Rutherford'un yapmış olduğu bu düzenek oldukça verimsiz ve zaman alıcı bir işlemdi. Bu yöntem, ta ki sintilatörde üretilen ışığın büyütülmesini (amplifikasyonunu) mümkün kılan elektroniklerin geliştirilmesine kadar (30 yıl boyunca) kullanılmadı. Bu ilk cihazlar sadece alfa ve beta parçacıklarını ölçüp birbirinden ayırt edebiliyordu. İyonizasyon odalarının

keşfedilmesiyle birlikte gama ışınlarına hassas cihazlar geliştirilmeye başlandı. 1940'lı yılların son dönemlerine kadar enerji ayırımı yapabilen cihazlar yapılamadı. O dönemde, sintilasyon kristallerine entegre edilen hassas foto-çoğaltıcı tüplerin geliştirilmesi ile bu sorun ortadan kaldırılmış oldu. 1948 yılında Robert Hofstadter, NaI(Tl) kristalini kullanarak gama ışınlarını ölçtüğünü açıkladı.

Günümüzde, sitilasyon spektrometreleri yüksek enerji çözünürlüğüne sahip cihazlar değildir. Yüksek enerji çözünürlüğüne sahip yarıiletken dedektörlerin (Si(Li), Ge(Li), HPGe, vs.) geliştirilmesi ile birlikte sintilasyon dedektörlerinin gama spektroskopisindeki etkinliği azalmıştır. Ancak son dönemlerdeki çalışmalar, gama spektroskopisinde yüksek enerji çözünürlüğünden ziyade yüksek verime sahip sistemler üzerine yoğunlaşmıştır (Gilmore, 2008; L'Annunziata, 2012; Tsoulfanidis ve Landsberger, 2015).

1.6.1. Sintilasyon Dedektörleri

Sintilatörler, içlerinden iyonize radyasyon geçtiğinde pırıltılar oluşturan katı, sıvı veya gaz maddelerdir. Gama spektroskopisinde yüksek verimliliklerinden dolayı katı sintilatörler kullanılmaktadır. Sintilasyon dedektörleri iki ana kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısım, üzerine gelen radyasyon enerjisinin depolanıp, elektromanyetik spektrumun görünür bölgesinde bulunan fotonları oluşturan kristal kısımdır. İkinci kısım ise, ışığın çoğaltılıp çıkış pulsunun oluşturulduğu foto-çoğaltıcı tüp kısmıdır (şekil 1.4).



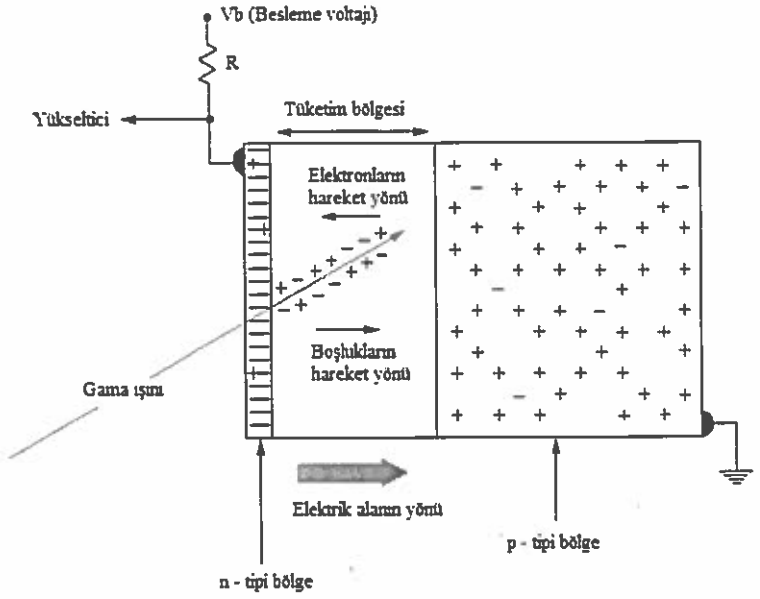
Şekil 1.4. Sintilasyon dedektörünün şematik görünümü.

Kristal üzerine düşen gama ışınlarının soğurulması sonucunda kristalde oluşan ışık pırıltıları foto-çoğaltıcı tüpe geçerek foto-katot yüzeyden elektronların sökülmesini sağlar. Sökülen elektronlar, peş peşe yerleştirilen ve kademeli olarak büyüyen voltajlara (1500 Volt'a kadar) sahip çoğaltıcılara (dynodes) doğru sürüklenir. Sürüklenen elektronlardan çoğaltıcıya çarpanlar fazladan elektronların oluşmasını sağlar. Oluşan elektronlar foto-çoğaltıcı tüp çıkışında bir yük sinyaline (pulsuna) dönüştürülür. Oluşan sinyalin genliği gelen fotonun enerjisi ile orantılıdır ve elektronik işlemlerden geçirilerek ölçüm işlemi tamamlanır.

1.6.2. Yarıiletken Dedektörler

Yarı iletkenler yük taşıyıcılarına göre ikiye ayrılırlar. Yük taşıyıcıları elektron olan yarı iletkenlere n tipi, yük taşıyıcıları boşluk olan yarı iletkenlere ise p tipi yarı iletkenler olarak adlandırılır. Yarı iletkenlerde elektronlar değerlik bandında boşluklar bırakarak iletim bandına geçerler ve değerlik bandında oluşan bu boşluklar komşu elektronlar tarafından doldurulurlar. Elektronların boşlukları doldurmasından sonra yeni boşluklar oluşur ve sanki boşluklar kristal içinde hareket ediyormuş gibi görünür. Yarı iletkenlerde iletimi kontrol edebilmek için de katkı maddeleri kullanılır. Bu katkı maddesi eğer beş değerlikli ise dört elektronu kovalent bağ yapar, beşinci elektronu ise kristal örgüsü içinde serbest olarak hareket eder. Bu n-tipi yarı iletkendir. Eğer katkı üç değerlikli ise üç elektron kovalent bağ yapar ve kovalent bağ yapamayan bir boşluk meydana gelir. Bu da p-tipi yarı iletkendir. n-tipi ve ptipi tipi materyallerin temas ettirilmesiyle oluşan yarı iletken dedektörlerde, n-tipi materyalden çıkan elektronlar p-tipi materyale doğru hareket ederler. Temas bölgesinde yük taşıyıcıları nötür hale gelir ve bu bölgeye tüketim bölgesi denir. Şekil 1.5'de yarı iletken dedektör şeması ve tüketim bölgesi gösterilmektedir. Yarı iletken dedektörlerde gamma radyasyonu tüketim bölgesine girerek elektron-boşluk çiftleri oluşturur. Uygulanan bir gerilim ile tüketim bölgesindeki elektronlar ile boşluklar bir birlerine göre zıt yönde haraket ettirilirler. Biriken bu elektronların sayısı bir puls oluşturur. Bu pulsun genliğide gelen gamma radyasyonunun enerjisiyle orantılıdır. Yüksek verimde yarı-iletken detektör elde etmek istiyorsak, derin tükenme bölgesine

ihtiyaç duyarız. Derin tükenme bölgesini elde edebilmek içinde çok fazla saf olan germanyum gibi maddeler kullanılmalıdır (Gilmore, 2008).



Şekil 1.5. Yarıiletken dedektörün genel şeması (Tsoulfanidis ve Landsberger, 2015).

1.6.3. Gama Işınlarının Madde ile Etkileşmesi

Gama spektroskopisi, belirli miktarlarda doğal ve yapay radyonüklit içeren numunelerden yayınlanan gama ışınlarını enerjilerine bağlı olarak ölçebilen sistemlerdir. Bu sistemler genel olarak sahip oldukları verime ve enerji çözünürlüğüne bağlı olarak değerlendirilirler. Verim ve enerji çözünürlüğü parametreleri dedektör materyalinin (kristalinin) taşıyıcı yük oluşturma ve toplama kabiliyeti ile doğrudan ilişkilidir. Kristalde taşıyıcı yüklerin oluşumunda temel faktörü foton madde etkileşme mekanizmaları oynar. Bu mekanizmalar fotoelektrik, Compton ve çift oluşum olaylarıdır.

1.6.3.1. Fotoelektrik Soğurma

Işığın tanecikli yapıda olduğunu gösteren temel olaylardan bir tanesi olan fotoelektrik soğurma 1887 yılında ilk defa H. Hertz tarafından gözlendi. Fotoelektrik soğurma olayı yeteri kadar enerjik fotonların atomun bağlı elektronlarından biriyle

etkileşmesi sonucu gerçekleşir. Etkileşme sonucunda foton enerjisinin tamamını elektrona aktararak ortadan kaybolur. Atomdan kopan elektron ise, atomik yörüngeye bağlanma enerjisi kadarlık bir eksik foton enerjisi ile serbest hale geçer. Fotoelektrik soğurma olayında fotonların etkileşme olasılığı atomun K tabakasındaki elektronları için daha fazladır. Fotoelektrik olay sonucunda serbest hale geçen elektronun enerjisi aşağıdaki eşitlik ile ifade edilir.

$$E_{fe} = h\upsilon - E_b \tag{1.10}$$

Burada E_b elektronun bulunduğu yörüngeye bağlanma enerjisini ifade eder. Serbest ya da atoma zayıf bağlı bir elektronun foton ile etkileşmesi sonucu fotoelektrik olayın meydana gelme olasılığı oldukça düşüktür. Çünkü bu durumda momentum ve enerjinin korunumundan bahsetmek mümkün değildir. Ancak bağlı elektron durumunda atom geri teper ve böylece momentumun korunumu yasası sağlanır.

Fotoelektrik soğurma sonucunda serbest hale geçen elektron arkasındaki yörüngede bırakmış olduğu boşluk, daha düşük bağlanma enerjili bir yörüngeden bir elektronun bu boşluğa geçişi ile doldurulur. Bu olay sonucunda, iki yörüngenin bağlanma enerjileri arasındaki fark kadar enerjiye sahip bir foton yayınlanır. Atomdan yayınlanan bu foton karakteristik x-ışını olarak adlandırılır. Oluşan karakteristik x ışını her zaman atomu terk etmez, bazen atomun dış yörüngelerindeki elektronlardan birisini sökerek yok olur. Bu olaya Auger olayı, sökülen elektrona da Auger elektronu denir.

Fotoelektrik soğurma olayı, düşük enerjili gama ışınları için yüksek bir olasılığa sahiptir. Bu ihtimaliyet foton ile etkileşime giren maddeyi oluşturan elementlerin atom numarasının artmasıyla artar. Bu olasılık için kesin bir matematiksel bağıntı olmamakla beraber, aşağıdaki gibi yaklaşık bir ilişki yazılabilir:

$$\tau_p = a_1 \frac{Z^n}{E^m} \tag{1.11}$$

Burada, τ_p fotoelektrik olayın meydana gelme olasılığını temsil eden fotoelektrik tesir kesitidir; a_1 atom numarası ve gelen fotonun enerjisinden bağımsız bir katsayı; Z atom numarası; E gelen fotonun enerjisi; m ve n ise gelen fotonun enerjisine bağlı olarak 3 ile 5 arasındaki değişik değerleri alabilen katsayılardır. Gama ışınlarının soğurulmasının atom numarasına bu denli sıkıca bağlı olması, gama dedektörlerinin atom numarası yüksek elementlerden üretilmesini gerektirir.

1.6.3.2. Compton Saçılması

Compton olayı da ışığın tanecikli karakterini vurgulayan olaylardan birisidir. Işığın kuantum teorisi, durgun kütlesinin yokluğu haricinde fotonların parçacıklar gibi davrandığını kabul eder. Bu durum, fotonlarla elektronlar arasında iki parçacığın çarpışması gibi bir çarpışma olayının olabileceğini gösterir.

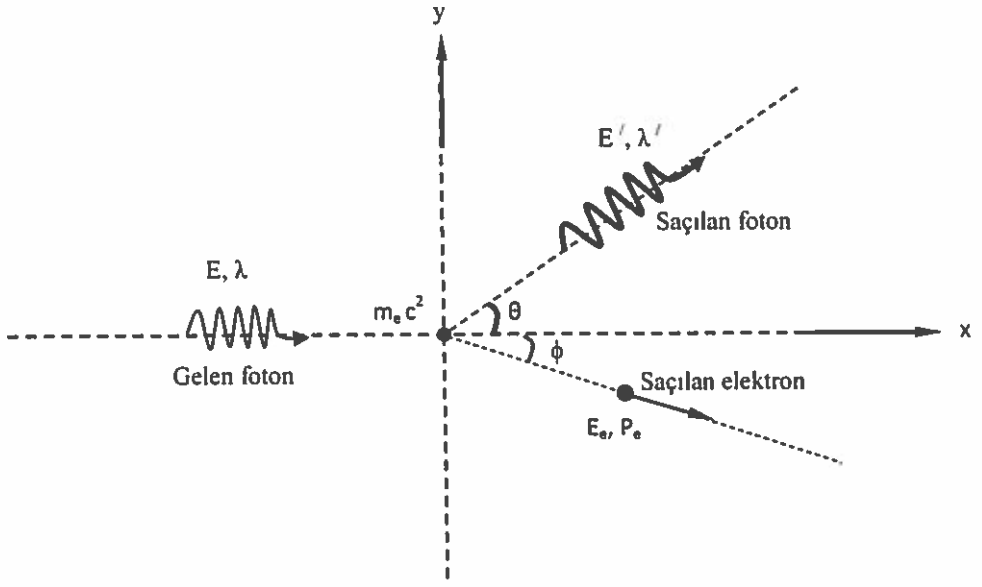
Compton olayı, bir fotonun atomun çekirdeğine çok zayıf bağlı olan bir elektronla etkileşimi sonucu gerçekleşir. Fotolektrik olay genellikle atomun K ve L gibi iç tabakalarındaki elektronlarla ilgiliyken, Comton olayı ise dış tabakalarındaki elektronlarla ilgilidir. Bir başka deyişle Compton saçılması, elektronun bağlanma enerjisinin gelen fotonun enerjisi yanında ihmal edilecek kadar küçük olduğu durumlarda baskın olarak meydana gelir.

Compton olayının teorisi, özel rölativite teorisinin sonuçları ile enerji ve momentumun korunumu kanunları kullanılarak oluşturulmuştur. Şekil 1.6'dan da açıkça görülebileceği gibi Compton olayı sonucunda gelen fotonun tüm açılarda saçılma olasılığı mevcuttur. Dolayısıyla etkileşim sonucunda çok farklı enerji değerlerine sahip elektron ve fotonu gözlemlemek mümkündür.

Compton olayında etkileşim sonucunda fotonun dalga boyundaki değişimi gösteren ifade aşağıdaki gibi olur.

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_e c}(1 - \cos\theta) \qquad (1.12)$$

Burada, h Planck sabitini, m_e elektronun kütlesini, c ışık hızını, λ gelen fotonun dalga boyunu, λ' saçılan fotonun dalga boyunu ve θ ise fotonun başlangıçtaki konumuna göre saçılma açısını temsil eder.



Şekil 1.6. Compton saçılmasının şematik gösterimi

Compton saçılmasının meydana gelme olasılığı (σ), ortamda bulunan elektron sayısı ile orantılı olduğundan atom numarası ile de orantılıdır ve aşağıdaki bağıntı ile gösterilir.

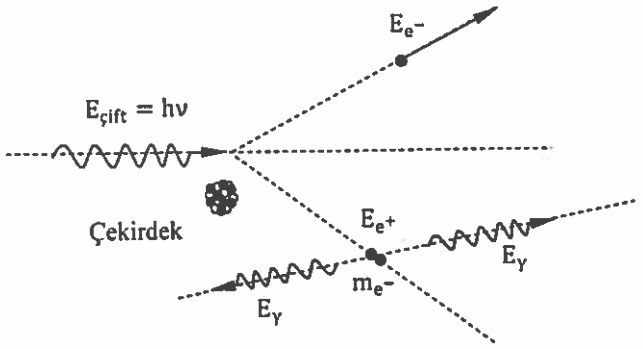
$$\sigma = a_2 Z f(E) \tag{1.13}$$

Burada, a_2 sabit bir katsayı ve f(E) ise gelen fotonun enerjisine bağlı olan bir fonksiyondur.

1.6.3.3. Çift Oluşumu

Bu tür etkileşmede, gelen gama fotonu atom çekirdeğinin yakınından geçerken onun Coulomb alanı ile etkileşmesi sonucu durgun kütle enerjileri 0,511 MeV olan elektron-pozitron çifti oluşturur. Şekil 1.7'de çift oluşumunun şematik şekli verilmektedir. Foton çift oluşumundan sonra enerjisini elektron pozitron çiftine

vererek ortamdan kaybolur. Elektron-pozitron çiftinin durgun kütle enerjileri 0,511 MeV olduğu için çift oluşumunun gerçekleşebilmesi için gelen fotonun en düşük enerjisi 1,022 MeV olmalıdır (Denklem 1.14).



Şekil 1.7. Çift oluşum olayı

$$E_{pair} = m_{e^-}c^2 + m_{e^+}c^2 = 1{,}022\ MeV \tag{1.14}$$

Oluşan elektronlar serbest elektronlar gibi ortamdaki diğer elektronlarla etkileşirken, pozitronlar ise ortamdaki başka bir elektronu yakalayarak 0,511 MeV' lik birbirine zıt yönde iki gamma ışını yayınlarlar. Bu gamma ışınlarına yok olma radyasyonu denir ve bu yolla oluşan gamma ışınları fotoelektrik olay yolu ile soğurulabilirler. Çift oluşum olayının oluşabilmesi için eşik enerji değeri 1,022 MeV olmasına rağmen, bu olay 3 MeV enerji değerinden sonra baskın hale gelmeye başlar.

BÖLÜM 2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Çalışma Bölgesi ve Özellikleri

Çaldağ Giresun ilinde yer almakta olup, Giresun Merkez ilçesine bağlıdır ve ilçe merkezine 17 km mesafe uzaklıktadır. Şekil 2.1 'de gösterilen Çaldağ beldesi 40°46'27.8508" Kuzey ve 38°19'8.2776" Doğu GPS koordinatlarına ve 441 m'lik rakıma sahiptir.

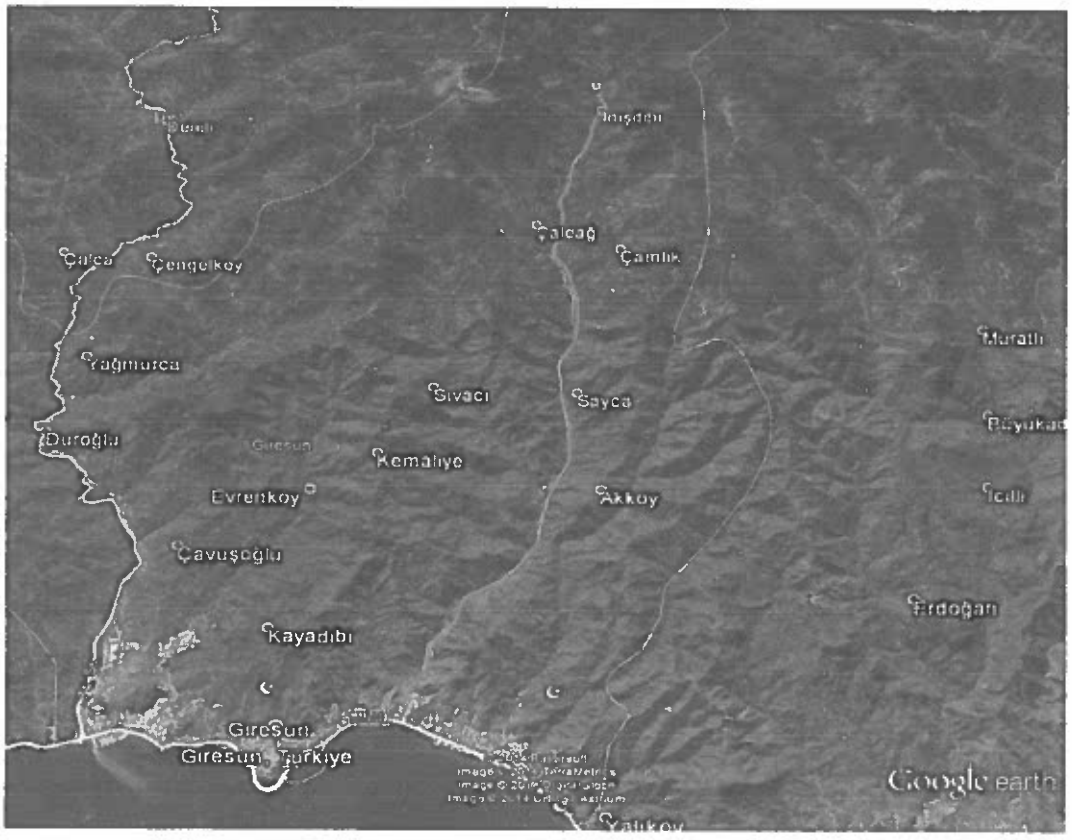
Şekil 2.1. Çaldağ beldesi, Giresun.

Şekilde 2.1.'de Giresun ilinde iklim, topografya ve ana madde farklılıkları nedeniyle oluşan çeşitli büyük toprak grupları ve toprak örtüsünden yoksun bazı arazi tipleri de görülmektedir.

2.2. Numunelerin Toplanması

Numunelerin toplanması ve hazırlanması işlemi, deneysel çalışmaların önemli bir aşaması olup, kurallara uygun şekilde yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada, 25 km'lik hat boyunca ve yüksekliği 0-1700 m aralığında değişen, Çaldağ güzergâhında açık alan, tarım arazisi ve ormanlık arazi olmak üzere üç farklı arazi türü kullanıldı.

Çalışma güzergâhı üzerinde çeşitli mesafelerde ve konumlarda olmak üzere açık alan, ekili alan ve ormanlık alanı kapsayacak şekilde 27 istasyon belirlenerek toprak numuneleri toplanmıştır. Toprak numunelerinin toplandığı güzergalı şekil 2.2'de gösterilmiştir. Toprak numunelerinin alınacağı noktalar arasındaki uzaklık 1000 m olacak şekilde belirlenmiş ve koordinatları tablo 2.1'de verilmiştir. Ayrıca şekil 2.3' te istasyon 5'e ait sistematik örnek alımı ve şekil 2.4 ise numunenin alındığı arazi türleri görülmektedir.

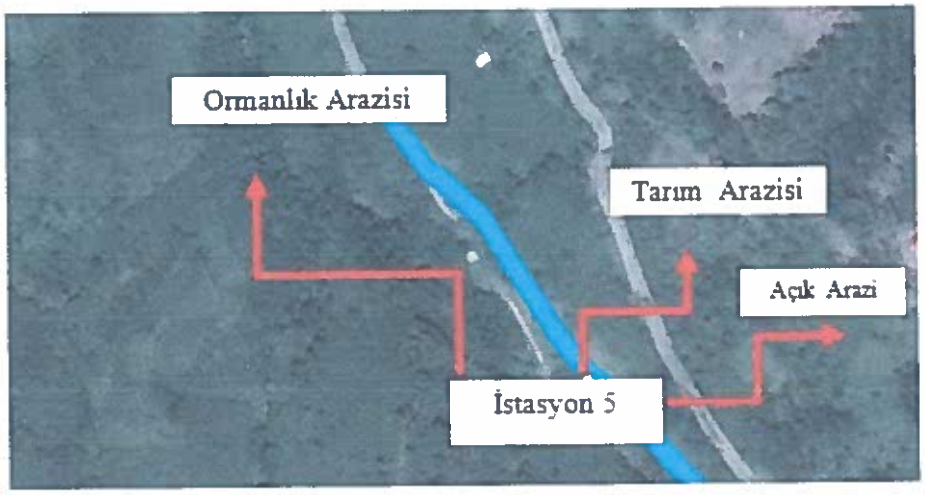


Şekil 2.2. Numune toplama güzergahı.

Tablo 2.1. Numune toplama yerleri ve koordinatları

İstasyon No	İl / İlçe	Koordinatlar	
		X / Boylam	Y / Enlem
İstasyon 1	Giresun / Çaldağ	40,549898	38,242242
İstasyon 2	Giresun / Çaldağ	40,558317	38,247341
İstasyon 3	Giresun / Çaldağ	40,557762	38,264751
İstasyon 4	Giresun / Çaldağ	40,642579	38,316459
İstasyon 5	Giresun / Çaldağ	40,697150	38,318433
İstasyon 6	Giresun / Çaldağ	40,692920	38,307961
İstasyon 7	Giresun / Çaldağ	40,698809	38,308820
İstasyon 8	Giresun / Çaldağ	40,706815	38,316578
İstasyon 9	Giresun / Çaldağ	40,714211	38,318568
İstasyon 10	Giresun / Çaldağ	40,727612	38,316955
İstasyon 11	Giresun / Çaldağ	40,726552	38,312195
İstasyon 12	Giresun / Çaldağ	40,715994	38,303746
İstasyon 13	Giresun / Çaldağ	40,723152	38,298875
İstasyon 14	Giresun / Çaldağ	40,727741	38,297460
İstasyon 15	Giresun / Çaldağ	40,736383	38,296651
İstasyon 16	Giresun / Çaldağ	40,747275	38,301803
İstasyon 17	Giresun / Çaldağ	40,761849	38,308811
İstasyon 18	Giresun / Çaldağ	40,000000	38,000000
İstasyon 19	Giresun / Çaldağ	40,805194	38,306547
İstasyon 20	Giresun / Çaldağ	40,841031	38,308457
İstasyon 21	Giresun / Çaldağ	40,863563	38,317770
İstasyon 22	Giresun / Çaldağ	40,870387	38,320389
İstasyon 23	Giresun / Çaldağ	40,880351	38,337745
İstasyon 24	Giresun / Çaldağ	40,890203	38,347365
İstasyon 25	Giresun / Çaldağ	40,900093	38,352702
İstasyon 26	Giresun / Çaldağ	40,904621	38,354405
İstasyon 27	Giresun / Çaldağ	40,908446	38,355086

Toprak numuneleri tablo 2.1'de belirtilen istasyonlardaki arazi türlerinden ve yüzeyden 30-40 cm derinlikten yaklaşık olarak 1kg alınarak, ağzı kilitli poşetlere konulmuş ve koordinatlarına göre etiketlenmiştir. Şekil 2.5'te poşetlenmiş haldeki toprak numuneleri görülmektedir.



Şekil 2.3. Sistematik örnek alımı (İstasyon 5).

Şekil 2.4. Sistematik örnek alımı (Arazi Türleri / İstasyon 5).

Şekil 2.5. Toplanıp, poşetlenen toprak numuneleri.

2.3. Radyoaktivite Ölçümleri

2.3.1. Numunelerin Ölçümlere Hazırlanması

Toplanan toprak örneklerindeki doğal (^{238}U, ^{232}Th ve ^{40}K) ve yapay radyoaktivite (^{137}Cs) seviyelerinin belirlenebilmesi için örneklerin belli hazırlık aşamalarından geçmesi gerekmektedir. İlk olarak toplanan toprak örneklerinin içindeki yabancı maddeler (ağaç parçası, taş, yosun vs.) temizlendi. Bu işlemden sonra toplanan her örnek kurutuldu ve elenerek toz haline getirildi. Kurutulup toz hale getirilen numuneler radyoaktivite ölçümü için çapı 6 cm, yüksekliği 5 cm olan plastik kutulara konup ağızları kapatıldıktan sonra kaplar etiketlenip tarihlenerek gamma spektroskopisi ile ölçüm yapılmak üzere kap içinde bulunan radyoaktif çekirdeklerin kendi ürünleriyle dengeye gelmesi için yaklaşık 30 gün bekletildi. Şekil 2.6'da radyoaktivite ölçümleri için kurutulup, plastik kutulara konulmuş toprak numuneleri gösterilmiştir.

Şekil 2.6. Radyoaktivite ölçümlerine hazırlanan toprak numuneleri.

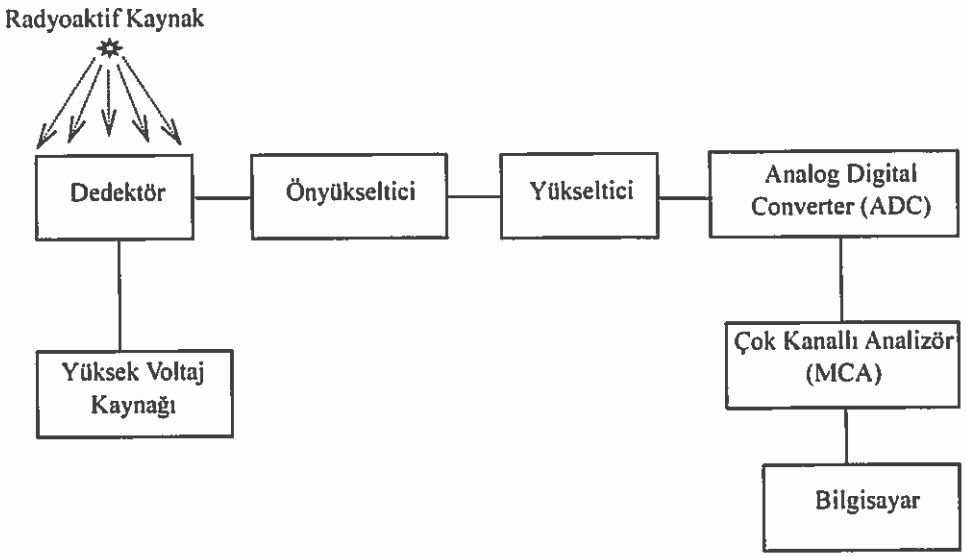
2.3.2. Deney Sistemi

Radyoaktivite ölçümleri, şekil 2.7'de genel görünümü verilen % 25' lik relatif verime ve 1,33 MeV' de 1,70 keV' lik ayırma gücüne sahip ORTEC marka GEM25P4-76 model HPGe yarıiletken gama detektörü ile gerçekleştirildi.

Gama spektroskopisinde dedektöre gelen fotonun işlenerek kullanılabilir veriler (sayım – enerji spektrumu) haline dönüştürülebilmesi için blok diyagramı şekil 2.8'de verilen elektronik sistemler kullanılır. Deneysel çalışmaların gerçekleştirildiği sistemde tüm bu elektronik bileşenleri içerisinde barındıran DSPEC jr 2.0 model dijital sinyal işleyici kullanıldı.

Şekil 2.7. ORTEC marka GEM25P4-76 model HPGe gama dedektörü.

Yüksek voltaj kaynağı, kristalde oluşan yük taşıyıcılarını elektrotlara taşıyacak elektrik alanının kristal boyunca oluşumunu sağlar. Kaynak tarafından dedektöre uygulanan bu gerilime besleme voltajı (bias voltage) adı da verilir. Besleme voltajı kristaldeki deplasyon voltajından büyük olduğu sürece toplanan yük sayısındaki dalgalanma da minimum düzeyde olur.



Şekil 2.8. Gama spektroskopisi ve elektronik bileşenlerinin blok diyagramı.

Önyükseltici, detektörden gelen akım sinyallerini depolanan enerji ile orantılı olarak voltaj sinyaline döştürür. Elektronik hatlar arasındaki empedans uyumunu sağlamak için sinyalleri şekillendirir ve büyütür. Aslında önyükseltici dedektöre monte edilmiş alan etkili bir transistördür (FET). Elektronik gürültüyü minimum seviyeye indirgemek için önyükselticiler dedektör ile beraber soğutulur.

Yükseltici, önyükselticiden gelen sinyallerin yüksekliğini analiz yapılabilecek seviyelere çıkarır ve enerji ayırımını sağlayacak sinyal şekillenimini yapar. Yükselticilerin çoğu hem unipolar çıkışa (sinyalin tamamı ya pozitiftir ya da negatiftir) hem de bipolar çıkışa (sinyal hem pozitif hem de negatif bileşenlidir) sahiptir. En iyi sinyal – gürültü oranını elde etmek için, yükselticinin unipolar çıkışı seçilir. Önyükselticinin ayarlanması gereken bir başka fonksiyonu da sinyal genişliğini belirleyen "Shaping Time" parametresidir. Bir spektrumdaki pikler için en iyi çözünürlük genellikle daha uzun zaman sabiti ile elde edilir. Bununla birlikte, daha uzun zaman sabitlerinin seçilmesi yükseltici çıkışında daha uzun sinyallerin oluşmasını sağlar. Başka bir deyişle, yükseltici çıkışında birim zamanda gözlenecek sinyal sayısının azalmasına neden olur. Bu durum yüksek sayım oranlarının olduğu ölçümlerde ciddi bir karışıklığa neden olur.

Çok kanallı analizörler (MCA), gelen sinyalleri enerjileri ile orantılı olarak farklı kanallara yerleştiren elektronik sistemlerdir. Çok kanallı analizörde en önemli devre elemanı analog dijital dönüştürücüdür (ADC). ADC, yükselticiden gelen analog sinyali onun genliği ile ve dolayısıyla gelen fotonun enerjisi ile orantılı tamsayıya çevirir. Sayılmış olan sinyal yüksekliği kadar sayı, analizörün hafızasında biriktirilir. Sayıların biriktirildiği kanallar farklı enerjileri temsil eder ve sayım süresince burada sinyallerin birikmesiyle pikler oluşur. Burada ölü zaman (dead time) adı verilen bir kavram ortaya çıkar. Ölü zaman yüksek sayım oranlarında oldukça önemlidir. Böyle durumlarda dedektöre gelen fotonlar arasındaki zaman o kadar kısadır ki analog dijital dönüştürücü gelen tüm sinyalleri aynı hızla işleyemez. Analog dijital dönüştürücünün bir sinyali işleyebilmesi için belirli zamana ihtiyacı vardır. Bu sırada, aynı zaman dilimi içerisinde gelecek olan diğer sinyalleri işleme almaz. Bu durum ardışık fotonların dedektöre gelme zamanı ile ardışık sinyallerin işlenmesi için geçen zaman arasında bir farkın oluşmasına neden olur. Ölü zaman adı verilen bu kavram aslında analog dijital dönüştürücünün meşgul olduğu zamandır.

Gama spektrometresi ile elde edilen spektrumda bulunan piklerin hangi radyoaktif çekirdeklere ait olduklarını belirlemek ve spesifik aktivitelerini hesaplayabilmek için ilk olarak enerji ve verim kalibrasyonlarının yapılması gerekmektedir.

2.3.3. Enerji ve Verim Kalibrasyonu

Gama spektrometresi ile yapılan ölçümlerde her foton Şekil 2.8'de gösterilen elektronik devrelerde işlendikten sonra enerjisi ile ilgili bir kanala atanarak piklerin dolayısıyla spektrumun oluşumu sağlanır. Bu süreçten önce hangi kanala hangi enerjinin denk geldiği sisteme tanıtılıp kaydedilmesi gerekmektedir. Enerji kalibrasyonu için yayınladığı foton enerjileri tam olarak bilinen standart kaynaklara (Tablo 2.2) ihtiyaç duyulur. Standart kaynağın spektrumunu elde ettikten sonra hangi kanalın hangi enerjiye karşılık geldiği belirlenip bu piklere ait enerji değerleri bir fonksiyona fit edilerek kalibrasyon eğrisinin denklemi elde edilir. Böylelikle

numunelerin spektrumunda bulunan radyoaktif çekirdeklerin türleri enerjilerine bakılarak belirlenebilir.

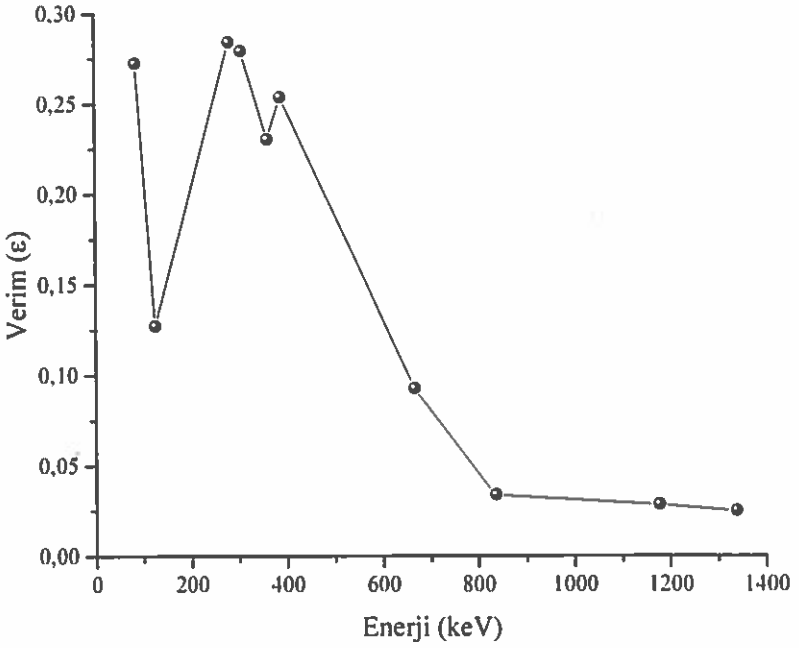
Tablo 2.2. Standart kaynaklar ve özellikleri.

Çekirdek	Enerjisi (keV)	Olasılığı	Yarı ömrü	Aktivitesi (kBq)	Ürün çekirdek
^{109}Cd	88,0	3,60	461,40 gün	372,20	^{109}Ag
^{57}Co	122,0	85,51	271,80 gün	387,40	^{57}Fe
	136,5	10,71	271,80 gün	387,40	
^{133}Ba	81,0	32,90	10,54 yıl	360,60	^{133}Cs
	276,4	7,16	10,54 yıl	360,60	
	302,8	18,39	10,54 yıl	360,60	
	356,0	62,05	10,54 yıl	360,60	
	383,8	8,94	10,54 yıl	360,60	
^{137}Cs	661,6	85,00	30,05 yıl	345,00	^{137}Ba
^{54}Mn	834,8	99,97	312,13 gün	351,40	^{54}Cr ^{54}Fe
^{60}Co	1173,0	99,85	5,27 yıl	372,20	^{60}Ni
	1332,0	99,98	5,27 yıl	372,20	

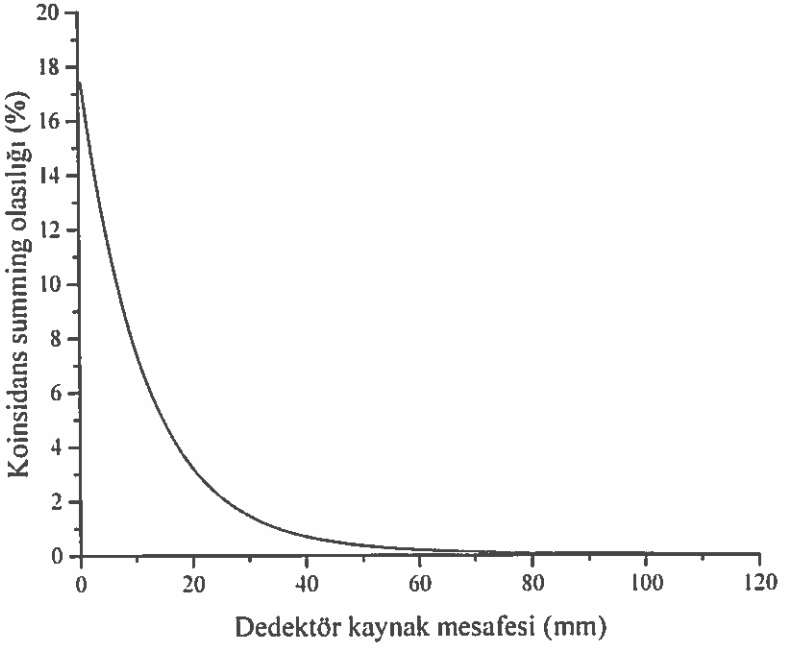
Verim kalibrasyonu ise herhangi bir numunedeki radyoizotopların aktivitelerinin belirlenmesinde kullanılan çok önemli bir parametredir. Burada, kullanılan standart kaynakların enerjilerinin yanı sıra üretim tarihleri ve aktiviteleri bilinmesi gerekir.

Verim kalibrasyonu yapılırken kullanılacak olan standart kaynaklar ölçülecek numune ile aynı kimyasal yapıya ve geometrik özelliklere (dedektör kaynak mesafesine ve numune-standart kaynak şekline) sahip olmalıdır. Verim eğrisinin oluşturulmasında dikkat edilmesi gereken bir başka nicelik ise özellikle yüksek sayım oranlarında ve çoklu enerjilerde gama ışını yayınlayan kaynaklarla çalışırken gözlemlenen koinsidans-summing etkileridir. Bu durumda fotonlar dedektöre o kadar kısa sürede ulaşır ki dedektörün ayırma zamanı (resolving time) bu fotonları bir birinden ayırt edemez. Ardışık olarak gelen bu fotonların dedektör için aynı zaman içinde kaydedilmesi, tam enerji pikinde (FEP) sayım kayıplarına neden olur. Bu durumu gözlemlemek için sistemin verim kalibrasyonu dedektör kaynak mesafesi 5

cm seçilerek yapıldı (şekil 2.9). Elde edilen sonuçlar, kısa dedektör-kaynak mesafelerinde bu etkinin oldukça baskın olduğunu göstermektedir.

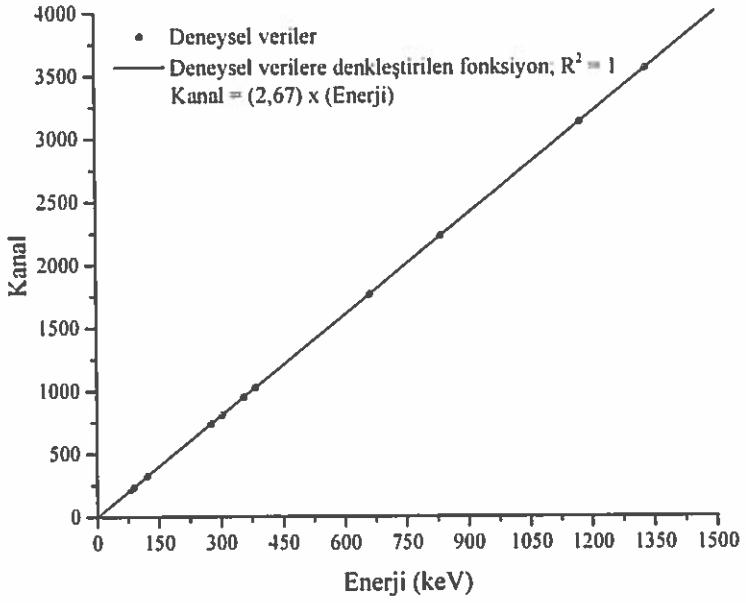


Şekil 2.9. HPGe dedektörünün verim kalibrasyon eğrisi (5 cm'lik dedektör kaynak mesafesi için).

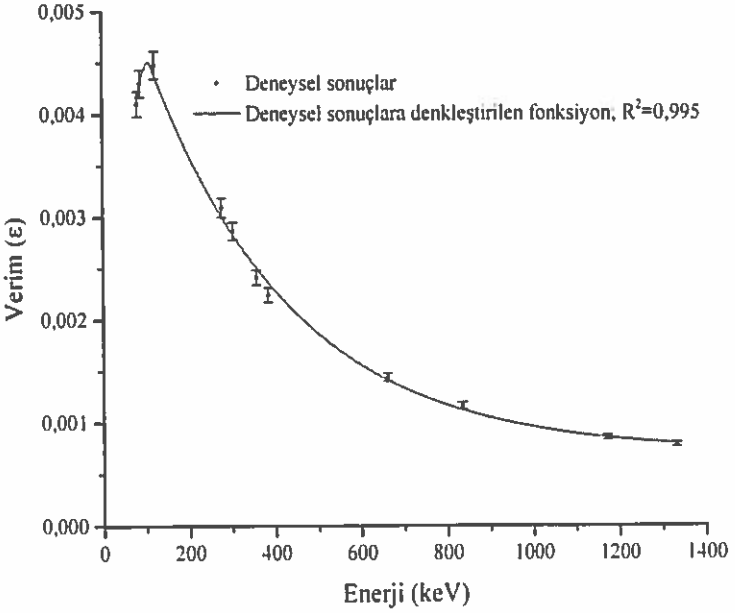


Şekil 2.10. Dedektör kaynak mesafesi ile koinsidans summing olasılığının değişimi (Gilmoore, 2008).

Katı açıya sıkı bir şekilde bağlı olan koinsidans summing olasılığının mesafe ile değişimi şekil 2.10' da görülmektedir. Deneysel çalışmalar sırasında mesafeye bağlı olarak yapılan verim ölçümleri ve şekil 2.10 dikkate alınarak, gama spektrometresindeki tüm ölçümler için dedektör kaynak mesafesi 15 cm olarak belirlendi.



Şekil 2.11. HPGe gama dedektörünün enerji kalibrasyon eğrisi.

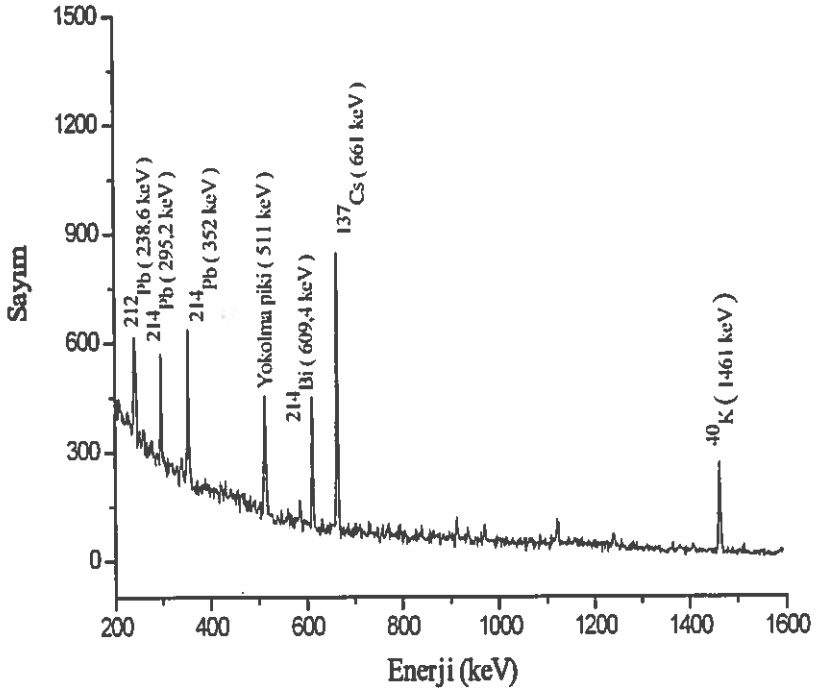


Şekil 2.12. HPGe gama dedektörünün verim kalibrasyon eğrisi (dedektör kaynak mesafesi 15 cm).

Enerji ve verim kalibrasyonu için enerjileri 81 – 1332 keV arasında değişen ^{109}Cd, ^{57}Co, ^{133}Ba, ^{137}Cs, ^{54}Mn ve ^{60}Co'ın piklerini içeren standart disk kaynaklar kullanıldı. Standart kaynaklar An Eckert & Ziegler Company firmasından satın alınmıştır. Tablo 2.2'de kalibrasyon için kullanılan standart kaynaklara ait bilgiler görülmektedir. Deneysel çalışmalarda kullanılan gama detektörünün enerji ve verim kalibrasyon eğrileri şekil 2.11 ve 2.12'de görülmektedir.

2.3.4. Numunelerin Ölçülmesi

Radyoaktif dengenin sağlanması için geçen bir aylık sürenin sonunda ölçümlere başlandı. Numuneler, dedektör aktif bölgesinin muhafaza edildiği kurşun zırh içerisine yerleştirildi. Ölçüm süresi olarak 80000 s seçildi. Bu süre sonunda numunelerdeki radyoaktif izotoplardan yayınlanan gama ışınlarının elektronik sistemlerde işlenmesi sonucu spektrumlar elde edildi. Şekil 2.13'te 15 nolu istasyondan alınan toprak numunesine ait spektrum örneği verilmiştir.



Şekil 2.13. 15 nolu istasyondan alınan toprak numunesine ait spektrum.

2.3.5. Spektrum Analizi ve Aktivite Hesabı

Gama spektroskopisi ile gerçekleştirilen ölçümler sonucunda elde edilen spektrumlar Ortec firması tarafından geliştirilen GamaVision-32 V6.07 spektroskopi yazılımı kullanılarak analiz edildi. Spektrumların analizi sonucunda ^{238}U, ^{232}Th, ^{137}Cs ve ^{40}K radyoizotoplarının aktivite konsantrasyonları belirlendi. ^{238}U ve ^{232}Th çekirdekleri çok uzun yarı ömre sahiptir ve alfa parçacığı yayınlayarak bozunurlar. Bu yüzden her iki çekirdeğin numune içerisindeki aktivite konsantrasyonu gama spektroskopisi ile doğrudan ölçülemez. Bu durumda Uranyum ve Toryum aktivitelerini belirleyebilmek için bozunma zincirleri içerisindeki radyoaktif ürünlerin bozunumları kullanılır. Zincir içerisinde radyoaktif dengenin sağlanması durumunda ürün çekirdeğin aktivitesi ana çekirdeğin aktivitesine eşitlenmiş olur. Burada gerek Uranyum ve gerekse de Toryum serisinde birden fazla ürün çekirdeğin bozunumu dikkate alınarak belirlenen aktivite değerinin doğruluğu kontrol edilir. ^{137}Cs ve ^{40}K çekirdekleri nispeten küçük yarı ömürlü olmaları ve beta bozunumunu takiben gama ışını yayınladıkları için aktivite konsantrasyonlarını gama spektroskopisi ile doğrudan belirlemek mümkündür.

Tablo 2.3. Aktivitesi hesaplanan radyoaktif çekirdekler ve ürünleri

İzotop		Gama Enerjisi (MeV)	Salma Hızı (%)
	^{214}Pb	0,295	18,50
^{238}U	^{214}Pb	0,352	35,10
	^{214}Bi	0,609	43,49
	^{212}Pb	0,239	43,60
^{232}Th	^{208}Tl	0,583	30,60
	^{228}Ac	0,911	25,80
^{137}Cs	-	0,662	84,99
^{40}K	-	1,461	10,66

Tablo 2.3'de ^{238}U ve ^{232}Th serileri, ^{40}K ve ^{137}Cs için kullanılan pik enerjileri ve salma hızları gösterilmiştir. Tabloda verilen enerji değerlerinde spektrumda gözlenecek olan piklerin net alanları, toplam alandan background çıkarılarak elde edilen sayma

sayılarının toplamıdır. Her spektrumun analizi tamamlandıktan sonra doğal ve yapay radyonüklitlerin aktivite hesabı denklem (2.1) kullanılarak yapıldı.

$$A = \frac{N}{P_\gamma t m \varepsilon} \tag{2.1}$$

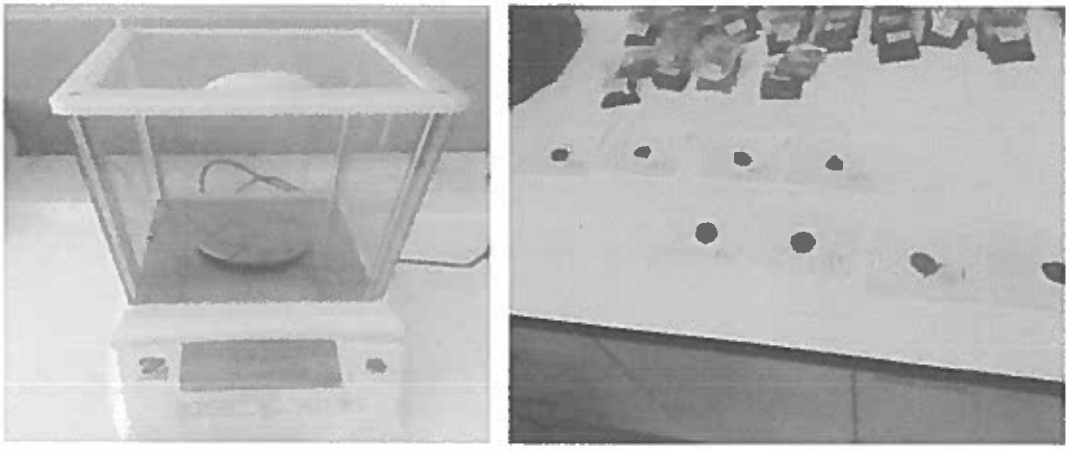
A = Aktivite konsantrasyonu (Bq/kg), N = İlgili pikin altında kalan net alan, t = Ölçüm süresi (s), m = Numune kütlesi (kg), ε = İlgili enerjiye ait pik verimi, P_γ = İlgili radyoaktif çekirdeğin bozunma ihtimali veya salma hızı

2.4. Toprak Numunelerinde Ağır Metal Analizi

Toprak numunelerinin ağır metal analizi için Bruker marka 820-MS ICP MS (İndüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrometresi) cihazı kullanıldı (şekil 2.14).

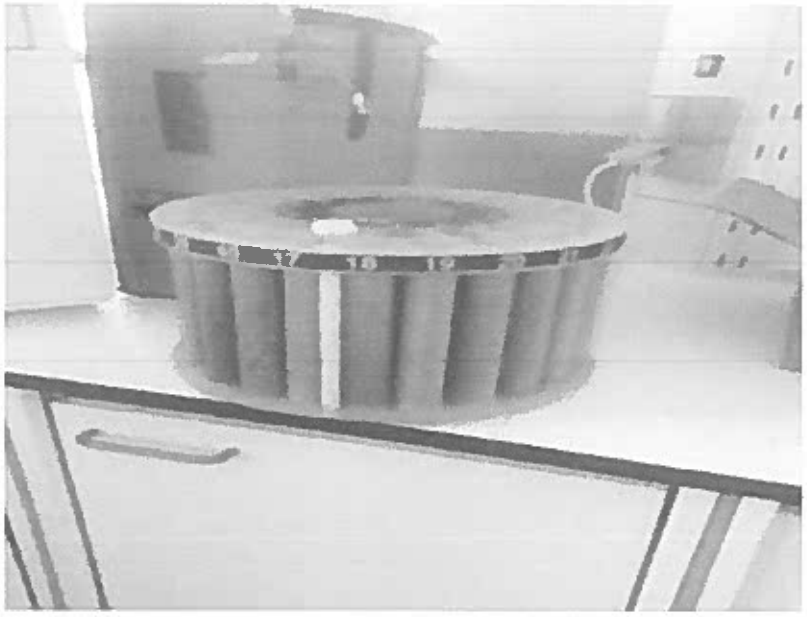
Şekil 2.14. ICP-MS analiz cihazı

Ağır metal analizi için laboratuvara getirilen toprak numuneler 0,0001g hassasiyete sahip analitik terazi kullanılarak numune hazırlama işlemine başlandı. Öncelikle hassas terazinin kalibrasyonu yapıldı (şekil 2.15).



Şekil 2.15. Numunelerin hassas terazi ile tartılması.

Toprak numunelerinden 0,5 g alındı ve ısı ve basınca dayanıklı teflon tüplere dolduruldu. Bu işlem belirtilen arazilerden toplanan tüm toprak numuneleri için tekrarlandı. Tüplerdeki numuneler mikrodalganın aparatına simetrik olarak yerleştirildi (şekil 2.16).



Şekil 2.16. Teflon tüplere yerleştirilen toprak numuneler.

Mikrodalgada 5 ml nitrik asit ve 2 ml hidroklorik asit ile sindirme işlemine tabi tutulup, organik yıkımları biten örnekler soğutulmuştur.

Şekil 2.17. Numunelerin mikrodalgada işleme tutulup filtrelenmesi işlemi.

Soğutulan örnekler santrifüjlendikten sonra filtre kâğıdından süzülerek, hacimleri 50 ml'ye tamamlanarak tüm numunelerin eşit seviyede olması sağlandı. Bunlardan 10 ml enjektör ile alınarak küçük numune kaplarına aktarıldı (şekil 2.17). Böylelikle ICP cihazında okunma seviyesine hazır hale getirildi.

ICP-MS cihazında yapılan ölçümler sonucunda numunelerdeki Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Cd ve Pb metallerinin konsantrasyonları belirlendi.

BÖLÜM 3. BULGULAR

3.1. Gama Spektroskopisi Analiz Sonuçları

Tablo 2.1'de yer alan toplam 27 istasyondan alınan toprak numunelerindeki ^{238}U, ^{232}Th, ^{40}K ve ^{137}Cs çekirdeklerinin aktivite konsantrasyonları tarım arazisi, açık arazi ve ormanlık araziler için ayrı ayrı Tablo 3.(1-3)'de verilmiştir. Aktivite konsantrasyonlarının istasyonlara göre değişimi Şekil 3.(1-4)'de verilmiştir.

Numunelerdeki ^{238}U, ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının belirlenmesi ile birlikte insanların bu kaynaklardan maruz kaldıkları yıllık etkin doz oranlarını belirlemek mümkündür. İnsanoğlunun yerden 1m yükseklikte maruz kaldığı doz miktarının büyük bir kısmı buradan kaynaklanır. Bunun için öncelikle yerden 1m yükseklikte soğurulan gama doz hızını hesaplamak gerekir. Soğurulan gama doz hızı, spesifik aktivite konsantrasyonlarının belirli dönüşüm faktörleri ile çarpılması ile hesaplanır.

$$D(nGyh^{-1}) = (0{,}462)C_U + (0{,}604)C_{Th} + (0{,}042)C_K \qquad (3.1)$$

C_U= ^{238}U aktivite konsantrasyonu, C_{Th}= ^{232}Th aktivite konsantrasyonu,
C_K= ^{40}K aktivite konsantrasyonu

Denklem (3.1) kullanılarak elde edilen soğurulan doz değerleri, 0,7(Sv/Gy) doz dönüşüm katsayısı ve 0,2 değerindeki insanların dış ortamda kalma oranı ile çarpılarak yıllık etkin doz değerleri hesaplanır (UNSCEAR, 2000).

$$AED(nSv/yıl) = D(nGyh^{-1}) \times (8760\,h/yıl) \times (0{,}7SvGy^{-1}) \times (0{,}2) \qquad (3.2)$$

^{238}U, ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklitlerinden kaynaklanan soğurulan doz oranları ve yıllık etkin doz değerleri tablo 3.(1-3)'te verilmiştir.

Tablo 3.1. Tarım arazilerindeki radyoaktivite konsantrasyonları (Bq/kg) ve doz değerleri.

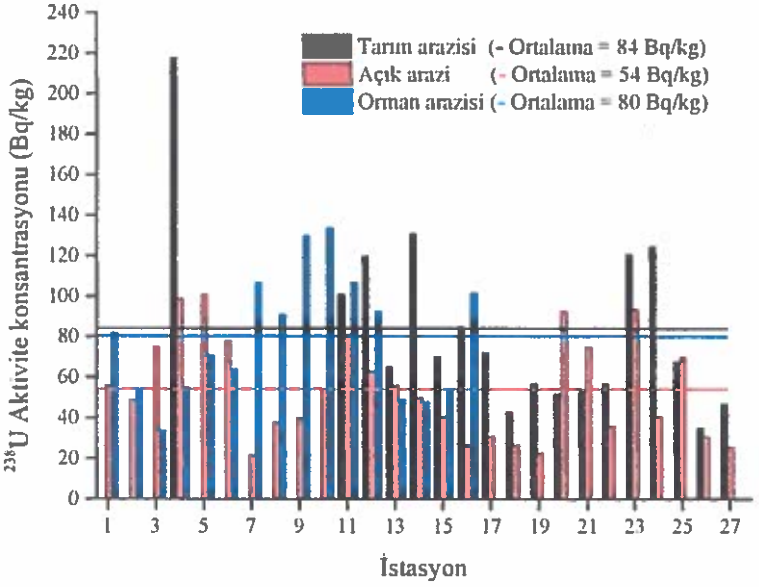
İstasyon	^{238}U	^{232}Th	^{137}Cs	^{40}K	D (nGy/h)	AED (μSv/yıl)
					^{238}U, ^{232}Th, ^{40}K	^{238}U, ^{232}Th, ^{40}K
1	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-
4	218 ± 26	85 ± 10	375 ± 19	575 ± 35	176	216
5	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-
11	101 ± 8	77 ± 8	31 ± 2	473 ± 19	113	139
12	120 ± 18	76 ± 5	351 ± 28	482 ± 48	121	149
13	65 ± 8	42 ± 5	30 ± 2	603 ± 72	81	99
14	131 ± 10	68 ± 6	99 ± 5	436 ± 26	120	147
15	70 ± 4	52 ± 7	9 ± 1	328 ± 39	78	95
16	85 ± 10	54 ± 6	74 ± 10	562 ± 34	95	117
17	72 ± 9	52 ± 4	42 ± 3	398 ± 44	81	100
18	43 ± 2	40 ± 5	32 ± 4	571 ± 69	68	83
19	57 ± 6	54 ± 7	61 ± 6	296 ± 36	71	88
20	52 ± 3	38 ± 5	65 ± 6	311 ± 28	60	74
21	53 ± 4	41 ± 3	43 ± 5	508 ± 51	71	87
22	57 ± 6	44 ± 3	55 ± 9	175 ± 11	60	74
23	121 ± 13	67 ± 9	236 ± 21	418 ± 33	114	140
24	125 ± 13	61 ± 5	206 ± 23	429 ± 30	113	138
25	68 ± 10	42 ± 5	137 ± 8	232 ± 19	67	82
26	35 ± 5	42 ± 5	169 ± 12	573 ± 23	66	80
27	47 ± 3	45 ± 6	217 ± 24	752 ± 83	80	99
Ortalama	84	54	124	451	91	112

Tablo 3.2. Açık arazilerdeki radyoaktivite konsantrasyonları (Bq/kg) ve doz değerleri.

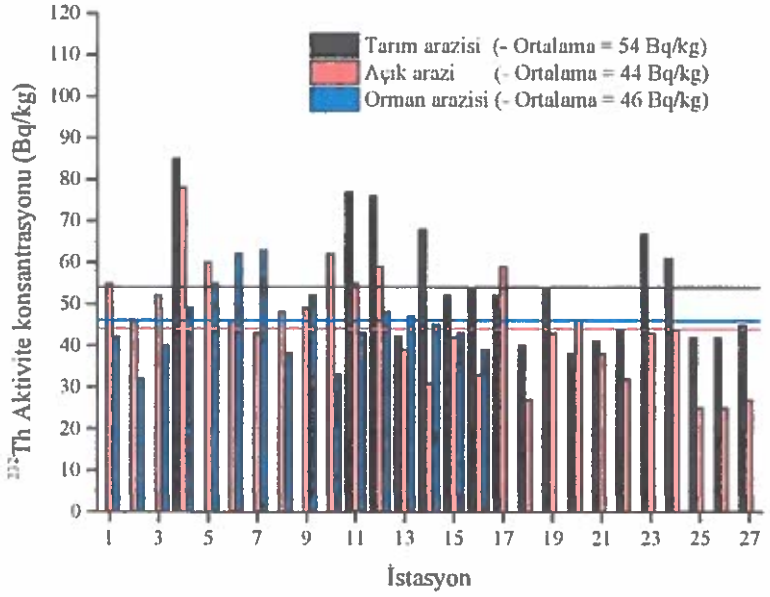
İstasyon	^{238}U	^{232}Th	^{137}Cs	^{40}K	D (nGy/h)	AED (μSv/yıl)
					^{238}U, ^{232}Th, ^{40}K	^{238}U, ^{232}Th, ^{40}K
1	56 ± 6	55 ± 2	28 ± 5	836 ± 92	94	116
2	49 ± 6	46 ± 6	65 ± 10	715 ± 72	80	99
3	75 ± 7	52 ± 3	34 ± 6	489 ± 39	87	106
4	99 ± 5	78 ± 10	71 ± 9	582 ± 35	117	144
5	101 ± 6	60 ± 8	142 ± 10	440 ± 22	101	124
6	78 ± 11	46 ± 3	25 ± 3	876 ± 53	101	123
7	22 ± 1	43 ± 4	35 ± 5	568 ± 62	60	74
8	38 ± 3	48 ± 2	75 ± 11	681 ± 82	75	92
9	40 ± 6	49 ± 2	84 ± 12	610 ± 49	74	90
10	54 ± 5	62 ± 4	112 ± 17	533 ± 48	85	104
11	81 ± 12	55 ± 7	119 ± 11	425 ± 34	88	109
12	63 ± 3	59 ± 4	75 ± 5	493 ± 54	85	105
13	56 ± 3	39 ± 2	105 ± 7	394 ± 39	66	81
14	50 ± 8	31 ± 2	32 ± 2	456 ± 36	61	75
15	41 ± 6	42 ± 3	73 ± 7	318 ± 22	58	71
16	27 ± 4	33 ± 3	54 ± 6	561 ± 28	56	69
17	31 ± 4	59 ± 4	100 ± 10	563 ± 56	74	90
18	27 ± 4	27 ± 3	84 ± 10	502 ± 60	50	61
19	23 ± 3	43 ± 5	35 ± 5	474 ± 43	57	69
20	93 ± 6	46 ± 3	49 ± 5	375 ± 19	87	106
21	75 ± 6	38 ± 2	11 ± 1	375 ± 30	73	90
22	36 ± 3	32 ± 4	28 ± 4	361 ± 32	51	63
23	94 ± 12	43 ± 3	31 ± 3	381 ± 34	85	105
24	41 ± 3	44 ± 6	60 ± 10	513 ± 21	67	82
25	70 ± 5	25 ± 3	46 ± 8	366 ± 15	63	77
26	31 ± 3	24 ± 2	13 ± 1	452 ± 54	48	59
27	26 ± 2	27 ± 2	19 ± 2	703 ± 56	58	71
Ortalama	54	44	59	520	74	91

Tablo 3.3. Orman arazilerindeki radyoaktivite konsantrasyonları (Bq/kg) ve doz değerleri.

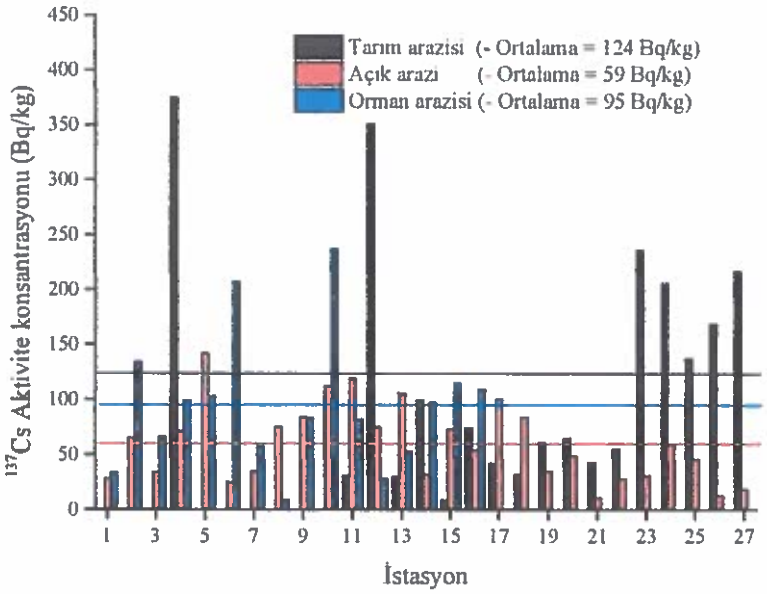
İstasyon	^{238}U	^{232}Th	^{137}Cs	^{40}K	D (nGy/h)	AED (μSv/yıl)
					^{238}U, ^{232}Th, ^{40}K	^{238}U, ^{232}Th, ^{40}K
1	82 ± 7	42 ± 2	34 ± 3	606 ± 24	89	109
2	54 ± 8	32 ± 3	134 ± 24	892 ± 89	82	100
3	34 ± 4	40 ± 2	66 ± 12	726 ± 58	70	86
4	55 ± 7	49 ± 3	99 ± 16	546 ± 33	78	96
5	71 ± 9	55 ± 4	103 ± 13	479 ± 29	86	106
6	64 ± 10	62 ± 5	207 ± 27	758 ± 76	99	121
7	107 ± 14	63 ±8	57 ± 6	608 ± 73	113	139
8	91 ± 9	38 ± 3	9 ± 1	478 ± 57	85	104
9	130 ± 20	52 ± 6	83 ± 12	506 ± 51	113	138
10	134 ± 7	33 ± 4	237 ± 17	271 ± 30	93	114
11	107 ± 10	43 ± 4	82 ± 7	336 ± 20	90	110
12	93 ± 7	48 ± 3	28 ± 5	463 ± 23	91	112
13	49 ± 4	47 ± 4	53 ± 5	577 ± 35	75	92
14	48 ± 3	45 ± 6	97 ± 15	567 ± 68	73	90
15	53 ± 3	43 ± 4	115 ± 21	383 ± 38	67	82
16	102 ± 14	39 ± 3	109 ± 19	418 ± 38	88	108
17	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	-	-
22	-	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-	-
26	-	-	-	-	-	-
27	-	-	-	-	-	-
Ortalama	80	46	95	538	87	107



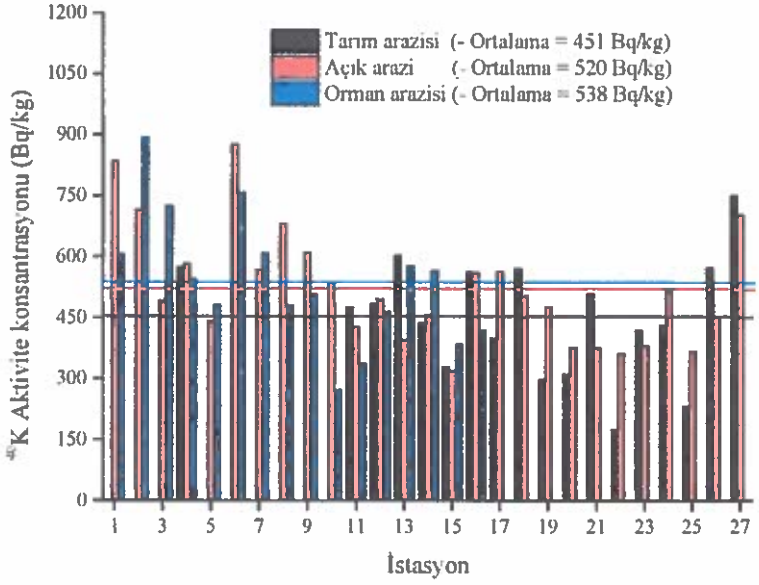
Şekil 3.1. ^{238}U konsantrasyonunun istasyonlara göre değişimi.



Şekil 3.2. ^{232}Th konsantrasyonunun istasyonlara göre değişimi.



Şekil 3.3. ^{137}Cs konsantrasyonunun istasyonlara göre değişimi.



Şekil 3.4. ^{40}K konsantrasyonunun istasyonlara göre değişimi.

3.2. Ağır Metal Analiz Sonuçları

Radyoaktivite seviyeleri belirlenen 27 istasyondan alınan toprak numunelerindeki ağır metal konsantrasyonları tarım arazisi, açık arazi ve ormanlık araziler için ayrı ayrı Tablo 3.(4-6)'da verilmiştir. Ayrıca, numunelerdeki Cr, Mn, Fe, Zn, As, Se, Cd, Pb, Co ve Cu konsantrasyonlarının arazi türlerine ve istasyonlara göre değişimi Şekil 3.(5-14)'de verilmiştir.

Tablo 3.4. Açık arazilerde ağır metal konsantrasyonu (mg/kg).

İstasyon	Cr	Mn	Fe*	Co	Ni**	Cu	Zn	As	Se	Cd	Pb
1	0,21	2,21	0,17	0,11	18,00	0,21	0,30	0,04	0,16	0,01	0,11
2	0,30	2,67	0,19	0,12	3,00	0,31	0,42	0,06	1,48	0,01	0,13
3	0,17	3,50	0,24	0,17	DLA	0,41	0,25	0,02	0,11	0,01	0,07
4	19,95	412,11	11,97	81,77	DLA	19,32	25,52	13,50	6,71	0,20	11,67
5	12,52	466,87	11,12	6,11	DLA	17,23	45,94	5,02	23,31	0,61	23,39
6	14,74	313,90	9,10	4,68	DLA	10,67	39,60	3,16	64,54	0,53	19,09
7	3,01	256,14	8,36	4,44	DLA	11,22	26,32	30,53	60,86	0,31	10,90
8	10,73	261,59	7,42	4,05	DLA	8,97	28,99	2,82	52,73	0,22	10,69
9	9,78	255,80	7,36	4,36	DLA	8,06	30,92	3,25	45,29	0,16	11,38
10	13,42	252,26	13,84	4,81	DLA	18,70	48,52	3,94	36,02	0,09	12,43
11	9,13	282,10	8,13	4,45	DLA	10,48	26,47	2,42	24,65	0,12	10,06
12	7,86	264,17	8,40	5,45	DLA	11,19	23,25	2,19	14,19	0,12	7,48
13	4,54	417,71	9,43	6,17	DLA	12,70	21,52	1,75	17,11	0,11	6,43
14	1,07	415,43	4,81	2,30	DLA	8,13	10,71	0,90	11,06	0,05	6,94
15	10,44	250,64	9,59	5,45	DLA	13,28	25,44	2,35	15,02	0,04	8,47
16	6,64	263,33	7,89	4,62	DLA	9,91	22,73	2,22	18,56	0,07	7,39
17	3,65	240,10	7,33	3,68	DLA	12,19	46,14	3,26	15,96	0,10	10,61
18	11,10	439,40	10,60	5,73	DLA	20,21	27,45	3,29	64,90	0,22	12,15
19	3,46	188,34	8,39	4,67	DLA	15,43	37,48	3,34	30,30	0,18	11,96
20	1,57	161,27	5,70	2,57	DLA	6,26	26,75	1,85	10,94	0,12	5,56
21	0,50	183,72	5,67	2,54	DLA	9,20	28,86	2,48	15,09	0,10	6,64
22	45,59	209,14	6,07	4,27	DLA	6,88	14,90	0,13	25,47	0,03	2,25
23	5,34	181,61	6,69	2,82	DLA	10,31	31,86	2,27	25,05	0,13	10,27
24	4,96	187,24	6,07	3,85	DLA	13,76	24,99	3,24	19,15	0,12	12,47
25	DLA	286,31	4,44	2,19	DLA	6,10	17,09	1,44	12,93	0,06	9,82
26	5,73	308,53	10,85	5,63	DLA	20,56	30,90	8,43	29,97	0,12	11,29
27	10,13	403,47	9,86	5,30	DLA	118,63	30,48	5,25	31,82	0,13	11,45
Ortalama	**8,02**	**255,91**	**7,40**	**6,75**	**10,50**	**14,83**	**25,70**	**4,04**	**24,94**	**0,15**	**9,30**

*mg/g, **µg/kg (ppb). DLA: Dedeksiyon limitinin altında

Tablo 3.5. Tarım arazilerinde ağır metal konsantrasyonu (mg/kg).

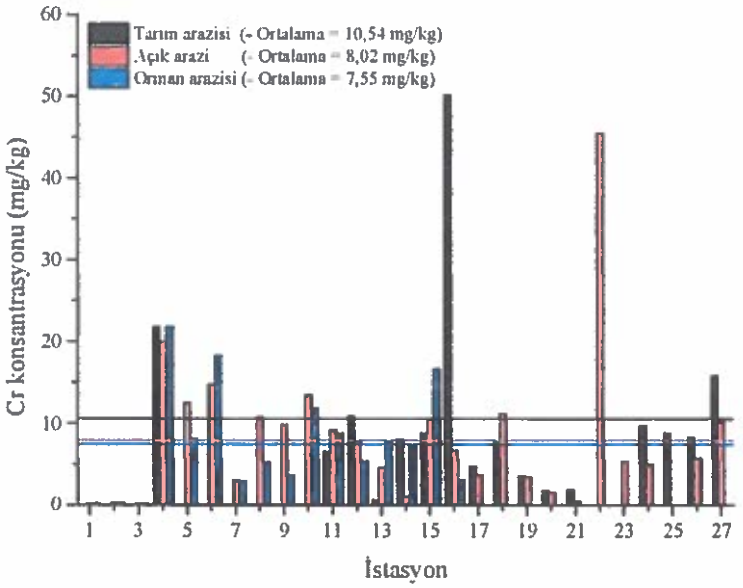
İstasyon	Cr	Mn	Fe*	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Cd	Pb
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	21,79	625,72	14,12	8,19	5,52	29,06	53,81	15,76	26,49	0,42	22,21
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	6,49	266,17	6,74	4,04	DLA	95,10	28,05	1,83	21,34	0,08	7,30
12	10,90	244,69	9,05	4,97	DLA	10,96	31,59	2,52	16,99	0,18	10,73
13	0,65	283,02	5,48	3,01	DLA	10,61	14,10	1,36	14,94	0,06	7,42
14	8,00	740,00	9,15	4,69	DLA	25,39	80,29	1,54	101,31	0,18	10,75
15	8,74	269,72	9,74	58,71	DLA	15,04	26,34	2,34	16,71	0,09	8,55
16	50,19	308,42	8,58	5,54	DLA	382,83	129,66	1,43	14,26	3,25	40,55
17	4,65	364,02	8,05	4,75	DLA	16,97	31,99	3,78	11,15	0,05	9,73
18	7,52	610,21	11,33	8,08	DLA	36,80	58,28	5,14	50,72	0,39	23,64
19	3,51	209,27	8,71	4,08	DLA	14,16	40,78	5,45	13,39	0,20	16,81
20	1,82	179,06	6,15	3,22	DLA	8,92	46,76	2,63	14,43	0,12	8,60
21	1,85	215,54	7,60	4,31	DLA	11,32	26,94	2,99	14,45	0,13	7,40
22	DLA	194,66	4,05	1,56	DLA	7,91	14,62	0,46	0,91	0,03	3,23
23	DLA	360,18	8,28	3,16	DLA	36,03	51,35	7,93	14,27	0,15	4,45
24	9,61	296,76	8,69	4,92	DLA	8,27	29,55	3,99	24,74	0,14	14,86
25	8,8	190,92	8,32	3,85	DLA	10,52	27,42	2,09	26,78	0,11	16,20
26	8,29	402,88	13,04	6,84	DLA	22,53	43,17	8,67	33,42	0,19	23,72
27	15,83	451,15	10,07	4,73	DLA	19,71	29,25	6,90	35,50	0,13	16,09
Ortalama	**10,54**	**345,13**	**8,73**	**7,70**	**5,52**	**42,34**	**42,44**	**4,27**	**25,10**	**0,33**	**14,01**

*mg/g, DLA: Dedeksiyon limitinin altında

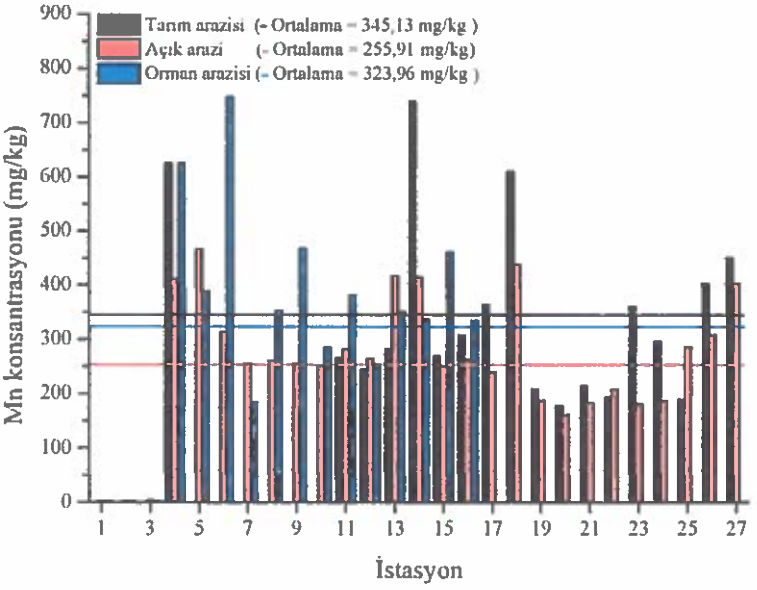
Tablo 3.6. Orman arazilerinde ağır metal konsantrasyonu (mg/kg).

İstasyon	Cr	Mn	Fe*	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Cd	Pb
1	0,23	2,27	0,20	0,12	0,02	0,29	0,41	0,05	0,39	0,01	0,11
2	0,31	1,87	0,15	0,10	DLA	0,23	0,31	0,02	0,19	0,01	0,08
3	0,17	2,04	0,19	0,09	0,03	0,29	0,48	0,02	0,19	0,01	0,17
4	21,79	625,72	14,12	8,19	5,52	29,06	53,81	15,76	26,49	0,42	22,21
5	8,06	388,84	10,91	5,47	DLA	13,53	34,50	4,28	32,40	0,52	13,61
6	18,21	747,88	10,04	5,62	DLA	10,65	49,34	3,27	63,95	0,65	25,21
7	2,93	185,55	4,65	3,20	DLA	6,55	13,31	2,22	23,54	0,13	7,33
8	5,18	353,91	8,40	5,38	DLA	13,80	26,78	1,23	41,84	0,30	5,75
9	3,62	467,97	9,68	10,32	DLA	21,49	28,15	1,86	35,86	0,18	7,47
10	11,83	285,43	11,59	4,99	DLA	16,87	42,16	3,77	31,22	0,15	12,91
11	8,71	381,95	10,24	5,66	DLA	13,76	32,22	3,37	25,16	0,13	17,25
12	5,36	254,17	7,18	4,70	DLA	10,88	18,01	1,99	11,97	0,09	6,47
13	7,66	351,92	5,58	5,42	DLA	9,01	14,22	0,94	22,06	0,06	4,36
14	7,19	337,46	7,66	5,32	DLA	12,74	27,83	1,39	25,28	0,07	7,26
15	16,60	461,48	13,27	7,62	DLA	17,87	34,83	3,64	23,02	0,10	11,67
16	3,05	334,85	5,69	3,09	DLA	9,91	13,36	1,38	12,50	0,03	5,11
17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ortalama	7,55	323,96	7,47	4,71	1,86	11,68	24,36	2,83	23,50	0,18	9,19

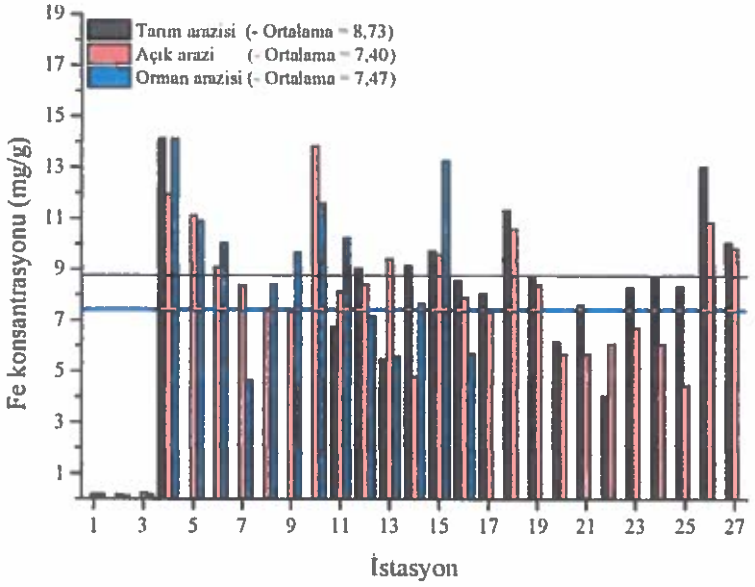
*mg/g, DLA: Dedeksiyon limitinin altında



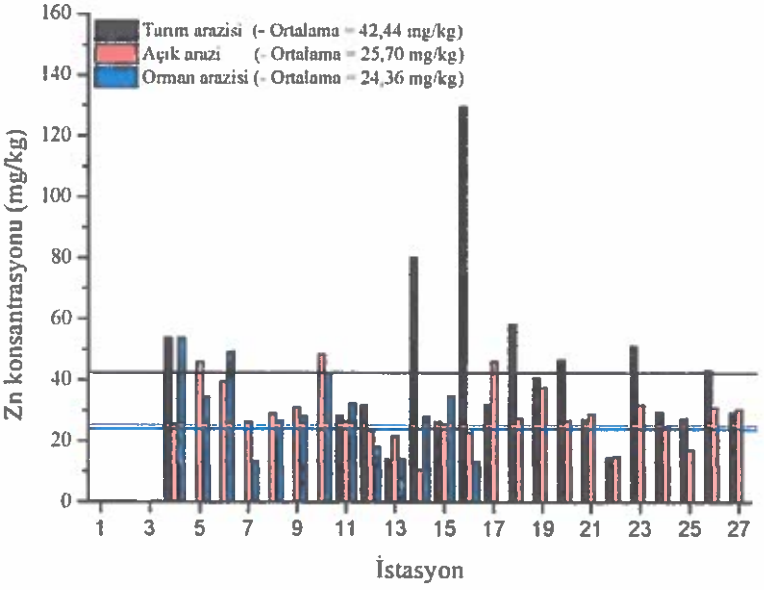
Şekil 3.5. Cr konsantrasyonunun istasyonlara göre değişimi.



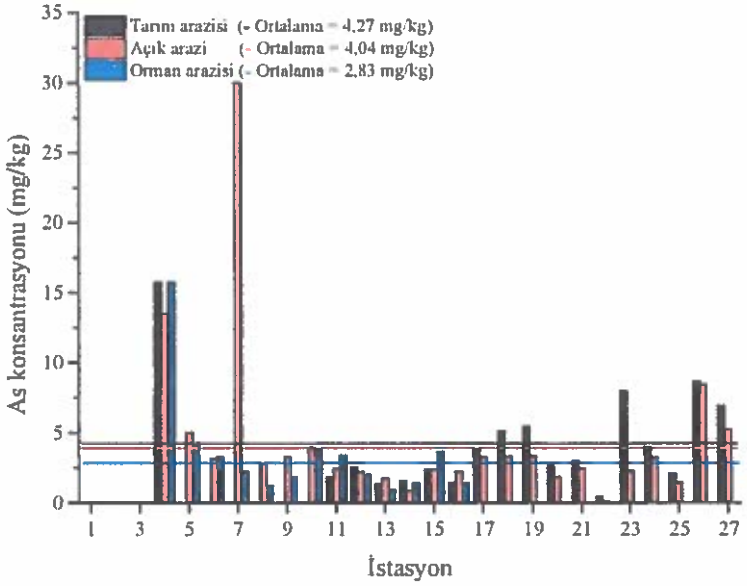
Şekil 3.6. Mn konsantrasyonunun istasyonlara göre değişimi.



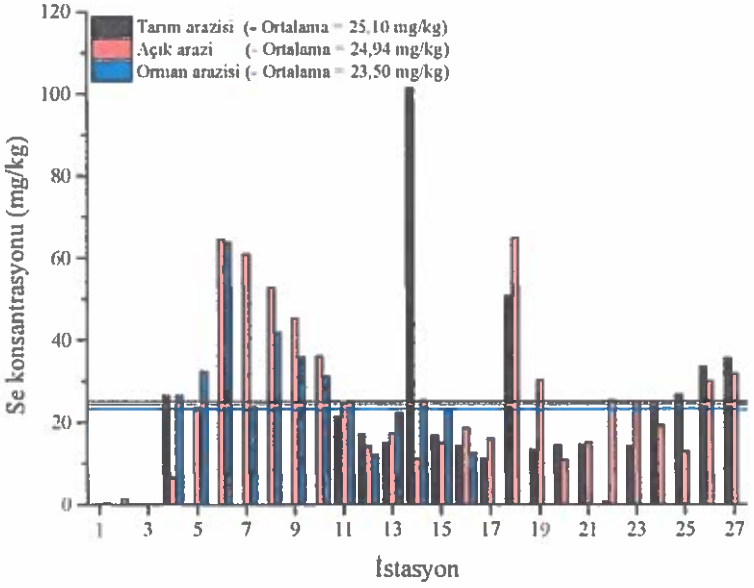
Şekil 3.7. Fe konsantrasyonunun istasyonlara göre değişimi.



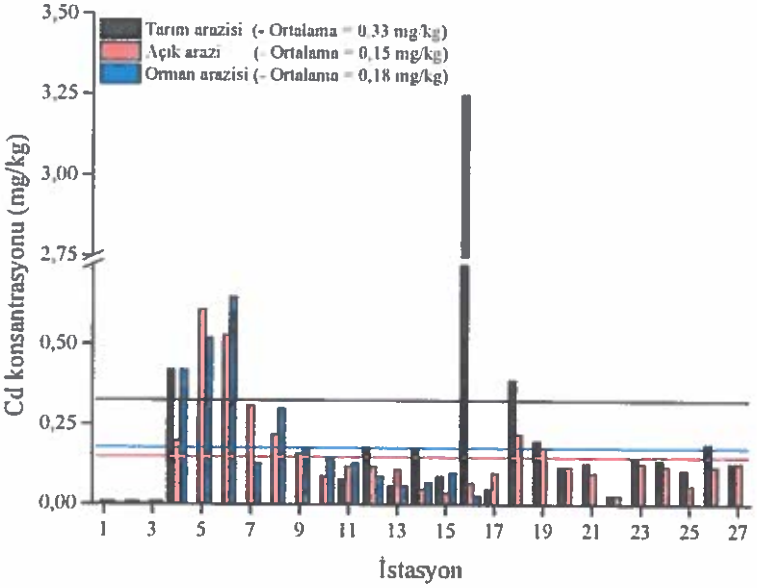
Şekil 3.8. Zn konsantrasyonunun istasyonlara göre değişimi.



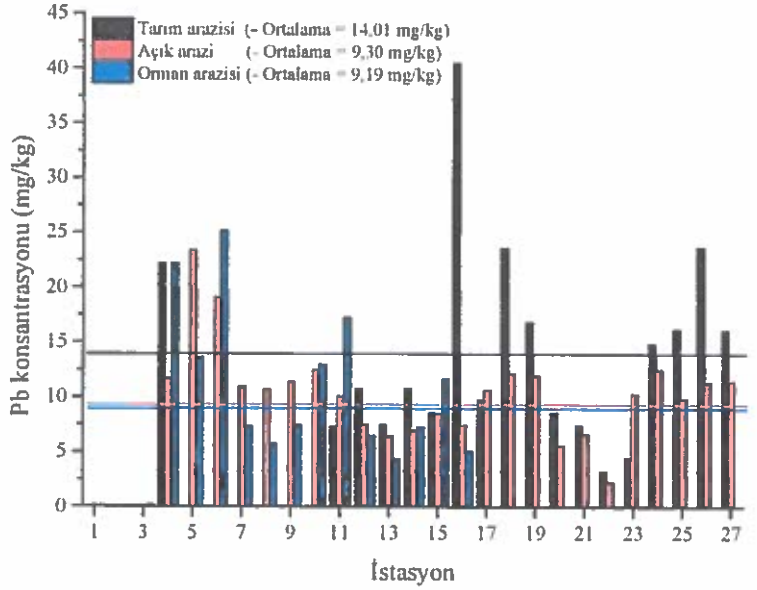
Şekil 3.9. As konsantrasyonunun istasyonlara göre değişimi.



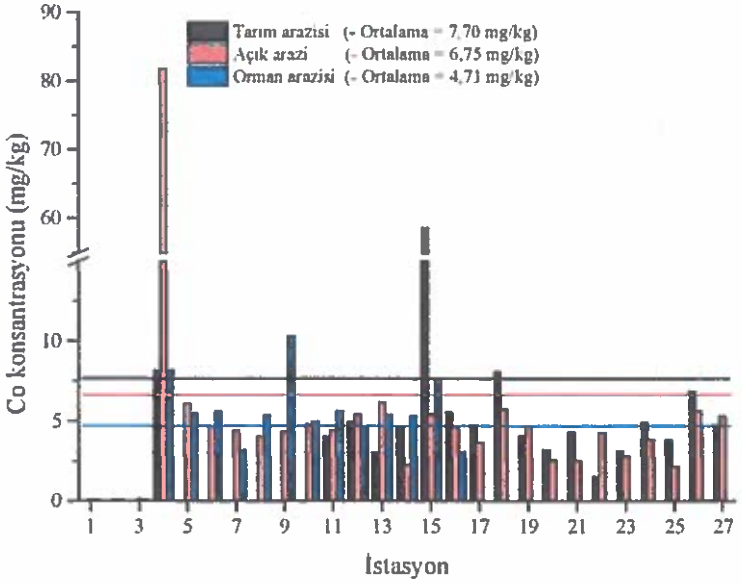
Şekil 3.10. Se konsantrasyonunun istasyonlara göre değişimi.



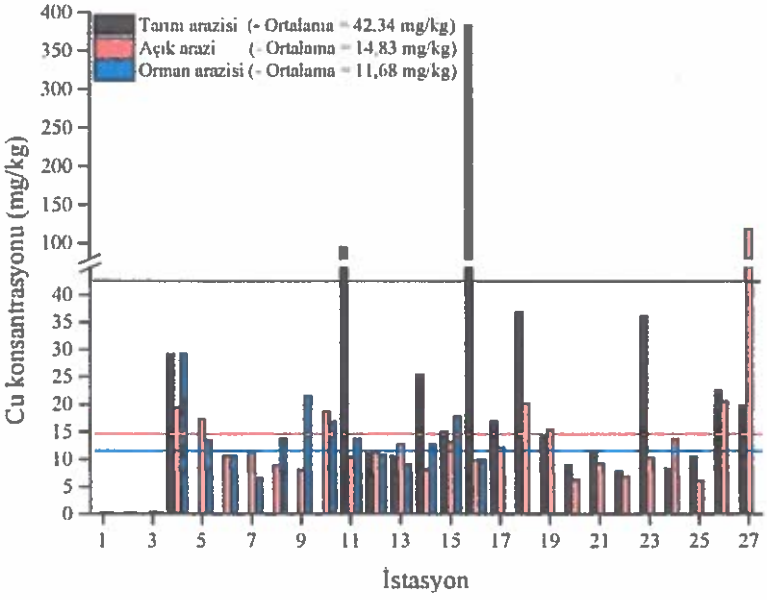
Şekil 3.11. Cd konsantrasyonunun istasyonlara göre değişimi.



Şekil 3.12. Pb konsantrasyonunun istasyonlara göre değişimi.



Şekil 3.13. Co konsantrasyonunun istasyonlara göre değişimi.



Şekil 3.14. Cu konsantrasyonunun istasyonlara göre değişimi.

BÖLÜM 4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

4.1. Radyoaktivite Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Giresun ilinin Çaldağ ilçesindeki arazilerin kullanım amaçlarına göre radyoaktivite seviyeleri belirlenmiş olup sonuçlar tarım arazisi, açık arazi ve ormanlık arazi için sırasıyla tablo 3.1, tablo 3.2 ve tablo 3.3'de verilmiştir. Ölçümlerin yapıldığı istasyonlar İnişdibi mevkiinden Merkez-Sahil'e doğru (yaklaşık 1 km'lik aralıklarda) numaralandırılmıştır (şekil 2.2). İstasyonlardan alınan numunelerin tamamında ^{238}U, ^{232}Th, ^{40}K ve ^{137}Cs radyonüklitleri tespit edildi. Bölgede tarım arazileri daha çok sahil kesiminde bulunmaktadır ve yüksek kesimlere doğru arazi yapıları fındıklık ve ormanlık alanlardan oluşmaktadır. Bu nedenle, tarım arazileri için 1-3 ve 5-10, orman arazileri için 17–27 aralığındaki istasyonlarda örnekleme işlemi yapılamamıştır.

Sonuçlar incelendiğinde, tarım arazilerindeki ^{238}U aktivite konsantrasyonu 84 Bq/kg'lık ortalama değere sahip olduğu görülmektedir. Burada 4 no'lu istasyon 218 ± 26 Bq/kg ile en yüksek ^{238}U konsantrasyonuna sahipken 26 no'lu istasyon 35 ± 5 Bq/kg'lık konsatrasyon ile en düşük değere sahiptir. Açık arazilerde ise ^{238}U aktivite konsantrasyonu 54 Bq/kg'lık ortalama değere sahiptir. En yüksek ve en düşük değerler incelendiğinde 5 no'lu istasyon 101 ± 6 Bq/kg ve 7 no'lu istasyon 22 ± 1 Bq/kg ile bu değerlere sahiptir. Orman arazilerinde ^{238}U'un ortalama aktivitesi 80 Bq/kg iken, 10 no'lu istasyon 134 ± 7 Bq/kg ile en yüksek ve 3 no'lu istasyon 34 ± 4 Bq/kg ile en düşük değere sahiptir. Tüm istasyonlar üzerinden değerlendirildiğinde, ^{238}U aktivitesinin en yüksek olduğu arazi türü tarım arazileridir. Bunu sırasıyla ormanlık araziler ve açık araziler takip etmektedir.

^{232}Th aktivite konsantrasyonu tarım arazilerinde 54 Bq/kg'lık ortalama değere sahiptir. Burada 4 no'lu istasyon 85 ± 10 Bq/kg ile en yüksek ^{238}U konsantrasyonuna

sahipken 20 no'lu istasyon 38 ± 5 Bq/kg'lık konsatrasyon ile en düşük değere sahiptir. Açık arazilerde ise ^{232}Th aktivite konsantrasyonu 44 Bq/kg'lık ortalama değere sahiptir. En yüksek ve en düşük değerler incelendiğinde 4 no'lu istasyon 78 ± 10 Bq/kg ve 26 no'lu istasyon 24 ± 2 Bq/kg ile bu değerlere sahiptir. Orman arazilerinde ^{232}Th'un ortalama aktivitesi 46 Bq/kg iken, 7 no'lu istasyon 63 ± 8 Bq/kg ile en yüksek ve 2 no'lu istasyon 32 ± 3 Bq/kg ile en düşük değere sahiptir.

^{40}K aktivite konsantrasyonu tarım arazilerinde 451 Bq/kg'lık ortalama değere sahiptir. Burada 27 no'lu istasyon 752 ± 83 Bq/kg ile en yüksek ^{40}K konsantrasyonuna sahipken 22 no'lu istasyon 175 ± 11 Bq/kg'lık konsatrasyon ile en düşük değere sahiptir. Açık arazilerde ise ^{40}K aktivite konsantrasyonu 520 Bq/kg'lık ortalama değere sahiptir. En yüksek ve en düşük değerler incelendiğinde 1 no'lu istasyon 836 ± 92 Bq/kg ve 15 no'lu istasyon 318 ± 22 Bq/kg ile bu değerlere sahiptir. Orman arazilerinde ^{40}K'un ortalama aktivitesi 538 Bq/kg iken, 2 no'lu istasyon 892 ± 89 Bq/kg ile en yüksek ve 10 no'lu istasyon 271 ± 30 Bq/kg ile en düşük değere sahiptir.

İnsan kaynaklı (yapay) olan ^{137}Cs radyonüklidi için sonuçlar incelendiğinde, tarım arazilerindeki ortalama aktivite konsantrasyonu 124 Bq/kg'lık değerine sahiptir. Burada 4 no'lu istasyon 375 ± 19 Bq/kg ile en yüksek ^{137}Cs konsantrasyonuna sahipken 15 no'lu istasyon 9 ± 1 Bq/kg'lık konsatrasyon ile en düşük değere sahiptir. Açık arazilerde ise ^{137}Cs aktivite konsantrasyonu 59 Bq/kg'lık ortalama değere sahiptir. En yüksek ve en düşük değerler incelendiğinde 5 no'lu istasyon 142 ± 10 Bq/kg ve 21 no'lu istasyon 11 ± 1 Bq/kg ile bu değerlere sahiptir. Orman arazilerinde ^{137}Cs'un ortalama aktivitesi 95 Bq/kg iken, 10 no'lu istasyon 237 ± 17 Bq/kg ile en yüksek ve 8 no'lu istasyon 9 ± 1 Bq/kg ile en düşük değere sahiptir.

Tüm istasyonlar üzerinden değerlendirme yapıldığında, ^{238}U, ^{232}Th ve ^{137}Cs aktivitelerinin tarım arazilerinde daha yüksek bir ortalama değere sahip olduğu görülmektedir. ^{40}K aktivite konsantrasyonunun ortalama değeri ise tarım arazilerinde daha düşüktür. Bu durum şekil 3.(1-4)'de açıkça görülmektedir. Elde edilen sonuçların bölgede yapılan diğer çalışmalar ve dünya ortalamaları ile kıyaslanması

tablo 4.1'de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde bu çalışmada elde edilen verilerin UNSCEAR (2000) tarafından açıklanan dünya ortalamalarının üzerinde olduğu görülmektedir.

Tablo 4.1. Dünya ortalamaları ve bölgede yapılan diğer çalışmalar (Bq/kg).

Bölge ve Numune	^{238}U	^{232}Th	^{137}Cs	^{40}K	Referans Çalışma
Giresun / Toprak	33	43	318	733	Çelik ve ark. (2008)
Şebinkarahisar / Toprak	130	124	26	914	Kurnaz (2009)
Giresun / Sahil kumu	21	14	6	531	Karadeniz (2013)
Rize / Toprak	25	52	26	345	Durusoy ve Yıldırım (2017)
Trabzon / Toprak	41	35	21	437	Kurnaz (2009)
Ordu / Toprak	59	49	136	581	Çelik ve ark. (2010)
Giresun / Toprak (Açık arazi)	54	44	59	520	Bu çalışmada
Giresun / Toprak (Tarım arazisi)	84	54	124	451	Bu çalışmada
Giresun / Toprak (Orman arazisi)	80	46	95	538	Bu çalışmada
Dünya ortalaması / Toprak	35	30	51	400	UNSCEAR (2000)

Arazilerin yıllık etkin doz eşdeğerleri tablo 3. (1-3)'de görülmektedir. Ortalama değerler tarım arazileri için 112, açık araziler için 91 ve orman arazileri için 107 μSv/yıl değerlerindedir. Bu değerler, UNSCEAR tarafından 2000 yılında yayınlanan raporunda 80 μSv/yıl olarak belirtilen dünya ortalamasının üstünde iken, ICRP (1990) tarafından belirlenen sınır değeri olan 1 mSv/yıl değerinin oldukça altındadır.

Tüm istasyonlardan her arazi türü için örnek alınamadığı için, sonuçlar üzerinde bu şekilde bir kıyaslama doğru yargılara ulaşmamıza imkan sağlamaz. Bunun için, tüm arazi türleri için örnekleme işleminin yapıldığı ortak istasyonlardaki ortalama aktivite değerleri hesaplanarak tablo 4.2' de gösterilmiştir. Tablo 4.2 incelendiğinde tarım arazilerinde tüm radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonlarının belirgin bir şekilde diğer arazi türlerindekinden yüksek olduğu görülmektedir. Bunun nedeni olarak bölgedeki tarım arazilerinde kullanılan fosfat içerikli inorganik gübreler gösterilebilir. Dünyanın birçok yerinde tarım arazilerinde verimi arttırmak için fosfat içeren inorganik gübreler kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalar da kullanılan fosfat içerikli inorganik gübrelerin topraktaki ^{238}U, ^{232}Th ve ^{40}K miktarlarını arttırdığını ortaya koymaktadır (Khater ve Al-Sewaidan, 2008; Stojanovic ve ark., 2012; Chauhan ve ark., 2013; Asaduzzaman ve ark., 2015). Bununla birlikte, tarım arazilerinde ^{137}Cs aktivitesinin ortalama değerinin de yüksek olduğu görülmektedir. Normalde tarım arazilerinde (özellikle de yağışın bol olduğu Giresun ilindeki) dikey

difüzyonun büyük olması sonucunda ^{137}Cs konsantrasyonun diğer arazi yapılarına göre düşük olması beklenir. Ancak, bölgedeki tarım arazilerinin çoğu farklı arazilerden taşınan topraklar ile oluşturulması ^{137}Cs konsantrasyonunda değişkenlik göstermektedir. Bununla birlikte, literatürdeki çalışmalar topraktaki potasyum miktarının artmasıyla birlikte topraktan bitkilere ^{137}Cs emiliminin azaldığı görülmektedir (Smolders ve ark., 1997; Waegeneers ve ark., 2009; Rosen ve ark., 2011). Tarım arazilerinde kullanılan inorganik gübrelerdeki potasyum miktarı dikkate alındığında topraktaki ^{137}Cs konsantrasyonunun azalmasına engel olabileceği söylenebilir. Ormanlık ve açık arazilerde, zemindeki ağaç ve bitkilerin köklerinin oluşturduğu sıkı tabaka ortamda mevcut olan ^{137}Cs'un topraktaki dikey difüzyonunu yavaşlatması ve bu arazi yapılarında yağışla birlikte yüzeydeki tabakanın farklı bölgelere taşınmasının baskın olması ^{137}Cs miktarında azalmaya sebep olduğu düşünülmektedir (Rezzoug ve ark., 2006).

Tablo 4.2. İstasyonlardaki ortalama aktivite değerleri (Bq/kg).

İstasyonlar ve Araziler		^{238}U	^{232}Th	^{137}Cs	^{40}K
Tüm İstasyonlar	Tarım Arazisi	84	54	124	451
	Orman Arazisi	80	46	95	538
	Açık Arazi	54	44	59	520
Ortak İstasyonlar	Tarım Arazisi	113	65	138	494
	Orman Arazisi	72	44	83	470
	Açık Arazi	60	48	76	461

4.2. Ağır Metal Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Radyoaktivite ölçümlerinin gerçekleştirildiği istasyonlardan alınan toprak numunelerindeki Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Cd ve Pb ağır metallerinin konsantrasyonları belirlendi. Elde edilen sonuçlar tablo 3.(4-6) ve şekil 3.(5-14)'de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde istasyonlardan alınan numunelerde Ni konsantrasyonun çok düşük olduğu ve hatta birçok istasyonda dedeksiyon limitinin altında olduğu görülmektedir. Sonuçlar incelendiğinde Fe ve Mn konsantrasyonlarının istasyonlara göre çok fazla değişmediği görülmektedir. 16 nolu istasyondaki tarım arazilerinde Cr, Zn, Cd, Pb ve Cu konsantrasyonlarının diğer istasyonlara göre bir hayli yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca, tarım arazileri için 11 nolu istasyonda Cu, 14 nolu istasyonda Se ve 15 nolu istasyonda da Co

konsantrasyonlarının yüksek olduğu görülmektedir. Açık arazilerde ise, 4 nolu istasyonda Co, 7 nolu istasyonda As, 22 nolu istasyonda Cr ve 27 nolu istasyonda Cu konsantrasyonları yüksektir.

Ağır metal konsantrasyonlarının ortalama değerleri ve dünya ortalamaları tablo 4.3' de verilmiştir. Tüm istasyonlar üzerinden değerlendirme yapıldığında, Cr konsantrasyonu her üç arazi türünde de birbirine yakın bir ortalamaya sahip olduğu görülmektedir. Bu durum Fe ve Se metallerinde de benzerlik göstermektedir. Mn, Co, Cu, Zn, As, Cd ve Pb metallerinin ortalama konsantrasyonlarının tarım arazilerinde daha yüksek olduğu görülmektedir. Tablo 4.3' de ortak istasyonlardaki ağır metal konsantrasyonlarının ortalama değerleri görülmektedir. Ortak istasyonlar üzerinden değerlendirme yapıldığında, tarım arazilerinde Cr, Cu, Zn, Se, Cd ve Pb konsantrasyonları diğer arazi yapılarındaki değerlere göre yüksektir. Fe ve Mn konsantrasyonunun tarım ve orman arazilerinde birbirine yakın ve açık arazilere göre yüksek olduğunu söyleyebiliriz. Açık arazilerde Co miktarı fazla iken, tüm arazi yapıları için As miktarının aynı olduğu söylenebilir. Cu ve Se dışındaki ağır metal konsantrasyonlarının dünyadaki ortalama değerlerin altında olduğu görülmektedir.

Tablo 4.3. İstasyonlardaki ve dünyadaki ortalama ağır metal konsantrasyonları (mg/kg).

İstasyonlar ve Araziler		Cr	Mn	Fe**	Co	Cu	Zn	As	Se	Cd	Pb
Tüm İstasyonlar	Tarım Arazisi	10,54	345,13	8,73	7,70	42,34	42,44	4,27	25,10	0,33	14,01
	Orman Arazisi	7,55	323,96	7,47	4,71	11,68	24,36	2,83	23,50	0,18	9,19
	Açık Arazi	8,02	255,91	7,40	6,75	14,83	25,70	4,04	24,94	0,15	9,30
Ortak İstasyonlar	Tarım Arazisi	15,25	391,11	8,98	12,74	81,28	51,98	3,83	30,29	0,61	15,36
	Orman Arazisi	10,05	392,51	9,11	5,71	14,75	27,75	4,07	20,93	0,13	10,62
	Açık Arazi	8,52	329,36	8,60	15,74	12,14	22,23	3,62	15,33	0,10	8,35
Dünya Ortalaması*		42,00	418,00	-	6,90	14,00	62,00	4,70	0,70	1,10	25,00

*Kabata-Pendias ve Mukherjee (2007)
**mg/g

KAYNAKLAR

Asaduzzaman, K., Khandaker, M., Amin, R.M.Y.M. 2015. Uptake and distribution of natural radioactivity in rice from soil in north and west part of peninsula Malaysia for the estimation of ingestion dose to man. Annals of Nuclear Energy, 76: 85-93.

Aykamış A. 2008. Türkiye'de yapı malzemesi olarak kullanılan bazı doğal taşlardaki radyoaktivite seviyelerinin belirlenerek, kimyasal ve mineralojik bileşim ilişkilerinin araştırılması. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği ABD, Doktora Tezi.

Brai, M., Basile, S., Bellia, S., Hauser, S., Puccio, P., Rizzo, S., Bartolotta, A., Licciardello, A. 2002. Environmental radioactivity at Stromboli (Aeolian Islands). Appl. Radiat. Isot., 57(1): 99 - 107.

Chaunhan, P., Chaunhan, R., Gupta, M. 2013. Estimation of naturally occuring radionuclides in fertilizers using gamma spectrometry and elemental analysis by xrf and xrd techniques. Journal of Microchemical Journal, 106: 73-78.

Çelik, N., Çevik, U., Çelik, A., Küçükömeroğlu, B. 2008. Determination of indoor radon and soil radioactivity levels in Giresun, Turkey. Journal of Environmental Radioactivity, 99: 1349-1354.

Çelik, N., Damla, N., Çevik, U. 2010. Gamma ray concentrations in soil and building materials in Ordu, Turkey. Radiation Effects and Defects in Solids, 165: 1-10.

Damla, N. 2009. Türkiye'deki bazı inşaat malzemelerinde doğal radyoaktiflik seviyelerinin ve kütle soğurma katsayılarının belirlenmesi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik ABD, Doktora Tezi.

Degerlier, M., Karahan, G., Özger, G. 2008. Radioactivity concentrations and dose assessment for soil samples around Adana, Turkey Journal of Environmental Radioactivity, 99:1018–1025.

Durusoy, A., Yıldırım, M. 2017. Determination of radioactivity concentrations in soil samples and dose assessment for Rize Province, Turkey. Journal of Radiation Research and Applied Sciences, 10: 348-352.

Fasasi, M.K. 2003. Natural radioactivity of the tar-sand deposits of Ondo State, Southwersten Nigeria. Nuclear instruments & Methods in Physics Research, 505:449-453.

Garimella S., Prasad U. 2002. Distribution of ^{40}K, ^{232}Th and ^{238}U in Soils of Southern and Western Coasts of Viti Levu, Fiji, Sitaram Garimella and Umawatti Prasad. S. Pac. J. Nat. Sci., 20:9-14.

Gilmore, G.R. 2008. Practical Gamma-Ray Spectrometry (2nd Edition). John Wiley & Sons, New York, 2-38.

Gür, F., 1999. Doğal Dış Radyasyonun İzmir İlinde Yaşayanların Aldıkları Toplam Doza Katkısının Belirlenmesi. Ege Üniversitesi, Fen-Bilimler Enstitüsü, Nükleer Bilimler ABD , Yüksek Lisans Tezi.

ICRP, 1990. The International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 60. Recommendations of the International Commission on the Radiological Protection, Pergamon Press Inc., ICRP, USA.

Kabata-Pendias, A., Mukherjee, A.B. 2007. Trace Elements from Soil to Human. Springer – Verlag Berlin Heidelberg, 2007.

Karadeniz, A. 2013. Ordu, Giresun ve Trabzon illeri sahil kumlarında doğal gama radyoaktivitesinin belirlenmesi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik ABD, Yüksek Lisans Tezi.

Karahan, G., Bayulken, A. 2000. Assessment of gamma dose rates around Istanbul. Journal of Environmental Radioactivity, 47:213-221.

Karakelle B., Öztürk, N., Köse, A., Varinlioğlu, A., Erkol, A.Y., Yılmaz, F. 2002. Natural radioactivity in soil samples of Kocaeli basin, Turkey. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 254(3):649-651.

Karunakara, N., Somashekarappa, H.M., Avadhani, D.N., Mahesh, H.M., Narayana, Y., Siddappa, K. 2001. Radium-226, ^{232}Th and ^{40}K distribution in the environment of Kaiga of South west coast of India. Health Phys., 80(5): 470-476.

Khater, A., Al-Sewaidan, H. 2008. Radiation exposure due to agricultural uses of phosphate fertiliziers. Radiation Measurements, 43: 1402-1407.

Knoll, G.F. 2000. Radiation Detection and Measurement (Third Edition). John Wiley & Sons, New York, 1-802.

Krane, K.,S., Şarer, B. (Çeviri Editörü). 2001. Nükleer Fizik I. Palme Yayıncılık, Ankara, 1- 404.

Kurnaz, A. 2009. Trabzon ilinin ve Şebinkarahisar ilçesinin doğal radyoaktivite düzeylerinin belirlenmesi ve yıllık etkin doz eşdeğerleri. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik ABD, Doktora Tezi.

L'Annunziata, M.F. 2012. Handbook of Radioactivity Analysis (Third Edition). Elsevier, Oxford, 1-1304.

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, 73(3): 233-245.

NCRP Report 45. 1975. Natural Backround Radiation in the U.S. Soil Radioactivity. National Council on Radiation Protection and Measurement No.45, 54.

Rezzoug, S., Michel, H., Fernex, F., Barci-Funel, G., Barci, V. 2006. Evaluation of ^{137}Cs fallout from the Chernobyl accident in a forest soil and its impact on

Alpine Lake sediments, Mercantour Massif, S.E. France. Journal of Environmental Radioactivity, 85: 369-379.

Rosen, K., Vinichuk, M., Nikolova, I., Johanson, K.J., 2011. Long-term effects of single potassium fertilization on ^{137}Cs levels in plants and fungi in a boreal forest ecosystem. Journal of Environmental Radioactivity, 102: 178-184.

Saravanan, S., Jodha, A.S., Gopalani, D., Bhati, S.S., Kumar, S. 2003. Preliminary measurements of natural radioactivity at Madurai district of Tamilnadu, India. Radiation Measurements, 36: 397-399.

Singh, S., Singh, B., Kumar, A. 2003. Natural radioactivity measurements in soil samples from Hamirpur district, Himachal Pradesh, India. Radiation Measurements, 36:547-549.

Smolders, E., Sweeck, L., Merckx, R., Cremers, A. 1997. Cationic interactions in radiocesium uptake from solution by spinach. Journal of Environmental Radioactivity, 34: 161-170.

Stojanovic, M., Stevanovic, D., Jelena, M., Mihajlovic, M.L., Lopicic, Z., Sostaric, T. 2012. Influence of soil type and physical-chemical properties on uranium sorption and bioavailability. Water Air Soil Pollut., 223: 135-144.

Sujo, L.C., Cabrera, M.E.M., Villalba, L., Villalobos, M.R., Moye, E.T., Leon, M.G., Tenorio, M.R., Garcia, F.M., Peraza, E.F.H., Aroche, D.S. 2004. Uranium-238 and Thorium-232 series concentrations in soil, Radon-222 indoor and drinking water concentrations and dose assessment in the city of Aldama, Chihuahua, Mexico. Journal of Environmental Radioactivity, 77:205-219.

Taner, A. C. 2007. Nükleer Enerji, Çağın Polisi Dergisi, 62:32-38.

Tsoulfanidis, N., Landsberger, S. 2015. Measurement & Detection of Radiation (4 th Edition). Taylor & Francis Group, NewYork, 1-543.

UNSCEAR Report 88. 1988. Annex A Terrestrial Sources of Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation, 57.

UNSCEAR, 2000. Sources and Effects of Ionizing Radiations. Report to General Assembly with Scientific Annexes, United Nations, NewYork.

Waegeneers, N., Sauras-Yera, T., Thiry, Y., Vallejo, V.R., Smolders, E., Madoz-Escande, C. 2009. Plant uptake of radiocesium from artificially contaminated soil monoliths covering major European soil types. Journal of Environmental Radioactivity, 100: 439-444.

Xınwei, L., Xıaolan, Z. 2007. ^{226}Ra, ^{232}Th and ^{40}K activities in soils of Cuihua Mountain National Geological Park, China. Environ. Geology, DOI 10.1007/s00254-007-1170-3.

Yeboah, J., Boadu, M., Darko, E.O. 2001. Natural radioactivityin soils and rocks within the Greater Accra region of Ghana. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 249: 629-632.

ÖZGEÇMİŞ

Emine ÇİL ÇALIŞ 1985 yılında Eskişehir'de doğdu. İlk, Orta ve Lise öğrenimimi Eskişehir'de tamamladı. 2007 yılında girdiği Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünden Haziran 2011'de mezun oldu. Aynı yıl Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Eğitim Fakültesi'nde Pedagolojik-Formasyon eğitimini alarak 2012'de tamamladı. 2013 yılında Giresun Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı' nda yüksek lisans programına başlamıştır.