

**BURSA İLİ TOPRAK NUMUNELERİNDE
RADYONÜKLİD DAĞILIMININ İNCELENMESİ**

Gizem AKKAYA



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BURSA İLİ TOPRAK NUMUNELERİNDE
RADYONÜKLİD DAĞILIMININ İNCELENMESİ**

Gizem AKKAYA

Prof. Dr. Z. Gökay KAYNAK
(Danışman)

DOKTORA TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI

BURSA-2011
Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Gizem Akkaya tarafından hazırlanan “Bursa İli Toprak Numunelerinde Radyonüklid Dağılımının İncelenmesi” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı’ nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Z. Gökay KAYNAK

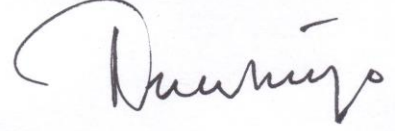
Başkan : Prof. Dr. Z. Gökay KAYNAK
Uludağ Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi
Fizik Anabilim Dalı



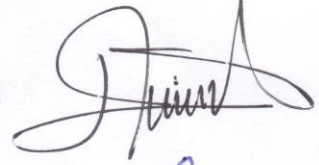
Üye : Doç. Dr. Orhan GÜRLER
Uludağ Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi
Fizik Anabilim Dalı



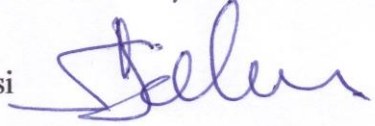
Üye : Yrd. Doç. Dr. Remziye ERGÜL
Uludağ Üniversitesi Eğitim Fakültesi
Fen Bilgisi Eğitimi Anabilim Dalı



Üye : Yrd. Doç. Dr. Nil KÜÇÜK
Uludağ Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi
Fizik Anabilim Dalı



Üye : Doç. Dr. Sezai YALÇIN
Kastamonu Üniversitesi Eğitim Fakültesi
Fen Bilgisi Eğitimi Anabilim Dalı



Yukarıdaki sonucu onaylarım


Prof. Dr. Kadri ARSLAN
Enstitü Müdürü

19 ...01/2011

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

19/07/2011

Gizem AKKAYA



ÖZET

Doktora Tezi

BURSA İLİ TOPRAK NUMUNELERİNDE RADYONÜKLİD DAĞILIMININ İNCELENMESİ

Gizem AKKAYA

Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Z. Gökay KAYNAK

Bu çalışmada toprak örneklerindeki radyonüklid konsantrasyonları araştırılarak, Bursa'nın radyoaktivite seviyesi radyolojik açıdan değerlendirilmiştir. 26 adet yüzey toprağındaki ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyonüklidlerinin aktiviteleri bulunmuştur. Toprak örneklerindeki radyonüklid aktiviteleri HpGe detektörlü gamma spektrometresi kullanılarak ölçülmüştür. ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs aktiviteleri sırasıyla 10 - 120 Bq/kg (ortalama değer 24 Bq/kg), 12 - 235 Bq/kg (ortalama değer 30 Bq/kg), 257 - 1 330 Bq/kg (ortalama değer 433 Bq/kg), 1,01 - 48,97 Bq/kg (ortalama değer 5,66 Bq/kg) aralıklarında bulunmuştur.

Ayrıca ortalama havada soğrulan doz oranı (ADRA), yıllık efektif doz eşdeğeri (AEDE), radyum eşdeğer aktivite değeri (Ra_{eq}) ve dış kaynaklı tehlike göstergesi (H_{ex}) sırasıyla 62 nGy/h, 76 $\mu\text{Sv/y}$, 133 Bq/kg ve 0,36 olarak bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar literatür değerleriyle karşılaştırılmıştır.

108 adet yüzey toprağı örneğinin toplam beta aktiviteleri Tennelec LB 1000-PW detektör kullanılarak belirlenmiştir. Ölçülen toplam beta aktiviteleri 46 - 2 780 Bq/kg aralığında (ortalama değer 556 Bq/kg) elde edilmiştir.

Bu çalışma Bursa ilinin radyasyon haritasının çıkarılmasına katkı sağlayacaktır. Çalışma, Bursa ilindeki topraklarda bulunan doğal ve yapay radyonüklid aktivitelerinin belirlendiği ilk detaylı çalışmadır. Elde edilen sonuçlar, insan kaynaklı herhangi bir radyoaktivite seviyesindeki değişikliğin tespit edilebilmesi açısından önemlidir.

Anahtar Kelimeler: Çevresel radyoaktivite, toprak, toplam beta aktivitesi, gamma spektrometresi, doğal ve yapay radyonüklidler, gamma dozu

2011, x + 107 sayfa.

ABSTRACT

PhD Thesis

THE INVESTIGATION OF RADIONUCLIDE DISTRIBUTION IN SOIL SAMPLES COLLECTED FROM BURSA PROVINCE

Gizem AKKAYA

Uludağ University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Physics

Supervisor: Prof. Dr. Z. Gökay KAYNAK

In this study, the radioactivity level of Bursa province was evaluated radiological aspects with investigation of radionuclide concentrations in soil samples. The distribution of ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K and ^{137}Cs radionuclide concentrations were measured in 26 surface soil samples collected from Bursa. The radionuclide concentrations in the soil samples were determined by gamma spectrometer using HpGe detector. The range of ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K and ^{137}Cs activity concentrations varied from 10 to 120 Bq/kg (mean value 24 Bq/kg), 12 to 235 Bq/kg (mean value 30 Bq/kg), 257 to 1330 Bq/kg (mean value 432 Bq/kg), 1,01 to 48,97 Bq/kg (mean value 5,66 Bq/kg), respectively.

In addition, the mean gamma absorbed dose rates in air (ADRA), annual effective dose equivalent (AEDE), radium equivalent activity (Ra_{eq}) and external hazard index (H_{ex}) were found to be 62 nGy/h, 76 $\mu\text{Sv/y}$, 133 Bq/kg and 0,36, respectively. The results were compared with literature values.

The gross beta activities in 108 surface soil samples were determined using Tenelec LB 1000-PW detector. The range of gross beta activities varied from 46 to 2780 Bq/kg with a mean value of 556 Bq/kg.

This study will contribute to the radioactivity level database for Bursa province. This is the first detailed study of anthropogenic and natural radionuclide concentrations in soil collected from Bursa. The results may also be used to evaluate any radioactivity change of induced by man in the future.

Key words: Environmental radioactivity, soil, gross beta activity, gamma spectrometer, natural and anthropogenic radionuclides, gamma dose
2011, x + 107 pages.

TEŞEKKÜR

Ufkumun ve hedeflerimin gelişmesine yardımcı olan, bilgi, tecrübe ve ileri görüşlülüğünden faydalandığım, bilimsel ve özgün kişiliğiyle her zaman kendime örnek aldığım ve alacağım, doktora çalışmam sırasında sonuçların değerlendirilmesinden yorumlanmasına kadar her türlü aşamada aydınlatıcı katkı ve eleştirilerde bulunan çok değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. GÖKAY KAYNAK' a,

Çalışmalarına yapıcı eleştiri ve yorumlarıyla katkıda bulunan Tez İzleme Komitesi üyeleri Sayın Doç. Dr. ORHAN GÜRLER ve Sayın Yrd. Doç. Dr. REMZİYE ERGÜL'e,

Gamma spektrum analizleri sırasında bana Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsünün kapılarını açan ve imkanlarından faydalanmamızı sağlayan Sayın Müdür Yardımcısı Doç. Dr. TURGAY KARALI' ya, analizlerde yardımlarını esirgemeyen, bilgi ve tecrübesinden yararlandığım Sayın Prof. Dr. GÜNSELİ YAPRAK' a ve onun öğrencileri ŞENAY ŞAHİN ve MELEK ÖZDAŞ' a,

Her zaman yanımda olan ve bana destek veren, tezimin tamamlanmasına katkıda bulunan sevgili oda ve çalışma arkadaşım Araş. Gör. AYŞEGÜL KAHRAMAN' a ve bölümdeki işlerimi kolaylaştırarak bana yardımcı olan diğer çalışma arkadaşlarıma,

Çalışmalarım boyunca ve hayatımın her aşamasında motivasyonumu sağlayan, arazi çalışmalarım da dahi beni yalnız bırakmayan, hayatımı her zaman kolaylaştıran sevgili eşim TANZER AKKAYA' ya,

Onlara ayırmam gereken zamanlarda - farkında olmasalar da - beni sabırla bekleyen, zor zamanlarımı mutluluğa dönüştüren yegane yaşam kaynaklarım canım kızlarım DENİZ ve ADA AKKAYA' ya,

ve manevi desteklerinden ötürü sevgili aileme

sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmanın, HDP(F)-2010/30 No.' lu ve "Bursa İli Toprak Numunelerinde Radyonüklid Dağılımının İncelenmesi" başlıklı proje kapsamında desteklenmesini sağlayan Uludağ Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyon Başkanlığı' na teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
SİMGELER DİZİNİ.....	vi
KISALTMALAR DİZİNİ.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	3
3. KURAMSAL TEMELLER.....	10
3.1. Radyasyonun Madde ile Etkileşmesi.....	10
3.2. Elektronların Madde İle Etkileşmesi.....	10
3.2.1. Elastik çarpışma.....	10
3.2.2. İnelastik çarpışma.....	11
3.2.3. Bremsstrahlung (frenleme ışını).....	11
3.2.4. Cherenkov ışınması.....	13
3.3. Gamma Işınlarnının Madde İle Etkileşmesi.....	13
3.3.1. Fotoelektrik olay.....	14
3.3.2. Compton saçılması.....	15
3.3.3. Çift oluşumu.....	18
3.3.4. Toplam zayıflama katsayısı.....	19
3.4. Sintilasyon Savaşları.....	21
3.5. Yarıiletken Detektörler.....	22
3.6. HpGe Detektörleri.....	23
3.7. Gamma Spektrometresinde Fotopik Net Sayımının Belirlenmesi.....	28
3.7.1. Doğrusal fonksiyon kullanılarak Compton sürekliliğinin belirlenmesi.....	29
3.7.2. Basamak fonksiyonu kullanılarak Compton sürekliliğinin belirlenmesi.....	30
3.7.3. Ortamdaki doğal fonun fotopik saymalarından çıkarılması.....	31
3.8. Detektör Verimi.....	31
3.9. Doğrudan Aktivite Ölçümü.....	32
3.10. Standartla Karşılaştırma Yöntemi ile Aktivite Ölçümü.....	32
3.11. Doğal ve Yapay Radyasyon Kaynakları.....	33
3.11.1. Doğal radyasyon kaynakları.....	33
3.11.2. Yapay radyasyon kaynakları.....	40
3.12. Kayaçlardaki Doğal Radyoaktivite.....	43
3.13. Radyasyon Etkisi ve Dozimetrik İlişkiler.....	45
4. MATERYAL VE YÖNTEM.....	48
4.1. Araştırma Alanının Tanıtımı.....	48
4.1.1. Bursa' nın coğrafi konumu, yeryüzü şekilleri, tarihi ve önemi.....	48
4.1.2. Bursa' da tektonik aktivite.....	49
4.1.3. Bursa' nın jeomorfolojik özellikleri.....	51
4.2. Örnek Alma Kuralları.....	57
4.3. Çalışmada Kullanılan Phoswich Detektörü.....	58
4.4. Beta Aktivitesi İçin Sayım Sisteminin Kalibrasyonu.....	66

4.5. KCl' ün Aktivitesinin Hesaplanması.....	67
4.6. Toprak Örneklerinin Beta Aktivitelerinin Bulunması.....	68
4.7. Çalışmada Kullanılan Gamma Spektrometre Sistemi.....	69
4.8. Çalışmada Kullanılan Radyometrik Standartlar.....	69
4.9. ²²⁶ Ra ve ²³² Th Aktivitesinin Tayini.....	70
4.10. ⁴⁰ K ve ¹³⁷ Cs Aktivitesinin Tayini.....	73
4.11. Minimum Dedekte Edilebilen Aktivite.....	74
5. TARTIŞMA ve SONUÇ.....	76
5.1. Phoswich Detektörü ile Toprak Örneklerinin Beta Aktivitelerinin Bulunması..	76
5.2. HpGe Detektörü ile Toprak Örneklerinin Radyonüklid Aktivitelerinin Bulunması.....	86
KAYNAKLAR.....	102
ÖZGEÇMİŞ.....	107

SİMGELER DİZİNİ

Simgeler

Açıklama

A	Atom ağırlığı
Z	Atom numarası
I	Atomik elektronların ortalama iyonlaşma enerjisi
N_A	Avogadro sayısı
λ	Bozunma sabiti
η	Bozunum oranı
σ	Compton saçılması tesir kesiti
E_C	Compton sınır enerjisi
κ	Çift oluşumu tesir kesiti
ε_f	Detektörün fotopik verimi
ε_t	Detektörün toplam verimi
ε	Dielektrik sabiti
\bar{E}	Elektron-deşik çifti oluşturmak için gerekli ortalama enerji
k	Elektronun durgun enerjisi cinsinden foton enerjisi
T_e	Elektronun kinetik enerjisi
m_e	Elektronun kütlesi
e	Elektron yükü
τ	Fotoelektrik olay tesir kesiti
$f_\gamma(E)$	Gamma yayınlanma olasılığı
c	Işık hızı
a	İvme
Q	Kalite faktörü
S	KCl'nin kimyasal saflığı
h	^{40}K ' in doğal izotopik bolluğu
r_0	Klasik elektron yarıçapı
μ_m	Kütle zayıflama katsayısı
D	Numune içindeki potasyum derişimi
σ_{RS}	Rayleigh saçılması tesir kesiti
σ_T	Toplam tesir kesiti
μ_T	Toplam zayıflama katsayısı
V	Uygulanan ters gerilim
E_g	Valans bandı ile iletkenlik bandı arasındaki enerji aralığı
d	Yarıiletken detektörün duyar bölge kalınlığı
N_{DA}	Yarıiletken materyalin safsızlık yoğunluğu
ρ	Yoğunluk

KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar	Açıklama
ADRA	Absorbed dose rate in air (Havada soğrulan doz oranı)
ADC	Analog-sayısal dönüştürücü
AEDE	Annual effective dose equivalent (Yıllık efektif doz eşdeğeri)
MCA	Çok kanallı analizör
DCF	Dose conversion factor (Doz dönüşüm faktörü)
ELCR	Excess lifetime cancer risk (Kanser riski)
H _{ex}	External hazard index (Dış kaynaklı tehlike göstergesi)
FWHM	Full width at half maximum
MDA	Minimum dedekte edilebilen aktivite
OF	Outdoor occupancy factor (Dış mekanlarda geçirilen yüzdelik zaman faktörü)
OFHC	Oxygen-free high conductivity
PW	Phoswich
Ra _{eq}	Radium equivalent activity (Radyum eşdeğer aktivite değeri)
HpGe	Yüksek saflıkta germanyum detektörü

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Kurşunun fotoelektrik tesir kesitinin gamma enerjisine bağlı değişimi...	15
Şekil 3.2. Compton saçılmasının şematik gösterimi.....	16
Şekil 3.3. Ortama giren E_γ enerjili bir foton için, elektron enerji dağılımının genel biçimi.....	17
Şekil 3.4. Fotonların maddeyle yaptığı etkileşmelerin baskın olduğu bölgeler.....	19
Şekil 3.5. Germanyum ortamında zayıflama katsayılarının gamma enerjisine bağlı değişimleri.....	20
Şekil 3.6. Bir sintilasyon detektörünün şematik görünümü.....	21
Şekil 3.7. Yarıiletken detektörün basit yapısı.....	25
Şekil 3.8. (a) Tam koaksiyel detektör (b) Kapalı uçlu koaksiyel detektör (c) Planar detektör (d) Kuyu tipi detektör.....	26
Şekil 3.9. (a) p-tipi koaksiyel germanyum detektör (b) n-tipi koaksiyel germanyum detektör.....	26
Şekil 3.10. n-tipi ve p-tipi koaksiyel germanyum detektörünün gelen gamma enerjisine bağlı mutlak verim değişimi.....	27
Şekil 3.11. Tipik bir germanyum detektörünün genel yapısı.....	27
Şekil 3.12. HpGe detektörlü sayma sisteminin blok diyagramı.....	28
Şekil 3.13. Doğrusal fonksiyon kullanılarak Compton sürekliliğinin belirlenmesi...	30
Şekil 3.14. Basamak fonksiyonu kullanılarak Compton sürekliliğinin belirlenmesi..	30
Şekil 3.15. Chernobyl nükleer kazasından sonraki ilk yıl etkin doz açısından etkilenen ülkeler.....	42
Şekil 4.1. Bursa ve çevresindeki faylar.....	50
Şekil 4.2. Uludağ' ın bir bölümünün jeoloji haritası.....	53
Şekil 4.3. Orhaneli batısı jeoloji haritası.....	54
Şekil 4.4. Bursa ili maden haritası (MTA).....	55
Şekil 4.5. Bursa ili genel jeoloji haritası.....	56
Şekil 4.6. Phoswich detektörünün şematik görünümü.....	60
Şekil 4.7. Pulsların zaman kanallarına ayrılması.....	61
Şekil 4.8. Alfa-Beta karışması denetimi.....	63
Şekil 4.9. TENNELEC TC 466 PHOSWICH PROCESSOR.....	64
Şekil 4.10. Sayma sisteminin blok diyagramı.....	65
Şekil 4.11. PW detektörünün doğal fonu düşürmek için dış ortamdan yalıtılması.....	66
Şekil 4.12. KCl' ün kütle-sayma hızı grafiği.....	67
Şekil 4.13. Uranyum bozunma zinciri.....	72
Şekil 4.14. Toryum bozunma zinciri.....	73
Şekil 4.15. ^{40}K ve ^{137}Cs bozunma şemaları.....	74
Şekil 5.1. Beta aktiviteleri için frekans dağılımı ve istatistiksel sonuçlar.....	84
Şekil 5.2. Bursa ili topraklarının Bq/kg biriminde beta aktivitelerinin dağılımı.....	84
Şekil 5.3. Örneklem noktalarını ve ilçe sınırlarını gösteren Bursa ili haritası.....	85
Şekil 5.4. Osmangazi-Milliparkyolu1 örneğinin gamma spektrumu.....	88
Şekil 5.5. ^{40}K aktiviteleri için frekans dağılımı ve istatistiksel sonuçlar.....	90
Şekil 5.6. ^{226}Ra aktiviteleri için frekans dağılımı ve istatistiksel sonuçlar.....	90
Şekil 5.7. ^{232}Th aktiviteleri için frekans dağılımı ve istatistiksel sonuçlar.....	91
Şekil 5.8. ^{137}Cs aktiviteleri için frekans dağılımı ve istatistiksel sonuçlar.....	91
Şekil 5.9. Bursa ili toprak örneklerindeki ^{226}Ra aktivite değişimi.....	92
Şekil 5.10. Bursa ili toprak örneklerindeki ^{232}Th aktivite değişimi.....	92

Şekil 5.11. Bursa ili toprak örneklerindeki ^{40}K aktivite değişimi.....	93
Şekil 5.12. Bursa ili toprak örneklerindeki ^{137}Cs aktivite değişimi.....	93
Şekil 5.13. Bursa ili topraklarının Bq/kg biriminde ^{226}Ra aktivitelerinin dağılımı...	99
Şekil 5.14. Bursa ili topraklarının Bq/kg biriminde ^{232}Th aktivitelerinin dağılımı...	99
Şekil 5.15. Bursa ili topraklarının Bq/kg biriminde ^{40}K aktivitelerinin dağılımı.....	100
Şekil 5.16. Bursa ili topraklarının Bq/kg biriminde ^{137}Cs aktivitelerinin dağılımı....	100
Şekil 5.17. Bursa ili topraklarının nGy/h biriminde ADRA dağılımı.....	100

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1. Gamma detektörleri için uygun bazı materyallerin özellikleri.....	24
Çizelge 3.2. Doğal radyasyon kaynakları nedeniyle kişi başına maruz kalınan yıllık etkin doz değerleri.....	34
Çizelge 3.3. Dünyanın bazı bölgelerindeki toprağın doğal radyonüklid içerikleri...	35
Çizelge 3.4. Dünyada yüksek doğal radyoizotop konsantrasyonuna sahip bölgeler..	36
Çizelge 3.5. İnsan kaynaklı yapay radyasyonlar sebebiyle maruz kalınan yıllık etkin doz değerleri.....	40
Çizelge 3.6. Bazı kaya türlerinin doğal radyonüklid içerikleri.....	45
Çizelge 3.7. Topraktaki doğal radyonüklidlerin ortalama konsantrasyonları, doz katsayıları ve radyonüklidlerin ortalama konsantrasyonlarından hesaplanan doz değerleri.....	46
Çizelge 4.1. PW detektöründe bulunan sintilatörlerin ve quartz ölü tabakanın bazı fiziksel ve optik özellikleri.....	60
Çizelge 4.2. Kullanılan gamma spektrometre sisteminde kalibrasyon sabitleri ve MDA değerleri.....	75
Çizelge 5.1. Doğal fon ortalama değerleri.....	76
Çizelge 5.2. Toprak örnekleri net sayım sonuçları.....	77
Çizelge 5.3. Toprak örnekleri beta aktivite sonuçları.....	80
Çizelge 5.4. İlçe bazında ortalama beta aktivite sonuçları.....	83
Çizelge 5.5. Toprak örneklerinin radyonüklid aktiviteleri.....	87
Çizelge 5.6. Doğal radyasyon kaynakları nedeniyle maruz kalınan gamma dozu (ADRA) ve ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktivitelerinin doza katkılarının yüzdeleri.....	94
Çizelge 5.7. Yıllık efektif doz eşdeğeri (AEDE), Radium eşdeğer aktivite değeri (R_{eq}), dış kaynaklı tehlike göstergesi (H_{ex}).....	96
Çizelge 5.8. Türkiye’deki bazı bölgelerden toprak örneklerinin ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyoizotoplarının aktiviteleri, ADRA, AEDE, R_{eq} , H_{ex} değerleri ve bu değerlerin çalışmada bulunan değerlerle ve dünya ortalamaları ile karşılaştırılması.....	97
Çizelge 5.9. Toprak örneklerinin hesaplanan ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K konsantrasyonları ve bunların birbirlerine göre oranları.....	101

1. GİRİŞ

Toprak, kayaların ve organik atıkların uzun bir süreç içinde birçok fiziksel, kimyasal, biyolojik etkenlerle parçalanıp ayrışması sonucu ortaya çıkan doğal bir yapıdır. Tarımsal üretimin miktar ve kalitesini artırmak amacıyla kullanılan ticari gübreler, sulamada kullanılan kirli sular, atmosferik çökelmeler ve radyoaktif serpintiler gibi etkiler toprağın kirlenmesine neden olmaktadır. Toprak gibi çevresel örneklerdeki radyasyon ölçümlerinin temel amacı, insanların çevresel kaynaklardan aldıkları radyasyon dozunun tayini ve oluşturabileceği sağlık riskinin değerlendirilmesidir. Bu nedenle, radyonüklidlerin çevresel ortamlardaki bollukları ve insanların maruz kaldıkları toplam radyasyon dozuna bu radyonüklidlerin katkıları ayrı ayrı belirlenmelidir. Bu tür sistematik araştırmalar sonucu bir bölgenin radyasyon açısından sağlıklı yaşama uygun olup olmadığına karar verilebilir.

Radyoaktif kirlilik, insan aktiviteleri sonucu doğal fon (background) seviyesindeki artış olarak tanımlanır. Yapay radyoaktivitenin keşfi, atom bombasının geliştirilmesi, nükleer kazalar, nükleer denemeler, nükleer silah testleri doğal fon seviyesinde artışa neden olmaktadır. Özellikle Chernobyl nükleer kazasından sonra ülkemizin çeşitli bölgelerinde radyoaktif kirlenme tespit edilmiştir. Bir bölgede radyoaktif kirlenmenin ne ölçüde olduğunun belirlenmesi için, kirlenme öncesinde bölgeye ait çevresel örneklerin radyoaktivitesinin bilinmesi gerekmektedir. Düzenli şekilde yapılacak bu tür çalışmalar, bölgenin radyoaktivite değişiminin izlenmesini sağlayacağı gibi herhangi bir kirlenmeyi de ortaya çıkaracaktır (Yalçın 1992). Bu nedenle radyoaktif kirlenmenin yüksek olduğu bölgelerde düzenli aktivite ölçümleri yapılarak gerekli tedbirleri almak, halk sağlığı açısından önemlidir.

Doğal fon radyasyonu iki bileşenden oluşur. Bunlardan birincisi, dünyanın oluşumundan bu yana var olan büyük ölçüde uranyum, toryum serileri içerisindeki radyonüklidlerden ve ^{40}K tan ileri gelen yersel kaynaklı (terrestrial) radyasyondur. Diğeri ise, atmosferin üst tabakalarındaki atomların uzaydan gelen çok yüksek enerjili parçacıklar ile etkileşmesiyle oluşan kozmik radyasyondur. Yersel kaynaklı doğal fon radyasyonu, doğal radyonüklidler içeren toprak ve kayaların bileşimlerine bağlıdır. Bu

nedenle, herhangi bir bölgedeki toprak örneğinin değişik zaman dilimlerinde aktivite ölçümleri, aktivite değişiminin değerlendirilmesi açısından önemlidir (Sroor ve ark. 2001, Chiozzi ve ark. 2002). ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K doğal radyonüklidlerin aktiviteleri, bölgenin jeolojik yapısını oluşturan kayaların ve toprakların radyoaktivite değerlerine bağlı olarak büyük bir değişkenlik göstermektedir (Kurnaz ve ark. 2007).

Bursa iline ait 17 ilçeden toplanan 108 adet yüzey toprağı örneğinin beta aktivitelerinin belirlenmesinde, TENNELEC LB 1000-PW detektör sistemi kullanılmıştır. Sistem düşük aktiviteli örneklerde toplam alfa, beta, gamma sayan bir sistemdir.

Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsünde, Bursa ilini temsil edecek 26 toprak örneğinin, gamma spektrumları % 25 bağıl verime sahip 184 cc EG&G Ortec HpGe koaksiyel detektör ve buna bağılı sayma sistemi ile alınmıştır. Böylece gamma spektrumları alınan toprak örneklerinin içindeki radyonüklidlerin gamma aktiviteleri belirlenmiştir.

Sebze ve meyve üretiminin yüksek oranda yapıldığı Bursa ve ilçelerinden toplanan toprak örneklerinde radyoizotop aktivitelerinin belirlenmesi, insan sağılığına olası radyolojik risk ve biyolojik zarar açısından çok önemlidir. Bu çalışma ile Bursa ve ilçelerinde, topraktaki radyoizotopların aktivite değerleri kullanılarak, ülkemizin radyasyon haritasının çıkarılmasına katkıda bulunulacak ve halkın alması muhtemel doz düzeyleri belirlenebilecektir. Türkiye’ de, endüstriyel ve tarımsal faaliyet açısından ön sıralarda yer alan Bursa ilinin doğal radyasyon düzeyi hakkında yeterli ve ayrıntılı bilgi bulunmamaktadır. Yapılan çalışmanın, bu bilgi açığıının kapatılmasında katkısı olacaktır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Türkiye topraklarında ve dünya ülkeleri topraklarında radyonüklid tayini ile ilgili çok sayıda çalışma vardır. Bu çalışmalarda genellikle ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K gibi doğal ve ^{137}Cs gibi yapay radyoizotopların aktiviteleri ve maruz kalınan doz hesaplamaları yapılmıştır. Son yıllarda Türkiye’ de yapılmış çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Topçuoğlu ve ark. (2003a) tarafından Doğu Anadolu bölgesinde yapılan çalışmada, HpGe detektör kullanılarak, topraktaki, çeşitli gıda ürünlerindeki, biyoindikatör olan liken ve karayosunlarındaki ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K aktiviteleri bulunmuştur. Çalışmada ayrıca aynı bölgelerden alınan su örneklerinde orantılı sayaç kullanılarak toplam alfa aktivitesi, düşük doğal fonlu sayma sistemi kullanılarak da toplam beta aktivitesi ölçülmüştür. Çalışma bölgesine yakın bir yerde bulunan Medzamor Nükleer Santrali nedeniyle radyoaktif bulaşma olmadığı ölçüm sonuçlarıyla ortaya konulmuştur.

Topçuoğlu ve ark. (2003b) tarafından Batı Anadolu’ da Emendere termal kaynağının bulunduğu bölgede yapılan çalışmada, HpGe detektör kullanılarak topraktaki, sediment örneklerindeki, çeşitli gıda ürünlerindeki, liken ve karayosunlarındaki ^{137}Cs , ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K , ^{226}Ra aktiviteleri bulunmuştur. ^{210}Po aktiviteleri ise yüzey engelli detektör kullanılarak bulunmuştur. Çalışmada ayrıca orantılı sayaç kullanılarak toplam alfa aktivitesi, düşük doğal fonlu sayma sistemi kullanılarak da toplam beta aktivitesi ölçülmüştür. Özellikle termal kaynağın bulunduğu bölgeden alınan örneklerde yüksek aktivite değerleri tespit edilmiştir.

Ereeş ve ark. (2006) tarafından Manisa dolaylarında yapılan çalışmada, yüzey toprağı örneklerinde ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktivitelerine ve bu radyonüklidlerin gamma aktiviteleri nedeniyle havada soğrulan doz değerlerine bakılmıştır. Ölçümler 3’’x 3’’ NaI(Tl) sintilasyon detektörü kullanılarak yapılmıştır. Aktivite hesaplamalarında ^{40}K ’ in 1 460 keV piki, ^{238}U için ^{214}Bi ’ ün 1 764 keV piki, ^{232}Th için ^{208}Tl ’ in 2 615 keV piki kullanılmıştır. Ayrıca CR-39 iz detektörleri kullanılarak radon aktivite ölçümleri de yapılmıştır. ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ortalama aktiviteleri sırasıyla 28,5, 27, 340 Bq/kg olarak bulunmuştur. Radon aktivitesi ise 47 - 146 Bq/m³ aralığında saptanmıştır.

Merdanoğlu ve Altınsoy (2006) tarafından yüksek radyonüklid konsantrasyonuna sahip granit gibi magmatik kayaların bulunduğu Kestanbol (Çanakkale) bölgesinde yapılan çalışmada, ilk 10 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs aktiviteleri bulunmuştur. Çalışmada ayrıca havada soğrulan gamma doz değerleri, radyum eşdeğer aktivite değeri (Ra_{eq}), dış kaynaklı tehlike belirtgeni (H_{ex}) hesaplanmıştır. Aktivite hesaplamalarında ^{40}K ' in 1 460 keV piki, ^{137}Cs ' nin 661,7 keV piki, uranyum serisi için, ^{226}Ra ' nın 186,3 keV, ^{214}Pb ' ün 351,9 keV ve ^{214}Bi ' ün 609,3 keV piki, toryum serisi için, ^{228}Ac ' in 911 keV ve ^{208}Tl ' in 583,3 keV piki kullanılmıştır. Bölgeden alınan toprak örneklerinde yapılan ölçüm sonuçlarına göre ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K ortalama aktiviteleri sırasıyla 115, 192 ve 1 207 Bq/kg, ^{137}Cs ' nin ise 0,37 ile 36,03 Bq/kg aralığında değiştiği bulunmuştur. Ölçümler 1 332 keV gamma piki için 1,9 keV ayırma gücüne sahip % 16 bağıl verimli HpGe detektör ile yapılmıştır. Radyonüklid aktivitelerinin ve soğrulan doz oranlarının, bölgenin granit olması nedeniyle dünya ortalamalarının üzerinde olduğu gözlenmiştir.

Bolca ve ark. (2007) tarafından Gediz Nehri havzasında yapılan çalışmada, özellikle fosfatlı gübre kullanımıyla topraktaki doğal radyoaktivite seviyesindeki artış incelenmiştir. Gübrelenmiş tarım arazisinden alınan toprak örneklerinde ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{40}K ve ^{210}Po ortalama aktiviteleri sırasıyla 22,08, 57,6, 444,78, 45,22 Bq/kg, gübrelenmemiş tarım yapılmayan toprak örneklerinde ise 20,56, 45,04, 325,45, 38 Bq/kg olarak ölçülmüştür. ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{40}K ölçümleri 3"x 3" kuyu tipi NaI(Tl) sintilasyon detektörü, ^{210}Po ölçümleri ise ZnS(Ag) alfa detektörü kullanılarak yapılmıştır. Aktivite hesaplamalarında ^{40}K ' in 1 460 keV piki, ^{226}Ra için ^{214}Bi ' ün 1 764 keV piki, ^{232}Th için ^{208}Tl ' in 2 615 keV piki kullanılmıştır. Mısır, domates, biber gibi çeşitli sebze örneklerinde radyonüklid aktiviteleri de ölçülmüştür. Toprak örneklerinin bünye analizi, organik madde ve CaCO_3 içeriği, pH değeri gibi fiziksel ve kimyasal özellikleri analiz edilmiştir. Toprağın organik madde ve kil içeriği ile ^{226}Ra , ^{40}K , ^{210}Po aktiviteleri arasında gübrelenmiş topraklarda pozitif korelasyon bulunmuştur.

Kurnaz ve ark. (2007) tarafından yapılan çalışmada, Rize'de Fırtına Vadisi bölgesinde, yüzey toprağı ve sediment örneklerindeki radyonüklid aktivite seviyelerine bakılmıştır. Çalışılan bölge, bazalt, andezit ve granit gibi volkanik kayaları içermektedir. Gamma

spektrometre ölçümleri, % 16 bağıl verimli, ^{60}Co ' in 1 332 keV gamma piki için 1,9 keV ayırma gücüne sahip koaksiyel HpGe detektör ile yapılmıştır. Toprak örneklerinde ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs ortalama aktiviteleri sırasıyla 50, 42, 643 ve 85 Bq/kg, sediment örneklerinde ise 39, 38, 573 ve 6 Bq/kg olarak bulunmuştur. Aktivite hesaplamalarında ^{40}K ' in 1 460 keV piki, ^{137}Cs ' nin 661,7 keV piki, uranyum serisi için, ^{226}Ra ' nin 186,3 keV, ^{214}Pb ' ün 351,9 keV ve ^{214}Bi ' ün 609,3 keV piki, toryum serisi için, ^{228}Ac ' in 911 keV ve ^{208}Tl ' in 583,3 keV piki kullanılmıştır. Ayrıca çalışmada aktivitenin belirlenmesine ek olarak, havada soğrulan doz oranı (ADRA), Radyum eşdeğer aktivite değeri (R_{eq}), dış kaynaklı tehlike belirtgeni (H_{ex}) ve yıllık efektif doz eşdeğeri (AEDE) de hesaplanmıştır.

Örgün ve ark. (2007) tarafından yine Kestanbol (Çanakkale) da yapılan çalışmada, kaya örneklerinin ve sahil kumlarının ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs aktiviteleri bulunmuştur. Çalışmada havada soğrulan gamma doz değerleri, radyum eşdeğer aktivite değeri (R_{eq}), dış kaynaklı tehlike belirtgeni (H_{ex}) ve yıllık efektif doz eşdeğeri (AEDE) de hesaplanmıştır. Ölçüm sonuçlarına göre kaya örneklerinin ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K ortalama aktiviteleri sırasıyla 174,78, 204,69 ve 1 171,95 Bq/kg, sahil kumu örneklerinin ise 290,36, 532,04 ve 1 160,75 Bq/kg olarak bulunmuştur. ^{137}Cs ' nin aktivitesi ise MDA ile 6,57 Bq/kg aralığında ölçülmüştür. Ölçümler 1 332 keV gamma piki için 1,9 keV ayırma gücüne sahip % 16 bağıl verimli koaksiyel HpGe detektör ile yapılmıştır. Hesaplanan değerler dünya ortalamalarının üzerindedir.

Yalçın ve Gürler (2007) tarafından güney Marmara bölgesinde yapılan çalışmada Tennelec LB 1000-PW kullanılarak toprak, kömür ve su örneklerinin beta aktiviteleri bulunmuştur. İlk 5 cm' den alınan toprak örneklerinin beta aktiviteleri 0,5 - 0,83 Bq/g aralığında, kömür örneklerinin 0,079 - 1,284 Bq/g aralığında, içme ve termal kaynak sularının ise 0,06 - 0,74 Bq/l aralığında ölçülmüştür. Su örneklerinin beta aktivitelerinin uluslararası sağlık örgütleri tarafından tavsiye edilen değerlerin altında olduğu gözlenmiştir. Yüksek beta aktivitesine sahip Vakıfköy' den alınan toprak örneğinin ve en yüksek beta aktivitesine sahip olan Tunçbilek kömür örneğinin, HpGe detektör kullanılarak içindeki radyonüklidlerin gamma aktiviteleri bulunmuştur. Vakıfköy toprak

örneğinde ^{235}U , ^{214}Pb , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{214}Bi ve ^{40}K radyoizotopları, Tunçbilek kömür örneğinde ise ^{235}U , ^{214}Pb , ^{134}Cs ve ^{214}Bi radyoizotopları tespit edilmiştir.

Karadeniz ve Yaprak (2008a) tarafından İzmir civarında ormanlık alanlarda yapılan bir çalışmada, ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs ' nin toprağın farklı derinliklerindeki aktivitelerine ve gamma doz değerlerine bakılmış ve bölge toprağının fiziksel ve kimyasal analizleri yapılmıştır. Aktivite hesaplamalarında ^{40}K ' in 1 460 keV piki, ^{137}Cs ' nin 661,7 keV piki, ^{238}U için ^{214}Bi ' ün 1 764 keV piki, ^{232}Th için ^{208}Tl ' in 2 615 keV piki kullanılmıştır. Ölçümler 1 332 keV gamma piki için 1,85 keV ayırma gücüne sahip % 25 bağlı verimli p-tipi koaksiyel HpGe detektör ile yapılmıştır. ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktivitelerinin toprağın farklı derinliklerinde düzgün dağılımlı olduğu bulunmuştur. ^{137}Cs aktivitesinin ise derinlikle üstel olarak azaldığı gözlenmiştir. Ayrıca ^{137}Cs ' nin % 42 - 97' sinin toprağın organik madde açısından zengin ilk 10 cm derinliğinde biriktiği bulunmuştur.

Doğu ve Güney Marmara bölgesinde Kılıç ve ark. (2008) tarafından yapılan çalışmada, yüzey toprağı örneklerinde ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{40}K ve ^{137}Cs ortalama aktiviteleri sırasıyla 21,77, 26,63, 22,45, 442,51 ve 27,46 Bq/kg bulunmuştur. Yıllık ortalama efektif doz hesaplanmıştır. Çalışmada ayrıca toprak örneklerinin pH değeri, organik madde ve karbonat içerikleri gibi fiziksel ve kimyasal özellikleri de incelenmiştir. Toprağın ^{137}Cs aktivitesi ile organik madde içeriği arasında pozitif ilişki bulunmuştur.

Taşkın ve ark. (2009) tarafından Kırklareli' de yapılan çalışmada, toprak örneklerinde ^{226}Ra , ^{238}U , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K ortalama aktiviteleri sırasıyla 37, 28, 40, 8, 667 Bq/kg olarak bulunmuştur. Çalışmada ayrıca havada soğrulan gamma doz değeri, yıllık efektif doz eşdeğeri ve radyonüklid aktivitelerinden oluşan kanser riski (ELCR) hesaplanmıştır. Ölçümler koaksiyel HpGe detektör ile yapılmıştır. Aktivite hesaplamalarında ^{40}K ' in 1 460 keV piki, ^{137}Cs ' nin 661,7 keV piki, uranyum serisi için, ^{226}Ra ' nın 186,3 keV, ^{214}Pb ' ün 351,9 keV ve ^{214}Bi ' ün 609,3 keV piki, toryum serisi için, ^{228}Ac ' in 911 keV ve ^{208}Tl ' in 583,3 keV piki kullanılmıştır. Ölçüm sonuçlarına göre çalışma alanındaki bazı bölgelerde yıllık efektif doz ve kanser riski değerlerinin dünya ortalamasına göre daha yüksek olduğu gözlenmiştir.

Kam ve ark. (2010) tarafından Tekirdağ' da yapılan çalışmada, koaksiyel HpGe detektör kullanılarak toprak örneklerinde ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs aktiviteleri sırasıyla 29, 39, 580 ve 5,2 Bq/kg bulunmuştur. Çalışmada, düşük doğal fonlu orantılı sayaç kullanılarak içme sularındaki Bq/l biriminde toplam alfa ve beta aktiviteleri, CR-39 iz detektörü kullanılarak da evlerdeki Bq/m³ biriminde ^{222}Rn aktivitesi de bulunmuştur.

Yaprak ve Aslani (2010) tarafından, tarım yapılan Büyük Menderes havzasındaki toprak örneklerinde ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktiviteleri ve bu radyonüklidlerin gamma aktivitelerinden dolayı havada soğrulan doz değerleri hesaplanmıştır. Ölçümler 3"x 3" NaI(Tl) sintilasyon detektörü kullanılarak yapılmıştır. Aktivite hesaplamalarında ^{40}K ' in 1 460 keV piki, uranyum için ^{214}Bi ' ün 1 764 keV piki, toryum için ^{208}Tl ' in 2 615 keV piki kullanılmıştır. ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ortalama aktiviteleri sırasıyla 29, 22, 464 Bq/kg olarak bulunmuştur. Ölçüm sonuçlarına göre fosfat içerikli gübre kullanılan topraklarda radyonüklid aktivitelerinde artış gözlenmiştir.

Dünyanın çeşitli bölgelerinde yapılmış konuya yönelik çalışmalar mevcuttur. Bunlardan bir kısmı aşağıda verilmiştir.

Brezilya' nın Figueira bölgesinde Flues ve ark. (2002) tarafından yapılan çalışmada, termik santral civarındaki topraklarda radyoaktivite değerlerine bakılmıştır. 32 toprak örneği, 1 ve 3 km uzaklıklarda 8 ayrı yönden ve her örnekleme noktasından 0 - 25 cm ve 25 - 50 cm olmak üzere iki farklı derinlikten alınmıştır. 20 toprak örneği ise, santralin kuzeybatı yönünde 1 km uzaklığa kadar her 100 metrede bir, yine iki farklı derinlikten alınmıştır. Bölge toprağının fiziksel ve kimyasal karakter analizleri yapılmış ve toprak karakterinin, radyonüklidlerin toprağın daha derinlerine ulaşmasını engellediği gözlenmiştir. Örneklerin gamma spektrum analizleri ^{60}Co ' in 1 332 keV gamma piki için 1,9 keV ayırma gücüne sahip, % 19,1 bağıl verimli koaksiyel germanyum detektör ile yapılmıştır. Sonuçlara göre radyonüklid konsantrasyonlarının termik santralden uzaklaştıkça azaldığı ve radyoizotopların santralden çıkan kül atıklarla yayıldığı gözlenmiştir. Ayrıca kuzeybatı yönünde 1 km uzaklığa kadar her 100 metrede bir alınan toprak örneklerinde ise, 0 - 25 cm derinlikten alınan ^{234}Th , ^{226}Ra , ^{210}Pb ve ^{40}K aktivite değerlerinin 25 - 50 cm derinlikten alınanlardan daha yüksek

olduğu bulunmuştur. 1 ve 3 km uzaklıktan alınan toprak örneklerinde iki farklı derinlikte herhangi bir fark gözlenmemiştir.

Navas ve ark. (2002) tarafından Central Spanish Pyrenees dağının eteklerinde yer alan Flysch Sector isimli bir bölgede yapılan çalışmada, topraktaki ^{238}U , ^{226}Ra , ^{210}Po , ^{232}Th , ^{40}K aktiviteleri ile toprak karakteri arasında ilişki araştırılmıştır. Bölgeden 5 cm aralıklarla 50 cm derinliğe kadar toprak örnekleri alınmıştır. ^{226}Ra , ^{210}Po , ^{232}Th , ^{40}K aktivitelerinin toprak derinliği arttıkça hemen hemen sabit kaldığı, ^{238}U aktivitesinin ise toprak derinliğiyle arttığı gözlenmiştir. Bunun sebebi uranyumun kompleks iyon formunda olup toprağın derinlerine doğru hareket etme eğiliminde olmasıyla açıklanmıştır. Ölçümler 1,86 keV ayırma gücüne sahip % 20 bağıl verimli koaksiyel HpGe detektör ile yapılmıştır. ^{238}U aktivitesi ile toprağın kil içeriği ve pH değeri arasında pozitif ilişki, organik madde içeriği arasında ise negatif ilişki, ^{226}Ra aktivitesi ile toprağın karbonat içeriği arasında negatif ilişki, ^{210}Po aktivitesi ile organik madde içeriği arasında pozitif ilişki, karbonat içeriği ve pH değeri arasında negatif ilişki, ^{232}Th aktivitesi ile karbonat içeriği arasında negatif ilişki, ^{40}K aktivitesi ile karbonat içeriği arasında negatif ilişki gözlenmiştir. Aktivite hesaplamalarında ^{40}K ' in 1 460 keV piki, ^{210}Pb ' un 47 keV piki, ^{238}U için ^{234}Th ' ün 63 keV piki, ^{226}Ra için ^{214}Pb ' ün 351,9 keV piki, ^{232}Th için ^{228}Ac ' in 911 keV piki kullanılmıştır.

Tzortzis ve Tsertos (2004) tarafından Kıbrıs' ta yapılan çalışmada, 7 farklı jeolojik bölgeye ait yüzey toprağı örneklerinde ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K aktiviteleri HpGe detektör kullanılarak hesaplanmıştır. Bulunan sonuçlar adanın ortalama aktivitesinin dünya ortalamasının altında olduğunu göstermektedir. Çalışmada ayrıca Th/U, K/U, K/Th oranları da hesaplanmış ve diğer literatür değerleriyle karşılaştırılmıştır.

Ahmed ve El-Arabi (2005) tarafından Mısır' da yapılan çalışmada, normal yüzey toprağı ile fosfat içerikli gübre kullanılan tarım toprağı karşılaştırılmıştır. Fosfatlı gübrelerin ortalama ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivitesi sırasıyla 366, 66,7 ve 4 Bq/kg, normal yüzey toprağının ortalama ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivitesi sırasıyla 11,9, 10,5 ve 1 636 Bq/kg, tarım toprağının ortalama ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivitesi sırasıyla 13,7, 12,3 ve 1 233 Bq/kg olarak bulunmuştur Ölçümler 1 332 keV gamma piki için 2 keV ayırma

gücüne sahip % 30 bağıl verimli p-tipi koaksiyel HpGe detektör ile yapılmıştır. En yüksek ^{226}Ra aktivitesi fosfatlı gübre örneklerinde ölçülmüştür.

Tufail ve ark. (2006) tarafından Faisalabad (Pakistan)' da yapılan çalışmada, tarım arazisi olarak kullanılan gübrelenmiş topraklarla, işlenmemiş topraklar arasındaki radyonüklidlerin konsantrasyon farklılıkları ortaya konulmuştur. Ölçümler 1 332 keV gamma piki için 2 keV ayırma gücüne sahip % 30 bağıl verimli HpGe detektör ile yapılmıştır. İşlenmemiş topraklarda ^{40}K aktivitesi 499 - 604 Bq/kg, ^{226}Ra aktivitesi 24 - 29 Bq/kg, ^{232}Th aktivitesi 49 - 54 Bq/kg aralığında, tarım arazisi olan topraklarda ise, ^{40}K aktivitesi 563 - 629 Bq/kg, ^{226}Ra aktivitesi 27 - 33 Bq/kg, ^{232}Th aktivitesi 46 - 62 Bq/kg aralığında bulunmuştur. Önemli derecede fark olmamasına rağmen, gübrelenmiş tarım arazisi olan toprak örneklerinin radyonüklid aktivitelerinde azda olsa artış gözlenmiştir. Bu artış, fosfat içeren gübrelere hammadde olarak kullanılan fosfatlı kayaların, uranyum, toryum ve potasyum bakımından daha zengin olmasıyla açıklanmıştır.

El-Arabi (2007) tarafından Mısır' da yapılan çalışmada, magmatik kayaların ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktiviteleri ölçülmüştür. Wadi Karim bölgesindeki granit kayaların bulunduğu bölgede ^{226}Ra aktivitesi 14-227 Bq/kg, ^{232}Th aktivitesi 10,5 - 183 Bq/kg, ^{40}K aktivitesi 2 299 - 7 356 Bq/kg aralığında, Um Taghir granit bölgesinde ise ^{226}Ra aktivitesi 2,9 - 9 087 Bq/kg, ^{232}Th aktivitesi 1,4 - 3 834 Bq/kg, ^{40}K aktivitesi 132 - 10 230 Bq/kg aralığında bulunmuştur. Ayrıca çalışmada, havada soğrulan doz oranı (ADRA), radyum eşdeğer aktivite değeri (Ra_{eq}), dış kaynaklı tehlike belirtgeni (H_{ex}) ve yıllık efektif doz eşdeğeri (AEDE) de hesaplanmıştır. Ölçümler 1 332 keV gamma piki için 1,8 keV ayırma gücüne sahip % 23 bağıl verimli HpGe detektör ile yapılmıştır. Hesaplanan değerler dünya ortalamalarının çok üzerindedir.

3. KURAMSAL TEMELLER

3.1. Radyasyonun Madde ile Etkileşmesi

Radyasyon dedeksiyonunda, radyasyonların madde ile yaptıkları etkileşmeler büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle detektörün verdiği cevabın iyi anlaşılabilmesi için radyasyonun madde ile etkileşme mekanizması ve her bir etkileşmede kaybedeceği enerji miktarı bilinmelidir. Herhangi bir parçacığın ya da radyasyonun dedeksiyonu, elektrik sinyali üreten yüklü ikincil parçacıkların oluşumuna bağlıdır. Alfa ve beta parçacıkları gibi yüklü parçacıkların dedeksiyonu, bu parçacıkların detektör materyalinin atomlarıyla Coulomb etkileşmesinin sonucudur. Etkileşme iyonizasyon ya da uyarılma şeklindedir. Bu etkileşme, uygun sayma sistemiyle sinyal olarak gözlenir. Gamma ışınlarının dedeksiyonu, gamma ışınının enerjisinin detektör materyalindeki elektronlara transfer edildiği etkileşmelere dolaylı olarak bağlıdır. Radyasyonlar, yüklü parçacık radyasyonları ve yüksüz radyasyonlar olarak iki grup altında toplanabilir (Knoll 1999).

3.2. Elektronların Madde İle Etkileşmesi

Elektronların madde ile etkileşmelerinin temel nedeni Coulomb kuvvetidir. Bir elektronun kinetik enerjisini kaybetmesi veya geliş doğrultusundan sapması dört temel etkileşme ile olur:

1. Elastik Çarpışma
2. İnelastik Çarpışma
3. Bremsstrahlung (Frenleme Işını)
4. Cherenkov Işıması

3.2.1. Elastik çarpışma

Elektronların elastik çarpışması, atomik elektronlarla ya da çekirdekle olmak üzere iki yolla olur. Atomik elektronlarla elastik çarpışmada, atomik elektronların oluşturduğu

alana giren elektron, bu alanda enerji kaybetmeksizin sadece yolundan sapar. Bu elastik çarpışma genel olarak çok düşük enerjili elektronlar için geçerlidir.

Elektronların çekirdekle elastik çarpışmasında ise, gelen elektron, radyasyon yayınlamadan veya çekirdeği uyarmadan elastik olarak çekirdekten sapar. Çekirdekten elektronların elastik saçılması, elektron ve çekirdek arasındaki büyük kütle farkı nedeniyle eV basamağında ihmal edilebilir bir enerji kaybıyla sonuçlanır. Atomik elektronlarla elastik çarpışma olasılığı Z ile, çekirdekle elastik çarpışma olasılığı Z^2 ile orantılı olarak artar (Evans 1955).

3.2.2. İnelastik çarpışma

Elektronların inelastik çarpışması ise yine atomik elektronlarla ya da çekirdekle olmak üzere iki yolla olur. Atomik elektronlarla inelastik çarpışmada, gelen elektron ortamdaki atomik elektronlarla etkileşip enerji kaybederek yolundan sapar. Çarpışma sonucunda etkileşilen atomik elektron ya bir uyarılmış duruma geçer ya da atomdan kopar. Böylece atom ya uyarılmış ya da iyonlaşmış olur. Gelen elektron, ortamda önceden inelastik çarpışmalar sonucunda meydana gelmiş elektronlar ile inelastik çarpışma yaparak da enerji kaybedebilir. Gelen elektron, etkileşilen atomik elektrona enerjisinin bir kısmını aktardığı gibi, çok zayıf bir olasılıkla enerjisinin tamamını da aktarabilir.

Çekirdekle inelastik çarpışmada ise, çekirdeğin yakınına kadar gelip yakalanmayan elektron, enerjisinin bir kısmını kaybederek yolundan sapar. Bu çarpışmada çekirdeğin uyarılma olasılığı küçüktür. Yeteri kadar yüksek enerjili elektronlar çekirdeğe kadar ulaşabilirler. Çekirdeğe ulaşabilen elektronlar büyük olasılıkla bremsstrahlung olayı sonucu enerjilerini kaybederler. Yüksek enerjilerde bu ışımaya yoluyla enerji kaybı daha baskındır (Arya 1970).

3.2.3. Bremsstrahlung (frenleme ışını)

Elektron veya pozitron gibi yüklü bir parçacık, çekirdeğin alanı içinde hareket ettiği zaman hızı değişir ve elektromanyetik dalgalar (foton) yayınlar. Bu ışımaya

Bremsstrahlung (frenleme ışını) adı verilir. Klasik elektromanyetik teoriye göre ivmeli yüklü bir parçacık

$$\frac{dE}{dt} = \frac{2 e^2 a^2}{3 c^3} \quad (3.1)$$

hızıyla elektromanyetik enerji yayınlamaktadır. Burada, a yüklü parçacığın ivmesi, c ışık hızı ve e elektron yüküdür. Işıma olayı alfa parçacıkları ve benzeri ağır yüklü parçacıklar için ihmal edilebilir (Arya 1970). Elektronlar için durdurma gücü olarak tanımlanan birim uzunluk başına kaybedilen enerji ifadesi Bethe tarafından, sırasıyla çarpışma ve ışınım için aşağıdaki gibi verilir (Krane 1987).

$$\left(\frac{dE}{dx}\right)_c = \left(\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0}\right)^2 \frac{2\pi N_A Z \rho}{m_e c^2 \beta^2 A} \left[\ln \frac{T_e (T_e + m_e c^2)^2 \beta^2}{2 I^2 m_e c^2} + (1 - \beta^2) - (2\sqrt{1 - \beta^2} - 1 + \beta^2) \ln 2 + \frac{1}{8} (1 - \sqrt{1 - \beta^2})^2 \right] \quad (3.2)$$

$$\left(\frac{dE}{dx}\right)_r = \left(\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0}\right)^2 \frac{Z^2 N_A (T_e + m_e c^2) \rho}{137 m_e^2 c^4 A} \left[4 \ln \frac{2(T_e + m_e c^2)}{m_e c^2} - \frac{4}{3} \right] \quad (3.3)$$

Burada, N_A avogadro sayısını, Z soğurucu ortamın atom numarasını, ρ ortamın yoğunluğunu, m_e elektronun kütlesini, A ortamın atom ağırlığını, T_e elektronun kinetik enerjisini, I atomik elektronların ortalama iyonlaşma enerjisini, ϵ_0 boşluğun dielektrik sabitini ve β ışık hızı biriminde elektronun hızını temsil eder. Enerji kaybının T_e ' ye ve Z ' nin karesine bağlılığı nedeniyle Bremsstrahlung, yüksek enerjili elektronların büyük atom numaralı ortamlarla etkileşmesinde önem kazanır. Işıma yoluyla enerji kaybının, çarpışma yoluyla enerji kaybına oranı yaklaşık olarak

$$\frac{(dE/dx)_r}{(dE/dx)_c} \approx \frac{T_e + m_e c^2}{m_e c^2} \frac{Z}{1600} \quad (3.4)$$

bağıntısıyla verilir (Krane 1987).

3.2.4. Cherenkov ışıması

Yüklü bir parçacık, dielektrik ortamda, ışığın faz hızından daha büyük hızla hareket ettiğinde görünür bölgede çok zayıf elektromanyetik radyasyon yayınlar (Evans 1955). Bu olay Cherenkov tarafından 1934' te gözlemlendiğinden aynı isimle anılır. Cherenkov ışıması Bremsstrahlung ışımasından farklı olarak, maddenin atom numarasına ya da yüklü parçacığın kütlesine bağımlı değildir. Yüksek enerjilerde meydana gelen bir olaydır. Cherenkov ışıması yoluyla meydana gelen enerji kaybı, ışıma yoluyla meydana gelen enerji kaybı yanında ihmal edilebilir (Arya 1970).

3.3. Gamma Işınlınının Madde İle Etkileşmesi

X-ışını ve γ -ışını elektromanyetik radyasyondur. Elektromanyetik radyasyonlar, ışık hızıyla hareket eden, durgun kütleleri sıfır, enerji ve momentum taşıyan foton denilen parçacıklardır. X ve γ -ışınlarının tüm özellikleri aynı olup, yalnızca oluşma mekanizmaları farklıdır. γ -ışınları nükleer geçişlere eşlik eden fotonlardır. Bremsstrahlung veya sürekli X-ışınları, ivmelenen elektronların veya diğer yüklü parçacıkların oluşturduğu fotonlardır. Karakteristik X-ışınları ise atomik elektron kabukları arasındaki geçişler sırasında yayınlanan fotonlardır. Tüm fotonlar enerjilerine bağlı olarak, madde ile aynı etkileşmeleri yaparlar.

Fotonlar madde ile üç temel etkileşme yapabilirler.

1. Fotoelektrik Olay
2. Compton Saçılması (inelastik saçılma)
3. Çift Oluşumu

Fotonlar bu üç temel etkileşme dışında, elastik saçılma olarak adlandırılan Rayleigh saçılması da yapabilirler. Bu saçılma sonucunda foton ortama enerji aktarmaz. Bu nedenle detektörde sinyal üretimine katkısı yoktur. Bu etkileşme gamma ışını demetinin zayıflamasına neden olabilir. Rayleigh saçılması çoğunlukla düşük enerjili gammalarda ve ortamın atom numarası Z' nin büyük olduğu etkileşmelerde etkindir. Fotonlar bu

etkileşmeler dışında farklı etkileşmelerde yapabilirler. Bu etkileşmelerin meydana gelme olasılığı çok düşük olduğundan burada üç temel etkileşme dışındaki etkileşmeler yok sayılacaktır (Arya 1970).

3.3.1. Fotoelektrik olay

Belli bir enerjiyle (E_γ) gelen foton, atomik elektronlar tarafından soğrulur. Bu etkileşme sonucunda elektron yörüngesinden koparılır. Soğrulan fotonun enerjisinin atomik elektronun bağlanma enerjisine (E_b) eşit kısmı, elektrona serbest hale getirmek için kullanılır. Geriye kalan enerjide, serbest elektrona kinetik enerji (T_e) olarak aktarılır. Bu olay sonucu yayınlanan elektrona fotoelektron denir. Fotoelektronlar, gelen fotonun elektrik alan vektörü yönünde yayınlanır. Momentum korunumu gereği atom, geri tepme enerjisine sahip olmalıdır. Bu enerji çok küçük olduğundan dolayı ihmal edilebilir. Elektronun kinetik enerjisi

$$T_e = E_\gamma - E_b \quad (3.5)$$

ifadesi ile verilir. Uyarılmış durumda kalan atomdaki sökülen elektronunun yeri, üst tabakadan başka bir elektron tarafından doldurulurken, seviyeler arası enerji farkıyla orantılı karakteristik X-ışınları yayınlanır.

Uyarılmış durumdaki atom, X-ışını yayınlamak yerine, enerjisini düşük enerjili kabukta bulunan elektrona vererek onu serbest hale getirebilir. Bu şekilde oluşan elektronlara Auger elektronları denir.

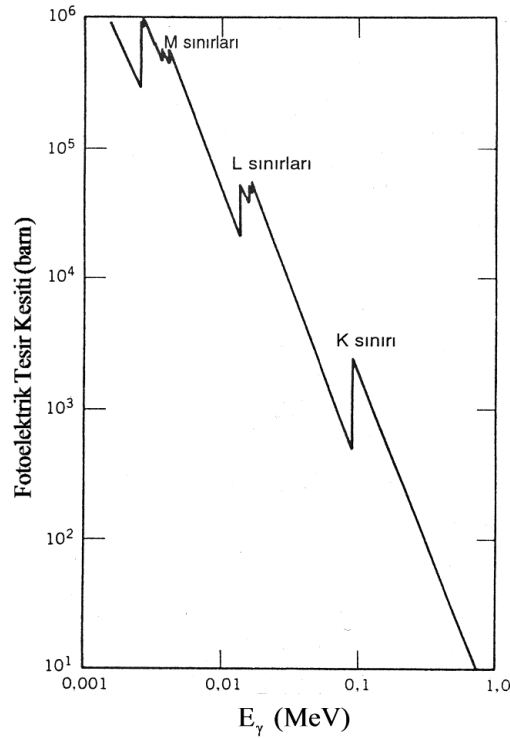
Fotoelektrik olayın τ tesir kesiti, soğurucunun Z atom numarasının ve fotonun E_γ enerjisinin fonksiyonudur.

$$\tau \propto \frac{Z^n}{E_\gamma^{3,5}} \quad (3.6)$$

n derecesi, gelen fotonun enerjisine bağlı olarak 4 ve 5 arasında değişir. Fotoelektrik olay, düşük enerjili gammalarda ve yüksek Z atom numaralı soğurucu materyallerde

daha baskındır. Bu nedenle ideal bir detektör materyalinin atom numarası büyük olmalıdır (Knoll 1999).

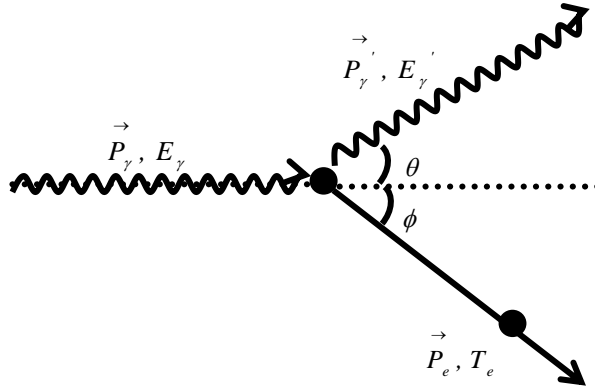
Kurşunun fotoelektrik tesir kesitinin gamma enerjisine bağlı değişimi Şekil 3.1’ de görülmektedir. Farklı tabakalarda yer alan elektronların bağlanma enerjilerine karşılık gelen değerlerde süreksizlikler vardır.



Şekil 3.1. Kurşunun fotoelektrik tesir kesitinin gamma enerjisine bağlı değişimi (Krane 1987)

3.3.2. Compton saçılması

Fotonlar serbest veya zayıf bağlı atomik elektronlardan enerji kaybederek saçılırlar. Foton enerjisinin bir kısmını elektrona aktarır. Daha düşük enerjili foton ve kinetik enerji kazanan elektron farklı doğrultularda saçılır. Compton saçılmasının şematik gösterimi Şekil 3.2’ de verilmiştir. Saçılmada, gelen fotonun enerjisi ile kıyaslandığında, atomik elektronların bağlanma enerjileri ihmal edilebilir.



Şekil 3.2. Compton saçılmasının şematik gösterimi

E_γ enerjisi ile gelen fotonun m_e kütleli elektronla etkileşmesi sonucu, foton daha düşük E'_γ enerjisiyle ve gelen fotonun geliş doğrultusuyla θ açısı yapacak şekilde, elektron ise T_e enerjisiyle ve gelen fotonun geliş doğrultusuyla ϕ açısı yapacak şekilde saçılırlar. Momentum ve enerji korunumundan, gelen fotonun enerjisine ve saçılan fotonun θ açısına bağlı olarak, saçılan fotonun enerjisi,

$$E'_\gamma = \frac{E_\gamma}{1 + \frac{E_\gamma}{m_e c^2} (1 - \cos \theta)} \quad (3.7)$$

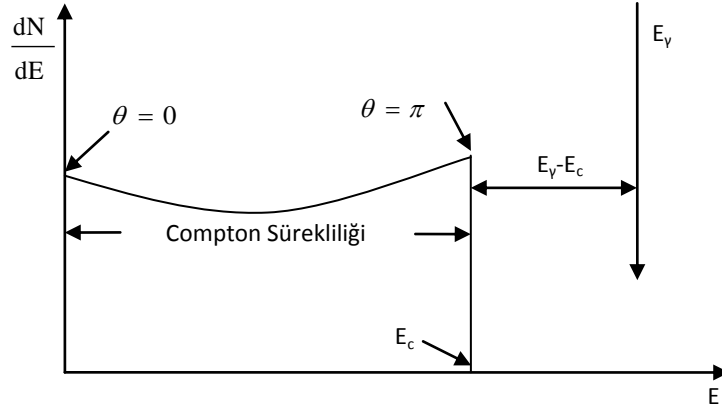
ifadesi ile, saçılan elektronun kinetik enerjisi ise,

$$E_e = \frac{E_\gamma}{1 + \frac{m_e c^2}{E_\gamma} (1 - \cos \theta)} \quad (3.8)$$

ifadesi ile verilir. Bu denklemden saçılan elektronun çarpışmadan sonra alabileceği enerji değeri θ açısına bağlı olarak belirlenir. Saçılma açısı $\theta = \pi$ olduğunda elektron maksimum enerjilidir. Bu durumda saçılmış fotonun enerjisi minimumdur. Elektronu aktarılan maksimum enerji

$$E_c = \frac{E_\gamma}{1 + \frac{m_e c^2}{2E_\gamma}} \quad (3.9)$$

olup E_c , Compton sınırı olarak adlandırılır. E_γ enerjili bir foton için, elektron enerji dağılımının genel biçimi Şekil 3.3' teki gibidir.



Şekil 3.3. Ortama giren E_γ enerjili bir foton için, elektron enerji dağılımının genel biçimi (Knoll 1999)

Fotonların serbest elektronlarla yapacağı Compton saçılması için diferansiyel tesir kesiti, *Klein-Nishina* formülüyle verilir (Knoll 1999).

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = r_0^2 \left[\frac{1}{1 + k(1 - \cos \theta)} \right]^2 \left[\frac{1 + \cos^2 \theta}{2} \right] \left[1 + \frac{k^2 (1 - \cos \theta)^2}{(1 + \cos^2 \theta)[1 + k(1 - \cos \theta)]} \right] \quad (3.10)$$

Burada $k(= E_\gamma / m_e c^2)$ elektronun durgun enerjisi cinsinden foton enerjisi, r_0 klasik elektron yarıçapı, $d\Omega (= 2\pi \sin \theta d\theta)$ ise birim katı açıdır.

Elektron başına toplam Compton saçılma tesir kesiti, *Klein-Nishina* diferansiyel tesir kesitinin tüm yönelişler üzerinden integrali alınarak bulunur.

$$\sigma_c^e = \int_0^\pi \frac{d\sigma(\theta)}{d\Omega} 2\pi \sin \theta d\theta \quad (3.11)$$

$$\sigma_c^e = 2\pi r_o^2 \left\{ \frac{1+k}{k^2} \left[\frac{2(1+k)}{1+2k} - \frac{\ln(1+2k)}{k} \right] + \frac{\ln(1+2k)}{2k} - \frac{1+3k}{(1+2k)^2} \right\} \left(\frac{cm^2}{elektron} \right) \quad (3.12)$$

Atom başına toplam Compton saçılma tesir kesiti ise elektron başına tesir kesiti cinsinden

$$\sigma = Z\sigma_c^e \quad (3.13)$$

ifadesi ile verilir. Bu ifade Compton saçılması meydana gelme olasılığının, gelen fotonun etkileştiği ortamın atom sayısına bağlı olduğunu göstermesine rağmen, Compton saçılması için zayıflama katsayısı dikkate alındığında, gerçekte A/Z oranının hemen hemen sabit olması nedeniyle, atom sayısından bağımsızdır. Bununla birlikte Compton saçılma olasılığı, ortamın yoğunluğuna bağlıdır (Gilmore 2008).

3.3.3. Çift oluşumu

Çift oluşumu, çoğunlukla çekirdek alanında bir fotonun elektron pozitron çiftine dönüşmesidir. Çift oluşumu için eşik enerjisi, elektron ve pozitronun durgun kütlelerinin toplamı olan $E = 2m_e c^2 = 1,022 \text{ MeV}$ ' dir. Enerji korunumuna göre fotonun enerjisi

$$E_\gamma = 2m_e c^2 + E_{+} + E_{-} + E_{çek} \quad (3.14)$$

ile verilir. Burada E_{+} , pozitrona aktarılan kinetik enerji, E_{-} , elektrona aktarılan kinetik enerji, $E_{çek}$ ise çekirdeğin geri tepme enerjisidir. Çekirdeğin geri tepme enerjisi, diğer terimlerle karşılaştırıldığında ihmal edilebilir düzeydedir.

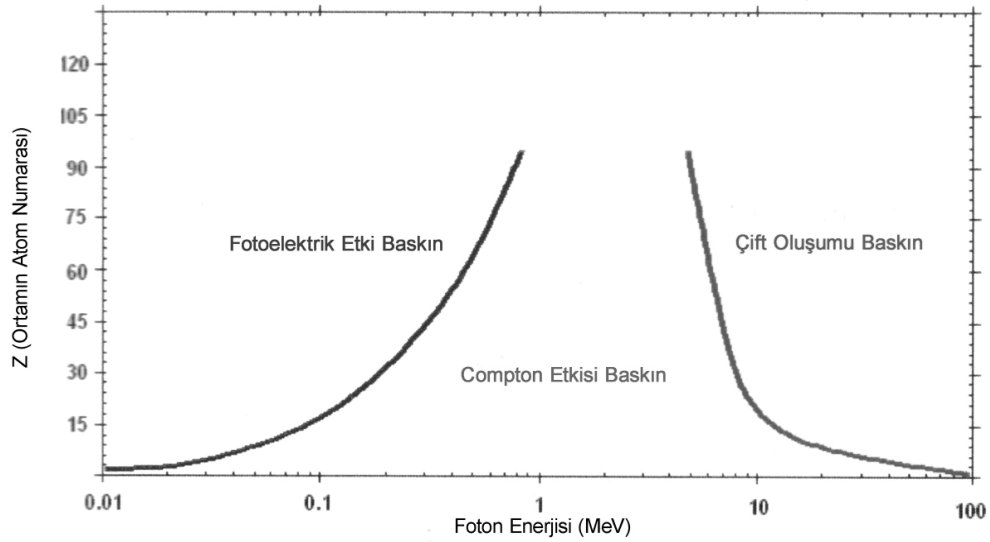
Elektron-pozitron çifti oluşumu, elektron alanında da meydana gelebilir. Bu durumda eşik enerjisi $E = 4m_e c^2 = 2,044 \text{ MeV}$ ' dir.

Çift oluşum olayı sonucu meydana gelen elektron-pozitron çifti, sahip oldukları kinetik enerjilerini ortamda yaptıkları çarpışmalar sonucu kaybederler. Pozitron yavaşladıktan sonra ortamdaki elektronlarla etkileşerek pozitronyum atomu denen yapı oluşturur. Bu atom, her birinin enerjisi 0,511 MeV olan zıt yönlü iki foton yayımlayarak yok olur.

Etkileşmenin tesir kesiti κ , E_γ ve Z 'ye bağlı olarak

$$\kappa \propto Z^2 f(E_\gamma, Z) \quad (3.15)$$

ifadesi ile verilebilir. Çift oluşumu 5 MeV' in üstündeki foton enerjilerinde ve Z^2 'ye bağlı olarak diğer etkileşmelere göre baskın hale gelmektedir (Gilmore 2008). Ortamın atom numarasına ve fotonun enerjisine bağlı olarak fotonların maddeyle yaptığı etkileşmelerin baskın olduğu bölgeler Şekil 3.4' te verilmiştir.



Şekil 3.4. Fotonların maddeyle yaptığı etkileşmelerin baskın olduğu bölgeler (Knoll 1999)

3.3.4. Toplam zayıflama katsayısı

Gammaların maddeyle etkileşmesinde, Rayleigh saçılmasının tesir kesiti σ_{RS} olmak üzere, toplam tesir kesiti

$$\sigma_T = \tau + \sigma + \kappa + \sigma_{RS} \quad (3.16)$$

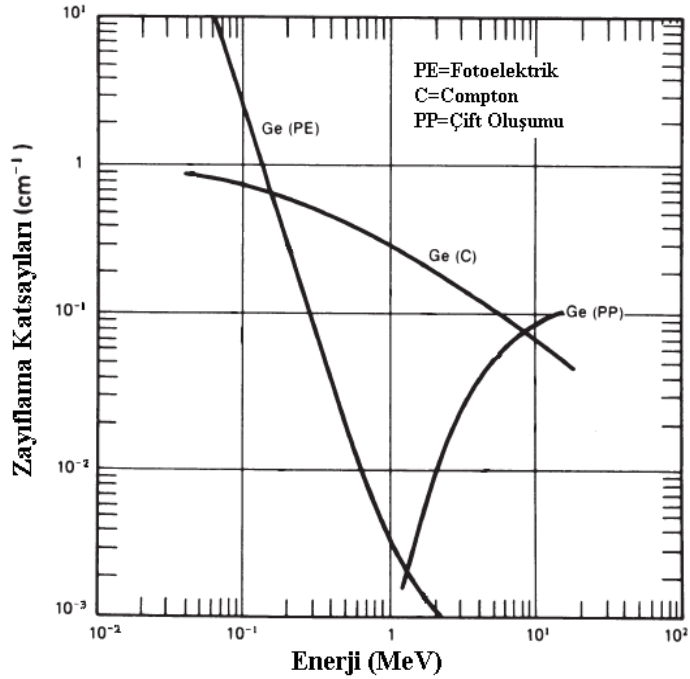
ile, toplam zayıflama katsayısı ise,

$$\mu_T = (\rho N_A / A)(\tau + \sigma + \kappa + \sigma_{RS}) \quad (3.17)$$

ile verilir. Burada ρ , ortamın yoğunluğu, N_A avogadro sayısı, A ise atom ağırlığıdır. Ortamın yoğunluğuna bağılılığı kaldırmak için, μ_T / ρ oranı kütle zayıflama katsayısı (μ_m) olarak tanımlanır ve

$$\mu_m = \mu_T / \rho = (N_A / A)(\tau + \sigma + \kappa + \sigma_{RS}) \quad (3.18)$$

ifadesi ile verilir. Germanyum ortamında zayıflama katsayılarının gamma enerjisine bağılı değişimleri Şekil 3.5' te verilmiştir.

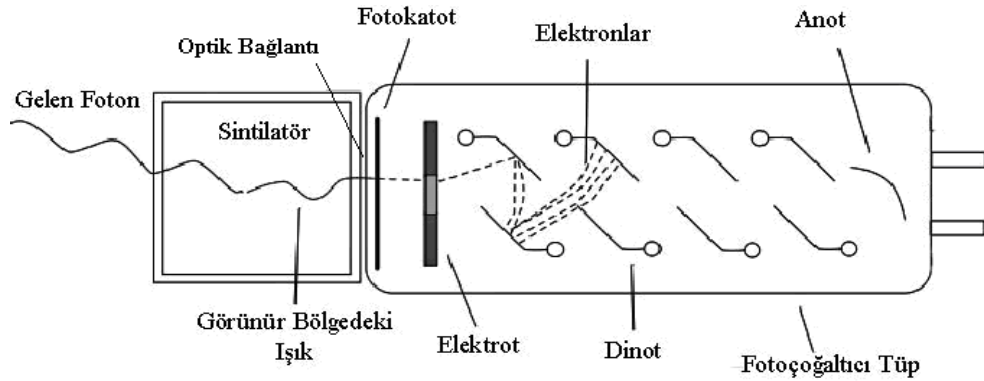


Şekil 3.5. Germanyum ortamında zayıflama katsayılarının gamma enerjisine bağılı değişimleri (<http://www.ortec-online.com/Solutions/RadiationDetectors/semiconductor-photon-detectors.aspx>, 2011)

3. 4. Sintilasyon Sayaçları

Sintilasyon sayaçlarında gamma etkileşmesi sonucu meydana gelen birincil elektronlar, valans bandındaki elektronları uyararak iletim bandına geçişini sağlarlar. İletim bandına geçen ikincil elektronlar valans bandına geri dönerken görünür bölgede veya görünür bölgeye yakın ışık yayınlamaya enerji kaybederler. Bu tür maddelere sintilatör, ışık yayınlama olayına sintilasyon (ışıldama) adı verilir.

Bir sintilasyon dedektörünün şematik gösterimi Şekil 3.6’ da verilmiştir. Detektörde bir sintilatörle “fotoçoğaltıcı tüp”, saydam “optik bağlantı” kullanarak doğrudan temas edecek şekilde yerleştirilmiştir. Optik bağlantıyla sintilatörde oluşan ışığın kaçması engellenir. Fotoçoğaltıcı tüp, bir fotokatot ve gerilim kaynağına bağlı bir dizi “dinot” denen elektrottan oluşur. Sintilatörde oluşan ışık, optik bağlantı aracılığıyla fotokatota çarparak fotoelektron yayınlanmasına neden olur. Yayınlanan elektronlar fotokatot üzerine düşen ışık şiddetiyle, dolayısıyla gelen radyasyonun sintilatörde kaybettiği enerjiyle orantılıdır. Fotokatottan yayınlanan az sayıda elektron, dinotlarla çoğaltılır. Çoğaltılan elektronlar toplayıcı elektrot olan anotta toplanır. Böylece bir gerilim pulsu üretilmiş olur. Bu puls, bir önyükselticide (preamplifier) yükseltildikten sonra yükselticiye gelir. Burada pulsun boyu daha da yükseltilip, bir diskriminatörden (ayırıcı) geçerek sayıcıya ulaşır. Her bir diskriminatör yalnız belirli enerji aralığındaki pulsları geçirir.



Şekil 3.6. Bir sintilasyon dedektörünün şematik görünümü

Sintilasyon oluşumunda, foton yayınlama olasılığını artırmak ve ışığın soğrulmasını azaltmak için sintilatöre aktivatör denilen küçük miktarlarda safsızlıklar ilave edilir. Aktivatör, sintilatörün enerji aralığında ilave enerji durumları meydana getirir. Örneğin NaI(Tl) sintilatöründe kristal örgüsü içine, Talyum (Tl) iyonları aktivatör olarak yerleştirilir.

3. 5. Yarıiletken Detektörler

Yarıiletkenlerin detektör olarak kullanımı serbest yük taşıyıcısı olan elektron-deşik çifti üretimine ve elektrik alan uygulanması ile serbest yüklerin toplanmasına bağlıdır. Yeterli yük toplanması, kullanılan yarıiletken materyalin özellikleri ile belirlenir. Bu özellik katıların bant teorisi ile açıklanabilir. Yarıiletken materyallerin valans bandı elektronlarla dolu olup, iletkenlik özelliklerini, valans bandından iletkenlik bandına geçiş yapan elektronların sayısı belirler. Yapısal özellikleri nedeniyle yarıiletken detektörlerde en çok kullanılan Silisyum (Si) ve Germanyum (Ge) yarı iletken elementleridir (Gilmore 2008).

Valans bandından iletkenlik bandına elektron geçişi, valans bandında bir elektron boşluğu ya da deşik oluşturur. Bu boşluk komşu elektronlardan biriyle doldurulur. Böylece deşikler kristal içinde hareket ediyormuş gibi görünürler. İletkenlik bandındaki elektronlar ve valans bandındaki deşiklerin her ikisi de yarıiletkenin elektriksel iletkenliğine katkıda bulunup taşıyıcılar olarak adlandırılır. Uygulanan elektrik alan ile elektron ve deşikler hızlandırılır.

Germanyum ve Silisyum, 4 değerlikli atomların komşu atomlarla dört kovalent bağ oluşturdukları elmas kristal yapısındadır. Yarıiletkenlerde katkı maddeleri ya da safsızlıklar elektrik iletimini kontrol etmek için ilave edilirler. Safsızlık olarak ilave edilen fosfor(P), arsenik(As), antimon(Sb) gibi örgü içine giren 5 değerlikli atomlarda, elektronlardan dördü komşu Si veya Ge ile kovalent bağ yapar. Beşinci elektron örgü içinde hareket ederek verici safsızlık oluşturur. Kristal, iletkenlik bandındaki elektron aracılığı ile elektriği iletir. Böyle bir kristale negatif yük taşıyıcısı olması nedeniyle n-tipi yarıiletken denir. Benzer biçimde bor(B), alüminyum(Al), galyum(Ga), indiyum(In)

gibi 3 değerlikli atomlarda, valans bandında deşik fazlalığı ortaya çıkar. Bu durumda yük taşıyıcıları pozitif yüklü deşikler olup alıcı safsızlıklar oluşturur. Bu tip kristallere ise p-tipi yarıiletken denir. Kristalin kendisi nötr olmakla birlikte, p-tipi ve n-tipi tanımları, elektrik akımını oluşturan yük taşıyıcılarının işaretlerini temsil etmektedir (Kittel 1996).

Yarıiletken detektörlerde p-n eklemi, tek kristalde iki farklı bölge oluşturularak elde edilir. Kristalin bir bölgesi verici safsızlıklarla katkılandırılarak negatif yük taşıyıcılarının çoğunlukta olduğu n bölgesi oluşturulur. Kristalin diğer bölgesi ise alıcı safsızlıklarla katkılandırılıp deşik türü yük taşıyıcılarının çoğunlukta olduğu p bölgesi meydana getirilir. Yük taşıyıcılarının eklem yakınında nötr hale geldikleri bölgeye tüketim bölgesi adı verilir. Radyasyon bu bölgeye girdiğinde elektron-deşik çiftleri oluşur. Elektronlar p-tipi tabakaya, deşikler ise n-tipi tabakaya doğru hareket ederler. Bu olay potansiyel düşmesine neden olur. Biriken elektronların toplam sayısı, radyasyonun enerjisi ile orantılı olan elektronik bir puls oluşturur. Yarıiletken detektörlere ters yönde gerilim uygulandığında tüketim bölgesinin boyutları artırılır. Dolayısıyla bu bölgedeki yük birikimi daha verimli hale gelir (Kittel 1996, Gilmore 2008).

3. 6. HpGe Detektörleri

Herhangi bir örnekteki radyonüklidlerin yayınladığı gammaları enerjilerine ayırarak algılama esasına dayanan gamma spektroskopisi, radyonüklid kimliklerinin ve aktivitelerinin belirlenmesinde birçok tekniğe göre, tahribatsız, basit, hızlı ve pratik bir radyometrik tekniktir (Yaprak 1995).

Son yıllarda Ge kristalinin saflaştırma tekniklerindeki ilerlemeler neticesinde, geniş hacimli, intrinsik germanyum detektörleri olarak da isimlendirilen, yüksek saflıkta Ge detektörleri (HpGe) gamma ışını dedeksiyonunda elverişli hale getirilmiştir.

Yarıiletken bir detektörde duyar bölgenin kalınlığı aşağıdaki ifade ile verilir.

$$d = \left(\frac{2 \varepsilon V}{eN_{DA}} \right)^{1/2} \quad (3.19)$$

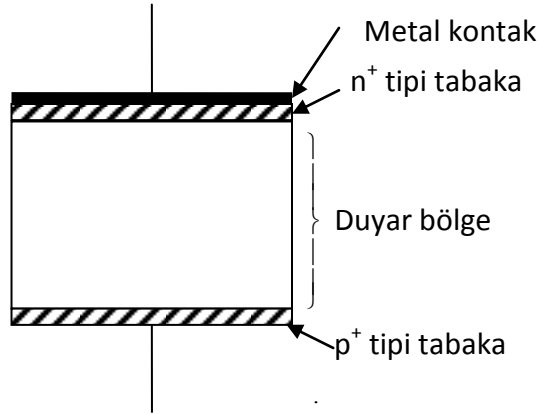
Burada V , uygulanan ters gerilim, N_{DA} , yarıiletken materyaldeki safsızlık yoğunluğu, ε ise dielektrik sabitidir. İfadeden görüldüğü gibi gerilim ile safsızlık yoğunluğu ters ilişkilidir. Sabit bir ters gerilim altında, düşük değerli safsızlık yoğunluğu, daha geniş hacimli duyar bölgenin oluşumuna imkan verir. Saflaştırma tekniklerindeki gelişmeler sayesinde yüksek saflıkta, geniş duyar hacimli yarıiletken detektörler üretilebilmektedir (Knoll 1999).

Çizelge 3.1’ de gamma dedeksiyonunda kullanılan bazı materyallerin özellikleri verilmiştir. Görüldüğü gibi bir germanyum kristalinde valans bandı ile iletkenlik bandı arasındaki enerji aralığı (E_g) 77 °K’ lik sıvı azot sıcaklığında 0,67 eV olup, elektron-deşik çifti oluşturmak için gerekli ortalama enerji (\bar{E}) ise 2,96 eV’ dur.

Çizelge 3.1. Gamma detektörleri için uygun bazı materyallerin özellikleri (ölçümler 77° K de yapılmıştır) (Gilmore 2008)

Materyal	Atom Numarası	E_g (eV)	\bar{E} (eV)	Yoğunluk (g/cm ³)	Mobilite (cm ² /V.s)	
					Elektron	Deşik
Si	14	1,106	3,62	2,33	1350	480
Ge	32	0,67	2,96	5,32	3,6x10 ⁴	4,2x10 ⁴
CdTe	48, 52	1,47	4,43	6,06	1000	80
CdZnTe	48, 30, 52	1,57	4,64	5,78	1000	50-80
HgI ₂	80, 53	2,13	4,22	6,30	100	4
GaAs	31, 33	1,45	4,51	5,35	8000	400
TlBr	81, 35	2,68	---	7,56	---	---
PbI ₂	82, 53	2,6	7,68	6,16	8	2
GaSe	31, 34	2,03	6,3	4,55	---	---
AlSb	13, 51	1,62	5,05	4,26	---	---
CdSe	48, 34	1,75	---	5,74	---	---

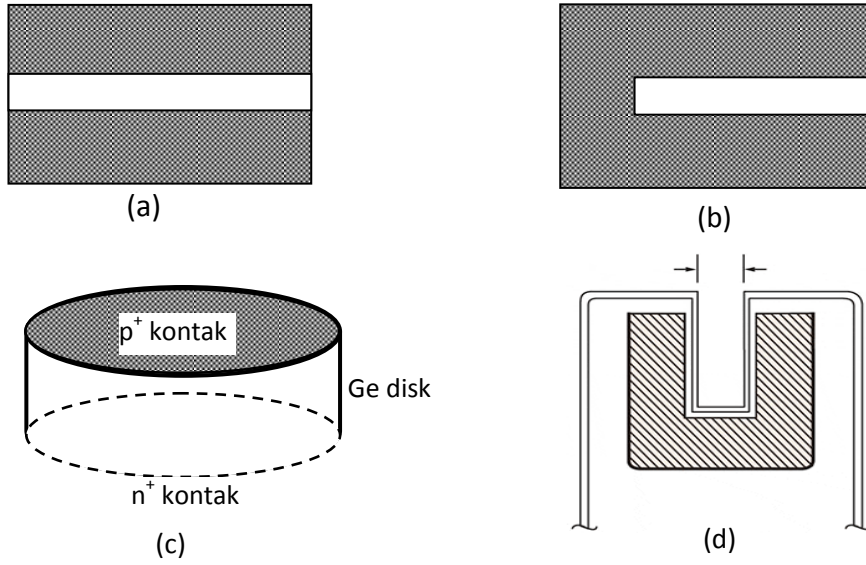
Şekil 3.7’ de yüksek saflıkta p-tipi germanyum detektörün şematik gösterimi verilmiştir. p- tipi germanyum kristalinin yüzeyinde n^+ tipi tabaka oluşturulup, ters besleme altında p-tipi materyal boyunca duyar bölge oluşturulmuştur. Gürültü düzeyini düşük tutmak için sadece kullanıldıkları süre içinde ≈ 77 °K’ lik sıvı azot sıcaklığında tutulurlar (Gilmore 2008).



Şekil 3.7. Yarıiletken detektörün basit yapısı (Leo 1987)

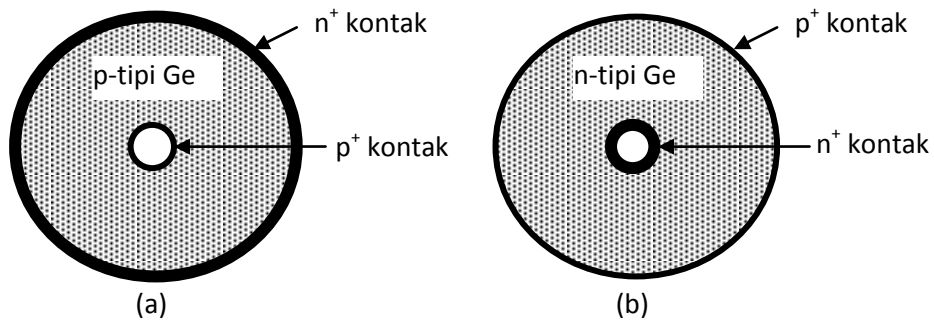
HpGe detektörlerinin yüksek ayırma güçleri ve giderek artan yüksek verimleri nedeniyle, özellikle düşük seviyeli aktivite ölçümlerinde kullanımı yaygınlaşmıştır. Günümüzde en çok tercih edilen koaksiyel geometrili kristallerden oluşan HpGe detektörlerdir. HpGe detektörler kullanım amacına göre tam koaksiyel, kapalı uçlu koaksiyel veya düzlemsel (planar) olarak tasarlanabilirler. Bu detektör konfigürasyonları Şekil 3.8’ de verilmiştir. Düzlemsel detektörlerde duyar hacim 10-30 cm^3 civarında olabilmektedir. Koaksiyel geometrinin avantajı, daha büyük enerjili gammaların spektrometresinde ihtiyaç duyulan çok daha geniş aktif hacme imkan sağlamasıdır. Bu geometrideki detektörler kuyu tipi olarak da üretilirler. Örneğin bu kuyu içine yerleştirilmesiyle örnek neredeyse tamamen kristal tarafından sarılmış olup hemen hemen 4π geometride sayılması mümkün hale gelmiş olur. Bunun sonucunda sayma verimi artmaktadır (Leo 1987).

Çoğu ticari detektör üreticileri, ön yüzdeki sızıntı akımlarından kaynaklanan komplikasyonlardan kaçınmak amacıyla, kapalı uçlu koaksiyel detektör geometrisini tam koaksiyel geometriye tercih etmektedir (Knoll 1999).



Şekil 3.8. (a) Tam koaksiyel detektör (b) Kapalı uçlu koaksiyel detektör (c) Planar detektör (d) Kuyu tipi detektör

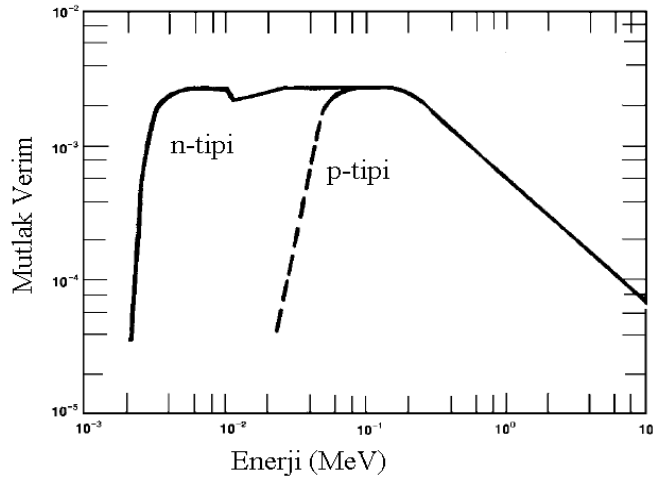
Şekil 3.9' dan görüldüğü gibi p-tipi koaksiyel germanyum detektörlerinde dış kontak n^+ tipinde, n-tipi koaksiyel germanyum detektörlerde ise dış kontak p^+ tipindedir. n^+ tipi kontak yada elektrot genellikle lityumun yüzeyde tabaka şeklinde yayılmasıyla (diffused), p^+ tipi kontak ise, bor iyonlarının yüzeye implantasyonu ile (implanted) oluşturulur. Tipik olarak p^+ tipi kontak $0,3 \mu\text{m}$ kalınlığında, n^+ tipi kontak ise $0,5 \text{ mm}$ kalınlığında olmaktadır (<http://www.canberra.com/products/486.asp>, 2011).



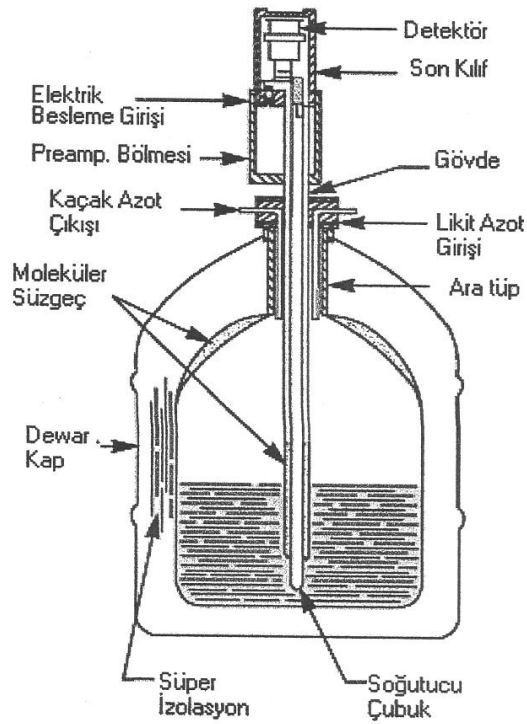
Şekil 3.9. (a) p-tipi koaksiyel germanyum detektör (b) n-tipi koaksiyel germanyum detektör

Bununla birlikte p-tipi materyallerde dış kontakın daha kalın, n-tipi materyallerde ise daha ince olması, bu tip detektörler arasında düşük gamma enerjilerinin dedeksiyonunda

verim farklılığına neden olmaktadır. Dış kontağın n-tipi detektörlerde ince olması, bu detektörleri 150 keV' in altındaki düşük enerjili gammalara karşı daha duyarlı hale getirmektedir (Knoll 1999). Bu durum Şekil 3.10' dan açıkça görülmektedir. Şekil 3.11' de ise tipik bir germanyum detektörünün genel yapısı verilmiştir.



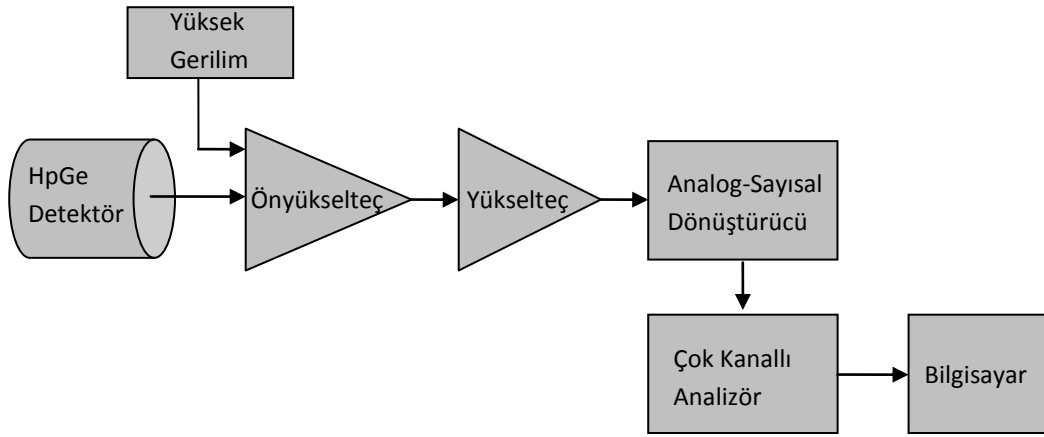
Şekil 3.10. n-tipi ve p-tipi koaksiyel germanyum detektörünün gelen gamma enerjisine bağlı mutlak verim değişimi ([http://www.ortec-online.com/Solutions/Radiation Detectors/semiconductor-photon-detectors.aspx](http://www.ortec-online.com/Solutions/Radiation%20Detectors/semiconductor-photon-detectors.aspx), 2011)



Şekil 3.11. Tipik bir germanyum detektörünün genel yapısı (Gültekin 2004)

3.7. Gamma Spektrometresinde Fotopik Net Sayımının Belirlenmesi

Yüksek çözünürlükte HpGe detektörlü gamma spektrometresinde, detektör kristaline ulaşan gamma ışınlarının enerjileriyle orantılı olarak pulslar oluşur. Bu pulslar bir önyükselteç ve ana yükselteçte işlendikten sonra elde edilen sinyal analog sayısal dönüştürücüsünde (ADC) sayısal hale getirilir. Çok kanallı analizör (MCA) ise bu sinyallerin spektrum olarak işlendiği sistemdir. Bu sayma sisteminin blok diyagramı Şekil 3.12’ de verilmiştir



Şekil 3.12. HpGe detektörlü sayma sisteminin blok diyagramı

Bir gamma spektrometresinde amaç, enerji soğrulmasına karşılık gelen puls yükseklik spektrumundaki fotopiklerin analizidir. Detektörden gelen sinyallerin işlenmesiyle elde edilen gamma spektrumlarında gözlenen fotopiklerin her birinin altında kalan net alan, detektörün verimine bağlı olarak, tüm enerjisini detektöre aktaran gammaların sayısını verir.

Bir fotopikteki toplam sayma N , fotopiki oluşturan kanallardaki her bir saymanın toplanmasıyla elde edilir.

$$N = \sum_{i=k}^m y_i \quad (3.20)$$

Burada y_i , herhangi bir i -inci kanaldaki saymayı, k ve m ise fotopikin sol ve sağ uçlarındaki kanal numarasını göstermektedir.

Net sayma N_{net} , toplam sayma N den ilgilenilen kanallar arasındaki Compton saçılmaları nedeniyle oluşan sürekliliğin (C_{PT}) çıkarılmasıyla hesaplanır.

$$N_{net} = N - C_{PT} \quad (3.21)$$

Compton sürekliliğinin hesabında çeşitli yaklaşımlar kullanılabilir. Bu yaklaşımlardan en yaygın olanı doğrusal ya da basamak azalımı şeklindeki sürekli fonksiyon kullanılarak yapılandır.

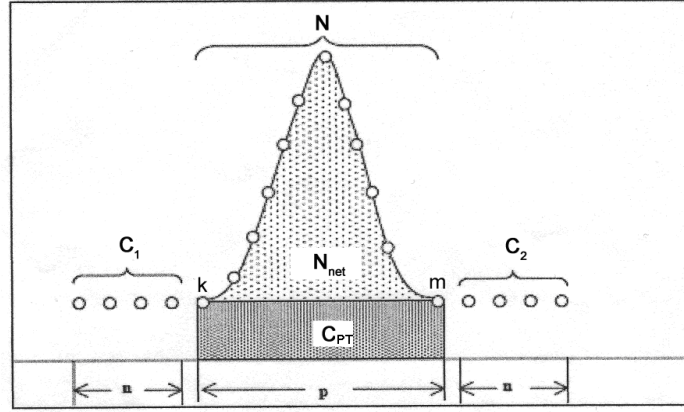
3.7.1. Doğrusal fonksiyon kullanılarak Compton sürekliliğinin belirlenmesi

Fotopikin altındaki Compton platosunda eğimlenme yoksa, genellikle doğrusal fonksiyon tercih edilir. Compton sürekliliği olan C_{PT} , yamuk alanından aşağıdaki ifade ile hesaplanır.

$$C_{PT} = \left(\frac{p}{2n} \right) (C_1 + C_2) \quad (3.22)$$

Burada p , ilgilenilen fotopik arasında kalan kanal sayısı, n , fotopikin sağında ve solundaki Compton sürekliliği kanallarının sayısı, C_1 , fotopikin solundaki, C_2 ise fotopikin sağındaki süreklilik bölgesindeki toplam saymalardır (Yücel 2008).

Şekil 3.13' te doğrusal fonksiyon kullanılarak Compton sürekliliğinin belirlenmesi gösterilmektedir.



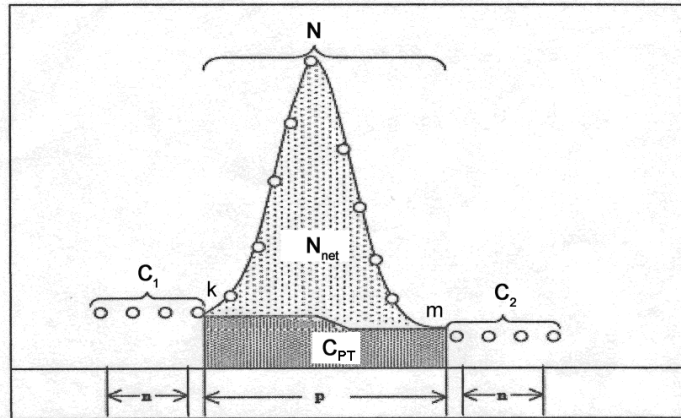
Şekil 3.13. Doğrusal fonksiyon kullanılarak Compton sürekliliğinin belirlenmesi

3.7.2. Basamak fonksiyonu kullanılarak Compton sürekliliğinin belirlenmesi

Fotopikin sol tarafında bulunan Compton sürekliliğindeki saymalar, sağ tarafındakilerden fazla ise (Compton platosunda eğimlenme varsa) basamak fonksiyonu tercih edilir. Buna göre Compton sürekliliği

$$C_{PT} = \sum_{i=k}^p \left(\frac{pC_1}{n} + \frac{C_2 - C_1}{nN} \sum_{j=k}^i y_j \right) \quad (3.23)$$

ifadesi ile bulunur (Yücel 2008). Şekil 3.14' te basamak fonksiyonu kullanılarak Compton sürekliliğinin belirlenmesi gösterilmektedir.



Şekil 3.14. Basamak fonksiyonu kullanılarak Compton sürekliliğinin belirlenmesi

3.7.3. Ortamdaki doğal fonun fotopik saymalarından çıkarılması

Detektörde kaynak yokken, sayma sisteminin bulunduğu ortamda var olan doğal fon spektrumunu ölçülmelidir. Doğal fon spektrumundan ilgilenilen fotopik için, doğal fon alanı (N_B) belirlenmelidir. Gerçek net saymanın bulunabilmesi için, bu değer kaynak spektrumunda ilgilenilen enerjide elde edilen fotopik alanından çıkarılmalıdır.

$$N_{net} = N - C_{PT} - N_B \quad (3.24)$$

3.8. Detektör Verimi

Gamma spektrometresinde toplam verim, gelen gammaların detektör ortamındaki sayılma olasılığı olup, detektör geometrisinin fonksiyonudur. Toplam verim, detektörde sayılan gammaların (N_d), kaynaktan yayınlanan gamma sayısına (N_s) oranıdır ve

$$\varepsilon_t = \frac{N_d}{N_s} \quad (3.25)$$

ifadesi ile verilmektedir. Gamma spektrum analizlerinde kullanılan diğer bir verim ifadesi ise, fotopik altında sayılan gammaların (N_f), kaynaktan yayınlananlara (N_s) oranı olarak tanımlanan fotopik verimidir.

$$\varepsilon_f = \frac{N_f}{N_s} \quad (3.26)$$

Bir detektörün fotopik verim değerinin belirlenmesi, standart kaynaklar kullanılarak yapılan deneysel yöntemlere dayanır. Kaynaktan yayınlanan gammanın enerjisine bağlı olarak, belirli bir kaynak-detektör geometrisindeki fotopik verimi,

$$\varepsilon_f(E) = \frac{\left[\frac{N_p^s}{t_s} - \frac{N_d}{t_d} \right]}{f_\gamma(E) C_s} \quad (3.27)$$

ifadesi ile hesaplanır. Burada N_p^s/t_s , standardın ilgilenilen enerjideki fotopik alanından Compton sürekliliği çıkarılmış net sayma hızı, N_d/t_d , doğal fon spektrumunda ilgilenilen enerjideki fotopik alanından Compton sürekliliği çıkarılmış net sayma hızı, $f_\gamma(E)$, ilgilenilen enerjide gamma yayınlanma olasılığı, C_s , referans standart kaynağın bilinen aktivitesidir.

3.9. Doğrudan Aktivite Ölçümü

Bu yöntemde, verimin belirlenmesinde kullanılan standart kaynak-detektör geometrisi ile örnek-detektör geometrisi aynı olmalıdır. Örnek içeriğinde bulunan radyonüklidin ilgilenilen enerjideki gamma aktivitesi,

$$C_x = \frac{\left[\frac{N_p^x}{t_x} - \frac{N_d}{t_d} \right]}{\varepsilon_f(E) f_\gamma(E) m} \quad (3.28)$$

ifadesi ile bulunur. Burada N_p^x/t_x , örneğin ilgilenilen enerjideki fotopik alanından Compton sürekliliği çıkarılmış net sayma hızı, $f_\gamma(E)$, ilgilenilen enerjide gamma yayınlanma olasılığı, $\varepsilon_f(E)$, ilgilenilen enerjide standart kaynak yardımıyla yukarıdaki (3.27) eşitliğinden hesaplanan fotopik verimi, m ise örneğin kütlesidir.

3.10. Standartla Karşılaştırma Yöntemi ile Aktivite Ölçümü

Bu yöntemde, örnekteki aktivitesi belirlenecek her bir radyonüklid için, ideal durumda, örnek ile aynı yoğunluğa ve kimyasal bileşenlere sahip, içinde aktivitesi belirlenecek radyonüklidi içeren bir standart kaynak kullanılır. Geometri etkisinden dolayı oluşacak sayım kayıplarının özdeş olarak elimine edilebilmesi amacıyla, aktivitesi belirlenecek olan örnekle, standardın geometrisi aynı olmalıdır. Böylece sadece örneğin ve standardın ilgilenilen enerjideki sayma hızlarının oranından yararlanılarak, örneğin içerdiği radyonüklidlerin aktiviteleri hesaplanabilmektedir. Bir örnekteki radyonüklidin gamma aktivitesi,

$$C_x = C_s \frac{\left[\frac{N_p^x}{t_x} - \frac{N_d}{t_d} \right] m_s}{\left[\frac{N_p^s}{t_s} - \frac{N_d}{t_d} \right] m_x} \quad (3.29)$$

ifadesi ile bulunur. Burada C_s , standardın bilinen aktivitesi, N_p^x/t_x ve N_p^s/t_s , sırasıyla örneğin ve standardın ilgilenilen enerjideki fotopik alanından Compton sürekliliği çıkarılmış net sayma hızı, m_s , standardın kütlesi, m_x ise örneğin kütlesidir.

3.11. Doğal ve Yapay Radyasyon Kaynakları

Dünyada bulunan radyoaktif kaynakları doğal ve yapay olmak üzere ikiye ayırmak mümkündür.

3.11.1. Doğal radyasyon kaynakları

Dünyanın oluşumuyla birlikte yerkürede bulunan çok uzun ömürlü radyoaktif elementler yaşadığımız çevrede doğal bir radyasyon düzeyi oluşturmuşlardır. Yaşanılan yerin toprak yapısı, barınılan binalarda kullanılan malzemeler, mevsimler, kutuplara olan uzaklık ve hava şartları, maruz kalınan doğal fon seviyesini belirleyen etkenlerden bazılarıdır.

İnsanlar, yaşamları boyunca yıldızlardan ve güneşten gelen kozmik ışınlar, yer kabuğunda bulunan radyoizotoplar, toprak ve yapı malzemeleri, su ve gıda gibi kaynaklardan gelen radyasyona maruz kalmaktadır. Yaşam standartları, yaşadıkları ortamların fiziksel özellikleri ve coğrafi şartlara bağlı olarak değişiklik göstermekle birlikte dünya genelinde doğal radyasyon kaynakları nedeniyle Çizelge 3.2' de görüldüğü gibi kişi başına yaklaşık 2,4 mSv yıllık doza maruz kalmaktadır (Unsclear 2008).

Çizelge 3.2. Doğal radyasyon kaynakları nedeniyle kişi başına maruz kalınan yıllık etkin doz değerleri (Unscear 2008)

Işınlanma Kaynağı	Yıllık Etkin Doz Değeri (mSv)	
	Ortalama Değer	Değişim Aralığı
KOZMİK RADYASYON		
Foton Bileşeni	0,28	
Nötron Bileşeni	0,10	
Kozmojenik Radyoizotoplar	0,01	
TOPLAM	0,39	0,3 - 1,0^(a)
YERYÜZÜ KAYNAKLI DIŞ IŞINLANMA		
Bina Dışı	0,07	
Bina İçi	0,41	
TOPLAM	0,48	0,3 - 0,6^(b)
SOLUNUM YOLU İLE IŞINLANMA		
Uranyum ve Toryum Serileri	0,006	
Radon	1,15	
Toron	0,10	
TOPLAM	1,26	0,2 - 10^(c)
BESLENME YOLU İLE IŞINLANMA		
⁴⁰ K	0,17	
Uranyum ve Toryum Serileri	0,12	
TOPLAM	0,29	0,2 - 0,8^(d)
GENEL TOPLAM	2,4	1 - 10

(a) Deniz seviyesinden yüksekliğe bağlı

(b) Toprak ve yapı malzemelerinin karışımlarına bağlı

(c) Radon gazı konsantrasyonuna bağlı

(d) Yiyecek ve içme sularındaki radyoizotopların konsantrasyonlarına bağlı

Toprakta ve kayalarda doğal olarak bulunan uranyum serisinden - ²³⁸U ($t_{1/2} = 4,468 \times 10^9$ yıl), toryum serisinden - ²³²Th ($t_{1/2} = 1,4 \times 10^{10}$ yıl) ve ⁴⁰K ($t_{1/2} = 1,28 \times 10^9$ yıl) radyoizotopundan kaynaklanan radyasyon nedeniyle tüm vücudumuz dış kaynaklı doğal radyasyona maruz kalır. Doğal radyoizotoplardan dolayı maruz kalınan doz büyük ölçüde uranyum ve toryum serileri ve ⁴⁰K kaynaklıdır. ²³⁵U ($t_{1/2} = 7,04 \times 10^8$ yıl), ⁸⁷Rb ($t_{1/2} = 4,75 \times 10^{10}$ yıl), ¹³⁸La ($t_{1/2} = 1,05 \times 10^{11}$ yıl), ¹⁴⁷Sm ($t_{1/2} = 1,06 \times 10^{11}$ yıl), ¹⁷⁶Lu ($t_{1/2} = 3,73 \times 10^{10}$ yıl), gibi doğal radyoizotopların, düşük izotopik bollukları nedeniyle, maruz kalınan doza katkısı oldukça azdır.

Çizelge 3.3' te dünyanın bazı bölgelerindeki toprağın doğal radyonüklid içerikleri verilmiştir.

Çizelge 3.3. Dünyanın bazı bölgelerindeki toprağın doğal radyonüklid içerikleri (Unsclear 2000)

Bölge/Ülke	1996' daki Nüfus (10 ⁶)	Topraktaki Konsantrasyon (Bq/kg)							
		⁴⁰ K		²³⁸ U		²²⁶ Ra		²³² Th	
		Ortalama	Arahık	Ortalama	Arahık	Ortalama	Arahık	Ortalama	Arahık
Afrika									
Cezayir	28.78	370	66-1 150	30	2-110	50	5-180	25	2-140
Mısır	63.27	320	29-650	37	6-120	17	5-64	18	2-96
Kuzey Amerika									
Kostarika	3.50	140	6-380	46	11-130	46	11-130	11	1-42
US	269.4	370	100-700	35	4-140	40	8-160	35	4-130
Güney Amerika									
Arjantin	35.22	650	540-750						
Doğu Asya									
Bangladeş	120.1	350	130-610			34	21-43		
Çin	1232	440	9-1 800	33	2-690	32	2-440	41	1-360
Hong Kong	6.19	530	80-1 100	84	25-130	59	20-110	95	16-200
Hindistan	944.6	400	38-760	29	7-81	29	7-81	64	14-160
Japonya	125.4	310	15-990	29	2-59	33	6-98	28	2-88
Kazakistan	16.82	300	100-1 200	37	12-120	35	12-120	60	10-220
Kore	45.31	670	17-1 500						
Malezya	20.58	310	170-430	66	49-86	67	38-94	82	63-110
Tayland	58.70	230	7-712	114	3-370	48	11-78	51	7-120
Batı Asya									
Ermenistan	3.64	360	310-420	46	20-78	51	32-77	30	29-60
İran	69.98	640	250-980			28	8-55	22	5-42
Suriye	14.57	270	87-780	23	10-64	20	13-32	20	10-32
Kuzey Avrupa									
Danimarka	5.24	460	240-610			17	9-29	19	8-30
Estonya	1.47	510	140-1 120			35	6-310	27	5-59
Litvanya	3.73	600	350-850	16	3-30			25	9-46
Norveç	4.35	850		50		50		45	
İsveç	8.82	780	560-1 150			42	12-170	42	14-94
Batı Avrupa									
Belçika	10.16	380	70-900			26	5-50	27	5-50
Almanya	81.92		40-1 340		11-330		5-200		7-134
İrlanda	3.55	350	40-800	37	8-120	60	10-200	26	3-60
Lüksemburg	0.41	620	80-1 800			35	6-52	50	7-70
Hollanda	15.58		120-730		5-53	23	6-63		8-77
İsviçre	7.22	370	40-1 000	40	10-150	40	10-900	25	4-70
UK	58.14		0-3 200		2-330	37			1-180
Doğu Avrupa									
Bulgaristan	8.47	400	40-800	40	8-190	45	12-210	30	7-160
Macaristan	10.05	370	79-570	29	12-66	33	14-76	28	12-45
Polonya	38.60	410	110-970	26	5-120	26	5-120	21	4-77
Romanya	22.66	490	250-1 100	32	8-60	32	8-60	38	11-75
Rusya	148.1	520	100-1 400	19	0-67	27	1-76	30	2-79
Slovakya	5.35	520	200-1 380	32	15-130	32	12-120	38	12-80
Güney Avrupa									
Arnavutluk	3.40	360	15-1 150	23	6-96			24	4-160
Hırvatistan	4.50	490	140-710	110	83-180	54	21-77	45	12-65
Kıbrıs	0.76	140	0-670			17	0-120		
Yunanistan	10.49	360	12-1 570	25	1-240	25	1-240	21	1-190
Portekiz	9.81	840	220-1 230	49	26-82	44	8-65	51	22-100
Slovenya	1.92	370	15-1 410			41	2-210	35	2-90
İspanya	39.67	470	25-1 650			32	6-250	33	2-210
Ortalama		400	140-850	35	16-110	35	17-60	30	11-64
Nüfus - Ağırlıklı Ortalama		420		33		32		45	

Doğal radyoizotoplar ve onların parçalanma ürünlerinden dolayı maruz kalınan doz, bölgenin jeolojik yapısını oluşturan kayaların ve toprakların radyoizotop konsantrasyonlarına bağlı olarak büyük değişkenlik gösterir. Özellikle granit, riyoilit, andezit gibi magmatik kayalar, monazit, allanit, zirkon gibi mineraller içeren fosfatlı kayalar uranyum, toryum ve potasyum bakımından daha zengindir (Örgün ve ark. 2005, Merdanoğlu ve Altınsoy 2006, El-Arabi 2007, Örgün ve ark. 2007). Kayaların hava koşulları nedeniyle aşınması, bu radyonüklidlerin sedimentlerdeki ve topraktaki konsantrasyonunun artmasına sebep olmaktadır (Örgün ve ark. 2007). Ortamda bulunan kil minerallerinin ve organik maddelerin uranyumun cevherleşmesinde katalizör görevi yaptığı düşünülmektedir (Yaşar 2006).

Dünyada yüksek doğal radyoizotop konsantrasyonu içeren toprak yapısına sahip bölgeler Çizelge 3.4’ te görülmektedir. Bu bölgelerde maruz kalınan doz dünya ortalamasının çok üzerine çıkabilmektedir (Unsear 2000).

Çizelge 3.4. Dünyada yüksek doğal radyoizotop konsantrasyonuna sahip bölgeler (Unsear 2000)

Ülke	Bölge	Havada soğrulan doz oranları (nGy/h)
Brezilya	Guarapari Mineas Gerais ve Goias Pocos de Caldas Araxá	90 – 170 (caddeler) 90 – 90 000 (sahiller)
Çin	Yangjiang Quangdong	370 (ortalama)
Mısır	Nil deltası	20 – 400
Fransa	Güneybatı merkez bölgeleri	20 – 400 10 – 10 000
Hindistan	Kerela ve Madras Ganges deltası	200 – 4 000 1 800 (ortalama) 260 – 440
İran	Ramsar Mahallat	70 – 17 000 800 – 4 000
İtalya	Lazio Campania Orvieto town South Toscana	180 (ortalama) 200 (ortalama) 560 (ortalama) 150 – 200
Niue Adası	Pacific	1 100 (maksimum)
İsviçre	Tessin Alps, Jura	100 – 200

Binalarda kullanılan yapı malzemeleri, taş ve topraktan üretildikleri için, düşük oranda da olsa radyoaktif madde içerebilirler. Böylece insanlar konutları dışında olduğu gibi, bina içinde de radyasyona maruz kalırlar. Yaşanılan bölgenin jeolojik özellikleri yanında, kullanılan yapı malzemeleri, alınan radyasyon dozunu etkilemektedir (Amrani ve Tahtat 2001, Kumar ve ark. 2003, Sonkawade ve ark. 2008, Lavi ark. 2009).

Uranyum, kaya ve toprak katmanları boyunca düşük konsantrasyonlarda dağılmıştır. Doğal uranyum elementinin %99,275' i ^{238}U ' den, %0,72' si ^{235}U ' den oluşmaktadır. ^{238}U , uranyum bozunma serisinin başlangıç kaynağı olup kararlı son ürünü ^{206}Pb haline gelinceye kadar, ^{232}Th ise toryum serisinin başlangıç kaynağı olup kararlı son ürünü ^{208}Pb haline gelinceye kadar bozunur.

Doğal potasyum elementinin % 0,0117' si ^{40}K ' dan oluşmaktadır. ^{40}K aktivitesinin genelde, ^{238}U ve ^{232}Th ' den büyük olması nedeniyle maruz kalınan doza katkısı daha fazladır (Unscear 2000). Verimli toprakların önemli bir bileşeni olan ve doğada geniş bir dağılım alanına sahip ^{40}K , mineral sularında, tuzlu sularda ve değişik minerallerde de bulunmaktadır. Potasyumsülfat ve potasyumklorür, nitrojen ve fosforla birlikte suni gübre olarak toprağın verimini artırmak amacıyla kullanılmaktadır. ^{40}K radyoizotopu, diğer potasyum izotopları ile aynı karakteristik özellikleri göstererek, biyolojik süreçlerle tüm bitki, hayvan ve insan metabolizmasına girer. Potasyum bitkiler için gerekli olduğu kadar insanlar içinde önemli bir elektrolittir. İnsan vücudunda bütün doku, organ ve hücreler için gerekli bir mineral olan potasyum, yiyeceklerde de bulunmaktadır.

İç ışınlanma, radyoizotopların solunum ve sindirim yolu ile alınmasından kaynaklanır. Havada bulunan ^{238}U ve ^{232}Th bozunum zincirlerindeki radyoizotoplardan oluşan toz parçacıkları solunum yolu ile vücuda alınmaktadır. Solunum yolu ile iç ışınlanmanın en önemli bileşenini ^{238}U bozunma zincirinde yer alan radon oluşturmaktadır. Toprakta ve kayalarda bulunan radon gazının havaya geçişi, çatlaklar ve yeryüzüne çıkan sular aracılığıyla olmaktadır. Havadaki radonun, soluma yoluyla vücuda alınması nedeniyle maruz kalınan doz 1,15 mSv değerindedir. Bu değer coğrafi ve jeolojik bölgeye, zamana, sıcaklık ve basınç gibi meteorolojik şartlara bağlı olarak oldukça büyük

değişkenliğe sahiptir. Atmosfer basıncının düşmesi ve sıcaklık yükselmesi havadaki radon konsantrasyonunda artışa neden olmaktadır. Ayrıca radon suda çözünebilme özelliğine sahip olduğundan, yeraltı su kaynaklarının tüketilmesiyle metabolizmaya geçmekte ve iç ışınlanmaya katkıda bulunmaktadır. Özellikle granit oluşumlu magmatik kayaların bulunduğu yerlerdeki yeraltı su havzalarında radyonüklidlerin aktiviteleri yüksek olmaktadır (Örgün ve ark. 2005). Radon haricinde doğal radyoizotopların, solunum yolu ile vücuda alınmasından kaynaklı dozun, iç ışınlamaya katkısı oldukça azdır.

Toprakta ve suda bulunan doğal radyoizotoplar, topraktan bitkilerin bünyesine ve besin zinciri yoluyla insan ve hayvan metabolizmasına transfer olurlar. Transfer faktörü, radyonüklidlerin transfer miktarını belirleyen bir kavramdır. Çeşitli uluslararası sağlık örgütleri tarafından transfer faktörünün, maruz kalınan doz miktarlarının hesaplanmasında dikkate alınması önerilmektedir (Karadeniz ve Yaprak 2007b). Bazı bitki türleri diğer türlere göre daha fazla miktarda radyonüklid absorplama özelliğine sahip olup, biyolojik indikatör olarak kullanılmaktadırlar (Sloof ve Wolterbeek 1992).

Yiyecek ve içeceklerde bulunan ⁴⁰K, uranyum ve toryum serileri, sindirim yolu ile alınan dozun temel nedenini oluşturmaktadır. Bununla birlikte bu radyoizotopların sindirim yolu ile alınmasıyla maruz kalınan doz, beslenme alışkanlıklarındaki farklılıklar nedeniyle (Asya'da süt tüketiminin, Afrika'da sebze tüketiminin daha az olması gibi) dünya genelinde büyük bir değişiklik göstermektedir. Özellikle uranyum serisinin bozunum ürünleri, doğada yüksek biyolojik mobiliteye sahiptir (Sroor ve ark. 2001). Yiyeceklerde bulunan doğal radyonüklidlerin konsantrasyonları, topraktaki radyonüklidlerin konsantrasyon seviyesine, iklim şartlarına ve yapılan tarımla ilgili koşullara bağlı olarak büyük farklılıklar gösterir. Toprakta bitkilere radyonüklidlerin geçiş dinamikleri, toprağın organik, inorganik ve mikroflora gibi biyolojik bileşenlerine, fiziko-kimyasal karakteristiğine ve bitkilerin fizyolojik durumlarına bağlıdır (Tamponnet ve ark. 2008). Topraktaki kalsiyum ve potasyum miktarı da, topraktan bitkiye uranyum, toryum ve radyum geçişini etkilemektedir (Bolca ve ark. 2007). Ayrıca toprak yapısı, radyonüklidlerin topraktaki birikimini, mobilitelerini ve bu radyonüklidlerin topraktan bitkiye transferini etkilemektedir (Flues ve ark. 2002).

Tarım yapılan arazilerde fosfat ya da potasyum içeren gübrelerin kullanımı da topraktaki doğal radyonüklid seviyesini artırmaktadır (Ahmed ve El-Arabi 2005, Righi ve ark. 2005a, Righi ve ark. 2005b, Tufail ve ark. 2006, Ekdal ve ark. 2006, Bolca ve ark. 2007, Yaprak ve Aslani 2010).

İçme sularının tüketilmesiyle vücuda alınan doğal radyonüklidlerle maruz kalınan doz da önemli bir seviyede olup, doğal radyonüklid bollukları dünya genelinde büyük farklılıklar göstermektedir.

İnsanlar vücutlarında bulunan radyoaktif elementlerden (özellikle ^{40}K radyoaktif elementinden) dolayı da belli bir doza maruz kalmaktadırlar. Yetişkin bir bireyin vücudundaki doğal potasyum miktarı % 0,18 kadardır. İnsan vücudundaki ^{40}K bolluğunun, biyolojik proseslerle kontrol edildiği bilinmesine rağmen, toplam değerini kişiden kişiye nasıl değiştiği hakkında çok az bilgi bulunmaktadır. Uranyum ve toryum vücutta özellikle kemikte tutulur. Vücutta % 70' i kemikte olacak şekilde dağılmıştır. Uranyum ve toryum konsantrasyonu, vücuttaki çeşitli kemik tiplerinde yaklaşık olarak aynı olmakla birlikte, farklı ülkelerde ve farklı yaş gruplarında değişkenlik göstermektedir (Unscear 2008).

İnsanların maruz kaldığı bir diğer doğal radyasyon kaynağı olan kozmik radyasyon, atmosferin üst tabakalarında bulunan elementlerin, uzaydan gelen çok yüksek enerjili parçacıklar ile etkileşmesiyle meydana gelir. Enerjileri 10^8 eV ile 10^{20} eV arasında değişen bu parçacıkların % 70' ini protonlar, % 20' sini alfalar, % 10' unu daha ağır iyonlar oluşturur (Gilmore 2008). Bu çok yüksek enerjili parçacıkların atmosferin üst tabakalarında yaptıkları etkileşmeler sonucunda pionlar, muonlar, elektronlar, gammalar, pozitronlar ve hızlı nötronlar meydana gelir. Bunların yaptıkları ikincil etkileşmeler sonucu ^3H , ^{14}C , ^7Be , ^{22}Na gibi uzun veya kısa ömürlü kozmojenik radyoizotoplar oluşmaktadır. Atmosferik şartlara bağlı olarak yeryüzüne inen bu radyoizotoplar, gerek solunum gerekse de besinler yolu ile metabolizmaya katılarak içi ışınlanmaya neden olurlar. Unscear (2008) tarafından yapılan hesaplamalara göre, maruz kalınan kozmik ışın kaynaklı yıllık etkin doz, enlem ve yükseklikle değişse de 0,39 mSv civarındadır.

3.11.2. Yapay radyasyon kaynakları

Nükleer silahların kullanıldığı savaşlar, nükleer silah denemeleri, nükleer teknolojinin kullanıldığı insan kaynaklı pek çok alanda, doğal radyasyon kaynakları yanında yapay radyasyon kaynakları kullanılmaktadır. İnsan kaynaklı yapay radyasyon nedeniyle maruz kalınan doz Çizelge 3.5’ ten görüldüğü gibi yaklaşık 0,6 mSv değerindedir (Unscear 2008).

Çizelge 3.5. İnsan kaynaklı yapay radyasyonlar sebebiyle maruz kalınan yıllık etkin doz değerleri (Unscear 2008)

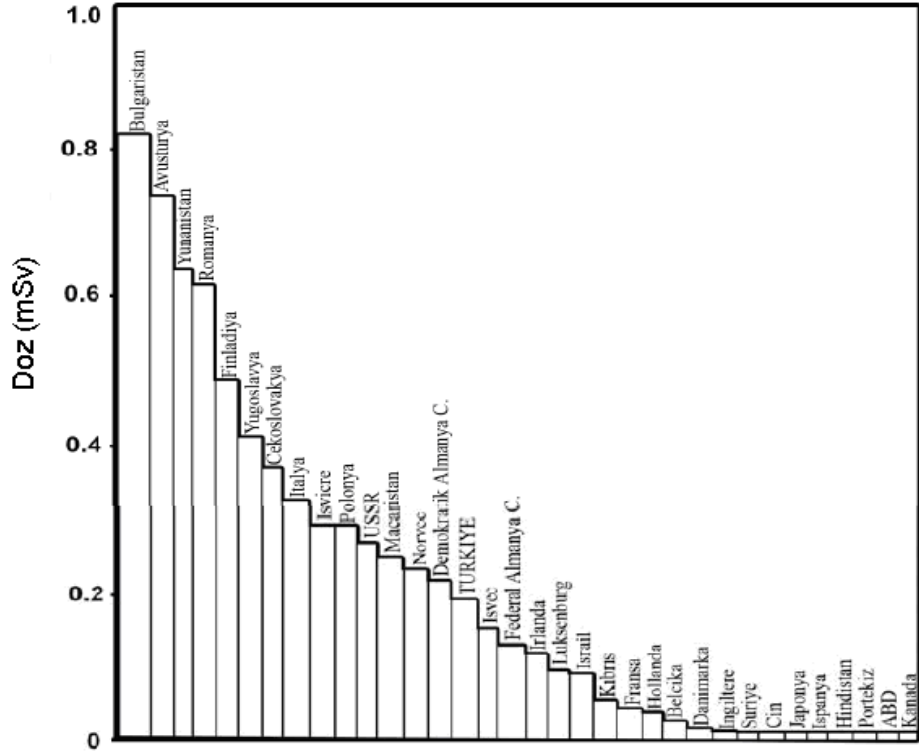
Kaynak	Yıllık ortalama etkin doz (mSv)	Açıklama
Tıbbi teşhis (terapi hariç)	0,6	Onlarca değer alabilmektedir.
Atmosferik nükleer testler	0,005	Bazı yüksek dozlar hala test alanı çevresinde ölçülmektedir. 0,11 mSv’ lik maksimum değer 1963’ te görülmüştür.
Mesleki nedenlerle ışınlanma	0,005	≈ 0 – 20. Tüm çalışanlar için ortalama doz 0,7 mSv’ dir. Ortalama dozun çoğu ve en yüksek ışınlanmalar doğal radyasyonlar nedeniyledir. (Özellikle maden ocaklarındaki radon nedeniyle)
Nükleer Kaza (Chernobyl)	0,002	1986’ da 300 000’ den fazla işçinin aldığı doz ortalama 150 mSv’ dir. 350 000’ den fazla işçi ise 10 mSv ve yukarı değerlerde doz almışlardır. Kuzey yarım kürede 1986’ da 0,04 mSv’ lik bir maksimum değerden düşmüştür.
Nükleer yakıt çevrimi	0,0002	Nükleer reaktörden 1 km uzaklıktaki kritik grupların aldığı doz 0,02 mSv’ den daha fazladır.
TOPLAM YAPAY IŞINLANMA	0,6	Bireysel dozlar başlıca tıbbi tedavi, kaza alanları veya testlere yakınlık, meslek nedeniyle ışınlanma

Doğada en fazla görülen yapay radyonüklid olan ¹³⁷Cs, 1945 yılından itibaren büyük oranda kuzey yarıkürede yapılan nükleer silah testleri nedeniyle atmosfere yayılmıştır. Chernobyl kazasından etkilenmeyen bölgelerde yapılan araştırmalar, bu bölgelerde

^{137}Cs ' nin topraktaki konsantrasyonunun atmosferik nükleer testler sonucu oluştuğunu ortaya koymaktadır (Schuller ve ark. 1997).

Chernobyl nükleer kazası sonrası çevreye yayılan ^{137}Cs ' nin, uzun yarı ömre sahip olması, topraktaki yer değiştirme karakterinin yavaş olması ve alkali-toprak element olup besin zinciri yoluyla organizmaya kolaylıkla girmesi önemli radyolojik problemlere neden olmuştur (Karadeniz ve Yaprak 2008b). Bu radyonüklidin çözünürlüğü yüksek olup, insanlar için hayati bir element olan potasyumla benzer fiziko-kimyasal özelliklere sahiptir (Aslani ve ark. 2003).

Chernobyl reaktöründe 26 Nisan 1986' da meydana gelen kaza, nükleer güç endüstrisinde meydana gelen en ciddi kazalardan biridir. Kaza sonrası radyoaktif serpinti, başta Ukrayna, Belarus ve Rusya Federasyonu olmak üzere Kuzey yarıkürede gözlenmiştir. Kaza öncelikle doğrudan ölümlere neden olmuş, kaza sonrası radyoaktif parçacıklar çevreye yayılmış ve insan sağlığını olumsuz yönde etkilemiştir. Kaza sonrası açığa çıkan fisyon ve transuranyum ürünlerinin toplam aktivitesinin yaklaşık 2×10^{18} Bq, ^{131}I aktivitesinin yaklaşık $3,3 \times 10^{17}$ Bq, ^{137}Cs aktivitesinin yaklaşık 7×10^{16} Bq olduğu belirtilmektedir (Unsear 1988). Reaktör yakıtı, kazadan sonra 10 gün daha yanmış, stronsiyum ve seryum gibi ağır radyoaktif elementler reaktör alanına yakın düşerken, daha hafif olan iyot ve sezyum gibi radyoaktif elementler bulutlar halinde yayılarak doğanın etkilenmesine neden olmuştur. Radyoaktif bulutlar 11 gün boyunca atmosferik hareketlerle Kuzey Avrupa' nın üzerinden geçmiş, ^{134}Cs , ^{137}Cs ve ^{131}I gibi $2 \mu\text{m}$ ' den küçük radyoaktif partiküller uzun mesafeler boyunca taşınmıştır. Radyoaktif bulutlar 3 Mayıs 1986' da Trakya bölgesine, 3-4 Mayıs' ta Batı Karadeniz bölgesine, 6 Mayıs' ta Çankırı üzerinden Sivas' a, 7-9 Mayıs tarihlerinde Trabzon-Hopa' ya ulaşmıştır. Radyoaktif bulutun geçişi sırasında Trakya ve Doğu Karadeniz'de, özellikle fındık, tütün ve çay üretimi yapılan tarım alanlarında yağış olması, bu bölgelerdeki radyoaktif bulaşmayı artırmıştır. Likenler üzerine yapılan bir çalışmada Rize'de, Chernobyl kazasının etkilerinin, Avrupa' nın birçok ülkesinden daha fazla olduğu belirtilmektedir (Anonim 2006). Şekil 3.15' te Chernobyl nükleer kazasından sonraki ilk yıl etkin doz açısından etkilenen ülkeler görülmektedir.



Şekil 3.15. Chernobyl nükleer kazasından sonraki ilk yıl etkin doz açısından etkilenen ülkeler (Unsear 1988)

Karadeniz’ de Topçuoğlu (2000) tarafından yapılan çalışmada, 1986 yılının Mayıs ayı boyunca balıklarda yüksek gamma aktivitesi tespit edilmiştir. Ayrıca Topçuoğlu ve ark. (2001) tarafından, Chernobyl kazası sonrası doğu Karadeniz bölgesinin batı Karadeniz bölgesine göre daha fazla etkilendiği rapor edilmiştir. Kazadan hemen sonra Bursa ve çevresinden 3-26 Mayıs 1986 tarihleri arasında filtre edilerek alınan hava örneklerinde, fisyon ürünleri olan ^{95}Zr , ^{95}Nb , ^{103}Ru , ^{106}Ru , ^{125}Sb , ^{132}Te , ^{132}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{140}Ba , ^{140}La , ^{141}Ce , ^{144}Ce , ^{207}Bi radyoizotopları gözlenmiştir (Özmutlu ve ark. 1989).

Topraktaki ^{137}Cs ’ nin birikimine ve yer değiştirmesine, toprak karakteri, organik madde içeriği, topraktaki mikroorganizmaların biyolojik aktiviteleri, meteorolojik şartlar ve bölgedeki ekolojik şartlar etki eder. Bu nedenlerle, dağılım bölgeden bölgeye büyük değişkenlik göstermektedir. Yağmur suyu ve aerosolle toprağa ulaşan ^{137}Cs toprağın üst katmanlarında birikir (Karadeniz ve Yaprak 2007a). Topraktaki ^{137}Cs konsantrasyonu büyük ölçüde toprağın ilk 10 cm’ sinde bulunup derinlik arttıkça üstel olarak azalmaktadır (Schuller ve ark. 1997, Isaksson ve Erlandsson 1998). Yapılan araştırmalar sonucunda, kil minerallerine tutunma (adsorpsiyon) özelliği nedeniyle ^{137}Cs ’ nin düşük

kil ve düşük pH değerine sahip topraklarda daha çok mobilize olduğu sonucuna varılmıştır (Bell ve Shaw 2005). Organik madde açısından zengin ormanlık alanlarda ¹³⁷Cs' nin toprağın derinlerine doğru düşey olarak yer değiştirme karakteri yavaş olup, çoğunlukla bu toprakların üst katmanlarında birikirler (Karadeniz ve Yaprak 2008a). Yüksek organik madde içerikli topraklarda ¹³⁷Cs konsantrasyonunun fazla olması, organik madde içinde aktif olan mikroorganizmaların sebep olduğu geri dönüşüm ile açıklanmaktadır. Bu topraklardaki mikro-tutucular, toprak erozyonuna ve ¹³⁷Cs' nin yer değiştirmesine karşı fiziksel olarak engel oluşturmaktadır. Ayrıca organik maddenin, topraktaki kil minerallerinin sezyum iyonlarını soğurma (absorpsiyon) özelliğini değiştirdiği hipotezi ileri sürülmektedir (Karadeniz ve Yaprak 2008b). Ormanlık alanlarda üretilen besin ürünlerinin ¹³⁷Cs kontaminasyonu, diğer tarım alanlarından elde edilen besin ürünlerine göre daha fazla olduğu bulunmuştur (Karadeniz ve Yaprak 2007b). Ayrıca tarım yapılan toprakların üst katmanlarındaki ¹³⁷Cs konsantrasyonu, daha derindekilere göre azalma eğilimi göstermektedir (Aslani ve ark. 2003).

3. 12. Kayaçlardaki Doğal Radyoaktivite

Magmatik kökenli kayaçlar, magma denilen erimiş silikat sıvısının, yer kabuğunun değişik derinliklerine sokulması ve soğuyarak katılaşması sonucu oluşurlar. Bu kayaçlar yerleşme derinliklerine göre üç gruba ayrılırlar. Bunlar plutonik kayaçlar olarak isimlendirilen derinlik kayaçları (granit, granodiyorit, siyenit, dünit, harzburjit, troktolit, gabro, norit, serpantinit, piroksenit, labradorit, diorit, monzonit, vb.), damar kayaçları olarak isimlendirilen yarı derinlik kayaçları (diyabaz, apilit vb.) ve yüzey kayaçları olarak isimlendirilen volkanik kayaçlardır (bazalt, andezit, riyolit, tuf, obsidyen, ignimbirit, trakit, lösitit, latit, vb.). Metamorfik kökenli kayaçlar ise çeşitli kayaçların, jeolojik ve tektonik olaylar sonucunda meydana gelen ısı ve basınç ile fiziksel özelliklerinin değişmesi sonucu oluşurlar. Bunlara örnek olarak mermerler, şistler, gnayslar, migmatitler, eklojitler, granolitler, anateksi granitleri verilebilir (Yaşar 2006).

Uranyum ve toryum, magmatik ve metamorfik kayalardaki apatit, sfen, zirkon gibi minerallerde bulunur. Uranyum yataklarının kaynağının demir ve magnezyum bakımından zengin olan bazik magmatik kayaçlar olduğunu savunan araştırmacılara

göre uranyum, kayacı oluşturan minerallerin kafes yapısı içine kabul edilmediği için dışarı atılmaktadır. Minerallerin kafes yapılarına yerleşemeyen uranyum, ana kayacın içerisindeki kırıklarda kristalleşerek uranyum yatağını oluşturmaktadır. Uranyum ve toryumun bazik magmadan kristalize olamamaları, bunların silisli asidik magmalarda zenginleşmelerine neden olmaktadır. Bundan dolayı daha çok silisli kayalar, yüksek miktarda uranyum ve toryum içermektedirler (Yaşar 2006). Ayrıca yüksek miktarda potasyum feldspat (ortoklaz) minerali içeren magmatik kayalarda, Uranyum ve toryum konsantrasyonları yüksektir (Örgün ve ark. 2007).

Toryumun ana kaynağı monazit mineralidir. Toryum ve uranyum granit gibi asidik magmatik kayalarda maksimum, bazik ve ultrabazik kayalarda ise minimum değerlerde bulunmaktadır. Kayalardaki potasyumun ana kaynağı potasyum feldspat ve beyaz mika mineralleridir. Çözünürlüğü uranyum ve potasyuma göre düşük olan toryum, rüzgar ve erozyon gibi mekanik olaylardan etkilenmez. Uranyum ise yüze yakın yerlerde hareketli olmaya eğilimlidir. Granitik kayalar ve silisli tüfler yüksek uranyum içerikleriyle yer altı sularına uranyum geçişine sebep olurlar. Toryum ise uranyumun aksine alterasyon ve erozyon sırasında erimez. Toryumun magmatik kayalardan çeşitli ortamlara geçişi, ancak fiziksel taşınma yoluyla olur (Yaşar 2006).

Jeolojik bir materyaldeki Th/U ve Th/K oranları bu materyalin jeokimyası hakkında bilgi vermektedir. Granitoid kayalardaki ortalama Th/U oranı 3,5 civarında olup hafif uranyum zenginleşmesini ifade etmektedir. Granitlerde bu değer 3,5-6,3 arasında değişmektedir. Th/U <2 olması uranyum zenginleşmesini, Th/U >7 olması ise uranyumun ortamdaki kaçtığını göstermektedir. Th/K oranı mika ve feldspatların yapısı hakkında bilgi verir. Asidik magmatik kayalarda bu oran 4,5 civarındadır (Canbaz ve ark. 2010). Yeryüzü kıtasal kabuğu için Th/U oranı için beklenen değer 4,25' tir. K/U oranı için yaklaşık değer 0,94 olmakla beraber oldukça değişken değerlere sahiptir (Chiozzi 2002). Çizelge 3.6' da bazı kaya türlerinin doğal radyonüklid içerikleri verilmiştir.

Çizelge 3.6. Bazı kaya türlerinin doğal radyonüklid içerikleri (Yaşar 2006)

Kaya Tipi	²³⁸ U (ppm)	²³² Th (ppm)	⁴⁰ K (%)
Kabuksal değer	2,77	10	1,75
Ultramafik	0,001	0,003	0,5
Bazalt	0,6	2,2	0,8
Granodiyorit	3	10	3,3
Andezit	2	-	-
Granit	4,8	17	3,3
Şeyl	4	12	2,7
Kumtaşı	2,2	-	1,1
Kireçtaşı	2	2	0,3

3.13. Radyasyon Etkisi ve Dozimetrik İlişkiler

Radyasyon, madde üzerinde meydana getirdiği etkilere göre iyonlaştırıcı radyasyon (X-ışınları, gama ışınları, alfa, beta radyasyonları, kozmik ışınlar, nötronlar) ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon (ultraviyole, kızılötesi, radyo dalgaları, mikrodalgalar vb) şeklinde sınıflandırılır. Radyasyon etkisiyle oluşabilecek radyolojik risk, radyasyonun tipi ve enerjisi, radyasyon kaynağından içsel veya dışsal etkilenme, radyasyonun insan vücudu içinde dağılımı ve radyasyona maruz kalma süresi değerlendirilerek belirlenebilir. İyonlaştırıcı radyasyonun hücreler üzerindeki etkisi, atomları ve molekülleri iyonlaştırma ve uyarma yoluyla olur.

Kısa sürede yüksek dozda ışımaya maruz kalma akut ışınlanma, uzun zaman aralığında düşük dozda ışımaya maruz kalma ise kronik ışınlanma olarak tanımlanır. Radyasyonun neden olduğu biyolojik hasar, soğrulan doza bağlı olarak değişmektedir. Ayrıca farklı radyasyon tipleri dokulara aynı miktarda enerji transfer etseler dahi, meydana getirdikleri biyolojik etkileri farklıdır. Radyasyon, hücre yapı taşı olan proteinlerle ve DNA gibi canlılar için önemli moleküllerle etkileşir. Bu etkileşim sonucu oluşan serbest radikaller biyolojik moleküllerde hasara neden olur. DNA' larda oluşan hasar gen kırılmaları, kopma ve çaprazlamalar tarzında mutasyonlara, bu da kalıtsal hastalıklara neden olmaktadır. Genellikle bu tarz radyasyon hasarları uzun süreli kronik ışınlanma sonucu ortaya çıkan hasarlardır. Vücuda alınan gıda maddelerinin aktivitelerinden

yararlanarak, bireyin aldığı doz hesaplamaları için, matematiksel sindirim sistemi modellemeleri uygulanarak çeşitli çalışmalar yapılmıştır (Ünal 1988).

Birim kütle başına transfer edilen enerji soğrulan doz olarak bilinir. SI sistemindeki birimi Gray (1Gy=1 J/kg)' dir.

Radyasyonun biyolojik sistem üzerindeki etkisi, soğrulan doz ve kalite faktörüne (Q) bağlı olarak eşdeğer doz ile verilir. Radyasyonun tipine ve enerjisine göre biyolojik hasarlarını da içeren bir kavramdır. SI sisteminde birimi Sievert (Sv)' dir. Kalite faktörü (Q) radyasyonun iyonizasyon oluşturma kapasitesidir. γ , β ve X ışınları için $Q=1$, α ışınları için $Q=20$ ' dir (Krane 1987).

Havadaki doğal radyasyon kaynakları nedeniyle maruz kalınan gamma dozu aşağıdaki ifadeyle verilmektedir.

$$ADRA (nGy/h) = 0,0417 C_K + 0,462 C_U + 0,604 C_{Th} \quad (3.30)$$

Eşitlikteki C_K , C_U ve C_{Th} sırasıyla Bq/kg biriminde ^{40}K , ^{238}U ve ^{232}Th aktiviteridir. Aktivitelerin başındaki katsayılar, Çizelge 3.7' de verilen doz katsayılarıdır.

Çizelge 3.7. Topraktaki doğal radyonüklidlerin ortalama konsantrasyonları, doz katsayıları ve radyonüklidlerin ortalama konsantrasyonlarından hesaplanan doz değerleri (Unscear 2000)

Radyonüklid	Topraktaki Konsantrasyon (Bq/kg)		Doz Katsayısı (nGy h ⁻¹ /Bq kg ⁻¹)	Havada Soğrulan Doz Oranı (nGy h ⁻¹)	
	Ortalama Değer	Nüfus - Ağırlıklı Değer		Ortalama Değer	Nüfus - Ağırlıklı Değer
^{40}K	400	420	0,0417	17	18
^{238}U	35	33	0,462	16	15
^{232}Th	30	45	0,604	18	27
Toplam				51	60

Dış ortamda maruz kalınan gamma dozuna bağlı olarak hesaplanan yıllık efektif doz eşdeğeri ise,

$$AEDE (\mu Sv/y) = ADRA \times DCF \times OF \times T \quad (3.31)$$

ifadesiyle bulunur. Eşitlikteki DCF' nin değeri 0,7 olup Sv/Gy biriminde soğrulan dozdan efektif doza dönüşüm faktörü, OF' nin değeri 0,2 olup insanların dış mekanlarda geçirdikleri yüzdelik zaman faktörü, T ise 8 760 h/y olarak verilmektedir (Unscear 2000).

Radyum eşdeğer aktivite değeri olarak tanımlanan Ra_{eq} , yaygın olarak kullanılan radyoaktif tehlike göstergesi olarak tanımlanır.

$$Ra_{eq} = C_{Ra} + 1,43 C_{Th} + 0,077 C_K \quad (3.32)$$

ifadesinden hesaplanır. Eşitlikteki C_{Ra} , C_{Th} ve C_K sırasıyla Bq/kg biriminde ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktiviteleridir. Bu denklem, 1 Bq/kg ^{226}Ra , 0,7 Bq/kg ^{232}Th ve 13 Bq/kg ^{40}K aktivitelerinin aynı gamma dozuna sebep olduğu tahminine dayandırılmaktadır (Merdanoğlu ve Altınsoy 2006). Ra_{eq} için önerilen maksimum değer, 370 Bq/kg olarak verilmektedir (El-Arabi 2007).

Diğer bir radyoaktif tehlike göstergesi de, dış kaynaklı tehlike göstergesi olarak tanımlanan H_{ex} değeridir. Yıllık efektif doz 1,5 mSv değerine sınırlandırılarak aşağıdaki ifade ile verilir.

$$H_{ex} = \frac{C_{Ra}}{370} + \frac{C_{Th}}{259} + \frac{C_K}{4810} \leq 1 \quad (3.33)$$

Buna göre radyasyon tehlikesinin önemsiz olabilmesi için H_{ex}' in alabileceği en büyük değer 1 olmalıdır (El-Arabi 2007).

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. Araştırma Alanının Tanıtımı

4.1.1. Bursa'nın coğrafi konumu, yeryüzü şekilleri, tarihi ve önemi

Bursa ili Marmara bölgesinin güneydoğusunda 28° 10' - 30°10' doğu boylamları ile 39° 35' - 40°40' kuzey enlemleri arasında yer almaktadır. İlin kuzeydoğusunda Sakarya, doğusunda Bilecik, güneydoğusunda Kütahya, güneybatısı ve batısında Balıkesir, kuzeyinde ise Marmara Denizi, Yalova ve Kocaeli bulunmaktadır. 17 ilçesi (Nilüfer, Osmangazi, Yıldırım, Gürsu, Orhangazi, Keles, Kestel, Büyükorhan, Harmancık, Yenişehir, Karacabey, Mustafakemalpaşa, Mudanya, Gemlik, İznik, İnegöl, Orhaneli) ile toplam 10 819 km²' lik yüzölçümüne sahip olan Bursa topraklarının büyük bir kısmı Marmara Bölgesi sınırları içinde olmakla birlikte güney ilçelerinin bir kısmı Ege Bölgesi sınırları içinde kalmaktadır. Bursa ili sınırlarında bulunan ve Marmara Bölgesi' nin en önemli yükseltisi olan Uludağ (2 543 m), doğuda Domaniç Dağı' ndan, batıda Balıkesir' e kadar uzanır. Gemlik Körfezi' nin kuzeyinde yer alan Boz Burun ile İznik Gölü arasında uzanan Samanlı Dağları (1 602 m), İznik Gölü' nün güneyinde doğu-batı yönünde uzanan Katırlı Dağları (1 283 m), Bursa Ovası' nı denizden ayıran ve Gemlik Körfezi' nin güneyini kaplayan Mudanya Dağları, Kocaçay' ın Marmara Denizi' ne döküldüğü yerden başlayıp, Bandırma' ya doğru uzayan Karadağ (833 m) ve bunların dışında Asarak Dağları, Sinan Dağları, Gökçedağ ve Eğrigöz Dağ' ı Bursa yöresinin en önemli yükseltileridir. Bursa Ovası, Karacabey Ovası, İnegöl Ovası, Orhangazi Ovası, İznik Ovası, Yenişehir Ovası, Mustafakemalpaşa Ovası ve Çayırköy Ovası Bursa' nın en önemli düzlükleridir. Marmara Bölgesi' nin en büyük gölleri olan İznik Gölü (298 km²) ve Uluabat (Apoloyont) Gölü (134 km²) Bursa ili sınırları içindedir (Abi 2010).

Bursa, İstanbul , Ankara ve İzmir ' den sonra Türkiye'nin 4. büyük metropol kenti ve 4. büyükşehir nüfusuna sahip şehridir. Bursa eski adı ile Prusa, verimli tarım alanları üzerine kurulmuştur. Bursa kentinin kuruluşu M.Ö 2000' li yıllara kadar uzanmaktadır. Bursa Bitinya Kralı Prosyas tarafından M.Ö 5. – 6. y.y.' da şimdiki hisarın bulunduğu

bölgede kurulmuştur. 1091 – 1097 yılları arası Selçukluların eline geçen kent, 1097 yılından sonra tekrar Bizans yönetimine geçmiştir. Bursa 1326 yılında Türklerin eline geçmiş ve başkent olmuştur. Bu devirde Bursa gelişmiş, ticaret ve kültür merkezi kimliğine kavuşmuştur.

1960' lı yıllarda kurulan Türkiye' nin ilk Organize Sanayi Bölgesi ve otomobil fabrikaları, özellikle 1968 yılında Tofaş' ın kurulması ile birlikte diğer yan sanayi sektörlerinin oluşması, kentin hızlı bir şekilde gelişmesine sebep olmuştur. Bursa tarımsal kimliğinden sıyrılıp, sanayi kenti kimliğine bürünmektedir. Bursa' da sanayileşmenin hız kazandığı 1970' li yıllardan sonra tarım sektörünün istihdam içindeki payı azalırken, hizmet sektörünün payı artmıştır. Bursa bugün başta tekstil, otomotiv, makine, gıda ve deri sanayi olmak üzere, pek çok imalat sektörü, sanayi ve ticaret alanında, ülke ekonomisine ciddi katkı sağlayan illerin başında gelmektedir.

4.1.2. Bursa'da tektonik aktivite

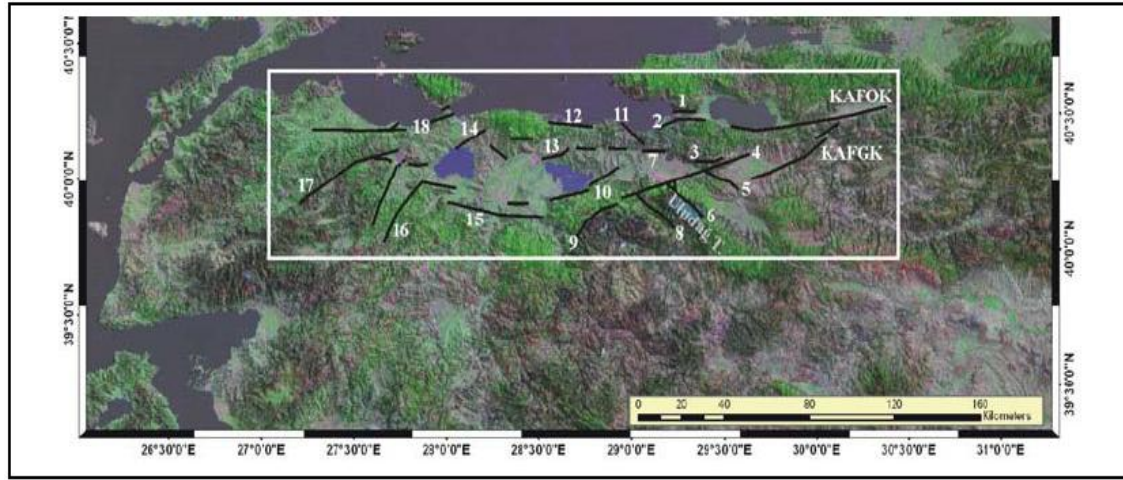
Türkiye' de depremler, aktif durumda bulunan iki tektonik plakanın hareket etmesi sonucunda oluşmaktadır. Kuzey Anadolu fay hattı bu plakalardan birini oluşturmaktadır.

T.C. Başbakanlık Deprem Araştırma Başkanlığı tarafından hazırlanan Deprem Bölgeleri Haritası' na göre, Marmara çevresinde aktif faylar nedeniyle Bursa, 1. derece deprem kuşağı içinde yer almaktadır. Bursa ovası genel olarak Kuzey Anadolu fayının etkisi altındadır. Batıya doğru sıkışma sonucu kuzey-güney doğrultulu normal faylar, kuzey güney yönünde açılmaktadır. Diğer bir ifade ile doğu-batı yönlü sıkışma, kuzey-güney yönlü gerilme ile karşılanmaktadır (Anonim 2009).

Uluabat ve Mustafakemalpaşa alt fay zonları ile birlikte Kuzey Anadolu fay sisteminin Marmara bölgesindeki en güney segmentlerinden olan Bursa fayı, Bursa ili için depreme kaynak olabilecek en önemli faydır. Bursa fayı, doğuda Derekızık–Burhaniye köyleri ile batıda Uluabat gölü arasında uzanan, yaklaşık 45 km uzunluğunda, sağ yanal ve doğrultu atımlı bir faydır. Uludağ' ın kuzey eteğinden geçer. Yer yer Triyas-

Permiyen yaşlı metamorfitle, Jura yaşlı karbonatları ve Miyosen yaşlı akarsu-göl tortullarını keserek, bunları Kuvaterner yaşlı alüvyonlarla tektonik dokanağa getirir. Genelde fayın kuzey bloğu, güney bloğuna oranla 2 km kadar düşmüştür. Bu durum Bursa fayının, önemli miktarda normal bileşeni olduğunu gösterir. Fay sarplığını kuzeye doğru akarak kat eden ve yataklarını derine kazmış olan dereler (Nilüfer çayı gibi), bu derelerin ağzında birikmiş ve gelişimini sürdüren faya koşut dizilimli kalın alüvyon yelpazeleri, sıcak su kaynakları, traverten oluşumları ve ötelenmiş dereler Bursa fayının varlığını ve jeolojik olarak aktif olduğunu belirler (Anonim 2009). Şekil 4.1' de Bursa ve çevresindeki faylar görülmektedir.

Uludağ, bölgedeki büyük tektonik yükselme zonu olup, Kuzey Anadolu fayının güney kolu ile sınırladığı morfolotektonik yapı sunmaktadır. Uludağ' ın batısında bulunan yaşlı Neojen litolojiler ve doğusundaki eğimli ve basamağa benzeyen topografya, tüm masifi kesen ek fayların varlığını kanıtlamaktadır (Tut Haklıdır 2007).



Şekil 4.1. Bursa ve çevresindeki faylar 1.Gemlik fayı, 2.Gençali fayı, 3.Kestel fayı, 4.Bakacık fayı, 5.Deliçay-Cerrah fayı, 6.Alaçam fayı, 7.Bursa fayı, 8.Soğukpınar fayı, 9.Doğancı fayı, 10.Uluabat fayı, 11.Mudanya fayı, 12.Boğazköy fayı, 13.Karacabey fayı, 14.Doğruca fayı, 15.Manyas-Mustafakemalpaşa fayı, 16.Yenice-Gönen fayı, 17.Şarköy fayı, 18.Çifteçeşmeler-Edincik fayı. KAFOK: Kuzey Anadolu Orta Kolu, KAFGK: Kuzey Anadolu Güney Kolu (Tut Haklıdır 2007)

Eskişehir fayının uzantısı görünümündeki Batı Anadolu neotektonik genişlemenin uzantısı olan kuzey-batı yönlü uzanımlar, faya paralel derin vadiler açılmasına sebep

olmuştur. Nilüfer Çayı da böyle bir doğrultuda yerini almıştır. Bursa havzası da Bursa fayı etkisiyle oluşmuştur. Bursa havzası kuzeyden Gençali ve Mudanya fayı, güneyden ise doğu-batı uzanımlı Bursa fayı ve Soğukpınar fayları ile sınırlanmaktadır. Uluabat fayı önünde gelişen havza da tektonik bir çöküntü olarak gelişmiştir. Havzanın en çukurunda Uluabat Gölü oluşmuştur. Uluabat havzası güneyden Uluabat kuzeyden ise Karacabey fayları ile sınırlanmaktadır. Batıya doğru Gönen havzasından önce yer alan Manyas havzası Mustafakemalpaşa fayı ile güneyden sınırlanmaktadır (Tut Haklıdır 2007).

Afrika plakasının üzerine binen Yunan ve Anadolu Plakacıklarının neden olduğu genişleme, jeotermal aktivite açısından kuzeyde Kuzey Anadolu fayı ile sınırlanır. Bu da Bursa ve yöresinin, söz konusu genişlemenin etkisinde olmasına ve yaygın bir jeotermal aktiviteye sahip olmasına neden olmaktadır. Uludağ asidik plütonunun da Bursa bölgesindeki sıcak suların gelişiminde etkin olduğu düşünülmektedir (Tut Haklıdır 2007).

Fay hatlarından yükselen ve yüzeye çıkan, şehir merkezinde Çekirge ve Kaynarca, ilçelerinde Orhangazi, Gemlik, Mustafakemalpaşa, İnegöl sıcak su kaynakları bulunan Bursa, jeotermal kaynaklar açısından zengin bir ildir. Jeotermal sıcak su kaynaklarının bulunduğu Çekirge ve Kaynarca bölgelerinde yoğun kırık sistemi mevcuttur. Demirkapı-Kaynarca, Kükürtlü, Kaynarca-Karamustafa, Çekirge, Muradiye, İnkaya fayları bölgenin ana faylarıdır. Sıcak su kaynaklarının bulunduğu Çekirge ve Kaynarca bölgesinde Paleozoyik yaşlı gnays, amfibolit ve metamorfik şistler ile Uludağ mermerleri bulunmaktadır. Gnays, mermer, çakıltaşı ve kumtaşı birimleri ve bunları kesen fay zonları rezervuar kaya özelliğindedir (Tut Haklıdır 2007).

4.1.3. Bursa'nın jeomorfolojik özellikleri

Bursa ve çevresinin jeolojik özelliklerini belirleyen en önemli jeolojik birim Karakaya Karmaşığdır. Uludağ Masifi Karakaya Karmaşığı içinde yer almaktadır. Bölgede Neojen yaşlı sedimanter kayaçların killi seviyeleri ile bazı bölgeler de tüfler ve kuvaterner alüvyonun killi seviyeleri örtü kayaçlardır. Rezervuar kayaç olarak gnays,

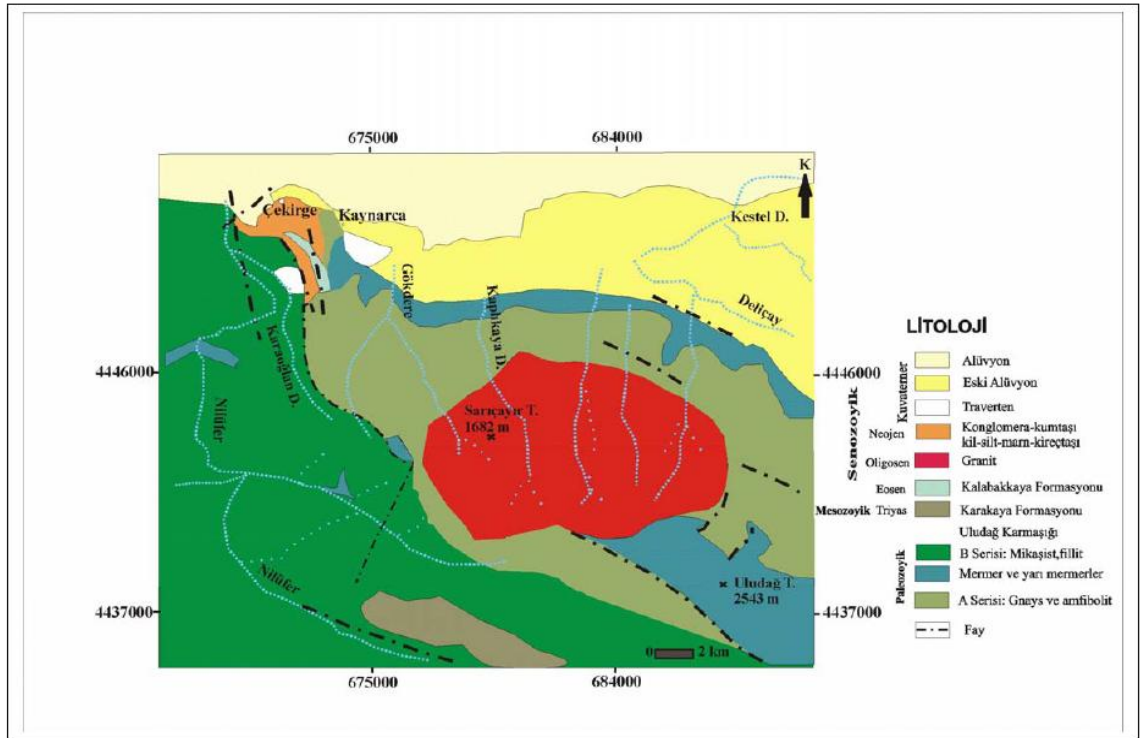
mermer, kristalize kireçtaşı, çakıltası, kumtaşı birimleri ve bunları kesen fay zonları bulunmaktadır. Bursa Ovası' nın doğusunda Paleozoik yaşlı sedimanter örtü gözlenmektedir. Bu bölgede kırılğan deforme olmuş bazaltlar, kumtaşları, marn ve Erken Permiyen yaşlı kireçtaşları yer almaktadır. Uludağ batısında sıcak su kaynaklarına yakın bölgede Orta ve Geç Miyosen yaşlı volkanik kayalar ve Neojen yaşlı sedimanlar, düşük dereceli metamorfik kayalar üzerinde yer almaktadır. Bursa güneyindeki Soğukpınar ile Kızılelma dağı arasında geniş bir alanı ofiyolitik seriler kaplamaktadır. Yenişehir civarındaki spilitle kireçtaşları ile giriktirler. İnegöl çevresinde Neojen yaşlı andezit, liparit ve riolitler vardır. Bursa-Gemlik arasında Paleozoyik sonrası spilitik ve andezitik lavlar gözlenmektedir. Mudanya-Gemlik arasında kalan andezitler Üst Kretase yaşlı birimleri kesmektedirler (Ertürk 2010).

Uludağ masifinin temel yapısını metamorfik kayalarla bunların içerisine sokulmuş granodiyorit plütünü oluşturur. Kütleinin içerisine doğu-batı yönünde 14 km uzunluğunda, kuzey-güney yönünde 7 km genişliğinde elips şeklinde bir granodiyorit plütünü yerleşmiştir. Uludağ granitoidi, kuvars, plajiyoklaz, ortoklaz, biyotit, zirkon, apatit, allanit, sfen, monazit, klorit gibi mineraller içermektedir. Kütleiyi oluşturan başlıca birimler, metamorfik gnayslar, amfibolit ve şistleşmiş mermerler, fillit, yarı mermer ve kristalize kireçtaşlarıdır (Öztürk 2009).

Kirazlıyayla, Sarıalan ve Zirve arasında (1 300-2 300 m) granit ana taşı geniş alanları kaplamaktadır. Bursa' dan Kirazlıyayla mevkiine doğru gnayslardan granite geçiş kolaylıkla fark edilmektedir. Granit Karabelen' den otellere kadar, oteller bölgesinden batı zirveye çıkan yol boyunca bulunmaktadır. Granitin yayılış alanı zirve yakınlarında 2 300 metre civarında sona ermekte, yerini granite ait iç püskürmeler sonucu oluşan kontakt başkalaşım zonuna bırakmaktadır. Bu zonun başlıca ana taşları gnays, mikaşist, kil şisti ve granodiyorit ve mermerdir. Sarıalan' da bulunan güneye doğru genişleyen vadilerle birbirinden ayrılmış sırtlar geçildikten sonra ulaşılan ve hemen hemen düz olan Kırkpınarlar bölgesini doğu ve batıda çevreleyen tepelerin tümü granitten oluşmuştur (Ketin 1947).

Uludağ metamorfik kayaların en alt birimini gnayslar oluşturmaktadır. Granitin etrafında görülmektedirler. Uludağ masifinde oluşumları, mineral içerikleri birbirinden farklılıklar gösteren gnayslar bulunmaktadır. Uludağ granitoidinin güneyinde mineralojik ve jeokimyasal özellikleri bakımından granitoidlere benzeyen granitik gnayslar (metagranit) yer almaktadır. Granitik gnaysların ana minerallerini kuvars, plajiyoklaz, biyotit ve çok az muskovit, nadiren zirkon ve apatit oluşturmaktadır (Yurdağül 2004).

Genel olarak Uludağ' daki toprakların ana taşı granittir. Bu topraklar çoğunlukla kaba tekstürlü olup, genel olarak 1 300-2 200 metre arasında bulunurlar. Şekil 4.2' de Uludağ' ın bir bölümünün jeoloji haritası verilmiştir.

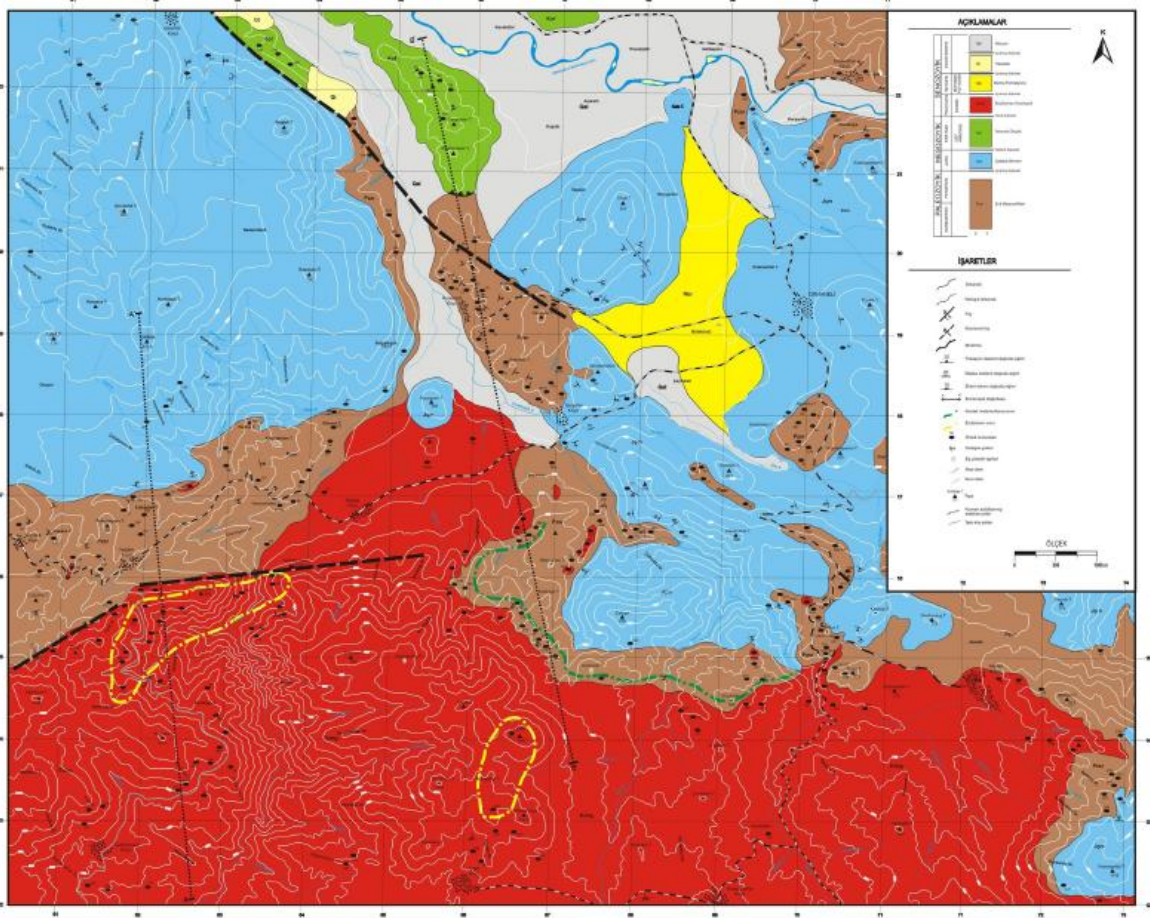


Şekil 4.2. Uludağ' ın bir bölümünün jeoloji haritası (Tut Hakkıdır 2007)

Orhaneli batısında Sadağ ve Çakıryenice köyleri ile güneyde Akalan, Karaoğlanlar ve Argın köyleri çevresinde geniş bir alanda yayılım gösteren Orhaneli plütunu olarak da adlandırılan Büyükorhan granitoidi bulunmaktadır. Granitoidin güney kısmında oldukça fazla miktarda plajiyoklas, kuvars, biyotit, alkali feldspat ve hornblend

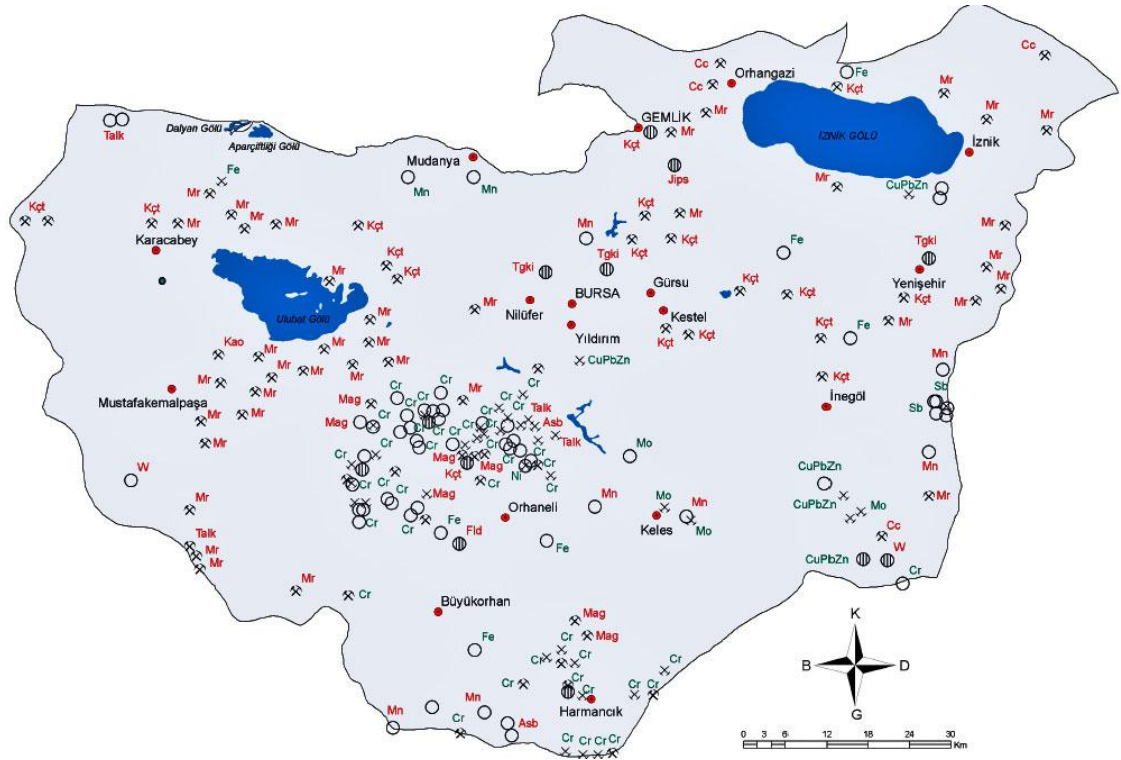
mineralleri, kuzey kısmında ise alkali feldspat ve kuvars, az oranda plajioklas, hornblend ve çok fazla miktarda sfen mineralleri bulunmaktadır. Orhaneli ilçesinin kuzey ve kuzeybatısındaki yerleşim alanlarını kapsayan geniş bir alanda magmatik ve ofiyolitik kayalar ile metamorfik kayalar bulunmaktadır. Orhaneli bölgesinde yaygın olarak mika minerallerince zengin şistler ve metabazitler gözlenmektedir. Orhaneli' nin en yüksek tepesi olan Çatalca Tepe (1 523 m)' de Çatalca Mermeri bulunmaktadır (Başol 2009). Şekil 4.3' te Büyükorhan granitoidinin hakim olduğu Orhaneli batısının jeoloji haritası görülmektedir.

Orhaneli ilçesinin kuzeyinde Göynükbelen ve Topuk köyleri arasında geniş bir yayılım gösteren, ana mineral içeriği plajioklas, kuvars, alkali feldspat, hornblend, klorit, sfen, magnetit, hematit, zirkon ve apetit olan Göynükbelen Granitoidi, kuzeybatı Anadolu' da Uludağ güneyi granit ailesi kaya gruplarındandır (Ertürk 2009).



Şekil 4.3. Orhaneli batısı jeoloji haritası (Başol 2009)

Mustafakemalpaşa havzasında, batıdan doğuya doğru Çatal Dağı, Akbağ Dağı, Katran Dağı, Eğriöz Dağı, Dümen Dağı gibi yükseltileri granit ve granodiyoritin hakim olduğu aşınmaya karşı yüksek dirence sahip magmatik kaya kütleleri oluşturmaktadır. Havzada sınırlı alanda yayılım gösteren Mezozoik yaşlı birimler genellikle karbonatlı kayalarla temsil edilmektedir (Özsoy 2007). Şekil 4.4’ te Bursa ili maden haritası yer almaktadır.



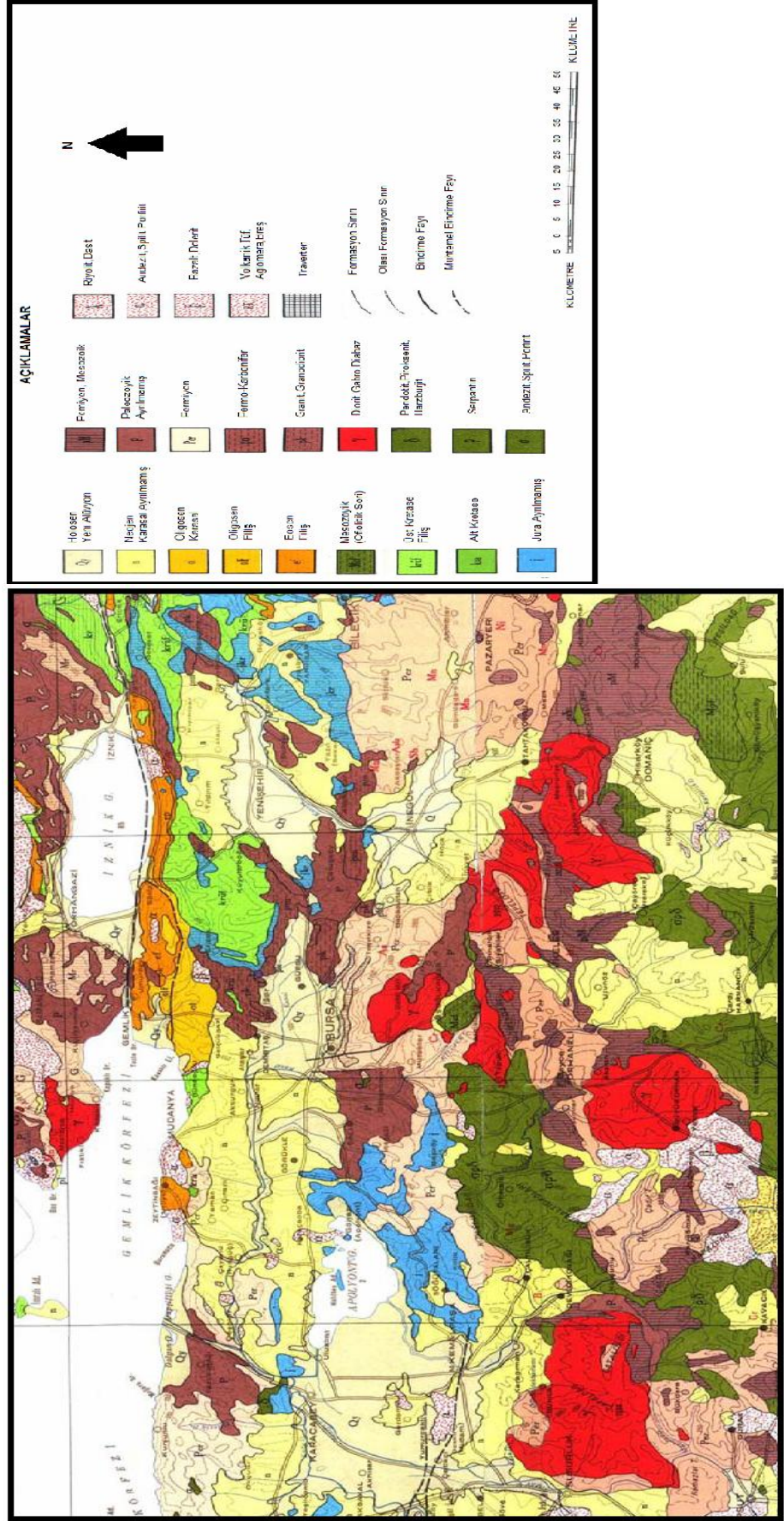
AÇIKLAMALAR

○ ZUHUR	Asb Asbest	Fld Feldspat	Mo Molibden
● YATAK	Cc Kalsit	Jips Jips	Mr Mermer
⊗ İŞLETME	Cr Krom	Kao Kaolin	Sb Antimon
⊗ ESKİ İŞLETME	CuPbZn Bakır-Kurşun-Çinko	Kçt Kireçtaşı	Talk Talk
● YERLEŞİM MERKEZİ	Fe Demir	Mag Magnezit	Tgki Tuğla-Kiremit
METALİK MADENLER		Mn Mangana	W Wolfram
ENDÜSTRİYEL MADENLER			

Şekil 4.4. Bursa ili maden haritası (http://www.mta.gov.tr/v1.0/turkiye_maden/il_maden/pdf_2010/bursa.pdf, 2011)

Şekil 4.5’ te ise Bursa’ nın genel jeoloji haritası verilmiştir.

Şekil 4.5. Bursa ili genel jeoloji haritası (Ertürk 2010)



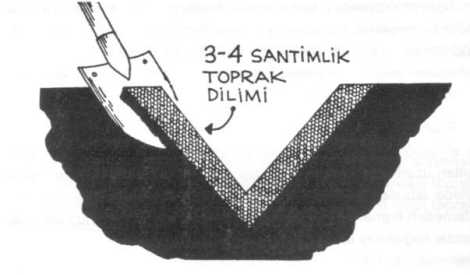
4.2. Örnek Alma Kuralları

Toprak örneklerinin alınması iklim şartlarına bağlıdır. Sıcaklık ve nemin uygun olduğu zamanlarda, yıl boyunca herhangi bir zamanda örnek alınabilir. Örnek olarak alınacak toprak, ayağa bulaşacak kadar ıslak ve örnek alma aletlerine zorluk çıkaracak kadar da kuru olmamalıdır.

Uygun şekilde alınmamış toprak örneklerinin analizi sonuç hatası oluşturur. Toprak örneklerinin alınması aşamasında yapılacak hata, ölçümde yapılacak hatadan çok daha büyüktür (Anonim 2000).

Örnek alınacak yerin, açık ve düz bir arazi olması, yüzeyinin otlarla tamamen kaplanmamış olması, yerleşim alanlarından uzak olması, yüksek bitkiler ve bunların dal ve yapraklarıyla gölgelenmemiş olması, yakın zamanda işlenmemiş veya ekilmemiş yaklaşık 10 m çaplı bir alan olması, toprak yüzeyinin sel veya aşırı yağmur suları ile zarar görmemiş olması, mümkünse vadi eteklerinden uzak olması gereklidir. Toprak örneği alınan yerin kaydı tutulmalıdır. Tespit edilen sahadan genişlik durumuna göre en az 10, en fazla 20 noktadan örnek alınmalıdır. Arazinin bir ucundan girerek öbür ucuna kadar karışık toprak örnekleri, açılan çukurlardan alınarak ilerlenir. Ancak bu örnekler, sahanın bir ucundan öbür ucuna doğru düz bir çizgi üzerinde ilerleyerek değil, zig-zaglar yaparak alınmalıdır. Sahadan alınan toprak örnekleri kovaya konularak ilerlenir.

Radyonüklidler genelde toprağın üst tabakalarında biriktiklerinden, tarımsal olmayan alanlarda toprak örneği 0-5 cm veya 0-10 cm derinlikten, tarım yapılan yerlerde ise pulluk derinliği olan 0-20 cm derinlikten alınmalıdır. Toprak örneği alınırken V harfi şeklinde bir çukur kazılır.



Çukurların düz kenarından paslanmaz çelik kürekle 3-4 cm kalınlığında bir toprak dilimi alınır. Küreğin üzerindeki toprak diliminin sağ ve sol taraflarından çok dikkatli kesilir. Neticede 3-4 cm kalınlığında ve 10 cm boyunda bir toprak sütunu elde edilir. Bu toprak sütunu temiz bir plastik kova içine aktarılır. Kovada biriktirilen 10 veya 20 adet toprak sütunu, örnek elde etmek için el ile iyice karıştırılır. Böylece temsili örneğin homojen olması sağlanır. Örnek içerisindeki bitki artıkları ve taşlar el ile ayıklanıp atılır. Örnek kabı veya torbasına 0,5-2 kg kadar doldurulur ve ağzı bağlanır. Örnek kabı veya torbasının içine veya dışına yapıştırılacak ya da bağlanacak olan iki etiket kurşun kalem ile doldurulur. Bu etikette aşağıdaki bilgiler bulunmaktadır:

Örneğin alındığı tarih

Örnek numarası

Örneğin alındığı yer (il, ilçe, köy)

Örneğin alındığı mevki

Örneğin alındığı derinlik

Örneğin temsil ettiği tarla veya arazi büyüklüğü

Tarım arazisi olup olmadığı

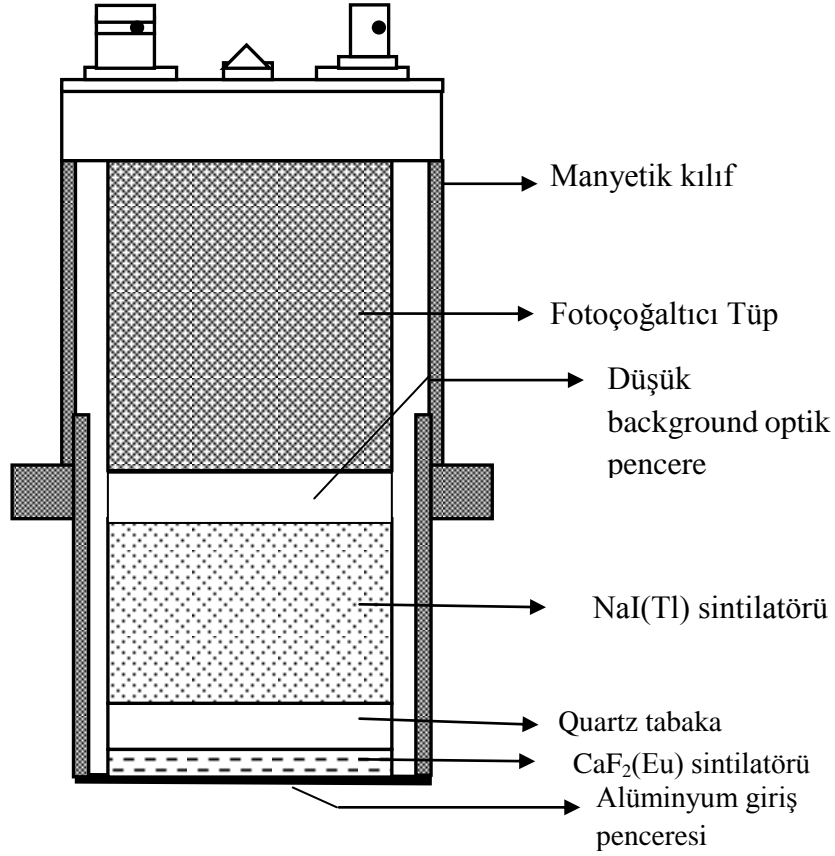
Bu çalışmada toplam 10 819 km² lik yüzölçümüne sahip olan Bursa ili, 10x10 km' lik alanlara bölünmüş ve rasgele olarak her bir alandan bir örnek olmak üzere ilk 10 cm' lik derinlikten toplam 108 adet yüzey toprağı örneği toplanmıştır. Tarım arazisi olmayan işlenmemiş alanlarda, yukarıda anlatılan kurallara uygun olarak toprak örnekleri alınmıştır. Örnekler, uygun şekilde yayılarak, oda sıcaklığında, toz almayacak bir şekilde 3 gün süreyle kurutulmuştur. İstenilen büyüklük ve homojenliğe getirilmek üzere parçalanıp toz haline getirildikten sonra 1 mm' lik elekten geçirilerek sayım için hazır hale getirilmiştir.

4.3. Çalışmada Kullanılan Phoswich Detektörü

Phoswich (PW) detektörü, bozunma zamanları farklı iki sintilatörden oluşmuş, özel uygulamalar için geliştirilmiş bir detektördür. Bozunma zamanı (decay time) sintilatörü oluşturan maddenin bir belirtkenidir ve maddeden maddeye farklılık gösterir. Bu farklılık “Phoswich” detektörlerinin temelini oluşturur. Tek fotoçoğaltıcı tüpe bağlı farklı fiziksel ve optiksel özelliklere sahip iki sintilatörde oluşan olaylar, puls şekil analizi tekniği ile birbirinden ayrılır. Phoswich detektörünü, düşük background (doğal fon) uygulamalarında kullanışlı hale getiren budur.

Herhangi bir numune yokken detektörden alınan saymaya “background” veya doğal fon denir. Low-level (düşük seviyeli) sayma sistemi iki önemli özelliğe sahiptir. Bunlardan ilki düşük background diğeri ise yüksek sayma verimidir. Düşük background, doğal fon bileşenlerinin detektöre olan etkisi yok edilerek başarılır. Yüksek sayma verimi ise, detektörün sayma geometrisini en elverişli duruma getirerek ve sinyal /gürültü oranı maksimum olan elektronik işlemci kullanılarak başarılır (Anonim 1989a).

Çalışmada kullanılan PW detektöründe, ince $\text{CaF}_2(\text{Eu})$ kristali ve kalın $\text{NaI}(\text{Tl})$ kristali tek fotoçoğaltıcı tüpe bağlanmıştır. İki sintilatör, quartz ölü tabaka ile birbirinden ayrılmıştır. Phoswich detektörünün şematik görünümü Şekil 4.6’ da verilmiştir. İlk kristal $\text{CaF}_2(\text{Eu})$ kristalidir. Alfa parçacıkları tamamen bu kristalde soğrulur. Beta parçacıkları geliş açısına bağlı olarak, enerjilerinin bir kısmını $\text{CaF}_2(\text{Eu})$ kristalinde bırakır. Quartz tabaka, enerjilerinin bir kısmını $\text{CaF}_2(\text{Eu})$ kristalinde bırakmış beta parçacıklarının durdurulmasını sağlar. Böylece yüklü parçacıklar $\text{NaI}(\text{Tl})$ kristaline ulaşamazlar. Daha girici ışınlar olan gamma ve kozmik radyasyon ya tamamen ya da kısmen $\text{NaI}(\text{Tl})$ kristalinde soğrulur. Phoswich detektörünün ön yüzü birkaç yüz Å kalınlığında alüminyum ile kaplanmıştır. Alüminyum kaplama detektöre dışarıdan ışık girmesini ve detektör içinde oluşan sintilasyon ışığının dışarı kaçmasını önlediği gibi, aynı zamanda yansıtıcı yüzey görevi yapar.



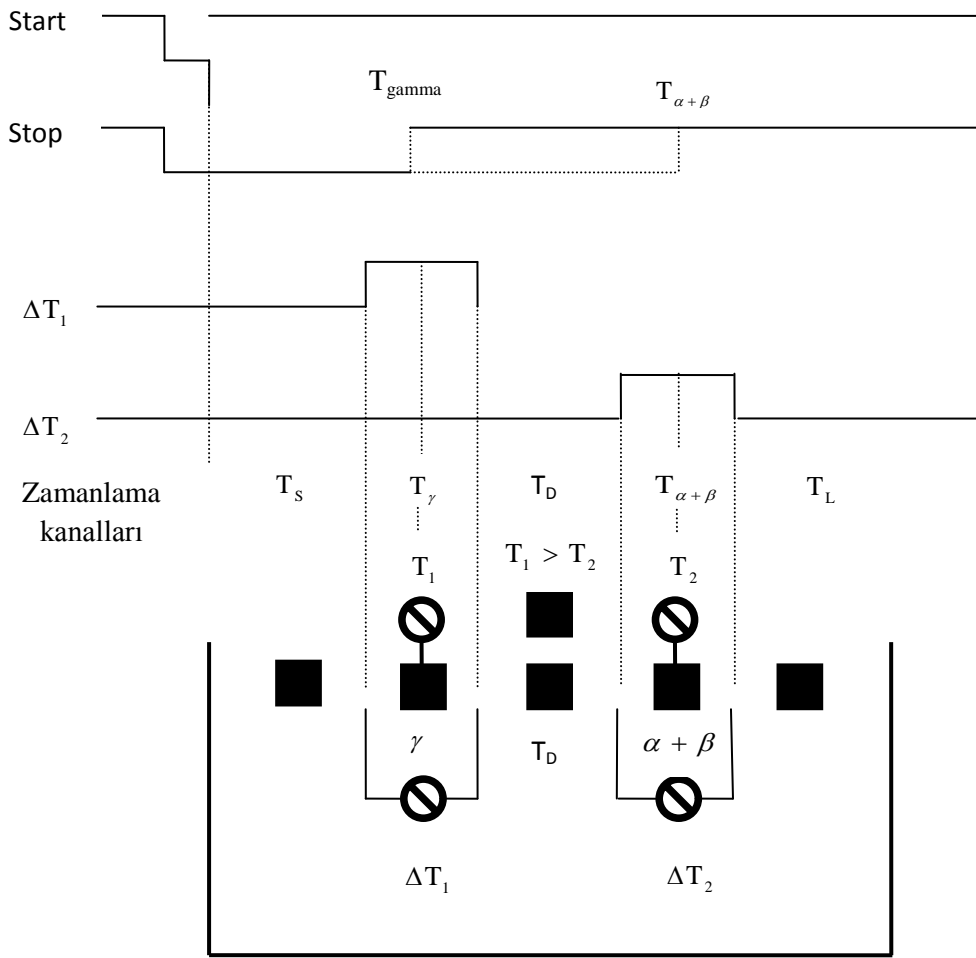
Şekil 4.6. Phoswich detektörünün şematik görünümü (ölçeksiz)

Kullanılan detektör sintilatörlerinin ve quartz tabakanın bazı fiziksel özellikleri Çizelge 4.1’ de verilmiştir. İki sintilatörün bozunma zamanı farklı olduğu için bozunma zamanı farklı olan pulslar oluşturulur. İki sintilatörden gelen fotonlar, ortak fotoçoğaltıcı tüp tarafından toplanır ve bir gerilim pulsuna dönüştürülür. Bu puls lineer olarak yükseltildikten sonra gamma/kozmetik radyasyon pulslarından alfa/beta pulslarını ayıran “puls biçim ayırıcısı” tarafından işlenir (Anonim 1989a).

Çizelge 4.1. PW detektöründe bulunan sintilatörlerin ve quartz ölü tabakanın bazı fiziksel ve optik özellikleri (Yalçın 1999)

Materyal	Bozunma zamanı (μ s)	Yoğunluk (g/cm^3)	Çap (cm)	Kalınlık (cm)
CaF ₂ (Eu)	0,94	3,18	5,08	$6,35 \times 10^{-3}$
NaI(Tl)	0,23	3,67	5,08	5,08
Quartz (SiO ₂)	-	2,65	5,08	0,3175

Bu ayırma tekniği, Phoswich dedektöründeki sintilatörlerin bozunma zamanlarının farklı olması esasına dayanır. Bu teknikte “leading edge” yöntemi uygulanır. Bu yöntem bilinen en kolay zaman belirleme yöntemidir. Detektörden gelen yükseltilmiş pulsun ön kenarı ayarlanmış eşik düzeyinden geçerken bir “Start” pulsu üretilir. Gelen pulsun tüm puls yüksekliğinin büyük bir kesri geçerken “Stop” pulsu üretilir. Start ve Stop pulsları arasında geçen zaman, PW dedektöründeki kristallerin bozunma zamanları ile karşılaştırılarak pulsun hangi kristalden geldiği belirlenir (Anonim 1989b). Pulsların zaman kanallarına ayrılması Şekil 4.7’ de gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Pulsların zaman kanallarına ayrılması (Anonim 1989b)

START: Başlangıçta eşik geriliminde giden ve giriş pulsunun genliğinin küçük bir kesrinde yükselen, girişten üretilen bir pulstur.

STOP: Başlangıçta eşik seviyesinde giden ve giriş pulsunun genliğinin büyük bir kesrinde yükselen, girişten üretilen bir pulstur.

ΔT_1 : Kısa bozunma zamanlı giriş için kabul penceresini tanımlayan logic bir pulstur. Konum T_1 kontrolü ile, genişlik ΔT_1 kontrolü ile ayarlanır.

ΔT_2 : Büyük bozunma zamanlı giriş için kabul penceresini tanımlayan logic bir pulstur. Konum T_2 kontrolü ile, genişlik ΔT_2 kontrolü ile ayarlanır.

T_S : ΔT_1 penceresinin ön kenarından daha kısa puls bozunma zamanını gösteren en soldaki LED' dir.

T_γ : ΔT_1 penceresi için bozunma zamanı kriterini karşılayan bir pulsu gösteren LED' dir. Bu gamma sintilatörü olan NaI(Tl) kristalinin bozunma zamanıdır.

T_D : Bozunma zamanı ΔT_1 penceresinden daha uzun fakat ΔT_2 penceresinden daha kısa bir pulsu gösteren LED' dir. Bu zaman kanalı ölü banttır.

$T_{\alpha+\beta}$: ΔT_2 penceresi için bozunma zamanı kriteri ile karşılaşan bir pulsu gösteren LED' dir. Bu alfa-beta sintilatörü olan $\text{CaF}_2(\text{Eu})$ kristalinin bozunma zamanıdır.

T_L : ΔT_1 ve ΔT_2 penceresinden daha uzun bozunma zamanlı bir pulsu gösteren LED' dir.

Ön Panel Kontrolleri;

T_1 : ΔT_1 zaman penceresinin merkezini ayarlar. Başlangıç pulsundan itibaren 0,4 ile 1,8 μs arasında ayarlanabilir. Bu kontrol paneli NaI(Tl) sintilatöründen gelen gamma pulslarının merkezine ayarlanır.

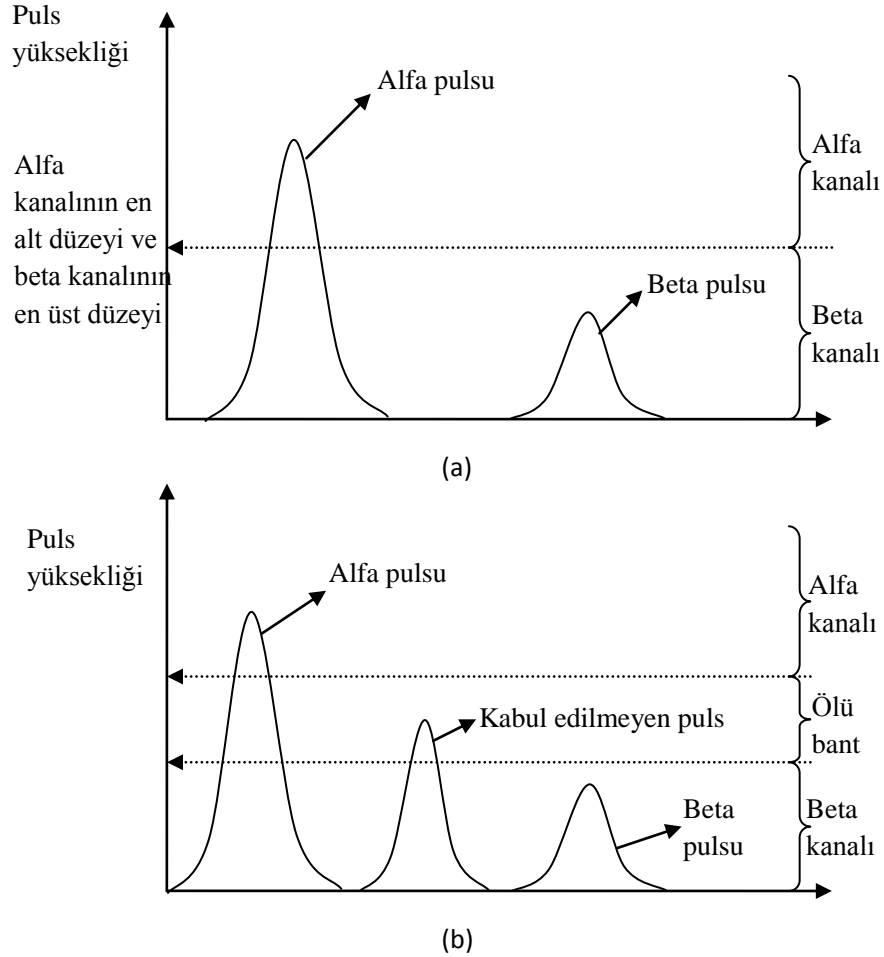
T_2 : ΔT_2 zaman penceresinin merkezini ayarlar. Başlangıç pulsundan itibaren 0,4 ile 1,8 μs arasında ayarlanabilir. Bu kontrol paneli $\text{CaF}_2(\text{Eu})$ sintilatöründen gelen alfa ve beta pulslarının kabul penceresinin merkezine ayarlanır.

ΔT_1 : T_1 kabul penceresinin genişliğini ayarlar. 0,2 ile 0,5 μs arasında ayarlanabilir. T_1 konumunun etrafında simetrik olarak açılır ve kapanır.

ΔT_2 : T_2 kabul penceresinin genişliğini ayarlar. 0,2 ile 0,5 μs arasında ayarlanabilir. T_2 konumunun etrafında simetrik olarak açılır ve kapanır.

Alfa-Beta Karışması: Alfa ve Beta kanal genliği ayırma penceresi arasında uygulanabilir bir ölü bant ayarlar. Eğer bu denetim kolu saat yelkovanıyla aynı yönde döndürülürse alfa-beta arasında bir ölü bant oluşur. Saat yelkovanının tam tersi yönünde

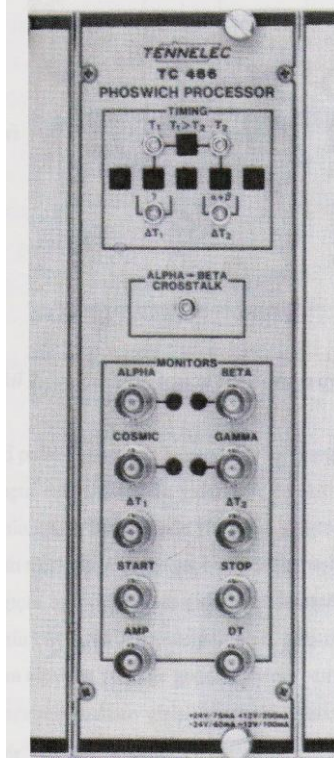
döndürülürse ölü bant oluşmaz. Şekil 4.8' de kabul edilmeyen puls görülmektedir (Anonim 1989b).



Şekil 4.8. Alfa-Beta karışması denetimi; (a) saat yelkovanının ters yönünde tam olarak döndürüldüğü zaman alfa düzeyinin en altı ve beta düzeyinin en üstü arasında hiçbir ölü bant oluşmaz, (b) saat yelkovanı yönünde döndürüldüğünde bir ölü bant oluşur. Puls yüksekliği ölü bant içine düşen puls sayılmaz (Yalçın 1999)

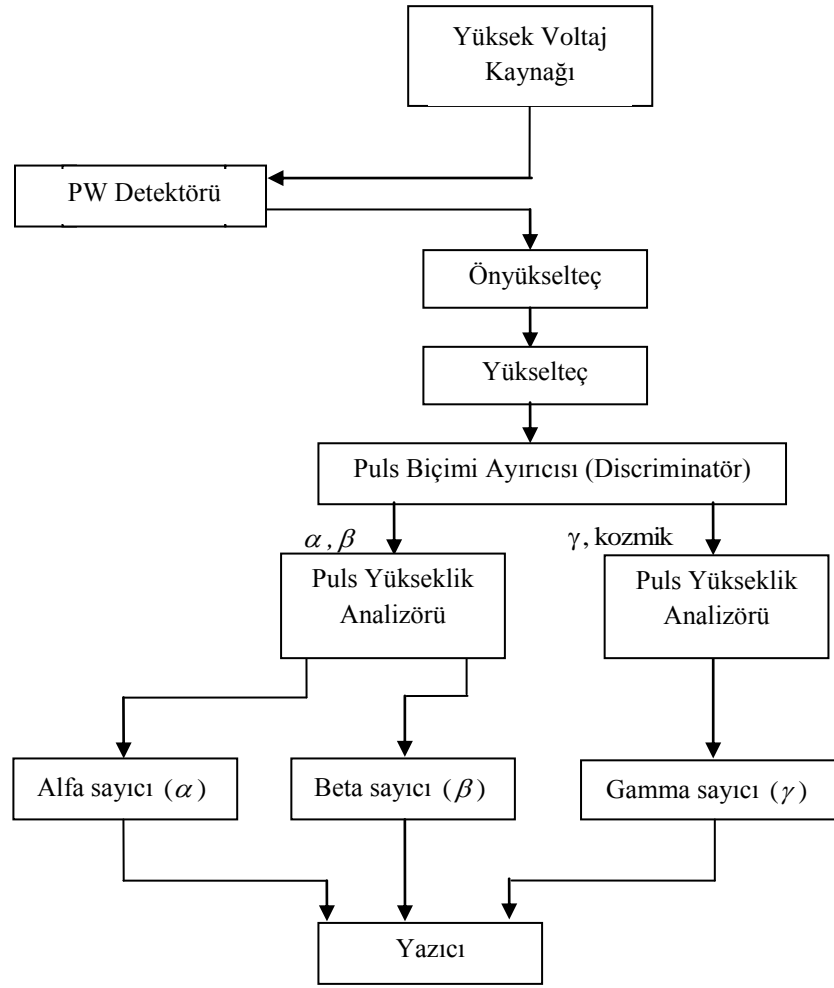
PW detektöründen gelen pulsarı sınıflamak için gerekli işlevlerin hepsini yerine getiren elektronik düzenek olan TENNELEC TC 466 PHOSWICH PROCESSOR Şekil 4.9 da verilmiştir. Bu işlemci düşük doğal fonlu alfa, beta ve gamma sayma sisteminde kullanılmak üzere tasarlanmıştır. TC 466 detektörden gelen pulsarı alfa, beta, gamma ve kozmik radyasyon pulsarı olarak sınıflamak için gerekli önyükselteç, yükselteç,

zamanlayıcı ve ayırıcı devreleri içerir. İki değiştirilebilen zaman penceresi her pulsun 5 ayrı zaman kanalından birine düşmesini sağlar.



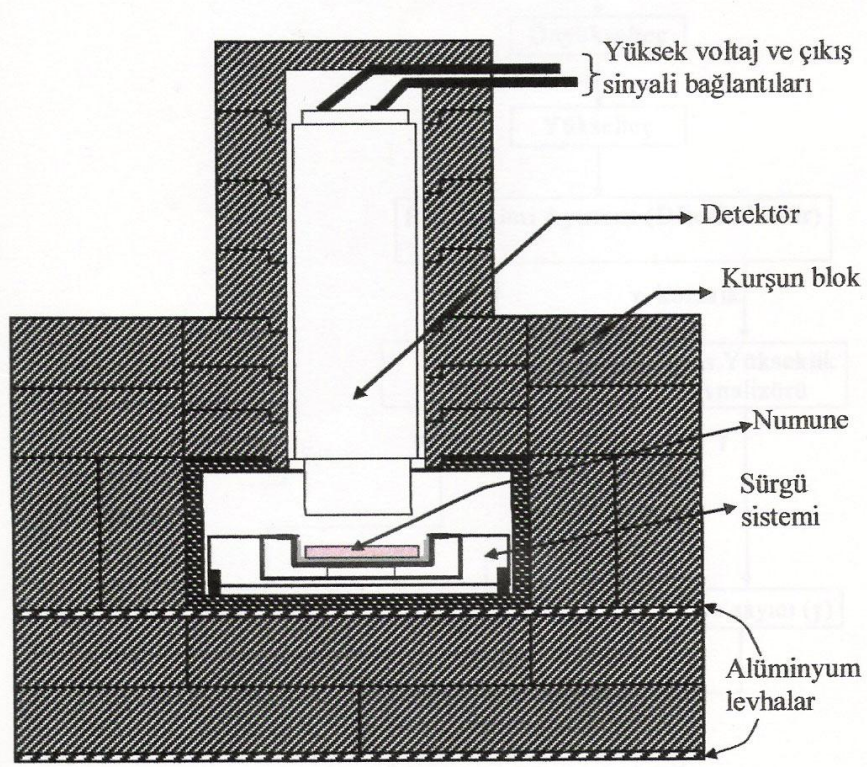
Şekil 4.9. TENNELEC TC 466 PHOSWICH PROCESSOR

Puls biçim ayırıcısında ayrılan alfa/beta pulsarı, kendi aralarında ayrılmak üzere bir “puls yükseklik analizörü”nde değerlendirilir. Alfa parçacıklarına göre daha küçük kütleye sahip olan beta parçacıkları alfa parçacıklarına göre daha az sintilasyona sebep olur. Bunun sonucunda beta parçacıkları alfa parçacıklarına göre daha küçük puls boyuna sahip olur. Böylece puls boyu analizi ile alfa ve beta pulsarı birbirinden ayrılır. Aynı şekilde gamma/kozmetik radyasyon pulsarı da kendi aralarında ayrılmak üzere puls yükseklik analizöründe değerlendirilir ve birbirinden ayrılır. Ayrılan alfa pulsarı alfa sayıcısına, beta pulsarı beta sayıcısına, gamma pulsarı gamma sayıcısına gönderilerek sayılır. Sayma sisteminin blok diyagramı Şekil 4.10’ da verilmiştir.



Şekil 4.10. Sayma sisteminin blok diyagramı

PW detektörü OFHC bakır içine yerleştirilmiştir. Detektörün dış kısmı doğal fonu düşürmek amacıyla Şekil 4.11’ de görüldüğü gibi 4 inçlik kurşun bloklarla çevrilmiştir. Kurşun bloklar dışarıdan radyasyon girişini engellerken X-ışını üretirler. Üretilen bu X-ışınları OFHC bakır tarafından soğrulur. Böylece doğal fon daha fazla düşürülmüş olur. Örnek detektöre sürgü sistemiyle yerleştirilir.



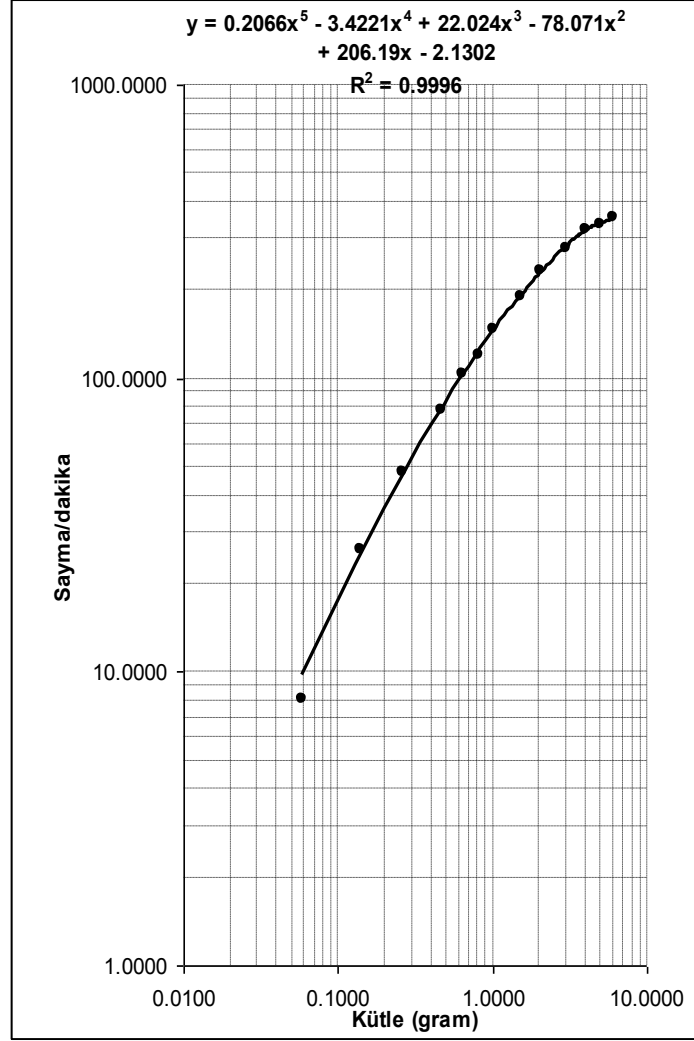
Şekil 4.11. PW detektörünün doğal fonu düşürmek için dış ortamdaki yalıtılması (Yalçın 1999)

4.4. Beta Aktivitesi İçin Sayım Sisteminin Kalibrasyonu

Detektörden elde edilen değerler, sayma değerleridir. Sayma değerlerinden aktiviteye geçebilmek için, sayım sisteminin kalibre edilmesi gerekmektedir. Aktivitenin belirlenmesi için detektörün toplam veriminin bilinmesine ihtiyaç vardır. Deneysel olarak toplam verimin bulunmasında, aktivitesi kesin bilinen standart örneğe gereksinim vardır.

Toprak örneklerinin beta aktivitelerinin belirlenmesi KCl (potasyum klorür) yardımıyla yapılmıştır (EPA 1976, HASI 1979). KCl izotopik bolluğu % 0.01178 olan ^{40}K izotopunu içermektedir. ^{40}K , β ve γ yayınlıdır. Hazırlanan toprak örneklerinin bağıl beta aktivitesi, toprak örneği ile aynı kütledeki KCl' den alınan sayma oranı ile karşılaştırılarak bulunmuştur.

KCl' ün belli kütlelerine karşılık gelen saymalar Microsoft-Excel yardımıyla fit edilmiştir. Şekil 4.12' de KCl' ün kütle-sayma hızı grafiği ve fit fonksiyonu verilmiştir.



Şekil 4.12. KCl' ün kütle-sayma hızı grafiği

4.5. KCl' ün Aktivitesinin Hesaplanması

Toprak örneklerinin beta aktivitesini belirlemek için kullanılan, m gram KCl' ün verdiği beta aktivitesi,

$$C(Bq) = \frac{S D m N_A h \lambda \eta}{A_K} \quad (4.1)$$

bağıntısıyla verilir (Yalçın 1992).

Burada,

S : KCl' ün kimyasal saflığı (%99,8)

D : Numune içindeki potasyum derişimi

$$D = \frac{A_K}{A_K + A_{Cl}} \quad (4.2)$$

m : Numune kütlesi (g)

N_A : Avogadro sayısı ($6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$)

A_K : Potasyumun atom ağırlığı (39,0983 g/mol)

A_{Cl} : Klorun atom ağırlığı (35,453 g/mol)

h : ^{40}K ' in doğal izotopik bolluğu (% 0.0117)

λ : ^{40}K ' in bozunma sabiti ($1,72 \times 10^{-17} \text{ s}^{-1}$)

η : β geçişinin ^{40}K bozunumundaki oranı (% 89.33)

Sayısal değerler yerine konulursa, m gram KCl' ün verdiği aktivite, $14,487 \times m$ olarak bulunur. Buradan KCl' ün gram başına beta aktivitesi,

$$C = 14,487 \text{ Bq/g} \quad (4.3)$$

ile verilir.

4.6. Toprak Örneklerinin Beta Aktivitelerinin Bulunması

Her birinin kütlesi yaklaşık olarak 4 gram olan toprak örneklerinin, 5,20 cm çapındaki planşetlerin içinde Bölüm 4.3' te özellikleri verilen Phoswich detektörü kullanılarak alfa, beta ve gamma sayım değerleri bulunmuştur. Toprak örneklerinin beta aktiviteleri, aynı kütledeki KCl' ün verdiği beta sayma hızı ile karşılaştırılarak

$$\text{Beta Aktivitesi (Bq / g)} = 14,487 \times \frac{N_s}{N_k} \quad (4.4)$$

bağıntısıyla hesaplanmıştır. Burada N_s , toprak örneğinin net beta sayma hızı, N_k ise toprak örneği ile aynı kütledeki KCl' ün net beta sayma hızıdır. Toprak örneği ile aynı miktardaki KCl' ün sayma hızı değeri, Şekil 4.12' de verilen fit fonksiyonu yardımıyla bulunup (4.4) bağıntısında yerine konulmuştur.

4.7. Çalışmada Kullanılan Gamma Spektrometre Sistemi

Çalışmada toprak örneklerinin gamma spektrometrik analizleri Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü' nde yapılmıştır. İncelenen toprak örneklerinin aktivitelerinin belirlenmesinde kullanılan gamma spektrometre sistemi % 25 relatif verime sahip 184 cc EG&G Ortec HpGe koaksiyel detektör (^{60}Co ' ın 1 332 keV gamma enerjisi için FWHM değeri 1,83 keV ve pik/compton oranı 57:1), Ortec Model-671 spektroskopi amplifikatörü, Canberra PC bazlı MCA (8K) ve Wilkinson ADC' den oluşmuş ve 10 cm kurşun ile zırhlanmıştır.

4.8. Çalışmada Kullanılan Radyometrik Standartlar

Mutlak aktivite ölçümleri, detektör verimi ve geometri hesapları kullanılarak yapılmaktadır. Ancak doğal örneklerin çoğunlukla düşük spesifik aktiviteleri nedeniyle, maksimum sayma hızı için büyük hacimli örnek ve yakın sayma geometrisi tercih edilmektedir. İlgili her bir geometri için sertifikalı materyallerden hazırlanan standartların kullanılması gerekmektedir (Yaprak 1995).

Bu çalışmada, 1 litre Marinelli geometrisi için, toprak örnekleriyle aynı geometride ve aynı kimyasal bileşenlere sahip IAEA sertifikalı (S-7) uranyum gamma standardı (108 ± 10 ppm; $^{226}\text{Ra} = 1\,334 \pm 123$ Bq/kg), Merck markalı toryum gamma standardı (155 ± 16 ppm; $^{232}\text{Th} = 631 \pm 65$ Bq/kg), Merck markalı KCl' den hazırlanan potasyum gamma standardı ($5,2 \pm 0,05$; $^{40}\text{K} = 1\,609 \pm 16$ Bq/kg) ve sezyum gamma standardı ($^{137}\text{Cs} = 1\,000 \pm 40$ Bq/kg; Amersham) kullanılmıştır.

Gamma spektrometresinin enerji kalibrasyonu ^{137}Cs , ^{54}Mn , ^{22}Na , ^{60}Co referans nokta kaynakları (Amersham gamma kaynağı kiti, 1992) kullanılarak yapılmıştır.

4.9. ^{226}Ra ve ^{232}Th Aktivitesinin Tayini

Bir bozunum zincirinde ana çekirdeğin ortalama ömrünün, serideki bozunma ürünlerine göre çok uzun olması durumunda ($\tau_1 \gg \tau_2, \tau_3, \dots, \tau_n$), belli bir süre sonunda bozunma zincirindeki bir ürünün bozunma hızı, oluşum hızına eşit olmaktadır. Aşağıdaki eşitlikle verilen bu durum, radyoaktif bozunma serileri için kalıcı denge koşuludur (Gilmore 2008).

$$\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2 = \lambda_3 N_3 = \dots = \lambda_n N_n$$

Bu bağıntı, bozunma zincirinde ürün aktivitesini ölçerek, ana çekirdek aktivitesinin bulunabileceğini ifade eder. Ancak böyle bir ölçmenin yapılabilmesi için gerekli koşul, kalıcı dengenin bozulmamış olmasıdır. Ana çekirdeğin veya ürünlerin bir veya birden fazlasının herhangi bir yolla kaybedilmesi durumunda yukarıda verilen eşitlik geçersiz olur. Bir radyoaktif seride denge bozulmuş ise, ana çekirdek ile bozunma ürünleri arasında radyoaktif dengenin yeniden sağlanması için gereken süre, o serinin en uzun yarı ömürlü ürününe bağlıdır (Yaprak 1995).

Uranyum bozunma zincirindeki radyoaktif denge, seride yer alan iki uzun yarı ömürlü radyonüklid ^{234}U ($t_{1/2}=2,4 \times 10^5$ yıl) ve ^{230}Th ($t_{1/2}=7,4 \times 10^4$ yıl) nedeniyle 10^6 yıldan daha fazla zaman alırken, toryum zincirindeki radyoaktif denge yaklaşık 40-50 yılda kurulur. Bunun nedeni toryum serisindeki ürünlerin uranyum serisindeki ürünlere göre çok daha kısa yarı ömürlü olmalarıdır. Herhangi bir metamorfik olay ile toryum serisi dağılmış olsa bile, geçici bir dengesizlikten sonra seri, kısa sürede denge durumuna döner (Yaprak ve Yener 1990).

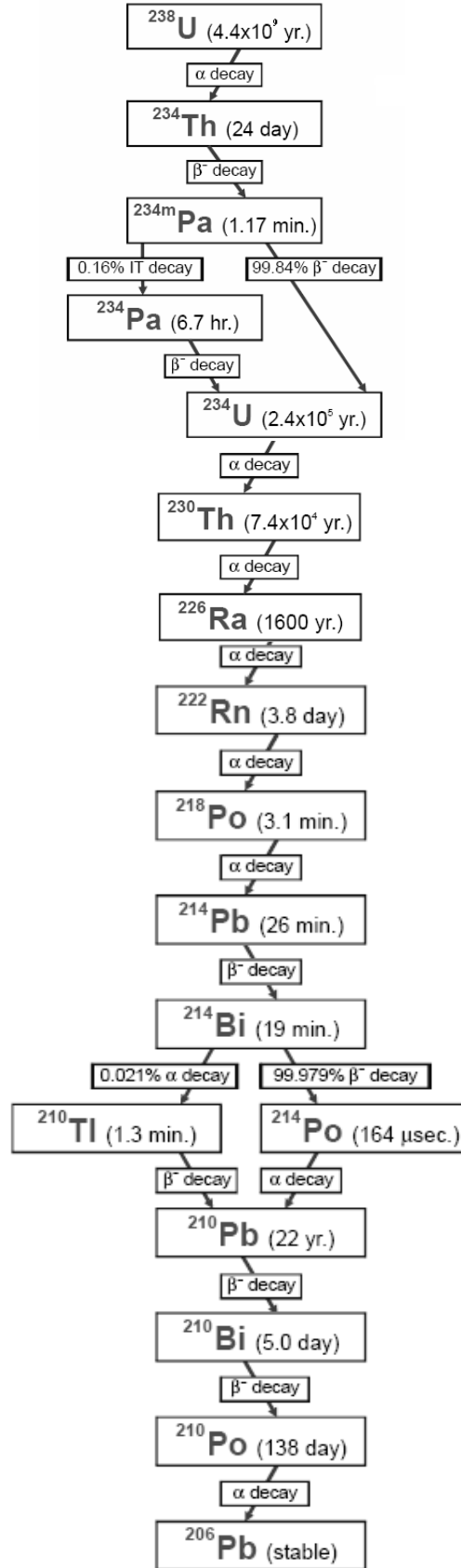
Toryum serisinin aksine, uranyum serisindeki uzun yarı ömürlü bozunma ürünleri nedeniyle, ürünlerden birinin veya birkaçının kaybedilmesiyle bozulan denge kolay tamir edilemez ve radyometrik dengesizlik oluşur. Uranyum ve bozunma ürünlerinin

aynı ortamda farklı fiziksel ve kimyasal davranışlar göstermesi bu dengesizliğin en önemli nedenidir. Uranyum zincirindeki ilk kırılma ^{230}Th ' dan kaynaklanır. U-Th kimyasındaki farklılık ve ^{230}Th ' un uzun yarı ömrü bu dengesizliğin en büyük nedenidir. Uranyum zincirindeki ikinci önemli kırılmayı ise 1600 yıl yarı ömürlü ^{226}Ra ve bozunum ürünü ^{222}Rn oluşturur. ^{222}Rn 3,85 gün yarı ömürlü asal bir gazdır ve gözenekli ortamda örnekten kaçma olasılığı çok yüksektir. Radonun kaçma olasılığından dolayı jeolojik örneklerde ^{238}U ve ^{226}Ra ' nın radyoaktif olarak dengede olmamasından kaynaklanan bir problem vardır.

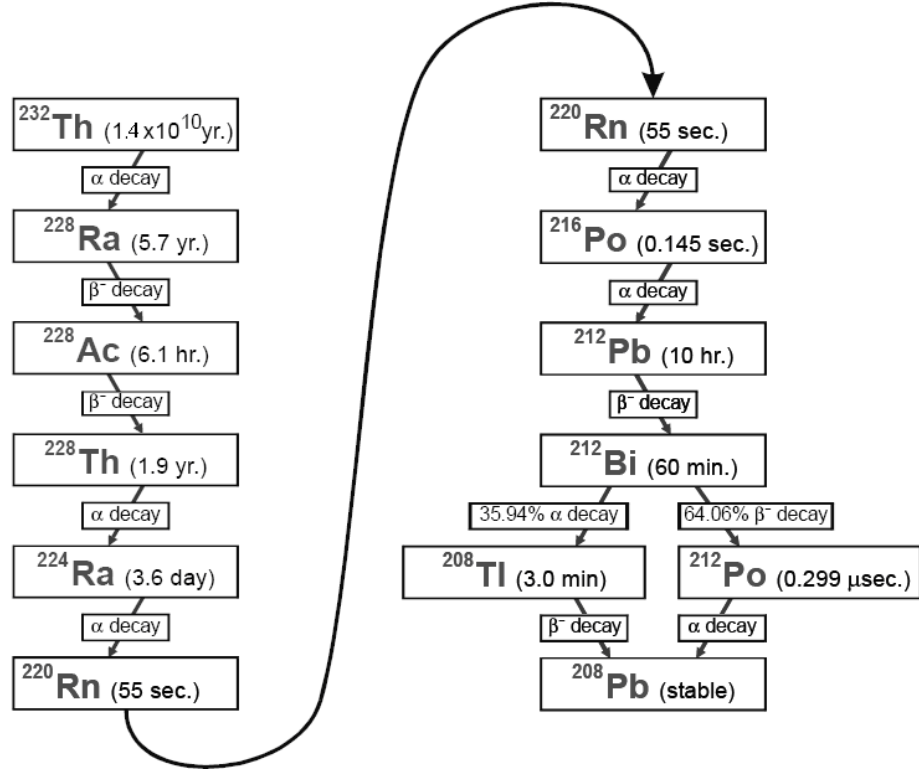
Uranyum bozunma zincirinde ^{238}U ($t_{1/2}=4,4 \times 10^9\text{y}$)' in ilk bozunum ürünü olan ^{234}Th ($t_{1/2}=24$ gün) kısa yarı ömrü nedeniyle uranyumla daima dengededir. Bu nedenle ^{234}Th ' ün 63,3 keV ve 92,6 keV enerjili gamma pikleri ölçülerek doğrudan ^{238}U ' in aktivitesi bulunabilmektedir (Yaprak ve Yener 1992). Ancak düşük gamma enerjilerinde self absorpsiyon etkisi ve Compton katkısı nedeniyle önemli bir problem ortaya çıkmaktadır. Uranyum ve toryumun gamma spektrometrik ölçümlerinde, genelde her iki serinin, enerji değeri büyük ve yayınlanma olasılığı yüksek ürünlerinin gammaları kullanılmaktadır (Yaprak ve Yener 1988, Yaprak 1995).

Jeolojik örneklerde ^{238}U ' in aktivite ölçümleri arasında en çok kullanılanı ^{214}Bi ' ün 1 764 keV değerli gamma pikinin dedeksiyonuna dayanır. ^{214}Bi , uranyum serisinde ^{226}Ra ' nın bozunumu sonucu oluşur. Bu nedenle ^{226}Ra ve onun bozunma ürünlerinin dengeye gelmesi için gerekli süre, bir gaz olan ^{222}Rn ($t_{1/2}= 3,85$ gün) ile kontrol edilir. Ra-Rn dengesi, örneklerin sızdırmayan kapalı kaplarda yaklaşık bir ay süreyle bekletilmesiyle sağlanmaktadır (Gilmore 2008).

Şekil 4.13' te uranyum bozunma zinciri, Şekil 4.14' te ise toryum bozunma zinciri görülmektedir.



Şekil 4.13. Uranyum bozunma zinciri (Heath 1998)



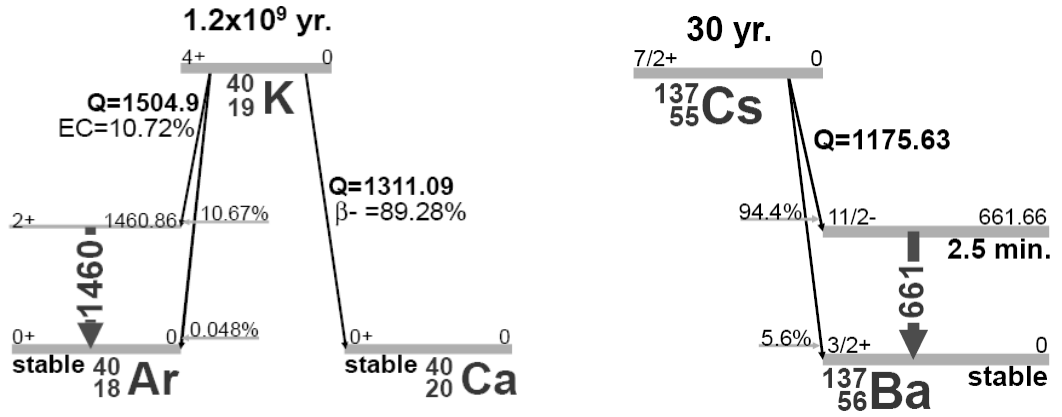
Şekil 4.14. Toryum bozunma zinciri (Heath 1998)

Sonuç olarak, uranyumun gamma spektrometrik ölçümlerinde, gerçekte ölçülen ^{226}Ra aktivitesidir. Bu sebeple, örneklerde U-Ra dengesi varsayılarak bulunan aktivite, eşdeğer uranyum aktivitesi (eU) veya ^{226}Ra aktivitesi olarak verilmelidir.

Örneklere ^{232}Th 'nin aktivitesi ise, serideki ^{208}Tl 'in 2 615 keV enerjili gamma piki ile bulunur. Uranyum serisinin aksine, toryum serisinde radyometrik dengesizlik çok yaygın olmadığından, ürün aktivitesinin, ^{232}Th 'nin aktivitesi olarak ifade edilmesi sorun yaratmamaktadır.

4.10. ^{40}K ve ^{137}Cs Aktivitesinin Tayini

Örneklere ^{40}K 'in aktivitesi kendi karakteristik gamması olan 1 460 keV enerjili gamma piki, ^{137}Cs aktivitesi ise yine kendi karakteristik gamması olan 661,7 keV gamma piki kullanılarak doğrudan tayin edilmektedir. ^{40}K ve ^{137}Cs 'nin bozunum şemaları Şekil 4.15' te verilmiştir.



Şekil 4.15. ^{40}K ve ^{137}Cs bozunma şemaları (Heath 1998)

4.11. Minimum Dedekte Edilebilen Aktivite

Düşük aktiviteye sahip örneklerin ölçümlerinde, kullanılan tekniğin algılama ve saptama sınırının belirlenmesi büyük önem kazanır. Bir gamma spektrumunda minimum dedekte edilebilen aktivite (MDA), doğal fon sayımlarından ayırt edilebilen pik oluşması durumudur (Yaprak 1995). Çalışılan laboratuvar koşullarında sistem tarafından algılanabilecek minimum detekte edilebilen aktiviteler Currie (1968) kriterlerine dayalı olarak aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$MDA = \frac{2,71 + 3,29 \sqrt{\mu_B}}{K} \quad (4.5)$$

Bu eşitlikte μ_B , doğal fon sayımı, K ise kullanılan gamma spektrometre sisteminde elde edilen saymalardan Bq/kg biriminde aktiviteye geçmeyi sağlayan Çizelge 4.2' de verilen kalibrasyon sabitleridir (K_{Ra} , K_{Th} , K_K , K_{Cs}). Currie (1968) kriterlerine dayalı olarak kullanılan gamma spektrometre sisteminin 10 000 s' de ölçebileceği MDA değerleri Çizelge 4.2' de verilmiştir. Radyometrik sayım hatasının toprak örneklerinde % 10' u geçmediği gözlenmiştir.

Çizelge 4.2. Kullanılan gamma spektrometre sisteminde kalibrasyon sabitleri ve MDA değerleri

Radyonüklid	Kalibrasyon Sabiti (10 000 s için) (Sayma/Bqkg ⁻¹)	MDA (Bq/kg)
²¹⁴ Bi: 1 764 keV	$K_{Ra} = 12,7$	2
²⁰⁸ Tl: 2 615 keV	$K_{Th} = 25,4$	1
⁴⁰ K: 1 460 keV	$K_K = 11,2$	4
¹³⁷ Cs: 661,7 keV	$K_{Cs} = 213$	0,01

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

5.1. Phoswich Detektörü ile Toprak Örneklerinin Beta Aktivitelerinin Bulunması

Örnekler sayılmadan önce doğal fonu belirlemek için boş bir planşet, detektör sistemine yerleştirilerek sayımlar alınmıştır. Bulunan doğal fon ölçüm sonuçlarının ortalama değerleri Çizelge 5.1’ de verilmiştir. Elde edilen sayım sonuçlarından doğal fon için bulunan değerler çıkarılarak, toprak örneklerinin alfa, beta ve gamma net sayım sonuçları bulunmuştur. Net sayım sonuçları Çizelge 5.2’ de verilmiştir.

Bölüm 4.6’ da verilen (4.4) denklemi kullanılarak toprak örneklerinin net beta sayım değerlerinden, Bq/kg biriminde beta aktiviteleri hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler Çizelge 5.3’ te, ilçelerin ortalama beta aktiviteleri ise Çizelge 5.4’ te verilmiştir. Toprak örneklerinin beta aktiviteleri için frekans dağılımı ve istatistiksel sonuçlar Şekil 5.1’ de verilmiştir. Enlem ve boylama göre beta aktivitelerinin dağılımı ise Şekil 5.2’ de görüldüğü gibidir. 108 toprak örneğinin ortalama beta aktivitesi 556 Bq/kg (Medyan değeri) bulunmuştur. Ölçüm sonuçlarına göre en düşük beta aktivitesi 46 ± 9 Bq/kg değerinde olup Harmancık-Çakmak’ tan, en yüksek beta aktivitesi $2\ 780 \pm 302$ Bq/kg değerinde olup Büyükşehir-Karalar’ dan alınan toprak örneğinde gözlenmiştir. Yine ilçe ortalamalarına bakıldığında en yüksek ortalama beta aktivitesi $1\ 181 \pm 294$ Bq/kg değeri ile Büyükşehir ilçesine aittir. Örnekleme noktaları Şekil 5.3’ te görülmektedir.

Çizelge 5.1. Doğal fon ortalama değerleri

	alfa (sayma/dakika)	beta (sayma/dakika)	gamma (sayma/dakika)
ortalama	$0,0372 \pm 0,0012$	$1,1376 \pm 0,0417$	$17,4564 \pm 0,1459$

Çizelge 5.2. Toprak örnekleri net sayım sonuçları

ÖRNEK ADI	alfa (sayma/dak)	Hata (alfa)	beta (sayma/dak)	Hata (beta)	gamma (sayma/dak)	Hata (gamma)
Gemlik-Adliye	0,00	0,00	15,64	0,25	16,32	0,45
Gemlik-Küçükkumla	0,05	0,01	17,94	0,26	18,87	0,30
Gemlik-Kurşunlu	0,07	0,01	15,54	0,22	15,89	0,51
Gemlik-Cihatlı	0,00	0,01	7,79	0,34	9,11	0,46
Mudanya-Dedeköy	0,00	0,00	11,51	0,36	11,71	0,27
Mudanya-Çayönü	0,00	0,00	13,92	0,19	15,06	0,24
Mudanya-Yalıçiftlik	0,00	0,00	12,69	0,28	13,18	0,52
Mudanya-Çağrısan	0,01	0,02	10,80	0,20	11,51	0,30
Osmangazi-Ovaakça	0,00	0,01	9,21	0,18	10,01	0,33
Osmangazi-Hüseyinalan	0,00	0,02	6,90	0,34	7,41	0,28
Osmangazi-Milliparkyolu2	0,00	0,00	15,49	0,20	16,37	0,38
Osmangazi-Soğukpınar	0,00	0,00	7,18	0,11	7,02	0,37
Osmangazi-Oteller	0,00	0,01	26,73	0,05	27,75	0,17
Osmangazi-Milliparkyolu1	0,00	0,02	5,68	0,14	5,27	0,23
Nilüfer-Görükle	0,00	0,02	10,45	0,18	10,86	0,24
Nilüfer-Gölyazı	0,00	0,00	3,34	0,22	4,10	0,47
Nilüfer-Maksempınar	0,00	0,00	15,79	0,18	17,48	0,57
Nilüfer-Çalı	0,00	0,00	7,69	0,15	8,39	0,36
Karacabey-Yolağzı	0,00	0,00	16,67	0,35	17,24	0,39
Karacabey-Taşpınar	0,01	0,02	10,32	0,31	10,86	0,42
Karacabey-Gölkıyı	0,02	0,00	9,12	0,13	9,95	0,17
Karacabey-Merkez Girişi	0,00	0,00	16,70	0,28	17,36	0,38
Karacabey-Karasu	0,01	0,02	11,70	0,26	11,85	0,55
Karacabey-Sultaniye	0,03	0,04	16,44	0,11	16,97	0,25
Karacabey-Şahinmelek	0,00	0,00	12,30	0,15	12,74	0,26
Karacabey-Subaşı	0,00	0,00	9,39	0,26	10,69	0,46
Karacabey-Dağkadı	0,00	0,00	10,96	0,27	11,19	0,28
Karacabey-Akçasusurluk	0,00	0,00	10,75	0,09	11,58	0,28
Karacabey-Çeşnigir	0,00	0,00	10,75	0,28	11,58	0,28
Karacabey-Boğazköy	0,00	0,00	13,33	0,40	13,83	0,53
M.Kemalpaşa-Sincansarnıç	0,00	0,02	11,96	0,24	12,98	0,35
M.Kemalpaşa-Kavaklı	0,00	0,02	14,38	0,24	15,09	0,33
M.Kemalpaşa-Uğurlupınar	0,00	0,00	10,28	0,17	10,49	0,30
M.Kemalpaşa-Hisaraltı	0,00	0,00	13,74	0,35	14,01	0,59
M.Kemalpaşa-Aliseydi	0,00	0,00	12,15	0,16	12,03	0,38

Çizelge 5.2. Toprak örnekleri net sayım sonuçları (devam)

ÖRNEK ADI	alfa (sayma/dak)	Hata (alfa)	beta (sayma/dak)	Hata (beta)	gamma (sayma/dak)	Hata (gamma)
M.Kemalpaşa-Kurşunlu	0,00	0,00	21,42	0,30	22,50	0,46
M.Kemalpaşa-Güven	0,00	0,00	9,32	0,25	10,16	0,30
M.Kemalpaşa-Döllük	0,02	0,01	14,77	0,35	14,75	0,50
M.Kemalpaşa-Ağaçlı	0,00	0,00	12,64	0,23	13,26	0,31
M.Kemalpaşa-Yenikızılelma	0,00	0,00	10,16	0,25	10,20	0,37
M.Kemalpaşa-Tepecik	0,00	0,00	16,38	0,19	16,88	0,19
M.Kemalpaşa-Çivilicam	0,00	0,00	10,04	0,20	9,86	0,38
M.Kemalpaşa-Çaltılıbük	0,00	0,02	16,93	0,25	17,49	0,65
M.Kemalpaşa-Kösehoroz	0,04	0,02	13,80	0,19	14,33	0,33
M.Kemalpaşa-Muradiyesarnıç	0,00	0,02	24,28	0,22	25,74	0,37
M.Kemalpaşa-Ocaklı	0,00	0,00	16,48	0,35	17,60	0,62
M.Kemalpaşa-Paşalar	0,00	0,00	18,36	0,51	18,68	0,37
M.Kemalpaşa-Çamlıca	0,00	0,00	12,52	0,17	12,81	0,30
İznik-Elbeyli	0,02	0,03	12,62	0,31	13,19	0,21
İznik-Mustafalı	0,03	0,02	10,68	0,25	10,55	0,32
İznik-Drazalı	0,00	0,02	10,56	0,16	11,52	0,24
İznik-Mecidiye	0,02	0,02	6,61	0,17	6,74	0,23
İznik-Boyalıca	0,00	0,00	9,68	0,17	9,57	0,33
İznik-Haciosman	0,00	0,00	6,86	0,21	6,60	0,32
Büyükorhan-Kınık	0,02	0,02	16,05	0,39	17,66	1,32
Büyükorhan-Karalar	0,05	0,03	61,91	1,00	66,78	0,90
Büyükorhan-Durhasan	0,02	0,02	29,29	0,11	31,59	0,41
Büyükorhan-Geynik	0,02	0,01	25,52	0,51	26,44	0,42
Büyükorhan-Aktaş	0,00	0,00	27,43	0,36	28,60	0,52
Büyükorhan-Ballıoğlu	0,01	0,01	12,32	0,22	12,93	0,17
Büyükorhan-Hacılar	0,00	0,00	11,29	0,13	11,56	0,35
Harmancık-Çakmak	0,00	0,00	1,02	0,10	0,93	0,19
Harmancık-Karaca	0,00	0,00	5,77	0,17	5,86	0,27
Harmancık-Dutluca	0,00	0,00	8,82	0,30	8,91	0,38
Harmancık-Okçular	0,00	0,00	12,31	0,30	12,36	0,36
Yıldırım-Vakıfköy	0,00	0,00	9,60	0,36	10,21	0,49
Gürsu-Dışkaya	0,00	0,00	13,73	0,43	14,15	0,54
Orhaneli-Erenler	0,00	0,00	7,62	0,20	7,51	0,29

Çizelge 5.2. Toprak örnekleri net sayım sonuçları (devam)

ÖRNEK ADI	alfa (sayma/dak)	Hata (alfa)	beta (sayma/dak)	Hata (beta)	gamma (sayma/dak)	Hata (gamma)
Orhaneli-Tepecik	0,01	0,02	15,12	0,11	15,78	0,39
Orhaneli-Dünder	0,00	0,00	14,71	0,23	16,17	0,41
Orhaneli-Çeki	0,00	0,00	8,56	0,17	8,54	0,38
Orhaneli-Şükriye	0,00	0,00	15,99	0,23	16,35	0,49
Orhaneli-Karınca	0,00	0,00	7,98	0,08	7,79	0,33
Orhaneli-Topuk	0,00	0,00	12,06	0,30	12,29	0,37
Orhaneli-Serçeler	0,00	0,00	13,38	0,21	13,93	0,26
Yenişehir-Karabahadır	0,00	0,00	8,02	0,29	8,19	0,38
Yenişehir-Hayriye	0,01	0,02	7,66	0,21	7,88	0,41
Yenişehir-Ayaz	0,00	0,00	12,00	0,23	12,31	0,27
Yenişehir-Çiçeközü	0,00	0,00	5,52	0,17	5,34	0,32
Yenişehir-Hamidiye	0,01	0,03	13,65	0,38	14,62	0,28
Yenişehir-Barçın	0,00	0,00	10,80	0,17	10,85	0,20
Yenişehir-Subaşı	0,00	0,00	4,21	0,26	3,98	0,44
Yenişehir-Kavaklı	0,00	0,00	12,49	0,20	12,83	0,33
Keles-Kozbudaklar	0,05	0,01	14,18	0,22	14,97	0,32
Keles-Durak	0,03	0,02	12,39	0,52	12,94	0,60
Keles-Harmanalan	0,06	0,01	14,34	0,43	14,74	0,56
Keles-Gelemiş	0,02	0,03	7,14	0,20	7,48	0,36
Keles-Kocayayla	0,03	0,01	15,43	0,27	16,38	0,42
Keles-Baraklı	0,00	0,00	16,84	0,14	17,11	0,44
İnegöl-Fevziye	0,00	0,00	7,78	0,20	7,92	0,34
İnegöl-İsaören	0,02	0,02	12,58	0,29	12,65	0,25
İnegöl-Kıranköy	0,00	0,00	13,21	0,34	13,61	0,51
İnegöl-Lütfiye	0,05	0,01	23,55	0,28	24,14	0,32
İnegöl-Şehitler	0,00	0,00	17,02	0,32	17,66	0,45
İnegöl-Saadet	0,00	0,00	18,12	0,27	18,91	0,42
İnegöl-Kulaca	0,00	0,00	15,94	0,30	16,91	0,27
İnegöl-Aşağıballık	0,01	0,02	13,78	0,35	14,73	0,52
İnegöl-Tahtaköprü	0,00	0,00	13,10	0,28	13,75	0,29
Kestel-Dudaklı	0,00	0,00	14,59	0,20	15,12	0,42
Kestel-Saitabat	0,00	0,00	7,09	0,26	7,06	0,30
Kestel-Babasultan	0,00	0,00	6,21	0,21	7,66	0,61
Kestel-Burhaniye	0,00	0,00	15,00	0,29	15,14	0,32
Kestel-Şevketiye	0,00	0,00	7,15	0,22	7,35	0,42
Kestel-Soğuksu	0,02	0,01	14,02	0,15	14,68	0,37

Çizelge 5.2. Toprak örnekleri net sayım sonuçları (devam)

ÖRNEK ADI	alfa (sayma/dak)	Hata (alfa)	beta (sayma/dak)	Hata (beta)	gamma (sayma/dak)	Hata (gamma)
Orhangazi-Çeltikçi	0,00	0,00	9,17	0,13	10,16	0,27
Orhangazi-Üreğil	0,00	0,00	6,96	0,16	6,95	0,19
Orhangazi-Gürle	0,00	0,00	9,21	0,17	9,69	0,33
Orhangazi-Sölöz	0,00	0,00	13,47	0,37	14,13	0,48

Çizelge 5.3. Toprak örnekleri beta aktivite sonuçları

Örnek Adı	Beta Aktivitesi (Bq/kg)	Hata
Gemlik-Adliye	705	76
Gemlik-Küçükkumla	633	64
Gemlik-Kurşunlu	647	68
Gemlik-Cihatlı	341	46
Mudanya-Dedeköy	525	65
Mudanya-Çayönü	627	66
Mudanya-Yalıçiftlik	571	65
Mudanya-Çağrısan	488	54
Osmangazi-Ovaakça	415	46
Osmangazi-Hüseyinalan	313	45
Osmangazi-Milliparkyolu2	702	74
Osmangazi-Soğukpınar	322	35
Osmangazi-Oteller	1199	113
Osmangazi-Milliparkyolu1	256	30
Nilüfer-Görükle	474	52
Nilüfer-Gölyazı	151	24
Nilüfer-Maksempınar	719	75
Nilüfer-Çalı	348	39
Karacabey-Yolağzı	744	84
Karacabey-Sultaniye	737	73
Karacabey-Taşpınar	458	56
Karacabey-Gölkıyı	415	44
Karacabey-Merkez Girişi	750	82
Karacabey-Karasu	529	61
Karacabey-Şahinmelek	554	58

Çizelge 5.3. Toprak örnekleri beta aktivite sonuçları (devam)

Örnek Adı	Beta Aktivitesi (Bq/kg)	Hata
Karacabey-Subaşı	416	50
Karacabey-Dağkadı	496	58
Karacabey-Akçasusurluk	483	48
Karacabey-Çeşnigir	482	57
Karacabey-Boğazköy	600	74
M.Kemalpaşa-Sincansarnıç	541	61
M.Kemalpaşa-Kavaklı	650	71
M.Kemalpaşa-Uğurlupınar	464	50
M.Kemalpaşa-Hisaraltı	619	73
M.Kemalpaşa-Aliseydi	549	58
M.Kemalpaşa-Kurşunlu	966	103
M.Kemalpaşa-Güven	422	51
M.Kemalpaşa-Döllük	667	78
M.Kemalpaşa-Ağaçlı	566	63
M.Kemalpaşa-Yenikızılelma	456	53
M.Kemalpaşa-Tepecik	735	76
M.Kemalpaşa-Çivilicam	452	51
M.Kemalpaşa-Çaltılıbük	762	82
M.Kemalpaşa-Kösehoroz	619	66
M.Kemalpaşa-Muradiyesarnıç	1090	110
M.Kemalpaşa-Ocaklı	744	85
M.Kemalpaşa-Paşalar	827	100
M.Kemalpaşa-Çamlıca	564	60
İzник-Elbeyli	568	67
İzник-Mustafalı	479	55
İzник-Drazalı	475	51
İzник-Mecidiye	294	35
İzник-Boyalıca	435	48
İzник-Hacıosman	307	38
Büyükorhan-Kınık	724	85
Büyükorhan-Karalar	2780	302
Büyükorhan-Durhasan	1318	127
Büyükorhan-Geynik	1146	128
Büyükorhan-Aktaş	1238	131
Büyükorhan-Ballıoğlu	554	61

Çizelge 5.3. Toprak örnekleri beta aktivite sonuçları (devam)

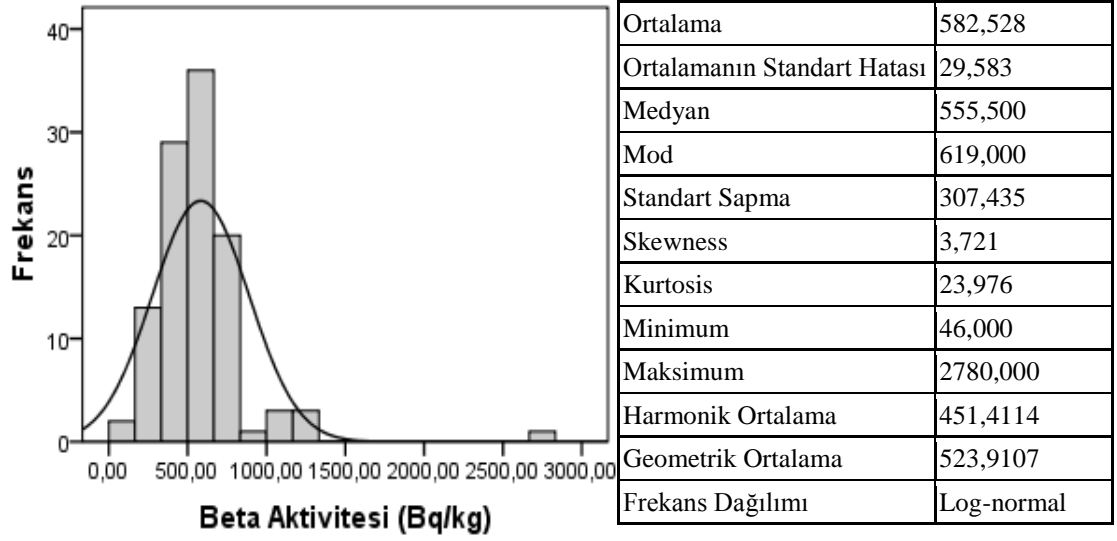
Örnek Adı	Beta Aktivitesi (Bq/kg)	Hata
Büyükorhan-Hacılar	509	53
Harmancık-Çakmak	46	9
Harmancık-Karaca	260	32
Harmancık-Dutluca	397	50
Harmancık-Okçular	555	65
Yıldırım-Vakıfköy	432	56
Gürsu-Dışkaya	617	76
Orhaneli-Erenler	344	41
Orhaneli-Tepecik	679	68
Orhaneli-Dündar	661	72
Orhaneli-Çeki	388	44
Orhaneli-Şükriye	719	77
Orhaneli-Karıncalı	360	37
Orhaneli-Topuk	541	63
Orhaneli-Serçeler	605	66
Yenişehir-Karabahadır	360	46
Yenişehir-Hayriye	347	42
Yenişehir-Ayaz	540	60
Yenişehir-Çiçekközü	248	31
Yenişehir-Hamidiye	614	74
Yenişehir-Barçın	487	53
Yenişehir-Subaşı	190	29
Yenişehir-Kavaklı	562	61
Keles-Kozbudaklar	640	69
Keles-Durak	556	75
Keles-Harmanalan	645	79
Keles-Gelemiş	321	39
Keles-Kocayayla	700	77
Keles-Baraklı	757	76
İnegöl-Fevziye	351	41
İnegöl-İsaören	566	65
İnegöl-Kıranköy	593	70
İnegöl-Lütfiye	1069	112
İnegöl-Şehitler	770	86

Çizelge 5.3. Toprak örnekleri beta aktivite sonuçları (devam)

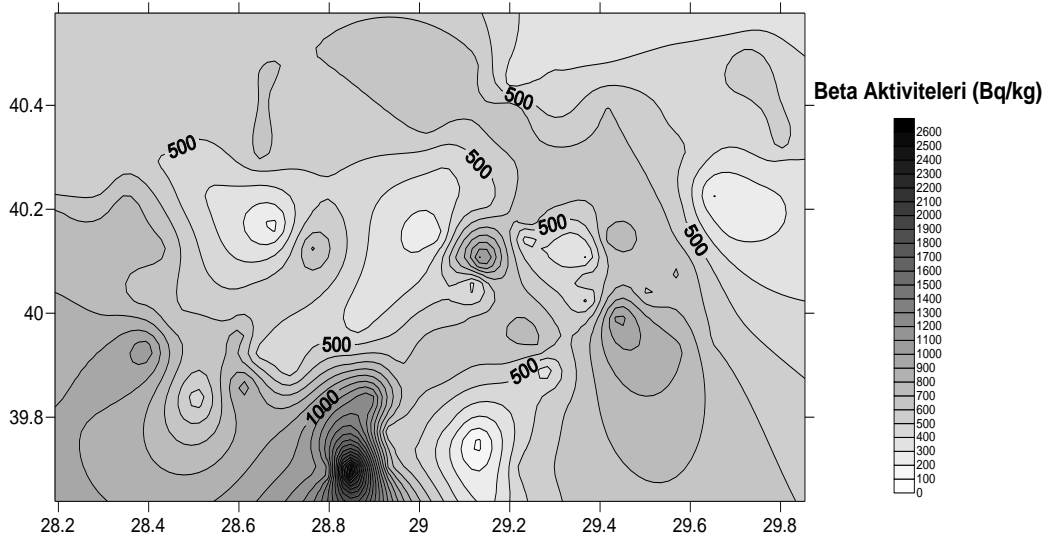
Örnek Adı	Beta Aktivitesi (Bq/kg)	Hata
İnegöl-Saadet	815	87
İnegöl-Kulaca	721	80
İnegöl-Aşağıballık	619	73
İnegöl-Tahtaköprü	590	67
Kestel-Dudaklı	656	70
Kestel-Saitabat	321	42
Kestel-Babasultan	279	35
Kestel-Burhaniye	677	76
Kestel-Şevketiye	322	40
Kestel-Soğuksu	633	65
Orhangazi-Çeltikçi	410	44
Orhangazi-Üreğil	311	36
Orhangazi-Gürle	413	46
Orhangazi-Sölöz	606	73

Çizelge 5.4. İlçe bazında ortalama beta aktivite sonuçları

İlçe Adı	Beta Aktivitesi (Bq/kg)	Hata
Gemlik	581	82
Mudanya	553	30
Osmangazi	534	148
Nilüfer	423	119
Karacabey	555	36
Mustafakemalpaşa	650	43
İznik	426	44
Büyükorhan	1181	294
Harmancık	314	108
Yıldırım	432	56
Gürsu	617	76
Orhaneli	537	54
Yenişehir	418	55
Keles	603	63
İnegöl	677	67
Kestel	481	78
Orhangazi	435	62

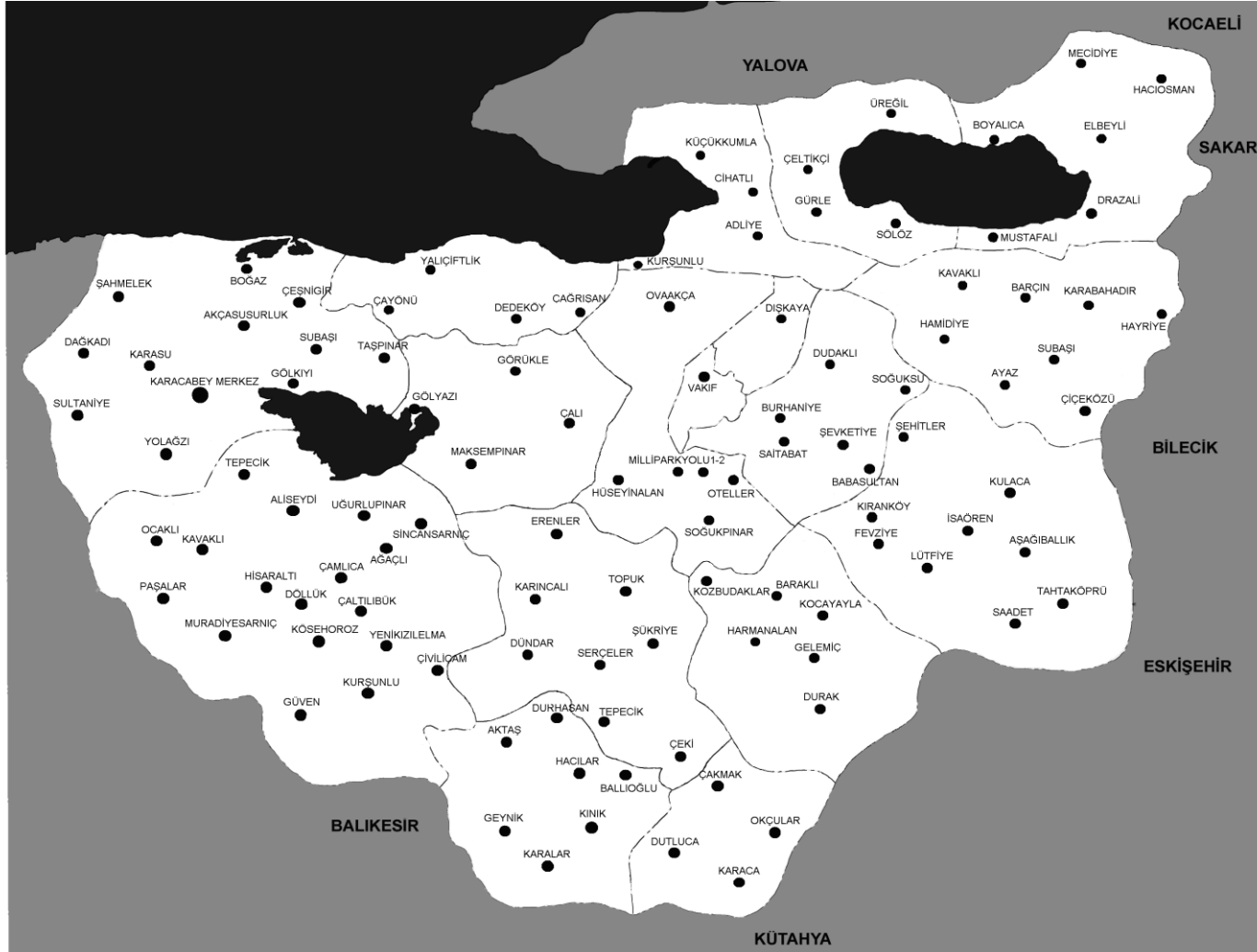


Şekil 5.1. Beta aktivite için frekans dağılımı ve istatistiksel sonuçlar



Şekil 5.2. Bursa ili topraklarının Bq/kg biriminde beta aktivite dağılımı

Şekil 5.3. Örnekleme noktalarını ve ilçe sınırlarını gösteren Bursa ili haritası



5.2. HpGe Detektörü ile Toprak Örneklerinin Radyonüklid Aktivitelerinin Bulunması

Bölüm 4.7’ de özellikleri verilen HpGe detektör kullanılarak, her ilçeden rasgele olarak bir adet olmak üzere, toprak örneklerinin ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyoizotoplarının gamma aktiviteleri bulunmuştur. Yüzölçümlerinin büyük olması nedeniyle Karacabey ve Mustafakemalpaşa ilçelerinden ikişer adet toprak örneğinin gamma aktivitelerine bakılmıştır. Beta aktivitesinin yüksek çıkması ve alınan örnekler içinde 1 788 m ile en büyük yükseklik değerine sahip olması nedeniyle Osmangazi-Oteller bölgesinden alınan toprak örneğinin gamma aktivitesi de ölçülmüştür. Ayrıca beta aktivitelerinin yüksek çıkması ve bölgede geniş bir yayılım alanına sahip granit kayaların bulunması nedeniyle tüm Büyükorhan örneklerinin gamma aktiviteleri incelenmiştir. Toprak örneklerinin ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyoizotoplarının gamma aktiviteleri, Bölüm 3.10’ da anlatılan standart kaynakla karşılaştırma yöntemi kullanılarak bulunmuş ve ölçüm sonuçları Çizelge 5.5’ te verilmiştir. Bölüm 4.8’ de verilen gamma standartları kullanılmıştır.

İncelenen toprak örneklerinde en yüksek doğal radyonüklid aktiviteleri yine Büyükorhan-Karalar örneğinde gözlenmektedir. Çizelge 5.5’ ten de görüldüğü gibi bu örneğin ^{226}Ra aktivitesi 120 ± 3 Bq/kg, ^{232}Th aktivitesi 235 ± 3 Bq/kg ve ^{40}K aktivitesi $1\ 330 \pm 11$ Bq/kg bulunmuştur. Bu değerlerin, Çizelge 3.3’ te verilen ^{226}Ra aktivitesi için 35 Bq/kg, ^{232}Th aktivitesi için 30 Bq/kg ve ^{40}K aktivitesi 400 Bq/kg olan dünya ortalamaları ile kıyaslandığında yüksek olduğu görülmektedir. Osmangazi-Oteller, M.Kemalpaşa-Muradiyesarnıç, Orhaneli-Serçeler, Büyükorhan-Kınık, Büyükorhan-Durhasan, Büyükorhan-Geynik, Büyükorhan-Aktaş, Büyükorhan-Karalar örneklerinin doğal radyonüklid aktiviteleri de dünya ortalamalarına göre yüksektir. Osmangazi-Oteller bölgesinden alınan toprak örneğindeki yüksek doğal radyoaktivite, bölgedeki magmatik kökenli granodiyorit karakterdeki granit kayaçların yer almasıyla (Ketin 1947, Yurdagül 2004, Tut Haklıdır 2007), M.Kemalpaşa-Muradiyesarnıç örneğindeki yüksek doğal radyoaktivite, bölgede granit ve granodiyorit hakim olduğu magmatik kayaçların yer almasıyla (Özsoy 2007), Orhaneli-Serçeler, Büyükorhan-Kınık, Büyükorhan-Durhasan, Büyükorhan-Geynik, Büyükorhan-Aktaş örneklerindeki yüksek doğal radyoaktivite ise bölgede geniş bir alanda yayılım gösteren Orhaneli plütunu

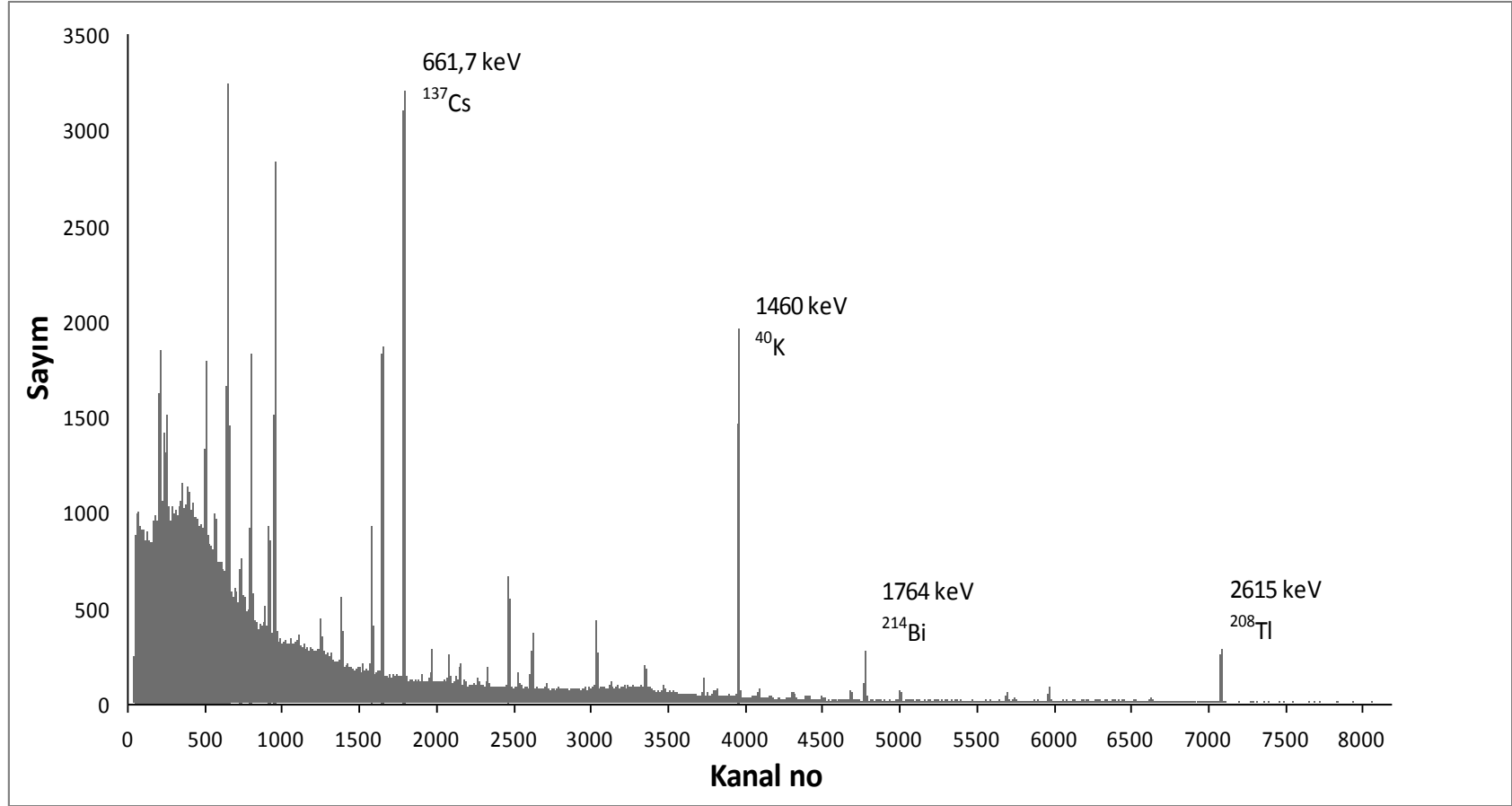
olarak da adlandırılan Büyükorhan granitoidinin (Başol 2009, Ertürk 2009) yer almasıyla açıklanmaktadır. Granit gibi magmatik kayalar uranyum, toryum ve potasyum bakımından daha zengindir (Örgün ve ark. 2005, Merdanoğlu ve Altınsoy 2006, El-Arabi 2007, Örgün ve ark. 2007).

Çizelge 5.5. Toprak örneklerinin radyonüklid aktiviteleri

Örnek Adı	²²⁶ Ra (Bq/kg)	²³² Th (Bq/kg)	⁴⁰ K (Bq/kg)	¹³⁷ Cs (Bq/kg)
Harmancık -Dutluca	15 ± 1	17 ± 1	279 ± 3	6,84 ± 0,11
Osmangazi-Oteller	61 ± 3	33 ± 1	1010 ± 11	48,97 ± 0,54
İznik Mecidiye	12 ± 1	12 ± 1	284 ± 6	10,02 ± 0,24
Gemlik- Küçükkuşla	26 ± 1	20 ± 1	331 ± 3	6,97 ± 0,08
Orhaneli-Serçeler	37 ± 2	50 ± 2	521 ± 7	7,08 ± 0,19
Nilüfer-Çalı	10 ± 1	14 ± 1	257 ± 5	5,80 ± 0,17
Karacabey-Akçasusurluk	13 ± 1	16 ± 1	289 ± 6	2,08 ± 0,10
Osmangazi-Milliparkyolu1	41 ± 1	21 ± 2	329 ± 3	27,07 ± 0,17
M.Kemalpaşa-Sincansarnıç	24 ± 2	29 ± 1	298 ± 5	5,97 ± 0,17
M.Kemalpaşa-Muradiyesarnıç	52 ± 2	46 ± 1	773 ± 9	5,06 ± 0,16
Karacabey-MerkezGirişi	24 ± 2	30 ± 1	522 ± 8	1,06 ± 0,08
İnegöl-Kulaca	34 ± 2	37 ± 1	570 ± 8	3,50 ± 0,13
Yenişehir-Barçın	18 ± 1	14 ± 1	409 ± 6	1,01 ± 0,07
Orhangazi-Çeltikçi	17 ± 1	16 ± 1	312 ± 6	3,25 ± 0,12
Keles-Kozbudaklar	24 ± 2	38 ± 1	518 ± 7	7,37 ± 0,19
Gürsu-Dışkaya	14 ± 1	30 ± 1	491 ± 7	5,52 ± 0,17
Yıldırım-Vakıfköy	23 ± 2	21 ± 1	349 ± 6	2,14 ± 0,10
Mudanya-Yalıçiftlik	24 ± 2	28 ± 1	438 ± 7	5,24 ± 0,16
Kestel-Babasultan	15 ± 1	17 ± 1	277 ± 5	6,93 ± 0,18
Büyükorhan-Ballıoğlu	23 ± 1	35 ± 1	466 ± 7	4,57 ± 0,15
Büyükorhan-Hacılar	26 ± 2	30 ± 1	427 ± 6	3,37 ± 0,13
Büyükorhan-Karalar	120 ± 3	235 ± 3	1330 ± 11	10,92 ± 0,23
Büyükorhan-Kınık	24 ± 2	49 ± 2	422 ± 7	16,09 ± 0,29
Büyükorhan-Durhasan	62 ± 2	121 ± 2	834 ± 9	12,19 ± 0,23
Büyükorhan-Geynik	33 ± 2	54 ± 2	1020 ± 10	4,23 ± 0,15
Büyükorhan-Aktaş	75 ± 3	77 ± 2	910 ± 10	2,68 ± 0,12

Şekil 5.4' te Osmangazi-Milliparkyolu1 örneğinin gamma spektrumu ve bu spektrum üzerinde ilgili gamma pikleri verilmiştir.

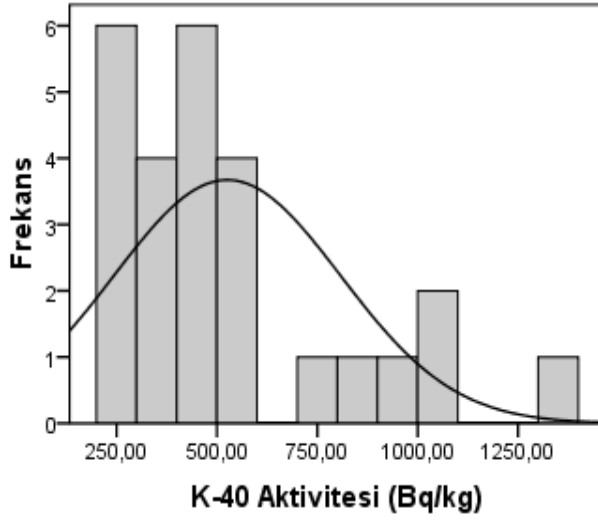
Şekil 5.4. Osmangazi-Milliparkyolu1 örneğinin gamma spektrumu



Şekil 5.5, Şekil 5.6, Şekil 5.7 ve Şekil 5.8’ de sırasıyla ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{137}Cs aktiviteleri için SPSS 17.0 istatistik programı ile elde edilen frekans dağılımları ve istatistiksel sonuçlar görülmektedir. Ölçüm sonuçlarının frekans dağılımlarının, normal ya da log-normal dağılım olduğuna karar vermenin bir yolu, medyan (ortanca) değeri ile, ortalamayı ve geometrik ortalamayı karşılaştırmaktır. Eğer dağılım normal dağılım ise, ortalama ile medyan değeri birbirine yakın olmalıdır. Eğer dağılım log-normal dağılım ise, geometrik ortalama ile medyan değeri birbirine yakın olmalıdır.

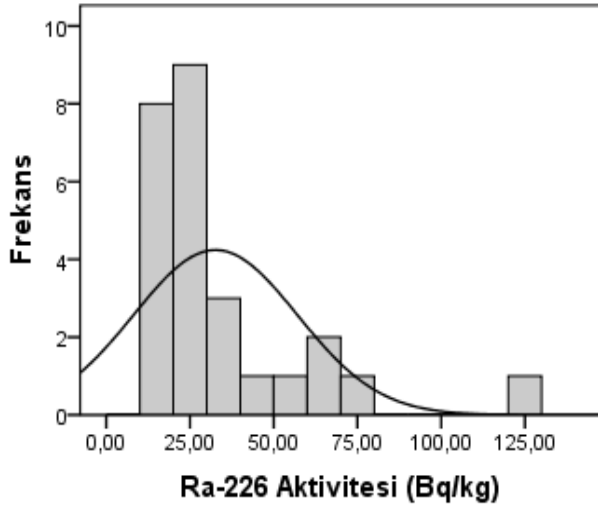
Dağılımlar için verilen istatistiksel sonuçlarda yer alan skewness (eğrilik) katsayısı, yaklaşık olarak sifıra yakın ise, bu dağılımın simetrik olduğu söylenir. Bu katsayının pozitif değer alması, dağılımın asimetric olduğunu gösterir. Bu durumda büyük değerlerde yığılma olduğundan dağılım sağa doğru kaymıştır. Katsayının negatif olması durumunda, küçük değerlerde yığılma olduğundan dağılım sola doğru kaymıştır. Dağılımların kurtosis (diklik) katsayısının sifıra yakın olması, dağılımın normal olduğunu, negatif değer alması, dağılımın normalden daha basık ve yayvan olduğunu, pozitif değer alması ise, dağılımın normalden daha sivri ve dar olduğunu göstermektedir.

Frekans dağılımlarının sağa ya da sola kayması durumunda, gözlenen ölçümlerin aritmetik ortalaması örnekleme grubunu temsil etmez. Bu durumda medyan değeri aritmetik ortalamadan daha geçerlidir ve tercih edilir. Normal ve log-normal dağılım fonksiyonları ile karşılaştırıldığında, beta, ^{137}Cs , ^{40}K , ^{226}Ra ve ^{232}Th aktivitelerinin frekans dağılımlarının log-normal dağılıma uyduğu görülmektedir. Bu nedenle, beta, ^{137}Cs , ^{40}K , ^{226}Ra ve ^{232}Th aktivitelerinin ortalamasının medyan değeri ile verilmesi uygun olacaktır (Blagoeva ve Zikossky 1995, Yaşar 2006). Buna göre, Bursa iline ait 26 toprak örneğinden elde edilen ortalama ^{40}K aktivitesi 433 Bq/kg, ortalama ^{226}Ra aktivitesi 24 Bq/kg, ortalama ^{232}Th aktivitesi 30 Bq/kg olarak bulunmuştur. ^{226}Ra aktivitesi dünya ortalamasının altında iken, ^{232}Th aktivitesi dünya ortalaması civarında ve ^{40}K aktivitesi, dünya ortalamasının biraz üzerinde çıkmıştır.



Ortalama	525,615
Ortalamanın Standart Hatası	55,373
Medyan	432,500
Mod	257,000
Standart Sapma	282,347
Skewness	1,410
Kurtosis	1,378
Minimum	257,000
Maximum	1330,000
Harmonik Ortalama	426,1613
Geometrik Ortalama	468,5117
Frekans Dağılımı	Log-normal

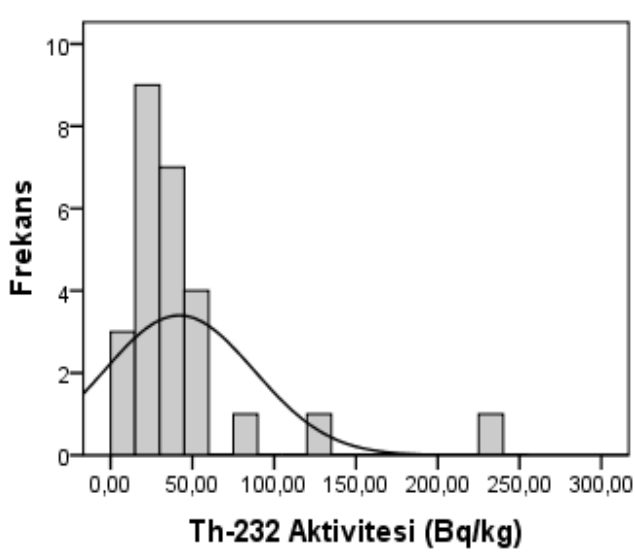
Şekil 5.5. ^{40}K aktiviteleri için frekans dağılımı ve istatistiksel sonuçlar



Ortalama	32,577
Ortalamanın Standart Hatası	4,797
Medyan	24,000
Mod	24,000
Standart Sapma	24,461
Skewness	2,202
Kurtosis	5,733
Minimum	10,000
Maksimum	120,000
Harmonik Ortalama	22,8841
Geometrik Ortalama	26,7503
Frekans Dağılımı	Log-normal

Şekil 5.6. ^{226}Ra aktiviteleri için frekans dağılımı ve istatistiksel sonuçlar

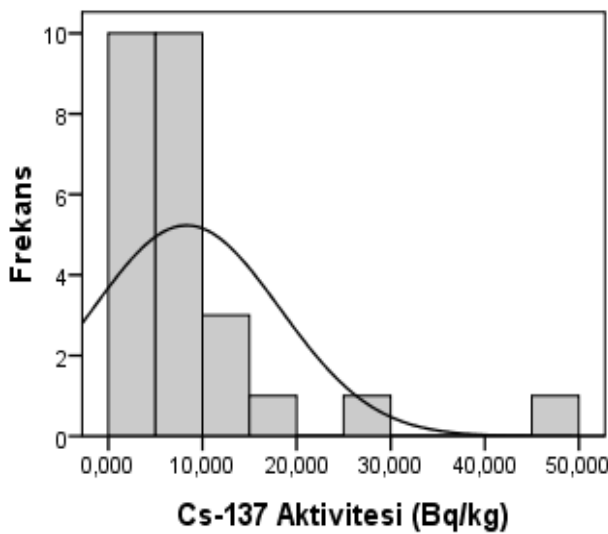
Ortalama	41,923
----------	--------



Ortalamanın Standart Hatası	8,978
Medyan	30,000
Mod	30,000
Standart Sapma	45,779
Skewness	3,416
Kurtosis	13,222
Minimum	12,000
Maksimum	235,000
Harmonik Ortalama	25,9310
Geometrik Ortalama	31,2392
Frekans Dağılımı	Log-normal

Şekil 5.7. ²³²Th aktivite için frekans dağılımı ve istatistiksel sonuçlar

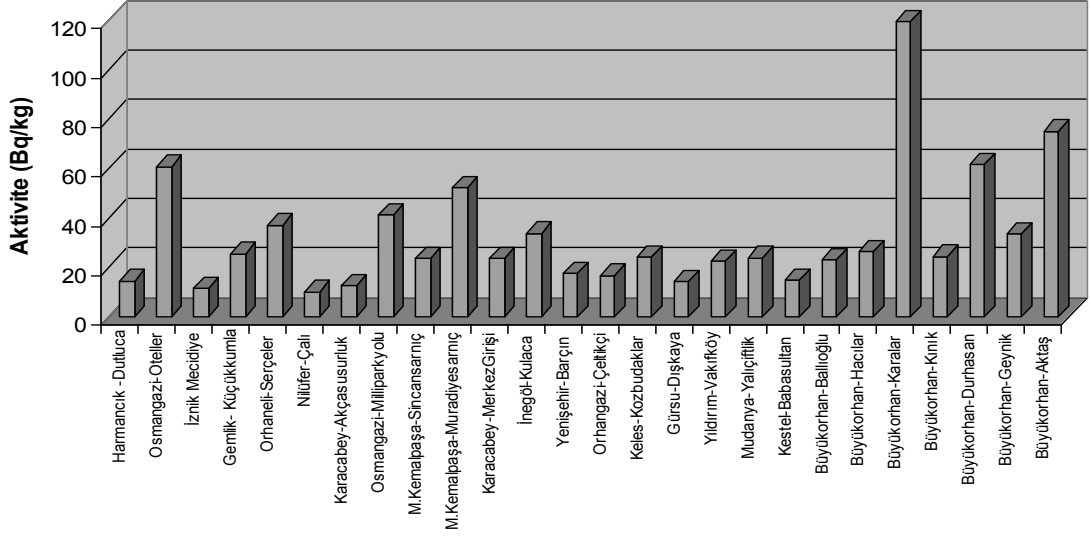
26 toprak örneğinin ortalama ¹³⁷Cs aktivitesi 5,66 Bq/kg (Medyan değeri) bulunmuştur. 1 788 m yükseklikten alınan Osmangazi-Oteller toprak örneğinin $48,97 \pm 0,54$ Bq/kg ve 1 000 m yükseklikten alınan Osmangazi-Milliparkyolu toprak örneğinin $27,07 \pm 0,17$ Bq/kg değerindeki ¹³⁷Cs aktivitelerinin, diğerlerine kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir. Uludağ' dan alınan Osmangazi-Oteller ve Osmangazi-Milliparkyolu örneklerinin bu özelliği, organik madde açısından zengin ormanlık alanların yüksek ¹³⁷Cs aktivitesine sahip olmasıyla açıklanmaktadır (Karadeniz ve Yaprak 2008a, Karadeniz ve Yaprak 2007b).



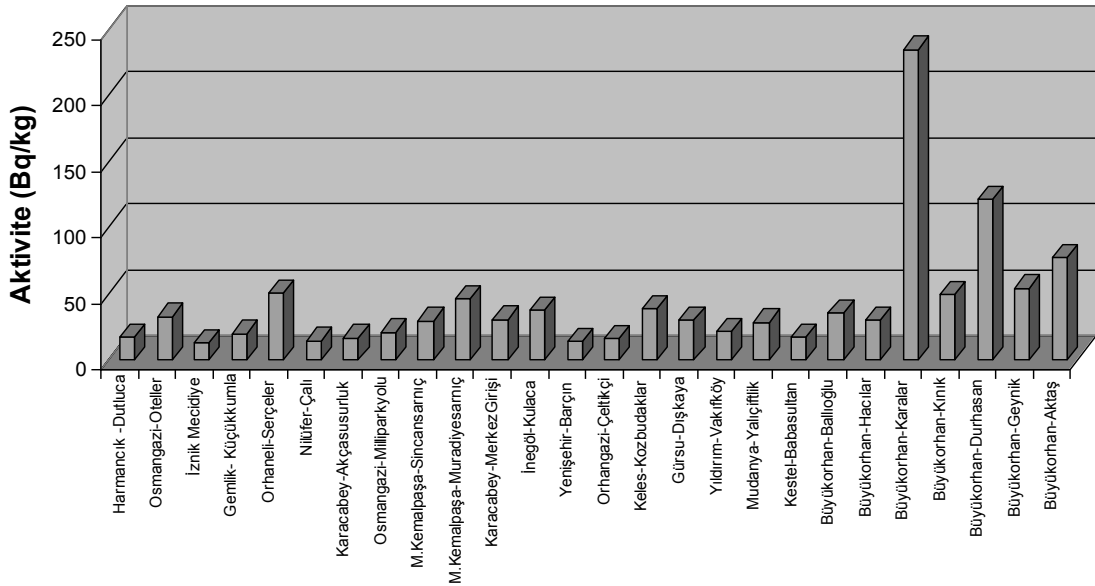
Ortalama	8,305
Ortalamanın Standart Hatası	1,944
Medyan	5,660
Mod	1,010
Standart Sapma	9,913
Skewness	3,220
Kurtosis	11,749
Minimum	1,010
Maksimum	48,970
Harmonik Ortalama	3,9314
Geometrik Ortalama	5,55978
Frekans Dağılımı	Log-normal

Şekil 5.8. ¹³⁷Cs aktivite için frekans dağılımı ve istatistiksel sonuçlar

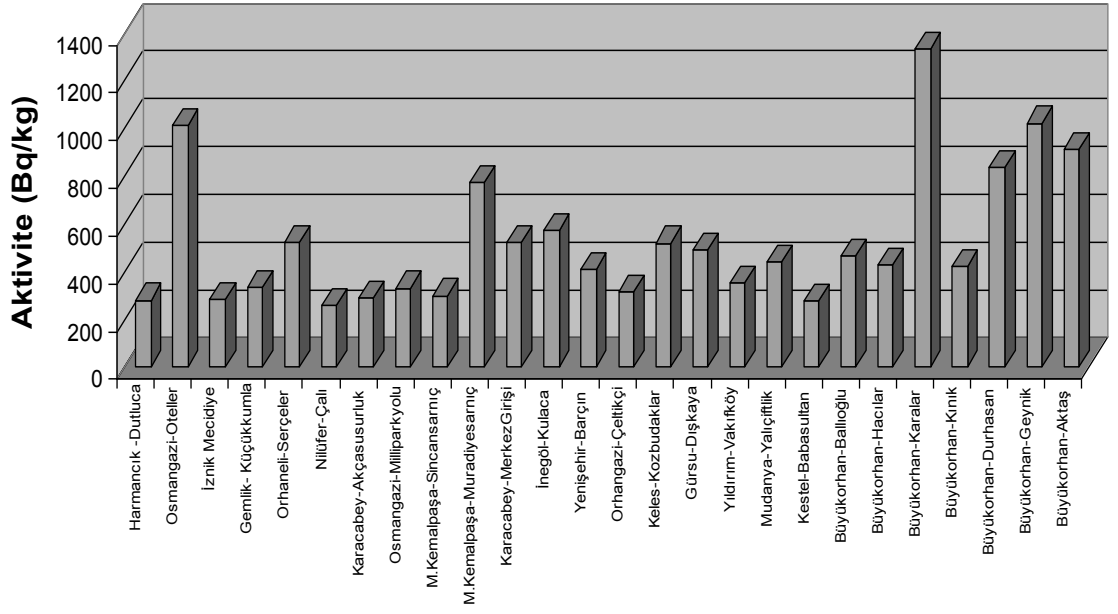
Şekil 5.9, Şekil 5.10, Şekil 5.11 ve Şekil 5.12’ de sırasıyla ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyoizotoplarının aktivite değişimleri görülmektedir.



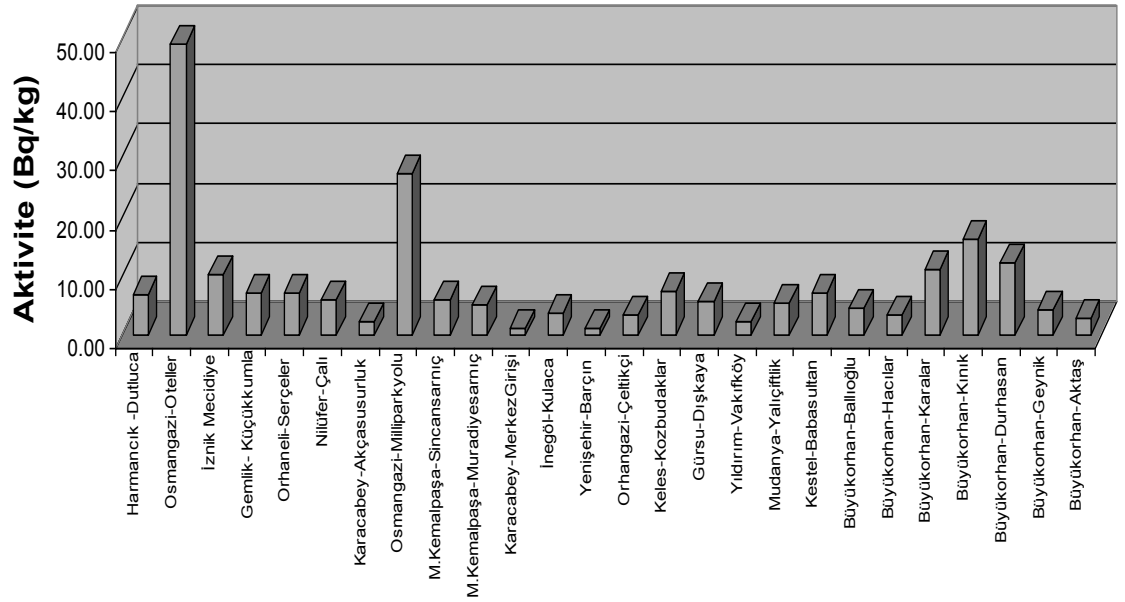
Şekil 5.9. Bursa ili toprak örneklerindeki ^{226}Ra aktivite değişimi



Şekil 5.10. Bursa ili toprak örneklerindeki ^{232}Th aktivite değişimi



Şekil 5.11. Bursa ili toprak örneklerindeki ⁴⁰K aktivite değişimi



Şekil 5.12. Bursa ili toprak örneklerindeki ¹³⁷Cs aktivite değişimi

Çizelge 5.6’ da denklem (3.30) ile hesaplanan, doğal radyasyon kaynakları nedeniyle maruz kalınan gamma dozu (ADRA) ve ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K ’un doza katkılarının yüzdeleri verilmiştir. 26 toprak örneği için hesaplanan ortalama 62 nGy/h olan ADRA değeri, Çizelge 3.7’ de verilen dünya ortalaması olan 51 nGy/h değerinin üzerindedir. Ayrıca Büyükorhan-Karalar toprak örneği 252 nGy/h olan en yüksek değere sahiptir.

Toprak örneklerindeki ^{137}Cs ve ^{40}K aktiviteleri, onların karakteristik gamma piklerinden direk olarak bulunurken, ^{238}U ve ^{232}Th onların bozunum ürünlerinden dolaylı olarak bulunmaktadır. Bölüm 4.9’ da anlatıldığı gibi, gerçekte uranyum bozunma serisinde ^{238}U ile ^{226}Ra arasında çeşitli jeokimyasal olaylar nedeniyle radyometrik dengesizlik vardır. Bu nedenle uranyumun gamma spektrometrik ölçümlerinde, gerçekte ölçülen ^{226}Ra aktivitesidir. Ancak dış ortamda maruz kalınan gamma dozuna, uranyum serisindeki diğer gamma yayınlayan radyonüklidler yanında ^{226}Ra ’ nın bozunum ürünleri olan ^{214}Pb ve ^{214}Bi ’ den yayınlanan gammaların katkısı %98 civarındadır (Saito ve Jacob 1995). Bu nedenle ADRA hesabında, ^{238}U aktivitesi yerine ^{226}Ra aktivitesinin verilmesi sonuçlarda büyük bir hataya neden olmamaktadır (Karadeniz ve Yaprak 2008a).

Çizelge 5.6. Doğal radyasyon kaynakları nedeniyle maruz kalınan gamma dozu (ADRA) ve ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktivitelerinin doza katkılarının yüzdeleri

Örnek Adı	ADRA (nGy/h)	^{238}U (%)	^{232}Th (%)	^{40}K (%)
Harmancık -Dutluca	29	24	36	41
Osmangazi-Oteller	90	31	22	47
İznik Mecidiye	25	22	30	48
Gemlik- Küçükkuşla	38	32	32	37
Orhaneli-Serçeler	69	25	44	31
Nilüfer-Çalı	24	20	36	44
Karacabey-Akçasusurluk	28	21	36	43
Osmangazi-Milliparkyolu I	45	42	28	30
M.Kemalpaşa-Sincansarnıç	41	27	43	30
M.Kemalpaşa-Muradiyesarnıç	84	29	33	38
Karacabey-MerkezGirişi	51	22	36	43

Çizelge 5.6. Doğal radyasyon kaynakları nedeniyle maruz kalınan gamma dozu (ADRA) ve ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktivitelerinin doza katkılarının yüzdeleri (devam)

Örnek Adı	ADRA (nGy/h)	^{238}U (%)	^{232}Th (%)	^{40}K (%)
İnegöl-Kulaca	62	25	36	38
Yenişehir-Barçın	34	24	25	51
Orhangazi-Çeltikçi	30	26	31	43
Keles-Kozbudaklar	56	20	41	39
Gürsu-Dışkaya	45	15	40	46
Yıldırım-Vakıfköy	38	28	34	38
Mudanya-Yalıçiftlik	46	24	37	39
Kestel-Babasultan	29	24	36	40
Büyükorhan-Ballıoğlu	51	21	41	38
Büyükorhan-Hacılar	48	25	38	37
Büyükorhan-Karalar	252	22	56	22
Büyükorhan-Kınık	59	19	51	30
Büyükorhan-Durhasan	137	21	54	25
Büyükorhan-Geynik	91	17	36	47
Büyükorhan-Aktaş	119	29	39	32

Çizelge 5.7’ de dış ortamda maruz kalınan gamma dozuna bağlı olarak denklem (3.31) ile hesaplanan yıllık efektif doz eşdeğeri (AEDE), denklem (3.32) ile hesaplanan radyum eşdeğer aktivite değeri (Ra_{eq}) ve denklem (3.33) ile hesaplanan dış kaynaklı tehlike göstergesi (H_{ex}) verilmiştir. Buna göre hesaplanan ortalama 76 $\mu\text{Sv/y}$ olan AEDE değeri, dünya ortalaması olan 62,5 $\mu\text{Sv/y}$ değerinin üzerindedir. Yine en yüksek değer 310 $\mu\text{Sv/y}$ ile Büyükorhan-Karalar örneğine aittir. Hesaplanan ortalama radyum eşdeğer aktivite (Ra_{eq}), 133 Bq/kg değerindedir. Büyükorhan-Karalar örneğinin Ra_{eq} değeri 557 Bq/kg ile tavsiye edilen maksimum 370 Bq/kg değerinin üzerindedir. Dış kaynaklı tehlike göstergesi (H_{ex}) de yine bu örnek için 1 değerinin üzerinde çıkmıştır.

Çizelge 5.7. Yıllık efektif doz eşdeğeri (AEDE), Radyum eşdeğer aktivite değeri (R_{eq}), dış kaynaklı tehlike göstergesi (H_{ex})

Örnek Adı	AEDE (μSv/y)	R_{eq} (Bq/kg)	H_{ex}
Harmancık -Dutluca	35	60	0,16
Osmangazi-Oteller	110	185	0,50
İzmit Mecidiye	30	51	0,14
Gemlik- Küçükkuşla	46	79	0,21
Orhaneli-Serçeler	85	149	0,40
Nilüfer-Çalı	29	50	0,14
Karacabey-Akçasusurluk	34	58	0,16
Osmangazi-Milliparkyolu1	56	96	0,26
M.Kemalpaşa-Sincansarnıç	50	88	0,24
M.Kemalpaşa-Muradiyesarnıç	103	178	0,48
Karacabey-MerkezGirişi	63	108	0,29
İnegöl-Kulaca	76	131	0,35
Yenişehir-Barçın	41	69	0,19
Orhangazi-Çeltikçi	37	63	0,17
Keles-Kozbudaklar	69	119	0,32
Gürsu-Dışkaya	55	94	0,26
Yıldırım-Vakıfköy	47	80	0,22
Mudanya-Yalıçiftlik	57	98	0,26
Kestel-Babasultan	35	61	0,16
Büyükorhan-Ballıoğlu	63	109	0,29
Büyükorhan-Hacılar	59	102	0,28
Büyükorhan-Karalar	310	557	1,51
Büyükorhan-Kınık	72	127	0,34
Büyükorhan-Durhasan	168	300	0,81
Büyükorhan-Geynik	111	190	0,51
Büyükorhan-Aktaş	146	255	0,69

Çizelge 5.8’ de Türkiye’ deki bazı bölgelerden toprak örneklerinin ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K ve ^{137}Cs radyoizotoplarının aktiviteleri, ADRA, AEDE, R_{eq} ve H_{ex} değerleri ve bu değerlerin çalışmada bulunan değerlerle ve dünya ortalamaları ile karşılaştırılması verilmiştir.

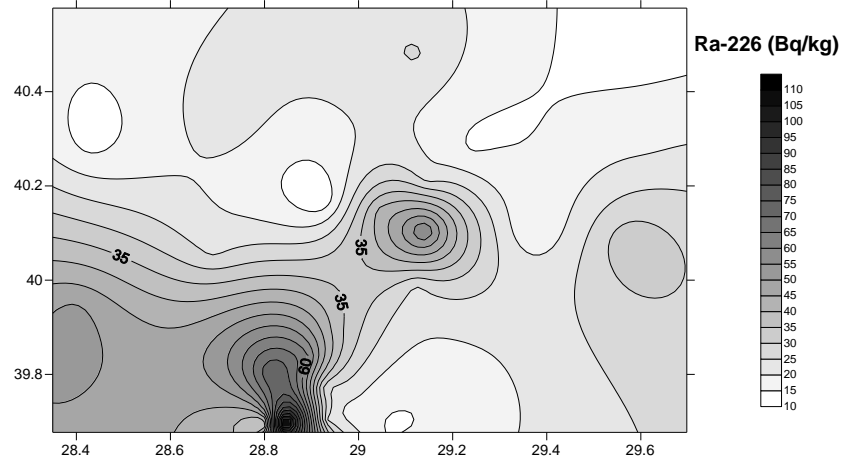
Çizelge 5.8. Türkiye’deki bazı bölgelerden toprak örneklerinin ^{226}Ra , ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K ve ^{137}Cs radyoizotoplarının aktiviteleri, ADRA, AEDE, Ra_{eq} ve H_{ex} değerleri ve bu değerlerin çalışmada bulunan değerlerle ve dünya ortalamaları ile karşılaştırılması

Referans	Bölge	^{226}Ra Bq/kg	^{238}U Bq/kg	^{232}Th Bq/kg	^{40}K Bq/kg	^{137}Cs Bq/kg	ADRA nGy/h	AEDE $\mu\text{Sv/y}$	Ra_{eq} Bq/kg	H_{ex}
Karahan ve Bayülken (2000)	İstanbul	---	21	37	342	(MDA-81)	49	59,8	---	---
Karakelle ve ark. (2002)	Kocaeli	(10-58)	(11-49)	(11-65)	(161-964)	(2-25)	---	---	---	---
Topçuoğlu ve ark. (2003a)	Doğu Anadolu	---	(13-47)	(5-17)	(272-949)	(7-52)	98 (50-144)	---	---	---
Topçuoğlu ve ark. (2003b)	Emendere (Batı Anadolu)	(47,5-796,5)	(44,5-796,8)	(9,5-16,9)	(330-648)	(MDA-15)	---	---	---	---
Ereeş ve ark. (2006)	Manisa	---	29 (22-35)	27 (18-36)	340 (210-470)	---	54	66	---	---
Merdanoğlu ve Altınsoy (2006)	Kestanbol (Çanakkale)	---	115 (82,3-167)	192 (152-275)	1207 (1015-1485)	(0,37-36)	219 (190-272)	269 (234-333)	(430-626)	(1,2-1,7)
Bolca ve ark. (2007)	Gediz Havzası (Batı Anadolu)	45,04 (35,6-62,6)	---	20,56 (7,4-38,53)	325,45 (240-403,1)	---	---	---	---	---
Bozkurt ve ark. (2007)	Şanlıurfa	---	20,8 (12,1-44,1)	24,95 (9,4-37,2)	298,6 (144,1-401,2)	9,08 (4,5-20,3)	38,24 (15,66-73,7)	46,9	---	---
Kam ve Bozkurt (2007)	Kastamonu	---	32,93 (14,65-65,7)	27,17 (9,34-61)	431,43 (155,7-868,8)	8,02 (0,75-16,9)	52,76 (28,7-96,15)	60	---	---

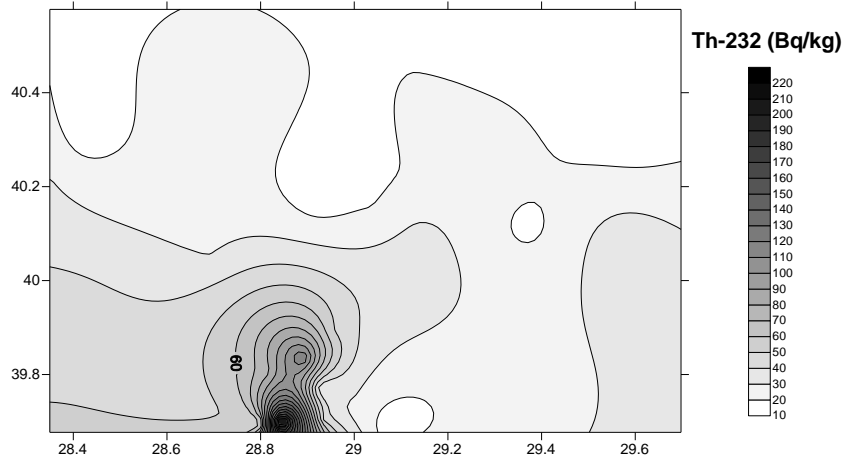
Çizelge 5.8. Türkiye’ deki bazı bölgelerden toprak örneklerinin ^{226}Ra , ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K ve ^{137}Cs radyoizotoplarının aktiviteleri, ADRA, AEDE, Ra_{eq} ve H_{ex} değerleri ve bu değerlerin çalışmada bulunan değerlerle ve dünya ortalamaları ile karşılaştırılması (devam)

Referans	Bölge	^{226}Ra Bq/kg	^{238}U Bq/kg	^{232}Th Bq/kg	^{40}K Bq/kg	^{137}Cs Bq/kg	ADRA nGy/h	AEDE $\mu\text{Sv/y}$	Ra_{eq} Bq/kg	H_{ex}
Kurnaz ve ark. (2007)	Rize(Fırtına Vadisi)	---	50 (11-188)	42 (10-105)	643 (105-1235)	85 (19-232)	77,4 (19,1-149,6)	88,7 (23,4-184,9)	166,3 (44,9-385,8)	0,45 (0,12-1,04)
Osmanhoğlu ve ark.(2007)	Gaziantep	---	25,2 (10,85-40,3)	23,7 (4,6-34,95)	289,2 (128,3-502,4)	8,02 (1,95-15,1)	38,2 (3,33-111,2)	46,9	---	---
Değerlier ve ark. (2008)	Adana	---	17,6 (0,6-80,9)	21,1 (0,6-56,9)	297,5 (9,6-814,2)	6,8 (0,1-28,0)	54 (1-463)	44 (1,9-105,3)	---	---
Karadeniz ve Yaprak (2008a)	İzmir	---	(5,1-45,3)	(4,1-47,2)	(88-1030)	(0,29-161)	46 (24-79)	(29-94)	---	---
Kılıç ve ark. (2008)	Doğu ve Güney Marmara	22,45 (4,2-87,71)	21,77 (5,06-86,95)	26,63 (4,57-88,85)	442,51 (69,2-1085,6)	27,46 (0,92-153,72)	44,73±23,16	54,86	---	---
Taşkın ve ark. (2009)	Kırklareli	37 ± 17	28 ± 13	40 ± 18	667 ± 281	8 ± 5	118 ± 34	144	---	---
Kam ve ark. (2010)	Tekirdağ	---	29 (6,78-97,9)	39 (14,8-112,6)	580 (195,7-1466)	5,2 (0,11-29,7)	61 (22-163)	75	---	---
Yaprak ve Aslani (2010)	Büyük Menderes	---	29 (7-84)	22 (10-48)	464 (100-864)	---	45,8 (17,4-80,5)	56 (21-99)	---	---
Unsear (2000)		35 (17-60)	35 (16-110)	30 (11-64)	400 (140-850)	---	51	62,5	---	---
Bu çalışma	Bursa	24 (10-120)	---	30 (12-235)	433 (257-1330)	5,66 (1,01-8,97)	62 (24-252)	76 (29-310)	133 (50-557)	0,36 (0,14-1,51)

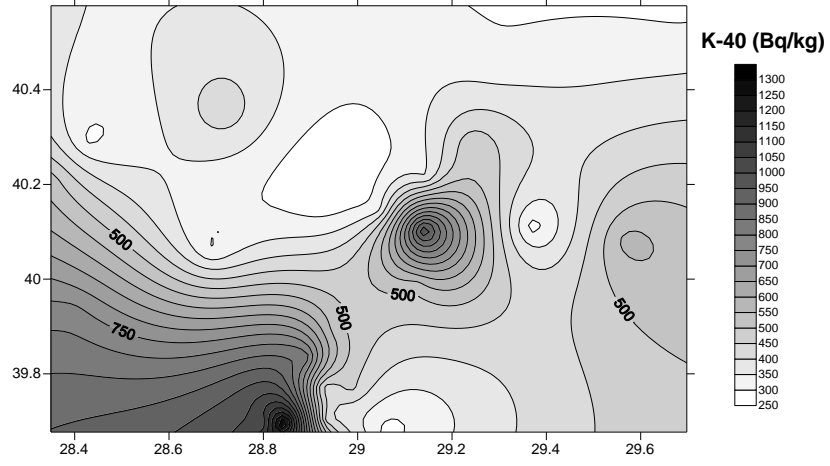
Şekil 5.13, Şekil 5.14, Şekil 5.15 ve Şekil 5.16' te sırasıyla Bursa ili topraklarının enlem ve boylama göre Bq/kg biriminde ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyoizotoplarının aktivitelerinin dağılımları ve Şekil 5.17' de hesaplanan ADRA değerlerinin dağılımları verilmiştir. Bu dağılımlar, Golden Software Surfer v8.0 3D programı kullanılarak haritalandırılmıştır.



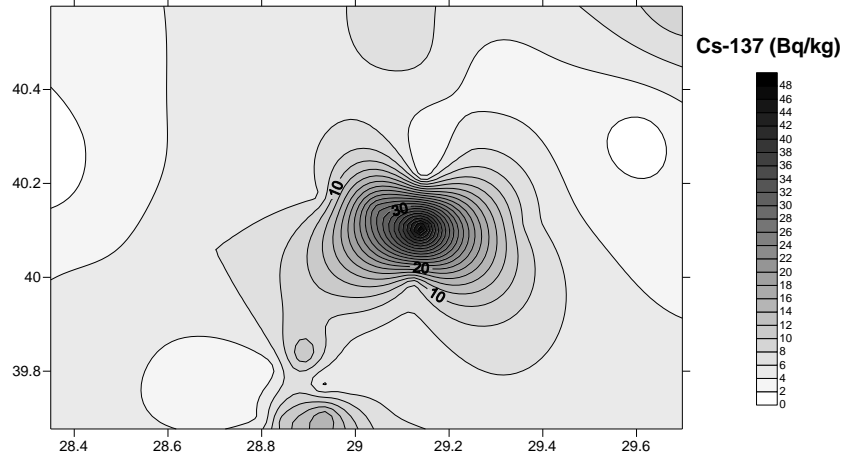
Şekil 5.13. Bursa ili topraklarının Bq/kg biriminde ^{226}Ra aktivitelerinin dağılımı



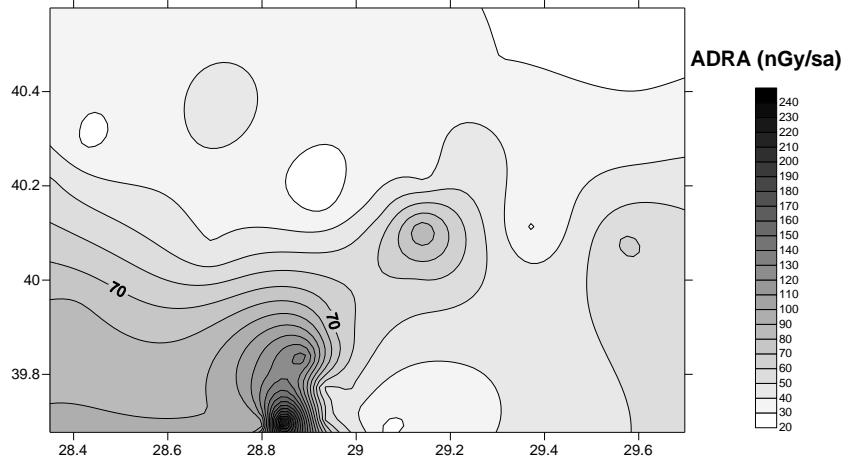
Şekil 5.14. Bursa ili topraklarının Bq/kg biriminde ^{232}Th aktivitelerinin dağılımı



Şekil 5.15. Bursa ili topraklarının Bq/kg biriminde ^{40}K aktivitelerinin dağılımı



Şekil 5.16. Bursa ili topraklarının Bq/kg biriminde ^{137}Cs aktivitelerinin dağılımı



Şekil 5.17. Bursa ili topraklarının nGy/h biriminde ADRA dağılımı

Çizelge 5.9’ da toprak örneklerinin hesaplanan ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K konsantrasyonları ve bunların birbirlerine göre oranları verilmiştir. Buna göre en yüksek ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K konsantrasyonları Büyükorhan-Karalar örneğinde görülmektedir.

Çizelge 5.9. Toprak örneklerinin hesaplanan ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K konsantrasyonları ve bunların birbirlerine göre oranları

Örnek Adı	U(ppm)	Th(ppm)	K%	Th/U	Th/K	K/U
Harmancık –Dutluca	1,20	4,12	0,92	3,43	4,46	0,77
Osmangazi-Oteller	4,98	8,00	3,34	1,61	2,39	0,67
İzmit Mecidiye	0,95	3,04	0,94	3,20	3,23	0,99
Gemlik- Küçükkuşla	2,10	4,83	1,10	2,30	4,40	0,52
Orhaneli-Serçeler	3,04	12,40	1,73	4,08	7,18	0,57
Nilüfer-Çalı	0,84	3,52	0,85	4,21	4,14	1,02
Karacabey-Akçasusurluk	1,03	4,02	0,96	3,90	4,20	0,93
Osmangazi-Milliparkyolu1	3,38	5,13	1,09	1,52	4,71	0,32
M.Kemalpaşa-Sincansarnıç	1,94	7,16	0,99	3,70	7,25	0,51
M.Kemalpaşa-Muradiyesarnıç	4,27	11,35	2,56	2,66	4,44	0,60
Karacabey-MerkezGirişi	1,95	7,49	1,73	3,84	4,33	0,89
İnegöl-Kulaca	2,78	9,18	1,89	3,30	4,86	0,68
Yenişehir-Barçın	1,46	3,39	1,36	2,33	2,50	0,93
Orhangazi-Çeltikçi	1,38	3,85	1,03	2,78	3,73	0,75
Keles-Kozbudaklar	1,99	9,38	1,72	4,73	5,47	0,86
Gürsu-Dışkaya	1,16	7,30	1,63	6,28	4,49	1,40
Yıldırım-Vakıfköy	1,85	5,25	1,16	2,84	4,54	0,62
Mudanya-Yalıçiftlik	1,96	6,90	1,45	3,53	4,76	0,74
Kestel-Babasultan	1,22	4,23	0,92	3,46	4,61	0,75
Büyükorhan-Ballıoğlu	1,89	8,61	1,54	4,57	5,58	0,82
Büyükorhan-Hacılar	2,16	7,38	1,41	3,42	5,22	0,65
Büyükorhan-Karalar	9,79	57,64	4,40	5,89	13,09	0,45
Büyükorhan-Kınık	2,00	12,04	1,40	6,01	8,61	0,70
Büyükorhan-Durhasan	5,06	29,83	2,76	5,89	10,80	0,55
Büyükorhan-Geynik	2,74	13,33	3,38	4,87	3,94	1,23
Büyükorhan-Aktaş	6,16	18,89	3,01	3,07	6,27	0,49
Ortalama	2,66	10,32	1,74	3,74	5,35	0,75

KAYNAKLAR

- Abi, K. 2010.** İklim değişikliklerinin Bursa'nın sıcaklık özellikleri üzerine yansımaları. *Yüksek Lisans Tezi*, Marmara Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü Orta Öğretim Sosyal Alanlar Eğitimi Anabilim Dalı Coğrafya Öğretmenliği Bilim Dalı, İstanbul.
- Ahmed, N.K. ve El-Arabi, A.G.M. 2005.** Natural radioactivity in farm soil and phosphate fertilizer and its environmental implications in Qena governorate, Upper Egypt. *J. Environ. Radioactiv.*, 84: 51-64.
- Amrani, D. ve Tahtat, M. 2001.** Natural radioactivity in Algerian building materials. *Appl. Radiat. Isot.*, 54: 687-689.
- Anonim, 1989a.** Low Background Alpha/Beta/Gamma Planchet Counting Systems. Tennelec/Nucleus, Inc. Oak Ridge. USA.
- Anonim, 1989b.** Instruction Manual TC 466 Phoswich Processor. Tennelec/Nucleus, Inc. Oak Ridge. USA.
- Anonim, 2000.** Çevre Radyoaktivitesinin İzlenmesinde Örnekleme, Ölçüm ve Analiz Yöntemleri. TAEK, 97 s.
- Anonim, 2006.** Chernobyl Nükleer Kazası Sonrası Türkiye'de Kanser. Türk Tabipler Birliği Yayınları, Ankara.(ISBN: 975-6984-80-5)
- Anonim, 2008.** Bursa ili maden haritası. http://www.mta.gov.tr/v1.0/turkiye_maden/il_maden/pdf_2010/bursa.pdf- (Erişim tarihi: 25.02.2011).
- Anonim, 2009.** Bursa Kent Raporu. TMMOB Şehir Plancıları Odası Bursa Şubesi.
- Anonim, 2010a.** Overview of semiconductor photon detectors. <http://www.ortec-online.com/Solutions/RadiationDetectors/semiconductor-photon-detectors.aspx>- (Erişim tarihi: 25.02.2011).
- Anonim, 2010b.** Standard Electrode Coaxial Ge Detectors (SEGe). <http://www.canberra.com/products/486.asp>- (Erişim tarihi: 28.02.2011).
- Arya, A.P. 1970.** Fundamentals of Nuclear Physics. Allyn&Bacon Inc.
- Aslani, M.A.A., Aytas, S., Akyil, S., Yaprak, G., Yener, G. ve Eral, M. 2003.** Activity concentration of caesium-137 in agricultural soils. *J. Environ. Radioactiv.*, 65: 131-145.
- Başol, B. 2009.** Büyükorhan Granitoyidi Kuzey Kenarının Petrografisi ve Yan Kayaçlarla İlişkisi (Orhaneli Batısı, Bursa). *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Bell, J.N.B. ve Shaw, G. 2005.** Ecological lessons from the Chernobyl accident. *Environ. Inter.* 31: 771-777.
- Blagoeva, R. ve Zikossky, L. 1995.** Geographic and vertical distribution of Cs-137 in soil in Canada. *J. Environ. Radioactiv.*, 27(3): 269-274.
- Bolca, M., Saç, M.M., Çokuysal, B., Karalı, T., Ekdal, E. 2007.** Radioactivity in soils and various foodstuffs from the Gediz River Basin of Turkey. *Radiat. Meas.*, 42: 263-270.
- Bozkurt, A., Yorulmaz, N., Kam, E., Karahan, G., Osmanliođlu, A.E. 2007.** Assessment of environmental radioactivity for Şanlıurfa region of southeastern Turkey. *Radiat. Meas.*, 42: 1387-1391.
- Canbaz, B., Füsün Çam, N., Yaprak, G., Candan, O. 2010.** Natural radioactivity (^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K) and assessment of radiological hazards in the Kestanbol granitoid, Turkey. *Radiat. Prot. Dosim.*, 141(2): 192-198.
- Chiozzi, P., Pasquale, V., Verdoya, M. 2002.** Naturally occurring radioactivity at the Alps-Appennines transition. *Radiat. Meas.*, 35: 147-154.

- Currie, L.A. 1968.** Limits for Qualitative detection and quantitative determination, *Anal. Chem.* 40(3):586-593.
- Değerlier, M., Karahan, G., Ozger, G. 2008.** Radioactivity concentrations and dose assessment for soil samples around Adana, Turkey. *J. Environ. Radioactiv.*, 99: 1018-1025.
- Ekdal, E., Karali, T., Saç, M.M. 2006.** ^{210}Po and ^{210}Pb in soils and vegetables in Kucuk Menderes basin of Turkey. *Radiat. Meas.*, 41: 71-77.
- El-Arabi, A.M. 2007.** ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K concentrations in igneous rocks from eastern desert, Egypt and its radiological implications. *Radiat. Meas.*, 42: 94-100.
- EPA 600/4-75-008, 1976.** Interim Radiochemical Methodology for Drinking Water.
- Ereeş, F.S., Aközcan, S. Parlak, Y., Çam, S. 2006.** Assessment of dose rate around Manisa (Turkey). *Radiat. Meas.*, 41: 598-601.
- Ertürk, E. 2009.** Göynükbelen Granitoyidi Güneybatı Kesiminin Petrografisi ve Orhaneli Ofiyoliti ile İlişkisi (Bursa). *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Ertürk, D. 2010.** Bursa İli Jeotermal Potansiyeli. *Yüksek Lisans Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta.
- Evans, R. D. 1955.** The Atomic Nucleus. McGraw-Hill Company Inc. 972 pp.
- Flues, M., Moraes, V., Mazzilli, B.P. 2002.** The influence of a coal-fired power plant operation on radionuclide concentrations in soil. *J. Environ. Radioactiv.*, 63: 285-294.
- Gilmore, G. 2008.** Practical Gamma-ray Spectrometry. 2nd Edition. John Wiley&Sons Inc. 387 pp.
- Gültekin, A. 2004.** Çeşitli radyoaktif kaynaklar için farklı geometrilerde saf Ge detektörünün özelliklerinin incelenmesi. *Doktora Tezi*, UÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Bursa.
- HASI-300, 1979.** Manual of standart procedures.
- Heath, R.L. 1998.** Gamma-ray spectrum catalogue-Ge and Si detector spectra. 4.th edition (electronic version).
- Isaksson, M. ve Erlandsson, B. 1998.** Models for the vertical migration of ^{137}Cs in the ground-a field study. *J. Environ. Radioactiv.*, 41(2): 163-182.
- Kam E., Bozkurt, A. 2007.** Environmental radioactivity measurements in Kastamonu region of northern Turkey. *Appl. Radiat. Isot.*, 65: 440-444.
- Kam, E., Yazar, Y., Bozkurt, A. 2010.** A study of background radioactivity level for Tekirdağ, Turkey. *Radiat. Prot. Dosim.*, 138(1): 40-44.
- Karadeniz, Ö. ve Yaprak, G. 2007a.** Distribution of radiocesium and natural gamma emitters in pine needles in coniferious forest of İzmir. *Appl. Radiat. Isot.*, 65: 1363-1367.
- Karadeniz, Ö. ve Yaprak, G. 2007b.** Dynamic equilibrium of radiocesium with stable cesium within the soil-mushroom system in Turkish pine forest. *Environ. Pollution.* 148: 316-324.
- Karadeniz, Ö., Yaprak, G. 2008a.** Vertical distributions and gamma dose rates of ^{40}K , ^{232}Th , ^{238}U and ^{137}Cs in the selected forest soils in İzmir, Turkey. *Radiat. Prot. Dosim.*, 131(3): 346-355.
- Karadeniz, Ö. ve Yaprak, G. 2008b.** Geographical and vertical distribution of radiocesium levels in coniferious forest soils in İzmir. *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 277(3): 567-577.

- Karahan, G. ve Bayulken, A. 2000.** Assessment of gamma rates around İstanbul (Turkey). *J. Environ. Radioactiv.*, 47: 213-221.
- Karakelle, B., Öztürk, N., Köse, A., Varınlıoğlu, A., Erkol, A.Y., Yılmaz, F. 2002.** Natural radioactivity in soil samples of Kocaeli basin, Turkey. *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 254(3): 649-651.
- Ketin, İ. 1947.** Uludağ Masifinin Tektoniği Hakkında. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, Cilt 1, Sayı 1: 60-88.
- Kılıç, Ö., Belivermiş, M., Topçuoğlu, S., Çotuk, Y., Coşkun M., Çayır, A., Küçer, R. 2008.** Radioactivity concentrations and dose assessment in surface soil samples from east and south of Marmara region, Turkey. *Radiat. Prot. Dosim.*, 128(3): 324-330.
- Kittel, C. 1996.** Katıhal Fizikine Giriş. 6th Edition. John Wiley & Sons Inc. Türkçe baskı: 1996. 434 pp.
- Knoll, G.F. 1999.** Radiation detection and measurement. 3rd Edition. John Wiley&Sons Inc. 802 pp.
- Krane, K. S. 1987.** Introductory Nuclear Physics. John Wiley&Sons.
- Kumar, A., Kumar, M., Singh, B., Singh, S. 2003.** Natural activities of ^{238}U , ^{232}Th and ^{40}K in some Indian building materials. *Radiat. Meas.*, 36: 465-469.
- Kurnaz, A., Küçükömeroğlu, B., Keser, R., Okumuşoğlu, N. T., Korkmaz, F., Karahan, G., Çevik, U. 2007.** Determination of radioactivity levels and hazards of soil and sediment samples in Fırtına Valley (Rizei Turkey). *Appl. Radiat. Isot.*, 65: 1281-1289.
- Lavi, N., Steiner, V., Alfassi, Z.B. 2009.** Measurement of radon emanation in construction material. *Radiat. Meas.*, 44: 396-400.
- Leo, W.R. 1987.** Techniques for nuclear and particle physics experiments. Springer-Verlag, Germany, 368 pp.
- Merdanoğlu, B. ve Altınsoy, N. 2006.** Radioactivity concentrations and dose assessment for soil samples from Kestanbol granite area, Turkey. *Radiat. Prot. Dosim.*, 121(4): 199-405.
- Navas, A., Soto, J., Machin, J. 2002.** ^{238}U , ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{232}Th and ^{40}K activities in soil profiles of the Flysch sector (Central Spanish Pyrenees). *Appl. Radiat. Isot.*, 57: 579-589.
- Osmanlıoğlu, A.E., Kam, E., Bozkurt, A. 2007.** Assessment of background radioactivity level for Gaziantep region of southeastern Turkey. *Radiat. Prot. Dosim.*, 124(4): 407-410.
- Örgün, Y., Altınsoy, N., Gültekin, A.H., Karahan, G., Çelebi, N. 2005.** Natural radioactivity levels in granitic plutons and groundwaters in Southeast part of Eskişehir, Turkey. *Appl. Radiat. Isot.*, 63: 267-275.
- Örgün, Y., Altınsoy, N., Şahin, S.Y., Güngör, Y., Gültekin, A.H., Karahan, G., Karacık, Z. 2007.** Natural and anthropogenic radionuclides in rocks and beach sands from Ezine region (Çanakkale), Western Anatolia, Turkey. *Appl. Radiat. Isot.*, 65: 739-747.
- Özmutlu, C., Kaynak, G., Özmutlu, E., Cengiz, A., Ergül, R. 1989.** Chernobyl kazası sonrası Bursa ve çevresi atmosferinde fission ürünlerinin incelenmesi. *U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilimsel Raporlar Serisi 1.*
- Özsoy, G. 2007.** Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Erozyon Riskinin Belirlenmesi. *Doktora Tezi*, UÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Anabilim Dalı, Bursa.

- Öztürk, M. Z. 2009.** Uludağ' daki Periglasiyal Süreçlerin, Periglasiyal Yer Şekillerinin ve Bunları Denetleyen Etmenlerin İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Onsekiz Mart Üniversitesi Sıyial Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Bilim Dalı, Çanakkale.
- Righi, S., Lucialli, P., Bruzzi, L. 2005a.** Health and environmental impacts of a fertilizer plant- Part I: Assessment of radioactive pollution. *J. Environ. Radioactiv.*, 82: 167-182.
- Righi, S., Lucialli, P., Bruzzi, L. 2005b.** Health and environmental impacts of a fertilizer plant- Part II: Assessment of radioation exposure. *J. Environ. Radioactiv.*, 82: 183-198.
- Saito, K. Ve Jacob, P. 1995.** Gamma ray fields in the air due to sources in the ground. *Radiat. Prot. Dosim.*, 58(1): 29-45.
- Schuller, P., Ellies, A., Kirchner, G. 1997.** Vertical migration of fallout ¹³⁷Cs in agricultural soils from Southern Chile. *Sci. Total Environ.*, 193:197-205.
- Sloof, E., Wolterbeek, B.T. 1992.** Lichens as Biomonitors for Radiocaesium Following the Chernobyl Accident. *J. Environ. Radioactivity*, 16: 229-242.
- Sonkawade, R.G., Kant K., Muralithar, S., Kumar, R., Ramola, R.C. 2008.** Natural radioactivity in common building construction and radiation shielding materials. *Atmos. Environ.* 42: 2254-2259.
- Sroor, A., El-Bahi, S.M., Ahmed, F., Abdel-Haleem, A.S. 2001.** Natural radioactivity and radon exhalation rate of soil in Southern Egypt. *Appl. Radiat. Isot.*, 55: 873-879.
- Tamponnet, C., Martin-Garin, A., Gonze, M.A., Parekh, N., Vallejo, R., Sauras-Yera, T., Casadesus, J., Plassard, C., Staunton, S., Norden, M., Avila, R., Shaw, G. 2008.** An overview of BORIS: Bioavailability of radionuclides in soils. *J. Environ. Radioactiv.*, 99: 820-830.
- Taşkın, H., Karavus, M., Ay, P., Topuzoğlu, A., Hıdıroğlu, S., Karahan, G. 2009.** Radionuclide concentration in soil and lifetime cancer risk due to gamma radioactivity in Kırklareli, Turkey. *J. Environ. Radioactiv.*, 100: 49-53.
- Topçuoğlu, S. 2000.** Black sea ecology pollution research in Turkey of the marine environment, *IAEA Bulletin*, 42(4): 12-14.
- Topçuoğlu, S., Kut, D., Esen, N., Güngör, N., Ölmez, W., Kirbaşoğlu, Ç. 2001.** ¹³⁷Cs in biota and sediment samples from Turkish coast of the Black Sea. *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 250(2): 381-384.
- Topçuoğlu, S., Türer, A., Güngör, N., Kirbaşoğlu, Ç. 2003a.** Monitoring anthropogenic radionuclides and gamma absorbed dose rates in eastern Anatolia. *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 258(3): 547-550.
- Topçuoğlu, S., Karahan, G., A., Güngör, N., Kirbaşoğlu, Ç. 2003b.** Natural and artificial radioactivity in Emendere thermal spring area in Western Anatolia. *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 256(3): 395-398.
- Tufail, M., Akhtar, N., Waqas, M. 2006.** Measurement of terrestrial radiation for assessment of gamma dose from cultivated and barren saline soils of Faisalabad in Pakistan. *Radiat. Meas.*, 41: 443-451.
- Tut Hakkıdır, F.S. 2007.** Bursa İli ve Çevresindeki Termal, Maden ve Yeraltı Sularının Jeokimyasal İncelenmesi. *Doktora Tezi*, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Ekonomik Jeoloji Anabilim Dalı, İzmir.
- Tzortzis, M.,Tsertos, H. 2004.** Determination of thorium, uranium and potassium elemental concentrations in surface soils in Cyprus. *J. Environ. Radioactiv.*, 77: 325-338.

- United Nations Scientific Committee on the effects of atomic radiation (UNSCEAR). 1988.** Annex D: Exposures from Chernobyl accident.
- United Nations Scientific Committee on the effects of atomic radiation (UNSCEAR). 2000.** Annex B: Exposures from natural radiation sources.
- United Nations Scientific Committee on the effects of atomic radiation (UNSCEAR). 2008.** Sources and effects of ionizing radiation. United Nations, New York.
- Ünal, Z.1988.** Chernobyl nükleer kazasının Türkiye’de yaşayan kişiler üzerine etkilerinin incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Yalçın, S. 1992.** Güney Marmara bölgesindeki çeşitli ortamlarda radyoaktif kirliliğin belirlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Bursa.
- Yalçın, S. 1999.** İki inçlik CaF₂(Eu) ve NaI(Tl) Kristalli Phoswich Sintilasyon Detektörünün α, β, γ Sayma Veriminin Kuramsal ve Deneysel Olarak Tayini. *Doktora Tezi*, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Bursa.
- Yalçın, S. ve Gürler, O. 2007.** The radioactivity measurement in soil, coal and water in South Marmara region of Turkey. *Radiat. Meas.*, 42: 281-285.
- Yaprak, G. ve Yener, G. 1988.** Granit ve granodiyorit kayalarda ve erozyon bölgesindeki topraklarda gamma spektroskopisi ile uranyum ve toryum analizleri, Ege Üniversitesi Rektörlüğü Araştırma Fonu, Proje No: 004/1985
- Yaprak, G. ve Yener, G. 1990.** Bergama Sarıcaoğlu bölgesindeki toprak ve kayalarda uranyum ile ürünleri arasındaki radyoaktif dengenin saptanması. Ege Üniversitesi Rektörlüğü Araştırma Fonu, Proje No: 1986 NBE 005.
- Yaprak, G. ve Yener, G. 1992.** Direct measurement of ²³⁸U and disequilibrium state in geological samples by low energy scintillation gamma spectroscopy. *J. Geochem. Explor.* 42: 345-350.
- Yaprak, G. 1995.** Radyoaktif mineral içeren örneklerin gamma spektroskopik analizlerinde matris etkisi ve self absorpsiyon için bir düzeltme yönteminin geliştirilmesi. *Doktora Tezi*, Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- Yaprak, G., Aslani, A.A.M. 2010.** External dose rates for natural gamma emitters in soils from an agricultural land in West Anatolia. *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 283: 279-287.
- Yaşar, Ö. 2006.** Türkiye Mermerlerindeki Doğal Radyonüklid İçeriğinin ve Radon Emanasyon Hızının Radyolojik Risk Açısından Değerlendirilmesi. *Doktora Tezi*, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Nükleer Bilimler Anabilim Dalı, İzmir.
- Yurdagül, A. 2004.** Uludağ granitoidinin litojeokimyasal incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Yücel, H. 2008.** Deney 7- Gamma spektrometresinin kalibrasyonu ve radyoaktivite ölçümü: İleri Radyasyon Dedeksiyonu ve Ölçüm Lab. Deneyleri. Ankara Üniversitesi, Nükleer Bilimler Enstitüsü, Ders Notları, Ankara, s. 1-25.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Gizem Akkaya

Doğum Yeri ve Tarihi : Bursa-1976

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Cumhuriyet Lisesi (1990-1993)

Lisans : Uludağ Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü (1994-1998)

Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı (1998-2001)

Çalıştığı Kurum ve Yılı : Uludağ Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü (1998-)

İletişim : gizemd@uludag.edu.tr

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ

TEZ ÇOĞALTMA VE ELEKTRONİK YAYIMLAMA İZİN FORMU

Yazar Adı Soyadı	GİZEM AKKAYA
Tez Adı	BURSA İLİ TOPRAK NUMUNELERİNDE RADYONÜKLİD DAĞILIMININ İNCELENMESİ
Enstitü	FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Anabilim Dalı	FİZİK
Tez Türü	DOKTORA
Tez Danışman(lar)ı	Prof. Dr. Z. GÖKAY KAYNAK
Çoğaltma (Fotokopi Çekim) izni	<input checked="" type="checkbox"/> Tezimden fotokopi çekilmesine izin veriyorum <input type="checkbox"/> Tezimin sadece içindikiler, özet, kaynakça ve içeriğinin % 10 bölümünün fotokopi çekilmesine izin veriyorum <input type="checkbox"/> Tezimden fotokopi çekilmesine izin vermiyorum
Yayımlama izni	<input type="checkbox"/> Tezimin elektronik ortamda yayımlanmasına izin Veriyorum <input checked="" type="checkbox"/> Tezimin elektronik ortamda yayımlanmasının ertelenmesini istiyorum 1 yıl <input type="checkbox"/> 2 yıl <input checked="" type="checkbox"/> 3 yıl <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Tezimin elektronik ortamda yayımlanmasına izin vermiyorum

Hazırlamış olduğum tezimin belirttiğim hususlar dikkate alınarak, fikri mülkiyet haklarım saklı kalmak üzere Uludağ Üniversitesi Kütüphane ve Dokümantasyon Daire Başkanlığı tarafından hizmete sunulmasına izin verdiğimi beyan ederim.

Tarih : 19/07/2011

İmza :

