



**T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI**

**KAHRAMANMARAŞ YÖRESİNDE DOĞAL
RADYOAKTİVİTENİN TAYİNİ**

Erdal KÜÇÜKÖNDER

DOKTORA TEZİ

**KAHRAMANMARAŞ
Eylül-2009**

T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI

KAHRAMANMARAŞ YÖRESİNDE DOĞAL RADYOAKTİVİTENİN TAYİNİ

ERDAL KÜÇÜKÖNDER

DOKTORA TEZİ

Kod No :

**Bu Tez 18/09/2009 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından
Oy Birliği ile Kabul Edilmiştir.**

Doç. Dr. Ömer SÖĞÜT
DANIŞMAN

Prof. Dr. Mahmut DOĞRU
ÜYE

Prof. Dr. Fikret ANLI
ÜYE

Prof. Dr. Adnan KÜÇÜKÖNDER
ÜYE

Yrd. Doç. Dr. Hüseyin ZENGİN
ÜYE

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

Prof.Dr. Süleyman TOLUN
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER.....	I
ÖZET.....	III
ABSTRACT.....	IV
ÖNSÖZ.....	V
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	VIII
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Doğal Radyoaktivite.....	3
1.1.1. İyonlaştırıcı Radyasyon.....	4
1.1.2. İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon.....	4
1.1.3. Uranyum.....	4
1.1.4. Toryum.....	6
1.1.5. Radyum-226.....	7
1.1.6. Potasyum-40.....	7
1.2. Topraktaki Doğal Radyoaktivite.....	7
1.3. Sulardaki Doğal Radyoaktivite.....	10
1.3.1. İçme Sularındaki Radyoaktivite Limitleri.....	12
1.4. Gıdalardaki Doğal Radyoaktivite.....	12
1.5. Bina Dışı Gama Radyasyonu.....	13
1.6. Bina İçi Gama Radyasyonu.....	15
1.7. Kozmik Işınlardan Etkileşimi Sonucu Oluşan Radyonüklidler.....	15
1.8. İnsan Vücudundaki Doğal Radyonüklidler.....	16
1.9. Diğer Radyoaktif Kaynaklar.....	17
1.10. Radyonüklidlerin Taşınması.....	18
1.11. Radyasyon Birimleri.....	19
1.11.1. Radyoaktivite Birimleri.....	19
1.11.2. Işınlama Birimleri.....	19
1.11.3. Soğurulan Doz Birimi.....	19
1.11.4. Eşdeğer Doz Birimi.....	20
1.12. Yıllık Eşdeğer Doz Sınırları.....	20
1.12.1. Radyasyon Görevlileri İçin Yıllık Eşdeğer Doz Sınırları.....	20
1.12.2. Toplum Üyesi Kişiler İçin Yıllık Eşdeğer Doz Sınırı.....	20
1.13. Radyasyon Algılama Yöntemleri.....	21
1.13.1. Gaz Doldurulmuş Tüp Algılayıcılar.....	21
1.13.1.1. İyonizasyon Odası.....	21
1.13.1.2. Orantılı Sayıcılar.....	22
1.13.1.3. Geiger Mülher (G-M) Sayıcıları.....	22
1.13.2. Sintilasyon Algılayıcıları.....	23
1.13.2.1. NaI(Tl) Sintilatörleri.....	23
1.13.2.2. ZnS Sintilatörleri.....	23
1.13.2.3. Plastik Sintilatörler.....	24
1.13.3. Algılayıcı Verimi.....	24
1.13.4. Algılama Verimi.....	25

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	28
3. MATERYAL VE METOT.....	33
3.1. Örneklerin Alınması ve Sayıma Hazır Hale Getirilmesi.....	33
3.1.1. Su Örnekleri.....	33
3.1.2. Toprak Örnekleri.....	34
3.1.3. Gıda Örnekleri.....	34
3.1.4. Havadan Doğrudan Gama Dozu Ölçümleri.....	35
3.2. Kullanılan Sayım Sistemleri ve Algılayıcılar.....	35
3.2.1. 7286 Düşük Seviyeli Alfa Sayıcısı.....	35
3.2.2. Penceresiz Sintilasyon Sayacı.....	35
3.2.3. BP4 Beta Proflu Sintilasyon Sayacı.....	36
3.2.4. Gama Hassas Sintilasyon Sayacı.....	36
3.2.5. ASP2e Portatif Radyasyon Monitör Cihazı.....	36
3.3. Örneklerin Aktivite Konsantrasyonları.....	36
3.3.1. Sayma Hataları.....	36
3.3.2. Verim Düzeltmeleri.....	37
3.3.3. Örneklerin Aktivite Konsantrasyonlarının Ölçülmesi.....	37
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	38
4.1. Kahramanmaraş İl Merkezinde Çevresel Doğal Gama Radyasyonu Doz Hızı Değerleri.....	38
4.2. Kahramanmaraş İl Merkezi İçme Sularının Radyoaktivite Seviyeleri...	42
4.2.1. Kahramanmaraş İl Merkezi İçme Sularının Toplam Alfa ve Toplam Beta Radyoaktivite Seviyeleri.....	42
4.2.2. Kahramanmaraş İl Merkezi İçme Sularının ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K Konsantrasyonları.....	46
4.3. Kahramanmaraş İl Merkezi Toprak Örneklerinin Radyoaktivite Seviyeleri.....	49
4.3.1. Kahramanmaraş İl Merkezi Toprak Örneklerinin Toplam Alfa ve Toplam Beta Radyoaktivite Seviyeleri.....	49
4.3.2. Kahramanmaraş İl Merkezi Toprak Örneklerinin ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K Konsantrasyonları.....	52
4.4. Kahramanmaraş İl Merkezi Gıda Örneklerinin Radyoaktivite Seviyeleri.....	54
4.4.1. Kahramanmaraş İl Merkezi Gıda Örneklerinin Toplam Alfa ve Toplam Beta Radyoaktivite Seviyeleri.....	55
4.4.2. Kahramanmaraş İl Merkezi Gıda Örneklerinin ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K Konsantrasyonları.....	58
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	61
5.1. Çevresel Gama Radyasyonu Doz Hızı Ölçümleri.....	61
5.2. Kahramanmaraş İl Merkezi İçme Sularının Radyoaktivite Seviyeleri...	61
5.3. Kahramanmaraş İl Merkezi Toprak Örneklerinin Radyoaktivite Seviyeleri.....	62
5.4. Kahramanmaraş İl Merkezi Gıda Örneklerinin Radyoaktivite Seviyeleri.....	62
KAYNAKLAR.....	64
ÖZGEÇMİŞ.....	69

**T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI**

DOKTORA TEZİ

ÖZET

**KAHRAMANMARAŞ YÖRESİNDE DOĞAL RADYOAKTİVİTENİN
TAYİNİ**

ERDAL KÜÇÜKÖNDER

DANIŞMAN: Doç. Dr. Ömer SÖĞÜT

Yıl: 2009, Sayfa: 69

**Jüri : Doç. Dr. Ömer SÖĞÜT
: Prof. Dr. Mahmut DOĞRU
: Prof. Dr. Fikret ANLI
: Prof. Dr. Adnan KÜÇÜKÖNDER
: Yrd. Doç. Dr. Hüseyin ZENGİN**

Bu çalışmada, Kahramanmaraş il merkezinden su, toprak ve gıda örnekleri alınarak, Kahramanmaraş yöresinin doğal radyoaktivite seviyesi tespit edildi. Alınan örnekler sayıma hazır hale getirildikten sonra, uygun algılama sistemleri ile radyoaktivite seviyeleri tayin edildi. Bunlar ile birlikte, karasal kaynaklı gama radyasyon doz hızı ölçümleri de yapıldı. Elde edilen veriler ulusal ve uluslararası standartlar ile karşılaştırılarak Kahramanmaraş yöresinin doğal radyoaktivitesi su, toprak ve gıda örnekleri için toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri ve aynı örneklerdeki ²³⁸U, ²³²Th ve ⁴⁰K konsantrasyonları da belirlendi.

Anahtar Kelimeler: Kahramanmaraş, radyoaktivite, toplam alfa, toplam beta.

**UNIVERSITY OF KAHRAMANMARAS SUTCU IMAM
INSTITUTE FOR GRADUATE STUDIES IN SCIENCE AND ENGINEERING
DEPARTMENT OF PHYSICS**

PhD THESIS

ABSTRACT

**DETERMINATION OF THE NATURAL RADIOACTIVITY LEVEL IN THE
KAHRAMANMARAŞ REGION**

ERDAL KÜÇÜKÖNDER

SUPERVISOR: Doç. Dr. Ömer SÖĞÜT

Year: 2009, Page: 69

**Jury : Assoc. Prof. Dr. Ömer SÖĞÜT
: Prof. Dr. Mahmut DOĞRU
: Prof. Dr. Fikret ANLI
: Prof. Dr. Adnan KÜÇÜKÖNDER
: Assist. Prof. Dr. Hüseyin ZENGİN**

In this study, the natural radioactivity levels of Kahramanmaraş region were determined. For this purpose, water, soil and food samples from Kahramanmaraş province center were collected. Samples were prepared for radioactivity counting. The levels of radioactivity were determined by using appropriate detection systems. In addition, gamma radiation dose rate measurements from territorial sources were achieved. The obtained data were compared with national and international standards. Gross alpha and gross beta radioactivity levels in water, soil and food samples were determined. Further, concentration of ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K in water, soil and food samples were also determined.

Key Words: Kahramanmaraş radioactivity, gross alpha, gross beta.

ÖNSÖZ

Bu tez konusunun verilmesinde, yürütülmesinde, çalışmalarım süresince fikirleriyle beni araştırmaya yönelten ve tezin planlanmasında elinden gelen bütün fedakârlık ve her türlü yardımlarını esirgemeyen, sürekli ilgi ve desteğini sağlayan, çok değerli hocalarım sayın Doç. Dr. Ömer SÖĞÜT'e ve sayın Prof. Dr. Mahmut DOĞRU'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca çalışmalarım süresince akademik yardımlarını esirgemeyen, Yrd. Doç. Dr. Sultan ŞAHİN'e, Arş. Gör. Şule KARATEPE'ye ve çalışmam boyunca ihmal ettiğim değerli eşim ve çocuklarıma gösterdikleri sabır, anlayış ve destek için sonsuz teşekkür ederim.

Eylül 2009, KAHRAMANMARAŞ**Erdal KÜÇÜKÖNDER**

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1.	Doğal radyoaktif seriler ve bazı parametreleri.....	5
Çizelge 1.2.	Tabiatta tek başına bulunan doğal radyonüklidler.....	6
Çizelge 1.3.	Bazı kayalar ve topraktaki ^{40}K , ^{232}Th ve ^{238}U 'nun kütle ve aktivite konsantrasyonları.....	9
Çizelge 1.4.	Topraktaki doğal radyonüklidlerin aktivite konsantrasyonları.....	9
Çizelge 1.5.	Değişik kaynakların içilebilir sularındaki bazı doğal karasal radyonüklidlerin aktivite konsantrasyonlar.....	11
Çizelge 1.6.	İçme suları için uluslararası ve ulusal kuruluşlar tarafından kabul edilmiş en yüksek radyoaktif kirletici konsantrasyonları.....	12
Çizelge 1.7.	Gıda ve havadaki bazı karasal radyonüklidlerin referans aktiviteleri.....	14
Çizelge 1.8.	Gıdalardaki bazı doğal radyonüklidlerin yüksek aktivite konsantrasyonları.....	14
Çizelge 1.9.	Bazı kozmojenik nüklidler.....	16
Çizelge 1.10.	İnsan vücudundaki doğal radyonüklidler ve aktiviteleri.....	17
Çizelge 1.11.	İyonlaştırıcı radyasyon birimleri ve dönüşüm faktörleri.....	19
Çizelge 1.12.	Çeşitli radyasyonlar için kalite faktörleri.....	21
Çizelge 4.1.	Kahramanmaraş il merkezi gama doz hızı değerleri.....	39
Çizelge 4.2.	Kahramanmaraş il merkezi içme suyu kaynaklarının toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri.....	43
Çizelge 4.3.	Kahramanmaraş il merkezi içme suyu depo sularının toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri.....	44
Çizelge 4.4.	Kahramanmaraş il merkezi ev ve iş yeri sularının toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri.....	45
Çizelge 4.5.	Kahramanmaraş il merkezinde içme sularında ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K konsantrasyonları.....	47
Çizelge 4.6.	Kahramanmaraş il merkezi toprak örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri.....	49
Çizelge 4.7.	Kahramanmaraş il merkezi toprak örneklerinin yapısı.....	50
Çizelge 4.8.	Kahramanmaraş il merkezi toprak örneklerinin alındığı bölgelerdeki kayaç yapısı.....	51
Çizelge 4.9.	Kahramanmaraş İl Merkezinde Toprak Örneklerinde ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K Konsantrasyonları.....	53
Çizelge 4.10.	Kahramanmaraş il merkezi gıda örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri.....	56
Çizelge 4.11.	Kahramanmaraş il merkezinde gıda örneklerinde ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K konsantrasyonları.....	59

SEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Alfa, beta, gama, x ışınları ve nötronun etki mesafeleri.....	7
Şekil 1.2.	Farklı voltaj bölgelerinin şematik gösterimi.....	22
Şekil 1.3.	Bir plastik sintilatör algılayıcısının elektroniği.....	24
Şekil 1.4.	Tam enerji pik verim eğrisi.....	25
Şekil 3.1.	Kahramanmaraş il haritası.....	33
Şekil 4.1.	Kahramanmaraş il merkezi bina içi gama doz hızı değerleri.....	38
Şekil 4.2.	Kahramanmaraş il merkezi bina dışı toprak zemin gama doz hızı değerleri.....	39
Şekil 4.3.	Kahramanmaraş il merkezi bina dışı asfalt zemin gama doz hızı değerleri	40
Şekil 4.4.	Kahramanmaraş il merkezi içme suyu kaynaklarının toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri.....	43
Şekil 4.5.	Kahramanmaraş il merkezi içme suyu depo sularının toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri.....	45
Şekil 4.6.	Kahramanmaraş il merkezi ev ve iş yerleri sularının toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri.....	46
Şekil 4.7.	Kahramanmaraş il merkezinde içme sularında ^{238}U konsantrasyonu.....	48
Şekil 4.8.	Kahramanmaraş il merkezinde içme sularında ^{232}Th konsantrasyonu.....	48
Şekil 4.9.	Kahramanmaraş il merkezinde içme sularında ^{40}K konsantrasyonu.....	48
Şekil 4.10.	Kahramanmaraş il merkezi toprak örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri.....	49
Şekil 4.11.	Kahramanmaraş il merkezinde toprak örneklerinde ^{238}U konsantrasyonu.....	54
Şekil 4.12.	Kahramanmaraş il merkezinde toprak örneklerinde ^{232}Th konsantrasyonu.....	55
Şekil 4.13.	Kahramanmaraş il merkezinde toprak örneklerinde ^{40}K konsantrasyonu.....	55
Şekil 4.14.	Kahramanmaraş il merkezi gıda örneklerinin toplam alfa ve beta radyoaktivite seviyeleri.....	55
Şekil 4.15.	Kahramanmaraş il merkezinde gıda örneklerinin ^{238}U konsantrasyonları.....	60
Şekil 4.16.	Kahramanmaraş il merkezinde gıda örneklerinin ^{232}Th konsantrasyonları.....	60
Şekil 4.17.	Kahramanmaraş il merkezinde gıda örneklerinin ^{40}K konsantrasyonları.....	60

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Bq	: Becquerel, radyoaktivite birimi
Ci	: Curie, radyoaktivite birimi
Gy	: Gray, soğurulmuş doz birimi
R	: Röntgen, radyasyon siddet birimi
Sv	: Sievert, esdeger doz birimi
p	: Piko, alt birim
n	: Nano, alt birim
μ	: Mikro, alt birim
α	: Alfa parçacığı
β	: Beta parçacığı
γ	: Gama parçacığı
AERE	: Atom Enerjisi Araştırma Kurumu (Atomic Energy Research Establishment)
ÇNAEM	: Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi
HpGe	: Yüksek Saflıkta Germanyum
IAEA	: Uluslararası Atom Enerji Kurumu (International Atomic Energy Agency)
ICRP	: Uluslararası Radyolojiden Koruma Komisyonu (International Commission on Radiological Protection)
ICRU	: Uluslar arası Radyasyon Birimleri ve Ölçümleri Komisyonu (International Commission on Radiation Units and Measurements)
LET	: Lineer Enerji Transferi
NCRP	: Radyasyondan Koruma ve Radyasyon Ölçümü Ulusal Konseyi (National Council on Radiation Protection and Measurements Radiation)
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
TLD	: Termoluminans Dozimetri
UNSCEAR	: Birleşmiş Milletler Bilim Komitesi (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic)
WHO	: World Health Organization
ALA	: Algılama Limiti Altında

1. GİRİŞ

Radyoaktivite doğanın bir parçasıdır, çünkü elementlerin hem kararlı hem de radyoaktif izotopları, yıldızlarda meydana gelen nükleer reaksiyonlar ile şekillenir. Bu nedenle elementlerin izotopik kompozisyonları onların oluşumunu sağlayan nükleer reaksiyonların özellikleri ile karakterize edilir. Üzerinde yaşadığımız ve yaşı yaklaşık olarak $4,5 \times 10^9$ yıl olduğu tahmin edilen Dünyamızın doğal bileşimi, kimyasal bir dengenin söz konusu olmadığı maddelerden oluşmuştur. Bu nedenle, doğada Dünya yaşından daha uzun yarı ömürlü radyonüklidler olduğundan sürekli yeni radyoizotoplar üreten radyoaktif bozunmalar sürmekte ve yeni radyoaktif çekirdeklerin oluşumu devam etmektedir. Tabiatdaki en basit çekirdek olan hidrojen dışında diğer bütün çekirdekler proton ve nötronlardan oluşur. Nötronların protonlara oranı kararlılık çizgisi üzerindeki daha hafif izotoplar için 1'dir ve periyodik tablonun sonundaki elementlere yaklaştıkça ya da kararlılık çizgisinden uzaklaştıkça bu oran artar. Bu oran arttıkça kararsız izotopların olduğu bölgeye yaklaşırlar. En ağır kararlı çekirdek ^{209}Bi 'dir. Bu çekirdekten daha ağır olan çekirdekler kararsızdırlar ve çevreye yayabilecekleri fazla enerjileri vardır. Kararsız çekirdekler radyonüklidler olarak adlandırılırlar ve radyasyon yayımı ile fazla miktardaki enerjilerini ortama yayarlar. Bu süreç radyoaktivite ya da radyoaktif bozunma olarak adlandırılır (Valkovic, 2000).

Doğal radyoaktivite, yer kabuğunda bulunan radyoaktif elementlerden olduğu kadar uzaydan gelen kozmik ışınlardan da kaynaklanmaktadır. İnsanlar, hayatları boyunca sürekli olarak doğal radyasyon kaynaklarını oluşturan karasal ve kozmik radyasyonlara maruz kalırlar. İnsanların radyasyonlardan aldıkları yıllık etkin doz eşitliğine en büyük katkıyı doğal kaynaklardan oluşan iyonize radyasyonun vermesinden dolayı, doğal radyasyon düzeylerinin belirlenmesi çok önemlidir. Ayrıca çevresel doğal radyoaktivitenin bilinmesi nükleer kaza başta olmak üzere birçok alanda kullanılmakta olan radyoaktif kaynakların kullanılması ve atık olarak tasfiye edilmesine bağlı olarak çevrenin hangi oranlarda kirlendiğinin belirlenmesi açısından da önemlidir.

Toplum için radyasyon dozunu hesaplamada, önce radyonüklidin aktivitesinin kesin olarak bilinmesi gerekir. Çevreye yayılan radyasyondan dolayı toplumun maruz kaldığı dozu belirlemek için, alınmış olan dozdan dolayı oluşabilecek klinik sağlık etkileri değerlendirilmeli ve sonuçta çevredeki kirlenme miktarı belirlenerek toplumu korumak için gerekli olan önlemler alınmalıdır.

Doğal radyasyonların temel seviyeleri, bölgenin jeolojik ve coğrafik yapısına bağlı olarak da değişiklik gösterir. Toprak ve kayaların minerolojik yapıları ile coğrafi yükseklik, bölgenin temel radyasyon seviyesini etkilemektedir. Bir bölgenin veya bir yerin doğal temel seviye radyasyonunun belirlenmesi demek radyolojik açıdan incelenmesi, o yerin toprağında, suyunda ve havasında bulunan doğal radyoaktivitenin belirlenmesi demektir.

Radyoaktivitenin ölçülmesi ve algılanması ile ilgili olarak geliştirilmiş bütün cihazların çalışma prensipleri radyasyonun madde ile etkileşmesi esasına dayanır. Radyasyon-madde etkileşim süreçlerinin anlaşılması, birçok radyasyon algılayıcısının geliştirilmesini sağlamıştır. Radyonüklid konsantrasyonlarının ölçülmesi için kullanılan metotların sayısı oldukça fazladır. Bununla birlikte birbirinden farklı bir kaç tekniğin bir arada kullanılması ölçümlerde daha iyi sonuçların alınmasını sağlar.

Doğal radyoaktif kaynaklar genel olarak, kara ve uzay kökenli olmak üzere iki ana grupta toplanırlar. Karasal radyasyonlar temelde güneş sisteminin oluşumunun ilk aşamasında var olan radyoaktif çekirdeklerden kaynaklanır. Bununla birlikte; uranyum, toryum ve potasyum doğal karasal kaynaklı radyoaktiviteye esas katkı sağlayan radyoaktif elementlerdir.

Uranyum, ^{238}U ve ^{235}U olmak üzere iki adet birincil izotopa sahiptir. Tabiatta ^{238}U %99,3 oranında, ^{235}U ise %0,7 oranında bulunmaktadır. Potasyumun izotoplarından ^{40}K toplam potasyum içinde %0,012 bollukta bulunur ve radyoaktiftir (Al-Jundi, 2002). Çevresel radyasyona katkı sağlayan bu gibi doğal radyonüklidlerin (^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K) kütle aktivite konsantrasyonları toprak ve kaya tiplerine göre değişir.

Kütle aktivite konsantrasyonu, yerden 1 m yükseklikte havadaki soğurulmuş doza karşılık gelen radyasyon şiddetidir (Beck, 1982). Bu nedenle havada ölçülen radyasyon dozu topraktaki radyonüklid konsantrasyonları ile yakından ilgilidir. Volkanik kayaların kütle aktivite konsantrasyonları, tortul kayalarından daha yüksektir. Bununla birlikte tortul ve fosfat kayalar da oldukça yüksek kütle aktivite konsantrasyonlarına sahiptirler. Başkalaşım kayaları ise oluştukları kayaların içerdiği konsantrasyonlara sahiptirler (NCRP, 1977). Bununla birlikte; ^{238}U , ^{232}Th ve onların azalma serileri ile ^{40}K orijinli karasal kaynaklı gama radyasyonu kristal kayalardan oluşan bölgelerde sedimentel bölgelere nazaran daha yüksektir (Buchli ve Burkart, 1989).

Kozmik radyasyonlar, farklı enerjilerde yayınlanan ve değişik yüklerde olan partikül veya elektromanyetik ışınlardır. Bu radyasyonların yoğunlukları atmosferin üst tabakalarında yüksek, deniz seviyesinde ise daha düşüktür. Deniz seviyesindeki kozmik ışın elemanlarının havada meydana getirdikleri doz değerinin dünya ortalaması yaklaşık olarak 32 nGy/saat'dir (NCRP, 1976). Yapı malzemelerindeki doğal radyonüklidler ev içi ve ev dışı radyasyon kaynaklarıdır. Dış radyasyonlara maruz kalmaya uranyum ile toryum radyoaktif bozunma serilerinden ve potasyumdan kaynaklanan gama radyasyonu sebebiyet vermektedir. Uranyumun doğal bir radyoizotopu olan ^{238}U değişik konsantrasyonlarda kaya ve topraklarda bulunur.

Suyun sahip olduğu çözücülük, taşıyıcılık ve değişik radyoaktif çekirdekleri çöktürme gibi değişik karakteristik özellikleri, suyun doğal radyoaktivitesini artırmaktadır. Suyun doğal radyoaktivitesinin artmasının önemli bir sebebi ise içerisinde süzüldüğü topraktan suya geçen radyoaktif elementlerdir (Külahcı, 2001; Mutluay ve Demirak, 1996).

Daha önce yapılan çalışmalar, beta yayıcı radyoaktif element içeren topraklardan, suya bu elementlerin yaklaşık olarak %7 ile %9'nun geçtiğini göstermektedir. Bununla birlikte, topraktan suya geçen beta yayıcıların yoğunluğunun yaklaşık olarak 1000 ile 5800 katı bitkiler tarafından biriktirilmektedir (Külahcı, 2001). Suların içerisindeki alfa yayıcı ise içerisinden geçtikleri volkanik ve tortul kayalardan kaynaklanmaktadır. Volkanik kayaların alfa yayıcı yoğunlukları, tortul kayalarınkinden daha fazladır (WHO, 2001).

Bu çalışmanın amacı Kahramanmaraş ili, merkez ilçesini radyolojik açıdan incelemek ve sonuçlarını değerlendirmektir. Bu amaçla; içme suyu, toprak ve bu topraklarda yetiştirilen gıda örnekleri toplanıp, incelenerek doğal radyoaktivite seviyeleri

belirlendi. Burada yaşayan insanların, bir yıl boyunca ne oranlarda radyasyon dozu aldıkları belirlendi. Ayrıca, Kahramanmaraş ilinde, doğal radyasyon seviyesinde herhangi bir sebeple daha sonra meydana gelebilecek değişikliklerin karşılaştırması için temel oluşturuldu.

1.1. Doğal Radyoaktivite

Radyoaktivite, 19. yüzyılın sonunda Becquerel tarafından keşfedilmiştir. Daha sonraki yıllarda Curie ve diğer bilim adamları tarafından yapılan klasik çalışmalar bu alanda yapılan yeni gelişmelere zemin hazırlamıştır.

Doğal radyoaktivite, kararsız haldeki atom çekirdeğinin, kendiliğinden bozunuma uğrayarak bazı ışınlar yayıp, başka çekirdeğe dönüşmesi olayıdır. Eğer, bozunarak ışın yayınlayan radyoizotop, doğada bulunuyorsa veya doğada bulunan diğer radyoizotopların bozunmasından ortaya çıkıyorsa doğal radyoaktiflik olarak adlandırılır. Doğal radyoaktivite, atomun çekirdek yapısının açıklanması, dünya yaşının tahmini, okyanusların dibinde bulunan sediment oluşum oranlarının ölçülmesi gibi çeşitli işlerde kullanılır. Doğal radyoaktivite seviyelerini belirleme çalışmaları, nükleer enerjinin insanoğlunun hizmetine girmesi ve nükleer santrallerde üretilen radyoaktif maddelerin çevreye verdikleri zararların araştırılmaya başlanmasıyla hız kazanmıştır. Bu tür çalışmalar sadece doğal radyoaktivite seviyelerinin belirlenmesi ve ölçülen değerlerin doğruluğundan emin olma olayı değil, aynı zamanda nükleer santrallerin kurulduğu bölgelere yakın oturan insanların çevresel doğal radyasyonların yanısıra nükleer santrallerden kaynaklanan radyasyonlardan da etkilenip etkilenmediklerinin bilinmesi açısından önemlidir.

Doğal yollarla oluşan radyoaktivitenin etkilerini canlı ve cansız bütün varlıklarda gözlemlemek mümkündür (Lality and Shukla, 1982). Gerek insanlar gerekse diğer canlılar hem yer kabuğu kökenli hem de uzay kökenli doğal radyoaktif kaynaklardan çıkan radyasyonlara sürekli maruz kalırlar. Doğada bulunan radyonüklidlerin sayısı 340 civarındadır. Bunların 70 tanesi bilinen ağır radyoaktif elementler içinde bulunurlar. Atom numarası $Z=82$ ' den büyük elementler radyoaktif özelliğe sahiptirler. Yer kabuğunda mevcut olan izotopların relatif bollukları, evrenin oluşması esnasında ortaya çıkmış elementlerin izotopik oranlarından çıkarılır. Aplher, Herman ve Rankama elementlerin izotopik oranlarında mükemmel bir nizamın olduğunu ve bunun sadece Dünya üzerinde değil, atmosferde, gezegenlerin yüzeylerinde, meteorlarda, yıldızlararası maddelerde ve içinde olduğumuz galaksi dışındaki bütün galaksilerde de olabileceği tezini savunmuşlardır (Marouf ve ark., 1992). Ayrıca, evrenin mevcut olan bu düzenden hareket ederek, benzer durumun izotopların dağılımında da olabileceğini söylemişlerdir (Marouf ve ark., 1992). Evrenin henüz yeni oluşmaya başladığı zamanlarda birçok izotopun radyoaktif olduğu tahmin edilmektedir. Bunun birkaç milyon yıl sürdüğü ve kısa yarı ömre sahip olan radyonüklidlerin bu süre içinde ömürlerini bitirdikleri için kalmadıkları kabul edilmektedir. Geriye kalan ve halen mevcut olan radyonüklidlerin hepsinin yarı ömürlerinin evrenin ömrüyle mukayese edilecek kadar büyük oldukları (en az 10^{10} yıllık yarı ömre sahip oldukları) ve bozunmalarının halen devam ettiği kabul edilmektedir (Marouf ve ark., 1992).

Doğal radyoaktif kaynaklar genel olarak, kara ve uzay kaynaklı olmak üzere iki ana grupta toplanırlar. Ayrıca, uzaydan gelen kozmik ışınların dünya atmosferinde bulunan gazlar ve yer kabuğu orjinli bazı radyoaktif çekirdeklerle reaksiyona girmeleri sonucu

üretilen, bazı radyoaktif izotoplar da vardır. Bunların en önemlileri ^{14}C ve ^3H tür. Ağır elementlerden oluşan doğal radyoaktif izotoplar üç seri altında toplanırlar.

- 1) Uranyum serisi (^{238}U)
- 2) Toryum serisi (^{232}Th)
- 3) Aktinyum serisi (^{235}U)

Bu seriler ve bunların bozunma ürünleri olan radyonüklidler Çizelge 1.1’de verilmektedir. Bu radyoaktif ağır element serilerinden farklı olarak tabiatta tek başına bulunan ve kendilerine has özelliklere sahip olan bazı doğal radyonüklidler de vardır. Bunlar Çizelge 1.2’de gösterilmektedirler. ^{40}K bu gurubun en önemlilerindedir çünkü temel radyasyon seviyesine katkısı oldukça fazladır. Çizelge 1.2’de kozmik ışınların ara etkileşimleri sonucu üretilen bazı radyonüklidler ve diğer yer kabuğu kökenli radyonüklidler birlikte verilmektedir.

1.1.1. İyonlaştırıcı Radyasyon

Atomla etkileşime girebilecek kadar güçlü enerji seviyesine sahip, alfa ve beta parçacığı gibi hareket eden yüklü parçacıkların meydana getirdikleri etki iyonlaştırma olarak adlandırılmaktadır. Yüksek enerjili parçacıkların, atom yakınından geçerken oluşturdukları elektron yörüngesindeki değişimler ya da elektronun yörüngesinden çıkması iyonlaştırıcı radyasyonun etkileridir.

1.1.2. İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon

Atomla etkileşime girebilecek kadar güçlü olmayan enerji seviyelerindeki elektromanyetik dalgaların atomların yörüngesinde sebep olduğu değişim organizma üzerinde büyük bir hasara neden olmaz. Bunlar iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olarak adlandırılır. Bu tür radyasyona mikrodalga, görünür ışık, radyo ve televizyon dalgaları örnek olarak verilebilir.

1.1.3. Uranyum

Uranyum saf formunda doğal, her yerde bulunabilen ve radyoaktif, gümüş renkli, ağır bir metaldir. Küçük miktarlarda bütün kaya ve toprakta, yerkabuğunun doğal maddelerinden yapılan materyallerde bulunur. Doğal olarak oluşan uranyum üç farklı izotopa sahiptir; bunlar ^{234}U , ^{235}U , ^{238}U ’dir ve ağırlığının % 99,2745’ini ^{238}U , % 0,7200’ini ^{235}U ve % 0,0055’ini ^{234}U oluşturur. Çok uzun yarı ömre sahip olan ve doğada en çok bolluğa sahip olan ^{238}U , uranyumun her bir birim kütlelerinde çok düşük bozunma oranına sahiptir. Düşük bozunumu nedeniyle aslında doğal olarak oluşan uranyum, gezegen üzerindeki kararsız izotoplar arasındaki en az radyoaktif olan maddelerden biridir. Tüm uranyum izotopları temel olarak alfa parçacıkları yayınlamalıdır. Bu alfa parçacıkları yumuşak doku içerisinde sadece 30 μm ilerleyebilir. Böylece derinin yüzeysel tabakasındaki ölü hücrelere bile ulaşamayabilir.

Sonuç olarak alfa parçacıkları sadece vücut içi kaynaklı ise hücre yapısına zarar verir. Beta parçacıkları vücut içinde daha büyük bir giriciliğe sahiptir. Gama ışınları son derece giricidir. Bu nedenle hem iç hem de dış kaynaklı gama ışınları hücre yapısında zarar

oluşturur. Şekil 1.1’de alfa, beta, gama, X ışınları ve nötronların kağıt, plastik, kurşun ve beton üzerindeki etki mesfeleri gösterilmiştir.

Çizelge 1.1. Doğal radyoaktif seriler ve bazı parametreleri.

Seriler	Üye	Atom Numarası	Yarı Ömür	Bozunma Türü
Uranyum	²³⁸ U	92	4,5 x 10 ⁹ Yıl	α
	²³⁴ Th	90	24 Gün	β ⁻
	^{234m} Pa	91	1,2 Dakika	IT, β ⁻
	²³⁴ Pa	91	6,7 Saat	β ⁻
	²³⁴ U	92	2,5 x 10 ⁵ Yıl	α
	²³⁰ Th	90	8 x 10 ⁴ Yıl	α
	²²⁶ Ra	88	1600 Yıl	α
	²²² Rn	86	3,8 Gün	α
	²¹⁸ Po	84	3 Dakika	α
	²¹⁴ Pb	82	27 Dakika	β ⁻
	²¹⁴ Bi	83	20 Dakika	β ⁻ , α
	²¹⁴ Po	84	160 μ Saniye	α
	²¹⁰ Tl	81	1,3 Dakika	β ⁻
	²¹⁰ Pb	82	22 Yıl	β ⁻
Toryum	²¹⁰ Bi	83	5 Gün	β ⁻
	²¹⁰ Po	84	138 Gün	α
	²⁰⁶ Pb	82	Kararlı	Kararlı
	²³² Th	90	1,4 x 10 ¹⁰ Yıl	α
	²²⁸ Ra	88	5,8 Yıl	β ⁻
	²²⁸ Ac	89	6,1 Saat	β ⁻
	²²⁸ Th	90	1,9 Yıl	α
	²²⁴ Ra	88	3,7 Gün	α
	²²⁰ Rn	86	56 Saniye	α
	²¹⁶ Po	84	0,15 Saniye	α
	²¹² Pb	82	10,6 Saat	β ⁻
	²¹² Bi	83	1 Saat	β ⁻ , α
	²¹² Po	84	0,3 μ Saniye	α
	²⁰⁸ Tl	81	3,1 Dakika	β ⁻
Aktinyum	²⁰⁸ Pb	82	Kararlı	Kararlı
	²³⁵ U	92	7,1 x 10 ⁸ Yıl	α
	²³¹ Th	90	26 Saat	β ⁻
	²³¹ Pa	91	3,3 x 10 ⁴ Yıl	α
	²²⁷ Ac	89	22 Yıl	β ⁻ , α
	²²⁷ Th	90	19 Gün	α
	²²³ Fr	87	22 Dakika	β ⁻ , α
	²²³ Ra	88	11 Gün	α
	²¹⁹ At	85	0,9 Dakika	α, β ⁻
	²¹⁹ Rn	86	4 Saniye	α
	²¹⁵ Po	84	1,8 mili Saniye	α
	²¹¹ Pb	82	36 Dakika	α
	²¹¹ Bi	83	2,2 Dakika	α, β ⁻
	²¹¹ Po	84	0,5 Saniye	α
²⁰⁷ Tl	81	4,8 Dakika	β	
²⁰⁷ Pb	82	Kararlı	Kararlı	

Çizelge 1.2 Tabiatta tek başına bulunan doğal radyonüklidler (Lowder and Sobon,1956)

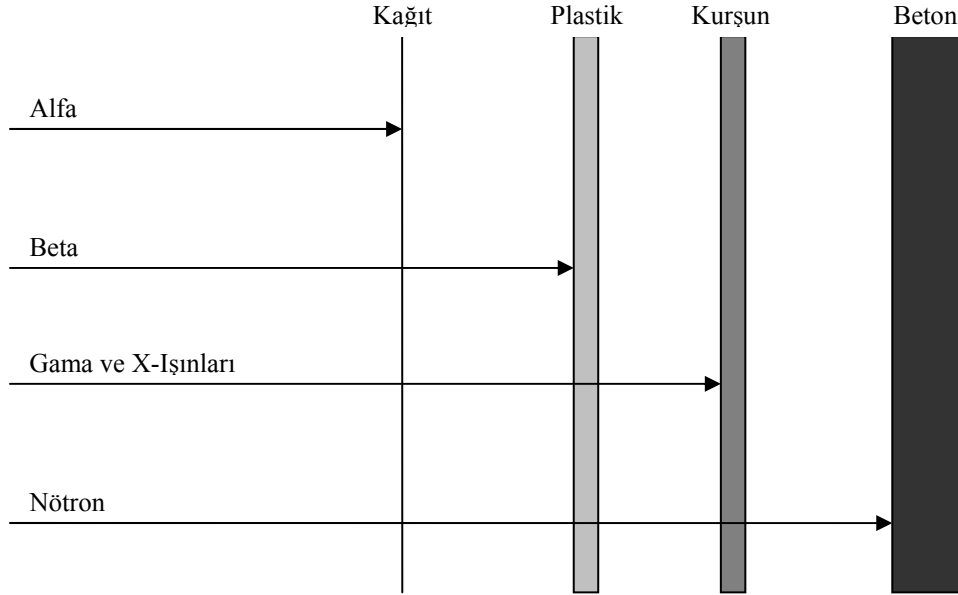
Izotop	Yarı Ömür ($T_{1/2}$)	Yayınlanan radyasyon	E(keV)	I_{γ} (%)
^3H	12,4 yıl	β	180,0	100
^{14}C	5400 yıl	β	155,0	100
^{40}K	$1,3 \times 10^9$ yıl	β	1300	90
		γ	1460,8	10
^{87}Rb	$6,1 \times 10^{10}$ yıl	β	250	100
^{115}In	10^{14} yıl	β	630	100
^{129}I	$1,7 \times 10^7$ yıl	β	120	100
^{138}La	7×10^{10} yıl	β	1210	7
		γ	1390	93
^{147}Sm	$6,7 \times 10^{11}$ yıl	α	2180	
^{176}Lu	$6,7 \times 10^{10}$ yıl	β	425	
^{209}Bi	$2,7 \times 10^{17}$ yıl	α	3150	
^{239}Pu	$2,4 \times 10^4$ yıl	α	5150	69
		γ	39	
		γ	384	

Tüm uranyum izotoplarında bazı zamanlarda alfa parçacıkları dışında radyasyonun diğer formları da görülebilir. Bunun nedeni, uranyum izotoplarının diğer radyoaktif izotoplara dönüşmesidir. Hava, su ve yiyeceklerde az miktarlarda bulunan uranyum, gezegenimizde yaşayan tüm insanlar tarafından günlük olarak sindirim ve solunum yoluyla alınır. Doğal uranyumun insan vücudundaki ana rotasını, sindirim ve solunum oluşturur. Solunum yoluyla alınan uranyumun çok küçük bir yüzdesi uzun bir zaman için lenf düğümlerinde tutunur, diğer küçük bir kesri çözünür, kana karışır ve bunun da büyük bir kısmı sonradan vücuttan atılır. Kan yapısında bulunan uranyum, böbrekler, karaciğer, diğer organlar ve iskelette depo edilir.

1.1.4. Toryum

Toryum, 12 nüklit serisinin başıdır. ^{232}Th ve ^{238}U serileri güçlü benzerlikler gösterirler; onlar aynı elementin (radyum, radon, kurşun, bizmut, polonyum) izotoplarını ve büyük oranda α yayıcılarını içerir. İki seri arasındaki temel fark, ^{232}Th 'nin zincirdeki çok uzun ömürlü tek radyonüklid olmasıdır. ^{232}Th serileri üç alt seriye ayrılır;

- (1) ^{232}Th kendisi
- (2) $^{228}\text{Ra} \rightarrow ^{224}\text{Ra}$
- (3) $^{220}\text{Rn} \rightarrow ^{208}\text{Pb}$



Şekil 1.1. Alfa, beta, gama, X ışınları ve nötronun etki mesafeleri.

1.1.5. Radyum- 226

Radyumun temel doğal kaynağı, uranyum ve toryumdur. ^{226}Ra bir alfa yayınlayıcısı olup, yarı ömrü 1600 yıldır. Aynı miktardaki uranyuma göre 1 milyon kez daha radyoaktiftir. Radyum ve ürünleri insanların dış ve iç ışınlanmalarına neden olan doğal kaynakların en önemlilerindedir. Kimyasal olarak kalsiyuma benzer, kemiklere yerleşerek büyük miktarlarda zarar verme potansiyeline sahiptir ve vücuda alındığında kemiklerde birikerek omuriliği sürekli ışınlamaktadır.

Uzun yarı ömre sahip olması nedeniyle, ^{222}Rn oluşumunda bir üreteç görevi yapar ve genellikle radon, kısa yarı ömürlü bozunma ürünleri ile denge halinde bulunur.

1.1.6. Potasyum - 40

Potasyum, temel bir elementtir ve vücutta yaşamsal bir öneme sahiptir. Doğal olarak bulunan potasyumun üç izotopundan sadece ^{40}K kararsız olup, yarı ömrü $1,28 \times 10^9$ yıldır. Doğal potasyumun % 0,0118'ini, ^{40}K izotopu oluşturmaktadır. Doğal potasyum, toprakta çok bol bulunduğu için doğal gama radyasyon dozunun önemli bir kesrini meydana getirmektedir.

1.2. Topraktaki Doğal Radyoaktivite

Topraktaki radyoaktivite temel anlamda kayalardan kaynaklanır. Toprağın içerdiği radyoaktivite konsantrasyonu; hava koşulları, sedimentasyon, filtreleme, emilme, yer altı suyunun hareketi sonucu meydana gelen çökelmeler, diğer maddeler ile sulanma ve yüksek derecede porozite ile artar veya azalabilir. Toprakta bulunan ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K gibi doğal radyonüklidler toprağın radyoaktif olmasına sebep olmaktadır. Doğal radyonüklidler

daha çok volkanik, fosfat, granit ve tuz kayalarında yüksek konsantrasyonlarda bulunurlar. Bu kayalar doğa şartlarına bağlı olarak zamanla ufalanarak çok küçük parçalar halinde yağmur veya akıntı sularıyla toprağa karışırlar. Bu şekilde de toprağın doğal radyoaktivitesini artırırılar. Hatta tarımda topraktaki verimi artırmak için kullanılan suni tohumlama ve gübreleme (suni gübreler radyoaktif ^{32}P içermektedir) gibi bazı insan aktiviteleri de yerel olarak toprağın yüzey radyoaktivitesini artırmaktadır (Niewiadowski ve ark, 1982). Bazı kaya ve topraklardaki ^{40}K , ^{232}Th ve ^{238}U 'nun konsantrasyonları Çizelge 1.3'de verilmiştir (Liden and Holm, 1985).

Dünyanın jeolojik yapısı incelendiğinde belli kalınlıktaki toprak tabakasının hemen altında kaya yataklarının olduğu görülür. Bu kaya yataklarının da karasal radyoaktiviteye sebep olduğu tahmin edilmektedir. Özellikle, gama radyasyonlarının önemli bir kısmının 0-25 cm derinlikteki yüzey tabakadan kaynaklandığı biliniyor. Bazı bölgelerde çok geniş alanlara yayılmış olan granit kayaları önemli miktarlarda toryum içermektedir. Yapılan radyometrik araştırmalar göstermiştir ki, bu tip kayaların bulunduğu alanlarda ölçülen gama radyasyonları oldukça yüksektir. ABD' nin Coloroda bölgesinde havada ölçülen radyasyon şiddeti 8-16 $\mu\text{R/saat}$, Brezilya'da 5-158 $\mu\text{R/saat}$, İtalya'da 7-50 $\mu\text{R/saat}$, İsveçte 2-400 $\mu\text{R/saat}$, Hindistan'da 2-110 $\mu\text{R/saat}$ civarındadır. Görüldüğü gibi bu ülkelerde doğal radyasyon seviyeleri oldukça yüksektir (UNSCEAR, 1993). Bu ülkelerde yaşayan insanların doğal kaynaklardan aldıkları yıllık radyasyon dozları diğer ülkelere nispeten çok daha fazla olmaktadır.

Püskürük ve metamorfik kayalar yüksek sıcaklık ve basınç şartlarında şekillenmiş olan kristal kayalardır. Bu şartlar altında kayalar eriyebilir ya da tekrar kristalleşebilir. Birbirlerinden farklı elementler olan uranyum ve toryumun büyük hacimleri, onların çoğu mineral yapılar içine girmelerine izin vermez. Bunun bir sonucu olarak uranyum ve toryum daha önceden şekillenmiş yüksek sıcaklık ve yüksek basınçlı mineral yapılarından ayrılırlar ve oluşumu uzun zaman alan alkalik kayalarda zengin olarak bulunma eğilimi gösterirler (Gascoyne, 1982). Uranyum ve toryum bu şartlar altında benzer bir şekilde hareket ettikleri için onlar arasındaki oran genellikle ortak püskürük kayalarda 4'e 3'tür. Her iki elementin bolluğu kuvars muhteviyatı ile artış eğilimi gösterir. Granitler genellikle uranyum ve toryumun en yüksek konsantrasyonlarına sahiptirler. Bu tür kayalardaki uranyum konsantrasyonu nadiren 30 ppm'i aşmaktadır. Kuvarsca zayıf kayalar ise genellikle 0,1 ppm ya da daha az uranyum konsantrasyonu içerirler (Rogers and Adams, 1969). Uranyum, toryum, bu radyonüklidlerin kız çekirdekleri ve ^{40}K buldukları kristal kayalarda büyük oranda ısı açığa çıkmasına sebebiyet verirler.

Toprakta mevcut olan radyoaktivite biyokimyasal işlemlerle biraz değişir. Bitki kök sistemlerindeki gelişme bir taraftan topraktaki dengeyi sağlarken diğer taraftan bitkinin ihtiyacı olan suyu topraktan alır. Hümic asit kayaların parçalanmasında ve bu parçaların sular vasıtasıyla toprağa karışmasında önemli bir rol oynar. Topraktaki organik maddelerin ayrışması, toprağın alt tabakalarında oksidasyonlarla başlar. Alt tabakalarda mevcut olan uranyum zamanla azalır. Topraktaki hareketlilik demir oksitlerin ve diğer elementlerin oluşmasıyla devam eder. Bazı topraklarda oluşan asit, ortamda bulunan kalsiyum karbonat vasıtasıyla radyonüklidlerin tutulmasını engeller. Topraktaki bu gelişim evreleri kayalardaki radyonüklid konsantrasyonlarını ve dolayısıyla dış radyasyon seviyelerini de azaltır. Toprak içinde bulunan doğal radyonüklidler toprak içindeki oranlarına göre ortamın veya çevrenin doğal radyasyonunu değiştirir ve o oranlarda da insanların doğal radyasyonlara maruz

kalmalarına sebep olurlar (UNSCEAR, 1982). Yerkabuğunda daha önce var olan radyonüklidlerin ortalama konsantrasyonları oldukça düşüktür. Topraktaki doğal radyonüklidlerin aktivite konsantrasyonları Çizelge 1.4’de verildi (Myrick ve ark., 1983).

Topraktaki birkaç radyonüklidin hareketi üzerindeki toprak yapısının etkisi, iki değerlikli Ca ve Mg’nin hareketi üzerindeki toprak yapısının etkisine benzerdir. İki değerlikli pozitif yüklü iyonlar karşılıklı etkileşim mekanizması boyunca toprak killeri tarafından emilirler. Bu nedenle emilimin relatif hızı genellikle toprakların kil içeriği ile artar. Topraktaki mobilite emilme ile ters alakalı olduğundan dolayı radyonüklidlerin aşağı doğru hareketi yüksek kil oranına sahip topraklarda daha zayıf olur. Yüksek ^{40}K aktivitesine sahip doğal otlakların altındaki toprakların genellikle daha yüksek ^{214}Bi ve ^{208}Tl aktivitelerine sahiptirler (Kiss ve ark., 1988). Topraktaki uranyum konsantrasyonları toprağın içerdiği organik bileşik ile ilgilidir (Talibudeen, 1964). Topraktaki bağımsız toryum birikimlerinin yüksek organik madde içeriği ile çabucak aşağı tabakalara kaydığını rapor edilmiştir (Hansen and Huntington, 1969). Toprağın içerdiği organik madde güçlü bir şekilde 4 değerlikli toryum ile birleşir. Böylece topraktaki toryumun mobilitesi artar. Bilim adamları aynı zamanda radyumun toryumdan daha düzensiz olarak yayıldığını da bulmuşlardır (Hansen and Huntington, 1969). Radyum yayılımlarını, topraktaki organik maddeler tarafından toryumun hareketi ve uranyum tutulumu ile açıklamışlardır. Toprağın üst kısmının toryumdan daha fazla uranyum konsantrasyonuna sahip olduğunu Hansen ve Stout (Hansen and Stout, 1968) rapor etmişlerdir.

Çizelge 1.3. Bazı kayalar ve topraktaki ^{40}K , ^{232}Th ve ^{238}U ’nun kütle ve aktivite konsantrasyonları (Liden and Holm, 1985).

Kaya Türü	^{40}K		^{232}Th		^{238}U	
	mg/kg	Bq/kg	mg/kg	Bq/kg	mg/kg	Bq/kg
PÜSKÜRÜK						
Granit	5	1200	17	70	3	35
Bazalt	0,9	230	4	15	1	12
TORTUL						
Kireçtaşı	0,3	70	2	8	2	25
Kumtaşı	1,3	300	3	11	1,5	18
Killi Şist	3	700	12	45	4	50
TOPRAK						
Dünya Ortalaması	1,4	370	6	25	2	25

Çizelge 1.4. Topraktaki doğal radyonüklidlerin aktivite konsantrasyonları (Myrick ve ark., 1983).

Radyonüklid	Konsantrasyon (Bq/kg)	
	Ortalama	Dağılım
^{40}K	370	100-700
^{232}Th Serisi	35	4-130
^{238}U Serisi	35	4-140
^{226}Ra Alt-Serisi	40	8-160

1.3. Sulardaki Doğal Radyoaktivite

Yeraltı sularında birçok radyoaktif element bulunmaktadır. Ancak, bu radyoaktif elementler sularda radyasyon sağlığı bakımından önemli sayılabilecek konsantrasyonlarda bulunmamaktadır. Sulardaki doğal radyoaktivite araştırmalarına dair çalışmalar, başlangıçta sadece kaplıca sularında bulunan bazı mineraller için yapılmıştır. Daha sonraki yıllarda yapılan çalışmalarda, kaplıca sularında bulunan minerallerin tamamının, hatta doğal suların bile bir dereceye kadar radyoaktif olduğu görülmüştür.

Yeraltı suları farklı konsantrasyonlarda ^{238}U ve ^{232}Th grubundan olan radyoaktif elementler içermektedirler (Duenas ve ark., 1993). Bu sularda; uranyum serilerinden olan ^{226}Ra , ^{223}Ra ve ^{222}Rn izotoplarının ve toryum serisinden olan ^{224}Ra ve ^{228}Ra gibi radyoaktif izotopların bulunma olasılıkları çok yüksektir. Bu radyoaktif elementlerin konsantrasyon miktarları ortamda bulunan kayaların türlerine, yeraltı sularının reaksiyona girme kabiliyetlerine ve farklı türdeki kayaların istikrarları gibi etkenlere bağlıdır (Gilkeson ve Cowart, 1987; King ve ark., 1982; Cothorn, 1987). Sularda çözülmüş uranyum serisine ait dört tür radyoaktif izotop bulunur. Bunlar; ^{238}U , ^{223}Ra , ^{226}Ra ve ^{222}Rn 'dir. Bu radyoaktif izotoplardan en önemlisi alfa parçacıkları yayınlamaya azalan ve $4,5 \times 10^9$ yıl yarılanma ömrüne sahip olan ^{238}U 'dur. Bu radyoaktif izotopun diğerlerine göre daha önemli olmasının nedeni, uzun yarılanma ömrüne sahip olması ve canlılar için çok tehlikeli olan alfa radyasyonu yayınlamaya azalmasıdır. Bu radyoizotoplardan 1622 yıl gibi uzun bir yarılanma ömrüne sahip olan ^{226}Ra da, ^{238}U gibi alfa radyasyonu yayınlamaya azalır ve kaya oyukları içerisinde geçerek yeraltı sularına difüzyon yoluyla geçebilme kabiliyetine sahiptir (Olguin ve ark., 1993). ^{222}Rn radyoaktif izotopu ise 3,825 gün yarılanma ömrüne sahip olup, ^{235}U serisine dâhil olan ve doğal uranyumda %0,7 oranında bulunan ^{223}Ra gibi alfa radyasyonu yayınlamaya azalır. Bunun yanında toryum serisine dahil olan ^{228}Ra ve ^{224}Ra radyoaktif izotopları ise beta radyasyonu yayınlamaya bozunurlar (Duenas ve ark., 1993).

Yeraltı sularının yüzey sularından daha radyoaktif olması, içinden geçtikleri veya temas ettikleri radyoaktif kütleler veya minerallerden ileri gelmektedir. Genellikle volkanik kütleler içinden geçen suların radyoaktivite konsantrasyonları, tortul kütleler içinden geçen sulara nispeten daha yüksektir. Sularda en fazla uranyum ailesi elemanları bulunmaktadır. Suyun doğal radyoaktivitesinin hemen hemen tamamını radyum ve bozunma ürünleri ile ^{238}U oluşturmaktadır. ^{226}Ra 'nın bozunma ürünü olan radyoaktif radon, bazı yeraltı sularında oldukça yüksek konsantrasyonlarda bulunmaktadır. Yeraltı sularında aktinyum ailesi elemanlarını tespit etmek imkânsız gibidir. Toryum ailesinden ^{232}Th ve ^{228}Ra bazı sularda algılanabilecek miktarlarda bulunmasına rağmen bu aileden olan ^{220}Rn 'in çok kısa yarı ömre sahip olması su ve kayalarda birikmesine imkân vermemektedir. Bazı değişik kaynakların içilebilen sulardaki radyonüklid içerikleri Çizelge 1.5'de verilmektedir (UNSCEAR, 1993).

Radyonüklidlerin temel hareket mekanizmasını sağlayan hidrosfer temel seviye radyasyonunun belirlenmesinde büyük bir rol oynar. Suyun sahip olduğu çözücülük, taşıyıcılık ve değişik radyonüklidleri çöktürme gibi farklı karakteristik özellikleri sulardaki doğal radyoaktiviteyi artırmaktadır. Yüzey sularında akış hızlarının çok güçlü olması, içinde asılı bulunan partiküllerdeki potasyum, rubidyum, kozmik ışın kökenli ve suni radyonüklidleri barındıran kil minerallerinin taşınmasını sağlamaktadır (Chung ve ark., 1992). Akan suların

çıkan radon atmosfere dağılırken ortamdaki konsantrasyonu mesafeyle üstel (exponensiyel) olarak azalır (Eisenbud, 1963). Yer altı sularında suyun akışı güçlü değildir. Bu sular içinde asılı kalan partiküller filtre edilebilirler. Yer altı sularının genel davranışı onların izleyici karakteristikleriyle de açıklanabilir (Alpher ve Herman, 1953).

Hidrosferde radyonüklidlerin davranışlarındaki gözlenebilir genel özellik, bu radyonüklidlerin çöktürülmesidir. Depolanma, farklı karakteristiklere sahip suların ara yüzeylerinde, oksidasyon ve redüksiyon bölgeleri arasında ve hidrosfer ve atmosfer arasında meydana gelir. Buna örnek, ^{226}Ra 'nın çöktürülmesi verilebilir. Uranyumun organik maddeler içinde çökmesi ortamdaki konsantrasyonunun azalmasına sebep olur. Sıcak kaynaklarda radyum izotoplarının tutulması kalsiyum karbonat veya silisyum dioksit ile birlikte çökmesinden kaynaklanmaktadır. Yüzeysel sularında çökme oranı radyonüklidleri içeren sedimentlerin aksine, akış hızına bağlıdır.

Farklı fiziksel ve kimyasal karakteristiklere sahip uranyum, toryum ve aktinyum serilerinde bulunan radyonüklidlerin sularındaki doğal radyoaktivite dengeleri gözlemlendiğinde uranyum ve aktinyum serilerindeki radyonüklidler topraktan suya geçerken dengesizlikler gösterirler. Yeraltı sularında ^{222}Rn çok yavaş hareket eder ve atmosfere kaçması sınırlıdır. Konsantrasyonu birkaç yüz ile birkaç bin pCi/L arasında değişir (Lowder ve Sobon, 1956). Yarı ömrü 3,8 gündür. ^{226}Ra 'nın yeraltı sularındaki konsantrasyonu ^{222}Rn 'den daha azdır. Bu iki radyonüklid kaya ve toprağın alt tabakalarında radyoaktif dengeye daha yakın olarak bulunurlar (Rankama, 1954). Deniz sularında radyonüklidlerin konsantrasyonları oldukça düşüktür. Yani, okyanus veya deniz yüzeylerinden yayımlanan gama radyasyon oranları ihmal edilebilir seviyededirler.

Çizelge 1.5. Değişik kaynakların içilebilir sularındaki bazı doğal karasal radyonüklidlerin aktivite konsantrasyonları (UNSCEAR, 1993).

Kaynak	Ülke	Radyonüklid	Aktivite Konsantrasyonu(mBq/L)		
			Dağılım	Aritmetik Ort.	Geometrik Ort.
Şişe Suları	Brezilya	^{226}Ra	< 10-130		27
		^{210}Pb	< 50-190		77
	Fransa	^{226}Ra	> 2700	60	
		^{238}U	> 2000	60	
		^{232}Th	---	< 40	
	Almanya	^{226}Ra	< 1-1800		25
^{238}U		< 1-140		4,4	
^{210}Pb		3,3-53		9	
^{210}Po		0,4-8,9		1,8	
Endonezya	^{226}Ra	< 1-60	22		
Portekiz	^{226}Ra	< 3-2185		26,7	
	^{210}Pb	2-392		18,5	
Yer altı Suları	Finlandiya	^{226}Ra	> 5300	440	
		^{238}U	> 74000	4200	
		^{210}Pb	> 10200	430	
		^{210}Po	> 6300	220	
	İsveç	^{226}Ra	2-2460	42	13,7

1.3.1. İçme Sularındaki Radyoaktivite Limitleri

İçme suları içerisinde bulunabilecek maksimum toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri WHO ve TSE tarafından yapılan çalışmalar neticesinde belirlenmiştir. Bu değerler Çizelge 1.6'da verilmiştir (Tuncer ve Tuğrul, 1991; WHO, 1993; TSE, 2003). Sular içerisinde alfa ve beta aktif radyoaktif elementlerin bulunma olasılığı, gama aktif radyoaktif elementlere nazaran çok daha yüksektir. Tabiatıta doğal olarak bulunan alfa ve beta aktif elementler, içerisinde bulunduğu ortama temel olarak nitelendirilen bir radyoaktiflik kazandırır. Çizelge 1.6'da görüldüğü gibi WHO tarafından tavsiye edilen üst sınırlar; toplam alfa radyoaktivitesi için 0.1 Bq/L, toplam beta radyoaktivitesi için ise 1.0 Bq/L olarak belirtilmiştir. Bunun yanı sıra TSE tarafından müsaade edilen üst sınır değerleri; toplam alfa radyoaktivitesi için 0.1 Bq/L, toplam beta radyoaktivitesi için ise 1.0 Bq/L'dir.

Çizelge 1.6. İçme suları için uluslararası ve ulusal kuruluşlar tarafından kabul edilmiş en yüksek radyoaktif kirletici konsantrasyonları.

Kirletici	Dünya Sağlık Örgütü			TSE
	1993	1971	1971	2003
	Tavsiye Edilen Üst Sınır	Tavsiye Edilen Üst Sınır	Müsaade Edilen Üst Sınır	Müsaade Edilen Üst Sınır
Toplam Alfa	0,1 Bq/L (2,7 pCi/L)	0,11 Bq/L (3 pCi/L)	0,37 Bq/L (10 pCi/L)	0,1 Bq/L (2,7 pCi/L)
Toplam Beta	1,0 Bq/L (27 pCi/L)	1,1 Bq/L (30 pCi/L)	3,7 Bq/L (100pCi/L)	1,0 Bq/L (27 pCi/L)

1.4. Gıdalardaki Doğal Radyoaktivite

İnsan, yaşamını sürdürmek için ihtiyacı olduğu besinlerin tamamına yakını karadan temin eder. Karbon ve oksijen gibi havadan alınan elementler hariç, besinleri oluşturan elementlerin hepsi toprağın çevreyle ilgili yapısında mevcuttur. İnsanlar topraktaki bu elementleri vücutlarına bitkiler vasıtasıyla alır. Bu mekanizma sürekli çalışır. İnsanlar tarafından suni olarak üretilen radyonüklidler de toprak içinde diğerleri gibi benzer özellikler gösterirler. Bu durum, son 30-40 yıldan beri yapılan nükleer denemeler ve nükleer santrallerde olan kazaların sebep olduğu radyoaktif kirlenmelerin gıda zincirinde meydana getirdiği etkilerin araştırılması sonucu ortaya konmuştur. Atmosferde bulunan radyoaktif maddeler radyoaktif yağışlarla yere düştüklerinde bitki yaprakları tarafından da tutulurlar. Bitkilerin, hayvanlar tarafından tüketilmesiyle de bu radyoaktif maddeler dolaylı olarak insan vücuduna girerler. Bu da insan sağlığı için başka bir risk oluşturmaktadır.

Toprak içindeki mineraller, organik maddeler, su ve hava, bitkiler için gerekli olan besleyici unsurlar olmakla birlikte bitkilere mekanik bir destek de sağlarlar. Radyonüklidler topraktan bitki metabolizmasına genellikle kökler vasıtasıyla geçmektedir. Bitki tarafından topraktan alınan uranyum, radyum, iyot, cobalt gibi elementlerin bitki için ne tür faydalar sağladığı henüz bilinmemekle birlikte C, H, O, N, P, S, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Zn, Cu, Mo, B, Cl gibi elementlerin bitki bünyesi için çok önemli oldukları uzun zamandan beri bilinmektedir.

Bir radyonüklid, o nüklidin kimyasal yapısına, bitki metabolizmasındaki gereksinimine ve topraktaki fizikokimyasal faktörlere bağlı olarak bitki tarafından soğurulur. Soğurulma olayı radyonüklidin radyoaktif özelliklerinden bağımsızdır. Örneğin; radyoaktif ⁴⁵Ca toprakta doğal olarak bulunur. Bitki kalsiyumu topraktan alırken radyoaktif ⁴⁵Ca' i de diğer izotoplardan ayırt etmeden soğurur ve bu şekilde büyümesine devam eder (Sayre ve ark., 1963).

Toprak taneciklerinin yüzeylerinde soğurulmuş katyonlar (+ yüklü iyonlar) bitki için gerekli olan birçok besleyici maddeyi bitkiye aktarır. Besinler bitki kök uçlarına içinde katyon konsantrasyonlarını dengede tutan toprak suları ile geçerler. Bitki kökleri, kaba yonca, kuşkonmaz gibi bazı türlerde çok derinlere kadar iner. Ispanakta bu durum, tersine yüzeye yakın bir derinliktedir. Bazı türlerde de bitki yüzey alanları çok büyük olduğu için radyoaktif yağışlarla yere düşen radyoaktif tozların yapraklar tarafından tutulmaları daha fazla olmaktadır (Rogers, 1958).

Bitkilerdeki doğal radyonüklidler insana hayvanlar vasıtasıyla da geçmektedir. İnek sütündeki ⁹⁰Sr' nin %20 si topraktan otlar vasıtasıyla hayvana geçer. Bazı araştırmalar ¹³⁷Cs' nin bitki yüzeylerinde tutulduğunu göstermiştir. Bir inek yaz aylarında günde yaklaşık 50 m² lik alana yayılmış otları tüketir. İngilterede 1959 yılında yapılan bir araştırmada bu otların yaklaşık %25'nin radyoaktif yağış içerdiği tespit edilmiştir (Erikson, 1962). Bu oranın her yerde aynı olduğunu söylemek mümkün değildir. Fakat, otlak alanlarının belli oranlarda radyoaktif yağışlarla kirlendikleri bilinen bir gerçektir. Çeşitli gıdalardaki bazı karasal radyonüklidlerin referans aktiviteleri Çizelge 1.7'de verilmektedir (UNSCEAR, 1993).

Gıdalardaki aktivite konsantrasyonlarının değişkenliği Çizelge 1.8'de gösterilmiştir (UNSCEAR, 1993). Referans değerler pek çok kez aşılmıştır. Brezilya'daki Minas Gerais volkanik bölgesinde ve Hindistan'daki Kerala mineral kumlarında; süt, et, tahıl, yapraklı sebzeler, kökler ve meyvelerde yüksek aktivite konsantrasyonları mevcuttur. Çin'deki Guandong granitik bölgesinde ise pirinç ve kırmızıturp gibi gıdalarda yüksek aktiviteler ölçülmüştür.

²²⁶Ra kimyasal olarak kalsiyuma benzer, bitkiler tarafından topraktan emilir ve besin zinciriyle insanlara geçer. Bitkilerin radyumu topraktan alması nedeniyle, radyum içeren toprak değişken olacağından, radyum içeren bitkiler de değişkenlik gösterecektir. Gıdalar, radyumun emilmesi ve kana karışması için solunumdan daha önemli bir kaynaktır. Beslenme yoluyla alınan ²²⁶Ra miktarı yıllık 15 Bq, solunumla alınan miktar ise 0.01 Bq olarak saptanmıştır (UNSCEAR, 1988).

1.5. Bina Dışı Gama Radyasyonu

İnsan doğal radyasyonlara sürekli maruz kalmaktadır. Dış ışınlamalara maruz kalma bölgeden bölgeye değişmekte, hatta birbirine yakın yerler arasında bile farklılıklar göstermektedir. İnsanın meşgul olduğu işi ve oturduğu meskenin yapımında kullanılan malzemelerde bulunan doğal radyonüklid konsantrasyon oranları bile maruz kaldığı radyasyon dozunu etkilemektedir. Dış radyasyonlarla ışınlanma, doğal temel saymanın (background) yüksek olduğu yerlerde diğer yerlere nispeten oldukça fazladır. Dağlık ve rakımı yüksek yerlerde yaşayan insanlar, deniz seviyesine yakın yerlerde yaşayan insanlardan

Çizelge 1.7. Gıda ve havadaki bazı karasal radyonüklidlerin referans aktiviteleri (UNSCEAR, 1993).

Vücut içerisine alınan gıdalar	Aktivite konsantrasyonu (mBq/kg)						
	²³⁸ U- ²³⁴ U	²³⁰ Th	²²⁶ Ra	²¹⁰ Pb	²¹⁰ Po	²²⁸ Ra	²³² Th
Süt ürünleri	1	0,5	5	40	60	5	0,3
Et ürünleri	2	2	15	80	60	10	1
Tahıl ürünleri	20	10	80	100	240	60	3
Yapraklı sebzeler	20	20	50	30	30	40	15
Kökler ve meyveler	3	0,5	30	25	30	20	0,5
Balık ürünleri	30	---	100	200	5000	---	---

Çizelge 1.8. Gıdalardaki bazı doğal radyonüklidlerin yüksek aktivite konsantrasyonları (UNSCEAR, 1993).

Gıda	Ülke	Radyonüklid	Aktivite Konsantrasyonu(mBq/kg)	
			Dağılım	Aritmetik Ort.
İnek sütü	Brezilya	²²⁶ Ra	29-210	108
		²¹⁰ Pb	50-60	45
Tavuk eti	Brezilya	²²⁶ Ra	37-163	86
		²²⁸ Ra	141-355	262
Sığır eti	Brezilya	²²⁶ Ra	30-59	44
		²²⁸ Ra	78-111	96
Domuz eti	Brezilya	²²⁶ Ra	7-22	13
		²²⁸ Ra	93-137	121
Rengeyiği eti	İsveç	²¹⁰ Pb	400-700	550
		²¹⁰ Po	---	11000
Tahıllar	Hindistan	²²⁶ Ra	>510	174
		²²⁸ Th	>5590	536
Mısır	Brezilya	²²⁶ Ra	70-229	118
		²¹⁰ Pb	100-222	144
Pirinç	Çin	²²⁶ Ra		250
		²¹⁰ Pb		570
Yeşil sebzeler	Hindistan	²²⁶ Ra	325-2120	1110
		²²⁸ Th	348-5180	1670
Havuç	Brezilya	²²⁶ Ra	329-485	411
		²¹⁰ Pb	218-318	255
Kökler	Hindistan	²²⁶ Ra	477-4780	1490
		²²⁸ Th	70-32400	21700
Meyvalar	Hindistan	²²⁶ Ra	137-688	296
		²²⁸ Th	59-21900	2590

daha fazla dış radyasyona maruz kalmaktadırlar. Çünkü deniz seviyesinden yükseklerle çıkıldıkça kozmik ışınların şiddetleri de artmaktadır.

Uranyum, toryum, ^{40}K gibi doğal radyonüklidlerin kütle aktivite konsantrasyonları toprak ve kaya tiplerine göre değişir. Kütle aktivite konsantrasyonu, yer seviyesinden 1 m yükseklikte havadaki soğurulmuş doza karşılık gelen radyasyon şiddetidir (Scott ve Berker, 1962). Dış gama ışınlamaları, kütle aktivite konsantrasyonlarıyla doğrudan ilgilidir. Dolayısıyla, havada ölçülen soğurulmuş radyasyon dozu, radyonüklidlerin topraktaki konsantrasyonlarına bağlı olarak değişmektedir. Dış ışınlama hesapları topraktaki radyonüklidlerin bozunma ürünlerinin dengeye gelmesi durumuna göre yapılır.

Literatürlerde, birçok ülke insanı için hesaplanmış dış gama radyasyon dozu değerlerini bulmak mümkündür. Bu ülkelerin başında USA, Danimarka, Fransa, İrlanda, Norveç, Polonya, Romanya ve Japonya gelmektedir (Samuel, 1964).

1.6. Bina İçi Gama Radyasyonu

Ev içi gama radyasyonları doz hesaplarında önemli bir yer tutar. İnsanlar zamanlarının büyük bir bölümünü evlerinde ve işleri gereği çalıştıkları bina veya kapalı alanlarda geçirmektedirler. Ev içi gama radyasyonların kaynağı yapı malzemeleridir. İnşaat yapımında kullanılan taş, tuğla ve beton gibi malzemelerin içinde belli konsantrasyonlarda bulunan radyonüklidler sürekli gama radyasyonları yayımlarlar. Eğer kullanılan malzeme o bölge toprağından veya o bölgeden çıkarılan bir ham maddeden yapılmışsa ev içi ile ev dışı gama radyasyon ölçümleri birbirlerine çok yakın çıkmaktadır.

Ev içi gama radyasyonu ölçümlerinde duvar kalınlıkları, oda veya ev ebatları, kapı ve pencere boyutları ve kullanılan malzemenin neden yapıldığı da ev içi ortamda ölçülen soğurulmuş dozu etkilemektedir. Ev içi hava ortamında ölçülen soğurulmuş dozu genele yaymak için farklı malzemelerden yapılmış meskenlerin relatif olarak sayılarının tespit edilmesi gerekir (Niewiadomski, 1980). Yapı malzemeleri dış radyasyon kaynaklarına karşı zırhlama görevi görmekle birlikte, aynı zamanda radyasyon yayınlayan doğal radyonüklidleri de içerirler. Ağaçtan yapılmış evlerde ev içi gama ışınlamaları ihmal edilebilecek seviyededirler. Bu malzemelerin dış gama radyasyonlarına karşı zırhlama görevi az olduğu için bu tip evlerdeki iç ve dış gama radyasyon ölçümleri birbirine yakındır. Tuğla, taş ve betonarmeden yapılmış evlerde, dış gama radyasyonlarına karşı korunma daha iyidir. Bu tip binalarda da iç ışınlamalar dış ışınlamalardan fazladır.

1.7. Kozmik Işınlarmın Etkileşimi Sonucu Oluşan Radyonüklidler (Kozmojenik)

Kozmik radyasyon uzaydan gelen ve yüksek enerjili ağır parçacıklar ile yüksek enerjili foton ve müonlara kadar olan çeşitli parçacıklardan meydana gelir. Daha alt atmosfer, kozmik radyasyonla etkileşir ve radyoaktif nüklidler üretilir. Bunlar uzun yarı ömürlüdür fakat başlangıç nüklidlerine kıyasla ömürleri daha kısadır. Çizelge 1.9'da önemli bazı kozmojenik nüklitler verilmiştir.

Kozmik radyasyonlar, değişik yüklerde ve farklı enerjilerde yayınlanan parçacık veya elektromanyetik ışınlardan ibarettir. Orjinleri de farklıdır. Yoğunlukları atmosferin üst tabakalarından deniz seviyesine doğru inildikçe azalmaktadır.

Uzay kaynaklı radyasyonlar orjinlerine göre, hapsolmuş parçacık radyasyonları ve solar veya galaktik ortamlardan gelen radyasyonlar olarak sınıflandırılırlar (Eisenbud ve

Petrow, 1964). Hapsolmuş parçacık radyasyonları elektronlar ve protonlardan ibaret olup, dünyanın etrafında magnetik alan etkisiyle tutulurlar. Galaktik veya solar radyasyonlar ise

Çizelge 1.9. Bazı kozmojenik nüklitler (www.nukeworker.com).

Kozmojenik Radyonüklid	Sembol	T _{1/2}	Kaynak	Doğal Aktivite
Karbon-14	¹⁴ C	5730 yıl	¹⁴ N ile ¹⁴ C arasındaki kozmik ışın etkileşimleri	0,22 Bq/g
Tritiyum-3	³ H	12,3 yıl	N ve O arasındaki kozmik ışın etkileşimleri; kozmik ışınlardan parçalanma ⁶ Li, ³ H	1,2x10 ⁻³ Bq/kg
Berilyum-7	⁷ Be	53,28 gün	N ve O arasındaki kozmik ışın etkileşimleri	0,01 Bq/kg

helyum protonları ve ağır iyonlardır. Hapsolmuş proton ve elektronları dünyanın etrafında bulunan radyasyon kuşaklarında bulunurlar. Kuşaklar Dünya atmosferini üst üste sarmış görünümündedir. Bu kuşaklardaki elektron ve protonların enerjileri birkaç yüz MeV mertebesindedir. Diğer bazı kozmojenik radyonüklitler: ¹⁰Be, ²⁶Al, ³⁶Cl, ⁸⁰Kr, ¹⁴C, ³²Si, ³⁹Ar, ²²Na, ³⁵S, ³⁷Ar, ³³P, ³²P, ³⁸Mg, ²⁴Na, ³⁸S, ³¹Si, ¹⁸F, ³⁹Cl, ³⁸Cl, ^{34m}Cl.

Güneş solar rüzgârlarla Dünyaya sürekli olarak yaklaşık 1 keV' lik enerjilerde parçacıklar gönderir. Bu parçacıklardan Dünyaya ulaşanlar, Dünya etrafındaki magnetik alan etkisiyle soğurur. 1-1000 keV arasındaki enerjilerde üretilen parçacıklar atmosfere girdiklerinde atmosferde bulunan atomların çekirdekleriyle reaksiyona girerler ve ikincil radyasyonları üretirler. İkincil ışınlar, birincil nötronlardan üretilirler. Yarı ömürleri çok kısa olup yaklaşık 1000 saniye civarındadır. Uzaydan gelen birincil (primer) ışınların bir kısmı atmosferin alt tabakalarına, bir kısmı ise yüksek dağların tepelerine kadar ulaşmaktadırlar. Mezonlar deniz seviyelerine kadar inerler. İnsanlar, çok karmaşık yapıya sahip çevresel radyasyonlara sürekli maruz kalmaktadır. Radyasyon doz değerlendirmelerinde önemli yer tutan, kozmik ışınları birincil ve ikincil radyasyonları olarak sınıflandırmak mümkündür.

1.8. İnsan Vücudundaki Doğal Radyonüklitler

İnsan vücudu, bilindiği gibi kimyasallardan oluşmaktadır. Günlük olarak su ve yiyeceklerle sindirime alınan bazı radyonüklitlerin insan vücudunda bulunması doğaldır. Vücudumuzda bulunan radyoaktif elementlerden, özellikle ⁴⁰K radyoaktif elementinden dolayı da belli bir radyasyon dozuna maruz kalırız. Çizelge 1.10'da insan vücudunda bulunan bazı radyonüklitler ve bu nüklitlerin günlük alım miktarları verilmiştir.

İnsanlar, doğal radyonüklitleri vücutlarına sindirim veya solunum yoluyla alırlar. ⁴⁰K, ²²⁶Ra, ²³⁸U'nun bozunma ürünleri ve çok az oranlarda ¹⁴C ve ³H, vücuda sindirim yoluyla alınan doğal radyonüklitlerin başında gelir. Potasyum doğada diğerlerine nazaran bol miktarda bulunur. Ortalama 70 kg kütleli bir insanda 140 mg civarında potasyum bulunur. Bu miktar potasyumda bulunan ⁴⁰K aktivitesi, 0,1 µCi civarındadır. Biyosferde bulunan karbon,

hidrojen ve kozmozenik radyonüklidler, kozmik ışın nötronlarının atmosferdeki azotla etkileşmeleri sonucu ortaya çıkarlar.

Çizelge 1.10. İnsan vücudundaki doğal radyonüklidler ve aktiviteleri (www.nukeworker.com).

Radyonüklid	Vücuttaki toplam miktar	Vücuttaki toplam radyonüklid aktivitesi	Günlük radyonüklid alımı
Uranyum	90 µg	1,1 Bq (30 pCi)	1,9 µg
Toryum	30 µg	0,11 Bq (3 pCi)	3 µg
Potasyum-40	17 mg	4,4 kBq (120 nCi)	0,39 mg
Radyum	31 pg	1,1 Bq (30 pCi)	2,3 pg
Karbon-14	95 µg	15 kBq (0.4 µCi)	1,8 µg
Tritiyum	0,06 pg	23 Bq (0.6 nCi)	0,003 pg
Polonyum	0,2 pg	37 Bq (1 nCi)	~0,6 µg

Soluduğumuz havadaki kara kökenli radyonüklidler genellikle uranyum ve toryum serisi ürünleridir. Rüzgâr vasıtasıyla topraktan atmosfere çıkan tozlarda düşük oranlarda ⁴⁰K da vardır. Hava ortamında bulunan toz ve parçacıklardaki radyonüklidler solunum yoluyla insan vücuduna girerler ve iç ışınlamalara sebep olurlar. İç ışınlamalara en büyük katkı vücuda alınan ²²²Rn ve ²²⁰Rn ile bu iki radyonüklidin bozunma ürünlerinden gelmektedir. Bu radyoaktif gaz atomları, yerde ve atmosferde difüzyonla ortaya çıkan toryum ve uranyum atomlarının bozunuma uğraması sonucu üretilirler. Radon ve toronun bozunma ürünlerine ilave olarak, alfa ve beta ışınlarıyla birlikte gama ışınları da yayınlayan ²¹⁰Po, ²¹⁰Pb ve ²¹⁰Bi atomları solunum yoluyla vücuda girerler. İnşaat ve yapı malzemelerinden çıkan radyoaktif ²²²Rn' de evlerde solunum ile vücuda alınan en önemli radyonükliddir.

1.9. Diğer Radyoaktif Kaynaklar

Nükleer endüstri ve nükleer ile ilgili aktivite ve uygulamalara ek olarak radyoaktif maddelerin kullanıldığı diğer bazı nükleer olmayan alanlar vardır. Böyle kaynakların radyoaktiviteleri, çevrenin radyoaktif kirlenme seviyesi üzerinde potansiyel ya da doğrudan etki gösterir. Belirli radyonüklidler ticari ürünlerde ve bazı özel uygulamalarda kullanılırlar. Bunlara örnek olarak parıltılı boyalar, kalbin atış hızını ayarlayan aygıt için bataryalar, sigara ve ateş algılayıcıları, iyonizasyon prensibi ile çalışan gaz analizörleri verilebilir. Bu ürünler atmosferdeki radyoaktiviteye katkı sağlarlar. Diğer örnekler ise ²¹⁰Pb ve ²¹⁰Po içeren tütün ürünleri, yapı malzemeleri, uranyum ve toryum azalma serilerini içeren yakıtlar, lüks gömleği, kamera lensleri ve toryum içeren kaynak çubukları olarak sıralanabilir. Bununla birlikte radyoaktiviteye katkının çoğu, bazı endüstriyel süreçlerden gelir. Bu süreçler; jeotermal çalışmalar, fosfat madenleri ve fosfat kayalarından gübre üretimini, kömür madeni ve kömür yanması, uranyumsuz madenler olarak verilebilir. Bu endüstriyel süreçlerdeki radyoaktiviteden kaynaklanan tehlikeler diğer kimyasal maddelerden kaynaklanan tehlikelerden genelde çok daha küçük olduğu için, ne radyasyon ne de radyoaktif bulaşma sistematik olarak araştırılıp değerlendirilmemiştir (UNSCEAR, 1988). Bu günlerde diğer alternatifler daha kullanışlı olmasına rağmen, kömürden enerji üretimi pek çok ülkede hala baskındır. Bu amaç için kullanılan kömürün yaklaşık %70'i elektrik güç istasyonlarında, %20'si ise kok kömürü fırınlarında yanmakta ve yaklaşık olarak %10'luk bir dilimi de yemek pişirme ve ısınma amaçlı olarak evlerde kullanılmaktadır. Kömür doğadaki pek çok materyal gibi eser miktarda doğal radyonüklid

(^{40}K , ^{238}U , ^{232}Th ve onların bozunma ürünleri) içerir. Yanma sürecinde, bu radyonüklidlerin aktiviteleri yeraltından çevremize tekrar dağılır. Bununla birlikte kömür içerisindeki radyonüklid miktarı oldukça büyük değişiklikler gösterebilir. UNSCEAR kömürdeki ^{40}K , ^{238}U ve ^{232}Th ortalama aktivite konsantrasyonlarının sırası ile 50, 20 ve 20 Bq/kg olduğunu kabul etmektedir. Kömür külündeki ^{40}K , ^{238}U ve ^{232}Th 'nin ortalama aktivite konsantrasyonları ise sırası ile 400, 150 ve 150 Bq/kg'dır (Tykva ve Sabol, 1995).

Jeotermal enerji ve doğal gaz gibi enerji üretiminin diğer türleri de çevredeki radyoaktiviteye katkı sağlayabilir. Jeotermal enerji, dünyanın derinliklerinde yerleşmiş yüksek sıcaklıklı kayalar ile etkileşen suların yüzeye çıkarılması ile elde edilir. Jeotermal akışkanlarda bulunan radyonüklidlerin çoğu uranyum bozunma serisine aittir. Katı radyoaktif elementler az miktarda suyu kirletmelerine rağmen, sudan bina atmosferine ya da doğrudan atmosfer içerisine yayılan radon gazı bazı problemlere sebebiyet verebilir (Sabol ve ark., 1993). Doğal gazlar evlerin ısıtılmasında, elektrik üretiminde ve endüstrideki pek çok uygulamada kullanılan önemli bir enerji kaynağıdır. Doğal gazda tek bir radyonüklidin varlığı vardır. Bu radyonüklid de radon gazıdır. Doğal gazdaki radon konsantrasyonu 1000 Bq/m^3 'lük tipik bir değer etrafında genişçe değişebilir (UNSCEAR, 1988). Radyoaktiviteye katkı sağlayan diğer kaynak fosfat kayaların gübre üretiminde kullanımı ile ilgilidir. Fosfat kayalardaki doğal radyonüklidlerin konsantrasyonları kayaların orijini ve türüne bağlıdır. Fosfat kayalarının %85'i sedimentel orijinli, geriye kalanlar ise volkanik ve biyolojik orijinlidir (Tykva ve Sabol, 1995).

1.10. Radyonüklidlerin Taşınması

Elektrik üretimi için nükleer enerjinin kullanımı, teknolojiye, endüstride, bilimde, ilaç sanayindeki radyonüklid uygulamaları ve nükleer silah denemeleri gibi aktiviteler sonucunda çevreye değişik radyoaktif materyaller yayılır. Böyle radyonüklidlerin hava ve su ortamına yayılması ve toprakta birikmesi karmaşık bir süreçtir. Bütün süreç kaynakla başlar ve radyonüklidlerin bireyler tarafından vücut içerisine alınması ile ilgili yollar boyunca devam eder. Sağlık etkileri ile ilgili önemli sonuçların değerlendirilmesini içeren bu yolların tanımlanması prensipte uygun matematik modellerin uygulanması ile mümkündür. Bu işlem yapılırken radyonüklidlerin davranışı ve onların bir bölümden diğerine hareketlerini yöneten temel faktörlerin göz önünde bulundurulması gerekir. Matematik modeller; çevreye yayılmış radyoaktif materyallerin insanlar tarafından vücut içerisine alınmasını, radyoaktif materyallerin taşınması ve birikimini tahmin etmek için kullanılabilir (Tykva ve Sabol, 1995).

Gerçek yollar oldukça karmaşıktır ve radyoaktif materyallerin taşınma mekanizmalarının bütün detayları her zaman tam olarak anlaşılamamıştır. Genellikle, çevresel taşınma yollarının iki kategorisi vardır. Bunlar;

- i. toprak ve yüzey suları aracılığı ile yiyecekler içerisine giren radyonüklidlerin izlediği yol ve
- ii. atmosfer yolu ile çevre içerisine girmiş radyonüklidler arasındaki yoldur.

1.11. Radyasyon Birimleri

İyonlaştırıcı radyasyonların tüm etkileri radyasyonun geçtiği ortamda meydana getirdiği iyonlaşmaya bağlıdır. İyonlaşma ise soğurulan radyasyonun enerjisine bağlıdır. Uluslararası radyasyon birimleri komisyonu, International Commission on Radiation Units and Measurements, (ICRU) tarafından yapılan çalışmalar sonucunda radyasyon birimleri; soğurulan doz için **rad**, ışınlama için **röntgen**, aktivite için **curie**, doz eşdeğeri için ise **rem** olarak tanımlamıştır. Buna göre ICRU tarafından tanımlanan iyonlaştırıcı radyasyon birimleri ve dönüşüm faktörleri Çizelge 1.11’de verilmiştir.

Çizelge 1.11. İyonlaştırıcı radyasyon birimleri ve dönüşüm faktörleri.

Büyükölük	SI Birim ve Sembölü	Geleneksel Birimler	Dönüşüm Faktörü
İşınlama	Röntgen (C kg ⁻¹)	Röntgen (R)	1 C kg ⁻¹ = 3876 R
Soğurulan Doz	Gray (Gy)	rad (rad)	1 Gy = 100 rad
Eşdeğer Doz	Sievert (Sv)	rem (rem)	1 Sv = 100 rem
Aktivite	Becquerel (Bq)	Curie (Ci)	1 Bq = 2,7x10 ⁻¹¹ Ci

1.11.1. Radyoaktivite Birimleri

Radyoaktivite, birim zamandaki radyoaktif madde miktarını göstermektedir. Radyoaktivite birimi Becquerel (Bq) olup saniyedeki parçalanma sayısı olarak tanımlanır. Becquerel ile radyoaktivite geleneksel birimi olan Curie (Ci) arasındaki bağıntı $1 \text{ Bq} = 2,7 \times 10^{-11} \text{ Ci}$ (ya da $3,7 \times 10^{10} \text{ Bq} = 1 \text{ Ci}$) şeklinde ifade edilir.

1.11.2. İşınlama Birimi

İşınlama birimi Röntgen (R), normal hava şartlarında (0 °C ve 760 mm cıva basıncında) havanın 1 kg’ında $2,58 \times 10^{-4}$ Coulomb’luk elektrik yükü değerinde + ve – iyonlar oluşturan X ve γ radyasyon miktarı olarak tanımlanır ve $1 \text{ R} = 2,58 \times 10^{-4} \text{ C kg}^{-1}$ (hava) olarak ifade edilir. İşınlama, X ve γ ışınlarının havayı iyonlaştırmalarının bir ölçüsüdür. SI birim sisteminde işınlama biriminin özel bir adı yoktur.

1.11.3. Soğurulan Doz Birimi

Soğurulan doz her ortam ve her türdeki iyonlaştırıcı radyasyonlar için tanımlanmıştır. Bu birim, radyasyon demeti ile birlikte soğurucu maddenin de özelliğini belirtir. SI birim sisteminde soğurulan doz birimi gray (Gy) olup, gray; 1 kg’lık bir maddede 1 joule’luk enerji veren herhangi bir iyonlaştırıcı radyasyon dozudur ($1 \text{ Gy} = 1 \text{ J kg}^{-1}$). Eski birimi rad (radiation absorbed dose) olup; 1 rad, herhangi bir maddenin gram başına 100 erg’lik enerji soğurumuna eşdeğerdir ($1 \text{ rad} = 10^{-2} \text{ J kg}^{-1} = 100 \text{ erg g}^{-1}$). Gray ve rad birimleri arasındaki bağıntı ise $1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$ olarak ifade edilir.

1.11.4. Eşdeğer Doz Birimi

Soğurulan dozun oluşturduğu zararlı biyolojik etkilerin, iyonlaştırıcı radyasyonların çeşitlerine ve oluşturduğu iyonizasyon yoğunluğuna bağlı olduğu yapılan biyolojik deneylerden anlaşılmaktadır. Yani iyonlaştırıcı radyasyonların geçtikleri ortamın birim uzunluğundaki kaybettikleri enerji miktarına Lineer Enerji Transferi (LET) bağlı olmakta ve LET değeri arttıkça biyolojik etkide artmaktadır. Böylece eşdeğer doz birimi, iyonlaştırıcı radyasyonların oluşturduğu zararlı biyolojik etkilerin bir ölçüsü olmalı ve buna bağlı bazı faktörleri kapsamalıdır. Eşdeğer doz birimi, Joule / kg olup Sievert (Sv) adı verilmiş ($1\text{Sv} = 1\text{Jkg}^{-1}$) ve soğurulmuş doz ile kalite faktörünün çarpımı olarak tanımlanmıştır. Geleneksel birim rem olup $1\text{Sv} = 100\text{ rem}$ 'dir. Değişik radyasyon türleri için kalite faktörleri Çizelge 1.12'de verilmiştir.

1.12. Yıllık Eşdeğer Doz Sınırları

Radyasyon görevlileri ve toplum üyesi kişiler için ICRP dolayısıyla TAEK tarafından maksimum müsaade edilen yıllık eşdeğer doz sınırları belirlenmiştir. Bu doz değerlerine tıbbi işlemlerden maruz kalınacak dozlar dahil edilemez.

1.12.1. Radyasyon Görevlileri için Yıllık Eşdeğer Doz Sınırları

Radyasyon görevlileri için yıllık eşdeğer doz sınırları aşağıda verilmiştir.

Yıllık tüm vücut dozu 50 mSv (5 rem)

Tek bir organ (el, ayak) ve doku için 500 mSv (50 rem)

Göz merceği için 150 mSv (15 rem)

Radyasyon görevlileri için eşdeğer doz sınırının birbirini takip eden 5 yıl süresince (bu sürede herhangi bir yılda 50 mSv'i geçmemek koşuluyla) toplam 100 mSv'i aşmaması gerekir. Yaşları 16-18 arasında olan çıraklar ile radyasyon kullanmak zorunda olan öğrenciler için yıllık eşdeğer doz sınırı 6 mSv, eller ve ayaklar için 150 mSv'tir. Hamile bayanlar için yıllık eşdeğer doz, belden aşağısı için 2 mSv'dir. Bunun nedeni fetüsün doz sınırı olan 1 mSv'i aşmamasıdır.

1.12.2. Toplum Üyesi Kişiler için Yıllık Eşdeğer Doz Sınırı

Toplum üyesi kişiler için yıllık eşdeğer doz sınırları aşağıda verilmiştir.

Yıllık tüm vücut dozu 5 mSv (0,5 rem)

Tek bir organ (el, ayak) ve deri için 50 mSv (5 rem)

Göz merceği için 15 mSv (1,5 rem)

Bu sınırlar toplumdaki kritik gruplar içindir. Yaşam boyu eşdeğer doz sınırı ise yılda ortalama 1 mSv ya da 0,1 rem'dir.

Çizelge 1.12. Çeşitli radyasyonlar için kalite faktörleri.

Radyasyon türü	Kalite faktörü
X ve gama ışınları	1
Elektronlar ve beta parçacıkları	1
Nötronlar ($E < 10$ keV)	3
Nötronlar ($E > 10$ keV)	10
Alfa parçacıkları	20

1.13. Radyasyon Algılama Yöntemleri

Radyasyon algılamasında genel olarak kullanılan algılayıcı çeşitlerini üç grup halinde incelemek mümkündür. Bunlar; Gaz doldurulmuş tüp algılayıcılar, sintilasyon algılayıcıları ve yarıiletken algılayıcılarıdır. Bir parçacık algılayıcısı seçilirken; algılayıcının uygulama çözünürlüğü, verimi, ilgili deneyi yapmaya uygunluğu ve amaca uygun olarak X veya gama ışınlarının enerji değerleri gibi önemli noktalara dikkat edilmelidir.

1.13.1. Gaz Doldurulmuş Tüp Algılayıcılar

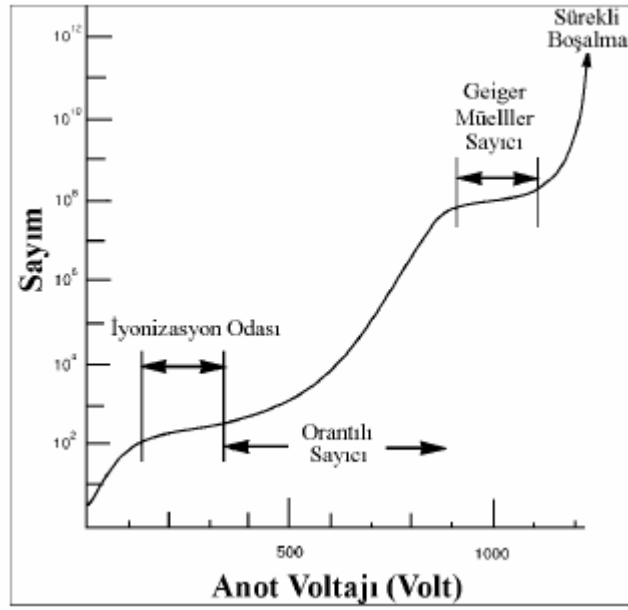
Gaz doldurulmuş tüp algılayıcılar, en basit şekli ile gaz doldurulmuş bir metal oda ve pozitif biyazlanmış bir anot telinden oluşmuştur. Bir foton, metal oda içerisinde dolu bulunan gazı boydan boya geçerken serbest elektronlar ve pozitif iyonlar meydana getirir. Elektronlar, oluşan elektrik alan etkisiyle anot teline doğru çekilirler ve anot telinde toplanan bu elektronlar bir elektrik pulsu meydana getirirler. Zayıf anot voltajında elektronlar iyonlar ile tekrar birleşebilirler. Birleşme olayı iyonların yüksek bir yoğunluğu için de meydana gelebilir. Uygun bir yüksek voltajda, yakınlardaki bütün elektronlar toplanırlar. Bu durumda algılayıcı bir **İyonizasyon Odası** olarak bilinir. Daha yüksek voltajlarda anoda doğru hareket eden elektronlar diğer gaz atomlarını iyonize ederler ve böylece daha çok elektron meydana gelmiş olur. Bu durumda algılayıcı bir **Orantılı Sayıcı** olarak bilinir. Daha yüksek voltajlarda elektronların sayısında daha fazla çoğalma olur ve anotta toplanan elektronların sayısı başlangıçtaki iyonizasyondan bağımsız hale gelir. Bu esnada ise algılayıcı, **Geiger Müller (G-M)** sayıcısı olarak bilinir ve bu tüplerden elde edilen büyük çıkış pulsu bütün fotonlar için aynıdır. Algılayıcıya çok daha fazla voltaj uygulanırsa, tüpte sürekli bir boşalma meydana gelir. Farklı voltaj bölgeleri Şekil 1.2’de şematik olarak gösterilmiştir. Gerçek voltajlar, bir algılayıcıdan diğerine geniş bir şekilde değişebilir. Bu voltaj değişimi algılayıcı geometrisi, gaz türü ve gaz basıncına bağlıdır.

1.13.1.1. İyonizasyon Odaları

İyonizasyon odalarının çok zayıf sinyal çıkışına sahip olmaları, bu algılayıcıların sadece gama ışınlarının algılanması için kullanılmasını zorlaştırır. İyonizasyon odaları, çok büyük akım meydana getiren radyoaktif kaynakların algılanmasında kullanılırlar. İyonizasyon ölçümleri tam olarak, çıkışı kaydetmek için kullanılan bir elektrometre yardımıyla yapılabilir (Melissinos, 1966).

1.13.1.2. Orantılı Sayıcılar

Orantılı sayıcılar, uygun enerji çözünürlüğü gerekli olduğu durumlarda X-ışınları ölçümleri için sık sık kullanılırlar. Orantılı sayıcılar farklı hacim ve şekillerde üretilebilirler. Bu tip sayıcılar genelde görünüş olarak silindir şeklindedirler ve pencereleri düz silindirdir. Bunlar normal kaliteli algılayıcılardır ve gaz akışı prensibine uygun olarak çalışırlar. Bu tür algılayıcılar ince bir berilyum pencereye sahip olabildikleri gibi penceresiz de olabilirler. Bir algılayıcı tipik olarak, efektif pencere hacmi, gaz iyonlaşma uzunluğu, uygulanan voltaj hızı ve çözünürlük gibi fiziksel özelliklerine bakılarak belirlenir. Tipik olarak çözünürlükler %16-20 FWHM (Full Width at Half Maximum)



Şekil 1.2. Farklı voltaj bölgelerinin şematik gösterimi (Canberra Industries Inc., 1997).

değerindedir. Bu sayıcılarda uygulama voltajı geometriye bağlı olduğu kadar algılayıcı içerisinde bulunan gaza da bağlıdır.

1.13.1.3. Geiger Müller (G-M) Sayıcıları

Bir G-M sayıcısı, çıkışında büyük bir voltaj pulsu meydana getirir. Bu nedenle bu tip algılayıcılarda sinyal yükseltme işlemine gerek yoktur. Bu sayıcılarda enerji ölçümleri yapılamamaktadır. Bunun sebebi çıkış pulsu yüksekliğinin başlangıçtaki iyonizasyondan bağımsız olmasındandır. G-M sayıcıları farklı boyutlarda olabilmekte ve kullanılabilirler. Genel olarak bu algılayıcılar ince bir mika pencere ile birlikte kullanılırlar. Algılayıcıya uygulanması gereken voltaj plato bölgesi sınırları içerisinde ve bu plato eğrisinin eğimi yaklaşık 2 ile 5 derece arasında değişmektedir. Plato bölgesi, anot voltajının bir fonksiyonu olarak sayım hızının belirlenmesi ile bulunur. Bir G-M sayıcısı her pulstan sonra boşalma tamamlanmaya kadar sayım yapamaz. G-M tüpünün tepki vermediği bu süreye ölü zaman aralığı denir ve 100 mikrosaniye civarındadır. Dolayısıyla bu tür algılayıcılar zayıf sayım hızı olan uygulamalarda yetersiz kalmalarından dolayı verimsizdirler.

1.13.2. Sintilasyon Algılayıcıları

Gama ışınının bir sintilatör ile etkileşmesinden bir ışık pulsu meydana gelir ve bu ışık pulsu bir fotoçoğaltıcı tüp aracılığı ile elektrik pulslarına dönüştürülür. Fotoçoğaltıcı tüp bir fotokatot, bir elektron odaklayıcı ve çok miktarda dinot'tan meydana gelmiştir. Fotoçoğaltıcı tüp içerisindeki dinotlara uygulanan gerilim ile elektronların dinotlara çarpması sağlanır ve bu şekilde elektronların sayılarının artması mümkün olur. Anot ve dinotlar tüp tabanında bulunan fişlere yerleştirilmiş seri bağlı dirençler vasıtası ile biyazlanırlar. Bir Sintilasyon Algılayıcısı genel olarak fotoçoğaltıcı tüp ve sintilatör şeklinde başlıca iki kısma ayrılabilir (Canberra Industries Inc., 1997; Knoll, 1979).

İyi bir algılayıcının sintilatör materyalinde aranılan özellikler, şeffaflık, büyük boyutlarda kullanılabilirlik ve büyük ışık çıkışına sahip olma şeklinde sıralanabilir. Relatif olarak birkaç materyal bu tür algılayıcılar için iyi özelliklere sahiptir. Bu yüzden genellikle NaI ve CsI kristalleri içerisine aktive edilmiş talyum kullanılır. NaI gama algılaması için kullanışlı bir materyaldir çünkü ekonomik olmasının yanında çok iyi bir şekilde gama çözünürlüğüne de sahiptir. NaI(Tl) kristalleri %100'lük verimle gamaları algırlar. Bununla beraber plastik sintilatörler daha fazla ışık pulsu azalmasına sahiptirler ve zamanlama uygulamalarında kullanılırlar. Ancak bu tip sintilatörler iyi enerji çözünürlüğüne sahip değildir (Knoll, 1979; Anderson, 1989).

1.13.2.1. NaI (Tl) Sintilatörleri

NaI sintilatöründe bulunan iyotun atom numarasının yüksek olması, gama ışınlarının algılanmasında yüksek verim elde edilmesini sağlamaktadır. Genellikle talyumun küçük bir miktarı kristal içerisine eklenerek aktive edilir. Oluşan bu yapı NaI(Tl) kristali olarak isimlendirilir. Bu algılayıcıların en iyi çözünürlüğü 3x3 boyutlarında bir kristal kullanılarak ¹³⁷Cs radyoaktif kaynağından alınan 662 keV enerjili gama ışınları için %7,5 ile %8,5 arasında değişir. Bu kristal daha küçük ve daha büyük boyutlarda kullanıldığında bu kadar iyi bir çözünürlük elde etmek mümkün değildir. NaI algılayıcılarının birçok türü kullanışlıdır. Bu tür kristaller, zayıf numunelerin 4π'deki sayımlarını en iyi şekilde yapacak bir biçimde üretilmektedir.

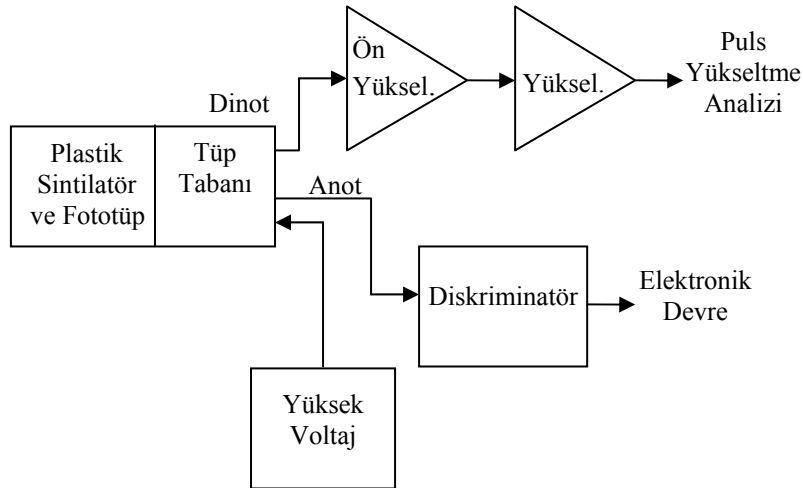
NaI kristalindeki ışık azalma sabiti yaklaşık olarak 0,25 µs civarındadır. Bunun yanında tipik bir yüke hassas ön yükselteçten 0,5 saniye civarında yükselme zamanına sahip çıkış pulsları elde edilir. Bu sebepten dolayı NaI algılayıcıları yüksek aktiviteli ölçümler için plastik algılayıcılar kadar iyi değildirler, çünkü bu tür ölçümlerde kısa çözümleme zamanına ihtiyaç vardır (Anderson, 1989; Leo, 1987).

1.13.2.2. ZnS Sintilatörleri

Gümüş ile aktive edilmiş çinko sülfat eski inorganik sintilatörlerden birisidir. Bu sintilatörler NaI(Tl) sintilatörleri ile karşılaştırıldığı zaman çok yüksek bir sintilasyon verimine sahiptirler. Bunun yanında bu tip sintilatörler bir polikristal tozu gibi kullanılırlar. Bunun sonucu olarak bu sintilatörlerin kullanımı, alfa parçacıkları ve diğer ağır iyon algılamalarında kullanılmış olan ince ekranlar için sınırlandırılmıştır. Kalınlık 25 mg/cm²'den büyük olduğu zaman kendi kendilerine parıldama meydana getirme ihtimalleri olduğundan kullanılmayabilirler (Knoll, 1979).

1.13.2.3 Plastik Sintilatörler

Eğer bir organik sintilatör bir çözücü içerisinde çözünürse, bir katı çözeltinin eşdeğeri elde edilmiş olur. Buna örnek olarak styrene monomerden meydana gelmiş bir çözücüde organik bir sintilatörün çözülmesi verilebilir. Styrene daha sonra bir katı plastik şeklinde polimerize olur. Bu tip sintilatörlerin şekillendirilmesi ve üretimi kolaydır. Bu yüzden plastik sintilatörler organik sintilatörlerin içerisinde en kullanışlı olanlardan birisidir. Bu tip sintilatörlerin puls şekillendirmesi için üretilen diğer sintilatörler kadar iyi ve hızlı bir azalma zamanları vardır. Plastik sintilatörler genellikle nötron algılamalarında, yüklü parçacık algılamalarında ve hızlı zamanlama uygulamalarında kullanılırlar. Bu uygulamalarda kullanılabilmesi için çok büyük boyutlarda olmaları veya doğal sert plastik özelliklerini sağlamaları gerekmektedir. Hızlı fotoçoğaltıcı tüplere bağlanmış plastik sintilatörler ile nano saniye civarında yükselme zamanına ulaşmak mümkündür. Şekil 1.3’de bir plastik sintilatör algılayıcısının elektroniği görülmektedir. Ayrı çıkışlar genellikle zamanlama için kullanılmışlardır. Dinot’un pozitif çıkışı bir ön yükseltece ve oradan da enerji analizi için yükseltece, daha büyük bir negatif çıkış için ise bir hızlı diskriminatöre bağlanmıştır.



Şekil 1.3. Bir plastik sintilatör algılayıcısının elektroniği (Canberra Industries Inc., 1997; Anderson, 1989).

1.13.3. Algılayıcı Verimi

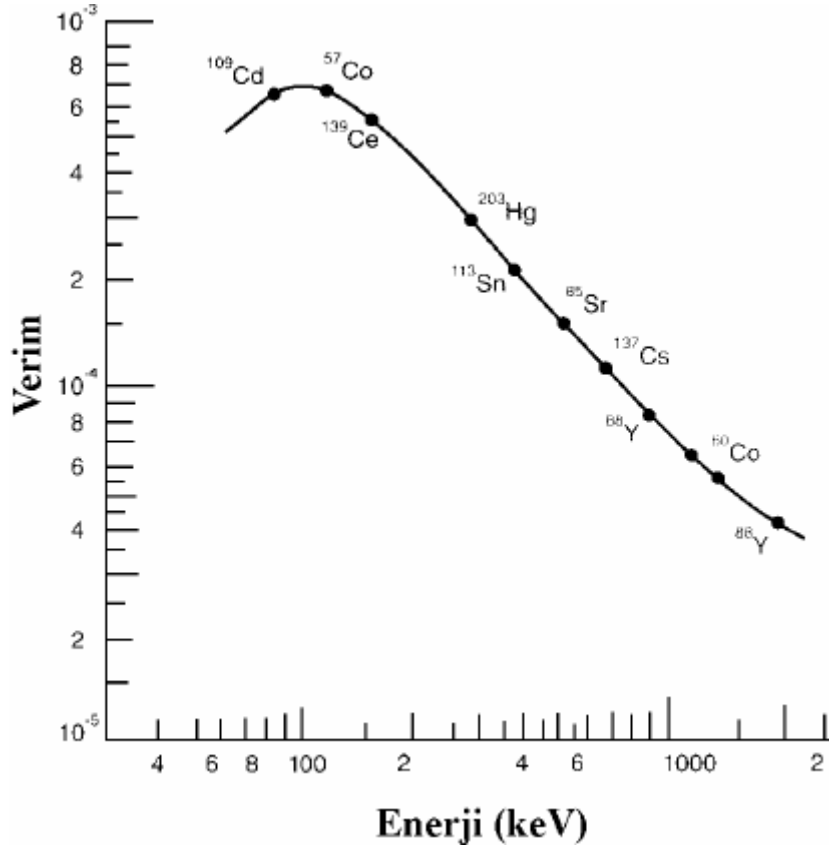
Bir algılayıcının verimi, aktivitesi bilinen bir kaynaktan çıkan radyasyonun meydana getirdiği pulsların ölçülmesi ile bulunur. Verim, radyasyon tipine göre ayrı ayrı hesaplanabilir. Örnek olarak, gama algılayıcıları için aşağıda belirtilen birkaç değişik verimden bahsedilebilir.

Mutlak Verim: Algılayıcı tarafından sayılmış gama ışınları sayısının kaynak tarafından bütün doğrultularda yayınlanan gama ışınları sayısına oranıdır.

Sayma Verimi: Algılayıcı tarafından alınan puls sayısının algılayıcıya çarpan gama ışınlarının sayısına oranıdır.

Bağlı Verim: Bir algılayıcının başka bir algılayıcıya göre verimidir.

Tam Enerji Pik (Fotopik) Verimi: Gama ışınlarının herhangi bir hacmindeki bir pulsundan ziyade sadece meydana gelen tam enerji pik pulsları için verimdir. Algılayıcının kullanışlı olabilmesi için gama ışını enerjilerinin büyük bir kısmını emmesi gereklidir. Bu özellik, yüksek Z'li algılayıcı materyalinin seçilmesi veya uygun hacimli bir algılayıcının kullanılması ile algılayıcıya kazandırılır. Şekil 1.4'de bir germanyum algılayıcısı için tam enerji pik verim eğrisinin bir örneği görülmektedir.



Şekil 1.4. Tam enerji pik verim eğrisi (Canberra Industries Inc., 1997).

1.13.4. Algılama Verimi

Bütün radyasyon algılayıcıları aktif alanlarına gelerek etkileşen radyasyonun her bir tanesi için bir çıkış pulsu oluşturur. Başlıca yüklü parçacıklar olan alfa ve beta parçacıkları iyonizasyon formunda etkileşirler. Parçacık uygun bir mesafede yol aldığı zaman şayet gürültü kaynaklarından daha yüksek seviyede puls meydana getirebiliyorsa, parçacığın meydana getirdiği bu puls sayıcılar tarafından kaydedilebilir. Böylece algılayıcı, önüne bırakılan ve algılayıcının aktif hacmi ile etkileşen her alfa ve beta parçacığını algılayabilecektir. Bu durumda algılayıcının %100'e yakın bir sayım verimine sahip olduğu söylenebilir (Knoll, 1979; Beaumont, 1992).

Diğer taraftan yüksüz radyasyonlar, örneğin gama ışınları ve nötronlar algılama meydana gelmeden önce algılayıcı içerisinde önemli etkileşmelerde bulunurlar. Çünkü bu

Radyasyonlar etkileşerek uzun mesafeler katedebilirler. Bundan dolayı algılayıcıların verimi %100'den daha az olur. Bu nedenle kullanılan algılayıcının veriminin belirlenmesi gerekir. Algılayıcı verimi sayılmış pulsların sayısı ve algılayıcı üzerine gelen fotonlar veya nötronların sayısı ile ilişkilidir.

Algılayıcı verimini iki sınıfa ayırmak mümkündür. Bunlar mutlak ve esas verimlerdir. Mutlak verim aşağıdaki gibi tanımlanır,

$$\varepsilon_{mutlak} = [\text{Algılayıcının Kaydettiği Pulsların Sayısı}] / [\text{Kaynaktan Yayınlanan Parçacık Sayısı}] \quad (1.1)$$

Denklem (1.1) katı açığı içermez. Bu iki verim izotropik kaynaklar için, $\varepsilon_{esas} = \varepsilon_{mutlak} \frac{4\pi}{\Omega}$ olarak basit bir şekilde ifade edilebilir. Bu denklemdeki Ω algılayıcının katı açısıdır. Bir algılayıcının esas verimi; algılayıcı materyali, radyasyon enerjisi ve gelen radyasyon doğrultusundaki algılayıcının fiziksel kalınlığı gibi özelliklere bağlıdır (Knoll, 1979; Taylor, 1963).

Algılayıcı ile kaynak arasındaki mesafenin göz ardı edilmesinin sebebi, algılayıcıya doğru gelen radyasyonun ortalama yol uzunluğunun değişebilmesidir. Sayım verimleri, kaydedilmiş sonuçların doğallığı ile de sınıflandırılabilir. Eğer bütün pulsların algılayıcıdan meydana geldiği kabul edilirse, bu durumda sayım verimi yaklaşık olarak toplam verim gibi düşünülebilir. Pik veriminin toplam verime oranı r ile gösterilir ve denklem (1.2)'deki gibi ifade edilir.

$$r = \frac{\varepsilon_{Pik}}{\varepsilon_{Top}} \quad (1.2)$$

Sonuç olarak, bir algılayıcının verimi bahsedilen kriterlerin her ikisine uygun şekilde tanımlanabilir. Verimi bilinen bir algılayıcı bir radyoaktif kaynağın mutlak aktivitesini ölçmek için kullanılabilir. Esas pik verimi (ε_{ep}), bilinen bir algılayıcı spektrumundaki bütün enerji piki altındaki N sonuçlarını kaydetmek için kullanılabilir. Eğer radyasyonun izotropik olarak yayıldığı ve algılayıcı ile kaynak arasında alınmış olan bölgenin değişmediği kabul edilirse, ölçüm periyodu boyunca kaynak tarafından yayınlanan radyasyon parçacık sayısı S şu şekilde verilir.

$$S = N \frac{4\pi}{\varepsilon_{ep} \Omega} \quad (1.3)$$

Denklem (1.3)'de Ω katı açıdır. Katı açı algılayıcı yüzeyi üzerindeki bir integral ile tanımlanır ve şu şekilde formüle edilir.

$$\Omega = \int_A \frac{\cos \alpha}{r^2} dA \quad (1.4)$$

Burada r , kaynak ile bir yüzey elemanı olan dA arasındaki mesafedir. α ise kaynak doğrultusu ve onun normali arasındaki açıdır. Eğer kaynağın hacmi önemli değilse, o zaman bir ikinci integrasyon, kaynağın bütün hacim elemanları üzerinden dışarıya taşınmış

olacaktır. Silindirik yapıda olan bir algılayıcının x eksenine boyunda yerleşmiş olan nokta kaynak için katı açı şu şekilde verilir,

$$\Omega = 2\pi \left(1 - \frac{d}{\sqrt{d^2 + a^2}} \right) \quad (1.5)$$

Denklem (1.5)'de, d silindirik algılayıcı ile nokta kaynak arasındaki mesafe, a ise silindirik algılayıcının yarıçapıdır.

2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bu bölümde, 1982 ile 2007 yılları arasında tez konusu ilgili daha önce yapılmış olan çalışmalar verilmiştir.

Polonyalı bilim adamları tarafından Polonya'nın doğal radyasyon seviyesi tayin edilmiştir (Niewiadowski ve ark, 1982).

ABD'de yapılan başka bir çalışmada ise ABD'ye içme suyu sağlayan kaynaklarda bulunan radyum konsantrasyonları, toplam alfa ve beta radyoaktivitesi tayini yapılmıştır (Cothorn ve ark, 1983).

ABD'de yapılan diğer bir çalışmada, sadece toprakta bulunan doğal radyonüklid konsantrasyonları belirlenmiştir (Myrick ve ark, 1983).

Türkiye kaplıca ve maden sularında doğal radyoaktivite tayini çalışmaları yapılmıştır (Alkan ve Göksel, 1984).

ÇNAEM ve İTÜ Nükleer Enerji Enstitüsü ortak çalışmasında çeşitli içme sularındaki radyoaktivite tayini çalışmaları yapılmıştır (Tuncer, 1991).

Hindistan'ın güney batı kıyılarında, yeniden doğal radyasyon alanı belirleme çalışmaları yapılmıştır (Radhakrishna ve ark, 1993). Hindistan'ın güney batısında bulunan Karnataka şehrine nükleer ve termal güç istasyonlarının kurulmasından dolayı bu çalışmalar yeniden yapılmıştır. Çalışmalarda hava, toprak ve deniz kumundaki radyonüklid seviyelerinin tayin edilmesi amaçlanmıştır. Yapılan termolüminesans dozimetrik çalışmaları, bu yerleşim yerindeki havada yüksek oranda gama radyasyon dozu olduğunu göstermiştir.

Baska bir çalışmada ise Orta Mısır ve Delta nehrinden alınan topraklardaki radyoaktivite seviyesi belirlenmiştir (Ibrahiem ve ark, 1993). Bu çalışmada Orta Mısır toplam 13 bölgeye ayrılmış ve her bölgeden farklı toprak örnekleri alınarak toplam 162 toprak örneği alınmıştır. Bu çalışmada alınan toprak örneklerinin radyonüklid konsantrasyonu yüksek saflıktaki germanyum spektrometresi kullanılarak ölçülmüştür. ^{40}K , ^{232}Th ve ^{226}Ra serilerinin elde edilen konsantrasyonlarının kuru ağırlıkları Bq/kg cinsinden, soğurulan doz oranı ise nGy/saat cinsinden ifade edilmiştir. Topraktaki ^{137}Cs konsantrasyonunun aktivitesi ise Bq/m² cinsinden ifade edilmiştir. ^{40}K 'ın 1460 keV'lik gaması farklı örneklerdeki ^{40}K konsantrasyonunu tanımlamaktadır. 661,66 keV'lik gama geçiş enerjisi ise ^{137}Cs konsantrasyonunu tanımlamaktadır. ^{214}Pb için 351,9keV, ^{214}Bi için ise 609,3 keV, 768,4 keV, 1120,3 keV, 1238,1 keV, 1764,5 keV'lik gama geçiş enerjileri ^{238}U serisinin konsantrasyonunu tanımlamaktadır. ^{228}Ac için 338,4 keV, ^{208}Tl için 583,1 keV, ^{228}Ac için 911,1 keV, 968,9 keV ve 974,7 keV'lik gama geçiş enerjileri ^{232}Th serisinin konsantrasyonunu tanımlamaktadır.

Amerika'nın Louisiana eyaletinde yapılan bir çalışmada ise basit teknikler kullanarak toprağın radyoaktivitesi analiz edilmiştir (Meriwether ve ark, 1995).

Arizona’da yapılan başka bir çalışmada yer altı sularının radyoaktivitesinin ölçümü gerçekleştirilmiştir (Holbert ve ark, 1995).

Türkiye’de yapılan bir çalışmada ise İstanbul’un çevresel doğal radyoaktivitesinin tayini yapılmış ve yıllık etkin doz eşdeğerleri hesaplanmıştır (Karahan, 1997). Bu çalışmada toprak, su, hava ve gıdalardaki doğal radyoaktivite değerleri seviyesi belirlenmiştir. Topraktaki doğal radyoaktivitenin tespiti için İstanbul ve çevresinden 35 farklı yerden 105 toprak örneği alınmıştır. Toplanan örnekler özellikle işlenmemiş alanlardan 0-10 cm derinlikten alınmıştır. Toplanan örnekler kurutulup, ezilip homojen hale getirildikten sonra 1000mL kapasiteli Marinelli kaplarına konulmuş ve dengeye gelmesi için ağzı iyice kapatılıp 1 ay süresince bekletilmiştir. Daha sonra bu toprak örnekleri yüksek çözünürlüklü gama ışını spektrometresinde analiz edilmiş ve radyonüklidlerin konsantrasyonları belirlenmiştir. Bu toprak analizi sonucunda, ^{238}U serisinden ^{226}Ra , ^{214}Pb ve ^{214}Bi radyonüklidleri, ^{232}Th serisinden ^{228}Ac , ^{212}Pb , ^{212}Bi ve ^{208}Tl radyonüklidleri ve ^{40}K , ^{137}Cs radyonüklidlerinin aktiviteleri bulunmuştur. Bunların ortalamaları alınarak ^{238}U ve ^{232}Th aktiviteleri bulunmuştur.

G. Karahan ve A. Bayülken tarafından yapılan bir çalışmada, İstanbul ve çevresinin gama doz oranları belirlenmiştir (Karahan ve Bayülken, 1999). İstanbul’un yüzey toprağındaki doğal radyonüklid aktivite konsantrasyonu, gama spektrometresi kullanılarak ölçülmüştür. Doğrudan ev dışı maruz kalmalar, topraktaki radyonüklidlerin aktivite konsantrasyonları ile bağlantılıdır. Toprak örneklerindeki karasal radyonüklidlerin doğal gama radyoaktivitesi ve havada bu radyonüklidlerin soğurulmuş gama doz oranı, İstanbul’un farklı alanları için hesaplanmıştır. Ortalama aktivite konsantrasyonları, ^{238}U için 21 Bq/kg, ^{232}Th için 37 Bq/kg ve ^{40}K için 342 Bq/kg olarak bulunmuştur. Yerden 1 m yukarıdaki havada ortalama ev dışı gama doz oranı 65 nG/h olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada elde edilen bu değerleri kullanarak, İstanbul’da yaşayan bir kişi için ortalama yıllık etkin doz eşitliği 80 μSv olarak bulunmuştur.

G. Karahan, N. Öztürk ve A. Bayülken İstanbul’daki çeşitli yüzey sularının doğal radyoaktivitesini incelemişlerdir (Karahan ve ark., 2000). İstanbul’dan alınan sekiz kuyu ve beş çeşme suyu örneğinin toplam alfa ve toplam beta aktiviteleri belirlenmiştir. Dört göl, dört deniz suyu ayrıca kar ve yağmur suyu örneklerinin ^{226}Ra , ^{222}Rn , ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{40}K ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonlarını belirlemek için analiz edilmiştir. Bulunan sonuçlar, içme suyu örneklerindeki doğal aktivitenin WHO ve ITS’nin tavsiye ettiği sınırları geçmediği görülmüştür. Deniz ve göl sularından alınan örneklerde WHO ve ITS’nin tavsiye ettiği sınırların üzerinde değerler bulunmuştur. İçme suyu için toplam alfa konsantrasyonları 0,007 Bq/l’den 0.04 Bq/l’e değişen değerlerde toplam beta için 0.02 Bq/l’den 0,1 Bq/l değişen değerlerde gözlenmiştir.

Pakistan’da yapılan bir çalışmada, Peshawar Ovası’ndaki Shewa Shahbaz Garhi volkanik kompleksinin doğal radyoaktivite değerleri hesaplanmıştır (Amanat ve ark, 2002). Bu çalışmada, 42 tipik kaya örneği toplanmış ve bunların ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K gibi radyonüklidlerin radyoaktivitesi HPGe detektörlü gama ışını spektrometresinde ölçülmüştür. ^{238}U ’in aktivitesi 11 Bq/kg ’dan 79 Bq/kg ’a değişim göstermekle birlikte ortalama aktivitesi 51 ± 16 Bq/kg değerinde bulunmuştur. ^{232}Th ’nin ortalama aktivitesi ise 70 ± 20 Bq/kg’dır. Ayrıca ^{40}K ’in ortalama aktivitesi 1272 ± 367 Bq/kg olmakla beraber 228 Bq/kg ile 1853 Bq/kg arasında değiştiği görülmüştür. Havada soğurulan gama doz oranı da

her yer için 1m yükseklikte hesaplanmış ve ortalama soğurulan gama doz oranının 119 nGy/h olmakla birlikte, 27 nGy/h ile 165 nGy/h değerleri arasında değiştiği görülmektedir. Çalışma sonucunda, ^{40}K , ^{238}U ve ^{232}Th 'nin ortalama konsantrasyonlarının, UNSCEAR 2000 raporunda yayınlanan ^{40}K için 400 Bq/kg, ^{238}U için 35 Bq/kg ve ^{232}Th için 30 Bq/kg olan dünyadaki ortalama değerden daha yüksek olduğu bulunmuştur. Özellikle yaşlı kayaların daha radyoaktif olduğu gözlenmiştir. Ayrıca havada soğurulan doz oranı ortalaması olarak bulunan 119 ± 29 nGy/h' in ise UNSCEAR 2000 raporunda dünya ortalaması olan 51 ± 16 nGy/h' den daha yüksek olduğu bulunmuştur.

Amanat ve arkadaşları (Amanat ve ark., 2002) tarafından yapılan çalışmada kuzey batı Pakistan'daki Shewa-Shahbaz volkanik bölgesindeki doğal radyoaktivite ve onun radyolojik zararları incelenmiştir. İnceleme yapmak için kullanılan kırk iki kaya örneği, kuzey batı Pakistan'daki Shewa-Shahbaz Garhi volkanik kompleksinde şekillenen kaya birimlerinin dış katmanlarından toplanmıştır. Karasal radyonüklidlerin radyoaktivitesi, HPGe dedektörlü gama ışın spektrometresi kullanılarak ölçülmüştür. Bu örnekler ^{238}U için 51 ± 16 Bq/kg, ^{232}Th için 70 ± 20 Bq/kg ve ^{40}K için 1272 ± 367 Bq/kg oldukça yüksek aritmetik konsantrasyona sahiptir. Havada 119 ± 29 nGy/h ortalama soğurulmuş gama doz oranı bulunmuştur.

Karakelle ve arkadaşları (Karakelle ve ark., 2002) tarafından yapılan çalışmada Kocaeli, Basın'daki 27 farklı örnek istasyonundan alınan toprak örneklerindeki doğal radyonüklid konsantrasyonları belirlenmiştir. Yüzey toprak örneği, 1998 yazında 0-15 cm derinliğinde belirlenmiş noktalardan toplanmıştır. Daha sonra tüm toprak örnekleri, 110°C sıcaklıkta 2 saatlik bir süre içerisinde kurutulmuştur ve ^{227}Ra ile ^{228}Th 'in kız çekirdekleriyle dengeye gelmesi için hava almayan kaplarda 40 gün süre ile beklenilmiştir. Ölçümler koaksiyel HPGe dedektörleri ile 350.000 saniye sayım zamanında yapılmıştır. Yüzey toprağı örneklerindeki radyonüklid konsantrasyonları ^{238}U için 11 ± 4 Bq/kg ile 49 ± 10 Bq/kg, ^{232}Th için 11 ± 3 Bq/kg ile 65 ± 13 Bq/kg, ^{226}Ra için 10 ± 4 Bq/kg ile 58 ± 11 Bq/kg, ^{40}K için 161 ± 30 Bq/kg ile 964 ± 127 Bq/kg ve ^{137}Cs için $2\pm 0,6$ Bq/kg ile 25 ± 6 Bq/kg arasında değişen değerler bulmuşlardır.

Topçuoğlu ve arkadaşları (Topçuoğlu ve ark., 2003) tarafından yapılan çalışmada, Batı Anadolu'daki Emendere termal kaynak alanındaki doğal ve yapay radyoaktivite incelenmiştir. Bu alanındaki toprak örnekleri, indikatör organizma sediment ve besin maddelerinde doğal olarak oluşan ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{40}K ve ^{210}Po radyonüklid dağılımları ve yapay radyonüklid ^{137}Cs alfa ve gama spektrometresi kullanılarak belirlenmiştir. Aynı zamanda toplam alfa ve toplam beta konsantrasyonları bahsedilen örneklerde belirlenmiştir.

Yapılan başka bir çalışma da ise Hindistan'ın Orissa bölgesindeki yüksek temel radyasyonuna sahip Chhatrapur sahillerinde gerçekleştirilmiştir (Mohanty ve ark, 2004). Bu çalışmada, bu bölgedeki toprakta bulunan ^{232}Th , ^{238}U ve ^{40}K radyoaktif elementlerin konsantrasyonunun ortalama aktivitesi, gama ışını spektrometresi kullanılarak ölçülmüştür. Araştırmada, ^{232}Th , ^{238}U ve ^{40}K 'in konsantrasyonlarının ortalama aktivitesi sırayla 2500 ± 1850 Bq/kg, 230 ± 140 Bq/kg ve 120 ± 35 Bq/kg bulunmuştur. Havada soğurulan gama doz oranının ortalama 1625 ± 1200 nGy/h olmakla birlikte 375 nGy/h ile 5000 nGy/h değerleri arasında değiştiği bulunmuştur.

Baska bir çalışmada, Tekirdağ'ın çevresel doğal radyoaktivitesinin tayini yapılmıştır (Kam, 2004). Bu çalışmada Tekirdağ ili ve çevresinden hava, toprak ve su örnekleri alınmıştır. Açık havada, toprak yüzeyinden 1m yükseklikte, 1 saat süreyle gerçekleştirilen ölçümler sonucu, $\mu\text{R/h}$ olarak elde edilen gama ışınlama doz hızı değerleri nGy/h 'e dönüştürülmüş ve bu bölgeye ait bazı yerleşim yerlerinin gama doz hızı değerleri elde edilmiştir. Tekirdağ ili ve çevresinde ölçülen gama doz hızı değerlerinin ortalaması 43.27 nGy/h 'tir. Bu çalışmada alınan toprak örnekleri genelde işlenmemiş alanlardan alınmıştır. Toprak örnekleri yabancı maddelerden temizlendikten sonra, toprak içinde bulunan radon ve toron gibi bozunma ürünlerinin dengeye gelmeleri için 1 ay süreyle bekletilmiştir. Daha sonra gama spektrometresi cihazına konularak 50000 saniye sayılmıştır. Sayım işlemi her radyoizotopun yayınladığı fotoelektrik pik enerjisine göre kalibre edilmiş enerji aralığında gerçekleştirilmiştir. Yapılan sayım sonucunda, ^{238}U 'ın aktivitesi 10 Bq/kg ile 61 Bq/kg arasında değişmekle birlikte ortalama aktivitesi 25 Bq/kg olarak bulunmuştur. ^{232}Th 'nin aktivitesi 16 Bq/kg ile 110 Bq/kg arasında değişmekle birlikte ortalama aktivitesinin 37 Bq/kg olduğu görülmüştür. Çalışma bölgesinden alınan toprak örneklerindeki ^{40}K 'ın aktivitesi 297 Bq/kg ile 1466 Bq/kg arasında değişmekle birlikte ortalama aktivitesinin 609 Bq/kg olduğu belirlenmiştir. Toprak örneklerinde fisyon ürünü olan ^{137}Cs radyoizotopuna rastlanmıştır. ^{137}Cs 'in en yüksek aktivite değeri ise 22 Bq/kg olmakla beraber ortalaması $5,40 \text{ Bq/kg}$ olduğu bulunmuştur.

Elazığ yöresinde doğal radyoaktivite tayini (Canbazoğlu, 2004) çalışmasında ise, Elazığ yöresinin doğal radyoaktivite seviyesi tespit edilmiştir. Elazığ il ve ilçe merkezlerinden su, toprak, hava ve gıda örnekleri alınmış ve örnekler sayıma hazır hale getirildikten sonra uygun dedektör sistemleri ile radyoaktivite seviyeleri tespit edilmiştir. Bunların yanı sıra, karasal kaynaklı gama radyasyon doz hızı ölçümleri de yapılmıştır. Bunlara ek olarak, pasif algılayıcılar olan CR-39 detektörleri kullanılarak il merkezini karakterize edebilecek şekilde seçilmiş olan evlerde ^{222}Rn gazı konsantrasyonları farklı oda ve katlar için belirlenmiştir. Elde edilen veriler ulusal ve uluslararası standartlar ile karşılaştırılmış ve Elazığ yöresinin doğal radyoaktivite seviyesini su, toprak ve hava için gösteren İSO radyoaktivite haritaları elde edilmiştir.

Çanakkale'ye bağlı Ezine ilçesi civarındaki köylerden alınan su, toprak ve granit örneklerindeki radyoaktivite seviyelerinin belirlenmesinin hedeflendiği bir başka çalışmada ise toplam 7 tane su, 9 tane toprak örneği alınmıştır. Alınan su örneklerinin toplam alfa ve toplam beta seviyeleri tayin edilmiştir (Merdanoğlu, 2004).

Kam ve arkadaşları (Kam ve ark., 2005) tarafından Tekirdağ ili ve çevresinin doğal radyasyon seviyeleri belirlenmiştir. Tekirdağ il sınırları içerisinde 40 farklı yerleşim alanından toprak örnekleri alınıp gama spektrometrik analizi yapılarak ^{238}U ve ^{232}Th doğal radyoaktif serilerinin bozunma ürünleri olan ^{226}Ra , ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{218}Ac ve ^{208}Tl radyoizotopları ile ^{40}K radyoizotopunun radyoaktivite konsantrasyonları belirlenmiştir. Ayrıca doğada bulunmayan ve bir fisyon ürünü olan ^{137}Cs radyoizotopunun toprak içerisindeki aktivite konsantrasyonu da belirlenmiştir.

Papaefthymiou ve arkadaşları (Papaefthymiou ve ark., 2005) tarafından yapılan çalışmada bir çalışmada ise Yunanistan'da bulunan Patras ve Megalopolis' den alınan serpinti örneklerindeki doğal radyoaktivite karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Tortu örnekleri bütün bir yıl boyunca her ay olmak üzere Yunanistan'ın bu iki şehrinde doğal

radyoaktivitenin farklı yayılım kaynaklarından eşzamanlı olarak toplanmıştır. Toplam beta aktivitesi ve ^{238}U ve ^{232}Th aktiviteleri toplam 95 tortu tozu örneğinden belirlenmiştir.

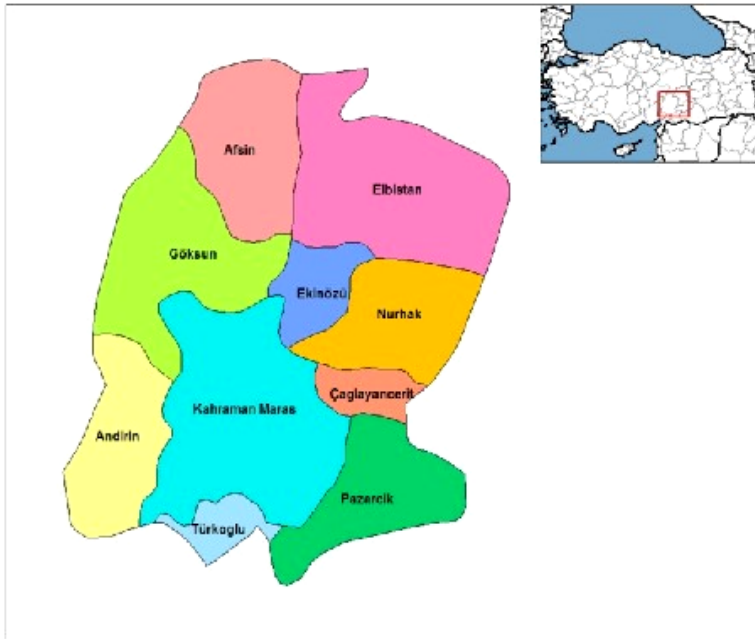
Malezya'nın Johor bölgesindeki Polong'ta yapılan bir çalışmada, doğal radyasyonun yüksek olduğu bir alan seçilmiş ve bu alandaki çevresel ^{238}U ve ^{232}Th konsantrasyonlarının aktiviteleri ölçülmüştür (Ramli ve ark, 2005). Toprakta bulunan ^{238}U konsantrasyonunun değerinin 58,8 Bq/kg ile 484,8 Bq/kg arasında, ^{232}Th konsantrasyonunun değerinin ise 59,6 Bq/kg ile 1204 Bq/kg değerleri arasında değiştiği belirlenmiştir.

Türkiye'de yapılan başka bir çalışmada ise Ceyhan, Yumurtalık ve Pozantı bölgelerinin doğal radyoaktivite düzeylerinin belirlenmesi (Gülbin, 2005) yapılmıştır. Bu çalışmada Ceyhan, Yumurtalık ve Pozantı'nın köylerinden 13 toprak ve 16 su örneği alınmış ve radyonüklidlerin radyoaktivitesi, HPGe detektörlü bir gama ısımlı spektrometre sistemi ile ölçülmüştür. Topraktaki ^{238}U radyoaktivite konsantrasyonları 2,813 Bq/kg'dan 14 Bq/kg'a kadar, ^{232}Th radyoaktivite konsantrasyonları 3,546 Bq/kg'dan 25,91 Bq/kg'a kadar, ^{40}K radyoaktivite konsantrasyonları 66,81 Bq/kg'dan 403,58 Bq/kg'a kadar ve ^{137}Cs radyoaktivite konsantrasyonları 0,33 Bq/kg'dan 14,08 Bq/kg'a kadar değişim göstermiştir.

Adana ilinde yapılan başka bir çalışmada ise, Adana ili ve çevresinin çevresel doğal radyoaktivitesinin saptanması ve doğal radyasyonların yıllık etkin doz eşdeğerinin bulunması yapılmıştır (Değerlier, 2007). Bu çalışmada genel olarak Adana İli ve çevresindeki doğal kaynaklarda bulunan doğal radyoaktivite değerlerinin veya doğal radyonüklid konsantrasyonlarının belirlenmesi ve doğal kaynaklardan yayınlanan farklı tipteki radyasyonların ölçülmeleri ile Adana İlini kapsayan bölgenin doğal temel radyasyon seviyelerinin tespit edilmesi amaçlanmıştır.

3.MATERYAL VE METOT

Kahramanmaraş il merkezini radyolojik açıdan karakterize edebilecek su, toprak ve gıda gibi çevresel örnekler, örnek toplama kriterleri göz önünde bulundurularak toplandı. Alınan örnekler mümkün olan en kısa sürede çeşitli ön işlemlere tabi tutularak sayıma hazır hale getirildi ve uygun algılama sistemleri ile ölçümleri gerçekleştirildi. Elde edilen ölçüm sonuçları; denklem 3.6 kullanılarak, örneklerin tamamının toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri ve bunlara ek olarak örneklerde bulunan ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklid konsantrasyonları hesaplandı. Bunların yanı sıra havada doğrudan gama doz ölçümleri bina içi, bina dışı, toprak ve asfalt zeminde, yerde ve yerden 1 m yükseklikte yapıldı. Kahramanmaraş il merkezi, ilçeleri ve Türkiye'deki konumunun haritası Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Kahramanmaraş il haritası.

3.1. Örneklerin Alınması ve Sayıma Hazır Hale Getirilmesi

Kahramanmaraş yöresinin doğal radyoaktivitesini tespit etmek amacıyla il merkezinden alınan su, toprak ve gıda örneklerin uygun algılama sistemleri ile radyoaktivite ölçümleri yapılmadan önce, bu örneklerin çeşitli ön işlemlerden geçirilmesi gerekmektedir. Her bir örnek türü için yapılması gereken ön işlemler aşağıda verilmiştir.

3.1.1. Su Örnekleri

Yüzey ve yer altı su örnekleri; suların taşınma, karışma, depolanma gibi özellikleri ile halkın kullanım amacı ve yüzdesi gibi kriterler göz önünde bulundurularak; ilgili bölgede bulunan su kaynakları, su depoları, şehir şebeke suyu kullanan evlerdeki musluklar ve halkın kullanımına açık sokak çeşmelerinden tek kullanımlık steril 1 L'lik polietilen şişelerle alındı.

Musluk suyu örneklemelerinde, musluk suyu 2-3 dakika akıtıldıktan sonra alınmıştır. Alınan örnekler etiketlendikten sonra, laboratuvar ortamına getirildi ve uygun laboratuvar şartları altında depolandı. Dış etkenlerle (güneş ışığı, toz, v.b.) etkileşmesi engellenerek alınan örneklerin; çürüme, bozulma, azalma ve herhangi bir radyoaktif bulaşmaya maruz kalması engellendi.

Deneyde kullanılacak olan malzemeler (planşetler, spetula ve beherler) kaliteli deterjanla yıkanarak iç kısımları bir fırça aracılığı ile iyice temizlendi. Deterjanlı su ile yıkanan malzemeler musluk suyu ile titizlikle durulanıp ve içerisine su koyularak bir müddet bekletildi. Malzemeler daha sonra $K_2Cr_2O_7$ yıkama suyu ile iyice temizlendi. Yıkama suyu ile temizlenen malzemeler iki kez saf sudan geçirildi ve kurutuldu. 1 L'lik steril polietilen şişelerdeki sular çalkalanarak öz soğurmaya sebebiyet vermeyecek miktarda 100 mL ve 50 mL'lik miktarlarda beherler içerisine alındı ve bir elektrik ocağı ile kaynamasına izin verilmeden buharlaştırıldı. Beher içerisinde bulunan, su çökeltisi üzerine, saf su ilave edilip kazandıktan sonra darası alınmış 11.33 cm^2 ve 4.52 cm^2 alanlı planşetlere aktarıldı. Ayrıca yine kayıpları minimuma indirmek için, tekrar beher içerisindeki kalıntılar saf su ile çalkalanıp spetula ile kazınarak ilgili planşetlere aktarıldı ve tamamen kurumunun gerçekleşmesi için elektrikli ocak üzerinde buharlaştırma işlemine devam edildi ve planşetler ocak üzerinde kurutuldu. Kurutma işlemi tamamlanan planşetler dış ortamdan etkilenmemeleri için koruma altına alındı. Böylelikle sayıma hazır hale gelen örnekler etiketlendi ve toplam alfa ve beta aktivitesi ile radyoizotop tanımlanması için sayımlarına başlandı.

3.1.2. Toprak Örnekleri

Arazi çalışmaları sonucunda alınan toprak örnekleri, zaman kaybedilmeden laboratuvar ortamına taşınarak içerisinde bulunan ot, odun vb. yabancı maddeler titizlikle ayıklandı. Örnekler, tek kullanımlık plastik poşetler ile alınıp ve onların üzerine serilerek 10 gün süreyle oda sıcaklığında kurutuldu. Bu işlem ile örnekler içerisinde mevcut olan nem miktarı minimuma düşürüldü. Alüminyum folyolar içerisine sarılan toprak örnekleri daha sonra $105 \text{ }^\circ\text{C}$ 'deki bir fırında kurutma işlemine tabi tutuldu. Kurutma işlemi esnasında buharlaşma ile kaybolacak radyoaktivite miktarı ihmal edilebilecek düzeylerde olduğu için hesaplamalara katılmadı. Bu süreç sonucunda tamamen kuruması sağlanan toprak örnekleri 100 mesh gözenekli özel bir elek kullanılarak elendi ve temiz plastik poşetler içerisinde etiketlendi. Daha sonra her bir toprak örneği öz soğurmaya sebebiyet vermeyecek miktarda darası alınmış planşet içerisine homojen bir dağılım sergileyecek şekilde aktarılıp, üzerine örnek kaybını engellemeyecek miktarda saf su eklenecek elektrik ocağı üzerinde kuruması sağlandı. Planşetlerdeki örnekler daha sonra 2 saat kadar $105 \text{ }^\circ\text{C}$ 'deki bir fırında kurutma işlemine tabi tutuldu ve sayıma kadar uygun bir ortamda muhafaza edildi. Yukarıda bahsedilen süreçler sonucunda sayıma hazır hale getirilen toprak örneklerinin, uygun sayım sistemleri kullanılarak toplam alfa, toplam beta ve radyonüklid konsantrasyonları ölçümleri yapıldı.

3.1.3. Gıda Örnekleri

Toprak örnekleri toplanırken, bu topraklarda yetiştirilen ve halkın kullanımına sunulan gıda örnekleride toplandı ve tüketim şekline uygun hale getirildi. Daha sonra küçük parçalara bölündü ve iki kez saf su ile iyice yıkandı. Her bir gıda örneği temiz

nylon sergiler üzerinde oda sıcaklığında 3 ay kadar çürüme ve kokmasına izin verilmeden kurutuldu. Oda sıcaklığında kurutulan gıda örnekleri alüminyum folyolara sarılarak, 105 °C'deki bir fırın ile tamamen kurumaları sağlandı. Daha sonra külleştirme işlemine geçildi. Bu işlem için kuru kül etme yöntemi kullanıldı. Fırın sıcaklığı 105 °C'ye ayarlanarak, gıda örnekleri kül haline gelinceye kadar fırında bekletildi. Kül haline gelen gıda örnekleri fırından alınıp, temiz plastik poşetler içerisinde etiketlendi. Daha sonra kül haline gelmiş her bir gıda örneği öz soğurmaya sebebiyet vermeyecek miktarda darası alınmış planşet içerisine homojen bir dağılım sergileyecek şekilde aktarılıp, üzerine örnek kaybını engellemeyecek miktarda saf su eklenerek elektrik ocağı üzerinde kuruması sağlandı. Planşetlerdeki örnekler 2 saat kadar 105 °C'deki bir fırında kurutma işlemine tabi tutulup, sayıma kadar uygun bir ortamda muhafaza edildi. Böylece sayıma hazır hale getirilen gıda örneklerinin toplam alfa, toplam beta ve radyonüklid konsantrasyonları ölçümleri uygun algılayıcı sistemler kullanılarak yapıldı.

3.1.4. Havada Doğrudan Gama Dozu Ölçümleri

Bu çalışmada; çevresel gama radyasyon dozu ölçümleri NaI proflu (SPA8) Portatif Radyasyon Monitör Cihazı (ASP2e) kullanılarak, incelenen bölgeyi karakterize edebilecek şekilde seçilmiş olan noktalarda gerçekleştirildi. Ölçümler; aynı gün içinde toprak örneklerinin alındığı birincil ve ikincil örnekleme noktalarında, bina içinde, bina dışındaki asfalt ve toprak zeminlerde yerde, yerden 1 m yükseklikte yapıldı. Her bir ölçüm noktası için 60 s zaman bazında 3 kez ölçüm alınarak, ortalama bir gama radyasyon dozu değeri elde edildi.

3.2. Kullanılan Sayım Sistemleri ve Algılayıcılar

Bu çalışmada; örneklerin toplam alfa radyoaktivite ölçümleri 7286 düşük seviyeli alfa sayıcısı, toplam beta radyoaktivite ölçümleri için penceresiz sintilasyon sayacı ve BP4 beta proflu sintilasyon sayacı kullanıldı. Örneklerin, radyonüklid aktivite konsantrasyon sayımları için gama hassas sintilasyon sayacı kullanıldı. Kullanılan sayım sistemleri ve algılayıcılar hakkında detaylı bilgiler aşağıda verildi.

3.2.1. 7286 Düşük Seviyeli Alfa Sayıcısı

Bu sayım sistemi; 44 mm çapında ZnS katmanlı katı bir inorganik sintilatör ile EMI 6097B tür bir foto çoğaltıcı tüp ve sayıcıdan meydana gelmiştir. Sayıcı kısmına 4 adet birbirinden bağımsız foto çoğaltıcı tüp bağlanabilmektedir. Her bir foto çoğaltıcı tüp kendine ait ayarlanabilir yüksek voltaj kaynağına ve diskriminatör devresine sahiptir. Bu sistem esas olarak çok zayıf temel radyasyon ölçümlerinde ve düşük sayım hızlı uygulamalarda kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Sistemin kalibrasyonu kullanma kılavuzu temel alınarak yapıldıktan sonra örneklerin toplam alfa radyoaktivite ölçümleri için kullanıldı (Littlemore Scientific Engineering (ELSEC), 1994a).

3.2.2. Penceresiz Sintilasyon Sayacı

Bu donanım, sintilatör ve bir foto çoğaltıcı tüpten ibarettir. Penceresiz sintilasyon sayacı katı örneklerden zayıf enerjili beta radyasyonu ya da alfa radyasyonu ölçümleri için düzenlenmiştir. Bu sintilasyon sayacının penceresiz olması ve sintilatör ile örnek

arasındaki mesafenin 1,6 mm'den daha küçük olması sayım veriminin yüksek olmasını sağlar. Penceresiz sintilasyon sayıcı SR7, SR8 ve ST7 gibi uygun sayım donanımları ile kullanılabilir. 2059 plastik sintilatöre sahip olan bu sistemin kalibrasyonu kullanma kılavuzu temel alınarak yapıldıktan sonra örneklerin toplam beta radyoaktivite ölçümleri için kullanıldı (NE Technology Limited, 1994b).

3.2.3. BP4 Beta Proflu Sintilasyon Sayacı

Bu sistem, yüksek hassasiyetli BP4 tipi bir sintilatör ve foto çoğaltıcı tüpten ibarettir. Sintilatör ve foto çoğaltıcı tüp, minimum 3,2 cm kalınlıklı %4 oranında antimon içeren kurşun bir blok içerisine yerleştirilmiştir. Bu donanım zayıf enerjili beta radyasyonu ölçümleri için düzenlenmiştir. Bu sintilasyon sayacı da SR7, SR8 ve ST7 gibi uygun sayım donanımları ile kullanılabilir. Sayım verimi ⁹⁰Sr radyoaktif kaynağı için yaklaşık olarak %30'dur. Sistemin kalibrasyonu, kullanma kılavuzu esas alınarak yapılmış ve örneklerin toplam beta radyoaktivite ölçümleri için kullanıldı (NE Technology Limited, 1994).

3.2.4. Gama Hassas Sintilasyon Sayacı

Bu sistem, gama radyasyonuna hassas 50,8 mm x 50,8 mm boyutlarındaki kuyu tipi bir NaI sintilatör ile bir foto çoğaltıcı tüpten oluşur. Kuyu tipi sintilatör foto çoğaltıcı tüpe optik kontak yapılarak monte edilmiştir. Sintilatör ve foto çoğaltıcı tüp kurşun bir blok içerisine yerleştirilmiştir. 10 keV ile 1 MeV gama enerji aralığına duyarlı olan bu sayaç sistemi SR7, SR8 ve ST7 gibi uygun sayım donanımları ile kullanılabilir. Sistemin kalibrasyonu kullanma kılavuzuna göre yapıldı ve örneklerin radyonüklid konsantrasyon ölçümleri için kullanıldı (NE Technology Limited, 1991).

3.2.5. ASP2e Portatif Radyasyon Monitör Cihazı

Bu sistem, 2,5 cm x 2,5 cm boyutlu NaI (Tl) sintilatörlü alüminyum korumalı bir sayacıdır (SA8). Bu sayaca uyumlu analog/dijital göstergeli bir sayıcıdan (ASP2e) ibarettir. Sayacın ölü zamanı 36 µs ve enerji aralığı 40 keV ile 1,3 MeV arasındadır. Çevresel gama ve X-ışınlarından kaynaklanan çok zayıf radyasyon seviyelerini algılayabilecek hassaslıkta düzenlenmiştir. Sistemin sayıcı kısmı ise (ASP2e) PC uyumlu olup, farklı birimlerde radyasyon ölçümleri yapabilmektedir (Eberline, 1995).

3.3. Örneklerin Aktivite Konsantrasyonları

3.3.1. Sayma Hataları

Standart sapma %95 güvenirlilik seviyesinde olan, aşağıdaki denklem ile verilir,

$$E_s = \pm 1,96 (N_s / t_s + N_b / t_b)^{1/2} \quad (3.1)$$

burada, N örneğin veya temel saymanın cpm cinsinden sayma hızı, t örnek veya temel saymanın dakika cinsinden sayma zamanı, E_s ise net sayma hızının (cpm) %95 güvenirlilik seviyesindeki hatasıdır.

Sayma hızlarının toplama ve çıkarılması hallerinde ise toplam veya farkın hatası ise şu şekilde verilir,

$$E = \pm (E_a^2 + E_b^2)^{1/2} \quad (3.2)$$

burada, E_a ve E_b toplanan veya çıkarılan değerlerin hatasıdır.

3.3.2. Verim Düzeltmeleri

Sayma hızını bozunumlara dönüştürmek için aşağıdaki denklem kullanılır,

$$dpm = cpm / \text{verim} = cpm / G B T = cpm \times (VDF) \quad (3.3)$$

burada G, B ve T geometri, geri saçılma ve öz soğurma için düzeltme faktörleridir. $1/GBT$ ise verim düzeltme faktörü olup kısaca VDF'dir.

Kalınlık, örneğin kütlesi ile etkin alana göre değişme gösterir ve denklem (3.4) ile ifade edilir,

$$\text{Kalınlık (mg/cm}^2\text{)} = (\text{Örneğin mg cinsinden kütlesi}) / (\text{Etkin alan}) \quad (3.4)$$

Alüminyum planşet üzerinde sayılan aktivite için verim düzeltme faktörü (3.5) denklemi ile verilir,

$$VDF = 1 / V \times (T) \quad (3.5)$$

bu denklemdeki T'nin değeri, mg/cm^2 cinsinden kalınlığın fonksiyonu olarak daha önceden belirli standartlara göre çizilmiş U_3O_8 ve KCl için öz soğurma eğrilerden bulunur (Karahana, 1997; Tuncer, 1991). (3.5) denklemindeki V parametresi verimdir ve denklem (3.3) ile hesaplanır.

3.3.3. Örneklerin Aktivite Konsantrasyonlarının Hesaplanması

Örneklerin toplam alfa, toplam beta ve radyonüklid konsantrasyonları aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplandı,

$$A = [(N_S \pm S_S) \times VDF] / 2,22 \quad (3.6)$$

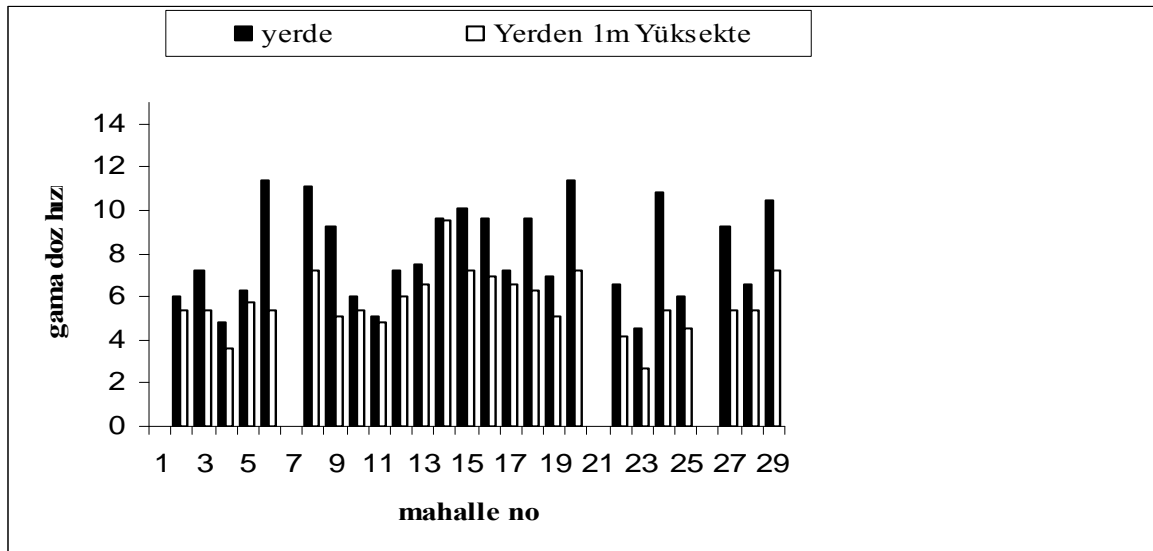
bu denklemde; A pCi cinsinden aktivite, N_S ve S_S sırası ile örneğin dakikadaki net sayım sayısı ve standart sapması, VDF verim düzeltme faktörüdür (Karahana, 1997; Alkan, 1989; Doğru ve Canbazoğlu, 2002; Canbazoğlu ve ark., 2000; Doğru ve ark., 2002).

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, inceleme sahası olarak Kahramanmaraş il merkezi seçildi ve Kahramanmaraş il merkezi sınırları içerisinde doğal radyoaktivite konsantrasyonları deneysel olarak belirlendi. Bu deneysel çalışmalarda bina içi ve dışı gama ışınlama doz hızları, su, toprak ve gıda örneklerinin toplam alfa ve toplam beta konsantrasyonları ile birlikte, aynı örneklerin içerdiği radyonüklid konsantrasyonları belirlendi.

4.1. Kahramanmaraş İl Merkezinde Çevresel Doğal Gama Radyasyonu Doz Hızı Değerleri

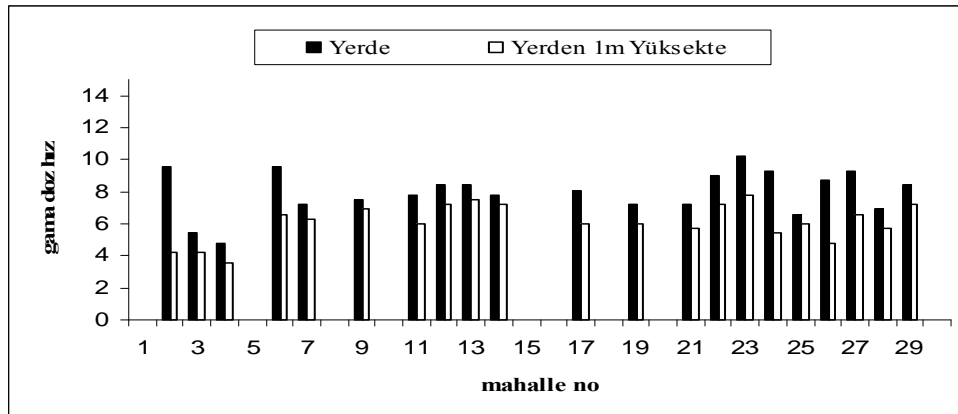
Çalışmanın bu bölümünde, Kahramanmaraş il merkezinde, mahallelerin tamamına yakın bir kısmında gerçekleştirilen, gama doz hızlarının ölçümlerine ilişkin bilgi ve verilere yer verildi. İl merkezinde toplam 29 mahallede belirlenen noktalarda bina içi, bina dışı toprak ve asfalt zeminlerde, yerde ve yerden 1 m yükseklikte ölçümler yapıldı. Ölçümler, SPA8 (NaI) proflu ASP2e portatif radyasyon monitör cihazı kullanılarak yapıldı. Belirlenen noktaların her biri için yapılan 3 ölçümün ortalama çevresel gama radyasyon doz hızı değerleri Çizelge 4.1’de verildi. Ayrıca, gama doz hızı ölçüm sonuçları, bina içi yerde ve yerden 1m yükseklikte Şekil 4.1’de, bina dışı toprak zemin, yerde ve yerden 1m yükseklikte Şekil 4.2’de, bina dışı asfalt zemin, yerde ve yerden 1m yükseklikte Şekil 4.3’de karşılaştırmalı olarak verildi. Ölçümlerde gama doz hızları $\mu\text{R/h}$ olarak elde edilmektedir. Havada alınan ölçümler içerisinde karasal gama radyasyonlarının katkıları çok büyük olmakla birlikte uzay kaynaklı kozmik ışınların da belli oranda katkıları vardır. Yerden 1 m yükseklikte gerçekleştirilen ölçümler açık havada, insanlarda üreme organları hizasında ölçüm yapılabilmesi bakımından önemlidir.



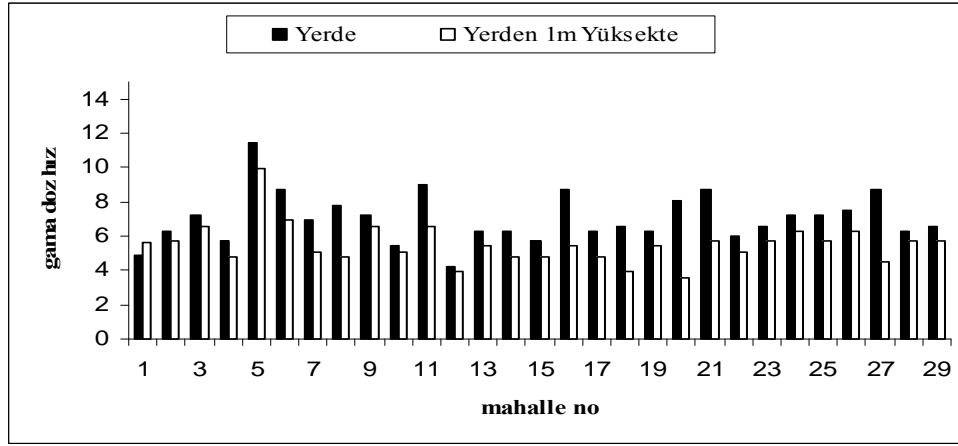
Şekil 4.1. Kahramanmaraş il merkezi bina içi gama doz hızı değerleri.

Çizelge 4.1. Kahramanmaraş il merkezinin gama doz hızı değerleri.

Mahalle No	Ölçüm Alınan Mahalle	Gama Doz Hızı ($\mu\text{R/h}$)					
		Bina İçi		Bina Dışı			
		Yerde	Yerden 1m Yükseklikte	Toprak Zemin		Asfalt Zemin	
Yerde	Yerden 1m Yüksekte			Yerde	Yerden 1m Yüksekte		
1	İsmet Paşa	---	---	---	---	4,9	5,6
2	Yenişehir	6,0	5,4	9,6	4,2	6,3	5,7
3	Bahçelievler	7,2	5,4	5,4	4,2	7,2	6,6
4	Egemenlik	4,8	3,6	4,8	3,6	5,7	4,8
5	Menderes	6,3	5,7	---	---	11,4	9,9
6	Bağlarbaşı	11,4	5,4	9,6	6,6	8,7	6,9
7	Yahya Kemal	---	---	7,2	6,3	6,9	5,1
8	Yavuz Selim	11,1	7,2	---	---	7,8	4,8
9	Namık Kemal	9,3	5,1	7,5	6,9	7,2	6,6
10	Sakarya	6,0	5,4	---	---	5,4	5,1
11	Doğukent	5,1	4,8	7,8	6,0	9,0	6,6
12	Sütçü İmam	7,2	6,0	8,4	7,2	4,2	3,9
13	Fevzi Paşa	7,5	6,6	8,4	7,5	6,3	5,4
14	Yörük Selim	9,6	9,5	7,8	7,2	6,3	4,8
15	Mağaralı	10,1	7,2	---	---	5,7	4,8
16	Osman Gazi	9,6	6,9	---	---	8,7	5,4
17	Mevlana	7,2	6,6	8,1	6,0	6,3	4,8
18	Barbaros	9,6	6,3	---	---	6,6	3,9
19	Karamanlı	6,9	5,1	7,2	6,0	6,3	5,4
20	Dumlupınar	11,4	7,2	---	---	8,1	3,6
21	Piri Reis	---	---	7,2	5,7	8,7	5,7
22	Abdulhamit	6,6	4,2	9,0	7,2	6,0	5,1
23	Akif İnan	4,5	2,7	10,2	7,8	6,6	5,7
24	Binevler	10,8	5,4	9,3	5,4	7,2	6,3
25	5 Nisan	6,0	4,5	6,6	6,0	7,2	5,7
26	Yunus Emre	---	---	8,7	4,8	7,5	6,3
27	Ş. Abdullah Ç.	9,3	5,4	9,3	6,6	8,7	4,5
28	Mimar Sinan	6,6	5,4	6,9	5,7	6,3	5,7
29	Hürriyet	10,5	7,2	8,4	7,2	6,6	5,7



Şekil 4.2. Kahramanmaraş il merkezi bina dışı toprak zemin gama doz hızı değerleri.



Şekil 4.3. Kahramanmaraş il merkezi bina dışı asfalt zemin gama doz hızı değerleri.

Çizelge 4.1’de Kahramanmaraş il merkezindeki evlerde ve iş yerlerinde eş zamanlı olarak yapılan bina içi ve bina dışı gama radyasyon doz hızı ölçüm sonuçları verildi. Çizelge 4.1 incelendiğinde; en düşük bina içi yerde, gama radyasyon doz hızı değeri 4,8 $\mu\text{R/h}$, en yüksek bina içi yerde, gama radyasyon doz hızı ise 11,4 $\mu\text{R/h}$ değerindedir. Bunun yanı sıra; en düşük bina içi yerden 1m yüksekte, gama radyasyon doz hızı 2,7 $\mu\text{R/h}$, en yüksek bina içi yerden 1m yüksekte gama radyasyon doz hızı ise 9,5 $\mu\text{R/h}$ değerindedir.

Çizelgede verilen bina içi yerde ve yerden 1m yüksekteki gama radyasyon doz hızı ortalama değerleri ise sırasıyla 8,02 $\mu\text{R/h}$ ve 5,77 $\mu\text{R/h}$ ’ dir. UNSCEAR (1993) tarafından belirlenen bina içi gama doz hızı değerlerinin dünya ortalaması 7,0 $\mu\text{R/h}$ ’ dir. Yer seviyesindeki ölçümler dünya ortalamasının üstünde iken, yerden 1m yükseklikte ölçülen değerler ise dünya ortalamasının altındadır.

Çizelge 4.1’e göre, en düşük bina dışı toprak zemin yerde, gama radyasyon doz hızı değeri 4,8 $\mu\text{R/h}$, en yüksek bina dışı toprak zemin yerde, gama radyasyon doz hızı ise 10,2 $\mu\text{R/h}$ değerindedir. Bunun yanı sıra; en düşük bina dışı toprak zemin yerden 1m yüksekte, gama radyasyon doz hızı 3,6 $\mu\text{R/h}$, en yüksek bina dışı toprak zemin yerden 1m yüksekte gama radyasyon doz hızı ise 7,8 $\mu\text{R/h}$ değerindedir. Çizelgede verilen bina dışı toprak zemin yerde ve yerden 1m yüksekteki gama radyasyon doz hızı ortalama değerleri ise sırasıyla 7,97 $\mu\text{R/h}$ ve 6,10 $\mu\text{R/h}$ ’ dir. UNSCEAR (1993) tarafından belirlenen bina dışı gama doz hızı değerlerinin dünya ortalaması 5,5 $\mu\text{R/h}$ ’ dir. Hem yer seviyesindeki ölçümler dünya ortalamasının üstünde hem de yerden 1m yükseklikte ölçülen değerler dünya ortalamasının üstündedir. Çizelge 4.1’de verilen bina dışı asfalt zemin ölçümleri incelendiğinde, en düşük bina dışı asfalt zemin yerde, gama radyasyon doz hızı değeri 4,2 $\mu\text{R/h}$, en yüksek bina dışı asfalt zemin yerde, gama radyasyon doz hızı ise 11,4 $\mu\text{R/h}$ değerindedir. Bunun yanı sıra; en düşük bina dışı asfalt zemin yerden 1m yüksekte, gama radyasyon doz hızı 3,6 $\mu\text{R/h}$, en yüksek bina dışı asfalt zemin yerden 1m yüksekte gama radyasyon doz hızı ise 9,9 $\mu\text{R/h}$ değerindedir. Çizelgede verilen bina dışı asfalt zemin yerde ve yerden 1m yüksekteki gama radyasyon doz hızı ortalama değerleri ise sırasıyla 7,02 $\mu\text{R/h}$ ve 5,53 $\mu\text{R/h}$ ’ dir. UNSCEAR (1993) tarafından belirlenen bina dışı gama doz hızı değerlerinin Dünya ortalaması 5,5 $\mu\text{R/h}$ ’ dir. Bina dışı asfalt zemin yer seviyesindeki ölçümler dünya ortalamasının üzerinde iken, yerden 1m yükseklikte yapılan ölçümler ise dünya ortalamasına çok yakındır. Bina dışı ölçümlerin ortalama değerlerinde,

toprak zemin ortalama değerlerinin asfalt zemin ortalama değerlerinden yüksek çıkması toprak zemin üzerine yapılan asfaltın bir zırlama yaptığını göstermektedir.

Gama doz hızı değerleri ölçüm yapılan bölgedeki, toprak içerisinde var olan radyonüklidlerin konsantrasyonlarına bağlıdır. Ölçümlerin tamamında yerde yapılan ölçümlerin ortalaması, yerden 1m yüksekte yapılan ölçümlerin ortalamasından büyük çıkması, zeminden yukarı doğru çıkıldıkça yer altından kaynaklanan gama doz hızının azaldığını gösterir. Bunun nedeni ise yerden yukarı doğru çıkıldıkça gama ışınlarının hava tarafından soğurulmasıdır. UNSCEAR (1993) tarafından belirlenen dünya ortalaması yerden 1m yükseklikte ölçülen değerdir. Çünkü insanın hayati organları, genel olarak bu seviyeden sonra başlamaktadır. Bu neden ile Kahramanmaraş için ölçülen bina içi gama radyasyon doz hızı ortalama değeri dünya ortalamasının altında, bina dışı toprak zemin ortalama değeri dünya ortalamasının üstünde ve bina dışı asfalt zemin ortalama değeri ise dünya ortalamasına çok yakındır denilebilir. Genellikle insanlar bina dışında, asfalt gibi kaplamalı alanlarda oldukları için maruz kalacakları eşdeğer doz hesaplanırken bina dışı asfalt zemin ölçümleri kullanılacaktır.

Yıllık etkin doz eşdeğeri (YEDE), insanın bir yıl süresince maruz kaldığı radyasyonlardan alacağı doz olarak tanımlanır. Eşdeğer doz birimi, rem (röntgen equivalent man) olarak adlandırılır. Eşdeğer doz birimi rem SI birimler sisteminde Sv (Sievert) adını alır. 1 Sv, 100 rem'e eşittir. Farklı ülkelerde yapılan benzer çalışmalarda etkin doz eşdeğerinin havadaki soğurulmuş doza oranı, orta enerjilere düşürülmüş çevresel gama ışınları için 0,7 Sv/Gy olarak alınır (UNSCEAR,1993; Cothorn ve Lappenbusch, 1986). Bu değer, hem bina içi hem de bina dışı çevresel gama ışınları için kullanılır. Gama ışınlarının insana verdiği yıllık etkin doz eşdeğerini hesaplarırken bilinmesi gereken diğer bir faktör de, insanların bu ışınlara ne kadar süre maruz kaldıklarıdır. Bu da meşguliyet faktörü olarak adlandırılır. Meşguliyet faktörü, insanın bir gün içerisinde zamanının ne kadarlık bir kısmını ev veya kapalı alanlarda yani bina içinde, ne kadarlık bir kısmının açık alanlarda yani bina dışında geçirmesidir. Bu çalışmada hesaplamalar, bir insanın zamanının yaklaşık % 80'ini bina içerisinde veya kapalı alanlarda, % 20'sini de bina dışı alanlarda geçireceği düşünülerek yapıldı. Bu bilgilerin ışığında, insanın bina içi ve bina dışı ışınlamalarla alacağı yıllık etkin doz eşdeğeri (YEDE) aşağıdaki formülle hesaplanır,

YEDE = Havada ölçülen ortalama soğurulmuş doz x çevresel gama radyasyonlarının havadaki soğurulmuş doza oranı x meşguliyet faktörü x zaman

Kahramanmaraş il merkezinde bina içi veya kapalı alanlar için;

$$YEDE = 50,60 \text{ (nGy/saat)} \times 0,7 \text{ (Sv/Gy)} \times 0,80 \times 8760 \text{ (saat/yıl)}$$

$$YEDE = 248223 \text{ nGy/saat} \times \text{Sv/Gy} \times \text{saat/yıl}$$

$$YEDE = 248223 \times 10^{-9} \text{ Sv/yıl}$$

$$YEDE = 248223 \times 10^{-9} \times 10^6 \mu \text{ Sv/yıl}$$

$$YEDE = 248,2 \mu \text{ Sv/yıl} \text{ olarak hesaplanır.}$$

Kahramanmaraş il merkezinde bina dışı veya açık alanlar için;

$$YEDE = 48,50 \text{ (nGy/saat)} \times 0,7 \text{ (Sv/Gy)} \times 0,20 \times 8760 \text{ (saat/yıl)}$$

$$YEDE = 59480 \text{ nGy/saat} \times \text{Sv/Gy} \times \text{saat/yıl}$$

$$YEDE = 59480 \times 10^{-9} \text{ Sv/yıl}$$

$$YEDE = 59480 \times 10^{-9} \times 10^6 \mu \text{ Sv/yıl}$$

$$YEDE = 59,5 \mu \text{ Sv/yıl}$$

olarak hesaplanır. Kahramanmaraş il merkezinde yaşayan bir insan 1 yıl içerisinde, bina içi gama ışınlarından 248,2 μSv , bina dışı gama ışınlarından ise 59,5 μSv olmak üzere toplam 307,7 μSv 'lik radyasyon dozu alır. Bu değer dünya ortalaması olan 410 μSv ile karşılaştırıldığında, Kahramanmaraş il merkezinde yaşayan insanların 1 yıl içerisinde aldığı gama radyasyon dozu dünya ortalamasının altındadır (UNSCEAR, 1988).

4.2. Kahramanmaraş İl Merkezi İçme Sularının Radyoaktivite Seviyeleri

Çalışmanın bu bölümünde, Kahramanmaraş il merkezini içme suyu olarak besleyen iki su kaynağı ile, bu su kaynaklarının beslediği su depolarındaki sulara ve bu depolar tarafından beslenen mahallelerdeki ev ve iş yerlerinden alınan su örneklerinde toplam alfa ve beta radyoaktivite seviyesi belirlendi. Su kaynaklarından biri Kahramanmaraş'ın 56 km batısında bulunan doğal su kaynağı olan Karasu, diğeri ise il merkezinde, ilin kuzey doğusunda yer alan Pınarbaşı mahallesinden çıkan doğal su kaynağıdır. Karasu kaynağından ana isale hattı ile taşınan su il merkezinde ana depolara, oradan terfi merkezleri vasıtası ile diğer su depolarına aktarılarak, Pınarbaşı kaynak suyu ise hemen yanındaki su deposundan diğer su depolarına aktarılarak halkın kullanımına sunulmaktadır.

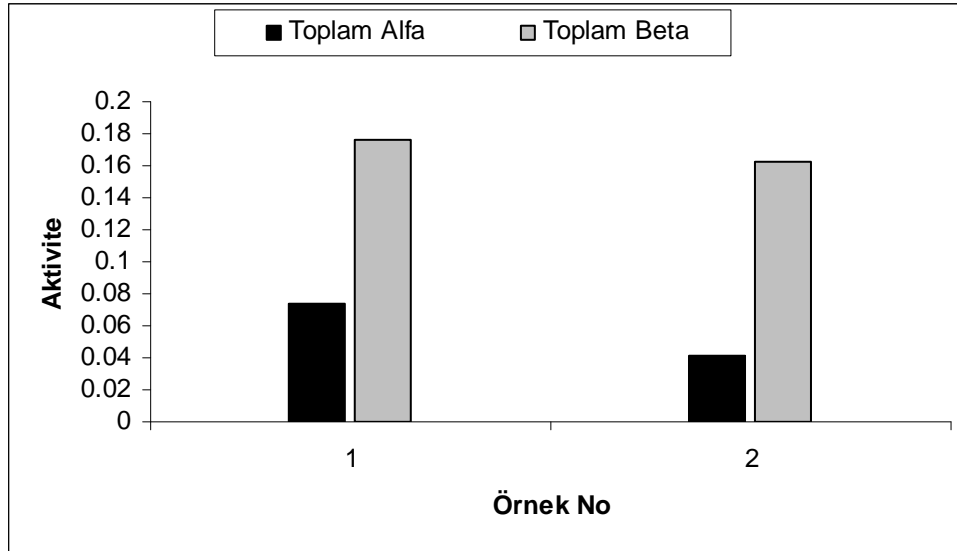
Karasu su kaynağı Kahramanmaraş il merkezinin %80 lik bir kısmı tarafından kullanılırken, Pınarbaşı su kaynağı ise il merkezinin kuzey doğusundan başlayarak, güney doğusuna kadar uzanan %20 lik bir kısmı tarafından kullanılmaktadır. Su örnekleri, Kahramanmaraş il merkezinde, su kaynaklarının kullanımını karakterize edecek şekilde toplanmıştır.

4.2.1. Kahramanmaraş İl Merkezi İçme Sularının Toplam Alfa ve Toplam Beta Radyoaktivite Seviyeleri

Kahramanmaraş il merkezinin içme suları halkın kullanım miktarı dikkate alınarak toplanan örneklerin ölçümünden elde edilen toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri, su kaynakları için Çizelge 4.2'de ve Şekil 4.4'de, su kaynaklarının beslediği depolar için Çizelge 4.3'de ve Şekil 4.5'de ve su depolarının beslediği mahalleler için Çizelge 4.4'de ve Şekil 4.6'da verildi.

Çizelge 4.2. Kahramanmaraş il merkezi içme suyu kaynaklarının toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri.

Örnek no	Örnek alınan yer	Toplam alfa radyoaktivitesi (Bq/L)	Toplam beta radyoaktivitesi (Bq/L)
1	Karasu kaynağı	0,074±0,012	0,176±0,014
2	Pınarbaşı kaynağı	0,041±0,011	0,163±0,012



Şekil 4.4. Kahramanmaraş il merkezi içme suyu kaynaklarının toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri.

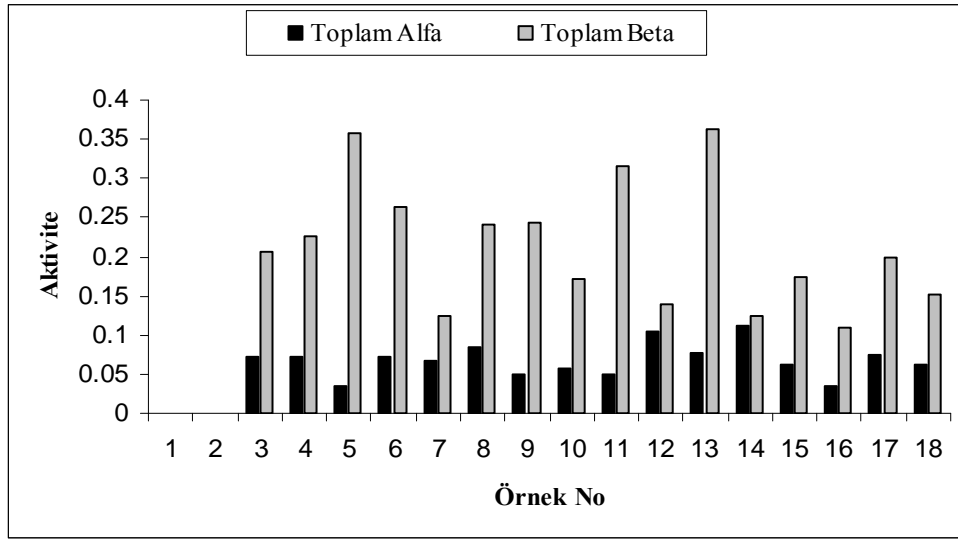
Çizelge 4.2 ve Şekil 4.4 birlikte incelendiğinde; 1 nolu örneğin toplam alfa radyoaktivite seviyesinin $0,074\pm 0,012$ Bq/L değerinde, 2 nolu örneğin toplam alfa radyoaktivite seviyesinin $0,041\pm 0,011$ Bq/L değerinde ve 1 nolu örneğin toplam beta radyoaktivite seviyesinin $0,176\pm 0,014$ Bq/L değerinde, 2 nolu örneğin toplam alfa radyoaktivite seviyesinin $0,163\pm 0,012$ Bq/L değerindedir. Bu değerlerin, içme sularında toplam alfa radyoaktivitesi için WHO (1993) tarafından tavsiye edilen ve TSE (2003) tarafından müsaade edilen toplam alfa radyoaktivitesi için üst sınır değeri $0,1$ Bq/L'den ve toplam beta radyoaktivitesinin üst sınır değeri olan 1 Bq/L'den küçük değerde oldukları görülür.

Çizelge 4.3 ve Şekil 4.5 incelendiğinde ise Kahramanmaraş il merkezinde, halkın kullanımına sunulmak üzere kaynaklardan gelen suların depolandığı ve buradan mahallelere klorlanarak gönderildiği büyük su depolarından alınan örneklerin, toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite ölçümleri görülmektedir. İki su deposu haricinde diğer su depolarından alınan örneklerde toplam alfa aktivitesi WHO tarafından tavsiye edilen ve TSE tarafından müsaade edilen toplam alfa radyoaktivitesi için üst sınır değeri olan $0,1$ Bq/L'den küçük ve bütün örneklerde beta aktivitesi WHO tarafından tavsiye edilen ve TSE tarafından müsaade edilen toplam beta radyoaktivitesi için üst sınır değeri olan 1 Bq/L'den küçük olarak tespit edildi. D-13 ve ATV 2000 su depolarında toplam alfa aktivitesi sırasıyla $0,105$ BqL⁻¹ ve $0,111$ BqL⁻¹ olarak ölçüldü.

Örneklerin %87,5'inde toplam alfa aktivitesi 0,1 Bq/L den daha az olduğu gözlenirken, örneklerin tamamında toplam beta aktivitesi 1 Bq/L den çok az olduğu gözlemlendi. Değerlerin birbirine yakın olması, içme sularının aynı jeolojik yapı içerisinde geldiğini göstermektedir. Toplam alfa aktivitesi, 0,035 Bq/L ile 0,111 Bq/L arasında, toplam beta aktivitesi ise 0,109 Bq/L ile 0,363 Bq/L arasındadır. 3, 4, 6 ve 17 nolu örneklerin alındığı depolar Karasu kaynağından gelen ana isale hattı ile beslendikleri için, bu dört örneğin hem toplam alfa hem de toplam beta radyoaktivite seviyeleri biri birilerine oldukça yakın değerlerdedir. Aynı zamanda kaynaktan alınan su örneğinin toplam alfa radyoaktivite seviyesine çok yakın değerdedirler. Bunun sebebinin örneklerin alındığı depoların aynı kaynak tarafından beslenmesi olabilir. Özellikle toplam alfa radyoaktivite seviyelerinin birbirine çok yakın değerlerde olmasının sebebi ise, ilgili jeolojik formasyonun uranyum izotoplarını biriktirme eğilimi gösteren kil ve kireçtaşı gibi yapılarca zengin olmalarından kaynaklanmaktadır (Valkovic, 2000; Rogers ve Adams, 1969; Canbazoglu ve ark., 2000). Diğer su kaynağı tarafından beslenen 10 ve 11 nolu örnekler için de aynı durum söz konusudur. Bunların dışındaki diğer su depoları, bu ana depolar tarafından beslenmektedir. Depolarındaki örnekler arasındaki farklılıkların sebebi ise, örnekler içerisindeki radyoizotopların bozunumlarının devam etmesi, 12 ve 13 nolu depoların her iki kaynaktan su alması, bu depolara su taşınması sırasında isale hattının farklı jeolojik yapı içerisinde geçmesi, depoların bulunduğu bölgedeki farklı jeolojik yapı ve depoların havalandırma farklılıklarından kaynaklanabilir. 12 ve 14 nolu örneklerin toplam alfa radyoaktivitesinin artmasının sebebi, ²²²Rn gazı ve beton depo duvarlarından gelen radyoaktif katkıdan olabilir. Depo duvarlarının betondan yapılması ve depodaki su sıcaklığının düşük olması bu katkıyı artırma yönünde etki yapmıştır (Yu ve ark., 1994; Lawrence, 1994).

Çizelge 4.3. Kahramanmaraş il merkezi içme suyu depo sularının toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri.

Örnek No	Örnek Alınan Su Deposu	Toplam Alfa Radyoaktivitesi (Bq/L)	Toplam Beta Radyoaktivitesi (Bq/L)
3	DY-10 (Akif İnan Mah.)	0,072±0,012	0,207±0,012
4	DY-10 (Klorlu)	0,073±0,011	0,227±0,011
5	Terfi 5 (5 Nisan Mah.)	0,035±0,012	0,358±0,013
6	D-23 (Cumhuriyet Mah.)	0,073±0,014	0,264±0,011
7	TM-6 (Serinkent Mah.)	0,066±0,012	0,123±0,010
8	Cancık Su Deposu	0,084±0,013	0,241±0,013
9	D-8	0,050±0,013	0,243±0,014
10	D-11 (Pınarbaşı Mah.)	0,056±0,012	0,171±0,010
11	Büyük Göz Deposu	0,050±0,011	0,315±0,013
12	D-13 (Pınarbaşı Mah.)	0,105±0,012	0,139±0,013
13	D-16 (Dulkadiroğlu Mah.)	0,078±0,012	0,363±0,015
14	ATV-2000 Su Deposu	0,111±0,012	0,125±0,012
15	DY-14	0,063±0,014	0,174±0,010
16	Terfi-2	0,036±0,013	0,109±0,010
17	Terfi-3	0,074±0,012	0,200±0,010
18	Terfi-3 (Klorlu)	0,062±0,013	0,151±0,011

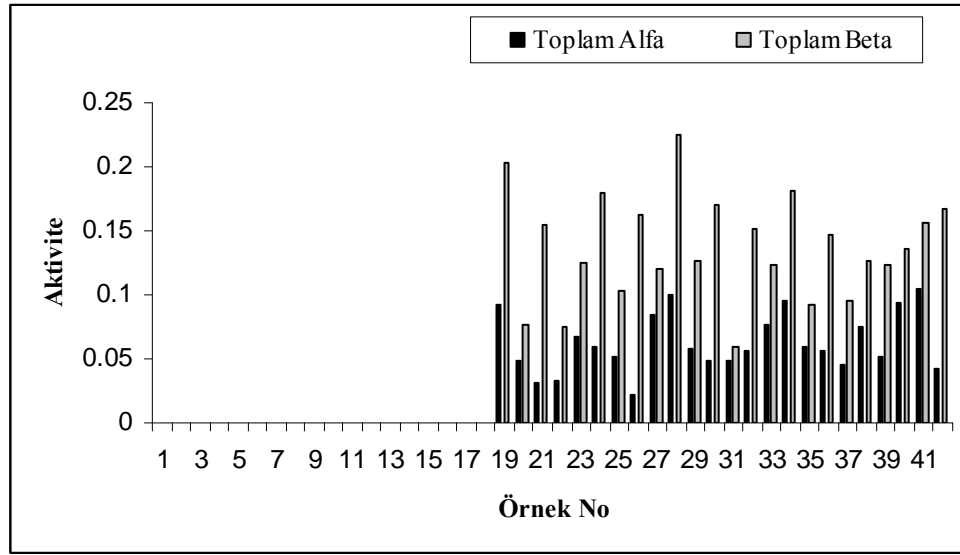


Şekil 4.5. Kahramanmaraş il merkezi içme suyu depo sularının toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri.

Çizelge 4.4 ve Şekil 4.6’da ise, Kahramanmaraş il merkezinde, su depolarından isale hatları ile halkın ev ve işyerlerine giden ve halk tarafından kullanılan suların toplam alfa ve toplam beta aktiviteleri verildi.

Çizelge 4.4. Kahramanmaraş il merkezi ev ve işyeri sularının toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri.

Örnek No	Örnek Alınan Mahalle	Toplam Alfa Radyoaktivitesi (Bq/L)	Toplam Beta Radyoaktivitesi (Bq/L)
19	Eyüp Sultan	0,092±0,013	0,203±0,009
20	Duraklı	0,049±0,012	0,077±0,012
21	Gazi Paşa	0,031±0,012	0,155±0,010
22	Abduhamithan	0,033±0,013	0,075±0,010
23	Akif İnan	0,067±0,013	0,125±0,009
24	Yunus Emre	0,059±0,013	0,179±0,011
25	Osman Gazi	0,052±0,012	0,103±0,011
26	Necip Fazıl	0,022±0,013	0,162±0,009
27	Serintepe	0,085±0,013	0,121±0,011
28	Yörük Selim	0,100±0,014	0,225±0,011
29	Fevzi Paşa	0,058±0,013	0,127±0,012
30	Kayabaşı	0,049±0,014	0,171±0,011
31	Senem Ayşe	0,049±0,014	0,059±0,010
32	Sakarya	0,057±0,014	0,151±0,011
33	Bağlarbaşı	0,077±0,015	0,123±0,010
34	Doğukent	0,095±0,012	0,182±0,013
35	Namık Kemal	0,059±0,014	0,092±0,009
36	Menderes	0,056±0,014	0,147±0,011
37	Karamanlı	0,045±0,016	0,096±0,010
38	Ertuğrul Gazi	0,075±0,015	0,127±0,011
39	Karacaoğlan	0,051±0,014	0,123±0,011
40	İsmet Paşa	0,093±0,014	0,136±0,011
41	Yenişehir	0,105±0,015	0,157±0,011
42	Binevler	0,042±0,013	0,167±0,011



Şekil 4.6. Kahramanmaraş il merkezi ev ve işyerleri sularının toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri.

Çizelge 4.4 ve Şekil 4.6 birlikte incelenirse, toplam alfa değerlerinin su kaynakları ve su depoları değerleri ile yakın olduğu, toplam beta değerlerinin ise düşme gösterdiği görülür. Bunun sebepleri ise ev ve iş yerlerinde kullanılan su depolarının temizliği, havalandırılması su depolarının yapısı ve bu depolarda suyun beklemesi ile birlikte, su içerisindeki toplam beta radyoaktivitesi kaynağı olan radyonüklidlerin, toplam alfa aktivitesi kaynağı olan radyonüklidlerden çok daha kısa ömürlü olmalarından olabilir. Ayrıca, ev ve iş yerlerinde ölçülen değerler, WHO tarafından tavsiye edilen ve TSE tarafından müsaade edilen üst sınır değerlerine toplam alfa radyoaktivitesi için 28 ve 41 nolu örneklerde çok yakın, diğer bütün değerler ise altındadır. Toplam beta aktiviteleri ise müsaade edilen sınır değerlerinin çok altındadır.

4.2.2. Kahramanmaraş İl Merkezi İçme Sularının ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K Konsantrasyonları

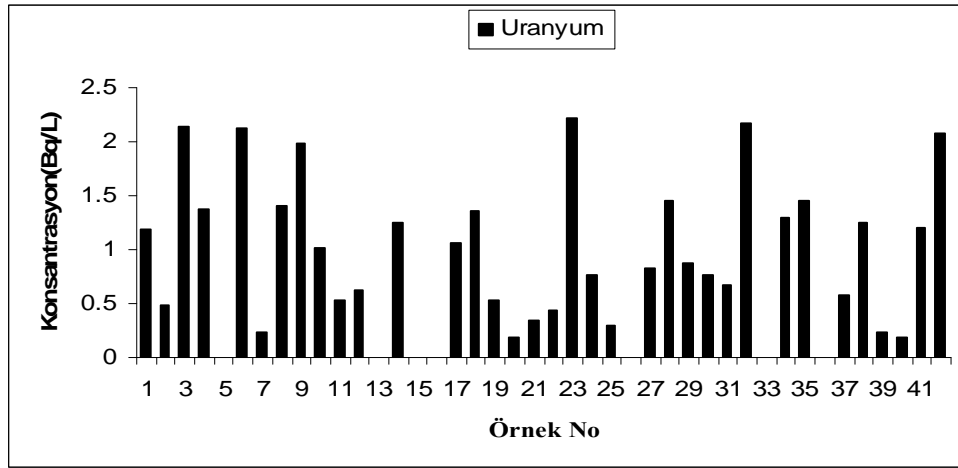
Kahramanmaraş il merkezi içme sularında ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K konsantrasyonları Çizelge 4.5’de verildiği gibidir. İçme sularında toplam alfa ve toplam beta aktiviteleri değerlerine göre içtikleri radyonüklid konsantrasyonları incelemesi yapılmaktadır. Toplam alfa ve toplam beta aktiviteleri, WHO tarafından tavsiye edilen ve TSE tarafından müsaade edilen üst sınır değerlerini aşmamış olmalarına rağmen, Kahramanmaraş il merkezi içme sularının içtikleri ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K konsantrasyonları da ölçüldü.

Toplam alfa aktiviteleri ^{238}U ve onun bozunma ürünlerinden, toplam beta aktiviteleri ise ^{232}Th ve onun bozunma ürünlerinin yanı sıra ^{40}K radyonüklidlerinden kaynaklanmaktadır. Şekil 4.7’de içme sularının içtiği ^{238}U konsantrasyonları, Şekil 4.8’de ^{232}Th konsantrasyonları ve Şekil 4.9’da ise ^{40}K konsantrasyonları verildi.

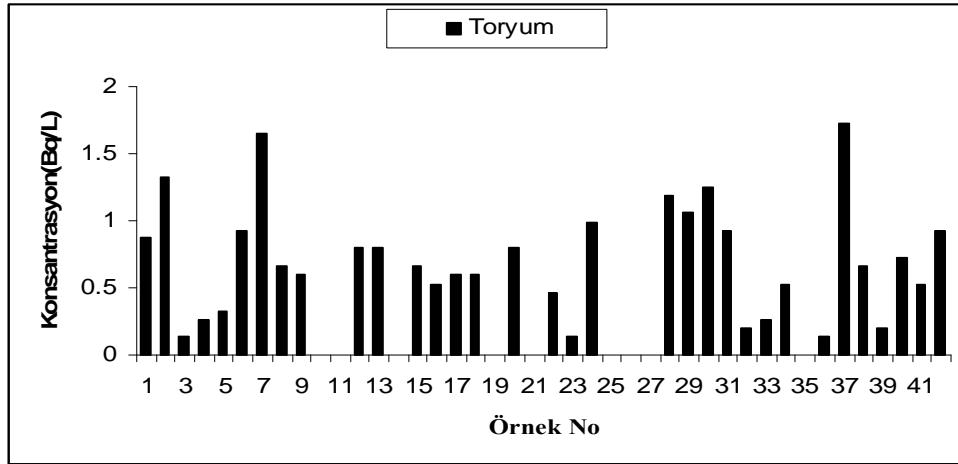
Çizelge 4.5. Kahramanmaraş il merkezinde içme sularında ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K konsantrasyonları.

Örnek No	Örnek Alınan Yer	Radyonüklid Konsantrasyonu (Bq/L)		
		^{238}U	^{232}Th	^{40}K
1	Karasu Kaynağı	1,691	0,869	12,587
2	Pınarbaşı Kaynağı	0,483	1,323	12,587
3	DY-10 (Akif İnan Mah,)	2,174	0,132	2,797
4	DY-10 (Klorlu)	1,377	0,265	5,005
5	Terfi 5 (5 Nisan Mah,)	ALA	0,331	6,294
6	D-23 (Cumhuriyet Mah,)	2,126	0,926	5,594
7	TM-6 (Serinkent Mah,)	0,242	1,653	11,189
8	Cancık Su Deposu	1,401	0,661	9,790
9	D-8	1,981	0,595	13,986
10	D-11 (Pınarbaşı Mah,)	1,014	ALA	6,993
11	Büyük Göz Deposu	0,531	ALA	12,587
12	D-13 (Pınarbaşı Mah,)	0,628	0,794	22,378
13	D-16 (Dulkadiroğlu Mah,)	ALA	0,794	11,188
14	ATV-2000 Su Deposu	1,256	ALA	16,783
15	DY-14	ALA	0,661	15,385
16	Terfi-2	ALA	0,529	16,783
17	Terfi-3	1,063	0,595	9,790
18	Terfi-3 (Klorlu)	1,352	0,595	27,972
19	Eyüp Sultan Mah,	0,531	ALA	4,196
20	Duraklı Mah,	0,193	0,794	22,378
21	Gazi Paşa Mah,	0,338	ALA	12,587
22	Abduhamithan Mah,	0,435	0,463	11,188
23	Akif İnan Mah,	2,222	0,132	11,188
24	Yunus Emre Mah,	0,773	0,992	2,797
25	Osman Gazi Mah,	0,290	ALA	1,399
26	Necip Fazıl Mah,	ALA	ALA	1,399
27	Serintepe Mah,	0,821	ALA	20,979
28	Yörük Selim Mah,	1,449	1,190	12,587
29	Fevzi Paşa Mah,	0,870	1,058	2,797
30	Kayabaşı Mah,	0,773	1,256	6,993
31	Senem Ayşe Mah,	0,676	0,926	8,892
32	Sakarya Mah,	2,174	0,198	2,797
33	Bağlarbaşı Mah,	ALA	0,265	6,993
34	Doğukent Mah,	1,304	0,529	8,892
35	Namık Kemal Mah,	1,449	ALA	6,993
36	Menderes Mah,	ALA	0,132	1,398
37	Karamanlı Mah,	0,580	1,720	8,892
38	Ertuğrul Gazi Mah,	1,256	0,661	18,182
39	Karacaoğlan Mah,	0,242	0,198	1,398
40	İsmet Paşa Mah,	0,193	0,728	19,580
41	Yenişehir Mah,	1,208	0,529	2,797
42	Binevler Mah,	2,077	0,926	5,594

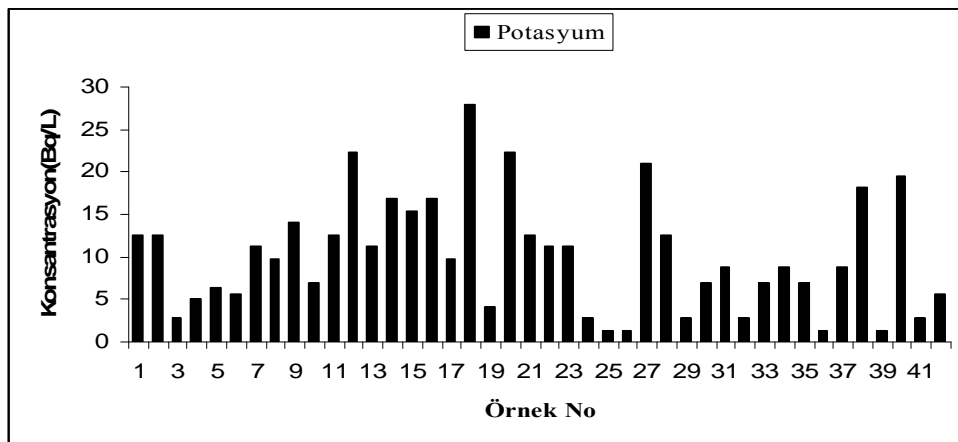
ALA: Algılama Limiti Altında



Şekil 4.7. Kahramanmaraş il merkezinde içme sularında ^{238}U konsantrasyonu.



Şekil 4.8. Kahramanmaraş il merkezinde içme sularında ^{232}Th konsantrasyonu.



Şekil 4.9. Kahramanmaraş il merkezinde içme sularında ^{40}K konsantrasyonu.

4.3. Kahramanmaraş İl Merkezi Toprak Örneklerinin Radyoaktivite Seviyeleri

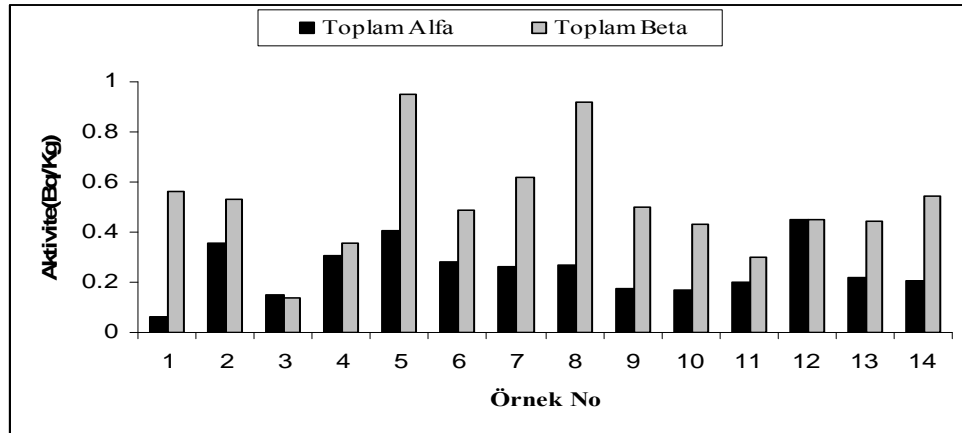
Bu bölümde, Kahramanmaraş il merkezinden toplanan 14 toprak örneklerinin, toplam alfa ve toplam beta aktiviteleri ile birlikte, içerdikleri doğal radyoaktif çekirdek konsantrasyonlarının belirlenmesi yapıldı. Bu ölçümlerde ^{238}U ve ^{232}Th doğal radyoaktif serilerinin doğada en çok bulunan elemanlarının ve ^{40}K radyoizotopunun aktivite konsantrasyonları belirlendi.

4.3.1. Kahramanmaraş İl Merkezi Toprak Örneklerinin Toplam Alfa ve Toplam Beta Radyoaktivite Seviyeleri

Kahramanmaraş il merkezini karakterize edecek şekilde farklı bölgelerinden toplanan toprak örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri sırası ile Çizelge 4.6 ve Şekil 4.10'da karşılaştırmalı olarak verildi.

Çizelge 4.6. Kahramanmaraş il merkezi toprak örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri.

Örnek No	Örnek Alınan Yer	Toplam Alfa Radyoaktivitesi (Bq/kg)	Toplam Beta Radyoaktivitesi (Bq/kg)
1	Kazma Bağları	0,063±0,059	0,561±0,041
2	Bahçelievler Mah,	0,359±0,060	0,532±0,039
3	Karamanlı Mah,	0,153±0,060	0,136±0,035
4	Barbaros Mah,	0,305±0,059	0,356±0,034
5	Gaffarlı Köyü	0,405±0,084	0,950±0,072
6	Yassıpınar	0,283±0,056	0,487±0,028
7	Göllü Köyü	0,261±0,065	0,616±0,037
8	Eyüp Sultan Mah,	0,269±0,081	0,921±0,067
9	Gayberli Mah,	0,174±0,059	0,499±0,031
10	Oruç Reis Mah,	0,166±0,055	0,434±0,033
11	Pınarbaşı Köyü	0,198±0,051	0,303±0,028
12	Hürriyet Mah,	0,453±0,061	0,450±0,035
13	Akif İnan Mah,	0,221±0,061	0,442±0,034
14	Yenişehir Mah,	0,209±0,057	0,544±0,038



Şekil 4.10. Kahramanmaraş il merkezi toprak örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri.

Kahramanmaraş il merkezi toprak örneklerinin, toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri incelendiğinde, örneklerin toplam alfa radyoaktivite seviyeleri $0,063\pm 0,059$ Bq/kg ile $0,453\pm 0,061$ Bq/kg değerleri arasında, toplam beta radyoaktivite seviyeleri ise $0,136\pm 0,035$ Bq/kg ile $0,950\pm 0,072$ Bq/kg değerleri arasında değişmektedir. En yüksek toplam alfa radyoaktivite seviyesinin $0,453\pm 0,061$ Bq/kg değeri ile Hürriyet Mahallesi örneğinde, en düşük toplam alfa radyoaktivite seviyesinin ise $0,063\pm 0,059$ Bq/kg değeri ile Kazma Bağları örneğinde olduğu görülmektedir. Bunların yanı sıra; en yüksek toplam beta radyoaktivite seviyesi $0,950\pm 0,072$ Bq/kg değeri ile Gaffarlı köyü örneğinde, en düşük toplam beta radyoaktivite seviyesi ise $0,136\pm 0,035$ Bq/kg değeri ile Karmanlı mahallesi örneğinde olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.6'dan ve Şekil 4.10'dan görüldüğü gibi; Örneklerin tamamı birbirleri ile karşılaştırıldığında, 1 numaralı örnek Kazma Bağları ile 14 numaralı örnek Yenişehir Mahallesi, 5 numaralı örnek Gaffarlı Köyü ile 8 numaralı örnek Eyüp Sultan Mahallesi ve 10 numaralı örnek Oruç Reis Mahallesi ile 12 numaralı örnek Hürriyet Mahallesi ile 13 numaralı örnek Akif İnan Mahallesi toprak örneklerinin radyoaktivite seviyeleri dikkat çeker. Bu örneklerden 1 ile 14 numaralı örneklerinin toplam beta radyoaktivite seviyeleri sırası ile $0,561\pm 0,041$ Bq/kg ve $0,544\pm 0,038$ Bq/kg değerleriyle biri birilerine çok yakın iken, toplam alfa radyoaktivite seviyeleri ise sırası ile $0,063\pm 0,059$ Bq/kg ve $0,209\pm 0,057$ Bq/kg değerlerinde, 5 ile 8 numaralı örneklerinin toplam beta radyoaktivite seviyeleri sırası ile $0,950\pm 0,072$ Bq/kg ve $0,921\pm 0,067$ Bq/kg değerleriyle biri birilerine çok yakın iken, toplam alfa radyoaktivite seviyeleri ise sırası ile $0,405\pm 0,084$ Bq/kg ve $0,269\pm 0,081$ Bq/kg değerlerinde, 10, 12 ile 13 numaralı örneklerinin toplam beta radyoaktivite seviyeleri sırası ile $0,434\pm 0,033$ Bq/kg, $0,450\pm 0,035$ Bq/Kg ve $0,442\pm 0,034$ Bq/kg değerleriyle birbirilerine çok yakın iken, toplam alfa radyoaktivite seviyeleri ise sırası ile $0,166\pm 0,055$ Bq/kg, $0,453\pm 0,061$ Bq/Kg ve $0,221\pm 0,061$ Bq/kg değerlerinde olup, büyük farklılık gösterir. Toprakların içermiş olduğu radyoaktivite konsantrasyonu; hava koşulları, sedimentasyon, filtreleme, emilme, yer altı sularının hareketi sonucu meydana gelen çökelmeler, yüksek derecede porozite vb pek çok etkiye bağlı olarak değişim göstermekle birlikte, toprak yapılarının ve toprağı oluşturan kayaç yapılarının farklı olmasındandır. Çizelge 4.7'de toprak örneklerinin alındığı bölgelerin toprak yapısı hakkında bilgi verilmiştir.

Çizelge 4.7. Kahramanmaraş il merkezi toprak örneklerinin yapısı.

Örnek No	Örnek Alınan Yer	Toprak yapısı
1	Kazma Bağları	M
2	Bahçelievler Mah.	A
3	Karamanlı Mah.	E
4	Barbaros Mah.	M
5	Gaffarlı Köyü	M
6	Yassıpınar	M
7	Göllü Köyü	E
8	Eyüp Sultan Mah.	A
9	Gayberli Mah.	A
10	Oruç Reis Mah.	A
11	Pınarbaşı Köyü	M
12	Hürriyet Mah.	K
13	Akif İnan Mah.	E
14	Yenişehir Mah.	K

M; Kahverengi orman toprakları olup, içeriği kireçce zengin kil taşları, mikaşistler ve gnaystan oluşur, potasyumca zengindir.

A; Aluviyal topraklar olup, kil içerikli ve taşındığı format içeriklidir. Fosfor ve potasyumca zengindir.

E; Kırmızı kahverengi Akdeniz toprakları olup, içeriği granit, muhtelif metamorfikler, kil taşı, kum taşı, kireç taşı ve konglomeradan oluşmaktadır.

K; Koluvyal topraklar olup, kireç taşı alanından yıkanmış kil içerikli bir topraktır ve potasyumca zengindir.

Çizelge 4.8'de ise örnek alınan toprakların altında bulunan kayaç yapısı hakkında bilgi verilmiştir.

Çizelge 4.8. Kahramanmaraş il merkezi toprak örneklerinin alındığı bölgelerdeki kayaç yapısı.

Örnek No	Örnek Alınan Yer	Kayaç Yapısı
1	Kazma Bağları	mo
2	Bahçelievler Mah.	Qal2
3	Karamanlı Mah.	Qym
4	Barbaros Mah.	mo
5	Gaffarlı Köyü	eo
6	Yassıpınar	eo
7	Göllü Köyü	Qym
8	Eyüp Sultan Mah.	Qal2
9	Gayberli Mah.	Qal2
10	Oruç Reis Mah.	Qal2
11	Pınarbaşı Köyü	mo
12	Hürriyet Mah.	Qym
13	Akif İnan Mah.	Qym
14	Yenişehir Mah.	Qym

mo; orta miosen olarak adlandırılır. 7-26 milyon yılda oluşmuştur. İçerik olarak, kireç taşı, marn, kil taşı, killi kireç taşı, kum taşı, çamur taşı, konglomera, anglomera, andezit ve tüfden oluşmuştur.

Qal2; yeni aluviyal.

Qym; Yamaç molozları.

eo; orta eosen olarak adlandırılır. 38-54 milyon yılda oluşmaktadır. Kum taşı, çamur taşı, çakıl taşı, spilit, serpantin, kireç taşı ve konglomera içermektedir.

1, 4, 5, 6 ve 11 numaralı örnekler aynı toprak yapısında olmalarına rağmen, toplam alfa ve toplam beta aktiviteleri farklılık gösterir. Bunun sebepleri, hem altlarındaki kaya yapısından hem de toprakların profil farklılıklarından kaynaklanmaktadır. 1, 6 ve 11 numaralı örnekler aynı toprak yapılarına sahip olmalarına rağmen, 11 numaralı örneğin profil yapısı gereği daha ağır ve kireçli olması bu farklılığı getirirken, 6 numaralı örnek daha eski bir kaya yapısına sahip olması ve 11 numaralı örneğin profil yapısına benzemesinden dolayı 1 numaralı örneğin toplam alfa aktivitesi diğerlerine göre düşük iken toplam beta aktivitesi birbirine yakındır. 4 ve 5 numaralı örnekler incelendiğinde ise, 1, 6 ve 11 numaralı örnekler ile aynı toprak yapısına sahip olmalarına rağmen, bu örneklerin alındığı toprak kireçtaşı üzerinde olmaları nedeniyle toplam alfa aktiviteleri yüksektir. Ayrıca 4 ve 5 numaralı örneklerin toplam beta aktivitelerinin farklı olması yine farklı profilde olmasından kaynaklanabilir.

2, 8, 9 ve 10 numaralı örnekler incelenirse, toprak yapıları aynıdır. Alivuyal topraklar, uranyumca zengin olan kireçtaşı ve konglomera toprak örneğinin toplam alfa radyoaktivitesinin yüksek olmasına, toprağın alüvyonlu olması ise en yüksek toplam beta radyoaktivitesinin ölçülmesine sebep olmuştur (Liden ve Holm, 1985; Hansen ve Stout, 1968; Robertson, 1974).

3, 7 ve 13 numaralı örnekler aynı toprak yapısına sahiptirler. Diğer toprak örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktiviteleri ile karşılaştırıldığında, düşük değerlerde olduğu görülür. 3, 7 ve 13 numaralı örneklerin alındığı bölgelerin sırası ile eski birimler olan metamorfik mermerler ve kumlu kalkerce yoğun olması, bu üç örneğin radyoaktivite seviyelerinin diğer toprak örneklerine nazaran daha düşük değerlerde olmasına sebebiyet vermiş olabilir (Valkovic, 2000).

12 ve 14 numaralı örnekler koluvyal topraklardır. Arazinin meyil farkında dolayı 12 numaralı örnek 14 numaralı örneğe göre daha büyük parçalıdır. Çünkü 14 numaralı örnek arazi meyilinin azaldığı yerdedir ve yüzey akışının kısa mesafe taşıyarak depo ettiği daha genç bir topraktır. Toplam beta aktiviteleri birbirine yakın olmakla birlikte, toplam alfa aktivitelerinin farklılık göstermesi toprak yapısının serbest kireç oranının değişiklik göstermesinden olabilir.

4.3.2. Kahramanmaraş İl Merkezi Toprak Örneklerinin ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K Konsantrasyonları

Örnekler içerisindeki ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklid konsantrasyonu ölçülürken uranyum ve toryum serileri içerisinde doğada en çok hangisi veya hangileri var ise onun enerjisinde ölçüm yapılır. Uranyum ve toryum serisinin doğada en çok bulunan radyoizotopları şu şekildedir.

^{226}Ra , ^{238}U 'in bir bozunma ürünüdür. 186 keV'de %36 bollukta bir piki vardır meltem (2007) bildirdiğine göre (L'annunziata,1998). Bu pik ^{235}U 'in 185,7 keV'deki piki ile iç içe girdiği için spektrumda gözükmemektedir. Ancak hesapla bulmak mümkündür. Bu radyonüklit aktivite ölçümlerinde ^{238}U 'den ayrı olarak değerlendirilir (Karahana,1997).

^{214}Pb , ^{238}U 'in bozunma ürünü olup, %36 bollukta 351 keV enerji pikinde tespit edilmektedir meltem (2007) bildirdiğine göre (L'annunziata,1998).

^{214}Bi , ^{238}U serisinin bir bozunma ürünü olup %45 bollukta 609 keV'de görülmektedir.

^{228}Ac , ^{232}Th serisinin bir bozunma ürünü olup örneğin 338 keV'de %12, 911 keV'de ve %28, 964 keV de %5 bolluğa sahip farklı enerjilerde birçok piki vardır meltem (2007) bildirdiğine göre (L'annunziata,1998).

^{208}Tl , ^{232}Th serisinin bir bozunma ürünüdür ve farklı enerjilerde birçok piki olmasına rağmen %30,7 ile en yüksek bolluğa sahip 583 keV'de .

^{40}K doğada tek başına bulunur. Herhangi bir bozunum serisi yoktur. Toprakta bol miktarda bulunduğu için doğal gama radyasyon dozuna en fazla katkıda bulunan doğal radyoaktif elementtir. 1460 keV enerji pikinde % 11 bollukta bulunmaktadır.

Bu bilgilerin ışığı doğrultusunda bu doğal radyoçekirdeklerin belirlenmesinde ^{238}U için, ^{238}U 'n bir bozunma ürünü olan ve doğada %45 bollukta bulunan ^{214}Bi 609 keV enerjisi, ^{232}Th için ise ^{232}Th serisinin bir bozunma ürünü olan ve doğada %30,7 ile en yüksek bolluğa sahip ^{208}Tl ' in 583 keV enerjisi ve ^{40}K için ise kendisinin 1460 keV enerjili gama ışınları kullanıldı.

Kahramanmaraş il merkezinden alınan 14 adet toprak örneğinin ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K konsantrasyonları Çizelge 4.9'da verildiği gibidir. Şekil 4.11'de toprak örneklerinin içerdiği ^{238}U konsantrasyonları, Şekil 4.12'de ^{232}Th konsantrasyonları ve Şekil 4.13'de ise ^{40}K konsantrasyonları verildi.

Çizelge 4.9. Kahramanmaraş il merkezinde toprak örneklerinde ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K konsantrasyonları.

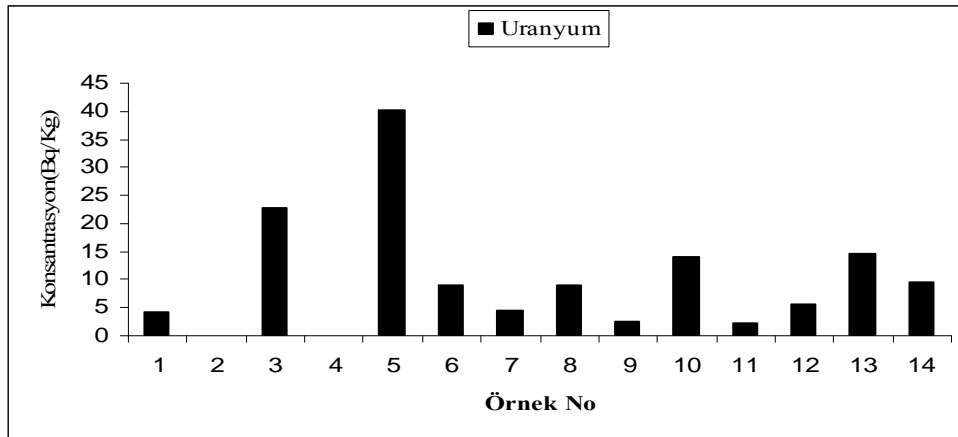
Örnek No	Örnek Alınan Yer	Radyonüklid Konsantrasyonu (Bq/kg)		
		^{238}U	^{232}Th	^{40}K
1	Kazma Bağları	4,106	1,984	48,951
2	Bahçelievler Mah,	ALA	1,323	19,580
3	Karamanlı Mah,	22,774	6,141	ALA
4	Barbaros Mah,	ALA	1,837	77,700
5	Gaffarlı Köyü	40,096	1,984	153,846
6	Yassıpınar	9,058	6,614	69,930
7	Göllü Köyü	4,428	10,471	34,965
8	Eyüp Sultan Mah,	9,058	0,763	69,930
9	Gayberli Mah,	2,415	2,646	27,972
10	Oruç Reis Mah,	14,090	4,409	11,655
11	Pınarbaşı Köyü	2,320	7,275	160,839
12	Hürriyet Mah,	5,709	0,601	12,715
13	Akif İnan Mah,	14,493	3,674	85,470
14	Yenişehir Mah,	9,662	5,342	34,965

ALA: Algılama Limiti Altında

Çizelge 4.9. incelendiğinde; en düşük ^{238}U konsantrasyonunun 2,320 Bq/kg değeri ile Pınarbaşı Köyü örneğinde, en yüksek ^{238}U konsantrasyonunun ise 40,096 Bq/kg değeri ile Gaffarlı Köyü örneğinde olduğu görülmektedir. Bunun yanı sıra; en düşük ^{232}Th konsantrasyonu 0,601 Bq/kg ile Hürriyet Mahallesi örneğinde, en yüksek ^{232}Th

konsantrasyonu ise 10,471 Bq/kg ile Göllü Köyü örneğindedir. Bunlara ek olarak; 11,655 Bq/kg değeri ile Oruç Reis Mahallesi örneği en düşük ^{40}K konsantrasyonuna, 160,839 Bq/kg değeri ile Pınarbaşı Köyü örneği ise en yüksek ^{40}K konsantrasyonuna sahiptir. Literatürde; topraktaki ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K 'ın aktivite konsantrasyonlarının dünya ortalaması sırası ile 25 Bq/kg, 25 Bq/kg ve 370 Bq/kg olarak verilmektedir (Liden ve Holm, 1985). Kahramanmaraş il merkezinde toprak örneklerinde ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları bu değerler ile karşılaştırıldığında; 5 numaralı örneğin ^{238}U konsantrasyonu dışında, diğer örneklerin bu değerleri aşmadığı görülmektedir. 5 numaralı örnek incelendiğinde, ^{40}K aktivite konsantrasyonunun da diğer örneklerden yüksek olduğu görülür. Bunun sebebi, 5 numaralı örneğin, toplam alfa ve toplam beta aktivite seviyesinin de diğer örneklere göre yüksek olması yani bu örneğin toprak yapısı (M; kireççe zengin kil taşları, potayumca zengin) ve üzerinde bulunduğu kaya yapısından(eo; orta eosen olarak adlandırılır, 38-54 milyon yılda oluşmaktadır, kum taşı, çamur taşı, çakıl taşı, spilit, serpantin, kireç taşı ve konglomera) kaynaklanmaktadır.

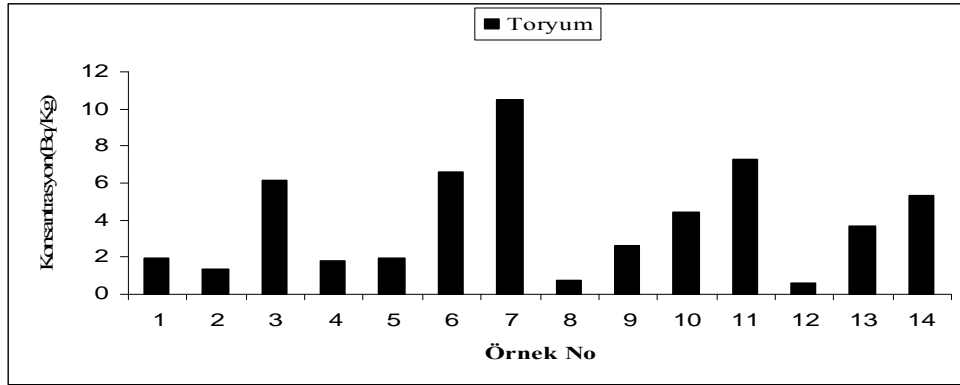
Toprak örneklerinin ^{232}Th konsantrasyonuna nazaran daha yüksek değerde ^{238}U konsantrasyonuna sahip olmasının temel sebebi örneklerin 0-5 cm derinlikten alınmasındandır. Yapılan bilimsel çalışmalarda toprağın üst kısmının toryumdan ziyade daha fazla uranyum konsantrasyonuna sahip olduğu rapor edilmiştir (Hansen ve Stout, 1968). Toprak örneklerinin ^{238}U ve ^{232}Th konsantrasyonlarının ters orantılı değişim gösterme eğiliminin sebebi ise genellikle toprağın üst kısmının organik madde içeriği bakımından zengin olmasına bağlanabilir. Çünkü organik madde içeriği yüksek olan topraklarda toryumun hareket kabiliyeti fazla, bunun yanı sıra uranyumun hareket kabiliyeti ise daha zayıftır (Hansen ve Huntington, 1969; Schulz, 1965).



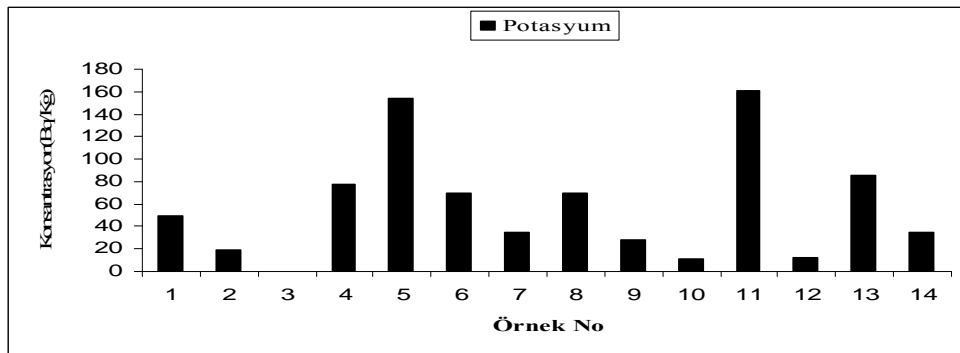
Şekil 4.11. Kahramanmaraş il merkezinde toprak örneklerinde ^{238}U konsantrasyonu.

4.4. Kahramanmaraş İl Merkezi Gıda Örneklerinin Radyoaktivite Seviyeleri

Bu çalışmanın diğer bir amacı da gıdalarda bulunan doğal radyoaktivitenin belirlenmesidir. Araştırmanın bu kısmında, insanların gıdalar vasıtasıyla vücutlarına aldıkları doğal radyasyon dozlarının ölçümü verilecektir. Toprak içinde farklı konsantrasyonlarda bulunan radyonüklidler, bitki metabolizmasına bağlı olarak kökler vasıtasıyla bitki tarafından topraktan alınırlar. Bu radyonüklidler sindirim yoluyla insan vücuduna girerler.



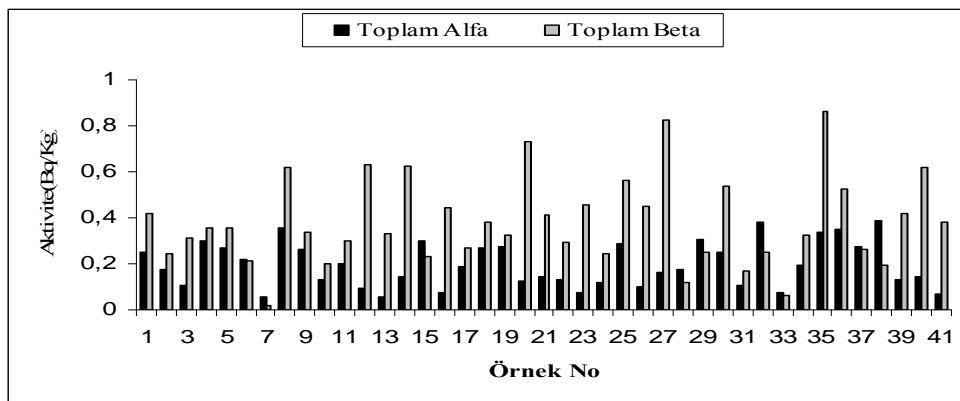
Şekil 4.12. Kahramanmaraş il merkezinde toprak örneklerinde ^{232}Th konsantrasyonu.



Şekil 4.13. Kahramanmaraş il merkezinde toprak örneklerinde ^{40}K konsantrasyonu.

4.4.1. Kahramanmaraş il merkezi Gıda Örneklerinin Toplam Alfa ve Toplam Beta Radyoaktiviteleri

Kahramanmaraş il merkezinde toprak örneklerinin alındığı yerlerde yetişen meyve ve sebze gıda örneklerinde ölçülen, toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri Şekil 4.14 ve Çizelge 4.10'da karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 4.14. Kahramanmaraş il merkezi gıda örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri.

Çizelge 4.10. Kahramanmaraş il merkezi gıda örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri.

Örnek No	Örnek Adı	Toplam Alfa Radyoaktivitesi (Bq/Kg)	Toplam Beta Radyoaktivitesi (Bq/Kg)
1	Erik	0,250±0,060	0,420±0,041
2	Erik Yaprağı	0,178±0,054	0,243±0,036
3	Kiraz	0,108±0,050	0,313±0,028
4	Kiraz Sapı	0,302±0,055	0,354±0,028
5	Kiraz Yaprağı	0,267±0,051	0,357±0,031
6	Şeftali	0,217±0,051	0,210±0,027
7	Şeftali Yaprağı	0,055±0,041	0,016±0,002
8	Kiraz	0,357±0,055	0,621±0,035
9	Kiraz Sapı	0,261±0,050	0,340±0,028
10	Kiraz Yaprağı	0,131±0,059	0,202±0,038
11	Armut	0,198±0,054	0,298±0,028
12	Armut Yaprağı	0,093±0,056	0,630±0,034
13	Elma	0,054±0,053	0,329±0,028
14	Elma Yaprağı	0,144±0,062	0,626±0,035
15	Kayısı	0,299±0,053	0,234±0,031
16	Kayısı Yaprağı	0,076±0,058	0,446±0,034
17	Kayısı	0,190±0,053	0,267±0,032
18	Kayısı Yaprağı	0,271±0,060	0,384±0,035
19	Şeftali	0,275±0,054	0,328±0,030
20	Şeftali Yaprağı	0,124±0,065	0,734±0,043
21	Kiraz	0,142±0,058	0,410±0,027
22	Kiraz Sapı	0,129±0,054	0,292±0,029
23	Kiraz Yaprağı	0,073±0,053	0,456±0,028
24	Sarı Kiraz	0,119±0,057	0,243±0,035
25	Sarı Kiraz Sapı	0,287±0,062	0,565±0,040
26	Sarı Kiraz Yaprağı	0,103±0,050	0,452±0,028
27	Şeftali	0,161±0,062	0,827±0,040
28	Kayısı	0,178±0,056	0,120±0,031
29	Kayısı	0,306±0,054	0,252±0,025
30	Kayısı Yaprağı	0,249±0,064	0,540±0,041
31	Vişne	0,105±0,057	0,168±0,040
32	Vişne Sapı	0,380±0,050	0,251±0,030
33	Vişne Yaprağı	0,078±0,054	0,063±0,037
34	Malta Eriği	0,194±0,053	0,325±0,029
35	Malta Eriği Yaprağı	0,340±0,062	0,861±0,039
36	Maydanoz	0,348±0,054	0,525±0,30
37	Salatalık	0,273±0,057	0,262±0,035
38	Domates	0,387±0,050	0,196±0,026
39	Domates Yaprağı	0,132±0,051	0,419±0,027
40	Biber	0,146±0,051	0,617±0,030
41	Biber Yaprağı	0,071±0,050	0,381±0,029

Çizelge 4.10 ve Şekil 4.14 incelendiğinde; Gıda örneklerinin toplam alfa radyoaktivite seviyelerinin 0,054±0,053 Bq/kg ile 0,387±0,050 Bq/kg değerleri arasında, toplam beta radyoaktivite seviyelerinin ise 0,016±0,002 Bq/kg ile 0,861±0,039 Bq/kg değerleri arasında dağılım gösterdiği görülür. En düşük toplam alfa radyoaktivite seviyesinin ise 0,054±0,053 Bq/kg ile 13 numaralı elma örneğinde, en yüksek toplam alfa radyoaktivite seviyesinin 0,387±0,050 Bq/kg değeri ile 38 numaralı domates örneğinde olduğu görülür. En düşük toplam beta radyoaktivite seviyesinin ise 0,016±0,002 Bq/kg ile

7 numaralı şeftali yaprağı örneğinde, en yüksek toplam beta radyoaktivite seviyesinin $0,861\pm 0,039$ Bq/kg değeri ile 35 numaralı malta eriği yaprağı örneğinde olduğu görülür.

Bunlara ek olarak, sapı olan örneklerin saplarındaki aktiviteler, meyve aktivitelerine göre genel olarak daha fazla çıkmıştır. Bunun sebebi meyveye gövdeden gelen radyonüklidlerin önce bu saptan geçmesi olabilir. Yapraklar incelendiğinde ise toplam alfa aktivitelerinin meyveden daha küçük olduğu gözlenirken, toplam beta aktivitelerinin ya yakın değer de ya da daha yüksek olduğu gözlenmektedir. Yapraklardaki toplam beta aktivitelerinin yüksek olması yaprakların solunum yapması ve toprak yüzeyinden toryum ve serisinin daha çok dağılım göstermesi sonucu yaprak solunumunda bu radyonüklidleri soluması olabilir.

Gıda örneklerinden, aynı gıdalardaki farklılıklar ise örneklerin alındığı toprakların farklılıklarından ve yerel sulama sularının farklılıklarından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Gıda örnekleri, 1-5 numaralı örnekler 1 numaralı toprak örneğinin alındığı yerden, 6-14 numaralı örnekler 2 numaralı toprak örneğinin alındığı yerden, 15 ve 16 numaralı örnekler 3 numaralı toprak örneğinin alındığı yerden, 17 ve 18 numaralı örnekler 4 numaralı toprak örneğinin alındığı yerden, 19-23 numaralı örnekler 5 numaralı toprak örneğinin alındığı yerden, 24-28 numaralı örnekler 6 numaralı toprak örneğinin alındığı yerden, 29-33 numaralı örnekler 7 numaralı toprak örneğinin alındığı yerden, 34 ve 35 numaralı örnekler 8 numaralı toprak örneğinin alındığı yerden, 36 numaralı örnek 9 numaralı toprak örneğinin alındığı yerden, 37 numaralı örnek 10 numaralı toprak örneğinin alındığı yerden ve 38-41 numaralı örnekler ise 11 numaralı toprak örneğinin alındığı yerden alınmıştır.

Kayısı örneklerinde 15 ve 29 nolu örnekler farklı yerlerden ama aynı tür topraktan alındığı için toplam alfa ve toplam beta aktiviteleri birbirine yakın iken, farklı bir tür topraktan alınan 28 numaralı kayısı örneğinin toplam alfa ve toplam beta aktiviteleri diğer iki kayısı örneğinden daha küçük ölçülmüştür.

Kiraz örneklerini inceleyecek olursak; 3, 21 ve 24 numaralı kiraz örnekleri aynı toprak yapısı (M) üzerinden alındıkları için toplam alfa radyoaktiviteleri sırasıyla, $0,108\pm 0,050$ Bq/kg, $0,142\pm 0,058$ Bq/kg ve $0,119\pm 0,057$ Bq/kg olup birbirlerine oldukça yakın değerdedirler. Buna karşılık 8 numaralı kiraz örneği farklı toprak yapısı (A) üzerinden alınmış olup toplam alfa aktivitesi $0,357\pm 0,055$ Bq/kg değerinde olup, 3, 21, ve 24 numaralı kiraz örneklerinin toplam alfa aktivitelerinden çok fazladır. Bunun sebebi, A toprak yapısının, M toprak yapısına göre uranyumca daha zengin olan kireç taşı ve konglomera içermesi olabilir.

Şeftali örneklerini incelediğimizde ise, 6, 19 ve 27 numaralı şeftali örneklerin toplam alfa değerleri sırasıyla, $0,217\pm 0,051$ Bq/kg, $0,275\pm 0,054$ Bq/kg ve $0,161\pm 0,062$ Bq/kg değerindedir. 19 ve 27 numaralı şeftali örnekleri aynı toprak yapısı (M) üzerinden alınmış olmalarına rağmen toplam alfa radyoaktivite değerleri farklılık göstermektedir. 19 numaralı şeftali örneğinin toplam alfa radyoaktivitesi 27 numaralı şeftali örneğinin toplam alfa aktivitesinden daha fazladır. Bunun sebebi ise, 19 numaralı örneğin alındığı toprağın, altındaki kaya yapısının kireç taşı olması, kireç taşının da uranyumca zengin olmasından olabilir. 6 numaralı şeftali örneğinin, toplam alfa radyoaktivitesinin yüksek olması alındığı toprak yapısının (A) uranyumca zengin yapıda olmasıdır.

4.4.2. Kahramanmaraş İl Merkezi Gıda Örneklerinin ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K Konsantrasyonları

Kahramanmaraş il merkezinden alınan 41 tane gıda örneğinin ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklid konsantrasyonları Çizelge 4.11’de verilmiştir. Çizelge 4.11’i incelediğimizde, en düşük ^{238}U konsantrasyonunun 0,483 Bq/kg değeri ile 36 numaralı maydanoz örneğinde, en yüksek ^{238}U konsantrasyonunun ise 15,298 Bq/kg değeri ile 28 numaralı kayısı örneğinde olduğu görülür. 3 numaralı kiraz örneğinde ^{238}U konsantrasyonu ise algılama limiti altındadır.

Toryum konsantrasyonu incelendiğinde ise, en düşük ^{232}Th konsantrasyonunun 0,300 Bq/kg değeri ile 11 numaralı armut örneğinde, en yüksek ^{232}Th konsantrasyonunun ise 13,228 Bq/kg değeri ile 1 numaralı erik örneğinde olduğu görülür. 7 ve 20 numaralı gıda örneklerinin ^{232}Th konsantrasyonları ise algılama limiti altındadır.

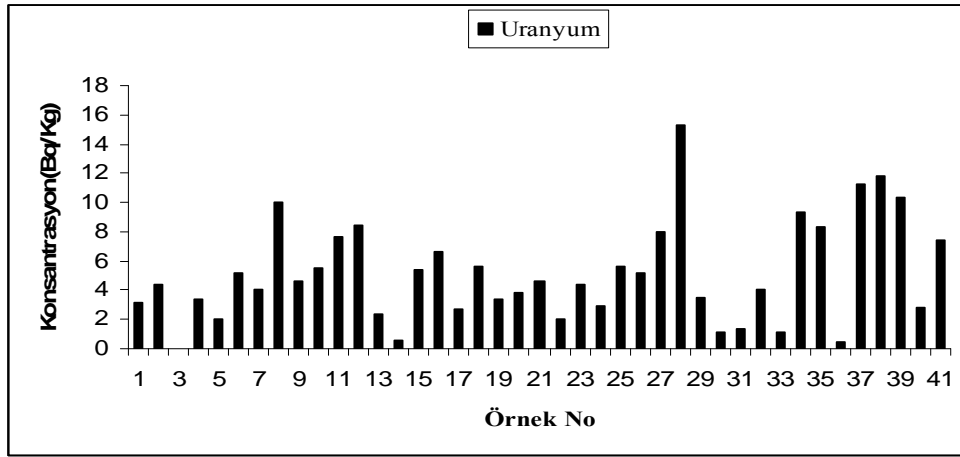
Potasyum konsantrasyonu incelendiğinde ise, en düşük ^{40}K konsantrasyonunun 5,828 Bq/kg ile 13 numaralı elma örneğinde, en yüksek ^{40}K konsantrasyonunun ise 179,820 Bq/kg ile 1 numaralı erik örneğinde olduğu görülür. ^{40}K konsantrasyonu algılama limiti altında kalan gıda örnekleri ise 12, 14 ve 30 numaralı örneklerdir. Gıda örneklerinin ^{238}U konsantrasyonları Şekil 4.15’de, ^{232}Th konsantrasyonları Şekil 4.16’da ve ^{40}K konsantrasyonları Şekil 4.17’de verildiği gibidir. Gıda ve havadaki bazı karasal radyonüklidlerin referans aktivitelerini içeren Çizelge 1.7 incelenirse; yapraklı sebzeler için ^{238}U ve ^{232}Th referans aktivite değerlerinin sırası ile 0,02 Bq/kg ve 0,015 Bq/kg olduğu görülür. Kökler ve meyveler için ^{238}U ve ^{232}Th referans aktivite değerleri ise sırası ile 0,003 Bq/kg ve 0,0005 Bq/kg’dır (UNSCEAR, 1993). Bunların yanı sıra Birleşmiş Milletler Bilimsel Komitesi (UNSCEAR) tarafından gıdalardaki aktivite konsantrasyonlarının dünya genelinde referans aktivite değerlerini aşan büyük değişimler gösterdiği de not edilmiştir (UNSCEAR, 1993). Şekil 4.15 ve Şekil 4.16 incelenirse gıda örneklerinin hem ^{238}U hem de ^{232}Th konsantrasyonlarının hepsi UNSCEAR tarafından kabul edilmiş olan referans aktivite değerlerinin üzerindedir. Bununla birlikte bu gıda örneklerinin ^{238}U ve ^{232}Th konsantrasyonları literatür ile uyum içerisindedir (Karahan 1997; Canbazoğlu 2005; Değerlier, 2007).

^{40}K konsantrasyonu, hemen hemen bütün gıda örneklerinde ^{238}U ve ^{232}Th konsantrasyonlarından çok daha yüksek çıkmıştır. Bunun sebebi, ^{40}K diğer karasal radyonüklidlere göre toprakta daha yüksek konsantrasyonda bulunur (Liden ve Holm, 1985; Shenber, 1997) ve kökler vasıtası ile bitkiye geçer. Literatürde ^{40}K için bir referans aktivite değerine rastlanılmamıştır. Bununla birlikte dünyanın değişik bölgelerinde algılanmış olan ^{40}K seviyeleri 40-240 Bq/kg konsantrasyon değerleri arasındadır (Maul ve O’Hara, 1989). Buna göre Şekil 4.17’deki gıda örneklerinin hepsinin ^{40}K konsantrasyonu yaklaşık olarak bu değerler ile uyumludur. Radyonüklidlerin çevreye yayılması, tüketilen gıdaların radyoaktif olarak kirlenmesi ile sonuçlanabilir. Topraktaki radyoaktif maddelerin dağılımı ve birikimi; sadece toprağın türü, yapısı ve kimyasal karakteristiklerine bağlı değil aynı zamanda toprak içerisindeki radyonüklidlerin fiziksel ve kimyasal formlarına da bağlıdır. Kimyasal davranışlardaki benzerliklerden dolayı, doğal ve suni radyonüklidlerin konsantrasyonları arasında korelasyonlar oluşabilir. Örneğin; topraktaki potasyum içeriğinin artması, bitkilere radyoaktif sezyumun alınmasını durdurur (Roca ve ark., 1997; Knatko ve ark., 2000).

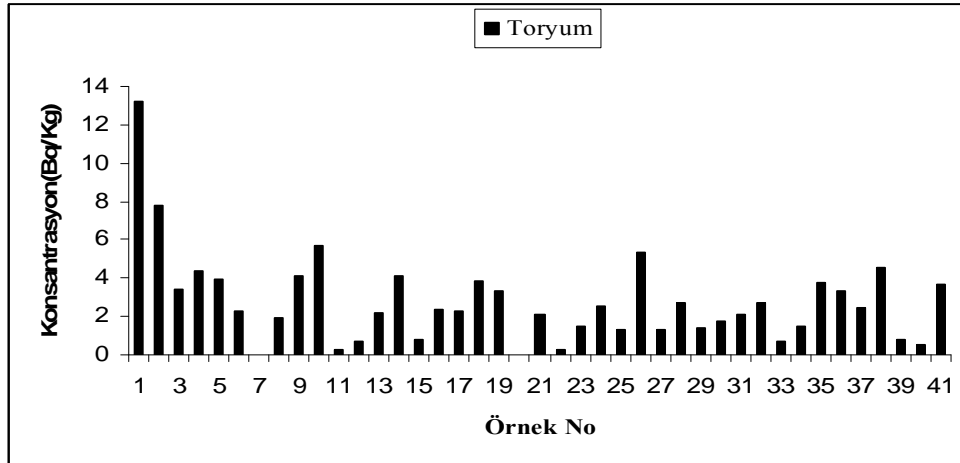
Çizelge 4.11. Kahramanmaraş il merkezinde gıda örneklerinde ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K konsantrasyonları.

Örnek No	Örnek Adı	Radyonüklid Konsantrasyonu (Bq/Kg)		
		^{238}U	^{232}Th	^{40}K
1	Erik	3,196	13,228	179,820
2	Erik yaprağı	4,392	7,816	44,501
3	Kiraz	ALA	3,434	69,930
4	Kiraz sapı	3,422	4,409	29,138
5	Kiraz yaprağı	1,976	3,908	19,072
6	Şeftali	5,203	2,289	16,138
7	Şeftali yaprağı	4,026	ALA	46,620
8	Kiraz	9,964	1,908	69,930
9	Kiraz sapı	4,645	4,070	43,034
10	Kiraz yaprağı	5,490	5,712	31,786
11	Armut	7,686	0,300	38,144
12	Armut yaprağı	8,454	0,661	ALA
13	Elma	2,415	2,205	5,828
14	Elma yaprağı	0,557	4,070	ALA
15	Kayısı	5,435	0,826	40,793
16	Kayısı yaprağı	6,588	2,405	38,144
17	Kayısı	2,657	2,315	146,853
18	Kayısı yaprağı	5,574	3,816	48,413
19	Şeftali	3,422	3,307	29,138
20	Şeftali yaprağı	3,865	ALA	46,620
21	Kiraz	4,611	2,104	76,287
22	Kiraz sapı	1,976	0,301	31,786
23	Kiraz yaprağı	4,392	1,503	57,216
24	Sarı kiraz	2,952	2,572	23,310
25	Sarı kiraz sapı	5,574	1,272	43,034
26	Sarı kiraz yaprağı	5,203	5,342	86,068
27	Şeftali	7,971	1,323	27,972
28	Kayısı	15,298	2,756	23,310
29	Kayısı	3,451	1,417	53,280
30	Kayısı yaprağı	1,114	1,781	ALA
31	Vişne	1,318	2,104	69,930
32	Vişne sapı	4,026	2,756	17,483
33	Vişne yaprağı	1,159	0,661	27,972
34	Malta eriği	9,393	1,470	38,850
35	Malta eriği yaprağı	8,282	3,779	19,980
36	Maydanoz	0,483	3,307	9,324
37	Salatalık	11,272	2,480	52,448
38	Domates	11,775	4,579	34,965
39	Domates yaprağı	10,405	0,763	26,896
40	Biber	2,818	0,551	11,655
41	Biber yaprağı	7,426	3,680	65,673

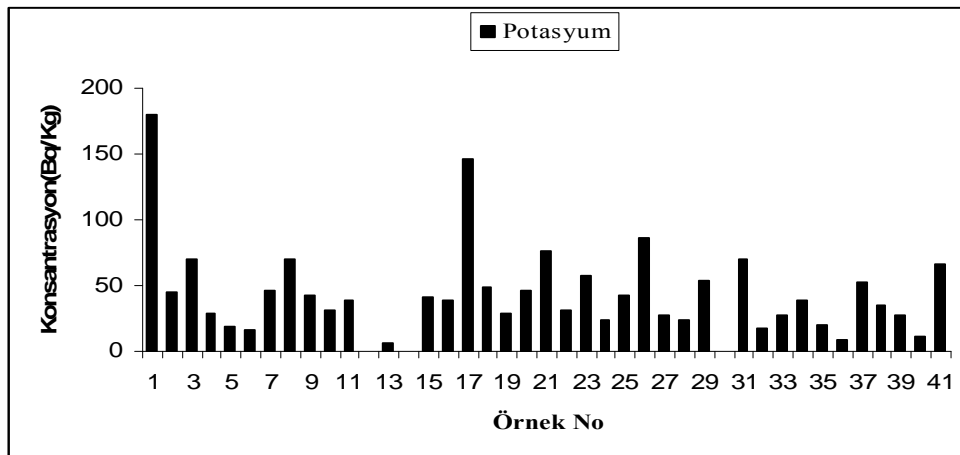
ALA: Algılama Limiti Altında



Şekil 4.15. Kahramanmaraş il merkezi gıda örneklerinin ^{238}U konsantrasyonları.



Şekil 4.16. Kahramanmaraş il merkezi gıda örneklerinin ^{232}Th konsantrasyonları.



Şekil 4.17. Kahramanmaraş il merkezi gıda örneklerinin ^{40}K konsantrasyonları.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Çevresel Gama Radyasyonu Doz Hızı Ölçümleri

Çevresel gama radyasyonlarının büyük bir kısmı toprak ve kayalarda bulunan ^{40}K , ^{238}U ve ^{232}Th gibi doğal radyonüklidlerden, az bir kısmı ise uzay kaynaklı kozmik ışınlardan ileri gelmektedir. Kahramanmaraş il merkezi içerisindeki ölçüm noktalarında alınan havada ölçülen soğurulmuş doz hızları bina içi ortalaması $5,77 \mu\text{R/h}$, bina dışı toprak zemin ortalaması $6,10 \mu\text{R/h}$ ve bina dışı asfalt zemin ortalaması $5,53 \mu\text{R/h}$ dir. Bina dışı ölçümlerde, asfalt üzerinde ölçülen değerler daha az çıkmaktadır. Bu da, gama ışınlarının, asfalt malzemesi tarafından kalınlığa bağlı olarak belli oranlarda soğurulduğunu göstermektedir. UNSCEAR (1993) tarafından belirlenen bina içi gama doz hızı değerlerinin dünya ortalaması $7,0 \mu\text{R/h}$ dir. Bu durumda, Kahramanmaraş il merkezi bina içi ölçümleri dünya ortalamasının altındadır. Bununla birlikte, UNSCEAR (1993) tarafından belirlenen bina dışı gama doz hızı değerlerinin dünya ortalaması $5,5 \mu\text{R/h}$ dir. Bu durumda ise, Kahramanmaraş il merkezinde yapılan ölçümlerde toprak zemin ölçümleri bu ortalamanın biraz üstünde, asfalt zemin ölçümleri ise altındadır.

5.2. Kahramanmaraş İl Merkezi İçme Sularının Radyoaktivite Seviyeleri

Suyun radyolojik yönden incelenmesi ve doğal radyasyon seviyelerinin belirlenmesi insan sağlığını doğrudan ilgilendirdiği için önemlidir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 1993) ve Türk Standartları Enstitüsü (TSE, 2003) tarafından müsaade edilen içme suları için maksimum radyoaktivite sınırları, toplam alfa aktivitesi için $0,1 \text{ Bq/L}$ ve toplam beta aktivitesi için 1 Bq/L dir. Dünya Sağlık Örgütü'nün içme suları için tavsiye ettiği sınır değerler suyun, ömür boyu tüketilmesi durumunda insanın alacağı radyasyon dozunun sağlık yönünden herhangi bir risk oluşturmayacağı fikrinden hareketle tespit edilmiştir.

Kahramanmaraş il merkezinin içme suları halkın kullanım miktarı dikkate alınara toplanan örneklerinin ölçümünden elde toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri, su kaynakları için Çizelge 4.2'de ve Şekil 4.4'de, su kaynaklarının beslediği depolar için Çizelge 4.3'de ve Şekil 4.5'de ve su depolarının beslediği mahalleler için Çizelge 4.4'de ve Şekil 4.6'da verilmiştir. D-13 ve ATV 2000 su depolarında toplam alfa aktivitesi hariç diğer tüm örneklerin toplam alfa ve toplam beta aktiviteleri, müsaade edilen üst sınırların altındadır.

Kahramanmaraş il merkezi içme sularında ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K konsantrasyonları Çizelge 4.5'de verildiği gibidir. İçme sularında toplam alfa ve toplam beta aktiviteleri değerlerine göre içerdikleri radyonüklid konsantrasyonları incelemesi yapılmaktadır. Toplam alfa ve toplam beta aktiviteleri, WHO tarafından tavsiye edilen ve TSE tarafından müsaade edilen üst sınır değerlerini aşmamış olmalarına rağmen, Kahramanmaraş il merkezi içme sularının içerdikleri ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K konsantrasyonlarını da ölçüldü. Su örneklerinin yer altı orijinli olması; toplam alfa radyoaktivite seviyesinin dağılım aralığının, toplam beta radyoaktivite seviyesinin dağılım aralığından daha geniş olmasına sebebiyet verir. Çünkü yer altı suları radyonüklid ayrımını kolaylaştıran başlıca ortamlardır. Bu nedenle yer altı sularında çok değişik konsantrasyonlarda uranyum izotoplarına rastlamak mümkündür. Bunun aksine bütün toryum izotopları yer altı sularında her zaman çok düşük konsantrasyonlardadırlar (Valkovic, 2000).

5.3. Kahramanmaraş İl Merkezi Toprak Örneklerinin Radyoaktivite Seviyeleri

Kahramanmaraş il merkezinden toplanan 14 toprak örneklerinin, toplam alfa ve toplam beta aktiviteleri ile birlikte, içerdikleri doğal radyoaktif çekirdek konsantrasyonlarının belirlenmesi yapıldı. Bu ölçümlerde ^{238}U ve ^{232}Th doğal radyoaktif serilerinin doğada en çok bulunan elemanlarının ve ^{40}K radyoizotopunun aktivite konsantrasyonları belirlendi.

Toprak örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri Çizelge 4.6'da verildi. Toprakların içermiş olduğu radyoaktivite konsantrasyonu; hava koşulları, sedimentasyon, filtreleme, emilme, yer altı sularının hareketi sonucu meydana gelen çökeltmeler, yüksek derecede porozite vb pek çok etkiye bağlı olarak değişim göstermekle birlikte, toprak yapılarının ve toprağı oluşturan kayaç yapılarının farklı olmasındandır.

Kahramanmaraş il merkezinden alınan 14 adet toprak örneğinin ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K konsantrasyonları Çizelge 4.9'da verildiği gibidir. Şekil 4.11'de toprak örneklerinin içerdiği ^{238}U konsantrasyonları, Şekil 4.12'de ^{232}Th konsantrasyonları ve Şekil 4.13'de ise ^{40}K konsantrasyonları verildi. ^{238}U için, ^{238}U ' in bir bozunma ürünü olan ve doğada %45 bollukta bulunan ^{214}Bi 609 keV enerjisi, ^{232}Th için ise ^{232}Th serisinin bir bozunma ürünü olan ve doğada %30,7 ile en yüksek bolluğa sahip ^{208}Tl ' in 583 keV enerjisi ve ^{40}K için ise kendisinin 1460 keV enerjili gama ışınları kullanıldı.

Topraktaki ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K ' in aktivite konsantrasyonlarının dünya ortalaması sırası ile 25 Bq/kg, 25 Bq/kg ve 370 Bq/kg olarak verilmektedir (Liden ve Holm, 1985). Kahramanmaraş il merkezinde toprak örneklerinde ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları bu değerler ile karşılaştırıldığında; 5 numaralı örneğin ^{238}U konsantrasyonu dışında, diğer örneklerin bu değerleri aşmadığı görülmektedir.

5.4. Kahramanmaraş İl Merkezi Gıda Örneklerinin Radyoaktivite Seviyeleri

Toprak içinde farklı konsantrasyonlarda bulunan radyonüklidler, bitki metabolizmasına bağlı olarak kökler vasıtasıyla bitki tarafından topraktan alınırlar. Bu radyonüklidler sindirim yoluyla insan vücuduna girerler.

Kahramanmaraş il merkezinde toprak örneklerinin alındığı yerlerde yetişen meyve ve sebze gıda örneklerinde ölçülen, toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Kahramanmaraş il merkezinden alınan 41 tane gıda örneğinin ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklid konsantrasyonları Çizelge 4.11'de verilmiştir.

Örneklerden ölçülen sonuçlar, UNSCEAR tarafından kabul edilmiş olan referans aktivite değerlerini aşmaktadır (UNSCEAR, 1993). Bununla birlikte; bu gıda örneklerinin ^{238}U ve ^{232}Th konsantrasyonları literatür ile uyum içerisindedir (Karahana, 1997; Ghiassi-Nejad ve ark., 2003). Bunun yanı sıra; gıda örneklerinin ^{40}K konsantrasyonları dünyanın değişik bölgelerinde 40-240 Bq/kg değerleri arasında algılanmıştır (Maul ve O'Hara, 1989).

Sonuç olarak; Kahramanmaraş il merkezinde, karasal radyonüklidlerden kaynaklanan, doğal radyoaktivite seviyesi düşük çıkmakla birlikte, insanların yaşam ortamları ve beslenme alışkanlıkları maruz kalacakları dozu belirleyecektir. Görülüyor ki, doğal radyasyondan kaçmak mümkün değildir. Fakat doğal radyasyon ile kuşatılmış olmamız çok büyük riskler içerisinde olmamız anlamına gelmeyeceği gibi, insan vücudunun doğada bulunan tüm elementlere ihtiyacı olduğu gibi doğal radyasyona da ihtiyacı vardır. Yaşadığımız ortamlarda doğal radyoaktivite seviyelerini düşürmek elimizdedir. Örneğin ev ve iş yerlerimizin iyi bir şekilde havalandırılması soluyacağımız radyasyon seviyesini azaltır veya içme suyunun filtrelenmesi içerisindeki radyonüklidlerin vücuda alınmasını engelleyebilir.

Bu konu ile ilgili olarak, Kahramanmaraş il merkezinin doğal radyoaktivite seviyesinin belirlenmesi amacı ile, ilerleyen günlerde örneklerimizin radon gazı emisyonlarının ölçümü yapılmalıdır. Ayrıca Kahramanmaraş il merkezinde, içme ve kullanım suyu olarak kullanılan yerel kuyu sularında ve şehre su ürünleri sağlayan baraj göllerinde bu çalışmalar yapılmalıdır.

Bu çalışma ile daha önce yapılmamış olan Kahramanmaraş il merkezinin doğal radyasyon seviyesi belirlendi. Böylelikle bu çalışma sonuçları, gelecekte meydana gelebilecek farklılıklar için bir referans değer olarak kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- AL-JUNDI, J., 2002. Population Doses from Terrestrial Gamma Exposure in Areas Near to Old Phosphate Mine, Russaifa, Jordan, Radiation Measurements, 35, 23-28.
- ALKAN, H., GÖKSEL S., 1984. Türkiye Kaplıca ve Maden Sularında Doğal Radyoaktivite Tayinleri. TÜBİTAK Ulusal Çevre Sempozyumu Tebliği, Adana.
- ALKAN, H., 1989. İstanbul İçme Suyu Kaynaklarının Kirlilik Analizleri, Radyoaktivite ve Ağır Metal Kirliliği, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- ALPHER, P.A., HERMAN, R.C., 1953. Am. Rev. Nuclear Sci., 2:1, Origin and Abundance Distribution of Elements.
- AMANAT A., ORFİ S. D. Ve QURESHİ A. A., 2002. Assessment of The Natural Radioactivity and Its Radiological Hazards In Shewa- Shahbaz Garhi Igneous Complex, Peshawar Plain, Nw Pakistan, Health Physics, 82(1), 74-79.
- ANDERSON, H.L., 1989. A Physicist's Desk Reference. American Institute of Physics, New York.
- BEAUMONT, S.P., 1992. Gallium Arsenide Microstrip Detectors for Charged Particles. CERN-PPE, 92-51.
- BECK, H.L., 1982. The Natural Radiation Environment, II. USERDA Conf.-720805-P2, The Physics of Environmental Gamma Radiation Fields, 101-104.
- BUCHLI, R., BURKART, W., 1989. Correlation Among The Terrestrial γ Radiation, The Indoor Air ^{222}Rn , and The Tap Water ^{222}Rn in Switzerland, Health Physics, 57, 5, 753-759.
- CANBAZOĞLU, C., 2004. Elazığ Yöresinde Doğal Radyoaktivitenin Tayini, Doktora Tezi, Elazığ, 142.
- CANBAZOĞLU, C., DOĞRU, M., YALÇIN, M., BAYKARA, O. ve KÜLAHÇI, F., 2000. Elazığ İli İçme ve Kullanma Sularındaki Toplam Alfa ve Beta Radyoaktivite Seviyelerinin Belirlenmesi, F.Ü. Fen ve Müh. Bilimleri Dergisi, 12, 2, 125-133.
- CANBAZOĞLU, C., ŞAHİN, S., DOĞRU, M., 2000. Determination of The Gross Alpha and The Gross Beta Radioactivity Concentration in Some Medicinal Plants, Balkan Physics Letters, Special Issue, 59-63.
- CANBERRA INDUSTRIES INC., 1997. Product Catalog. Ed. Ten, Meriden, Connecticut 06450, USA.
- CHUNG-WOO H., SI-YOUNG C., BYUNG-HUN L., 1992. Health Physics, Vol. 63, Dose Assesment to İnhalation Exposure of Indoor ^{222}Rn Doughters in Korea.
- COTHERN, C. R., LAPPENBUSCH, W. L., 1983. Compliance Data for The Occurence of Radium and Gross Alpha Particle Activity in Drinking Water Supplies in The U.S. Enviromental Protection Agency, Washington DC, 20460.
- COTHERN, C.R. and LAPPENBUSCH, W.L., 1986. Drinking Water Contribution to Natural Background Radiation, Healthy Phys., 50, 33-45.
- COTHERN, C.R., 1987. Estimating the Health Risks of Radon in Drinking Water, J. Am. Water Works Assoc., 49, 4, 153-158.
- DEĞERLİER, M., 2007. Adana İli ve Çevresinin Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Saptanması ve Doğal Radrasyonların Yıllık Etkin Doz Eşdeğerinin Bulunması, Doktora Tezi, Adana, 175.

- DOĞRU, M. and CANBAZOĞLU, C., 2002. Natural Gross Radioactivity in Various Surface and Tap Waters in Elazığ, Turkey, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 254, 2, 379-382.
- DOĞRU, M., CANBAZOĞLU, C., ŞAHİN, S., 2002. Determination of The Gross Alpha and Beta Radioactivity in Kangal Curative Water, Sivas-Turkey, *Balkan Physics Letters*, 10, 3, 130-134.
- DUENAS, C., FERNANDEZ, M.C., GONZALEA, J.A., CARRETERO, J. and PEREZ, M., 1993. Ra-226 ve Ra-224 in Waters in Spain, *Toxicological and Environmental Chemistry*, 39, 1-2, 71-79.
- EBERLINE, 1995. ASP-2/2e Portable Radiation Monitor Technical Manual. PO Box 2108, Santa Fe.
- EISENBUD, M., 1963. Environmental Radioactivity in US, p. 135.
- EISENBUD, M., PETROW, 1964. Science 144,288, Radioactivity in The Atmosferic Effluents of Power Plants That Use Fossil Fuels.
- ERIKSON, E., 1962. Acedemic Press Inc., New York, Radioactivity in Hydrology, p.47.
- GASCOYNE, M., 1982. Geochemistry of the actinides and their daughters, In: M. Ivanovich and R.S. Harmon (ed.), *Uranium Series Disequilibrium: Applications to Environmental Problems*, Oxford University Press, Oxford.
- GHIASSI-NEJAD, M., BEITOLLAHI, M.M., ASEFI, M., REZA-NEJAD, F., 2003. Exposure to 226Ra from Consumption of Vegetables in The High Level Natural Radiation Area of Ramsar-Iran, *Journal of Environmental Radioactivity*, 66, 215-225.
- GILKESON, R.H., and COWART, J.B., 1987. Radium, Radon and Uranium Isotopes in Ground Water from Cambrian Ordovician Sandstone Aquifer in Illinois, In: *Proceedings of the NWWA Conference on Radon in Ground Water* (Chelsea, MI: Lewis Publishers), Inc., 403-422.
- HANSEN, R.O. and STOUT, P.R., 1968. Isotopic distribution of uranium in soils, *Soil Sci.*, 105, 44-50.
- HANSEN, R.O. and HUNTINGTON, G.L., 1969. Thorium movements in morainal soils of the high Sierra, California, *Soil Sci.*, 108, 257-265.
- HOLBERT, K.E., STEWART, B.D. ve ESHRAGHI, P., 1995. Measurement of Radioactivity in Arizona Groundwater Using Improved Analytical Techniques for Samples with High Dissolved Solids. *Health Physics*, 68(2).
- IBRAHİEM, N. M., ABD EL GHANI, A. H., SHAWKY, S. M., ASHRAF, E. M. ve FAROUK, M. A., 1993. Measurement of Radioactivity Levels In Soil In The Nile Delta And Middle Egypt, *Health Physics*, 64 (6), 620-627.
- KAM, E., 2004. Tekirdag'ın Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Tayini, Y.T.Ü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 112s.
- KAM, E., YARAR, Y., KARAHAN, G., ÇELEBİ, N., ÖZÜAĞ, C., 2005. Tekirdağ İli ve Çevresinin Doğal Radyasyon Seviyelerinin Belirlenmesi,
- KARAHAN, G., 1997. İstanbul'un Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Tayini ve Doğal Radyasyonların Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri, Doktora Tezi, İstanbul, 118.
- KARAHAN, G., BAYULKEN, A., 1999. Assessment of Gamma Dose Rates Around İstanbul (Turkey), *Journal of Enviromental Radioactivity*, 47, 213-221.
- KARAHAN, G., ÖZTÜRK, N., BAYULKEN, A., 2000. Natural Radioactivity İn

- Various Surface Waters In İstanbul, Turkey, Water Res., Vol. 34, No: 18, 4367-4370.
- KARAKELLE, B., ÖZTÜRK, N., KÖSE, A., VARINLIOĞLU, A., ERKOL, A. Y., YILMAZ, F., 2002. Natural Radioactivity in Soil Samples of Kocaeli Basin, Turkey, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Vol. 254. No.3, 649-651.
- KING, P., MICHEL, J. and MOORE, W.S., 1982. Groundwater Geochemistry of Ra-228, Ra-226 and Rn-222, Cosmochim. Acta, 46, 1173-1182.
- KISS, J.J., DEJONG, E. and BETTANY, J.R., 1988. The distribution of natural radionuclides in native soils of southern Saskatchewan, Canada, J. Environ. Qual., 17, 437-444.
- KNATKO, V.A., AGEETS, V.U., SHMIGELSKAYA, I.V., IVASHKEVICH, I.I., 2000. Soil-to-Plant Transfer of ¹³⁷Cs Deposition and Soil Characteristics, Journal of Environmental Radioactivity, 48, 171-181.
- KNOLL, G.F., 1979. Radiation Detection and Measurement. John Wiley and Sons, New York.
- KÜLAHCI, F., 2001. Hazar Gölü (Elazığ) suyunun radyoaktivite seviyelerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 99s.
- LALIT, B.Y. and SHUKLA, V.K., 1982. Natural Radioactivity in Foods from High Natural Radioactivity Areas of Southern India. p. 43-49, Natural Radiation Environment.
- LEO, W.R., 1987. Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments. Springer-Verlag, Berlin, Germany.
- LIDEN, K. and HOLM, E., 1985. Measurement and Dosimetry of Radioactivity in the Environment, in the Dosimetry of Ionizing Radiation, Vol. 1, K.R. Kase, B.E. Bjarngard and F.H. Attix, eds., Academic Press, Orlando.
- LITTLEMORE Scientific Engineering (ELSEC), 1994. 7286 Low Level Alpha Counter User Manual. Railway Lane, Littlemore, Oxford OX4 4PZ, UK.
- LOWDER, W. M., SOBON, L. R., 1956. Background Radiation, Rep. NYO-4712, USAEC, D.C., Washington.
- MAROUF, B.A., MOHAMED, A.S., TAHA, J.S. and AL-HADDAD, I.K., 1992. Health Physics Vol. 62, Population Doses from Environmental Gamma Radiation in IRAQ.
- MAUL, P.R., O'HARA, J.P., 1989. Background Radioactivity in Environmental Materials, Journal of Environmental Radioactivity, 9, 265-280.
- MELISSINOS, A.C., 1966. Experiments in Modern Physics. Academic Press, New York.
- MERDANOĞLU, B., 2004. Kestanel (Çanakkale) Civarındaki Su, Toprak ve Granit Örneklerinde Doğal Radyoaktivitenin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 70s.
- MERIWETHER, J.R., BURNS, S.F., THOMPSON, R.H., AND BECK, J.N., 1995. Evaluation of Soil Radioactivities Using Pedologically Based Sampling Techniques, Health Physics, 69(3).
- MOHANTY, A.K., SENGUPTA, D., DAS, S.K., SAHA, S.K. VE VAN, K.V., 2004. Natural radioactivity and radiation exposure in the high background area at Chhatrapur beach placer deposit of Orissa, India, Radiation Measurements, 38, 153-165.
- MUTLUAY, H., DEMİRAK, A., 1996. Su Kimyası, Beta Basın Yayın Dağıtım, İstanbul, 83-84.

- MYRICK, T.E., BERVEN, B.A. ve HYWOOD, F. F.,1983. Determination of Concentration of Selected Radionuclides in Surface Soil in The U.S., Health Physics Vol. 45.
- NCRP, 1976. Environmental Radiation Measurement. National Council on Radiation Protection and Measurements, NCRP Report 50, Washington.
- NCRP, 1977. Environmental Radiation Measurement. National Council on Radiation Protection and Measurements, NCRP Report No: 50, Washington.
- NE TECHNOLOGY LIMITED, 1991. Instruction Manual for Gamma Assay Scintillation Counter (Type 8F8/DM1-2). Sighthill, Edinburgh EH11 4BY, Scotland, UK.
- _____, 1994a. Instruction Manual for Lead Castle (Type 710C). Bath Road, Beenham, Reading, Berkshire RG7 5PR, England
- _____, 1994b. Instruction Manual for Windowless Scintillation Counter (Type 6001). Bath Road, Beenham, Reading, Berkshire RG7 5PR, England.
- NIEWIADOMSKI, T., KOPERSKI, J., RYBA, E., 1982. Natural Radiation in Poland and its Disturbance in An Urban Enviroment, Health Physics, Vol. 38.
- OLGUIN, M.T., SEGOVIA, N., TAMEZ, E., ALCANTARA, M. and BULBULIAN, S., 1993. Radon Concentration Levels in Groundwater from Toluca, Mexico, The Science of the Total Environment, 130, 43-50.
- ÖZGER, A., G., 2005. Ceyhan, Yumurtalık ve Pozantı Bölgelerinin Doğal Radyoaktivite Düzeylerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 100.
- PAPAEFTHYMIU, H., KRIDITIS, P., ANOUSIS, J., SARAFIDOU, J., 2005. Comparative Assessment of Natural Radioactivity In Fallout Samples From Patras and Megalopolis, Greece, Journal of Enviromental Radioactivity, 78, 249-265.
- RAMLI, A.T., HÜSSEIN, A.W. , WOOD, K., 2005. Environmental 238U and 232Th Concentration Measurements in Area of High Level Natural Background Radiation at Polong, Johor, Malaysia. Journal of Environmental Radioactivity, 80, s 287-304.
- RANKAMA, K., 1954. Isotope Geology, New York.
- ROBERTSON, D.S., 1974. Basel Proterozoic units as fossil time markers and their use in uranium prospection in formation of uranium ore deposits, Proceedings of Symposium, Athens, Intl. Atom. Energy Agency, Vienna, 495-512.
- ROCA, M., VALLJO, V., ROIG, M., TENT, J., VIDAL, M., RAURET, G., 1997. Prediction of 134Cs and 85Sr Crop Uptake Based on Properties, J. Environ. Quantity, 26, 1354-1362.
- ROGERS, A.S., 1958. U.S. Geology Bulletin 1052-E, Physical Behavior and Geologic Control of Radon in Mountain Streams.
- ROGERS, J.J.W. and ADAMS, J.A.S., 1969. Uranium, p. 92-A-1-92-G-7, In: K.H. Wedepohl (ed.), Handbook of Geochemistry, Springer –Verlag, New York.
- SABOL, J., WENG, P.S. and MAO, C.H., 1993. Water-Borne Radon in Some Hot Springs in Taiwan, Nucl. Sci. J., 30, 2, 131-136.
- SAMUEL, L.D., 1964. The Natural Radiation Environment, p.239, A Study of Environmental Exposure to Radium in Drinking Water.
- SAYRE, W.W., GUY, H.P. and CHAMBERLAN, A.R., 1963. U.S. Geology Survey Professional Paper 433-A, Uptake and Transport of Radionuclides by Stream Sediments.
- SCHULZ, R.K., 1965. Soil Chemistry of Radionuclides, Health Phys., 11, 1317-1324.

- SCOTT, R.C., BERKER, F.B., 1962. Data on Uranium and Radium in Ground Water in The U.S. 1954 to 1957.
- SHENBER, M.A., 1997. Measurement of Natural Radioactivity Levels in Soil in Tropoli, Appl. Radiat. Isot., 48, 1, 147-148.
- TALIBUDEEN, O., 1964. Natural Radioactivity in soils, Soils and Fertilizers, 27, 347-359.
- TAYLOR, J.M., 1963. Semiconductor Particle Detectors. Butter Worth, New York.
- TSE, 2003, Institution of Turkish Standards. Annual Progress Report.
- TUNCER, S., 1991. Çeşitli İçme Sularında Radyoaktivite Seviyelerinin Tayini, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Nükleer Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- TOPCUOĞLU, S., KARAHAN, G., GÜNGÖR, N., KIRBAŞOĞLU, Ç., 2003. Natural and Artificial Radioactivity in Emendere Thermal Spring Area İn Western Anatolia, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, vol. 256, no:3, 395-398.
- TYKVA, R. and SABOL, J, 1995. Low Level Environmental Radioactivity. Technomic Publication, USA.
- UNSCEAR 1982 Report ,1982. Exposure From Natural Sources of Radiation, United Nations Scientific Committee on The Effects of Atomic Radiation, Annex B, p. 90.
- UNSCEAR REPORT 88 ,1988.Exposure From Natural Sources Of Radiation, United Nations Scientific Committee on The Effects of Atomic Radiation, Annex A, p. 94.
- UNSCEAR 1993 Report, United Nations Scientific Committee on The Effects of Atomic Radiation Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiations. New York.
- VALKOVIC, V., 2000. Radioactivity in the Environment. Elsevier Science B.V., Netherlands.
- WHO, 1993. Guidelines for Drinking Water Quality. Recommendations, Vol. 1, 2nd Ed., World Health Organization, Geneva.
- WHO, 2001.Depleted Uranium, Sources, Exposure and Health Effects.
- YU, K.N., GUAN, Z.J., STOKES, M.J. and YOUNG, E.C.M., 1994. A Preliminary Study on the Radon Concentrations in Water in Hong Kong and the Associated Health Effects, Appl. Radiat. Isot., 45, 7, 809-810.

ÖZGEÇMİŞ

1969 yılında Kahramanmaraş'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini aynı ilde tamamladı. 1986 yılında Atatürk Üniversitesi Kazım Karabekir Eğitim Fakültesi Fizik Eğitimi Anabilim Dalında yüksek öğrenimine başladı. 1990 yılında buradan mezun oldu. Milli Eğitim Bakanlığının yapmış olduğu öğretmen yeterlilik sınavını geçerek, öğretmen oldu ve Milli Eğitim Bakanlığına bağlı çeşitli il ve okullarda öğretmen olarak görev yaptı. Öğretmenlik yıllarında askerlik görevini yerine getirdi. 1996 yılında Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Anabilim dalına Uzman olarak atandı. Aynı yıl Fen Bilimleri Enstitüsünde Yüksek Lisans Programına kazandı. 1999 yılında yüksek lisansını tamamladı. 2000 yılında Öğretim Görevlisi olarak atandı. Halen Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünde Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktadır. Evli ve üç çocuk babasıdır.