

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DOKTORA TEZİ**

**Meltem DEĞERLİER**

**ADANA İLİ VE ÇEVRESİNİN ÇEVRESEL DOĞAL  
RADYOAKTİVİTESİNİN SAPTANMASI VE DOĞAL RADYASYONLARIN  
YILLIK ETKİN DOZ EŞDEĞERİNİN BULUNMASI**

**FİZİK ANABİLİM DALI**

**ADANA, 2007**

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ADANA İLİ VE ÇEVRESİNİN ÇEVRESEL DOĞAL RADYOAKTİVİTESİNİN  
SAPTANMASI VE DOĞAL RADYASYONLARIN YILLIK ETKİN DOZ  
EŞDEĞERİNİN BULUNMASI**

**Meltem DEĞERLİER**

**DOKTORA TEZİ**

**FİZİK ANA BİLİM DALI**

Bu tez ....../....../2007 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği/Oyçokluğu İle Kabul Edilmiştir.

İmza.....

**Prof. Dr. Vedat PEŞTEMALCI  
DANIŞMAN**

İmza.....

**Prof. Dr. Gülsen ÖNENGÜT  
ÜYE**

İmza.....

**Prof. Dr. Hamide KAVAK  
ÜYE**

İmza.....

**Doç. Dr. Fikret ANLI  
ÜYE**

İmza.....

**Yrd. Doç. Dr. Mehmet TEKDAL  
ÜYE**

Bu Tez Enstitümüz Fizik Ana Bilim Dalında Hazırlanmıştır.

Kod No:

**Prof. Dr. Aziz ERTUNÇ  
Enstitü Müdürü  
İmza ve Mühür**

Bu Çalışma Ç.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.

Proje No: FEF2004D16

Bu Çalışma Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) / Çekmece Nükleer Araştırma Merkezi (ÇNAEM) tarafından Desteklenmiştir.

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.

**ÖZ**  
**DOKTORA TEZİ**

**ADANA İLİ ve ÇEVRESİNİN ÇEVRESEL DOĞAL  
RADYOAKTİVİTESİNİN SAPTANMASI ve DOĞAL RADYASYONLARIN  
YILLIK ETKİN DOZ EŞDEĞERİNİN BULUNMASI**

**Meltem DEĞERLİER**

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
FİZİK ANABİLİM DALI**

**Danışman: Prof. Dr. Vedat PEŞTEMALCI**

**Yıl : 2007, Sayfa :175**

**Jüri : Prof. Dr. Gülsen ÖNENGÜT**

**Prof. Dr. Hamide KAVAK**

**Doç. Dr. Fikret ANLI**

**Yrd. Doç. Dr. Mehmet TEKDAL**

Bu çalışmada genel olarak Adana İli ve çevresindeki doğal kaynaklarda bulunan doğal radyoaktivite değerlerinin veya doğal radyonüklit konsantrasyonlarının tayin edilmesi ve bu doğal kaynaklardan yayımlanan farklı tipteki radyasyonların ölçülmeleri ile de Adana İlini kapsayan bölgenin doğal temel radyasyon seviyelerinin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, yüzeye yakın atmosferde portatif gama dedektörü ile havada soğurulmuş gama doz oranları; gama spektrometrik analiz sistemi ile ölçüm alınan noktalardaki toprakta bulunan nüklitlerin radyoaktivite konsantrasyonları; alfa ve beta sayım sistemi ile içme, deniz, göl ve nehir sularındaki toplam alfa ve beta radyoaktivite konsantrasyonları ve Cr-39 nükleer iz dedektörü ve Radosys ölçüm sistemi ile de Adana ili şehir merkezinde bulunan evlerdeki radon gazı konsantrasyonları ölçülmüştür. Ayrıca bu kaynaklardan alınan insanların bir yılda maruz kaldıkları radyasyon dozları hesaplanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Doğal Radyoaktivite, Radon, Toprak, Su, Hava

**ABSTRACT**  
**Ph.D. THESIS**

**DETERMINATION OF ENVIROMENTAL NATURAL RADIOACTIVITY  
OF ADANA AND THE ANNUAL EFFECTIVE DOSE EQUIVALENT DUE  
TO NATURAL RADIATION**

**Meltem DEĞERLİER**

**DEPARTMENT OF PHYSICS  
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES  
UNIVERSITY OF CUKUROVA**

**Supervisor : Prof. Dr. Vedat PEŞTEMALCI**

**Yıl : 2007, Sayfa:175**

**Jury : Prof. Dr. Gulsen ONENGUT**

**Prof. Dr. Hamide KAVAK**

**Assoc. Prof. Fikret ANLI**

**Assist Prof. Mehmet TEKDAL**

Natural radioactivity originates from extraterrestrial sources as well as from radioactive elements in the earth crust. The radioactivity of the earth includes the primordial radionuclides such as U-238, U-235, Th-232, K-410 and Rb-87. The main objective of this study is to evaluate Adana region from the point of radiological view. For this purpose, it was determined natural concentration of radionuclides in soil samples taking from different areas of the Adana region and like sea water around Adana region, lake water which supply drinking water to the city and villages, the atmosphere near to the surface of the region. Besides it was determined <sup>222</sup>Rn activity concentrations in summer and winter in Adana houses. Additionally, yearly radiation doses from these sources taken by the people who living in Adana was calculated.

**Key Words:** Background Radiation, Radon , Soil, Water, Air

## TEŞEKKÜR

Adana ili ve çevresinin çevresel doğal radyoaktivitesinin saptanması ve doğal radyasyonların yıllık etkin doz eşdeğerinin bulunması konulu tez çalışmasını bana öneren ve bu çalışma esnasında her türlü yardımlarını esirgemeyerek çalışmamı tamamlamamı sağlayan değerli danışman hocalarım Sayın Prof. Dr. Gülten GÜNEL ve Sayın Prof. Dr. Vedat PEŞTEMALCI' ya sonsuz teşekkür ederim.

Ayrıca çalışmamın deneysel kısımlarını yapmam için bana laboratuvarlarını açarak her türlü alet ve cihazlarını kullanmama olanak veren Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezine ve çalışmam esnasında her türlü destek ve yardımlarını esirgemeyen başta bu kurumun Sağlık Fiziği Bölüm Başkanı Sayın Dr. Nilgün ÇELEBİ ve Sayın Dr. Gürsel KARAHAN olmak üzere diğer bütün Sağlık Fiziği çalışanlarına sonsuz teşekkür ederim.

Deneyleirim esnasında her türlü destek ve yardımlarını esirgemeyen ve İstanbul'da beni yalnız bırakmayan çalışma arkadaşlarım Sayın Dr. Aysun UĞUR ve Sayın Ayşe Gülbin ÖZGER'e sonsuz teşekkür ederim.

Ayrıca Adana evlerinde radon gazı ölçümleri için evlerine dedektör almayı kabul eden başta Çukurova Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü öğretim üyeleri ve çalışanları olmak üzere tüm Adana halkına sonsuz teşekkür ederim.

Tüm eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi her türlü desteklerini sabırla bana veren, bu çalışmayı oluşturan verileri toplama esnasında beni yalnız bırakmayan aileme ve özellikle mezun olmadan önce aramızdan ayrılan canım babacığım Ahmet DEĞERLİER'e en içten ve sonsuz teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

## SAYFA

ÖZ.....	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XIV
1.GİRİŞ.....	1
1.1. Radyasyon.....	1
1.1.1. İyonlaştırıcı Radyasyon.....	2
1.1.2. İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon.....	2
1.2. Radyoaktivite ve Radyonüklitler.....	3
1.2.1. Başlangıçta Mevcut Olan Radyonüklitler (Primordial).....	3
1.2.1.1. Uranyum.....	6
1.2.1.1.(1). U-238.....	9
1.2.1.1.(2). U-235.....	10
1.2.1.2. Toryum-232.....	11
1.2.1.3. Radium-226.....	12
1.2.1.4.Potasyum-40.....	12
1.2.2. Kozmik Işınlardan Etkileşimi Sonucu Oluşan Radyonüklitler (Kozmojenik) .....	12
1.2.3. İnsan Üretimi Radyonüklitler .....	14
1.3. Doğal Fon (Background) Radyoaktivite.....	15
1.4. Doğal Radyasyon Kaynakları.....	17
1.4.1. Kozmik Radyasyon.....	17
1.4.1.1. Birincil (Primer) Kozmik Işınlardan .....	21
1.4.1.1.(1).Birincil (Primer) Galaktik Kozmik Işınlardan .....	21
1.4.1.1.(2).Birincil (Primer) Solar Kozmik Işınlardan.....	21
1.4.1.2. İkincil (Sekonder) Kozmik Işınlardan.....	22

1.4.2. Karasal Radyasyon.....	22
1.4.2.1. Topraktaki Doğal Radyoaktivite.....	22
1.4.2.2. Yüzeğe Yakın Atmosferdeki Doğal Radyoaktivite.....	25
1.4.2.3. Sulardaki Doğal Radyoaktivite.....	26
1.4.2.4. Yapı Malzemelerindeki Doğal Radyoaktivite.....	29
1.4.2.5. Yiyeceklerdeki Doğal Radyoaktivite.....	31
1.4.2.6. İnsan Vücudunda Bulunan Doğal Radyoaktivite.....	32
1.4.3. Radon.....	33
1.4.3.1. Ev İçi Radon Kaynakları.....	35
1.4.3.2. Radon ve Havalandırma .....	38
1.4.3.3. Doğal Gazda Radon.....	39
1.4.3.4. Radonun Sağlık Üzerine Etkileri.....	39
1.4.3.5. Radon Risklerinin Azaltılması İçin Alınabilecek Tedbirler...40	
1.5. Yüksek Doğal Fon (Background) Radyasyon Alanları.....	41
1.6. Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri.....	44
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	46
3. MATERYAL VE METOT.....	58
3.1. Materyal.....	58
3.1.1. Deneylerde Kullanılan Dedektörler.....	58
3.1.1.1. Sintilasyon Sayıcıları.....	58
3.1.1.2. Dış Gama Radyasyon Seviye Ölçümlerinde Kullanılan Portatif Gama Sintilasyon Dedektörü.....	59
3.1.1.3. Yarı İletken Dedektörlü Sayıcılar.....	63
3.1.1.4. Gama Spektrometrik Analiz Sistemi.....	65
3.1.1.4.(1). Çok Kanallı Analizör Sistemi.....	67
3.1.1.4.(1).(a). Çok Kanallı Analizör.....	67
3.1.1.4.(1).(b). Sayısal Analog Dönüştürücü.....	68
3.1.1.4.(1).(c). Kaydedici.....	68
3.1.1.4.(2). Dedektör Sistemi.....	68
3.1.1.4.(3). Kalibrasyon .....	70
3.1.1.4.(4) .Tipik Gama Işın Spektrumu .....	71

3.1.1.4.(5). Spektrum İçin Net Alan Belirlenmesi .....	72
3.1.1.5. Gaz Akışlı Orantılı Sayıcılar.....	73
3.1.1.6. Alfa ve Beta Sayım Sistemleri.....	74
3.1.1.7. Radon Gazı Ölçümlerinde Kullanılan CR-39 Dedektörleri...	79
3.2. Metot.....	80
3.2.1. Havadaki Gama Radyasyon Seviyelerinin Belirlenmesi ve Toprak Örneklerindeki Radyonüklitlerin Havadaki Absorblanmış Doza Katkıları.....	80
3.2.2. Toprak örneklerinin Alınması ve Gama Spektrometrik Analiz İçin Hazırlanması.....	81
3.2.3. Su Ölçüm Metotları.....	83
3.2.4. Radon Konsantrasyonlarının Ölçülmesi.....	87
3.2.4.1. İz Kazıma İşlemi için Kazıma Ünitesinin Hazırlanması.....	87
3.2.4.2. İz Kazıma İşlemleri.....	89
3.2.4.3. Değerlendirme.....	91
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	92
4.1. Adana İlinin Çevresel Doğal Gama Işınlama Doz Hızlarının Belirlenmesi.....	92
4.2. Kozmik Radyasyon Ölçümleri.....	92
4.3. Ölçülen Ev Dışı Gama Radyasyonlarının Yıllık Etkin Doz Eşdeğerine Katkıları.....	101
4.4. Adana İli Toprak Örneklerinde Belirlenen Doğal Temel Radyasyon Seviyeleri.....	102
4.5. Havada Soğurulmuş Doz Oranı.....	120
4.6. Adana Sularındaki Toplam Alfa ve Toplam Beta Radyoaktivitesinin Tayini.....	125
4.7. Adana Evlerinde Radon Konsantrasyonlarının Ölçümü.....	134
4.8. Denge Faktörü.....	144
4.9. Ev İçeri Radon Gazının Solunumu İle Alınan Yıllık Etkin Doz Eşdeğerinin Hesaplanması.....	146
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	147



5.1.Belirlenen Doğal Temel Radyasyon Seviyeleri.....	147
5.1.1. Toprakta.....	147
5.1.2. Sularda.....	152
5.1.3. Havada.....	153
5.1.4. Radon.....	156
KAYNAKLAR.....	161
ÖZGEÇMİŞ.....	168
EK-1.....	169
Radyasyon Doz Birimleri.....	169
Aktivite Birimleri.....	169
Spesifik Aktivite.....	170
Işınlama Birimi.....	171
Soğurulma (Absorblanma) Doz Birimi.....	171
Biyolojik Doz.....	172
EK-2.....	174
Evlerde Radon Araştırması Bilgi Formu.....	174

**ÇİZELGELER DİZİNİ****SAYFA**

<b>Çizelge 1.1</b> Başlangıç (primordial) Nüklitler .....	4
<b>Çizelge 1.2</b> Tabiatta Tek Başına Bulunabilen Radyonüklitler .....	6
<b>Çizelge 1.3</b> Doğal Uranyumun Radyolojik Karakteristikleri .....	8
<b>Çizelge 1.4</b> Bazı kozmojenik nüklitler .....	13
<b>Çizelge 1.5</b> İnsan üretimi olan nüklitler .....	14
<b>Çizelge 1.6</b> Normal güneş şartları altında sesten yavaş ve sesten hızlı uçaklarda uçan bir kişi için hesaplanan kozmetik ışın dozları .....	19
<b>Çizelge 1.7</b> Çeşitli Kayalardaki Ortalama Uranyum Konsantrasyonu .....	23
<b>Çizelge 1.8</b> 1 foot derinlikli ve 1 mil kare taban alan şekillenimli toprak hacminde bulunan doğal radyoaktivite miktarları .....	24
<b>Çizelge 1.9</b> Okyanuslardaki Doğal Radyoaktivite.....	28
<b>Çizelge 1.10</b> Yapı Materyallerindeki Uranyum, Toryum ve Potasyumun Tahmin Edilen Konsantrasyonları.....	29
<b>Çizelge 1.11</b> Bazı yiyeceklerdeki $^{40}\text{K}$ ve $^{226}\text{Ra}$ oranları.....	31
<b>Çizelge 1.12</b> İnsan vücudundaki Doğal Radyoaktivite .....	32
<b>Çizelge 1.13</b> $^{222}\text{Rn}$ ve bozunma ürünlerinin özellikleri .....	33
<b>Çizelge 1.14</b> Doğal fon (background) radyasyondan alınan ortalama yıllık doz.....	43
<b>Çizelge 1.15</b> Doğal ve Yapay kaynaklardan Yıllık Alınan Radyasyon Dozu.....	45
<b>Çizelge 3.1</b> ESP – 2 teknik özellikleri.....	61
<b>Çizelge 3.2</b> SPA – 6 Dedektörünün özellikleri .....	62
<b>Çizelge 3.3</b> Kullandığımız Canberra HpGe gama spektrometresinin standart kalibrasyon kaynağı .....	70
<b>Çizelge 3.4</b> LB 770 Teknik özellikleri.....	77
<b>Çizelge 3.5</b> CR – 39 dedektörünün teknik özellikleri.....	80

<b>Çizelge 4.1.</b> Adana İl Merkezi ve Köylerinde Havada Ölçülen Soğurulmuş Doz Hızları (nGy/h).....	94
<b>Çizelge 4.2.</b> Adana İli Toprağında Bulunan Doğal Radyonüklitlerin 0-30 cm derinlikteki konsantrasyonları (Bq/kg).....	104
<b>Çizelge 4.3.</b> Adana İli Toprağında Belirlenen Aktivite Konsantrasyonları, Havadaki Absorblanmış Doz Oranları ve Yıllık Etkin Doz Eşitliği.....	121
<b>Çizelge 4.4.</b> Adana İli Deniz, Nehir, Göl ve İçme Sularında Bulunan Toplam Alfa ve Toplam Beta Radyoaktivite Konsantrasyonları ve Rezidü Miktarları.....	126
<b>Çizelge 4.5.</b> Adana Evlerinde Ölçülen Kış Dönemi Radon Konsantrasyonları (Bq/m <sup>3</sup> ).....	135
<b>Çizelge 4.6.</b> Adana Evlerinde Yaz Dönemi Ölçülen Radon Konsantrasyon Değerleri (Bq/m <sup>3</sup> ).....	138
<b>Çizelge 4.7.</b> Adana Evlerinde Yaz Dönemi ve Kış Dönemleri Arasındaki Karşılaştırma.....	141
<b>Çizelge 5.1.</b> Farklı Ülkelerden Toplanan Toprak Örneklerinin Spektrometrik Analiz Sonuçları.....	150
<b>Çizelge 5.2.</b> İstanbul ve Tekirdağ İllerine Ait Topraktaki Aktivite Konsantrasyonu.....	151
<b>Çizelge 5.3.</b> İçme Suları İçin Saptanan Aktivite Limitleri.....	152
<b>Çizelge 5.4.</b> Bölge ve Ülkelere Göre Ev Dışı Havada Soğurulmuş Gama Radyasyon Değerleri.....	154
<b>Çizelge 5.5.</b> Evlerde ve İşyerlerinde Radon ve Ürünleri İçin Önerilen Eylem Seviyeleri.....	158
<b>Çizelge 5.6.</b> Ülkelere Göre Radon İçin Tavsiye Edilen Üst Limitler.....	158
<b>Çizelge 5.7.</b> Evlerdeki Ev İçi Radon Konsantrasyon Değerleri.....	159

## ŞEKİLLER DİZİNİ

## SAYFA

Şekil 1.1 Enerji spektrumu.....	2
Şekil 1.2 Alfa, Beta, Gama ve X Işınları ve Nötronun Etki Uzaklıkları.....	7
Şekil 1.3 U – 238’in Radyoaktif Bozunum Zinciri.....	9
Şekil 1.4 <sup>235</sup> U (Aktinyum)’in bozunum serisi.....	10
Şekil 1.5 Toryum – 232’in bozunum serisi .....	11
Şekil 1.6 Dünya Geneline Doğal ve yapay Radyasyon Kaynaklarından Maruz Kalınan Radyasyon Dozlarının Oransal Değerleri .....	15
Şekil 1.7 Dünya Geneline Doğal ve Yapay Radyasyon Kaynaklarından Alınan Dozların Oranları .....	15
Şekil 1.8 İnsanlara radyasyon geçiş yolları.....	17
Şekil 1.9 Kozmik Işınlardan 1 saatte Alınan Radyasyon Dozunun Yüksekliğe Göre Değişimi .....	20
Şekil 1.10 Radon Bozunum Serisi .....	34
Şekil 1.11 Binalarda radon giriş yerleri .....	36
Şekil 1.12 Radon gazının havalandırmayla olan değişimi.....	38
Şekil 1.13 Mevsimlere göre radon konsantrasyonlarında olan değişimler.....	38
Şekil 1.14 Günlere göre radon konsantrasyonlarında olan değişimler.....	39
Şekil 1.15 Dünya üzerindeki yüksek doğal fon radyasyon alanları.....	43
Şekil 3.1. Sintilasyon dedektörlü cihaz blok şeması .....	58
Şekil 3.2 ESP – 2.....	60
Şekil 3.3 SPA – 6.....	62
Şekil 3.4 SPA sintilasyon uç(Technology details,CERN).....	62
Şekil 3.5 Yarı iletken dedektör .....	64
Şekil 3.6 Katı hal dedektörünün kesiti.....	65
Şekil 3.7 Saf Germanyum Dedektörlü Gama Spektrometrik Cihazının Çalışma Düzenineği.....	66

<b>Şekil 3.8</b> Saf Germanyum dedektörlü gama spektrometrik cihazının çalışma düzeneği .....	67
<b>Şekil 3.9</b> Marinelli kabı örneği (H1 = 150 mm; H2 = 100 mm; A seviyesinde I = 119.2 mm, W =15.6 mm, B seviyesinde I=120.0 mm, W=14.8 mm; t1=1.9 mm; t2= 2mm).....	69
<b>Şekil 3.10</b> Tipik gama ışın spektrumu.....	71
<b>Şekil 3.11</b> HPGe dedektöründeki bir MCA spektrum için net alan belirlenmesi ....	72
<b>Şekil 3.12</b> Gaz akışlı orantılı sayıcı karakteristik eğrisi .....	74
<b>Şekil 3.13</b> Gaz akışlı orantılı bir sayıcıya ait .....	75
<b>Şekil 3.14</b> LB 770 10 kanallı düşük seviyeli planşet sayıcısı .....	78
<b>Şekil 3.15</b> CR – 39 Radon dedektörü .....	79
<b>Şekil 3.16</b> Boş ve doldurulup, tartılıp etiketlenmiş ve ağız kısmı kapatılmış (seal edilmiş) marinelli kapları.....	82
<b>Şekil 3.17</b> Beher kaplarındaki su örneklerinin buharlaştırma işlemi .....	84
<b>Şekil 3.18</b> Planşetlerdeki su örneklerini buharlaştırma işlemi.....	85
<b>Şekil 3.19</b> Buharlaştırma işlemi sonunda içerisinde tortu (rezidü) bulunan planşet örneği.....	86
<b>Şekil 3.20</b> LB-770 alfa-beta sayım sistemi .....	86
<b>Şekil 3.21</b> Radon ve bozunma ürünlerinin yaydıkları alfa taneciklerinin dedektör üzerinde bıraktıkları izler.....	87
<b>Şekil 3.22</b> Radoslide dedektör tutucu .....	88
<b>Şekil 3.23</b> Radobath Ünitesi .....	89
<b>Şekil 3.24</b> Radosys değerlendirme ünitesi .....	91
<b>Şekil 3.25</b> Mikroskop yardımıyla alfa izlerinin okunması .....	91
<b>Şekil 4.1</b> Adana İl Sınırları İçerisinde Ölçüm Alınan Noktalar.....	99
<b>Şekil 4.2</b> Adana İli Doğal Gama Radyasyon İzo-Dos Haritası (nGy/saat).....	100
<b>Şekil 4.3</b> Adana Toprağı U-238 İzo-Aktivite Haritası Bq/kg.....	108
<b>Şekil 4.4</b> Adana Toprağı Th-232 İzo-Aktivite Haritası Bq/kg.....	109

<b>Şekil 4.5</b> Adana toprağında Ölçüm Alınan Noktalara Göre U-238 ile Th-232'nin karşılaştırması.....	110
<b>Şekil 4.6</b> Adana Toprağı K-40 İzo-Aktivite Haritası Bq/kg.....	111
<b>Şekil 4.7</b> Adana Toprağında Ölçüm Alınan Noktalara Göre K-40 Değerleri.....	112
<b>Şekil 4.8</b> Adana Toprağı Cs-137 İzo-Aktivite Haritası Bq/kg.....	113
<b>Şekil 4.9</b> Adana Toprağında ölçüm Alınan Yerlere Göre Cs-137 Dağılımı.....	114
<b>Şekil 4.10</b> Adana Toprağında ölçüm Alınan Yerlere Göre Ra-226 Dağılımı.....	115
<b>Şekil 4.11</b> Adana Toprağında Ölçüm Alınan Yerlere Göre Pb-214 Dağılımı.....	116
<b>Şekil 4.12</b> Adana Toprağında Ölçüm Alınan Yerlere Göre Bi-214 Dağılımı.....	117
<b>Şekil 4.13</b> Adana Toprağında Ölçüm Alınan Yerlere Göre Ac-228 Dağılımı.....	118
<b>Şekil 4.14</b> Adana Toprağında Ölçüm Alınana Noktalara Göre Tl-208 Dağılımı.....	119
<b>Şekil 4.15</b> Adana İli İçme Sularında Toplam Alfa Radyoaktivite Dağılım haritası Bq/l.....	128
<b>Şekil 4.16</b> Adana İçme Sularında Ölçüm Alınan Yerlere Göre Alfa Radyoaktivite Konsantrasyon Değerleri Bq/l.....	129
<b>Şekil 4.17</b> Adana İlinin Deniz ve Göller Dahil Tüm Sularındaki Alfa Radyoaktivite Konsantrasyonu Bq/l.....	130
<b>Şekil 4.18</b> Adana İçme Sularında Ölçüm Alınan Yerlere Göre Beta Radyoaktivite Konsantrasyonu Bq/l.....	131
<b>Şekil 4.19</b> Adana İçme Sularında Ölçüm Alınan Yerlere Göre Beta Radyoaktivite Konsantrasyon Değerleri Bq/l.....	132
<b>Şekil 4.20</b> Adana İlinin Deniz, Göl ve Nehirler Dahil Tüm Sularındaki Beta Radyoaktivite Konsantrasyonu Bq/l.....	133

<b>Şekil 4.21</b> Adana Evlerinde Kış Aylarında Gözlemlenen Radon Konsantrasyon Değerleri Bq/m <sup>3</sup> .....	137
<b>Şekil 4.22</b> Adana Evlerinde Yaz Aylarında Gözlemlenen Radon Konsantrasyon Değerleri Bq/m <sup>3</sup> .....	140
<b>Şekil 4.23</b> Adana Evlerinde Gözlenen Yaz ve Kış Ayları Arasındaki Radon Konsantrasyon Farkları.....	143

## **SİMGELER VE KISALTMALAR**

**Bq:** Becquere, radyoaktivite birimi

**Ci:** Curie, radyoaktivite birimi

**E:** Enerji (KeV, MeV)

**Gy:** Gray, absorblanmış doz birimi

**R:** Röntgen, radyasyon şiddet birimi

**Sv:** Sievert, eşdeğer doz birimi

**T<sub>1/2</sub> :** Yarılanma süresi

**p:** Piko, alt birim (10<sup>-12</sup>)

**n:** Nano, alt birim(10<sup>-9</sup>)

**μ :** Mikro, alt birim (10<sup>-6</sup>)

**γ :**Alfa parçacığı

**β :** Beta parçacığı

**σ:** Gama parçacığı

**ppm:** Milyonda bir birime verilen isimdir.Parts per million

**ÇNAEM :** Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi

**TAEK :** Türkiye Atom Enerjisi Kurumu

**HpGe :** Yüksek Safılıkta Germanyum

**IAEA :** International Atomic Energy Agency

**ICRP :** International Commission On Radiological Protection

**ICRU:** International Commission On Radiation Units And Measurements

**NCRP:** National Council On Radiation Protection

**TS:** Türk Standartları

**UNSCEAR :**United Nations Scientific Committee On The Effects Of Atomic  
Radiation

**WHO :**Dünya Sağlık Teşkilatı

**TSE :** Türk Standartları Enstitüsü

**İSKİ:** İstanbul Su ve Kanalizasyon İşletmesi

**TEÜL:** Tavsiye Edilen Üst Limit

**MEÜL:** Müsaade Edilen Üst Limit

**EPA :**A.B.D Çevre Koruma Ajansı



**1.GİRİŞ**

Doğal radyoaktivite, yerkabuğunda 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.

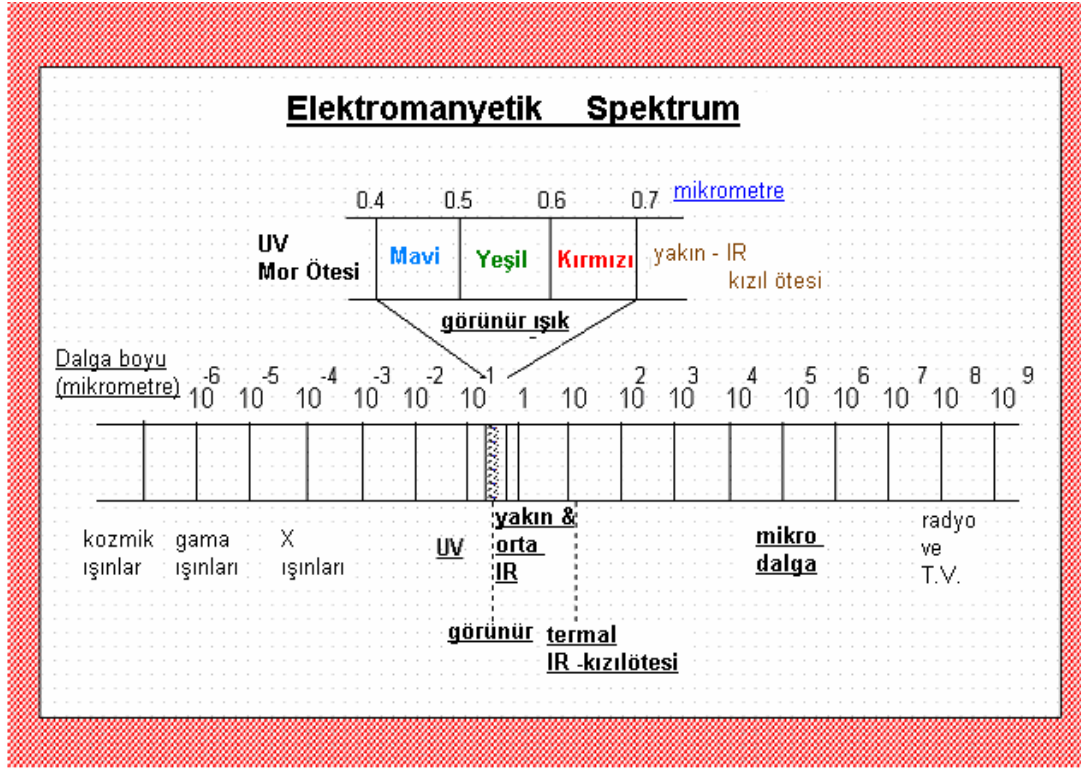
Ayrıca çevresel doğal radyoaktivitenin bilinmesi nükleer kaza esnasında çevrenin hangi oranlarda kirlendiğinin (kontamine) tespiti açısından da önemlidir.

Bu çalışmanın amacı tüm Adana ilini radyolojik açıdan incelemek ve sonuçları değerlendirmektir ve ayrıca, doğal seviyelerini belirlediğimiz radyonüklitlerden, Adana ilinde yaşayan insanların, bir yıl boyunca ne oranlarda radyasyon dozu aldıklarını hesaplamaktır.

**1.1. Radyasyon**

Radyasyon, yüksek hızlı partiküllerin ve elektromanyetik dalgaların enerjisi olarak değerlendirilebilir.

Her gün elektromanyetik dalgaların etkisinde kalınmaktadır. Bu enerjiye örnek olarak, görünür ışık, radyo, televizyon dalgaları ile ultraviyole (UV) dalgaları ve mikrodalga gibi çok geniş bir spektrumu verebiliriz. Şekil 1.1'de kozmik ışınlardan radyo ve T.V. dalgalarına kadar uzanan elektromanyetik enerji spektrumu görülmektedir.



Şekil 1.1. Enerji spektrumu. ([www.lib.utexas.edu/chem/info/ems3.jpg](http://www.lib.utexas.edu/chem/info/ems3.jpg))

### 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 (iyonizasyon) 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.

**1.2. Radyoaktivite ve Radyonüklitler**

Eğer atom çekirdekleri kendiliklerinden bir bozunuma uğruyorlarsa veya bir takım ışınlar yayımlayarak niteliklerini değiştirip bir başka çekirdek durumuna dönüşüyorlarsa bu çekirdeklere “radyoaktif” denir.

Diğer deyişle radyoaktiflik, bazı kararsız izotopların çekirdeklerinin kendiliklerinden ve dışarıdan hiçbir etki olmaksızın başka izotopa veya aynı izotopun başka bir durumuna dönüşmesi ve bu arada kendilerine özgü ışın yayımlamalarıdır.

Radyoaktif elementler, sıklıkla radyoaktif izotoplar veya radyonüklitler olarak adlandırılır.1500’ün üzerinde farklı radyoaktif nüklit vardır.

Bu radyonüklitler 3 genel grupta toplanabilirler.

1-Başlangıçta yani dünyanın oluşumundan önce mevcut olan (Primordial)

2-Kozmik ışın etkileşimleri sonucunda oluşan (Kozmojenik)

3-İnsan üretimi-İnsan aktiviteleri nedeni ile oluşan (doğal olanla kıyaslandığında daha az miktarlarda).

**1.2.1.Başlangıçta Mevcut Olan Radyonüklitler (Primordial)**

Başlangıçtaki radyonüklitler, dünya ve evren yaratıldığı zamanlardan kalmışlardır. Bunların yarı ömürleri çok uzundur.

Başlangıç (Primordial) radyonüklitler,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  serilerine ait olanları ve radyasyonun önemli bir miktarını oluşturan  $^{40}\text{K}$  ve  $^{87}\text{Rb}$  diğer bazı nüklitleri içerir.

Diğer bazı başlangıç nüklitleri,  $^{50}\text{V}$ ,  $^{87}\text{Rb}$ ,  $^{113}\text{Cd}$ ,  $^{115}\text{In}$ ,  $^{123}\text{Te}$ ,  $^{138}\text{La}$ ,  $^{142}\text{Ce}$ ,  $^{144}\text{Nd}$ ,  $^{147}\text{Sm}$ ,  $^{152}\text{Gd}$ ,  $^{174}\text{Hf}$ ,  $^{176}\text{Lu}$ ,  $^{187}\text{Re}$ ,  $^{190}\text{Pt}$ ,  $^{192}\text{Pt}$ ,  $^{209}\text{Bi}$  dur. Çizelge 1.1’de başlıca başlangıç (primordial) nüklitler görülmektedir.

Çizelge 1.1. Başlangıç (primordial) nüklitler ([www.nukeworker.com/](http://www.nukeworker.com/))

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

Kendine özgü ışınım yayımlayan radyoizotop (radyonüklit) doğada bulunuyorsa veya doğada bulunan diğer izotopların bozunmasından oluşuyorsa o zaman buna “doğal radyoaktiflik” denir.

Doğada tanınan yaklaşık 40 kadar doğal radyoizotop vardır. Bunların içinden, birkaçı hariç tutulursa, doğal radyoizotoplar atom numaraları 81-92 arasında değişen ağır çekirdeklerden oluşur. Bu kendiliğinden olma radyoaktif bozunma, çekirdeklerden alfa parçacığı (helyum çekirdeği) veya beta parçacığı yani elektron gibi elektrikçe yüklü parçacıkların yayımlanması şeklinde olur.

Bu bozunmaların sonunda çekirdekler dengeli duruma dönüşürler.

Ağır elementlerden oluşan doğal radyoaktif izotoplar üç seri altında toplanırlar.

Uranyum serisi (  $^{238}\text{U}$  kaynaklı)

Toryum serisi (  $^{232}\text{Th}$  kaynaklı)

Aktinyum serisi (  $^{235}\text{U}$  kaynaklı)

Ayrıca dördüncü bir aile olan Neptinyum serisinin  $^{241}\text{Pu}$  orijinli olduğu ve bir zamanlar mevcut olduğu düşünülmektedir.  $^{241}\text{Pu}$ 'in yarı ömrü 14 yıldır. Bu seride bulunan diğer elementlerin yarı ömürlerinin çok kısa olduğu biliniyor. Neptünyum ailesinin halen bilinen tek elementi  $^{209}\text{Bi}$  olup yarı ömrü  $2,7 \times 10^{17}$  yıldır. Yine bir zamanlar tabiatta mevcut olan ve yarı ömürleri çok kısa olan transuranik elementler, günümüzde reaktörlerde nötronların  $^{238}\text{U}$  ile reaksiyona girmeleri sonucu üretilmektedirler.

Bu radyoaktif ağır element serilerinden farklı olarak tabiatta tek başına bulunabilen ve kendilerine has özelliklere sahip olan bazı doğal radyonüklitler de vardır.  $^{40}\text{K}$  bu grubun en önemlilerindedir. Çünkü, temel doğal radyasyon seviyesine katkısı oldukça fazladır. Çizelge 1.2'de tabiatta tek başına bulunabilen radyonüklitler yarı ömürleri, yayınladıkları radyasyon çeşitleri, sahip oldukları enerjiler ve bağlı bollukları verilmiştir.

Çizelge 1.2. Tabiatta tek başına bulunabilen radyonüklitler (Lowder and Sobon, 1956)

İzotop	T1/2	yayınlanan radyasyon	E ( ke V )	Bağlı Bolluk ( % )
<sup>3</sup> H	12,4 yıl	B <sup>-</sup>	180,0	100
<sup>14</sup> C	5400 yıl	B <sup>-</sup>	155,0	100
<sup>40</sup> K	1,3 x 10 <sup>9</sup> yıl	B <sup>-</sup> γ	1300 1460,8	90 10
<sup>87</sup> Rb	6,1 x 10 <sup>10</sup> yıl	B <sup>-</sup>	250	100
<sup>115</sup> In	10 <sup>14</sup> yıl	B <sup>-</sup>	630	100
<sup>138</sup> La	7 x 10 <sup>10</sup> yıl	B <sup>-</sup> γ	1210 1390	7 93
<sup>147</sup> Sm	6,7 x 10 <sup>11</sup> yıl	α	2180	
<sup>176</sup> Lu	6,7 x 10 <sup>10</sup> yıl	B <sup>-</sup>	425	
<sup>209</sup> Bi	2,7 x 10 <sup>17</sup> yıl	α	3150	

### 1.2.1.1. 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 <sup>234</sup>U, <sup>235</sup>U, <sup>238</sup>U'dir ve ağırlığının % 99,2745'ini <sup>238</sup>U, % 0,7200'ini <sup>235</sup>U ve % 0,0055'ini <sup>234</sup>U oluşturur.

Çok uzun yarı ömre sahip olan ve doğada en çok bolluğa sahip olan <sup>238</sup>U, uranyumun her bir birim kütlesinde çok düşük bozunma oranına sahiptir. Düşük bozunumu nedeniyle aslında doğal olarak oluşan uranyum, gezegen üzerindeki kararsız izotoplar arasındaki en az radyoaktif olan maddelerden biridir.

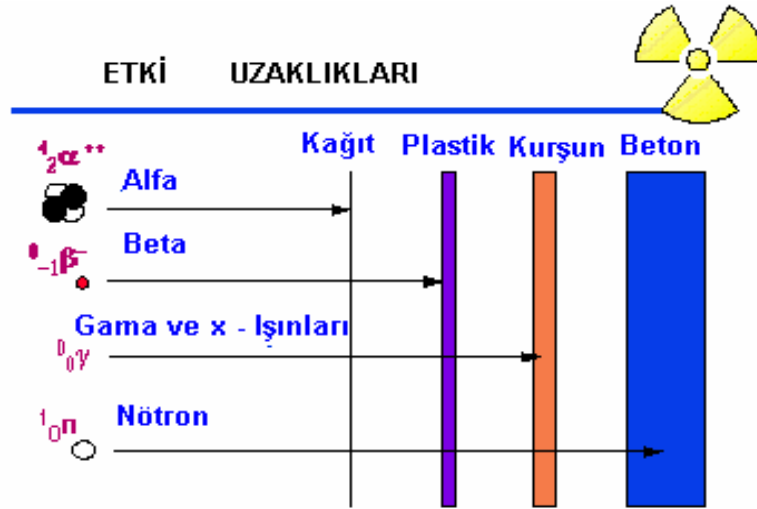
Tüm uranyum izotopları temel olarak alfa parçacıkları yayınlamaktadır. Bu alfa parçacıkları yumuşak doku içerisinde sadece 30 µm ilerleyebilir. Böylece derinin yüzeysel tabakasındaki ölü hücrelere bile ulaşamayabilir.

Sonuç olarak alfa parçacıkları sadece vücut içi kaynaklı ise hücre yapısına zarar verir.

Beta parçacıkları cilt içinde daha büyük bir gericiliğe sahiptir.

Gama ışınları son derece gericidir. Bu nedenle hem iç hem de dış kaynaklı gama ışınları hücre yapısında zarar oluşturur.

Şekil 1.2’de alfa, beta, gama, X ışınları ve nötronların kağıt, plastik, kurşun ve beton üzerindeki etki uzaklıkları gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Alfa, beta, gama ve X ışınları ve nötronun etki uzaklıkları

Çizelge 1.3. Doğal uranyumun radyolojik karakteristikleri  
(<http://www.gulflink.osd.mil/library/randrep/du/mr1018.7.chap1.html#1.1>)

İzotop	Yarı-Ömür (yıl)	Alfa Parçacık Enerjisi MeV (yüzde)	İsotopik (yüzde)	Aktivite (mBq/μgU)	Aktivite Oranı <sup>234</sup> U/ <sup>238</sup> U	Aktivite <sup>235</sup> U/ <sup>238</sup> U
<b>DOĞAL</b>					1,00	0,048
<sup>238</sup> U	4,468 x 10 <sup>9</sup>	4,147 (23)	992,745	12,40		
		4,196 (77)				
<sup>234</sup> U	2,450 x 10 <sup>5</sup>	4,724(28)	0,0055	12,40		
		4,776 (72)				
<sup>235</sup> U	7,037 x 10 <sup>8</sup>	4,364 (11)	0,7200	0,60		
		4,395 (55)				
<b>Toplam</b>				25,40		

Tüm uranyum izotoplarında bazı zamanlarda alfa parçacıkları dışında radyasyonun diğer formları da görülebilir. Bunun nedeni, uranyum izotoplarının diğer radyoaktif izotoplara dönüşmesidir. Çizelge 1.3’de doğal uranyumun radyolojik karakteristikleri verilmiştir.

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.



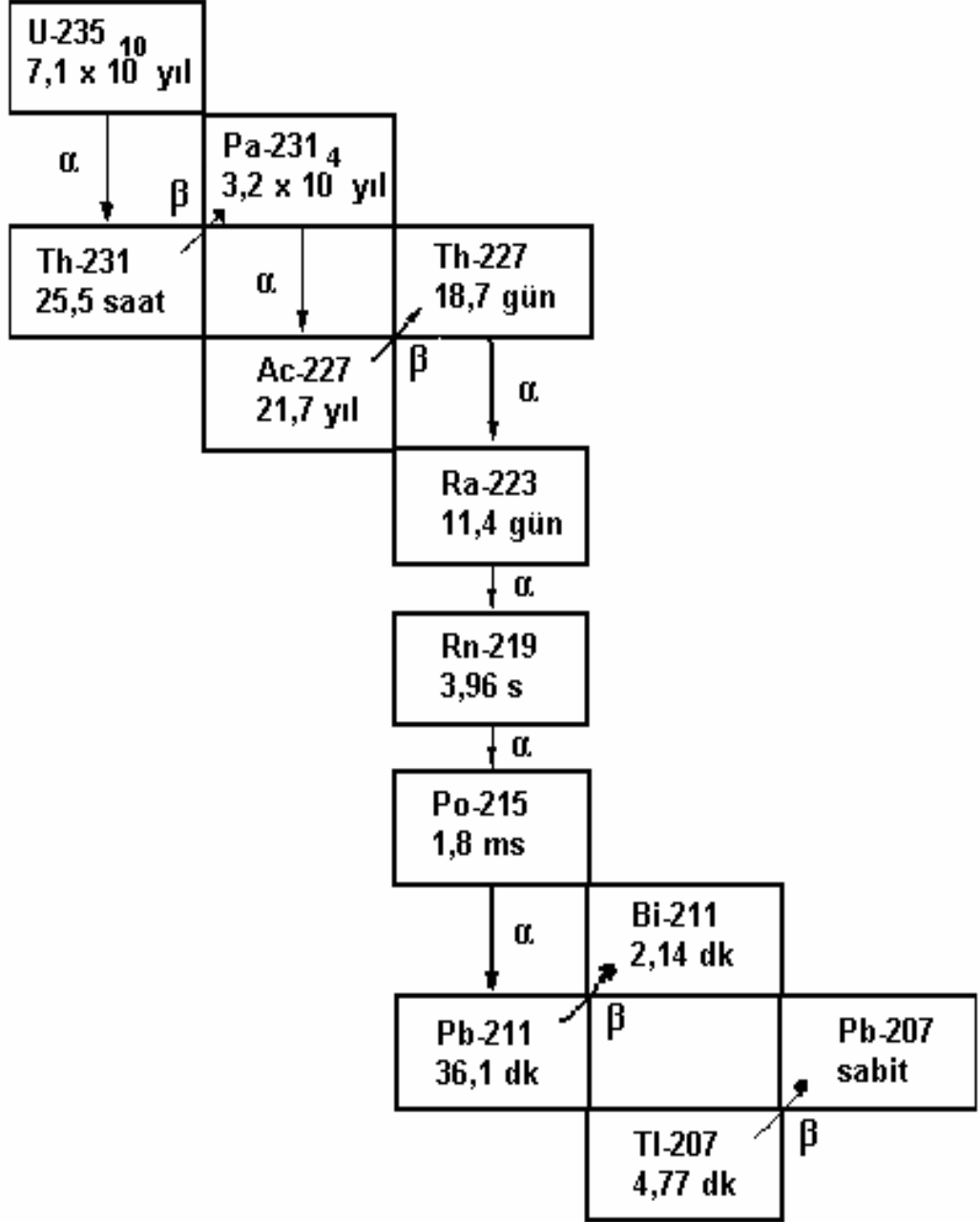
## 1.2.1.1.(1). U-238

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

Şekil 1.3'de  $^{238}\text{U}$ 'in radyoaktif bozunum zinciri verilmiştir.

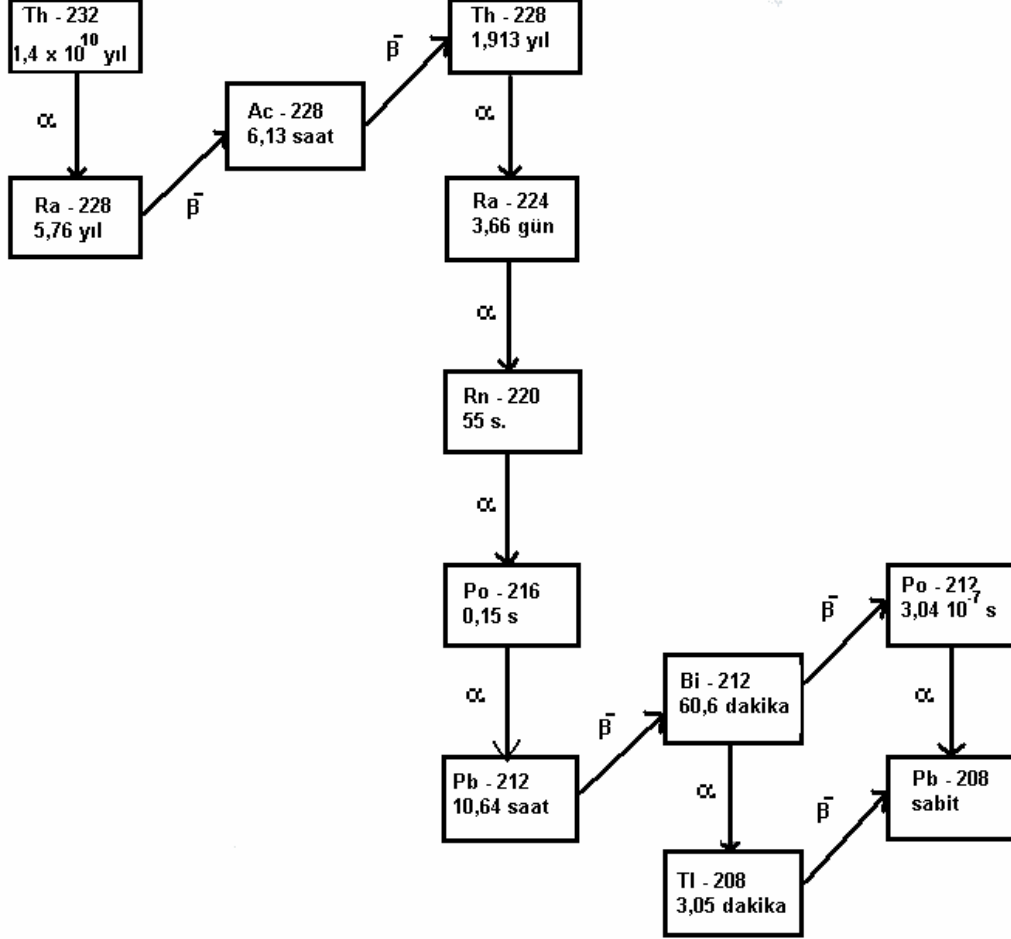
URANYUM - 238		
Radyasyon Çeşidi	Nüklid	Yarı Ömür
	uranyum - 238	4,47 milyon yıl
$\alpha$	toryum - 234	24,1 gün
$\beta$	protaktinyum - 234m	1,17 dakika
$\beta$	uranyum - 234	245000 yıl
$\alpha$	toryum - 230	8000 yıl
$\alpha$	radyum - 226	1600 yıl
$\alpha$	radon - 222	3,823 gün
$\alpha$	polonyum - 218	3,05 dakika
$\alpha$	kurşun - 214	26,8 dakika
$\beta$	bizmut - 214	19,7 dakika
$\beta$	polonyum - 214	0,000164 saniye
$\alpha$	kurşun - 210	22,3 yıl
$\beta$	bizmut - 210	5,01 gün
$\beta$	polonyum - 210	138,4 gün
$\alpha$	kurşun - 206	sabit

Şekil 1.3. U – 238'in radyoaktif bozunum zinciri.

1.2.1.1.(2).  $^{235}\text{U}$  (Aktinyum) Serisi

Şekil 1.4.  $^{235}\text{U}$  (Aktinyum)'in bozunum serisi  
(<http://www.gulflink.osd.mil/library/randrep/du/mr1018.7.appb.html>)

## 1.2.1.2. Toryum- 232



Şekil 1.5. Toryum – 232’in bozunum serisi (UNSCEAR Report, 1982 )

Toryum- 232, 12 nüklit serisinin başıdır. Şekil 1.5’de  $^{232}\text{Th}$ ’nin radyoaktif bozunum zinciri verilmiştir.

$^{232}\text{Th}$  ve  $^{238}\text{U}$  serileri güçlü benzerlikler gösterirler; onlar aynı elementin (radyum, radon, kurşun, bizmut, polonyum) izotoplarını ve büyük oranda  $\alpha$  yayıcılarını içerir. İki seri arasındaki temel fark,  $^{232}\text{Th}$ ’nin zincirdeki çok uzun ömürlü tek radyonüklit olmasıdır.

$^{232}\text{Th}$  serileri üç alt seriye ayrılır;

- $^{232}\text{Th}$  kendisi
- $^{228}\text{Ra} \rightarrow ^{224}\text{Ra}$
- $^{220}\text{Rn} \rightarrow ^{208}\text{Pb}$

**1.2.1.3. Radyum- 226**

Radyumun temel doğal kaynağı uranyum ve toryumdur.

Radyum- 226 bir alfa ( $\alpha$ ) 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,  $^{222}\text{Rn}$  oluşumunda bir üreteç görevi yapar ve genellikle radon, kısa yarı ömürlü bozunma ürünleri ile denge halinde bulunur.

**1.2.1.4. Potasyum - 40**

Potasyum, temel bir elementtir ve vücutta yaşamsal bir öneme sahiptir.

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

**1.2.2. Kozmik Işımların Etkileşimi Sonucu Oluşan Radyonüklitler (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 nüklitler üretilir. Bunlar uzun yarı ömürlüdür fakat başlangıç nüklitlerine kıyasla ömürleri daha kısadır. Çizelge 1.4'de önemli bazı kozmojenik nüklitler verilmiştir.

Çizelge 1.4. Bazı kozmojenik nüklitler ([www.nukeworker.com/](http://www.nukeworker.com/))

Kozmojenik Nüklitler				
Nüklid	Sembol	Yarı Ömür	Kaynak	Doğal Aktivite
<b>Karbon 14</b>	$^{14}\text{C}$	5730 yıl	$^{14}\text{N}(n,p)^{14}\text{C}$ arasındaki kozmik ışın etkileşimleri	Organik materyallerde 6 pCi/g (0,22 Bq/g)
<b>Tritiyum 3</b>	$^3\text{H}$	12,3 yıl	N ve O arasındaki kozmik ışın etkileşimleri; $^6\text{Li}(n,\text{alfa})^3\text{H}$ , kozmik ışınlardan parçalanma	0,032 pCi/kg (1,2 x 10 <sup>-3</sup> Bq/kg)
<b>Berilyum 7</b>	$^7\text{Be}$	53,28 gün	N ve O arasındaki kozmik ışın etkileşimleri	0,27 pCi/kg (0,01 Bq/kg)

Diğer bazı kozmojenik radyonüklitler:  $^{10}\text{Be}$ ,  $^{26}\text{Al}$ ,  $^{36}\text{Cl}$ ,  $^{80}\text{Kr}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{32}\text{Si}$ ,  $^{39}\text{Ar}$ ,  $^{22}\text{Na}$ ,  $^{35}\text{S}$ ,  $^{37}\text{Ar}$ ,  $^{33}\text{P}$ ,  $^{32}\text{P}$ ,  $^{38}\text{Mg}$ ,  $^{24}\text{Na}$ ,  $^{38}\text{S}$ ,  $^{31}\text{Si}$ ,  $^{18}\text{F}$ ,  $^{39}\text{Cl}$ ,  $^{38}\text{Cl}$ ,  $^{34\text{m}}\text{Cl}$

### 1.2.3. İnsan Üretimi Radyonüklitler

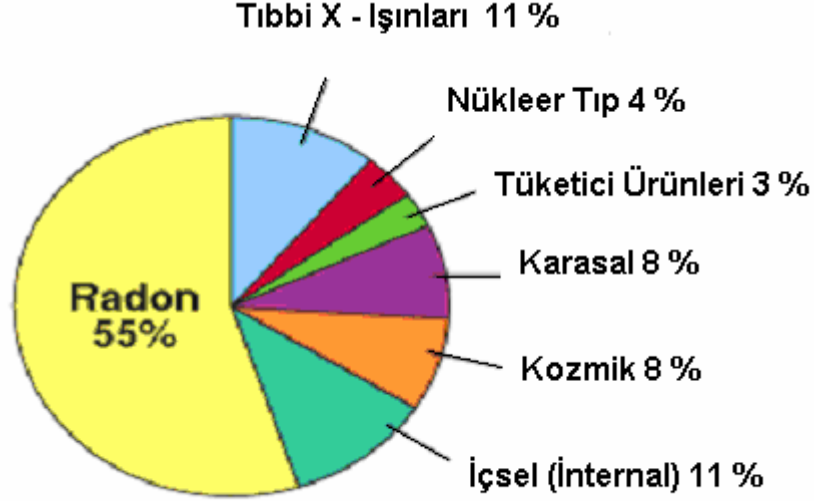
İnsanlar doğal envantere eklenmiş olarak uzun yıllardır reaktörlerde, tıpta ve savaş silahlarında radyoaktif maddeler kullanmıştır. Miktarları doğal miktarlara göre küçüktür ve nüklitlerin çoğu kısa yarı ömürlüdür.

Nükleer silahların test edilmesinin durdurulmasıyla belirgin bir azalma görülmüştür. Çizelge 1.5’de insan üretimi olan radyonüklitler verilmiştir.

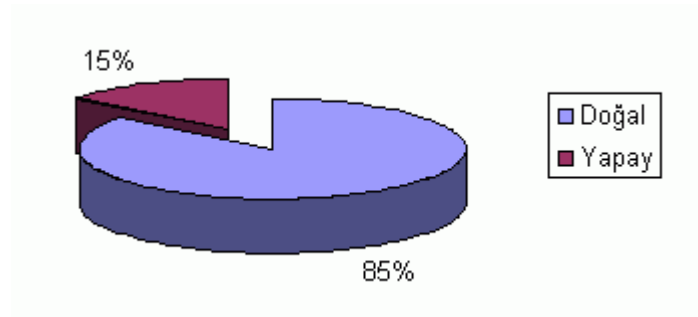
Çizelge 1.5. İnsan üretimi olan nüklitler ([www.nukeworker.com/](http://www.nukeworker.com/))

İnsan Üretimi Nüklitler			
Nüklid	Sembol	Yarı Ömür	Kaynak
<b>Tritiyum</b>	$^3\text{H}$	12,3 yıl	Savaş silahı, fisyon reaktörlerinde
<b>İyot 131</b>	$^{131}\text{I}$	8,04 gün	Savaş silahı test materyali, fisyon reaktörleri, tiroid hastalıklarının teşhis ve tedavisinde kullanılmaktadır.
<b>İyot 129</b>	$^{129}\text{I}$	$1,57 \times 10^7$ yıl	Savaş silahı , fisyon reaktörlerinde
<b>Sezyum 137</b>	$^{137}\text{Cs}$	30,17 yıl	Savaş silahı , fisyon reaktörlerinde
<b>Stronsiyum 90</b>	$^{90}\text{Sr}$	28,78 yıl	Savaş silahı , fisyon reaktörlerinde
<b>Teknetyum 99</b>	$^{99}\text{Tc}$	$2,11 \times 10^5$ yıl	$^{99}\text{Mo}$ ürünüdür. Medikal teşhislerde önemli bir radyoaktif materyaldir.
<b>Plutonyum 239</b>	$^{239}\text{Pu}$	$2,41 \times 10^4$ yıl	$^{238}\text{U}$ ’in nötron bombardımanında üretilmektedir. ( $^{238}\text{U} + n \rightarrow ^{239}\text{U} \rightarrow ^{239}\text{Np} + \beta \rightarrow ^{239}\text{Pu} + \beta$ )

## 1.3. Doğal Fon (Background) Radyoaktivite



Şekil 1.6. Dünya genelinde doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozlarının oransal değerleri ( NCRP Report,1987)



Şekil 1.7. Dünya genelinde doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından alınan dozların oranları ([www.taek.gov.tr](http://www.taek.gov.tr))

Canlı ile radyasyon ilişkisi biyosferde ilk canlı organizmanın oluşumu ile başlamıştır. İnsanlar, sürekli olarak biyosferde bulunan, doğal radyoaktif maddelerden yayınlanan iyonlaştırıcı radyasyonlar ve güneş sisteminden kaynaklanan kozmik ışınların etkisi altında kalarak yaşamlarını sürdürmektedir.

Dünyanın oluşumuyla birlikte tabiatta yerini alan çok uzun ömürlü (milyarlarca yıl) radyoaktif elementler yaşadığımız çevrede normal ve kaçınılmaz olarak kabul edilen doğal bir radyasyon düzeyi oluşturmuşlardır. Geçtiğimiz

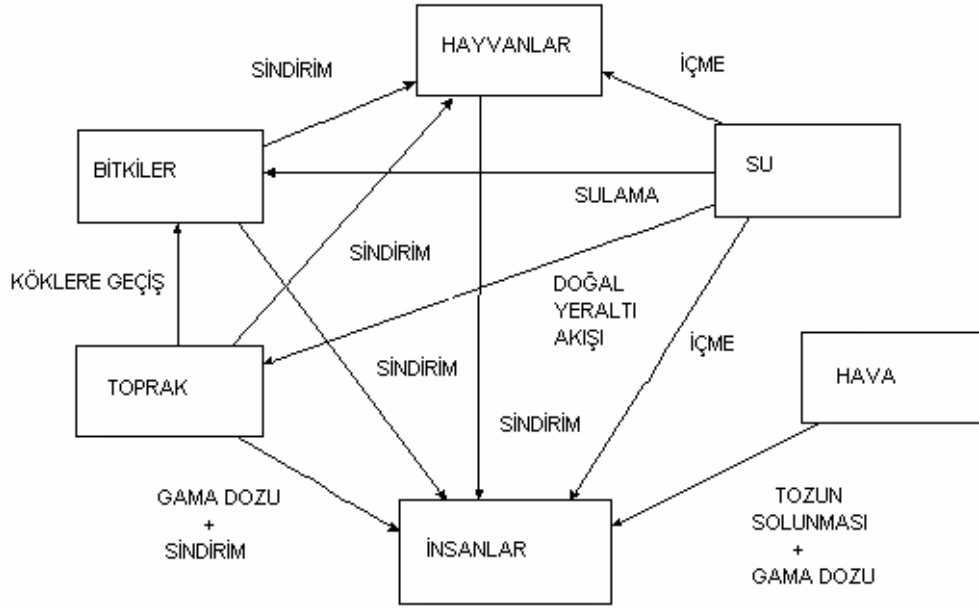
yüzyılda bu doğal düzey, nükleer bomba denemeleri ve bazı teknolojik ürünlerin kullanımını ile bir hayli artış göstermiştir. Maruz kalınan doğal radyasyon seviyesinin büyüklüğünü belirleyen bir çok neden vardır. Yaşanılan yer, bu yerin toprak yapısı, barınılan binalarda kullanılan malzemeler, mevsimler, kutuplara olan uzaklık ve hava şartları bu nedenlerden bazılarıdır. Yağmur, kar, alçak basınç, yüksek basınç ve rüzgar yönü gibi etkenler de doğal radyasyon seviyesinin büyüklüğünü belirler.

İnsanlar, hayatın bir parçası olarak dış uzay ve güneşten gelen kozmik ışınlar, yer kabuğunda bulunan radyoizotoplar dolayısıyla toprak ve yapı malzemeleri, su ve gıdalar gibi doğal kaynaklardan ışınlanmaktadır. Bunlara ilave olarak enerji üretimi, tıp, endüstri, araştırma, tarım, hayvancılık gibi pek çok alanda kullanımı kaçınılmaz olan yapay kaynaklar nedeni ile doz almaktadır. Yaşam standartları, yaşadıkları ortamların fiziksel özellikleri ve coğrafi şartlara bağlı olarak değişiklik göstermekle birlikte dünya genelinde kişi başına yaklaşık **2,8 mSv** yıllık doza maruz kalınmaktadır.

Dünya nüfusunun aldığı dozlara en büyük katkıyı, doğal radyasyonun vermesi nedeni ile insanların doğal kaynaklardan aldığı radyasyon miktarları özel bir öneme sahiptir. Şekil 1.6 ve Şekil 1.7’de Dünya genelinde doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından alınan dozların oransal değerleri gösterilmiştir.

Doğal radyoaktiviteden, atomun çekirdek yapısının açıklanması, dünya yaşının tahmini ve okyanusların dibinde bulunan sediment oluşum oranlarının ölçülmesi gibi çeşitli alanlarda faydalanılır. Çevresel örneklerde doğal radyoaktivite seviyelerini belirleme çalışmaları, nükleer enerjinin insanoğlunun hizmetine girmesi ve nükleer santrallerde üretilen radyoaktif maddelerin çevreye verdikleri zararların araştırılmaya başlanması ile hız kazanmıştır. Bu tür çalışmalar, hem doğal radyoaktivite seviyelerinin belirlenmesi hem de nükleer santrallerin kurulduğu bölgelere yakın oturan insanların çevresel doğal radyasyonun yanı sıra nükleer santrallerden kaynaklanan radyasyona da hangi oranlarda maruz kaldıklarının tespiti açısından önemlidir. Şekil 1.8’de insanlara radyasyon geçiş yolları gösterilmiştir.





Şekil 1.8. İnsanlara radyasyon geçiş yolları

## 1.4. Doğal Radyasyon Kaynakları

### 1.4.1. Kozmik Radyasyon

Doğal radyasyonun bir kısmını uzaydan gelen kozmik ışınlar oluşturur.

Uzaya iyonlaştırıcı radyasyon etki eder. Radyasyon değişik kaynak ve enerjilere sahip çeşitli yüklü parçacıklardan oluşur.

Kozmik ışınların kaynağı tartışma konusudur. Bir görüş bunların yoğunluklu olarak galaksimizden geldiğini savunurken, diğer bir görüş galaksimiz dışından geldiğini savunmaktadır. Güneş de kozmik radyasyonu bir miktar artırır. Kaynağı bilinmeyen miktarı hemen hemen sabitken, güneşten gelenin miktarı güneşteki patlamaların olduğu günlere göre değişir.

Atmosfer ve dünyanın manyetik alanı, dünya üzerine ulaşan kozmik radyasyona karşı bir zırh gibi davranır.

Kozmik ışınların büyük bir kısmı, dünya atmosferinden geçmeye çalışırken tutulurlar. Sadece küçük bir miktarı yerküreye ulaşır.

Kutup yakınlarına ekvatora oranla daha fazla kozmik ışın gelir. Bu ışınlar, atmosfere nüfuz ettiklerinde karmaşık reaksiyonlara uğrarlar ve atmosfer tarafından az miktarlarda tutulurlar. Bu nedenle yeryüzüne doğru yükseklik azaldıkça doz miktarı da azalır.

İnsanların büyük çoğunluğu yüksekliği az olan bölgelerde yaşadıkları için kozmik radyasyon nedeni ile maruz kaldıkları dozlarda fazla farklılıklar gözlenmez.

Kozmik radyasyon binalardan bile geçebilme özelliğine sahiptir. Bir dağın tepesinde veya havada yol alan bir uçakta bulunan bir kişi, deniz seviyesinde bulunan bir kişiden çok daha fazla kozmik ışına maruz kalır. Bu yüzden bir pilot, uçuş süresi boyunca, deniz seviyesinde çalışan bir kişinin maruz kaldığı doğal radyasyon düzeyinden çok daha fazla bir radyasyon dozuna maruz kalır. Uçarken aldığımız yıllık doza, ne kadar sıklıkla uçtuğumuz, toplam uçuş sayısı ve uçuş şekline bağlı olarak ekstra birkaç mrem eklenebilir.

Yaklaşık olarak her 6,000 feet'de radyasyon dozu 2 katına çıkar.

Böylece ortalama üzerinden deniz seviyesinde oturan bir kimse yaklaşık olarak 26 mrem, deniz seviyesinin yaklaşık 2 mil üstünde yaşayan bir kimse ise yaklaşık beşte biri kadar fazla bir doz alır. 37,000 feet'de bir jetle seyahat eden bir yolcu aynı zaman uzunluğunda deniz seviyesinde ayakta duran bir kişiye göre kozmik radyasyondan yaklaşık 60 kat daha fazla doz alır. Şekil 1.9'da kozmik ışınlardan 1 saatte alınan radyasyon dozunun yüksekliğe göre değişimi verilmiştir.

Kozmik radyasyonun yüksekliğe göre değişiminden, alınan yıllık doz kolaylıkla hesaplanabilir.

Tipik radyasyon doz oranları:

4 µR/saat Kuzeydoğu-U.S.A

20 µR/saat 15,000 feet'de

3000 µR/saat 55,000 feet'de

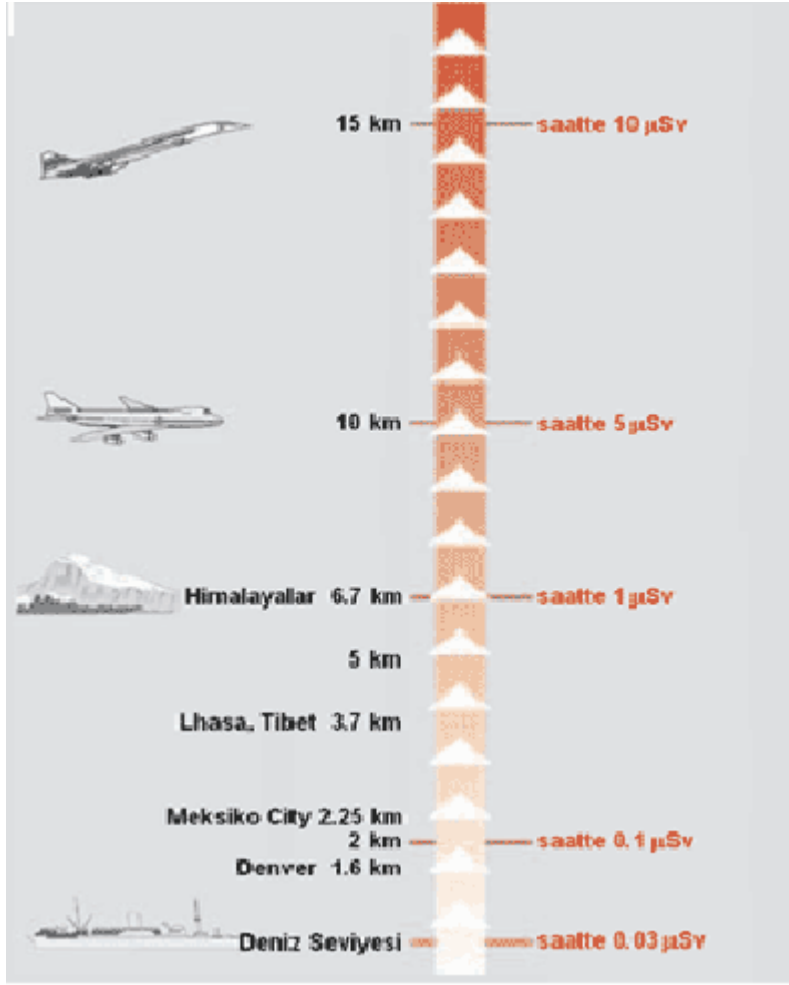
Kutuplardan ekvatora giderken deniz seviyesindeki kozmik radyasyon oranlarında sadece % 10'luk bir azalma olur fakat 55,000 feet'de bu azalma % 75 olur.

Bunda birincil (primer) kozmik radyasyon üzerinde Dünyanın ve Güneşin jeomanyetik alanının etkileri vardır.

Çizelge1.6. Normal güneş şartları altında seston yavaş ve seston hızlı uçaklarda uçan bir kişi için hesaplanan kozmik ışın dozları (<http://www.nukeworker.com/>)

ROTA	36,000 ft (11 km)'de			62,000 ft (19 km)'de		
	Seston Yavaş Uçak (Subsonik)			Seston Hızlı Uçak (Süpersonik)		
	Uçuş Süresi (saat)	Her Yolculuk Süresince Alınan Doz		Uçuş Süresi (saat)	Her Yolculuk Süresince Alınan Doz	
		mrad	µGy		mrad	µGy
Los Angeles - Paris	11,1	4,8	48	3,8	3,7	37
Chicago-Paris	8,3	3,6	36	2,8	2,6	26
New York - Paris	7,4	3,1	31	2,6	2,4	24
New York-Londra	7,0	2,9	29	2,4	2,2	22
Los Angeles-New York	5,2	1,9	19	1,9	1,3	13
Sidney - Akapulko	17,4	4,4	44	6,2	2,1	21

Çizelge 1.6'da normal güneş şartları altında seston yavaş ve seston hızlı uçaklarda uçan bir kişi için hesaplanan kozmik ışın dozları verilmiştir. ([www.nukeworker.com/](http://www.nukeworker.com/))



Şekil 1.9. Kozmik ışınlardan 1 saatte alınan radyasyon dozunun yüksekliğe göre değişimi ([www.taek.gov.tr](http://www.taek.gov.tr)).

Gerçekte kozmik radyasyon birincil (primer) ve ikincil (sekonder) olmak üzere iki kısma ayrılmıştır .

Dış uzaydan dünya atmosferine giren yüksek enerjili radyasyon birincil (primer) kozmik ışınlar olarak bilinir. Bunlar, atmosferde atom çekirdekleri ile etkileşmeye girdiğinde ikincil (sekonder ) kozmik ışınlar olarak adlandırılan ikincil parçacıklar ve elektromanyetik radyasyon üretilir.

**1.4.1.1. Birincil ( Primer ) Kozmik Işımlar**

Birincil (primer) kozmik radyasyon, muhtemelen yüksek enerjili parçacıklardan ( $10^8$  eV üstü) oluşur ve bunlar genel olarak bazı büyük parçacıklarla protonlardır.

Bunların büyük bir yüzdesi güneş sistemimizin dışından gelenlerdir ve uzay içinden geldikleri bulunmuştur. Birincil (primer) kozmik radyasyonun bazıları, güneş patlamaları sırasında üretilmiş olup güneşimizden gelirler.

Bu radyasyonların az bir miktarı atmosferle etkileşerek dünya yüzeyine etki eder.

**1.4.1.1.(1). Birincil (Primer) Galaktik Kozmik Işımlar**

Galaktik kozmik ışınlar, güneş sisteminin dışında oluşur ve onların genellikle yıldızlar arası parıltıların (flares), süpernova patlamalarının, pulsar hızlandırıcı yada galaktik çekirdek patlamalarının bir sonucu olarak hızlandırılmış yada üretilmiş olduğuna inanılır.

Yıldızlararası uzayın manyetik alanı, galaksimizdeki kozmik ışınları içerir ve bunlar yaklaşık 200 milyon yıllık bir zaman diliminden bu yana vardılar.

Kozmik ışın parçacıklarının enerjileri çoğunlukla  $10^2$  ve  $10^5$  MeV arasındadır fakat daha yüksek değerlere de ulaşabilirler.

Galaktik kozmik ışınların bir kısmı dünyanın jeomanyetik alanından da etkilenir ve böylece atmosfere ulaşamazlar. Birincil (primer) galaktik kozmik ışınların yaklaşık %10'luk bir kısmı  $^4\text{He}$  iyonları ile elektron, proton, nötrinolar ve küçük oranda daha ağır parçacıklar ile birlikte büyük miktarlarda yıldızlararası uzaydan güneş sistemine giren yüksek enerjili protonları içerir.

**1.4.1.1.(2). Birincil ( Primer ) Solar Kozmik Işımlar**

Güneş ışınmaları esnasında çok sayıda yüklü parçacık, temelde proton ve alfa parçacıkları serbest bırakılır. Fakat bu parçacıklar kısmen düşük enerjilidirler ve genellikle dünya yüzeyindeki radyasyon dozunda önemli bir artışa neden olmazlar.

### **1.4.1.2. İkincil (Sekonder) Kozmik Işımlar**

Birincil (primer) kozmik ışın parçacıkları, atmosferde ilerlerken havada var olan atom çekirdekleriyle nükleer reaksiyona girerek nötron, proton, pion, kaon ve  $^3\text{H}$ ,  $^7\text{Be}$ ,  $^{10}\text{Be}$ ,  $^{22}\text{Na}$ , ve  $^{24}\text{Na}$  gibi reaksiyon ürünü olan kozmojenik nüklitler üretilir.

Oluşan yüksek enerjili proton, nötron ve pionların da havadaki çekirdeklerle reaksiyona girmesi sonucunda ikincil parçacıklar oluşur. Bu işlem bir çağlayan (cascade) işlemi olarak adlandırılır

Proton ve nötronlar daha alt atmosferdeki soğurulmuş doz oranlarına önemli bir katkı sağlar. Nötronlar elastik çarpışmalarla enerji kaybederler ve termal olduklarından,  $^{14}\text{N}$  ile etkileşerek  $^{14}\text{C}$  nüklidini oluştururlar.

## **1.4.2. Karasal Radyasyon**

### **1.4.2.1. Topraktaki Doğal Radyoaktivite**

Dünyanın jeolojik yapısı incelendiğinde toprak tabakasının hemen altında kaya tabakasının bulunduğu görülür. Bu kaya tabakasının karasal radyoaktiviteye sebep olduğu tahmin edilmektedir. Özellikle gama radyasyonunun önemli bir kısmının, 0-30 cm derinlikteki yüzey tabakadan kaynaklandığı bilinmektedir.

$^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  gibi radyonüklitlerin toprakta bulunma miktarları toprağın kökenini oluşturan kaya çeşidine bağlıdır. Yüksek radyasyon seviyeleri granit, volkanik, fosfat gibi volkanik kökenli kayalarda ve tuz kayalarında, düşük radyasyon seviyeleri de tortul kayalarda görülür. Fakat bazı katmanlarına ayrılabilen tortul kaya (tortul şist) ve fosfat kayalarının da nispeten yüksek radionüklit içeriğine sahip olması beklenir. Çizelge 1.7'de çeşitli kayalardaki uranyum konsantrasyonları verilmiştir.

Çizelge 1.7. Çeşitli kayalardaki ortalama uranyum konsantrasyonu (Köksal; Çelebi, 2003)

<b>KAYA TİPLERİ</b>	<b>URANYUM KONSANTRASYONU (ppm)</b>
VOLKANİK KAYALAR	3,0
FOSFAT KAYALAR (FLORİDA)	120,0
FOSFAT KAYALAR (KUZEY AFRİKA)	20-30
GRANİT	4,0
KİREÇTAŞI	1,3
TORTUL KAYALAR	1,2

Bu kayalar çevresel şartlara bağlı olarak ufalanarak çok küçük parçalar halinde yağmur ve yeraltı sularıyla toprağa karışırlar. Bu şekilde topraktaki aktivitenin artmasına neden olurlar.

Bazı zamanlarda yapılan tarımsal çalışmalar ve topraktaki verimi artırmak için kullanılan suni gübreler <sup>32</sup>P içermesi nedeni ile topraktaki radyoaktivite seviyesini arttırmaktadır.

Bazı bölgelerde çok geniş alanlara yayılmış olan granit kayaları önemli miktarda toryum içermektedir. Yapılan radyometrik araştırmalar göstermiştir ki, bu tip kayaların bulunduğu alanlarda ölçülen gama radyasyonu oldukça yüksektir.

Toprakta bulunan radyoaktivite biyokimyasal işlemlerle bir miktar değişir.

Topraktaki organik maddelerin ayrışması, toprağın alt tabakalarındaki oksidasyonlar ile başlar. Bu oksidasyonlar ile alt tabakalarda mevcut olan uranyum zamanla azalır.

Toprakta bulunan bir çeşit asit olan hümik asit, kayaların parçalanmasında ve bu parçaların sular vasıtasıyla toprağa karışmasında önemli bir rol oynar.

Topraktaki hareketlilik demir oksitlerin ve diğer elementlerin oluşması ile devam eder. Bazı topraklarda oluşan asit, ortamda bulunan kalsiyum karbonat vasıtası ile radyonüklitlerin tutulmasını engeller. Topraktaki bu gelişim evreleri kayalardaki radyonüklit konsantrasyonlarını ve dolayısıyla dış radyasyon seviyelerini de azaltır.

Aktivite seviyeleri, içerisinde bulunan mineral oluşumu ve yoğunluğuna bağlı olarak toprak cinsine göre değişiklik gösterir.

1 foot derinliğe ve 1mil kare taban alan şekillenime sahip toprak hacminde, doğal radyoaktivitenin hangi miktarlarda bulunduğu Çizelge 1.8’de verilmiştir.

Toplam hacim  $7,894 \times 10^5 \text{ m}^3$  dür ve aktivite değerleri verilmiştir..

Aktivite seviyeleri yoğunluk ( $\sim 1,58 \text{ g/cm}^3$ ), mineral yatağı ve toprak tipine bağlı olarak değişir.

Çizelge 1.8. 1 foot derinlikli ve 1 mil kare taban alan şekillenimli toprak hacminde bulunan doğal radyoaktivite miktarları (Naturally occurring radioactive material NORM & S, INC)

<b>DOĞAL RADYOAKTİVİTE</b>			
<b>Nüklit</b>	<b>Hesaplama da Kullanılan Aktivite</b>	<b>Nüklit Kütlesi</b>	<b>Aktivite</b>
<b>Uranyum</b>	0,7 pCi/gm (25 Bq/kg)	2,200 kg	0,8 curie (31 GBq)
<b>Toryum</b>	1,1 pCi/g (40 Bq/kg)	12,000 kg	1,4 curie (52 GBq)
<b>Potasyum 40</b>	11 pCi/g (400 Bq/kg)	2000 kg	13 curie (500 GBq)
<b>Radyum</b>	1,3 pCi/g (48 Bq/kg)	1,7 g	1,7 curie (63 GBq)
<b>Radon</b>	0,17 pCi/gm (10 kBq/m <sup>3</sup> ) toprak	11 µg	0,2 curie (7,4 GBq)



Topraktaki  $^{40}\text{K}$ 'ın aktivite konsantrasyonu,  $^{238}\text{U}$  yada  $^{232}\text{Th}$ 'den daha yüksek miktarlarda değişir.

#### **1.4.2.2. Yüzeğe Yakın Atmosferdeki Doğal Radyoaktivite**

Doğal kaynaklardan çıkan radyoaktif toz ve partiküller, kozmik etkileşimler, nükleer kazalar ve nükleer denemeler, yüzeğe yakın atmosferdeki radyoaktiviteyi oluşturmaktadır. Nükleer patlamalar sonucunda fisyon ürünleri, kalıntı fisil malzeme ve aktivasyon ürünleri yüksek sıcaklıkta atmosfere karışırlar. Yeryüzüne yakın patlamalarda bu karışıma toprak ve kaya parçaları da katılır. Karışım havada yükselirken soğuma nedeniyle katılarak çok çeşitli boyutta radyoaktif partiküller oluşur. Bu partiküllerden geniş çapta olanları birkaç yüz metre uzaklığa kadar olan alan içerisine yağarak bölgesel serpinti meydana getirirler. Küçük çaptaki parçacıklar aşağı troposfer tabakasına girerek yeryüzünde geniş çapta radyoaktif kirlenmeye neden olurlar.

Nükleer denemeler özellikle atmosferde, 30 km den daha yüksek tabakalarda aşırı derecede radyoaktif kirlenmeye neden olmaktadır. Atmosferde oluşan bu radyoaktif kirlilik bazı atmosferik şartlarda yere çok yakınlaşmakta ve insanlar tarafından teneffüs edilmeleriyle bu insanların radyasyona maruz kalmalarına neden olmaktadır. Ayrıca yere düşen bu radyoaktif kirlilik bitkilerin de kirlenmesine yol açmaktadır.

Volkanik patlamalarla yerkabuğunun derinliklerinden atmosfere atılan toz ve küller, rüzgar ve fırtınalarla toprak yüzeyinden havaya kaldırılan tozlar ve termik santrallerde yakıt olarak kullanılan kömürün yanmasıyla havaya atılan kül ve dumanda da radyoaktif maddelerin olduğu bilinmektedir.

Nükleer denemelerle atmosfere atılan radyoaktif maddeler, atmosferde bulunan kozmojenik radyonüklit konsantrasyonlarının artmasına neden olmaktadır.

Bunlar yüzeğe yakın atmosferdeki en önemli iyonizasyon kaynaklarını oluşturmaktadır.

Yerleşim bölgelerinin yüzey havasında yaklaşık  $50 \mu\text{G}/\text{m}^3$  bir toz yükü olduğunu farz edersek ve topraktaki ortalama  $^{238}\text{U}$  aktivite konsantrasyonunu

25 Bq kg<sup>-1</sup> alırsak, yer seviyesindeki havadaki aktivite konsantrasyonu yaklaşık 1,2 µBq m<sup>-2</sup> olarak bulunur.

### **1.4.2.3. Sulardaki Doğal Radyoaktivite**

Dünyadaki tüm sular deniz suyu içerir ve içerisinde de bazı radyonüklidler vardır. Yağmur ve kar suyu gibi meteorolojik sular, doğal sular içerisinde en temiz olanlarıdır. Ancak bunlar da başlıca havayı oluşturan gazları, hidrolojik çevrim sırasında yolu üzerinde rastladıkları bütün maddeleri, çözünürlükleri oranında diğer maddeleri de çözelti veya karışık halde sürüklerler. Şehir ve sanayi bölgeleri yakınına düşen yağmur ve özellikle kar sularında SO<sub>2</sub> ve sülfat asidi bulunur. Bu nedenle, yağmur ve kar suları, radyoaktif ve kimyasal kirlilik açısından önemli bir gösterge olarak kabul edilmektedir.

Bilindiği gibi insanların en çok tükettikleri ve sağlık açısından büyük önem taşıyan tüketim maddesi sudur. Yeryüzündeki sular güneş enerjisi sayesinde sürekli bir döngü halindedir (Hidrolojik çevrim). İnsanlar gereksinimleri olan suyu bu döngüden alırlar ve kullandıktan sonra bu döngüye iade ederler. Bu süreç içerisinde sular fiziksel ve kimyasal kirliliğe maruz kalabilecekleri gibi geçtikleri veya buldukları ortama bağlı olarak radyoaktif maddeler yönünden de kirletilebilirler.

Özellikle yeraltı suları değişik jeolojik oluşumlarla temas halindedir. Bu oluşumların içeriğinde bulunan kimyasal bileşikler suda çözünme derecelerine göre yeraltı sularına az yada çok oranda karışır. Yeraltındaki çeşitli özellikteki jeolojik oluşumlarda değişik oranlarda radyoaktif maddeler de bulunmaktadır. Bu maddeler magmatik oluşumlarda en fazladır. Ayrıca kil gibi tortul kütlelerde de radyoaktif maddelere rastlanmaktadır. Kum, çakıl, kumtaşı, çatlaklı kalker gibi tortul kütlelerde ise çok az miktarda radyoaktif madde bulunmaktadır. Yer kabuğu içindeki doğal radyoaktif maddelerin bulunduğu ortamlardan geçen veya bu ortamlarda bulunan sular radyoaktivite içerir. Yer kabuğu içindeki doğal radyoaktif maddeler; Uranyum (U-238), Toryum (Th-232), Aktinyum serisi radyonüklitler veya onların bozunma ürünlerinden oluşur. Uranyum 238'in bozunması sonucu ortaya çıkan alfa aktif maddelerden başlıcaları, Radon (Rn-222) ve Radyum (Ra-226) dir. İçme sularının bir

kısmı çözünmüş madde olarak içerdikleri potasyumun miktarına bağlı olarak da beta aktiftirler. Potasyum içinde doğal olarak çok az bir bollukta (% 0,0118) Potasyum (K-40) bulunur. Ancak K-40'ın sularındaki beta aktivitesi düşük seviyededir.

Çevre ve gıda örneklerinin radyoaktif kirlenmesine neden olabilen bu doğal radyoaktif maddelerin dışında, doğada varolmayan ancak atmosferde yapılan nükleer denemeler, nükleer kazalar sonucu ortaya çıkan birçok radyonüklit stronsiyum (Sr-90, Sr-89), sezyum (Cs-137) vb. radyoaktif yağışlarla yeryüzüne inerek radyoaktif kirlenmeye sebep olur. Ayrıca nükleer ve radyolojik kuruluşlardan çıkan radyoaktif atıklar için gerekli önlemlerin alınmaması ve bunların denetimsiz olarak çevreye verilmesi de çevre kirliliğine neden olmakta, içme suyu kaynakları da bundan payını almaktadır.

Nükleer silah denemelerinin havada yapılmasının yasaklanmasından sonra, radyoaktif yağışlar 1970 yılından itibaren azalmaya başlamıştır.

Yüzey sularında akış hızlarının çok güçlü olması, içinde asılı bulunan partiküllerdeki potasyum, rubidyum, kozmik ışın kökenli ve suni radyonüklitleri barındıran kil minerallerinin taşınmasını sağlamaktadır. Akan sulardan çıkan radonun ortamdaki konsantrasyonu atmosfere dağılırken mesafe ile logaritmik olarak azalır.

Yer altı sularında suyun akışı güçlü değildir. Bu sular içerisinde asılı kalan partiküller filtre edilebilirler. Yer altı sularının genel davranışı suyun taşıyıcılık ve çözücülük gibi özellikleri ile açıklanabilir.

Çizelge 1.9'daki okyanus hacimleri 1990 World Almanac'dan hesaplanmıştır. (<http://www.nukeworker.com/>)

$$\text{Pasifik}=6,549 \times 10^{17} \text{ m}^3$$

$$\text{Atlantik}=3,095 \times 10^{17} \text{ m}^3$$

$$\text{Toplam}= 1,3 \times 10^{18} \text{ m}^3$$

Burada kullanılan aktiviteler, Amerika Birleşik Devletleri doğal bilimler akademisinin denizle ilgili çevresel radyoaktivite 1971 değerlerinden elde edilmiştir. ([www.nukeworker.com/](http://www.nukeworker.com/), Radioactivity in the Marine Environment , National Academy of Sciences)

Çizelge 1.9. Okyanuslardaki doğal radyoaktivite (U.S. National Academy of Sciences, 1971 - [www.nukeworker.com/](http://www.nukeworker.com/))

<b>Okyanuslardaki Doğal Radyoaktivite</b>				
<b>Nüklit</b>	<b>Hesaplama Kullanılan Aktivite</b>	<b>Okyanuslar</b>		
		Pasifik	Atlantik	Tüm Okyanuslar
<b>Uranyum</b>	0,9 pCi/L	6 x 10 <sup>8</sup> Ci	3 x 10 <sup>8</sup> Ci	1,1 x 10 <sup>9</sup> Ci
	(33 mBq/L)	(22 EBq)	(11 EBq)	(41 EBq)
<b>Potasyum 40</b>	300 pCi/L	2 x 10 <sup>11</sup> Ci	9 x 10 <sup>10</sup> Ci	3,8 x 10 <sup>11</sup> Ci
	(11 Bq/L)	(7400 EBq)	(3300 EBq)	(14000 EBq)
<b>Tritiyum</b>	0,016 pCi/L	1 x 10 <sup>7</sup> Ci	5 x 10 <sup>6</sup> Ci	2 x 10 <sup>7</sup> Ci
	(0,6 mBq/L)	(370 PBq)	(190 PBq)	(740 PBq)
<b>Karbon 14</b>	0.135 pCi/L	8 x 10 <sup>7</sup> Ci	4 x 10 <sup>7</sup> Ci	1,8 x 10 <sup>8</sup> Ci
	(5 mBq/L)	(3 EBq)	(1,5 EBq)	(6,7 EBq)
<b>Rubidyum 87</b>	28 pCi/L	1,9 x 10 <sup>10</sup> Ci	9 x 10 <sup>9</sup> Ci	3,6 x 10 <sup>10</sup> Ci
	(1,1 Bq/L)	(700 EBq)	(330 EBq)	(1300 EBq)

#### 1.4.2.4. Yapı Malzemelerindeki Doğal Radyoaktivite

Modern yapılarda kullanılan yapı malzemeleri içerisinde bulunan radyoaktif materyallerden dolayı, bina içerisinde de bir miktar radyasyona maruz kalınır. Bu malzemeler içerisinde en çok uranyum, toryum ve potasyum bulunmaktadır. Çizelge 1.10'da çeşitli yapı malzemelerindeki uranyum, toryum ve potasyumun tahmini değerleri verilmiştir.

Çizelge 1.10.Yapı materyallerindeki uranyum, toryum ve potasyumun tahmin edilen konsantrasyonları ([www.nukeworker.com/](http://www.nukeworker.com/))

Materyal	Uranyum		Toryum		Potasyum	
	ppm	mBq/g (pCi/g)	ppm	mBq/g (pCi/g)	ppm	mBq/g (pCi/g)
<b>Granit</b>	4,7	63 (1,7)	2	8 (0,22)	4,0	1184 (32)
<b>Kumtaşı</b>	0,45	6 (0,2)	1,7	7 (0,19)	1,4	414 (11,2)
<b>Çimento</b>	3,4	46 (1,2)	5,1	21 (0,57)	0,8	237 (6,4)
<b>Kireçtaşı beton</b>	2,3	31 (0,8)	2,1	8,5 (0,23)	0,3	89 (2,4)
<b>Kumtaşı beton</b>	0,8	11 (0,3)	2,1	8,5 (0,23)	1,3	385 (10,4)
<b>Kuru duvar kaplaması</b>	1,0	14 (0,4)	3	12 (0,32)	0,3	89 (2,4)
<b>Alçıtaşı Kullanılarak Üretilenlerden</b>	13,7	186 (5,0)	16,1	66 (1,78)	0,02	5,9 (0,2)
<b>Doğal Alçıtaşı</b>	1,1	15 (0,4)	1,8	7,4 (0,2)	0,5	148 (4)
<b>Ağaç</b>	-	-	-	-	11,3	3330 (90)
<b>Balçık Tuğla</b>	8,2	111 (3)	10,8	44 (1,2)	2,3	666 (18)

Yapı malzemeleri yeryüzünden çıkarıldığı için radyoaktifler ve kişiler evin içinde de dışarıda olduğu gibi ışınlanırlar. Bu radyasyon doz seviyeleri bölgenin yüzey jeolojisi ve binanın yapısına göre değişir.

Bir çok kişi zamanının büyük bir kısmını bina içerisinde geçirdiği için, binalardaki radyasyon seviye bilgisi, maruz kalınan dozun belirlenmesi açısından önemlidir.

Bina içerisi için yapılan araştırmalarda, bina dışında görülen miktarlara kıyasla nispeten küçük olduğu için, bina içindeki havada ortalama soğurulmuş doz oranlarının, özellikle binanın yapıldığı yer ve kullanılan inşaat materyallerinin cinsine bağlı olduğu bulunmuştur.

Ağaç ve prefabrik evlerdeki kaynak etkisi ihmal edilebilir ve genellikle soğurulan doz oranı, ev dışına göre ev içinde daha düşük olmasını gerektirir. Bu tür evlerde duvarlar, ev dışı radyasyon kaynakları ile ilgili olarak yetersiz bir zırh görevi görür.

Taş, tuğla yada betondan yapılan büyük evlerde ev dışındaki gama ışınları duvarlar tarafından etkili bir şekilde soğurulur ve ev içi soğurulan doz oranı başlıca inşaat materyallerindeki doğal radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonlarına bağlıdır.

Eğer bina malzemesinin yapıldığı bölgede bu nüklitler varsa inşaat materyallerindeki doğal radyonüklit konsantrasyonlarının, oturlan yeri çevreleyen asfalt yada toprakta bulunanla eşit olduğu farz edilir.

Bu koşullar altında kapı ve pencerelerin varlığı ve kaynak geometrisindeki değişimin sonucu olarak ev içi ve ev dışı soğurulmuş doz oranlarının değerlerinin 1 ve 2 arasında olması beklenebilir. Duvarların boyut ve kalınlıkları dikkate alınarak yapılan hesaplamalarda Norveç ve Avustralya'dan alınan çok sayıda veri ve Almanya'da yapılan geniş araştırmalarda bulunan sonuçlar iyi bir uyum içerisinde, beton binalar için 1,48 ve tipik tuğla evler için 1,35 oranlarını verir. Ev içi havadaki soğurulmuş doz oranının örnek bir değerini bulmak için, ev içi ve ev dışı oranları, ağaç, tuğla yada betondan yapılan evlerin bağıl sayılarına göre artırmıştır.

Komite (UNCEAR) tümü üzerinden oranın yaklaşık 1,2 üzerinden olduğunu tahmin etmiştir. Bu şekilde  $5 \cdot 10^{-8}$  Gy h<sup>-1</sup> lik ev dışı havadaki ortalama soğurulmuş

doz oranıyla olan birleşme sonucu yapılan hesaplamada, dünya üzerinden alınmış ortalamanın  $6 \cdot 10^{-8} \text{ Gy h}^{-1}$  olarak bulunur.

#### 1.4.2.5. Yiyeceklerdeki Doğal Radyoaktivite

Her yiyecek bir miktar radyoaktiviteye sahiptir. Yiyeceklerdeki temel radyoaktivite kaynakları potasyum-40 ( $^{40}\text{K}$ ), radyum-226 ( $^{226}\text{Ra}$ ) ve uranyum-238 ( $^{238}\text{U}$ ) ve birleştirilmiş ürünleridir.

Çizelge 1.11. Bazı yiyeceklerdeki  $^{40}\text{K}$  ve  $^{226}\text{Ra}$  oranları

<b>Yiyeceklerdeki Doğal Radyasyon</b>		
<b>Yiyecek</b>	<b><math>^{40}\text{K}</math></b>	<b><math>^{226}\text{Ra}</math></b>
	<b>pCi/kg</b>	<b>pCi/kg</b>
Muz	3,520	1
Fındık	5,600	1,000-7,000
Havuç	3,400	0,6-2
Patates	3,400	1-2,5
Bira	390	---
Kırmızı et	3,000	0,5
Kuru fasulye	4,640	2-5
İçme suyu	---	0-0,17

Özellikle kabuklu yiyecekler daha fazla radyoaktif madde içerirler ve bu ürünleri fazla miktarda tüketen insanlar ortalamanın üzerinde bir radyasyon dozu alırlar. Çizelge 1.11’de bazı yiyeceklerdeki <sup>40</sup>K ve <sup>226</sup>Ra değerleri verilmiştir.

#### **1.4.2.6. İnsan Vücudunda Bulunan Doğal Radyoaktivite**

İnsan vücudu kimyasallardan oluşmuştur ve günlük olarak su ve yiyeceklerle sindirime alınan bazı radyonüklidlerin insan vücudunda bulunması sürpriz değildir.

Burada 30 ICRP verisi esas alınarak 70,000 gr. ağırlığındaki bir yetişkin için hesaplanmış radyonüklid konsantrasyonları tahmin edilmiştir. Vücudumuzda bulunan radyoaktif elementlerden (özelikle Potasyum-40 radyoaktif elementinden) dolayı da belli bir radyasyon dozuna maruz kalırız. Çizelge 1.12’de insan vücudunda bulunan bazı radyonüklitler ve bu nüklitlerin günlük alım miktarları verilmiştir.

Çizelge 1.12. İnsan vücudundaki doğal radyoaktivite

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



### 1.4.3. Radon -222

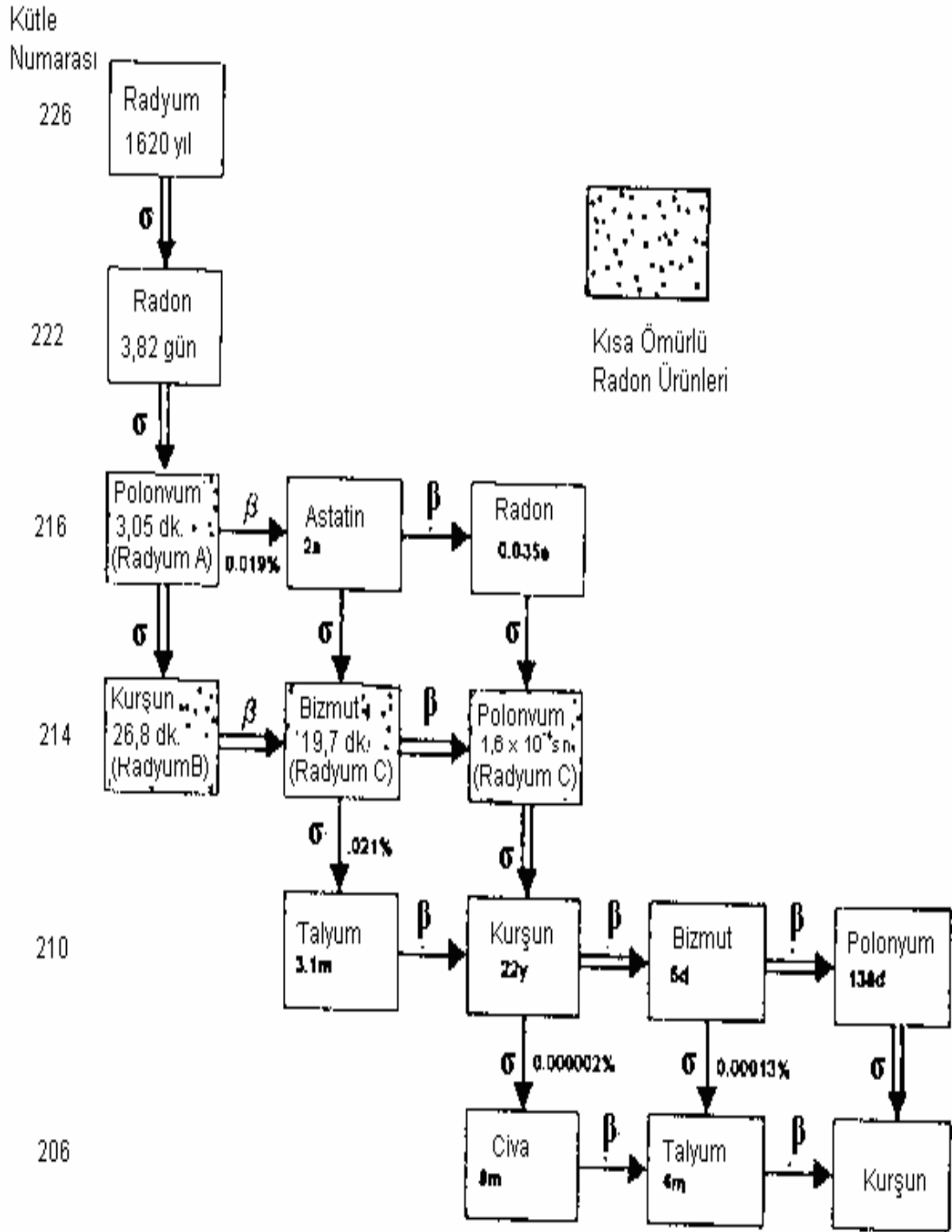
Radon, renksiz, kokusuz, tatsız, 86 atom numarası ile periyodik cetvelin soy gazlar sınıfında yer alan bir gazdır. Uranyumun bozunması ile oluşan birçok radyonüklitten biri de radon'dur. Radon asal gazdır. Kimyasal olarak aktif bir gaz değildir. Radium, radyoaktif bozunma sonucunda yarı ömrü 3,8 gün olan radyoaktif radon gazına dönüşür. Radon, ilk oluştuğu anda bütün bozunma ürünlerinden yoksundur. Bir süre sonra kısa yarı ömürlü ürünlerin birikmesiyle radyoaktivite artmaktadır. Radonun kısa yarı ömürlü ürünleri arasında alfa radyoaktivitesi, RaA ( $^{218}\text{Po}$ ) ve RaB ( $^{214}\text{Po}$ ); beta ve gama radyoaktivitesinin büyük bir kısmı da RaB ( $^{214}\text{Pb}$ ) ve RaC ( $^{214}\text{Bi}$ ) radyonüklitlerinin bozunmasından ileri gelmektedir.

Özellikle radon gazı bozunduğu zaman oluşan  $^{218}\text{Po}$  (RaA) atomları, iyonize halde, hava içindeki herhangi bir parçacığa yapışma eğiliminde olduğundan  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$  ve  $^{214}\text{Po}$  atomlarının pek çoğu oluştuklarında bir parçacığa yapışmış haldedirler.

Alfa radyoaktivitesi, yaklaşık 3 saat sonra başlangıçtaki radon radyoaktivitesinin üç katına ulaşmaktadır. Bundan sonraki zamanda radyoaktivite, radonun karakteristik yarı ömrüne göre azalmaya başlar. Çizelge 1.13'de  $^{222}\text{Rn}$  ve onun bozunma ürünlerinin karakteristik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 1.13.  $^{222}\text{Rn}$  ve bozunma ürünlerinin özellikleri (Köksal; Çelebi, 2003)

İzotopik Gösterimi	Radyasyon Tipi	Yarı ömrü	Bozunma Faktörü ( $\text{dak}^{-1}$ )
$^{222}\text{Rn}$ (Rn)	$\alpha$	3,82 gün	$1,26 \times 10^{-4}$
$^{218}\text{Po}$ (RaA)	$\alpha$	3,05dak	$2,27 \times 10^{-1}$
$^{214}\text{Pb}$ (RaB)	B, $\gamma$	26,8dak	$2,59 \times 10^{-2}$
$^{214}\text{Bi}$ (RaC)	B, $\gamma$	19,7dak	$3,52 \times 10^{-2}$
$^{214}\text{Po}$ (RaC')	$\alpha$	$1,6 \times 10^{-4}$ s	$2,77 \times 10^{-5}$
$^{210}\text{Pb}$ (RaD)	$\gamma$	22yıl	-----

Şekil 1.10. Radon bozunum serisi ([www.umich.edu/~radinfo/index.htm](http://www.umich.edu/~radinfo/index.htm))

Radon, kaya, toprak ve sudaki doğal uranyumun radyoaktif bozunması sonucunda oluşur. Bu bozunma zincirinin ana atomları, bütün doğal malzemelerde bulunabilir. Bu yüzden radon, tüm yüzey kaya ve toprak parçalarından ve yapı malzemelerinden ortama salınır. Ortalama olarak yılda yaklaşık 200 mrem olarak evlerden ve diğer binalardan soluma yoluyla vücuda alınır. Solunduğunda akciğerlerde kısmen bir değişime uğrar ve akciğerde radyoaktif kalıntılar bırakır.

Bunlar, toplam alınan radyoaktif doz içerisinde önemli bir bölüm oluşturur.

Genelde insanlar zamanlarının büyük bir kısmını kapalı mekanlarda geçirdikleri için radona maruz kalmaları önemli bir problem olarak ortaya çıkmaktadır.

Radyumun, toprakta bozunmasıyla oluşan radon, önce toprak partiküllerinden hava dolu gözeneklere kaçar ve bu gözenekler arasından atmosfere geçmek için hareket eder.Radon gazının atmosfere geçebilmesi, maddenin gözenekleri arasında yayılması ile mümkündür. Bazı radon atomları, kapalı gözeneklerin içine girerler ve buralardan kaçamazlar.

#### **1.4.3.1. Ev İçi Radon Kaynakları**

Radonun binalara girişi, toprak, binanın civarı veya altındaki kayalardan, su kaynaklarından, doğal gazdan, bina malzemelerinden, inşaatta kullanılan malzemelerdeki açıklıklar arasından veya malzemelerin arasındaki havanın akışıyla oluşan basınçla veya binanın altındaki topraktan yayılma yoluyla olmaktadır.

Çeşitli atmosferik ortamlardaki radon konsantrasyonu şu şekilde verilmektedir:

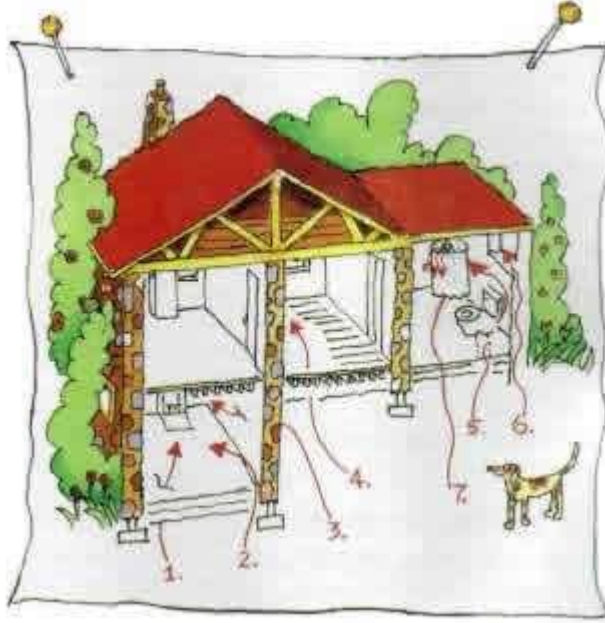
Yerüstündeki topraktan 1m yükseklikte 4-15 Bq /m<sup>3</sup>

Kapalı ortamlarda 11-300 Bq / m<sup>3</sup>

Toprak havasında 18 – 180 kBq / m<sup>3</sup>

**Binalarda Radon Girişleri**

- 1.Zemindeki çatlaklar
- 2.Yapı bağlantı noktaları
- 3.Duvar çatlakları
- 4.Asma kat boşlukları
- 5.Tesisat boru boşlukları
- 6.Duvar arası boşlukları
7. İçme suyu



Şekil 1.11 Binalarda radon giriş yerleri ([www.nukleer.web.tr/uaea/pia75/icerik.htm](http://www.nukleer.web.tr/uaea/pia75/icerik.htm))

Şekil 1.11’de radon gazının evlere muhtemel giriş yerleri gösterilmiştir.

Topraktaki radon konsantrasyonu; topraktaki radyumun radyoaktivite kütle konsantrasyonuna, yayılma gücüne, toprağın gözenekliliğine, geçirgenliğine ve nem içeriğine bağlıdır.

Ev içi radon konsantrasyonu; binanın inşaatı ve tasarımına, toprakta radon hareketini etkileyen meteorolojik parametrelere, ev halkının yaşam alışkanlıklarına, ev içi-dışı sıcaklık farklarına (mevsimsel farklılıkların etkisi, kışla yaz arasında 4-1’dir), baca etkisine (evin havalandırma hızı çoğunlukla baca etkisine bağlıdır), basınç farkına (toprakla, ev içi havası arasındaki basınç farkı) bağlıdır.

İnşaat sektöründe kullanılan yapı malzemelerinde bulunan eser miktardaki uranyum da binalardaki radon düzeyini arttırıcı etmenlerden birisidir. Binalardaki radon kaynağının büyük bir kısmı, binanın temelindeki toprak ve kayalardır. Radon gazı toprak boyunca yükselerek, binanın altında hapsolmakta ve basınç oluşturmaktadır. Binanın altındaki bu yüksek basınç nedeni ile gazlar yerden ve duvarlardan, özellikle çatlak ve boşluklardan, bina içlerine sızarlar.

Radon, topraktan moleküler difüzyon veya konveksiyonla sızarak yerden havaya doğru hareket etmekte ve atmosfere ulaşmakta ancak bir kısmı yüzey altında

kalıp, suda çözünerek yer altı sularına karışmaktadır. Havadaki radonun dağılımı meteorolojik şartlara bağlı olmakla birlikte radon konsantrasyonu yükseklikle azalmaktadır.

Radon özellikle yeraltı suyu olmak üzere, suda çözünebilme özelliğine sahiptir. Yer altı sularındaki radon konsantrasyonu, yüzeysel sulardan daha yüksektir. Sularda bulunan radon, sular kullanıldığı zaman ev içlerine girer. Sudan gelen radonun miktarı, sudaki miktarına bağlıdır. Bazı bölgelerde evlere ulaşan sular özel kuyulardan geldiği için sudaki radon seviyesi, ev içi radon seviyesini önemli derecede etkileyebilecek kadar yüksektir.

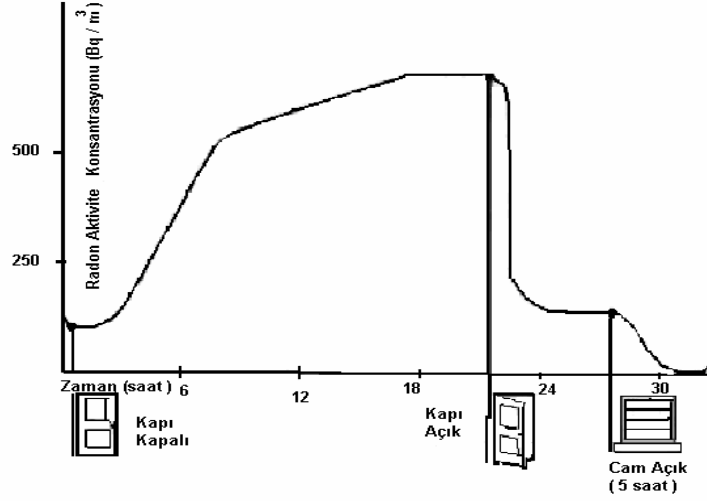
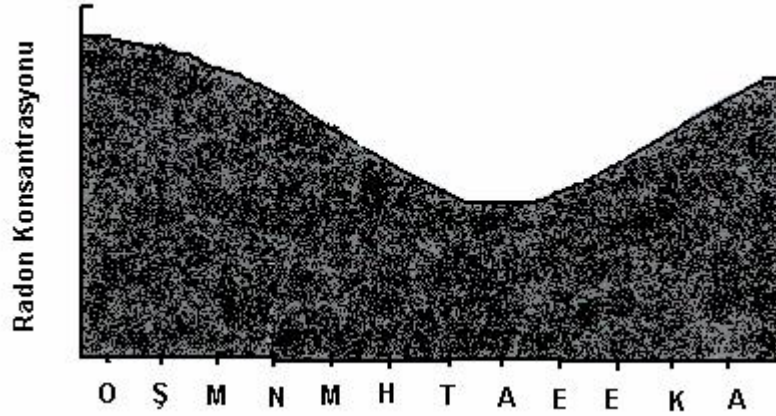
Tipik olarak, musluktan akan su içindeki radonun 10000'de biri havaya yayılır. Sudaki radon miktarı arttıkça, bina içindeki radon düzeyi de artacaktır.

Duş, çamaşır ve bulaşık makinesinde olduğu gibi suyun püskürtülmesi veya çalkalanmasıyla yapılan çeşitli uygulamalar büyük miktarda radonun ev içerisine salınmasına neden olur. Suyun sıcaklığı arttıkça da , ortama verilen radon miktarı da artar.

İnşaat malzemesinden gelen ışınlamalara, yüzeysel sulardan gelen katkı %0,2, yer altı sularından gelen katkı ise ise %20'dir.Sudaki en yüksek konsantrasyonlar Kanada'da 14 MBq/m<sup>3</sup>, Finlandiya'da 77 MBq/m<sup>3</sup> , ABD'de 20 MBq/m<sup>3</sup> bulunmuştur. Havalandırma sonucunda kullanımı sularda radon konsantrasyonu yaklaşık 100 faktörü ile azalır.

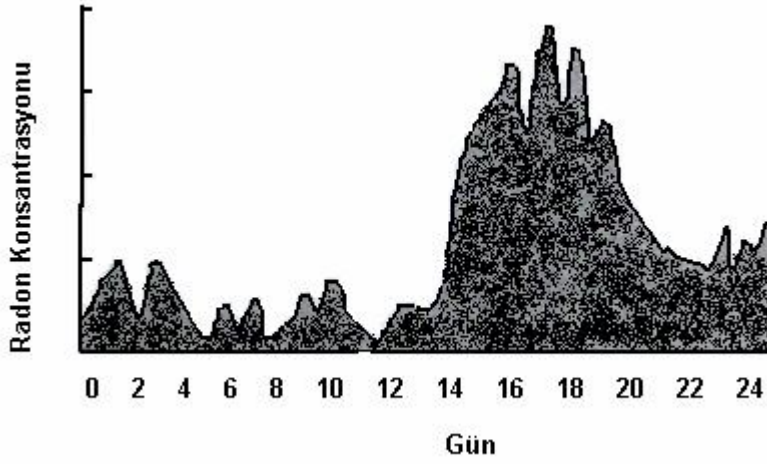
Yapılan çalışmalar 370 Bq l<sup>-1</sup> radon konsantrasyonuna sahip bir suyun, ev içi radon konsantrasyonuna katkısının 37 mBql<sup>-1</sup> olduğunu ortaya koymuştur.

## 1.4.3.2. Radon ve Havalandırma

Şekil 1.12. Radon gazının havalandırmayla olan değişimi ([www.taek.gov.tr](http://www.taek.gov.tr))

Şekil 1.13. Mevsimlere göre radon konsantrasyonlarında olan değişimler

Şekil 1.12'de radon gazının havalandırmayla olan değişimi, Şekil 1.13'de mevsimlere göre radon konsantrasyonlarında olan değişimler ve Şekil 1.14'de de günlere göre radon konsantrasyonlarında olan değişimler gösterilmiştir.



Şekil 1.14. Günlere göre radon konsantrasyonlarında olan değişimler

#### 1.4.3.3. Doğal gazda Radon

Doğal gazın önemli bir ev içi radon kaynağı olduğu bilinmektedir. Doğal gazın üretim kuyularındaki radon konsantrasyonu, ölçülemeyen seviyelerden,  $50 \text{ kBq} / \text{m}^3$  seviyesine kadar değişik değerler vermektedir. Doğal gazın endüstriyel işlemleri, saflaştırma ve hidrokarbonlardan ayrıştırma işlemlerini içerir. Bu hidrokarbonların bazıları yakıt olarak kullanılırken, bazıları sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) olarak, basınç altında şişelenerek satılmaktadır. Doğal gaz, evlerde ısıtma ve yemek pişirmede kullanıldığında radon gazı ortaya çıkarak, ev içi radon seviyesini artırır. Eğer yanma ürünleri havalandırmayla dışarı atılırsa, radon kaynağı ihmal edilir.

#### 1.4.3.4. Radon Gazının Sağlık Üzerine Etkileri

Radonun reaktivitesi zayıftır. Bu nedenle, tenefüs edildiğinde dokulara kimyasal olarak bağlanmaz. Ayrıca, dokulardaki çözünürlüğü de çok düşüktür.

Ancak, radon bozunma ürünleri, toz ve diğer parçacıklara tutunarak radyoaktif aerosoller oluştururlar. Bu nedenle, taşınarak solunum yoluyla alınabilirler. Bozunma ürünleri kararlı hale gelinceye kadar bozunma devam eder;

bozunma sürecinin her aşamasında radyasyon salımı olur. Solunum borusunda olan bozunma sonucunda, bronşal epiteldeki radyasyon dozu artar. Bozunma ürünlerinin bazılarının alfa yayıcısı olmaları nedeniyle, alfa radyoaktivitesinin biyolojik etkileri önem kazanmaktadır.

Radon gazının teneffüs edilmesi, solunum yetmezliği, baş ağrısı, öksürük gibi akut etkilere neden olmaz. Radyoaktif bozunmaya uğrayan radon gazı, teneffüs edildiğinde akciğerler tarafından tutulabilecek parçacıklara dönüşür. Bu parçacıkların bozunması devam ettiğinde ortaya çıkan enerji, akciğer dokusunda hasara, dolayısıyla, zaman içerisinde kansere sebep olur. Ancak bu, yüksek dozda radona maruz kalmış herkes akciğer kanserine yakalanacak anlamına gelmez. Sigara, kanser riskini arttırmaktadır. Hem sigara içip hem de yüksek dozda radona maruz kalmış kişilerde kansere yakalanma riski oldukça yüksektir. Sigaranın bırakılıp, maruz kalınan radon seviyesinin düşürülmesiyle kanser riski azaltılacaktır. İngiltere Milli Radyasyondan Korunma komitesi (NRPB), İngiltere'deki yıllık toplam 41000 akciğer kanserinden en az 2500'ünü, ABD Halk Sağlığı Servisi ise yıllık akciğer kanseri vakalarının, sigara içmeyenlerden 5000, sigara içenlerden ise 15000'ini, Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi (ICRP) ise toplam akciğer kanserlerinin %10'unu radona bağlamaktadır. Ancak bu durum yüksek dozda radona maruz kalmış herkesin akciğer kanserine yakalanacağı anlamına gelmemekte ve maruz kalınma ile hastalığın oluşması arasında geçen zaman yıllarca sürebilmektedir.

#### **1.4.3.5. Radon Risklerinin Azaltılması İçin Alınabilecek Tedbirler**

- Yapı malzemelerinin radyoaktivite analizleri ve doz değerlendirmeleri yapılarak, değerlendirme sonuçları tavsiye edilen radyoaktivite düzeylerinin üzerinde olan malzemeler bina yapımında kullanılmamalıdır.
- Binaların, özellikle bodrum katlarının toprakla izolasyonu iyi yapılmalıdır. Bodrum katların ve zemin katların tabanına şap, beton vb. dökülmelidir. Toprak ile temas eden yüzeyler sızıntıya imkan vermeyecek şekilde izole edilmelidir.



- Radon düzeyi yüksek olabileceğinden, 20 yıldan eski olan evlerde çatlakların kapatılması, izolasyon ile bakımı sürekli yapılmalıdır.
- Yerden ve duvarlardan bina içine sızan radon gazı bina dışına çıkamazsa bina içindeki konsantrasyon artacaktır. Bu nedenle kapalı ortamların havalandırılmasına özen gösterilmelidir.
- Evlerde, kapı ve pencerelerde izolasyon yapıldıysa havalandırma süresi arttırılmalıdır.
- Radonun kanser riskini arttırdığından, kapalı ortamlarda sigara içilmemelidir.

### **1.5. Yüksek Doğal Fon (Background) Radyasyon Alanları**

Dünya üzerinde kuvvetli, yüksek doğal fon (background) radyasyon seviyelerine sahip büyük nüfuslu bazı alanlar vardır. En yüksek olanları Brezilya, İran, Hindistan ve Çin’de bulunmuştur. Yüksek radyasyon seviyesi, topraktaki yüksek radyoaktif mineral konsantrasyonları nedeniyledir.

İlmenite minerali ile birlikte deniz kumunda oluşan, karakteristik renkli ve az bulunan bir çeşit kum olan monazite minerali yüksek çözünürlüğe sahip değildir.

Monazitedeki temel radyonüklitler <sup>232</sup>Th serisindedir.

Brezilya’da monazite kumu depoları, sadece belli sahillerde bulunur. Bu siyah kumdaki dış radyasyon seviyeleri, Amerika Birleşik Devletlerindeki normal doğal fon radyasyonundan hemen hemen 400 kat fazla olan 5 mrad/saat (50µGy/saat) seviyesindedir. Şehrin etrafındaki temel caddelerin birkaçı, normal doğal radyasyondan 10 kez daha fazla olan 0,13 mrad/saat (1,3µGy/saat) kadarlık yüksek radyasyon seviyesine sahiptir.

Brezilyadaki yüksek doğal radyasyonun diğer bir nedeni de bu alanı çevreleyen yaklaşık 250 m. yüksekliğe sahip tepede bulunan maden cevheridir.

Tepenin zirvesi yakınındaki maden cevheri yüzeye çok yakındır ve tahminen 30.000 ton toryum ve 100.000 ton nadir dünya elementlerini içerir. Tepenin zirve yakınındaki radyasyon seviyeleri yaklaşık 30.000 m<sup>2</sup> alan üzerinden 1 mrad/saat den 2 mrad/saat’e (0,01 den 0,02 mGy/saat) değişir.

Hindistan'ın güneybatı sahilindeki monazite depoları Brezilya'dakinden daha büyüktür. Dış radyasyondan gelen ortalama üzerinden doz 500- 600 mrad/yıl (5-6mGy/yıl)dır.

Burada Brezilya'da bulunan dozlara benzer olarak 3260 mrad/yıl (32,6mGy/yıl) bireysel dozlar depolanmış olur.

Çin'deki alan, yaklaşık 300-400 mrad/yıl (3-4 mGy/yıl) doz oranlarına sahiptir. Bu aynı zamanda toryum,uranyum ve radyum içeren monazite nedeniyledir.

İran'ın Ramsar bölgesinde yaşayan kişiler dış karasal kaynaklardan yılda 132 mSv kadarlık yüksek radyasyon dozuna maruz kalırlar. Bu bölgedeki yüksek doğal fon (background) radyasyonun temel nedeni sıcak kaynak sularının yüzeye akmasıyla Ra-226 ve onun bozunum ürünlerinin suda çözülmesi ve bu suların yüzeyde oluşturdukları travertenlerdir. Ramsar'da turistler ve bölge yaşayanları tarafından içme olarak kullanılan farklı radyum konsantrasyonuna sahip dokuz farklı sıcak kaynak suyu vardır.

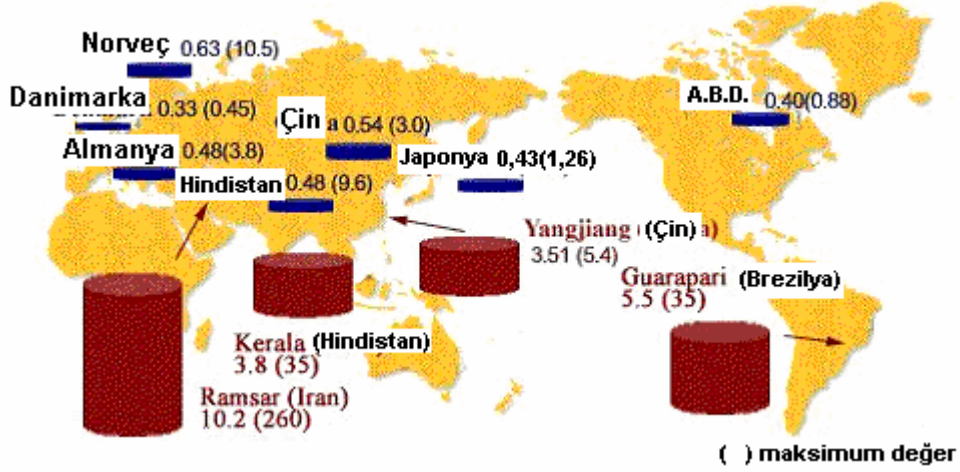
Yüksek doğal fon (background) radyasyon alanlarında, kromozom hatalarının artışı gözlenmiştir. Artışların büyüklükleri tahmin edilenden biraz yüksek olmasına rağmen, yüksek doz seviyelerine maruz kalan kişilerde ve radyasyon işçilerinde görülenler birbiri ile uyumludur.

Yüksek doğal fon (background) radyasyon alanlarında oturan nüfuslarda belgelenen kanser sıklığında artış yoktur.

Dünya etrafında nükleer santral etrafında bulunan alanlarda da yüksek doğal fon (background) radyasyona sahip birçok ülke vardır.

Şekil 1.15'de Dünya üzerindeki yüksek doğal fon radyasyon alanları gösterilmiş ve Çizelge 1.14'te de Dünya üzerindeki çeşitli bölgelerde doğal fon radyasyondan alınan ortalama yıllık dozlar verilmiştir.

Şekil 1.15. Dünya üzerindeki yüksek doğal fon radyasyon alanları (UNSCEAR 1993, [www.angelfire.com/mo/radioadaptive/ramsar.html](http://www.angelfire.com/mo/radioadaptive/ramsar.html))



Çizelge 1.14. Doğal fon (background) radyasyondan alınan ortalama yıllık doz (Sohrabi,1997, UNSCEAR 1987)

Alan	ortalama (mGy/yıl)	maksimum (mGy/yıl)
Ramsar, İran	10.2	(260)
Guarapari, Brezilya	5.5	(35)
Kerala, Hindistan	3.8	(35)
Yangjiang, Çin	3.51	(5.4)
Hong Kong, Çin	0.67	(1.00)
Norveç	0.63	(10.5)
Fransa	0.60	(2.20)
Çin	0.54	(3.0)
İtalya	0.50	(4.38)
<b>Dünya ortalaması</b>	<b>0.50</b>	
Hindistan	0.48	(9.6)
Almanya	0.48	(3.8)
Japonya	0.43	(1.26)
USA	0.40	(0.88)
Avusturya	0.37	(1.34)
İrlanda	0.36	(1.58)
Danimarka	0.33	(0.45)

**1.6. Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri**

Yıllık etkin doz eşdeğeri (Y.E.D.E), insanların farklı radyasyon kaynaklarından yayınlanan ışınlarla gerek dışarıdan maruz kalmak sureti ile, gerekse yediği ve içtiği gıdalar veya soluduğu havada bulunan değişik radyonüklitlerden yayınlanan ışınlarla içeriden maruz kalmak sureti ile bir yıl süresince alacağı radyasyon dozu olarak tanımlanır. Eşdeğer doz birimi sievert'tir. Yıllık etkin doz eşdeğerinin hesaplanmasında her radyonüklidin yayınladığı radyasyon tipi ve enerjisi kullanılarak her radyonüklit için birim aktivite başına yayınladığı radyasyon doz dönüşüm faktörleri belirlenir. Birim hacim veya birim ağırlık başına tespit edilen aktivite konsantrasyonu ile doz dönüşüm faktörleri çarpılarak yıllık etkin doz eşdeğeri bulunur.

$$Y.E.D.E = \text{Doz Dönüşüm Faktörü} \times \text{Aktivite Konsantrasyonu}$$

Çizelge 1.15.'de doğal ve yapay kaynaklardan alınan yıllık etkin doz eşdeğerleri verilmiştir.

Çizelge 1.15'de gösterilen ortalama toplam yıllık etkin dozun %82'si doğal radyasyon kaynaklarından ve birçoğu da radondan ileri gelir. Diğer %18'lik kısmı ise çoğunlukla tıbbi teşhis ve tedavilerden %1'den daha azı ise nükleer güç ve parçalanmalardan ileri gelir.

Çizelge 1.15. Doğal ve yapay kaynaklardan yıllık alınan radyasyon dozu

<b>YILLIK ALINAN RADYASYON DOZU</b>			
<b>KAYNAK</b>	<b>DOSE</b>	<b>DOSE</b>	<b>TOPLAMDAKİ ORANI</b>
	<b>(mrem/yr)</b>	<b>(mSv/yr)</b>	
<b>Doğal</b>			
Radon	200	2,0	55%
Kozmik	27	0,27	8%
Karasal	28	0,28	8%
İçsel	39	0,39	11%
<b>Yapay</b>			
Tıbbi X ışını	39	0,39	11%
Nükleer tıp	14	0,14	4%
Tüketici ürünleri	10	0,1	3%
<b>DİĞER</b>	<b>DOZ (mrem/yıl)</b>	<b>DOZ (mSv/yıl)</b>	<b>TOPLAMDAKİ ORANI</b>
Mesleki	0,9	<0,01	<0,3
Nükleer Yakıt	<1	<0,01	<0,03
Radyoaktif Kalıntı	<1	<0,01	<0,03
Diğer	<1	<0,01	<0,03
<b>Toplam Yapay</b>	<b>63</b>	<b>0,63</b>	<b>18%</b>
<b>Toplam Yapay ve Doğal</b>	<b>360</b>	<b>3,6</b>	<b>100%</b>

**2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR**

Bu bölümde hava, toprak ve suda bulunan doğal fon (background) radyoaktivite ve ev içi radon konsantrasyonları ile ilgili 1999 - 2005 yılları arasında yapılan bazı bilimsel çalışmalar incelenmiştir.

G. Karahan ve A. Bayülken (1999) tarafından yapılan bir çalışmada, İstanbul ve çevresinin gama doz oranları belirlenmiştir. İstanbul'un yüzey toprağındaki doğal radyonüklit aktivite konsantrasyonu, gama spektrometresi kullanılarak ölçülmüştür.

Doğrudan ev dışı maruz kalmalar, topraktaki radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonları ile bağlantılıdır. Toprak örneklerindeki karasal radyonüklitlerin doğal gama radyoaktivitesi ve havada bu radyonüklitlerin soğurulmuş gama doz oranı, İstanbul'un farklı alanları için hesaplanmıştır. Ortalama aktivite konsantrasyonları,  $^{238}\text{U}$  için  $21 \text{ Bq kg}^{-1}$ ,  $^{232}\text{Th}$  için  $37 \text{ Bq kg}^{-1}$  ve  $^{40}\text{K}$  için  $342 \text{ Bq kg}^{-1}$  olarak bulunmuştur. Yerden 1 m yukarıdaki havada ortalama ev dışı gama doz oranı  $65 \text{ nGy h}^{-1}$  olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada elde edilen bu değerleri kullanarak, İstanbul'da yaşayan bir kişi için ortalama yıllık etkin doz eşitliği  $80 \mu\text{Sv}$  olarak bulunmuştur.

G. Karahan, N. Öztürk ve A. Bayülken (2000) İstanbul'daki çeşitli yüzey sularının doğal radyoaktivitesini incelemiştir. İstanbul'dan alınan sekiz kuyu ve beş çeşme suyu örneğinin toplam (gross) alfa ve toplam (gross) beta aktiviteleri belirlenmiştir. Dört göl, dört deniz suyu ayrıca kar ve yağmur suyu örneklerinin  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$ ,  $^{40}\text{K}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  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 TSI'nin tavsiye ettiği sınırların üzerinde değerler bulunmuştur. İçme suyu için toplam (gross) alfa konsantrasyonları  $0,007 \text{ Bq l}^{-1}$ 'den  $0,04 \text{ Bq l}^{-1}$ 'e değişen değerlerde toplam (gross) beta için  $0,02 \text{ Bq l}^{-1}$ 'den  $0,1 \text{ Bq l}^{-1}$  değişen değerlerde gözlenmiştir. Tüm örnekler için toplam (gross) beta aktivitesi, karşı gelen toplam (gross) alfa aktivite değerlerinden daha yüksektir. Bu suların içilmesi ile alınan yıllık etkin doz eşitliğini hesaplamak için

ICRP tarafından tavsiye edilen doz dönüşüm faktörü kullanılmıştır.  $^{226}\text{Ra}$  için ortalama yıllık etkin doz eşitliği  $0,84 \mu\text{Sv y}^{-1}$  olarak hesaplanmıştır.

M.Y.W.Tso ve J.K.C Leung (2000) tarafından yapılan diğer bir araştırmada ise Hong Kong'ta yaşayan nüfusun doğal radyasyon nedeni ile aldığı doz hesaplanmıştır.

Tümüyle betondan yapılmış yüksek binalarda yaşayan ve çalışan insanlar için, ev içi gama doz oranı ve ev içi radon konsantrasyonu geniş bir aralıkta değildir.

Gama dozlarını kaydetmek için TLD ve ev içi radon konsantrasyonunu kaydetmek için ise CR-39 dan yapılan pasif radon dedektörleri kullanılmıştır. Ülke çapında yaklaşık 1,800 alanda ölçüm yapılmıştır.

Ev içi gama doz oranları (kozmetik ışınlar da dahil)  $0,22 \pm 0,04 \mu\text{Gy h}^{-1}$  aritmetik ortalamalı normal bir dağılım izler iken, ev içi radon konsantrasyonu oturma için ve iş yeri olarak olmak üzere iki temel kategorideki binalar için  $48 \pm 2 \text{ Bq m}^{-3}$  ve  $90 \pm 2 \text{ Bq m}^{-3}$  geometrik ortalamalı normal bir logaritmik dağılım izler. Farklı binalardaki farklı oturumlar farklı kullanım süreleri oluşturduğundan, Hong Kong' ta ki nüfusun yıllık aldıkları toplam doz (ev içi ve ev dışı radon etkin dozu + ev içi ve ev dışı soğurulmuş gama etkin dozu (kozmetik ışınları da içeren) her bir kullanım için insan sayıları baz alınarak tahmin edilmiştir. Her bir kullanımdaki süre, her bir kategorideki bina için ev içi radon konsantrasyon dağılımı ve ev içi gama doz dağılımı; ev dışı radon konsantrasyonu, gama doz oranı ve ev içi ve ev dışı kozmetik ışın doz oranıdır.

Sonuçlar her bir kullanım süresi için yıllık dozların normal bir logaritmik dağılım izlediğini gösterir.

Hong Kong nüfusunun yıllık dozu  $2,4 \text{ mSv}$  geometrik ortalamalı normal bir logaritmik dağılımla karakterize edilmiştir ve geometrik standart sapma  $1,3 \text{ mSv}$ 'dir.

Iyogi T., Ueda S., Hisamatsu S., Kondo K., Haruta H., Katagiri H., Kurabayashi M., Nakamura Y., Tsuji N. (2002) tarafından yapılan çalışmada ise Japonya'daki Aomori ilçesinde çevresel gama ışın doz oranları incelenmiştir.

Japonya'nın ilk ticari nükleer yakıt dönüşüm tesisleri Rokkasho ve Aomori ilçelerinde bulunmaktadır. Aomori ilçesinde 1992'den 1996'a kadar olan bir süre içerisinde ev içi ve ev dışı çevresel gama doz oranları incelenmiştir. Gittikçe artan

gama ışın doz oranlarını ölçmek için cam dozimetreler kullanılmıştır. Ev dışı gama ışın doz oranları, ilçedeki 109 konumda ölçülmüştür. Ev içi gama doz oranlarını bulmak için büyük bir çoğunluğu ev dışı ölçüm noktaları yakınlarındaki evlerden olmak üzere toplam 81 evden ölçüm alınmıştır. Ev dışı doz oranı için topraktaki radyonüklitlerin katkısı germanyum dedektörlü bir gama ışın spektrometresi (gamma- x-25, Canberra US ve multi kanallı analizör, Canberra) kullanılarak tahmin edilmiştir. Cam dozimetre ölçümleri için kullanılan 20 nokta için spektrum bulunmuştur. Ev dışı gama ışın doz oranı, Nanbu alanına göre (doğu kısım) Tsugaru alanında (batı kısım) daha yüksektir. Doz oranı, bütün ilçe için  $28 \text{ nGy h}^{-1}$ , Tsugaru için  $31 \text{ nGy h}^{-1}$  ve Nanbu alanları için  $25 \text{ nGy h}^{-1}$ 'dir. Kışın doz oranı yerdeki karın zırh etkisi nedeni ile diğer mevsimlerden daha düşüktür. Doz oranlarına uranyum serisinin temel katkısı  $7,7 \text{ nGy h}^{-1}$ , toryum serisinin katkısı  $8,2 \text{ nGy h}^{-1}$  ve  $^{40}\text{K}$  katkısı  $9,3 \text{ nGy h}^{-1}$ 'dir. Ev içi doz oranı genellikle ev dışından daha yüksektir ve ev dışına karşın ev içinin oranı 1,42'dir. Ev içi gama doz oranı ortalaması tüm ilçede  $41 \text{ nGy h}^{-1}$ , Tsugaruda  $37 \text{ nGy h}^{-1}$  ve Nanbu alanlarında  $43 \text{ nGy h}^{-1}$ 'dir. Tüm ilçede insanların aldığı etkin doz  $0,24 \text{ mSv y}^{-1}$  olarak tahmin edilmiştir.

C.C Goddard (2002) yaptığı çalışmada Oman Sultanlığında ev dışı karasal gama radyasyonunu incelemiştir. Bu bölgede karasal gama radyasyon seviyesi 3 yıllık bir periyot üzerinden belirlenmiştir. Geiger- Müler dedektörü kullanılarak 512 ölçüm noktasında, yerden 1m yukarıdaki doz oranı ölçülmüştür. 112 noktadan toplanan toprak ve kaya örneklerinin aktivite konsantrasyonu gama spektrometresi ile belirlenmiştir. Aktivite konsantrasyonlarından hesaplanan doz oranları ile kozmik ışın katkıları için ölçülen değerlerde düzeltmeler yapılmıştır. Karasal doz oranlarından en yükseklerinin  $110 \text{ nGy / h}$ 'in üzerindeki değerler katmanlarına ayrılabilen tortul kütleli olan Wadi Bani Awf, Saih Hatat ve Hugf bölgesinde ve granit yapıya sahip olan Jebal Jalan ve Mirbat yarımadasında ölçülmüştür. İki küçük sıcak noktada maksimum doz oranı  $1,024 \text{ nGy/h}$  olarak bulunmuştur. Nüfusun yoğun bulunduğu Batinah bölgesinde,  $38,5 \text{ nGy/h}$  ( $0,29 \text{ mSv/y}$ ) ve Muskat'da  $44,9 \text{ nGy/h}$  ( $0,34 \text{ mSv/y}$ ) olarak ölçülmüştür. Ortalama populasyon ağırlıklı doz oranı  $39,8 \text{ nGy /h}$  ( $0,30 \text{ mSv /y}$ ). Oman'ın yüzey kayasının tamamı uranyum ve



toryum serisinin düşük konsantrasyonuna sahip olan kireçtaşıdır. Ortalama doz oranı, 0,45 mSv / y olan dünya ortalamasının altındadır.

Amanat A., S. D. Orfi ve A. A. Qureshi (2002) tarafından yapılan çalışmada kuzey batı Pakistan'daki Shewa – Shahbaz volkanik bölgesindeki doğal radyoaktivite ve onun radiolojik 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 radyonüklitlerin ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$ ) radyoaktivitesi, HPGe dedektörlü gama ışın spektrometresi kullanılarak ölçülmüştür. Bu örnekler  $^{238}\text{U}$  için  $51 \pm 16 \text{ Bq kg}^{-1}$ ,  $^{232}\text{Th}$  için  $70 \pm 20 \text{ Bq kg}^{-1}$  ve  $^{40}\text{K}$  için  $1,272 \pm 367 \text{ Bq kg}^{-1}$  oldukça yüksek aritmetik konsantrasyona sahiptir. Havada  $119 \pm 29 \text{ nGy h}^{-1}$  ortalama soğurulmuş gama doz oranı bulunmuştur. Radyolojik zararların belirlenmesi, iç ve dış zarar indisleriyle radyum denge aktivitesinin hesaplanmasıyla belirlenmiştir.

Hesaplamalar  $52 \text{ Bq kg}^{-1}$  den  $346 \text{ Bq kg}^{-1}$  değişen radyum denge aktivitesini gösterilmiştir. İç zarar indisleri 0,14 den 0,94'e ve iç zarar indisleri 0,17'den 1,1'e değişen değerlerde bulunmuştur.

M. Ghiassi-Nejad, S.M.J.Mortavazi, J.R.Cameron, A.Niroomand-rad ve P.A.Karam (2002) tarafından yapılan çalışmada çok yüksek doğal fon (background) radyasyon alanına sahip olan İran'ın Ramsar bölgesinde yaşayan insanlarda bu radyasyon miktarının sağlık üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Kuzey İran'daki bir şehir olan Ramsar'ın bazı alanlarında yaşayan insanlar, radyasyon işçileri için öngörülen yıllık  $20 \text{ mSv y}^{-1}$  değerinden daha çok yaklaşık  $260 \text{ mSv y}^{-1}$  değerinin üzerinde doğal fon (background) radyasyondan kaynaklanan soğurulmuş radyasyon dozu alırlar. Ramsar'da oturanlar bu yüksek doğal fon (background) alanı içerisinde nesiller boyu yaşamışlardır. Genetik çalışmalar normal doğal (background) alanında yaşayan insanlarla yüksek doğal fon (background) alanında yaşayan insanlar arasında önemli bir fark olmadığını göstermiştir.  $1.5 \text{ Gy}$  değerinde gama ışınları lenfositlere uygulandığında Ramsar yakınında ve şehir merkezinde normal doğal fon (background) alanlarında yaşayanlarla kıyaslandığında yüksek doğal fon (background) alanlarında yaşayan insanların kromozom farklılaşmasına sık rastlanmıştır. Kan lenfositlerindeki kromozom değişiminin genetik analizi genellikle

radyasyondan alınan dozu ölçmek için kullanılmıştır. Bağışıklık sistemi için yapılan laboratuarda bu iki grup insan için yapılan testlerde fark gözlenmemiştir ve hematolojik değişimlerde bu iki grupta fark olmadığı gözlenmiştir.

F. P. Banzi, P. Msaki ve I. N. Makundi (2002) tarafından yapılan bir çalışmada Tanzanya'daki doğal fon (background) radyasyon doz oranı ve radioaktivite incelenmiştir. Doğal fon (background) radyasyon doz oranı 1993 ve 1999 yılları arasında 5 ölçüm istasyonunda termoluminisans dozimetrelerle belirlenmiştir. Bu istasyonlar için ortalama doğal fon (background) radyasyon doz oranı Tropikal Böcek Zehiri Araştırma Enstitüsünde (TPRI)  $102 \pm 7$  nGy h<sup>-1</sup>, Same'de  $98 \pm 2$  nGy h<sup>-1</sup>, Namanga'da  $98 \pm 2$  nGy h<sup>-1</sup>, Dar Es Salam Üniversitesinde  $99 \pm 2$  nGy h<sup>-1</sup> ve Kilimanjaro Christian Medical Center'da  $121 \pm 3$  nGy h<sup>-1</sup> olarak ölçülmüştür. Doğal radyoaktivite seviyesinin yüksek olduğu alanda bir maden yatağı olduğundan şüphelenilmektedir. Bu maden yatağında ölçülen radyasyon dozu, kuzey Tanzanya'da bulunan  $98$  nGy h<sup>-1</sup> değerinden yaklaşık olarak dört kat daha yüksek olan  $1,415 \pm 28$  nGy h<sup>-1</sup> değerine sahiptir. Fosfatın yüksek olan ortalama aktivite seviyeleri (<sup>226</sup>Ra için  $5760 \pm 107$  Bq kg<sup>-1</sup>, <sup>228</sup>Ra için  $497 \pm 5$  Bq kg<sup>-1</sup>, <sup>228</sup>Th için  $350 \pm 6$  Bq kg<sup>-1</sup> ve <sup>40</sup>K için  $280 \pm 5$  Bq kg<sup>-1</sup>) ve kaydedilen radyasyon doz oranı gösterir ki Minjingu fosfat madeni Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyon Etkileri Üzerine Bilim Komitesi tarafından fosfat için derlenen en yüksek radyoaktivite değerinden daha yüksek bir değere sahiptir.

B. Karakelle, N. Öztürk, A.Köse, A. Varinlioğlu, A.Y.Erkol, F.Yılmaz (2002) tarafından yapılan çalışmada Kocaeli,Basin'daki 27 farklı örnek istasyonundan alınan toprak örneklerindeki doğal radyonüklit 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 <sup>227</sup>Ra ile <sup>228</sup>Th'in kız ürünleriyle 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 nüklit konsantrasyonları <sup>238</sup>U için  $11 \pm 4$  Bq/kg dan  $49 \pm 10$  Bq/kg'a , <sup>232</sup>Th için  $11 \pm 3$  Bq/kg'dan  $65 \pm 13$  Bq/kg'a, <sup>226</sup>Ra

için  $10 \pm 4$  Bq/kg'dan  $58 \pm 11$  Bq/kg'a  $^{40}\text{K}$  için  $161 \pm 30$  Bq/kg'dan  $964 \pm 127$  Bq/kg'a ve  $^{137}\text{Cs}$  için  $2 \pm 0,6$  Bq/kg'dan  $25 \pm 6$  Bq/kg'a uzanan değerlerdedir.

W. Arafa, H. El Saman, A. Ashry ve A. Abd Alla (2002) tarafından yapılan diğer bir çalışmada ise Delta bölgesindeki bir Mısır kasabasında havadaki  $^{222}\text{Rn}$  konsantrasyonu ölçülmüştür. Bu araştırma 4" açık yüzlü, 2,75" açık yüzlü ve 2,75" difüzyon bariyerli üç farklı tip aktive edilmiş odun kömürlü kutu (charcoal canister) kullanılarak yapılmıştır.

Dedektörlerin kullanımı sırasında radon gazı ve su buharı dedektör tarafından tutulmuştur. Süre bitiminde dedektörler hava geçirmeyecek şekilde kapatılmış (seal) su kazancını tahmin etmek için tartılmış ve sonra radon ve onun gama yayıcı ürünleri arasındaki dengeye ulaşmak için en az 3 saat kadar bir süre beklenilmiştir.

Dedektörlerin gama spektrumu, 3 cm kalınlıklı kurşunla zırhlanmış NaI(Tl) sintilasyon dedektörü (7,5 cm x 7,5 cm) içeren bir gama spektrometresi ile analiz edilmiştir.

Delta bölgesinde bulunan küçük bir Mısır kasabasındaki radon konsantrasyonu 1999 yılı yazında (34 ev) ve 2000 yılı kışında (16 ev) olmak üzere toplam 50 evde ölçüm yapılmıştır. Bu evlerin 25 tanesi kilden yapılmış ve diğer 25 tanesi betondan yapılmış binadır. Yaz ayı incelemesi Temmuz 1999 sonunda başlayıp Ağustos 1999 sonunda bitmiştir. Kış dönemi incelemesi ise Şubat 2000'de yapılmıştır. Mısır kasabalarındaki insanların büyük bir kısmı güneşte kurutulmuş kil tuğlalardan yapılmış evlerde yaşamaktadır.

Yaz aylarındaki ortalama radon konsantrasyonu beton binalar için zemin katta kapalı odalarda  $37 \text{ Bq/m}^3$  ve açık odalarda  $23,7 \text{ Bq/m}^3$  bulunmuştur.

Kış aylarındaki ortalama radon konsantrasyonu beton binalar için zemin katta kapalı odalarda  $35,5 \text{ Bq/m}^3$  ve açık odalarda  $18,5 \text{ Bq/m}^3$ , beton binalardaki 1. katta açık odalarda  $10,6 \text{ Bq/m}^3$  ve kapalı odalarda  $14,8 \text{ Bq/m}^3$  bulunmuştur. Kış aylarındaki ortalama radon konsantrasyonu kil binalarda zemin katta kapalı odalarda  $55,5 \text{ Bq/m}^3$  ve açık odalarda  $40 \text{ Bq/m}^3$  ve 1. katta açık odalarda  $11,1 \text{ Bq/m}^3$  ve kapalı odalarda  $18,1 \text{ Bq/m}^3$  bulunmuştur.

Yaz aylarındaki ortalama radon konsantrasyonu kil binalarda kapalı odalarda  $45,5 \text{ Bq/m}^3$  ve açık odalarda  $19,1 \text{ Bq/m}^3$  dür.

Yaz dönemi ile kış dönemi arasındaki ortalama oranı kil binalarda açık odalar için 2,1 ve kapalı odalarda 1,2, beton binalarda ise açık odalar için 0,8 ve kapalı odalarda 1,0 dır. Bu çalışmada inşaat materyallerinin etkisi kadar mevsimsel değişimlerinde radon konsantrasyonu üzerindeki değişimleri tartışılmıştır.

A.F. Hafez, A.A. Bishara, M. A. Kotb ve A. S. Hussein (2003) tarafından yapılan çalışmada pasif nükleer iz dedektörleri ile büyük piramit içerisindeki radon aktivite konsantrasyonu ve etkin doz ölçümleri incelenmiştir.

Bu çalışma Giza'da Cheops "Khufu" büyük piramit içerisindeki radon seviyeleri etkin doz ölçümleri ile ilgilidir. Pasif metot için LR-115 ve CR-39 dedektörleri kullanılmıştır. Radon ölçüm aleti 7 cm çaplı ve 11 cm uzunluklu alüminyum bir difüzyon kabıdır. Kap, 50 µm kalınlıklı PE bir zar ile radon ve toron ürünlerini dışarıda tutmak için korunmuştur. Dış LR-115 dedektörü kabın dışına sabitlenmiştir. Bu metot radon aktivite konsantrasyonu ve denge faktörünü aynı anda tahmin etmek için kullanılmıştır. Bu metotla iç dedektör sadece  $^{222}\text{Rn}$  maruz kalma miktarını ölçer ve dış dedektör toplam alfa toplam alfa maruz kalmalarını ölçer ( $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{220}\text{Rn}$  ve onların ürünleri). İki dedektörün iz yoğunluk oranlarından uygun durumlarda denge faktörünün tahminini yapmak mümkündür. Dedektörler, ziyaretçilerin piramit içerisinde izledikleri yolların yakınlarına zeminden yaklaşık 2,5 m yüksekliğe asılmıştır. İnceleme periyodu Ocak – Aralık 1998 arasındaki zaman dilimini oluşturan bir yıldır.

Sonuçlar Şubatta 4 ve 5 konumlarında en yüksek radon seviyesini  $170 \text{ Bq m}^{-3}$  olarak, Haziran ve Temmuz aylarında ise 1 konumunda en düşük değer  $20 \text{ Bq m}^{-3}$  olarak göstermiştir. Sonuç olarak piramit içerisindeki radon aktivite konsantrasyonunun yükseklikle arttığı gözlenmiştir. Piramit içerisinde ölçülen tüm radon seviyeleri çok yüksek değildir.

Piramit içerisindeki radon aktivite konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi kışın maksimum yazın minimum olarak ölçülmüştür. Bir yıl içerisindeki ortalama radon aktivite konsantrasyonu minimum  $20 \text{ Bq / m}^3$  den maksimum  $170 \text{ Bq / m}^3$ 'e kadar değişir. Radon ve onun bozunum ürünleri arasındaki yıllık ortalama denge faktörü piramit içerisinde 0,16 ve giriş yakınlarında 0,36 olarak belirlenmiştir.

Tahmin edilen yıllık etkin doz tur rehberleri için 0,05 mSv ve piramit görevlileri için 0,19 mSv'den 0,36 mSv'e değişen değerlerde, ziyaretçiler için ise 0,15 mSv'dir. Bunlar ICRP 65 tarafından tavsiye edilen 3-10 mSv y<sup>-1</sup> limit dozdan daha düşüktür.

S. Topcuoğlu, G. Karahan, N. Güngör ve Ç. Kırbaçoğlu (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 <sup>238</sup>U, <sup>232</sup>Th, <sup>226</sup>Ra, <sup>40</sup>K ve <sup>210</sup>Po radyonüklit dağılımları ve yapay radyonüklit <sup>137</sup>Cs alfa ve gama spektrometresi kullanılarak belirlenmiştir. Aynı zamanda toplam (gross) alfa ve toplam (gross) beta konsantrasyonları bahsedilen örneklerde, termal ve diğer su örneklerinde belirlenmiştir. Yapılan incelemeye göre Emendere termal kaynağı ve Emendere su buharı içmek amacıyla tüketmek için uygun değildir. Diğer yandan termal kaynak civarında yaşayan insanlar besinlerin tüketilmesi yoluyla bir risk almamaktadır.

I. Akkurt, Z. Sevin, B. Mavi, A. Kaplan (2004) tarafından yapılan çalışmada Isparta bölgesindeki doğal gama radyasyon ölçümü yapılmıştır. Ölçümler Eberline firması tarafından üretilen NaI (Tl) proplu portatif radyasyon monitör cihazı (ASP2e) kullanılarak yapılmıştır. Ölçülen çevresel gama radyasyon dozu 2,43 µR / h ile 37,54 µR / h değerleri arasında değişmektedir.

Isparta Davraz ve Gölcük bölgelerindeki ölçüm sonuçları aylara göre ve yerden yüksekliğe bağlı olarak yapılmıştır. Ölçüm sonuçları en yüksek radyasyon dozu Gölcük bölgesinde 37,54 µR / h olarak bulunurken en düşük değer 2,43 µR / h ile Davraz bölgesinde bulunmuştur.

E. Kam, Y. Yazar, N. Çelebi, G. Karahan, C. Özüağ (2005) tarafından yapılan bir çalışmada Tekirdağ ili gama ışınlama dozları ve ev içi radon konsantrasyonları belirlenmiştir. Bu amaç için Tekirdağ il genelinde 169 noktada dış havada ayrıca Tekirdağ merkezinde ev içi ve ev dışı birçok noktada gama ışınlama doz ölçümü gerçekleştirilmiştir ve sonuçlar nGy/h olarak belirlenmiştir. Ev içi radon konsantrasyonunu belirlemek amacı ile toplam 84 eve CR-39 pasif nükleer iz dedektörleri dağıtılmıştır. 100 günlük bir süre sonunda toplanan dedektörlere

kimyasal iz kazıma işlemi uygulanarak görünür hale getirilen alfa izleri sayılmış ve net iz sayılarına karşılık gelen radon konsantrasyonları belirlenmiştir. Gama ışınlaması ve ev içi radon solunmasından kaynaklanan eşdeğer dozlar ve kanser oluşturma riskleri hesaplanmış ve sonuçlar güvenli doz limitleri ile karşılaştırılmıştır.

E. Kam, Y. Yazar, G. Karahan, N. Çelebi, C. Özüağ (2005) tarafından Tekirdağ ili ve çevresinin doğal radyasyon seviyeleri belirlenmiştir. Bu amaç doğrultusunda Tekirdağ il sınırları içerisinde 40 farklı yerleşim alanından toprak örnekleri alınıp gama spektrometrik analizi yapılarak  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  doğal radyoaktif serilerinin bozunma ürünleri olan  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$ ,  $^{218}\text{Ac}$  ve  $^{208}\text{Tl}$  radyoizotopları ile  $^{40}\text{K}$  radyoizotopunun radyoaktivite konsantrasyonları belirlenmiştir. Ayrıca doğada bulunmayan ve bir fisyon ürünü olan  $^{137}\text{Cs}$  radyoizotopunun toprak içerisindeki aktivite konsantrasyonu da belirlenmiştir. Deneysel veriler kullanılarak Tekirdağ iline ait izo-doz ve izo-aktivite haritaları ve radyoizotop dağılım grafikleri çizilmiştir. Gaz akışlı bir orantılı sayıcı kullanılarak, çeşitli içme suyu kaynaklarından alınan su örneklerinin toplam alfa ve beta sayımları yapılmıştır.

$^{226}\text{Ra}$  konsantrasyonu,  $^{238}\text{U}$  serisinin diğer bozunma ürünleri olan  $^{214}\text{Bi}$  ve  $^{214}\text{Pb}$ 'ün konsantrasyonlarından daha yüksek değerler elde edilmiştir. Öte yandan  $^{214}\text{Bi}$  ve  $^{214}\text{Pb}$ 'ün konsantrasyon değerleri birbirine yakın çıkmıştır. Radyoizotoplarının Tekirdağ toprağındaki konsantrasyon ortalamaları  $^{226}\text{Ra}$  için 36,29 Bq/kg,  $^{214}\text{Pb}$  için 26,07 Bq/kg,  $^{214}\text{Bi}$  23,62 Bq/kg' dır.  $^{232}\text{Th}$ 'nin bozunma ürünlerinin konsantrasyon değerleri,  $^{238}\text{U}$ 'in konsantrasyon değerlerinden daha yüksektir.  $^{232}\text{Th}$ 'in bozunma ürünleri olan  $^{208}\text{Tl}$  ve  $^{228}\text{Ac}$ 'un ortalama konsantrasyon değerleri dünya ortalamasının biraz üzerindedir. Toprakta doğal olarak bulunan  $^{40}\text{K}$ 'in aktivite konsantrasyonu,  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonlarından önemli ölçüde yüksek olarak elde edilmiştir.  $^{40}\text{K}$ 'in ortalama değeri 579 Bq/kg olarak belirlenmiştir. Bu değer, UNSCEAR'ın 1982 ve 2000 raporlarında  $^{40}\text{K}$  için belirlediği sırasıyla 370 Bq/kg ve 400 Bq/kg değerlerinden yüksektir. Çernobil kazasından sonra Tekirdağ'ın Saray ilçesinde ölçülen  $^{137}\text{Cs}$  konsantrasyonu ÇNAEM tarafından 45 Bq/kg olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada ise aynı bölge için ölçülen değer 14,88 Bq/kg ölçülmüştür. Tüm yerleşim birimlerinden alınan toprak örneklerindeki  $^{137}\text{Cs}$  konsantrasyonu ortalaması 5,17 Bq/kg olarak ölçülmüştür.

İçme suları genel olarak WHO'un tavsiye ettiği toplam alfa için 0,1 Bq/l ve toplam beta için 1 Bq/l değerlerinden daha düşük bulunmuştur. Ancak Kayı, Yenice, Ulaş, ve Çorlu'dan alınan içme suyu örneklerinde toplam alfa WHO'nun tavsiye ettiği değerlerin çok üzerinde çıkmıştır. Söz konusu sular yüzeysel sular olup, tarımda kullanılan yapay gübrelerden dolayı radyoaktif kirlilik oranlarının yükseldiği düşünülmektedir. Toplam beta aktivitesinin ise tavsiye edilen sınır değerlerin altında olduğu görülmüştür.

H. Papaefthymiou, P. Kritidis, J. Anousis, J. Sarafidou (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 şehrinden doğal radyoaktivitenin farklı emisyon kaynaklarından eşzamanlı olarak toplanmıştır. Toplam (gross)  $\beta$  aktivitesi ve  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  aktiviteleri toplam 95 tortu tozu örneğinden belirlenmiştir. Sonuçlar bu şehirlerdeki doğal radyoaktivite seviyelerini ve değişimlerini belirlemek için istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Bu iki şehir arasında tortu tozu miktarlarında belirgin bir fark yoktur. Megalopolis'de bulunan değerler Patras'a göre toplam (gross)  $\beta$  değerleri 3 kat,  $^{238}\text{U}$  71 kat ve  $^{232}\text{Th}$  4 kat daha yüksektir. Bunun nedeni olarak Patras'ın serpinti örneklerindeki doğal radyoaktivite konsantrasyonları için doğal kaynaklara bağlanırken Megalopolis şehri ve çevresindeki A ve B linyit güç santral işletmelerine bağlanır.

A. Uluğ ve N. Çelebi(2005) tarafından yapılan bir çalışmada evimizdeki görünmeyen tehlike radon gazının Türkiye değerleri ve diğer ülkelerle karşılaştırılması yapılmıştır. Bu çalışmada Türkiye evlerinde CR-39 nükleer iz dedektörleri ile radon konsantrasyonları belirlenmeye çalışılmış ve ölçümü yapılan bölgeler için radon haritası çıkarılmıştır. Yaklaşık on yıl süren bu çalışmada her eve iki dedektör dağıtılarak, insanların zamanlarının büyük kısmını geçirdikleri yatak odaları ve oturma odaları için ölçümler üçer aylık dönemler için yapılmıştır. Yatak odası ve oturma odası değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak her ev için  $^{222}\text{Rn}$  konsantrasyon değerleri belirlenmiştir. Ölçüm yapılan evlerde belirlenen  $^{222}\text{Rn}$  konsantrasyon değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak, her il veya ilçe için

ortalama  $^{222}\text{Rn}$  konsantrasyon değeri belirlenmiştir. Sonuç olarak sıcak iklime sahip illerde  $^{222}\text{Rn}$  konsantrasyon oranı düşük, fay hatları üzerindeki bölgelerde ise  $^{222}\text{Rn}$  oranı yüksektir. Bolu ve Kocaeli illerindeki oranın düşük olmasının havalandırma koşullarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Sıcak ülkelerin  $^{222}\text{Rn}$  oranı düşükken soğuk ülkelerinki yüksektir. Ayrıca Türkiye için UNCEAR tarafından  $40 \text{ Bq/m}^3$  olarak verilen ev içi radon konsantrasyonunun dünya aritmetik ortalama değerini aşan bölgeler belirlenmiş ve nedenleri tartışılmıştır.

A.Uluğ, D. Kılıç, N. Çelebi (2005) tarafından yapılan bir çalışmada Batı Anadolu fay hattında yer alan Burdur ilinin ev içi radon ölçümleri yapılmıştır. 1. derece deprem kuşağı üzerinde yer alan bu il, geçen yüzyıl içerisinde 11'i orta ve yüksek şiddette olmak üzere sayısız deprem yaşamıştır. Ev içi radon gazı konsantrasyonunu arttıran nedenlerden birisi de bölgenin fay hattı üzerinde kurulmuş olmasıdır. Yüksek  $^{222}\text{Rn}$  oranı, bölgede yaşayanlar için önemli bir sağlık sorunu oluşturmaktadır. Ölçümler CR-39 nükleer iz dedektörleri kullanılarak yapılmıştır. Üçer aylık dönemde yaz ve kış mevsimleri için rast gele seçilen 40 evde 160 dedektör kullanılarak  $^{222}\text{Rn}$  konsantrasyonu belirlenmiştir. Alınan sonuçlara göre yatak odası  $^{222}\text{Rn}$  konsantrasyonu ( $81,89 \text{ Bq/m}^3$ ), oturma odası  $^{222}\text{Rn}$  konsantrasyonundan ( $89,88 \text{ Bq/m}^3$ ) daha düşüktür. Kış aylarında oturma odası ( $127,60 \text{ Bq/m}^3$ ) ve yatak odası ( $113,23 \text{ Bq/m}^3$ )  $^{222}\text{Rn}$  konsantrasyonunu ortalaması, yaz aylarından ( oturma odası için  $51,97 \text{ Bq/m}^3$ , yatak odası için  $50,55 \text{ Bq/m}^3$ ) daha yüksektir. Kalorifer kullanan evlerin ev içi  $^{222}\text{Rn}$  konsantrasyon değeri, soba kullananlardan ayrıca bodrumlu evlerin  $^{222}\text{Rn}$  konsantrasyonu, bodrumsuz evlerden daha yüksektir. Burdur ilinin ev içi  $^{222}\text{Rn}$  konsantrasyonunu ortalaması ( $85,89 \text{ Bq/m}^3$ ), Antalya'dan ( $33,35 \text{ Bq/m}^3$ ) yüksek, Isparta'dan ( $132,64 \text{ Bq/m}^3$ ) ise daha düşüktür. Elde edilen ev içi ortalama radon konsantrasyon değeri ( $85,89 \text{ Bq/m}^3$ ), Türkiye ortalamasının  $35,00 \text{ Bq/m}^3$  olarak belirlenen ortalama  $^{222}\text{Rn}$  konsantrasyon değerinden daha yüksektir ve hiçbir evde TAEK tarafından belirlenen ev içi  $^{222}\text{Rn}$  konsantrasyon limitini aşan değere ( $400 \text{ Bq/m}^3$ ) rastlanmamıştır.

I. Akkurt, Z. Sevin, B. Mavi, A. Kaplan (2005) tarafından yapılan bir çalışmada Isparta bölgesinde doğal gama radyasyon ölçümü yapılmıştır. Ölçümler



Eberline firması tarafından üretilen NaI(Tl) uçlu (prop) portatif radyasyon monitör cihazı (ASP2e) kullanılarak yapılmıştır. Ölçülen çevresel gama radyasyon dozu 2,43  $\mu\text{R/h}$  ile 37,54  $\mu\text{R/h}$  değerleri arasında değişmektedir. Isparta Davraz ve Gölcük bölgelerindeki ölçüm sonuçları aylara ve yerden yüksekliğe bağlı olarak yapılmıştır. Ölçüm sonuçları en yüksek radyasyon dozu Gölcük bölgesinde 37,54  $\mu\text{R/h}$  olarak bulunurken en düşük değer 2,43  $\mu\text{R/h}$  ile Davraz bölgesinde bulunmuştur. Gölcük bölgesindeki değerlerin Davraz bölgesindeki değerlerden yüksek olmasının sebebi Gölcük bölgesindeki toprak yapısının farklı oluşu veya o bölgede bulunan krater gölünün varlığı olabilir.

## 3. MATERYAL ve METOT

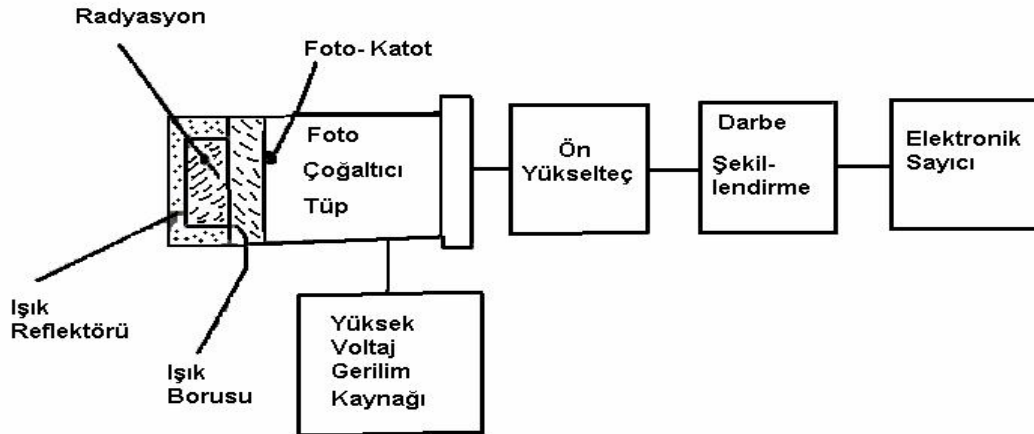
## 3.1. Materyal

## 3.1.1. Deneylerde Kullanılan Dedektörler

## 3.1.1.1. Sintilasyon Sayıcıları

Radyasyon ölçmelerinde kullanılan en eski metotlardan birisi sintilasyon sayma metodudur. Sintilasyon sayma, gama ışınlarının sayılmasında kullanılan çok faydalı bir metottur. Dedektördeki parıltıların şiddeti, bu parıltıları meydana getiren gama ışınlarının enerjileri ile orantılıdır.

Sintilasyon dedektörleri, sintilatör olarak kullanılan bir madde ve bunun hemen arkasına bağlanmış foton çoğaltıcı bir tüpten oluşur. Gama ışınlarının sayımında kullanılan dedektör, fotomultiplikatör tüpe optikçe yapılandırılmış talyumla aktive edilen NaI kristalidir. Bu kristal içinden gama ışınları geçerken, kristal atomları ile fotoelektrik olayı, Compton olayı ve çift oluşumu olayını meydana getiren etkileşmelerle enerji kaybederek soğurulurlar. Şekil 3.1’de bir sintilasyon dedektörü cihazı şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Sintilasyon dedektörlü cihaz blok şeması (TAEK Rapor 32, 1985 )

NaI kristalindeki yüksek atom numaralı iyodun gama ışınları ile etkileşim tesir kesidi yüksektir. Gama ışınlarının kristal ile yaptığı etkileşmeden meydana gelen fotoelektronlar, Compton elektronları ve pozitron- elektron çiftleri kendi kinetik enerjilerini kristalin atomlarına vererek bu atomları iyonize edip uyarırlar.

Uyarılan bu atomlar tekrar eski durumlarına bir ışık fotonu yayınlayarak dönerler.

Kristal, ışığı geçirme özelliğine sahip olduğundan, bu fotonlar fotomultiplikator tüpünün hassas katoduna çarparak buradan elektron çıkmasına sebep olurlar. Bu elektronlar her biri yaklaşık 100 volt pozitif potansiyelde bulunan diğer dinotlara çarparak dinotlardan elektron sökerek çoğalırlar ve en son anotta toplanırlar. Böylece gelen fotonun enerjisi ile orantılı olan bir elektrik pulsu bir amplifikatörden geçirerek sayılır. Meydana gelen pulsun genliği radyasyonun enerjisi ile orantılıdır

Uygun sintilasyon kristali kullanılarak parçacıklı radyasyonların da sayımı yapılabilmektedir. ZnS kristali alfa parçacıklarının sayımında, antrasen fosforu beta parçacıklarının sayımında çok yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu dedektörler sayım ve aynı zamanda enerji ayırımı için kullanılır. (TAEK Rapor No:32, 1985)

#### **3.1.1.2. Dış Gama Radyasyon Seviye Ölçümlerinde Kullanılan Portatif Gama Sintilasyon Dedektörü**

Bu çalışmada, dış gama radyasyon seviyelerinin belirlenmesi için Eberline Smart Portable (ESP-2) model, taşınabilir mikro bilgisayarlı ve ucuna SPA-6 model plastik sintilasyon dedektörü bağlanmış bir cihaz kullanılmıştır. SPA-6 dedektörü ile ESP-2 kaydedici mikrobilgisayarlı cihaz Alman Thermo Eberline firmasının yapımıdır. Şekil 3.2’de çalışmada kullanılan ESP-2 cihazı gösterilmiştir.



Şekil 3.2. **ESP – 2**

Eberline Smart Portable (ESP-2), radyasyon dedektörleriyle monte edilebilecek şekilde üretilmiş portatif radyasyon inceleme aleti, mikro bilgisayar tabanlı ve veri kaydedebilen bir alettir. Bu alet rutin radyasyon incelemelerinde kullanmak üzere dizayn edilmiştir ve çoklu okumaya izin verir (500'ün üzerinde) ve sonradan bir bilgisayar ve yazıcıya bağlanabilir.

ESP -2 kullanıcı için ara yüzey olarak dizayn edilmiş, bir çok fonksiyona sahip yedi tane açma kapama butonu ve bir sıvı kristal ekran (LCD) sahiptir. Veri ya bilimsel yada hareketli nokta kaydı olarak ve seçilebilen ölçüm birimlerinde verilir.

Ayrıca bu alet yüksek radyasyon alanlarında kullanmak için bir dış kulaklık ve hoparlör sisteminden oluşmuştur.

Dedektör oran ölçer (ratemeter) ve skaler olmak üzere iki ana çalışma moduna sahiptir.

Çalışırken dedektör sinyali bilgisayara girer ve hesaplama oranına dönüştürülür. Bu temel birim her bir saniyeyi hesaplar. Oran ölçer (Ratemeter) mod hesaplama oranını temsil eden iki eş parçalı bir operatör sağlar. İlk gösterim grafik çubuğuna taşınır. Çubuğun uzunluğu dedektörün aktivitesi ile orantılıdır. İkinci gösterim aktivitenin uygun radyasyon birimlerindeki nümerik değer gösterimidir. İşitilebilir alarm sistemi operatörü ölçüm sırasında uyarır.

Skaler mod, dedektör sinyalini seçilen bir hesap aralığında bilgisayarın tanımlayabilmesi için operatöre izin verir. Skaler modda LCDnin ilk sırası hesaplama periyodunda kalan zamanı gösterir. İkinci sıra gittikçe artan şekilde sonuçları gösterir. Hesaplama periyodunun sonunda ESP – 2, hesaplama periyodunun

uzunluğunu ve sonuç değerlerinin toplamını yada dedekte edilen radyasyon birimini gösterir.

Bu aletin en önemli özelliği tarih, zaman, alet numarası, kullanıcı kimliği, seçilen dedektör, işlem modu ve kalibrasyon gibi bilgileri depolamasıdır. (ESP.2 Manual, 1996) Çizelge 3.1’de ESP-2 cihazının teknik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.1. ESP – 2 teknik özellikleri (ESP2.Manual, 1996 )

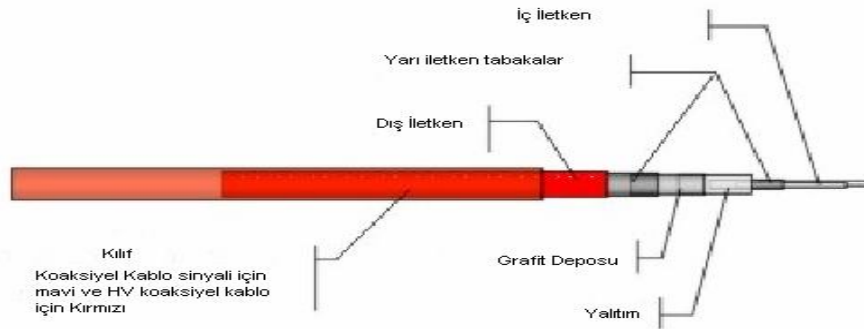
<b>Mekanik Özellikleri (piller ile birlikte, uç kısmı hariç)</b>	
Boyutları	L = 10.5 in. (26.7 cm ) H = 5.0 in. (12.7 cm ) W = 5.2 in. (13.2 cm )
Ağırlığı	3.8 lb. (1.73 kg )
<b>Sıcaklık</b>	
Çalışır durumda	- 20 <sup>0</sup> C ile + 50 <sup>0</sup> C (- 4 <sup>0</sup> F ile 122 <sup>0</sup> F)
Durgun durumda	-30 <sup>0</sup> C ile + 80 <sup>0</sup> C ( - 22 <sup>0</sup> F ile 176 <sup>0</sup> F)
<b>Voltaj</b>	
Düşük Voltaj	5 Vdc.
Yüksek Voltaj (dedektör ön gerilim voltajı )	500 ile 2450 Vdc.
Pil Destek Voltajı	5.8 ile 10.0 Vdc.

### **SPA-6 Sintilasyon Dedektörü**

SPA-6 dedektörü, doğal gama radyasyonlarının ölçümleri ile birlikte serpinti ile yere inen düşük aktiviteli radyonüklitlerden yayınlanan radyasyonların algılanmalarında oldukça duyarlıdır. Şekil 3.3’de çalışmada kullanılan SPA-6 sintilasyon ucu ve Şekil 3.4’de de bu ucun ayrıntıları gösterilmiştir.



Şekil 3.3. SPA - 6



Şekil 3.4. Spa-6 sintilasyon uç, ortama duyarlı uygulamalar için dizayn edilmiş bir gama dedektörüdür. ( 2" x 2.4" plastik sintilator) (Technology details,CERN)

### SPA-6 Dedektörünün Teknik Özellikleri

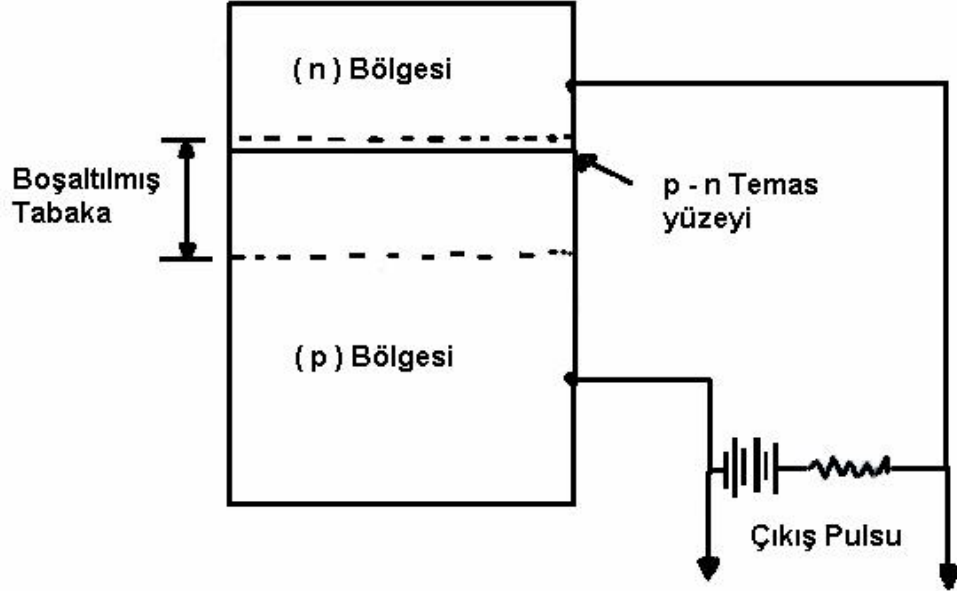
Çizelge 3.2. SPA – 6 Dedektörünün özellikleri ([www.bertholdtech.com](http://www.bertholdtech.com))

<b>Kullanımı</b>	Orta Duyarlı Gama Ölçümleri
<b>Dedektör Tipi</b>	50 mm çapında ve 60 mm kalınlığında plastik sintilator
<b>Çalışma Voltajı</b>	1,000 V nominal
<b>Ölü Zaman</b>	12 µs nominal
<b>Background Duyarlılığı</b>	~600 kcpm / mR / h (137Cs )
<b>Enerji Alanı</b>	40 keV ile 1.3 MeV arası
<b>Çalışma Biçimi</b>	~30 °C ile 60 °C arası
<b>Fiziksel Yapısı</b>	Alüminyum Kaplama
<b>Bağlantı</b>	MHV
<b>Hacmi</b>	6.6 x 25.1 cm
<b>Ağırlığı</b>	800 gr.

**3.1.1.3. Yarı İletken Dedektörlü Sayıcılar**

Yarı iletken madde yalıtkan ile iyi bir iletken arasında bulunan bir maddedir.

Yarı iletken radyasyon dedektörünün çalışması onun fazla delik (hole) veya elektrona sahip olmasına bağlıdır. (p) ve (n) tipi (Ge) veya (Si) kristaller birbirlerine temas ettirilir ettirilmez derhal yüzeye yakın serbest yükler difüzyon sebebiyle bir taraftan diğer tarafa geçerler. Birbirlerine karşı hareket edecek olan bu yükler temas yüzeyi civarında ikişer ikişer birleşerek ortadan kalkarlar. Bu suretle temas yüzeyi civarında serbest yüklerden temizlenmiş (boşaltılmış) çok ince bir tabaka meydana gelir. Bu tabakaya boşaltılmış tabaka (depletion layer) denir. Bu kristalin (p) bölgesine pozitif ve (n) bölgesine de negatif voltaj uygulanırsa temas yüzeyi empedansı çok düşük olacak ve temas yüzeyini geçen bir akım olacaktır. Uygulanan voltajın polaritesi değiştirilirse yani (n) bölgesi pozitif ve (p) bölgesi negatif terminale bağlanırsa temas yüzeyini geçen bir akım olmayacaktır. Temas yüzeyi etrafındaki bu yüklerden boşaltılmış bölgeye katı hal dedektörlerinin hassas hacmi denir. Bu boşaltılmış tabakadan iyonlaştırıcı radyasyon geçtiği zaman, iyonlaştırıcı radyasyon ile kristal atomları arasında meydana gelen etkileşim ile elektron delik çiftleri meydana gelecektir. Uygulanan elektrik akımı bu yükleri süpürerek dış devreden akım akacak ve yük direnci üzerinde bir puls oluşacaktır. Şekil 3.5’de bir yarı iletken dedektör şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Yarı iletken dedektör (TAEK Rapor 32, 1985 )

Yarı iletken dedektörün avantajları

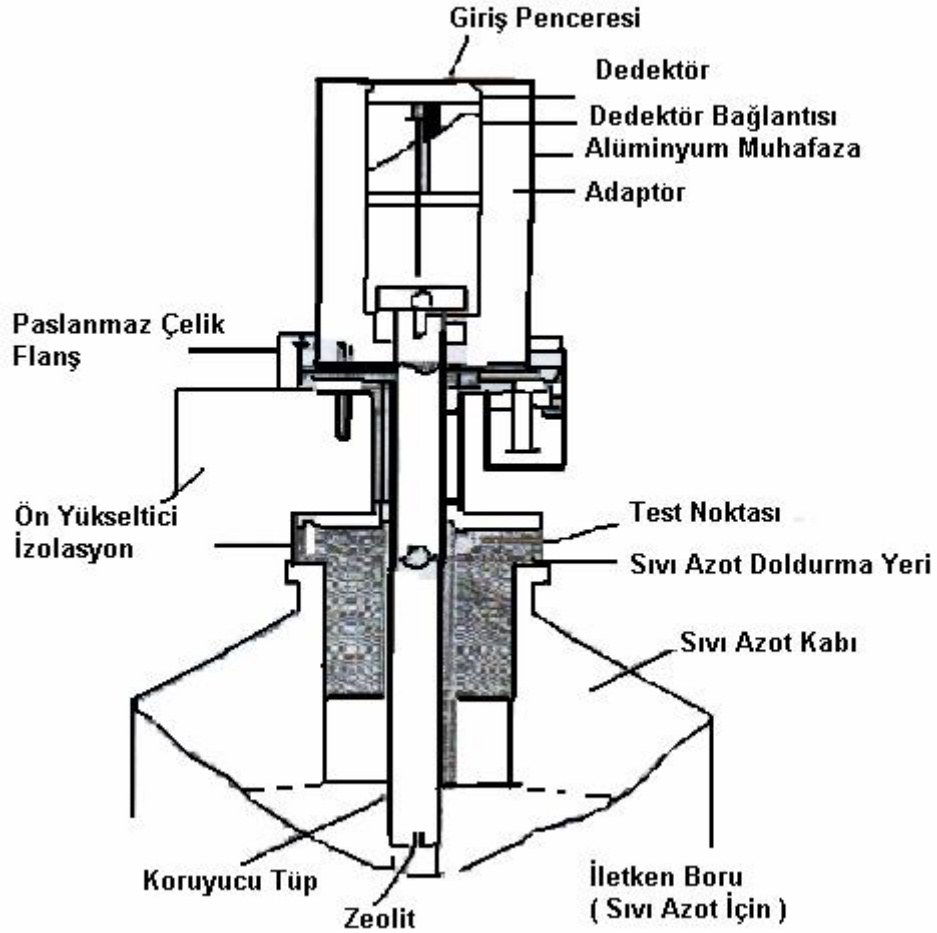
1-Çok düşük ölü zamana sahip olmaları nedeniyle çok yüksek sayma hızına sahiptirler.

2- Dedektör cevabı, iyonlaştırıcı partiküllerin boşaltılmış tabakada bıraktıkları enerji ile orantılıdır. Yüklü partiküller için çok iyi enerji ayırma kabiliyetine sahip olan yarı iletken dedektörler partikül spektrometresi için uygundur.

3- Yaklaşık 25 – 300 V gibi çok düşük voltajlarda çalışır.(TAEK Rapor No:32,1985)

Şekil 3.6’da bir katı hal dedektörünün kesiti gösterilmiştir.



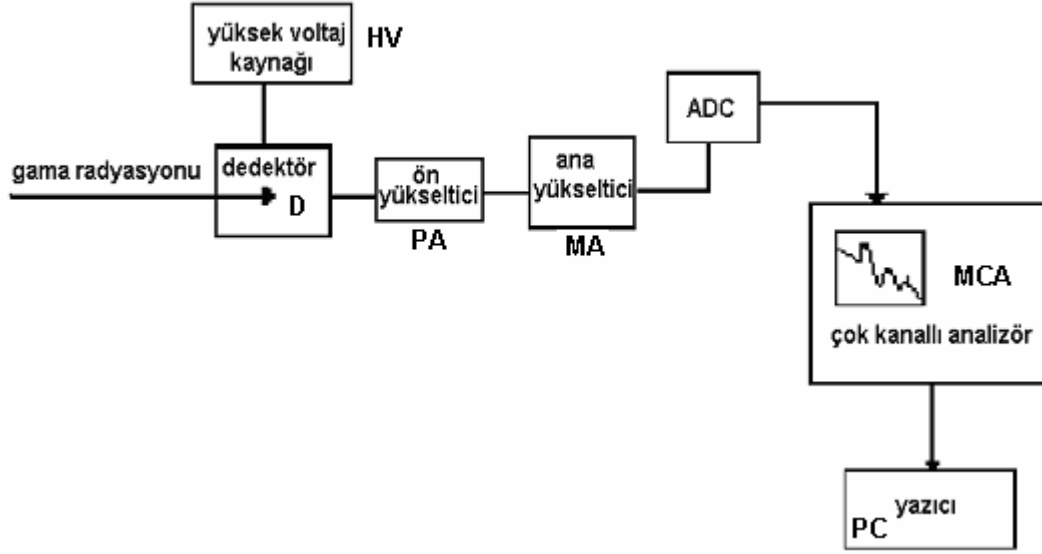


Şekil 3.6. Katı hal dedektörünün kesiti

#### 3.1.1.4. Gama Spektrometrik Analiz Sistemi

Tipik bir gama spektrometre sistemi NaI(Tl) gibi sintilasyon veya Ge(Li) ve HPGe gibi yarı iletken bir dedektör (D), beraberinde ön yükseltici (PA) ve yüksek voltaj filtresi ile, güç kaynağı (HV), yükseltici (MA), analog sayısal dönüştürücü (ADC), çok kanallı analizör (MCA) ve bilgisayar (PC) yazıcıdan oluşur. Gama ışınlarının dedektör kristalinde algılanması sonucu ortaya çıkan darbeler dedektörün bağlı olduğu elektronik modüllerin uygun bir kombinasyonu yardımıyla analiz edilir ve gama ışını yayan izotopların nitel ve nicel tanımlanması yapılır. Gama

spektrometresi çeşitli radyoaktif örneklerdeki radyoizotopların tanımlanmasında en çok kullanılan tekniktir, çünkü gama ışınlarının enerjisi her bir çekirdek için kesikli ve karakteristiktir. Şekil 3.7’de saf germanyum dedektörlü gama spektrometrik cihazının çalışma düzeneği gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Saf germanyum dedektörlü gama spektrometrik cihazının çalışma düzeneği

Gama spektrometresinin bazı üstünlükleri şöyle özetlenebilir:

- 1-Aynı örnekte farklı radyoaktif çekirdekler tek tek ve aynı anda analiz edilebilir.
- 2- Malzeme, emek ve zaman kaybına neden olan kimyasal ayırma işlemleri gerektirmeden örnek hazırlanması kolay ve hızlıdır.
- 3- Ölçümlerdeki yüksek kararlılık, bilgi işlemedeki doğruluk ve analiz edilen bilgilerin güvenilirlik düzeyleri yüksektir.
- 4- Düşük tayin sınırı nedeniyle özellikle çevre örnekleri analizinde kullanılırlar.

Bu çalışmadaki gama spektrometrik ölçümlerde HPGe dedektörü kullanılmıştır. Bu dedektör Canberra firmasının bir ürünüdür ve Şekil 3.8’de bu dedektör gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Saf Germanyum dedektörlü gama spektrometrik cihazının çalışma düzeneği (ÇNAEM laboratuvarı )

### **3.1.1.4.(1). Çok Kanallı Analizör Sistemi**

#### **3.1.1.4.(1).(a). Çok Kanallı Analizör**

Yükseltici çıkış sinyalleri çok kanallı bir darbe yüksekliği analizörü (MCA) ile analiz edilir. MCA'yı çalıştıracak bilgisayar bağlantısı ve yazılım programının bulunması uygun olur.

**3.1.1.4.(1).(b). Sayısal Analog Dönüştürücü**

Bir MCA'nın kalbi, elektrik darbesini sayısal niceliğe çeviren analog sayısal dönüştürücü, ADC(Analog to Digital Converter) birimi olup darbe yüksekliğinin analog büyüklüğünü (volt), kanal başına düşen sayısal niceliğe dönüştürür.

**3.1.1.4.(1).(c). Kaydedici**

MCA'dan veya MCA bağlantılı bilgisayardan alınan bilgilerin kaydedilmesi için yazıcı veya grafik çizici kullanılır.

Topraktaki radyoaktivite değerlerinin belirlenmesi süresince gama spektrometrik analizleri, etrafı kurşunla zırhlanmış yüksek ayırma gücündeki germanyum dedektörü ile buna bağlı çok kanallı analizör ve ilgili elektronik birimlerden oluşmuş bir gama ölçüm sisteminde yapılmıştır.

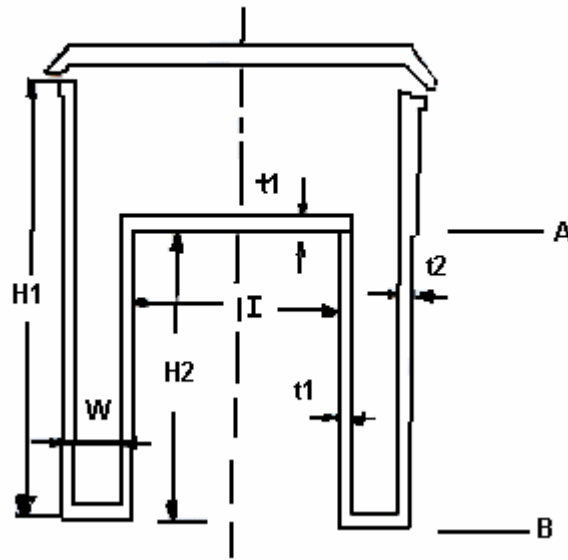
**3.1.1.4.(2). Dedektör Sistemi**

HPGe dikey eksenli, 30 litrelik sıvı azot kabına monte edilmiş, dedektör etrafına 1 litrelik marinelli kaplarının sığabileceği ve 40 cm iç boşluk bırakılmış şekilde kurşun zırhlama yapılmıştır.

Bu yöntemde, 40 keV enerji aralığında gama ışını yayınlayan radyoizotoplar herhangi bir ön işlem uygulanmaksızın, genellikle örnek matrisinden (hava, su, toprak, sediment, bitki, bitkisel ve hayvansal gıdalar vb. gibi birçok çevre ve biyolojik örnek) ayrılmalarına gerek kalmaksızın doğrudan gama spektrometresi ile tayin edilir. Bununla beraber, daha derişik bir hale veya uygun geometriye getirmek için sıvı örnekler buharlaştırılabilir, katı örnekler külleştirebilir.

Örnek sayım geometrisi, analiz edilecek örneğin fiziksel durumuna, miktarına, aktivitesine ve tayin sınırına bağlı olarak çeşitli ölçüm kapları, marinelli kapları veya değişik çap ve kalınlıkta preslenmiş diskler olabilir. Örnekler, kurşun zırh ile çevrili odacıkta, belirli bir sayım geometrisinde, sayım verimini artırmak

amacıyla dedektöre olabildiğince yakın konumda sayılır. Sayım süresi, ölçüm sisteminde doğal yüzey sayımına, örneğin aktivitesine, ilgilenilen radyoizotopa ve istenen tayin duyarlılığına bağlıdır. Kullanılan geometri için dedektörün sayım verimi, örnek yoğunluğu ve enerjisinin fonksiyonu olarak bulunmalıdır. Gama enerjisi ile sayım veriminin değişimine ilişkin bilgiler ve doğal yüzey spektrumlarının da hazır olması gereklidir.



Şekil 3.9. Marinelli kabı örneği ( $H1 = 150$  mm;  $H2 = 100$  mm; A seviyesinde  $I = 119.2$  mm,  $W = 15.6$  mm, B seviyesinde  $I = 120.0$  mm,  $W = 14.8$  mm;  $t1 = 1.9$  mm;  $t2 = 2$  mm) (Debertin; Hermer, 1988)

Marinelli kapları yüksek verim sağlamaları nedeniyle tercih edilmektedir. Bu kaplar örnek miktarının fazla olduğu durumlarda optimum dağılımı sağlamaktadır.

Şekil 3.9'da bir marinelli kabı şematik olarak gösterilmiştir.

Marinelli kaplarının şekil ve ebatları, dedektör boyutlarına ve sağlanabilen örnek miktarına bağlı olarak değişmektedir. Bu yerleşim geometrisinde dedektör, marinelli kabının ortasındaki boşlukta yer aldığı için örnek tarafından çevrelenmekte ve daha çok gama ışınının dedektöre ulaşması sağlanarak verim yükseltilmektedir.

Cs-137 ve Co-60 gibi radyoaktif standartlar kullanılarak gama spektrometresinin kalibrasyonu belirli aralıklarla yapılır.

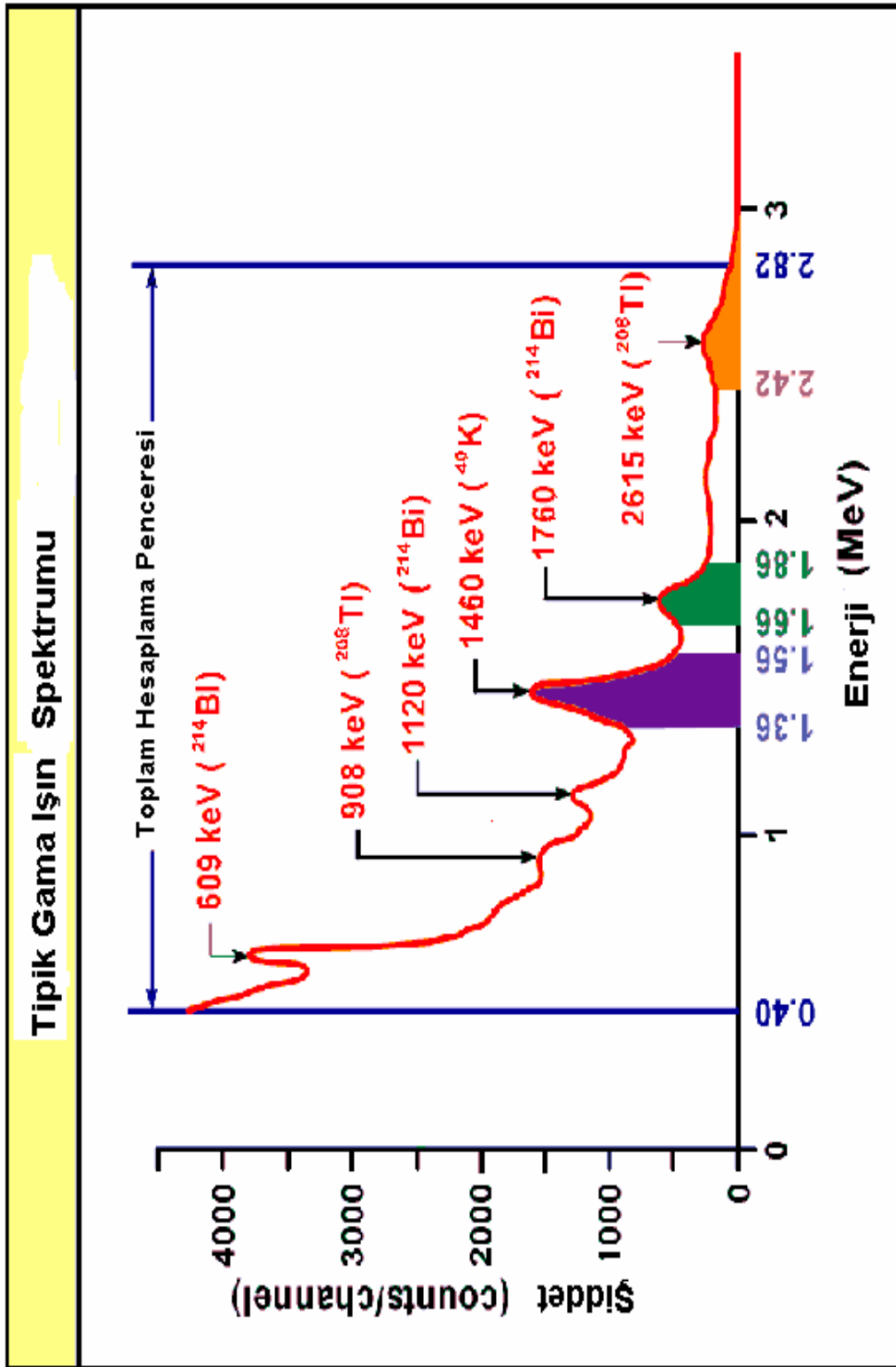
## 3.1.1.4.(3). Kalibrasyon

Kalibrasyon, bir radyasyon ölçüm cihazının belirli bir radyasyon dozu (ışınlama veya soğurma dozu) karşısında verdiği cevabın tespit edilmesi olarak tarif edilir. Dolayısıyla kalibrasyon için belirli bir noktada radyasyon dozunun çok hassas olarak bilinmesi gerekmektedir. Bunun için aktivitesi bilinen bir radyoaktif kaynağa ihtiyaç vardır. Bu radyoaktif maddenin çeşitli mesafelerde bilinen radyasyon şiddetleri kullanılarak kalibrasyon yapılır. Çizelge 3.3’de HpGe Canberra gama spektrometresinin standart kalibrasyon kaynakları verilmiştir.

Çizelge 3.3. Kullandığımız Canberra HpGe gama spektrometresinin standart kalibrasyon kaynağı (Canberra Manual)

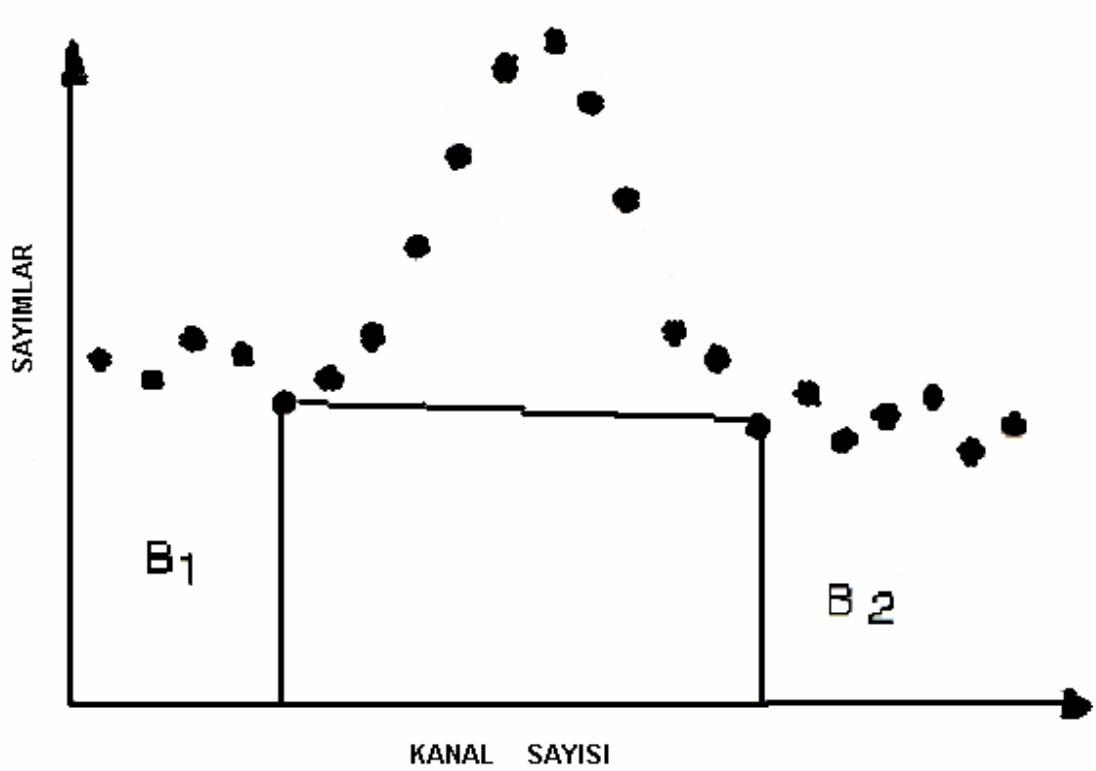
Gama Işın Enerjisi (keV)	Nüklid	Yarı Ömür	Dallara ayrılma oranı (%)	Aktivite( $\mu$ Ci)	Her bir saniyede gamalar	Toplam Belirsizlik
60	Am-241	432.17 $\pm$ 0.66 yıl	36.0	0.03056	407.1	3.0 %
88	Cd-109	462.6 $\pm$ 0.7 gün	23071	0.3140	421.7	3.1%
122	Co-57	271.79 $\pm$ 0.09gün	85.6	0.01084	343.3	3.1 %
159	Te-123m	119.7 $\pm$ 0.1 gün	84.0	0.01610	500.4	3.0 %
320	Cr-51	27.706 $\pm$ 0.007gün	31656	0.3434	1253	3.0 %
392	Sn-113	115.09 $\pm$ 0.04gün	64.89	0.05371	1290	3.0 %
514	Sr-85	64.849 $\pm$ 0.004 gün	98.4	0.06820	2483	3.0 %
662	Cs-137	30.17 $\pm$ 0.16 yıl	85.1	0.04888	1539	3.0 %
898	Y-88	106.630 $\pm$ 0.025 gün	94.0	0.09344	3250	3.0 %
1173	Co-60	5.272 $\pm$ 0.001 yıl	99.86	0.05652	2088	3.0 %
1333	Co-60	5.272 $\pm$ 0.001 yıl	99.98	0.05652	2091	3.0 %
1836	Y88	106.630 $\pm$ 0.025 gün	99.36	0.09344	3435	3.0 %

## 3.1.1.4.(4). Tipik Gama Işın Spektrumu



Şekil 3. 10. Tipik gama ışın spektrumu

## 3.1.1.4.(5). Spektrum İçin Net Alan Belirlenmesi



Şekil 3.11. HPGe dedektöründeki bir MCA spektrum için net alan belirlenmesi (Spectrum Analysis, Canberra Industries )

Radioaktif bozunum zamanla rastgele oluşur. Bu yüzden verilen zaman periyodunda dedekte edilen olayların sayısının ölçümü asla kesin değildir. Fakat kesin olmamakla beraber ortalama bir değer gösterilir. En iyi ortalama değerler uzun zaman periyotları üzerinden elde edilen verilerle bulunabilir. Fakat, bu daima mümkün olmadığından verilen her bir ortalamanın doğruluğunu tahmin edebilmek gereklidir.

Şekil 3.11'deki düz çizgi altındaki ve düşey çizgiler arasındaki alan fon alanını göstermektedir. Eğer toplam alan  $P$  ve düz çizgi noktalarının sonu  $B_1$  ve  $B_2$  ise net alan şu şekilde verilir:

$$A = P - n/2 (B_1 + B_2) \quad (3.1)$$



Burada  $n = B_1$  ve  $B_2$  aralarındaki kanal sayısıdır.(Canberra Spectrum Analysis)

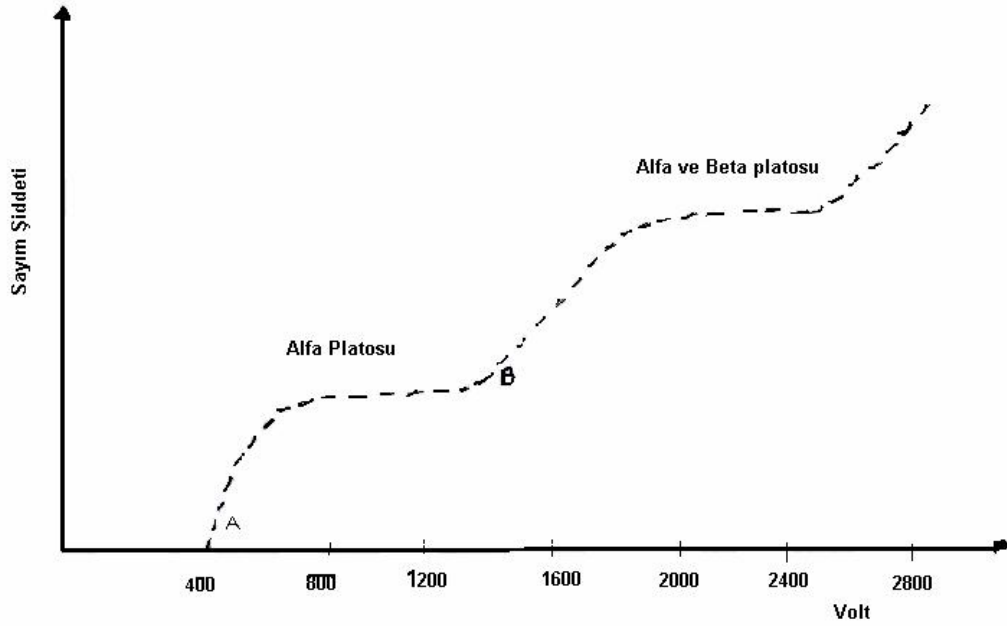
### **3.1.1.5. Gaz Akışlı Orantılı Sayıcılar**

Alfa ve beta ışınımının sayımında kullanılan gaz akışlı orantılı sayıcı dedektörleri pencere ve penceresiz tipte yapılırlar. Pencere kalınlığı 0.4 ile 0.9 mg / cm<sup>2</sup> dir. Penceresiz gaz akışlı orantılı sayıcı, çoğunlukla yarım küre şeklinde bir sayma odası ile gerekli elektronik devrelerden oluşmaktadır. İyon odası alçak düzeyde alfa kontaminasyonu içeren çelikten yapılmış olup katot görevini yapar. Orta elektrot 0.025 mm kalınlığındaki tungsten telden dairesel şekilde yapılmış olup oda içine yarım kürenin tepesinden iyi bir izolasyon ile sokulmuştur.

Oda duvarları sayım gazının giriş ve çıkış borularını taşımaktadır. Gaz akışlı orantılı sayıcılarda gaz olarak hava yerine % 90 argon ve % 10 metan kullanılmaktadır. Bu gaz, sayım süresince oda içinden yavaş bir şekilde geçirilmektedir. İyon odası ve içinde radyoaktivitesi tayin edilecek örneği taşıyan planşeti içeren sürgülü kısım bir lastik conta ile birleşmektedir. Bu lastik conta iyon odası içine hava girmesini de önlemektedir. Dedektörden gelen çıkış pulsu, dedektöre uygulanan yüksek voltaja, toplama elektrodunun çapına, gaz cinsine ve basıncına bağlıdır.

Paslanmaz çelik planşet içine radyoaktif bir kaynak koyar ve gaz akışlı orantılı dedektöre uygulanan yüksek voltajı belirli miktarlarda artırarsak ve her seferinde elde edilen sayım şiddeti ile dedektöre uygulanan voltaj arasındaki eğri şekil 3.12'deki gibi olmaktadır.

(A) noktasından itibaren meydana gelen puls yüksekliği diskriminatör seviyesini aşmakta ve sayım olarak gözükmemektedir. Voltaj arttıkça iki plato meydana gelmektedir. Alfa platosunda çalışan bir sistemde beta ışınlarının meydana getirdiği puls yüksekliği sayıcının diskriminatör seviyesinin altında kaldığından sayılamamaktadır. Fakat B noktasından itibaren betaların meydana getirdiği pulslar da sayılmaya başlar ve daha sonra diğer bir platoya erişilir ki bu platoda çalışan bir sayıcı hem alfa ve hem de betaları sayar. Böylece elde edilen sayımdan alfa sayımı çıkarılırsa net beta sayımı bulunur. (TAEK Rapor No:32, 1985 )

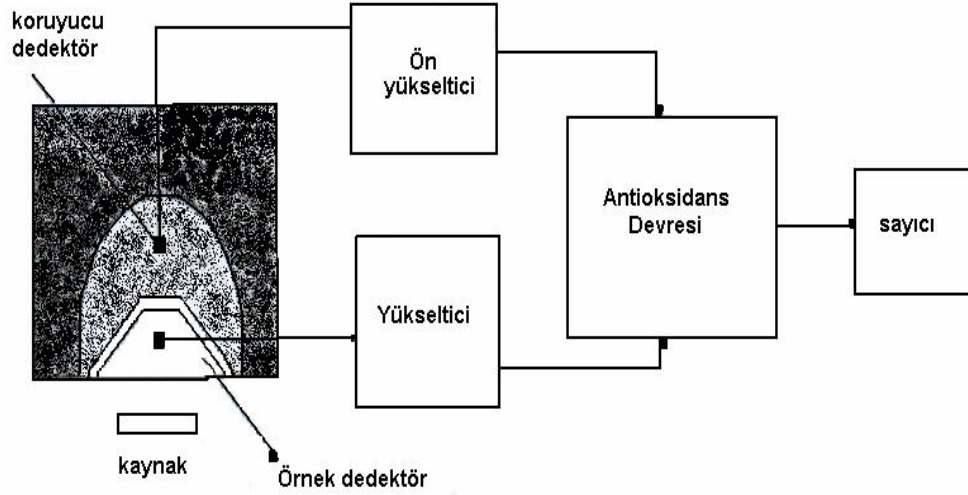


Şekil 3.12. Gaz akışlı orantılı sayıcı karakteristik eğrisi (TAEK Rapor No:32, 1985 )

### 3.1.1.6. Alfa ve Beta Sayım Sistemleri

Çevresel radyoaktivite ölçümlerinde, toplam (gross) radyoaktivite ölçümlerine ilişkin olarak gelişmiş alternatif yöntemler olmasına karşın, yıllardır gaz akışlı orantılı dedektörlerden faydalanılmaktadır. Bir başka deyişle gaz akışlı orantılı sayıcılar doğal radyoaktivite seviyelerine ilişkin ölçümler için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bunun nedeni, spesifik radyoizotop analizleri ile karşılaştırıldığında hayli düşük maliyetli olmaları, sonuca çabuk ulaşılması ve özgün radyoizotopların değerlendirilmesi için yeterli ön bilgiyi sağlamalarıdır.

Bu çalışmada da gaz akışlı orantılı sayıcılar kullanılmıştır. Şekil 3.13'de gaz akışlı orantılı bir sayıcının çalışma düzeneği gösterilmiştir. Bu tip alfa ve beta sayıcıları, dedeksiyon ortamı ve elektronik devre olmak üzere başlıca iki kısımdan meydana gelir.



Şekil 3.13. Gaz akışlı orantılı bir sayıcıya ait düzenek (Karahan, 1997 )

Çevresel örneklerdeki doğal radyoaktivite çok düşük olduğundan bunların dedeksiyonunda uzaydan gelebilecek kozmik ışınların oluşturacağı iyonizasyon dolayısıyla meydana gelecek sayımların ortadan kaldırılması ancak (antikoincidens) engelleme devresi kullanılmasıyla mümkündür.

İçteki iyon odası “örnek dedektör” ve bunu saran daha büyük iyon odası ise “koruyucu dedektör” (guard) ismini almaktadır. Sayım esnasında her iki dedektörden Geiger gazı geçirilmektedir. Her iki dedektör arası örnekten gelecek radyasyonun geçemeyeceği şekilde perdelenmiştir. Böylece örnekten gelecek radyasyon sadece örnek dedektörde iyonizasyon meydana getirir. Fakat kozmik ışınlar gibi yüksek enerjili ışınlar her iki dedektörde aynı anda iyonizasyon meydana getirebilir.

Bilindiği gibi engelleme devreleri iki girişi ve tek çıkışı olan devrelerdir. Bu devrelerdeki iki girişin her ikisine de darbe geldiğinde çıkışta bir darbe meydana gelmektedir. Fakat buna karşın, girişlerden yalnız birine bir darbe geldiğinde çıkışta bir darbe meydana gelmemektedir. Burada sadece örnek dedektörde meydana gelen iyonizasyon sayılacak ve her iki dedektörde birden meydana getirilen iyonizasyon sayılmayacaktır. Böylece çevreden gelen radyasyon algılanmaz ve bu sayım sistemlerinin background’u dakikada birden küçük olur.

Dedeksiyon ortamında en çok kullanılan gazlar argon, ksenon, izobütan, helyum ve metandır. Bir tüp, bu gazlardan biri veya ikisinin karışımı ile doldurulup içerisine iki elektrot konulur. Gaz içerisinde meydana gelen elektrik akımı laboratuvar sayım cihazının elektrik devresinde algılanır.

Su örneklerinde toplam alfa ve beta aktivite ölçümleri, belirlenen alan ve kalınlıkta hazırlanıp, katı hale getirilerek sayım planşetlerine aktarılan su örneklerinin sayımı ile gerçekleştirilmiştir. Yüzey suları, yer altı suları, içme suları gibi değişik kaynaklardan alınan su örnekleri buharlaştırıldıktan sonra kalan rezidü (katı bakiye) miktarı dikkate alınarak değerlendirilmeler yapılmaktadır.

Ölçüm yapılacak örneklerin radyoizotop karışım içerikleri bilinmediğinden sayım sisteminin kalibrasyonu ve kullanılacak standardın seçimi burada önem taşımaktadır. Bilinen miktarlarda standart çekirdek içeren kalibrasyon kaynaklarının, sayılacak örneklerin alanı, yoğunluğu, kalınlığı ve aktivite dağılımı ile benzer özellikleri taşıyacak şekilde hazırlanması gerekmektedir.

Toplam alfa ve beta radyoaktivite sayımları için sayım cihazı olarak ince pencere, çok iyi zırhlanmış, gaz akışlı, antikoincidans, orantılı sayıcı kullanılması uygun olmaktadır. Çevresel örneklerde ölçülen doğal radyoaktivite konsantrasyonları genellikle çok düşük seviyelerde olduğundan, kullanılacak bu tür cihazlarda çok düşük doğal sayım seviyesine (background) ve yüksek duyarlılık özelliklerini sağlamak mümkün olmaktadır.

Her sayıcının içerisinde örnek olmaksızın verdiği çevresel, kozmik ve sayıcının yapıldığı malzemeden kaynaklanan doğal sayım (background) değeri vardır. Sayıcının yapımında uygun malzeme seçimi ve zırhlanması boş sayımın önemli oranda düşmesine neden olmaktadır.

Sudaki toplam alfa radyoaktivitesi değerlendirmeleri yapılırken, su örneğinde çözülmüş madde miktarına dikkat etmek gerekmektedir. Buharlaştırma sonucu elde edilen rezidü miktarı fazla ise self- soğurma da yüksek olacaktır. Radyasyonun, örnekten ayrılarak öncelikle sayıcıya girmesi ve ardından sayıcı devrelerinde bir puls olarak algılanması gerekmektedir. Ancak belirli bir kütleyle sahip olan örnekler, yayımlanan radyoaktivitenin bir kısmını soğurarak “self- soğurma” denilen olay

meydana gelmektedir. Artan rezidü miktarı radyasyonun “self- soğurma” etkisini artırıp daha az sayıda parçacığın dedektöre ulaşmasına neden olmaktadır.

Sayıcının verimini etkileyen diğer bir faktör de, geri saçılma (back-scattering) olayıdır. Radyasyon tipi ve enerjisinin bir fonksiyonu olan ve artan atom numarası ile arttığı belirlenen geri saçılmanın neden olduğu hatalardan kaçınmak için örnek ve standardın aynı fiziksel ve geometrik özelliklere sahip olmasını sağlamak gereklidir.

Sayım sonucunu etkileyen başka bir faktör ise, geometrik etkidir. Radyasyon, kaynaktan küresel yani  $4\pi$  geometri ile çıkar ve sayıcı tarafından algılanan kısmı sayılabilir. En yüksek verim, örneğin sayıcının hassas hacmi içinde bulunması ile elde edilmektedir.

### **LB 770 Teknik Özellikleri**

Çizelge 3.4. LB 770 Teknik özellikleri (Berthold technical data LB 770 )

<b>LB 770 Teknik Özellikleri</b>	
<b>Dedektörler</b>	Orantılı sayıcılar,30 yada 60 mm çaplı 10 örnek,
<b>Kurşun Kalınlığı</b>	10 cm, toplam ağırlık 950 kg, dış boyutları 700 x 400 x 500 mm
<b>Preamplifier</b>	11 kat amplifier, artan zaman ve puls yüksekliği üzerinden alfa / beta ayrımı
<b>Sayım Gazı</b>	Argon - Metan (9 / 10 ) yada Ar Co2 (84 / 16 ), basınç tipi 10mbar, 6-10 l/h tüketim
<b>Sayım Elektroniği</b>	LB530 PV ara yüzey, pano üzerinde LB3945 "Black Jack" PC fiş
<b>Bilgisayar Programı</b>	LB 770, LB 770 UMS- Windows



Şekil 3.14. LB 770 10 kanallı düşük seviyeli planşet sayıcısı (Berthold)

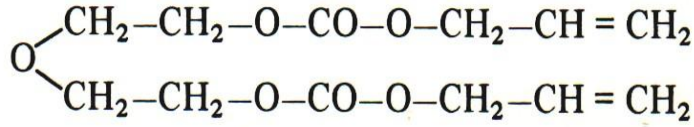
Sulardaki toplam (gross) alfa ve toplam (gross) beta ölçümlerinde kullandığımız sayıcı LB 770 Berthold firmasına ait olan bir sistemdir. 10 kanallı düşük seviye planşet sayıcısı LB 770 eşzamanlı olarak her biri 60 mm çapa ulaşan 10 planşetin ayrı ayrı alfa ve beta ölçümlerini eşzamanlı olarak yapan bir cihazdır.

Her bir örnek için alfa ve beta aktivitelerini ölçen iki ayrı kanal vardır.

Planşetler her bir iki örnek ile bakırdan yapılmış beş çekmeceye konulacak şekilde dizayn edilmiştir. 10 ultra düz akış orantılı sayıcı tüpü planşetlerin üzerine doğrudan yerleştirilmiştir. 10 ölçüm sayıcısı genel koruyucu sayıcı olarak davranan geniş alan akım sayıcı tüpü tarafından en üstte kuşatılmıştır. Slider ve counter tüpleri kurşun tuğlalardan yapılmış 100 mm kalınlıklı zırhla çevrelenmiştir. 11 kat alfa beta ayırıştırma birimi (amplifier) kurşun zırhın dışına yerleştirilmiştir. Şekil 3.14’de çalışmada kullanılan LB 770 Berthold alfa – beta sayım sistemi gösterilmiştir.

### 3.1.1.7. Radon Gazı Ölçümlerinde Kullanılan CR – 39 Dedektörleri

CR-39 olarak bilinen radon dedektörünün kimyasal adı polyallyl diglycol karbonat (PADC) ve kimyasal sembolü ise  $C_{12} H_{18} O_7$  dir.



Şekil 3.15’de CR-39 pasif nükleer iz dedektörünün içerisinde bulunduğu radopat ışınlama kabı görülmektedir.



Şekil 3.15. CR – 39 Radon dedektörü (ÇNAEM Laboratuvarı)

**CR – 39 Teknik Özellikleri**

Çizelge 3. 5. CR – 39 dedektörünün teknik özellikleri (Radosys Manual )

<b>Çeşidi</b>	Vidalı kapak ile kapalı
<b>Dedektör Konumu</b>	Kapak altına tutturulmuş 1 adet çip
<b>Materyal</b>	polypropylene
<b>Filtre</b>	hava boşluğu
<b>Boyutlar</b>	Silindirik, 35 mm çap x 55 mm
<b>Gönderiliş Şekli</b>	Kimlik kodu ve bilgi etiketleri iliştirilmiş hava geçirmez 3 katlı alüminyum çanta içerisinde paketlenmiş
<b>Uygulamalar</b>	ev içi dozimetre olarak genel kullanım

**3.2. METOT****3.2.1. Havadaki Gama Radyasyon Seviyelerinin Belirlenmesi ve Toprak Örneklerindeki Radyonüklitlerin Havadaki Soğurulmuş Doza Katkıları**

Çalışmamızda ESP-2 ucuna bağlanmış SPA-6 portatif sintilasyon dedektörü kullanılarak çevresel gama radyasyon seviyeleri belirlenmiştir. Çevresel doğal gama radyasyonları karasal ve kozmik radyasyondan kaynaklanmaktadır. Bundan dolayı gama radyasyon şiddeti bölgedeki toprak yapısına ve coğrafi yapıya bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Yani dış gama radyasyonları, ağırlıklı olarak karasal kaynaklı olup toprakta bulunan radyonüklit konsantrasyonuna bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

SPA-6 gama sintilasyon dedektörünü kullanarak önceden belirlenmiş alanlardan ölçümler alınmıştır. Gama radyasyon ölçümleri esnasında insanlarda gonad (üreme organları) hizasından ölçüm yapılabilmesi için SPA-6 dedektörü



yaklaşık yerden 1 m yüksekliğe yerleştirilmiştir. Radyasyon düzeyleri  $\mu\text{R/saat}$  cinsinden okunarak kaydedilmiştir.

Bölgede bulunan deniz yada gölün en derin kısmından alınan gama ölçümü ise kozmik ışın seviyesini gösterir. Böylelikle topraktan gelen gama şiddetinin etkisi yok edilmiş olur.

### **3.2.2. Toprak örneklerinin Alınması ve Gama Spektrometrik Analiz İçin Hazırlanması**

Toprak örnekleri önceden belirlenmiş ölçüm noktalarından alınmıştır. Bu ölçüm noktaları seçilirken bölgede homojen bir dağılım göstermesine ve ayrıca yerleşim alanlarına yakın, açık ve düz alanlar olmasına dikkat edilmiştir. Daha sonra belirlenmiş bu noktalarda, toprağın yapısına bağlı olarak, ekim yapılmamış toprak alanlarından, 30 cm kadar derinliğe inebilen yaklaşık 25 cm çapında toprak alma aleti kullanılarak yaklaşık 2 kg kadar toprak örneği temiz poşetlere konularak alınmıştır. Daha sonra içlerinde bulunan taş, ot, odun parçaları, ağaç kabukları gibi yabancı cisimler ayıklanarak toprak iyice öğütülmüş ve yaklaşık olarak 10 gün süre ile oda sıcaklığında kurumaya bırakılmıştır. Kuruduktan sonra 2 mm gözenekli eleklerden geçirilerek darası alınmış marinelli sayım kaplarına konulmuş, ağırlıkları tartılıp her bir örnek etiketlenilerek kaydedilmiştir.



Şekil 3.16. Boş ve doldurulup, tartılıp etiketlenmiş ve ağız kısmı kapatılmış (seal edilmiş) marinelli kapları (ÇNAEM Laboratuvarı)

Toprak içerisinde bulunan radon ve toron gibi bozunma ürünlerinin dengeye gelmesini sağlamak amacıyla kapların ağız kısmı hava geçirmeyecek şekilde sıkıca kapatılmış ve bir ay kadar bir süre bekletilmiştir. Şekil 3.16'da boş, doldurulup tartılmış ve ağızları sıkıca kapatılmış (seal) marinelli kapları görülmektedir.

Bu süre sonunda her bir örnek gama spektrometre cihazına konularak 50.000 s sayılmıştır. Gama spektrometresi sayım cihazından kaynaklanan sayma hataları yaklaşık % 1- 2 civarındadır. Sayım işlemi her bir radyoizotobun yayınladığı fotoelektrik pik enerjisine göre kalibre edilmiş enerji aralığında gerçekleştirilmiştir.

Örneklerin kurutulması esnasında oluşan radyoaktivite kayıpları ihmal edilecek düzeylerde küçük olduğu için hesaplamalara dahil edilmemişlerdir.

Toprak içerisinde bulunan her bir radyonüklidin aktive konsantrasyonu ile çevresel dış gama radyasyonları ve dolaylı olarak insanların dış gama radyasyonlarından aldıkları dozlar arasında bağlantı vardır. Çevresel gama

radasyonlarının büyük bir kısmı toprak veya kayalarda bulunan radyonüklitlerden gelmektedir. Toprakta bulunan  $^{40}\text{K}$ ,  $^{232}\text{Th}$ , ve  $^{238}\text{U}$  gibi radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonları bilindiğinde, her birine karşılık gelen yerden 1 m yükseklikte havada ölçülen soğurulmuş doz oranları tespit edilebilir. (Beck,H.L, 1972)

### 3.2.3. Su Ölçüm Metotları

Radyoaktif maddeler su içerisinde ya süspansiyon halinde yada çözülmüş olarak bulunurlar.

Deniz, göl, içme ve kullanma sularındaki toplam alfa ve beta radyoaktivitelerini belirlemek amacıyla toplanan su örnekleri kaynaklarına bağlı olarak 100 – 1000 ml arasında değişen miktarlarda toplanmıştır.

Su ölçümlerinde kullanılacak olan beher ve planşetler ölçüme başlanmadan önce şu şekilde hazırlanmıştır:

İlk olarak beher ve planşetler önceki ölçüm kalıntılarından arıtılmak için alkol ile iyice temizlenmiş ve daha sonra içerisinde % 1'lik  $\text{HNO}_3$  bulunduran suda bir süre bekletilmişlerdir. Bu işlemden sonra musluk suyu ve deterjan ile yıkanmışlar ve en son olarak yüzeyine yapışmış olan tortu ve partikülleri temizlemek için saf su kullanılarak iyice temizlenmiştir. Temizlenen beher ve planşetler etüvde bir süre kurutulmuştur.Böylelikle beher ve planşetler ölçü için hazır hale getirilmiştir.

Su örneklerinden yeteri kadar rezidü elde etmek için;

İlk olarak beher kapları ölçümü yapılacak su örnekleri ile iyice çalkalanmıştır.Her bir beher kabına, sayım sisteminin ölçebileceği miktarda tortu elde etmek için inceleyeceğimiz her bir örnekten 500 cc'lik bir miktar konulmuştur.

Toplam (gross) alfa ve toplam (gross) beta sayımlarını yaptığımız sayım sistemi en fazla 600 mg'a kadar olan rezidü miktarlarının ölçümünü yapmaktadır. Bu nedenle 500 cc'lik bir örnek kullandığımız sayım sistemi için yeterli miktarda rezidüyü bize vermektedir.

Bir sonraki adım olarak örneklerin üzerine (%1)  $\text{HNO}_3$  (nitrik asit) eklenmiştir. Bu işlemi yapmamızın nedeni buharlaşma sırasında beherin iç yüzeyine ve çeperlerine yapışan tortu ve partiküllerin aşağıya inmesini sağlamak

içindir. Böylelikle beher içindeki örnekten buharlaşma ile elde edilen rezidü olarak sayacağımız madde kaybını en aza indirmek ve minimize etmektir.



Şekil 3.17. Beher kaplarındaki su örneklerinin buharlaştırma işlemi (ÇNAEM Laboratuvarı)

Beher içindeki su örneklerini, yaklaşık 50 – 60 ° C sıcaklıkta, su miktarları 500 cc'den 50 cc'ye düşene kadar buharlaştırma işlemi yapılmıştır. Şekil 3.17'de beher kaplarındaki suların buharlaştırma işlemi görülmektedir. Daha sonra 50 cc'lik su, darası alınmış planşetler içerisine aktarılmıştır. Şekil 3.18'de planşetlere aktarılan suların buharlaştırma işlemleri görülmektedir.



Şekil 3.18. Plañşetlerdeki su örneklerini buharlaştırma işlemi (ÇNAEM laboratuvarı)

Kullandığımız plañşetler 2,5 cm yarıçapında ve 2mm yüksekliğinde paslanmaz çelikten imal edilmiştir. Aktarma işlemi yapılırken, beherin iç yüzeyine ve çeperlerine yapışan tortu ve partiküllerin kaybı, saf su ve %1'lik HNO<sub>3</sub> kullanılarak engellenmiştir. Plañşetlerdeki su, 40 °C'de kuruluk seviyesine gelinceye kadar buharlaşma işlemine devam edilmiştir.

Suyun buharlaşma süresi içerisinde barındırdığı mineral,tuz, Ca ve kireç oranına göre değişiklik göstermektedir.

Kuruluk seviyesine ulaşan plañşetler etüvde tekrar kurutulmuştur ve ölçüm sırasında tortu kaybindan kaynaklanabilecek hatayı minimuma indirmek için plañşet çeperlerine yapışan tortu bir spatül yardımıyla kazınarak plañşet içerisine konulmuştur. Daha sonra hassas terazide ölçümleri yapılmıştır. Böylelikle ne kadar tortu (rezidü) kaldığı bulunmuş olur. Şekil 3.19'da buharlaştırma işlemi sonunda elde edilen tortu (rezidü) örneği görülmektedir.



Şekil 3.19. Buharlaştırma işlemi sonunda içerisinde tortu (rezidü) bulunan planşet örneği

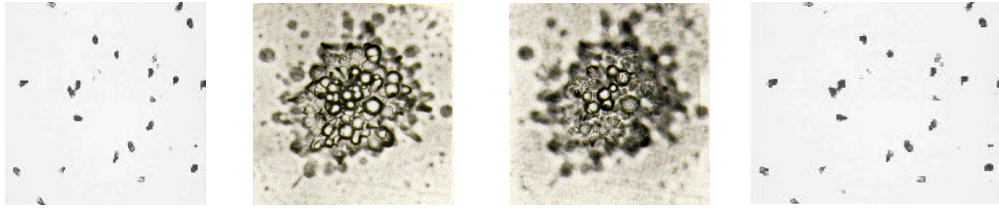
Suların toplam alfa ve toplam beta aktiviteleri düşük seviyeli radyasyon sınıfına girdiğinden dolayı ölçümler uzun sürelerde yapılmaktadır. İçerisinde tortu (rezidü) bulunduran planşetler LB-770 alfa- beta sayım sisteminde 500'er dakika sayılmıştır. Şekil 3.20'de içerisinde tortu bulunan planşetlerin LB 770 alfa beta sayım sisteminde sayılması işlemi görülmektedir.



Şekil 3.20. LB-770 alfa-beta sayım sistemi (ÇNAEM laboratuvarı)

### 3.2.4. Radon Konsantrasyonlarının Ölçülmesi

Ev – içi radon konsantrasyon ölçümleri CR – 39 dedektörlerini kullanarak pasif yöntemle yapılmıştır. Pasif nükleer iz dedektörü olarak, doğal fon alfa ışın izlerinin düşük olması nedeniyle bu dedektörler tercih edilmiştir. Bu dedektörler, Romanya'daki Radosys firmasına ait bir üründür. Bunlar radona duyarlı polipropilen Radopat ışınlama kabının içerisinde kapak altında bulunan bir çiptir. Ortamda bulunan toz ve radonun katı ürünlerinin girmemesi için dedektör kapalı bir kutu içerisinde bulunmaktadır. Radon ve bozunma ürünlerinin yaydıkları alfa tanecikleri bu kapların içerisine girerek dedektörle etkileşmekte ve dedektör yüzeyinde gözle görülmeyecek izler oluşturmaktadır. Şekil 3.21'de radon ve bozunma ürünlerinin yaydıkları alfa taneciklerinin dedektör üzerinde bıraktıkları izler görülmektedir.

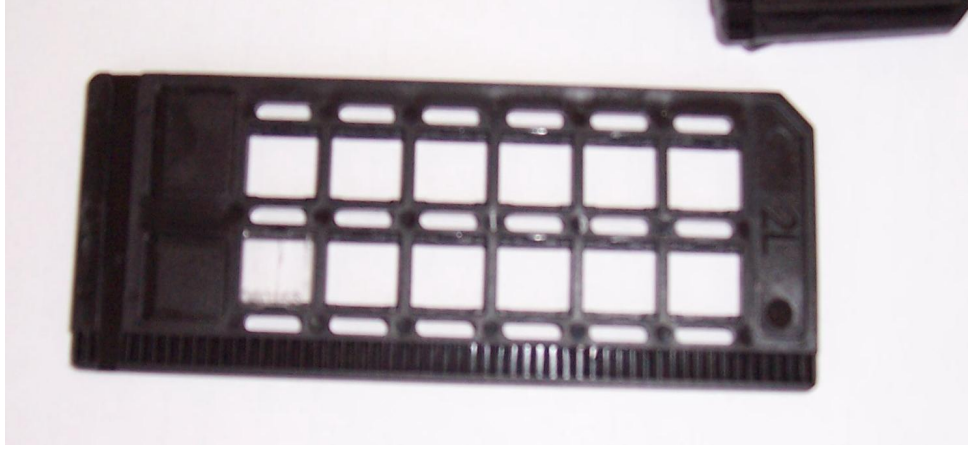


Şekil 3.21. Radon ve bozunma ürünlerinin yaydıkları alfa taneciklerinin dedektör üzerinde bıraktıkları izler

Oluşan bu izleri görünür hale getirmek için iz kazıma işlemi yapılmıştır.

#### 3.2.4.1. İz Kazıma İşlemi İçin Kazıma Ünitesinin Hazırlanması

İlk olarak iz kazıma işlemi yapılacak olan dedektörler, ışınlama kutusundan el değmeden pamuklu bir eldiven ve penset yardımı ile çıkartılmış ve radoslid olarak adlandırılan dedektör tutucu ünitesine yerleştirilmiştir.



Şekil 3.22. Radoslide dedektör tutucu (ÇNAEM Laboratuvarı)

Eldiven kullanılmasının nedeni kazıma solüsyonunda istenmeyen kirlilikleri önlemek içindir. Çıkarılan dedektörler siyah dedektör tutucusundaki yuvaların içine ID kodları üstte, alfanümerik (noktalı) kodları alt kenarda kalacak yani dedektör tutucusunu üzerinde yazan 2L yazısı en üste ve dikdörtgen dedektör tutucusunun kesik kenarı sol üstte olacak şekilde yerleştirilmiştir. Şekil 3.22’de radoslide dedektör tutucusu görülmektedir. Radoslide olarak adlandırılan bu dedektör tutucu 12 dedektör çipini alabilmektedir. Dikdörtgen dedektör tutucusunun alt kısmındaki konik yarıklar kazıma diskindeki konik yarıklara denk gelecek şekilde kaydırılıp sıkıştırarak yerleştirilmiştir.

Mekanik olarak doğru yerleştirildiğinde yumuşak bir klik sesi ile birlikte çip yuvalara sıkıştırılmıştır. Analiz software, doğru pozisyonda yerleşmiş ID kodunu otomatik olarak okuyan bir sistemdir. Bu nedenle alfanümerik kod sol tarafta ve nokta kod alt tarafta olarak çipler hazırlanmıştır.





Şekil 3.23. Radobath Ünitesi (ÇNAEM Labaratuarı)

Daha sonra dedektör çipleri yerleştirilmiş Radoslide dedektör tutucuları, kazıma (drum) diskine monte edilmiştir. Kazıma diskinin alt kısımlarında tutucuları monte etmek için bir seri yarık bulunmaktadır. Dedektör tutucu, diskteki bu yarıklara kaydırarak sıkıştırılmıştır.

#### 3.2.4.2. İz Kazıma İşlemleri

Isıtıcı, suyun sıcaklığını aşamalı olarak yükselten bir çalışma sistemine sahiptir. Şekil 3.23'de radobath ünitesi görülmektedir. Su sıcaklığının 60 °C olması gerekmektedir. Bu yüzden çubuk termometre yardımıyla belli aralıklarla sıcaklık

kontrol edilerek bir süre beklenmiştir. Isıtıcının düğmesini açtıktan 60°C'ye ulaşıncaya kadar geçen süre;

10 dakika (220 volt)

30 dakika (100 V / 130 V) dır.

Suyun sıcaklığı 60°C ulaşıncaya ısıtıcı kapatılarak katı NaOH granülleri eklenmeye başlanmıştır. Granüllerin çözünmesi soğuk suda zor olacağından su ısıtılmadan üniteye konulmamıştır. Böylece kabın dibinde kalıntı oluşma riski ortadan kaldırılmış olur.

Granülleri ekleme işlemi 25 gr NaOH granülünü alabilen plastik bir kaşık ve huni kullanılarak yapılmıştır. Granüllerin çok fazla dökülmesi durumunda aşırı ısınma sonucunda suyun taşma riskini ortadan kaldırmak amacıyla 1 kaşık dolusu granül 1'er dakikalık aralıklarla dökülmüştür.. Taşma, banyo birimine ve kullanıcılara zarar verebilir.

NaOH granüllerini ekleme işlemi, ısı veren (ekzotermik) bir işlem olduğundan granüllerin eklenme süresince elektrikli ısıtıcı kullanılmamıştır. 1 kg NaOH granüllerinin dökülmesi işlemi yaklaşık olarak 40 dakika sürmüştür. 1 kg'lık NaOH granülleri tamamen suda eriğince karıştırıcı ekipmanı çıkartılmış ve üzerinde dedektör olan kazıma diski banyo kabına yerleştirilerek kapak kapatılmıştır. Daha sonra ısıtıcıyı yeniden açılarak karıştırıcı motorun dedektörleri döndürmesi sağlanmıştır. Dört saatlik kazıma işlemi sonucunda, ısıtıcı kapatılarak banyo kabının alt kısmına boşaltma hortumu takıldıktan sonra musluk açılarak banyo kabı içerisindeki sıcak çözelti ısıya dayanıklı bir kaba aktarılmıştır.

Nötralizasyon işlemi için 4 L'lik suya % 15-20'lik 200 mL seyreltik sirkeli solüsyon banyo kabına boşaltılıp bir iki dakika daha karıştırdıktan sonra bu nötralizasyon sıvısı plastik nötralizasyon kabına boşaltılmış ve dedektörler bir süre burada bekletilmiştir.

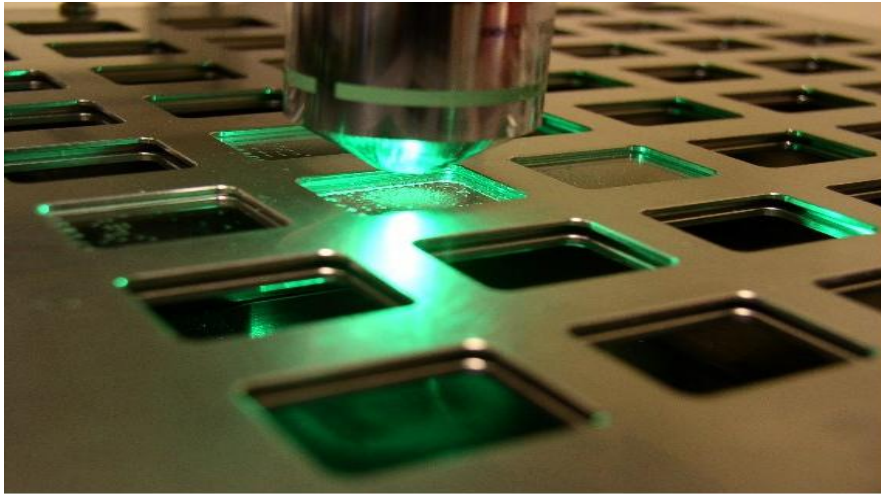
Son yıkama işlemi için 4 L'lik saf su banyo kabına boşaltılarak dedektörler 1-2 dakika burada bekletilmiştir. Çıkartılan kazıma disklerinin kuruması için masa üzerindeki kurutma kağıtları üzerine konulmuştur. Böylece bir saatlik kuruma işleminden sonra dedektörler Radometer iz değerlendirme ünitesinde değerlendirilebilecek hale gelmiş olurlar.

**3.2.4.3. Değerlendirme**

Şekil 3.24. Radosys değerlendirme ünitesi (ÇNAEM laboratuvarı)

Radosys değerlendirme programı LINUX işletim sistemi ile çalışmaktadır.

Şekil 3.24’de radosys değerlendirme ünitesi görülmektedir. Sayılan iz yoğunluğunu fiziksel R.A.C. değerine dönüştürmek için dedektörlerin evlere konuluş ve alınış tarihleri doldurularak radon aktivite konsantrasyon değeri hesaplanır ve RAC sütununda  $Bq/m^3$  olarak görülmüştür.



Şekil 3.25. Mikroskop yardımıyla alfa izlerinin okunması

**4.BULGULAR ve TARTIŞMA**

Bu çalışmada ölçüm sahası olarak Adana il merkezi, ilçe ve köylerini kapsayan bir bölge seçilmiş ve Adana il sınırları içerisinde doğal radyoaktivite konsantrasyonları deneysel olarak belirlenmiştir. Bu deneysel çalışmalarda ev dışı gama ışınlama doz hızları, toprak ve su örneklerinin içerdiği radyoaktif çekirdek konsantrasyonları ve ev içi radon konsantrasyonları belirlenmiştir. Ölçüm yapılan noktalar şekil 4.1. Adana il haritasında gösterilmiştir.

**4.1. Adana İlinin Çevresel Doğal Gama Işınlama Doz Hızlarının Belirlenmesi**

Bu bölümde Adana ili, ilçeleri ve köylerinde gerçekleştirilen gama ışınlama doz hızlarının ölçümlerine ilişkin bilgi ve veriler yer almaktadır. İl genelinde toplam 158 noktada ölçüm yapılmıştır. Ölçümler , Eberline Smart Portable (ESP-2) model, ucuna SPA-6 model plastik sintilasyon algılayıcısı bağlanmış bir taşınabilir cihaz yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde gama ışınlama 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.

Açık havada, insanlarda gonad (üreme organları) hizasında ölçüm yapılabilmesi bakımından toprak yüzeyinden yaklaşık 1 metre yükseklikte gerçekleştirilen ölçümler sonucu,  $\mu\text{R/h}$  olarak elde edilen gama ışınlama doz hızı değerleri  $\text{nGy/h}$ 'e dönüştürülerek, çizelge 4.1'de verilmiştir. Ölçümler sonucu elde edilen gama izo-doz haritası Şekil 4.2'de gösterilmiştir.

**4.2. Kozmik Radyasyon Ölçümleri**

Kozmik ışınların havadaki soğurulmuş doza katkısını tespit etmek için karasal gama radyasyonların etkisinin minimum olacağı bir ortam seçmek gereklidir.

Bu iş için en uygun ortam tatlı su kaynakları olan göllerdir. Bu amaç doğrultusunda, Adana şehir merkezinde bulunan Seyhan Baraj gölü seçilmiştir.

Göl ortasında karadan yaklaşık 1200 m uzaklıkta ve tahminen 20 m su derinliğinin bulunduğu birkaç bölgede su yüzeyinden yaklaşık 1m yükseklikte ölçümler alınmıştır.

Bu ölçümler sırasında, su kütesinden ve karadan gelecek olan gama ışınlarının katkıları ihmal edilebilecek seviyede olduğu için dikkate alınmamıştır.

Alınan ölçüm sonuçlarına göre;

kozmetik radyasyonların havadaki soğurulmuş dozları yaklaşık **9,46 nGy/h** olarak tespit edilmiştir.

Buradan hareketle, Adana il merkezi için, kozmetik ışınların çevresel gama radyasyonlarına katkılarının bu miktarda olacağını söyleyebiliriz.

Çizelge 4.1’de verilen değerler, havada tespit edilen ölçümlerdir. Bu ölçümlerin içerisinde hem karasal hem de kozmetik ışınların katkıları vardır.

Çizelge 4.1. Adana İl Merkezi ve Köylerinde Havada Ölçülen Soğurulmuş Doz Hızları (nGy/h)

YER ADI	Havada Ölçülen Soğurulmuş Doz Hızları (nGy/ saat)
<b>POZANTI</b>	
POZANTI	108
TEKİR YAYLASI	55,6
YENİKONACIK	63,2
ALPU	91,1
FINDIKLI	67,8
KAMIŞLI	61,7
HAMİDİYE	145
YAZICAK	57,4
YAĞLITAŞ	60,5
KÜTÜKLÜ	70,2
VELİLER	84
KARAKIŞLAKÇI	92,5
AŞCİBEKİRLİ	88,5
DAĞDİBİ	115
GÖKBEZ	54,5
<b>KARAIŞALI</b>	
KARAIŞALI	91,3
SALBAŞ	79
KUZGUN	86,5
HACILI	71,3
EĞLENCE	72,5
ÇATALAN	92,3
KELÇELER	93
<b>KOZAN</b>	
KOZAN	105
KABASAKAL	109
SULUHAN	114
ÇULLUUŞAĞI	144
DAĞILCAK	102
HACİBEYLİ	92
<b>İMAMOĞLU</b>	
İMAMOĞLU	59,7
AYVALI	68,2
HACİHASANLI	69,2
ÜÇTEPE	64,7

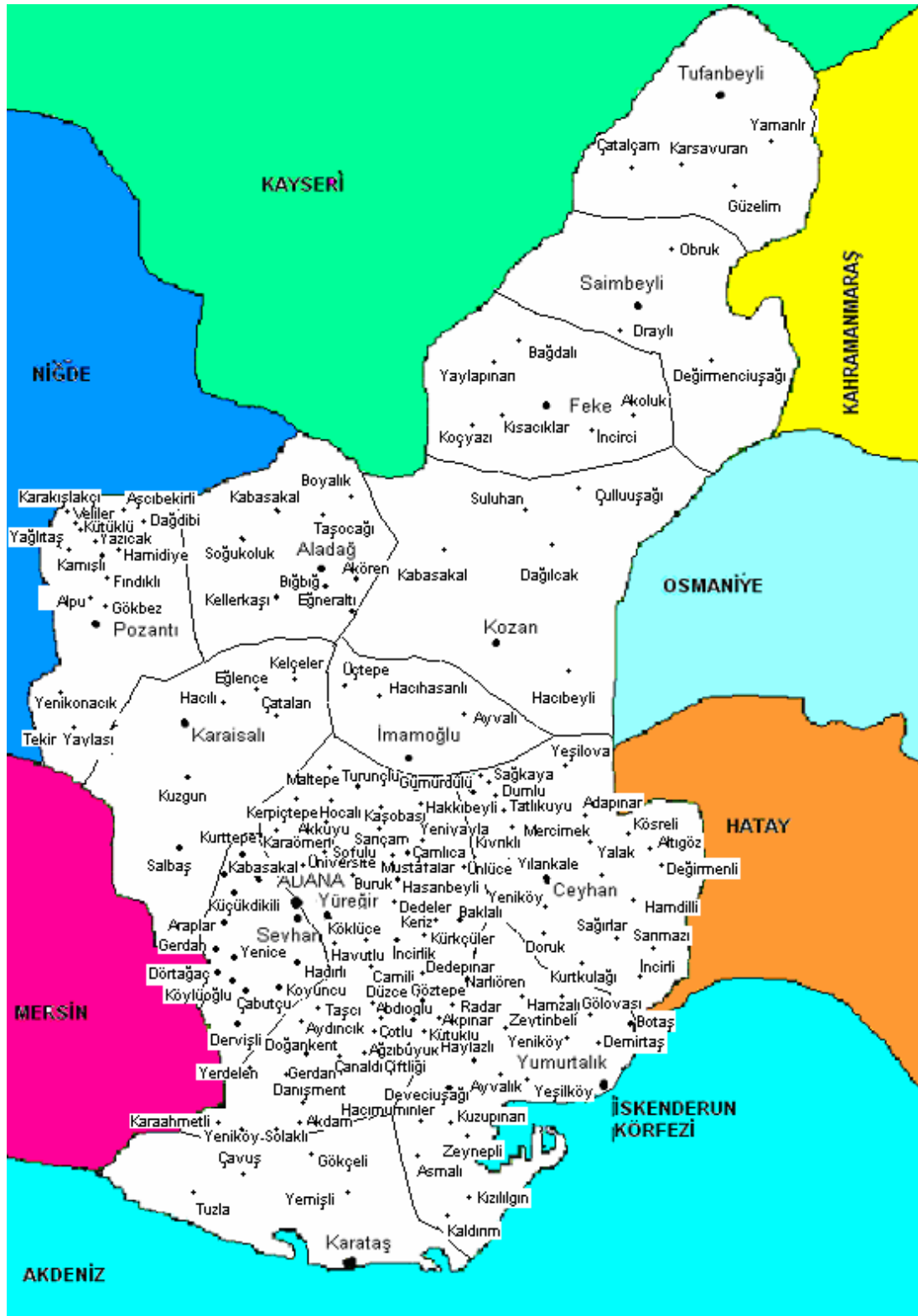
YER ADI	Havada Ölçülen Soğurulmuş Doz Hızları (nGy/ saat)
<b>ALADAĞ</b>	
ALADAĞ	39,5
BIĞBIĞ	73,9
KELLERKAŞI	74,5
AKÖREN	74,7
EĞNERALTI (SEYHAN N. KIYISI )	59,4
BOYALIK	22,9
KABASAKAL	40,3
SOĞUKOLUK	37,5
<b>TUFANBEYLİ</b>	
TUFANBEYLİ	87,7
ÇATALÇAM	87,5
KARSAVURAN	87,1
GÜZELİM	102
YAMANLI	101
<b>SAİMBEYLİ</b>	
SAİMBEYLİ	111
OBRUK	114
DRAYLI	87,7
DEĞİRMENCİUŞAĞI	87,4
<b>FEKE</b>	
FEKE	134
KISACIKLAR	44,2
KOÇYAZI	44,4
YAYLAPINARI	132
BAĞDALI	136
İNCİRCİ	77,7
AKOLUK	82
<b>CEYHAN</b>	
CEYHAN	52,8
DORUK	41,2
YENİKÖY	73
YILANKALE	40,8
KIVRIKLI	69,8
TATLIKUYU	65,8

YER ADI	Havada Ölçülen Soğurulmuş Doz Hızları (nGy/ saat)
DUMLU	56,8
SAĞKAYA	55,5
GÜMÜRDÜLÜ	63
YEŞİLOVA	75,7
ADAPINAR	58,1
MERCİMEK	60,9
YALAK	60,8
KÖSRELİ	45,8
ALTIGÖZ	46,5
DEĞİRMENLİ	42,8
HAMDİLLİ	54,8
SAĞIRLAR	50,1
SARIMAZI	45,1
İNCİRLİ	40,4
KURTKULAĞI	40,8
<b>YUMURTALIK</b>	
YUMURTALIK	48,8
KALDIRIM	45,5
KIZILILGIN	46,7
ASMALI	46
HACİMÜMİNLER	47,5
KUZUPINARI	44
ZEYNEPLİ	40,1
DEVECİUŞAĞI	43,5
HAYLAZLI	45
AYVALIK	47,6
YEŞİLKÖY	45
ZEYTİNBELİ	48,1
YENİKÖY	45,4
DEMİRTAŞ	42,9
NARLIÖREN	49,5
HAMZALI	44
GÖLOVASI	45,4
BOTAŞ	36,9
<b>SEYHAN</b>	
SEYHAN	71

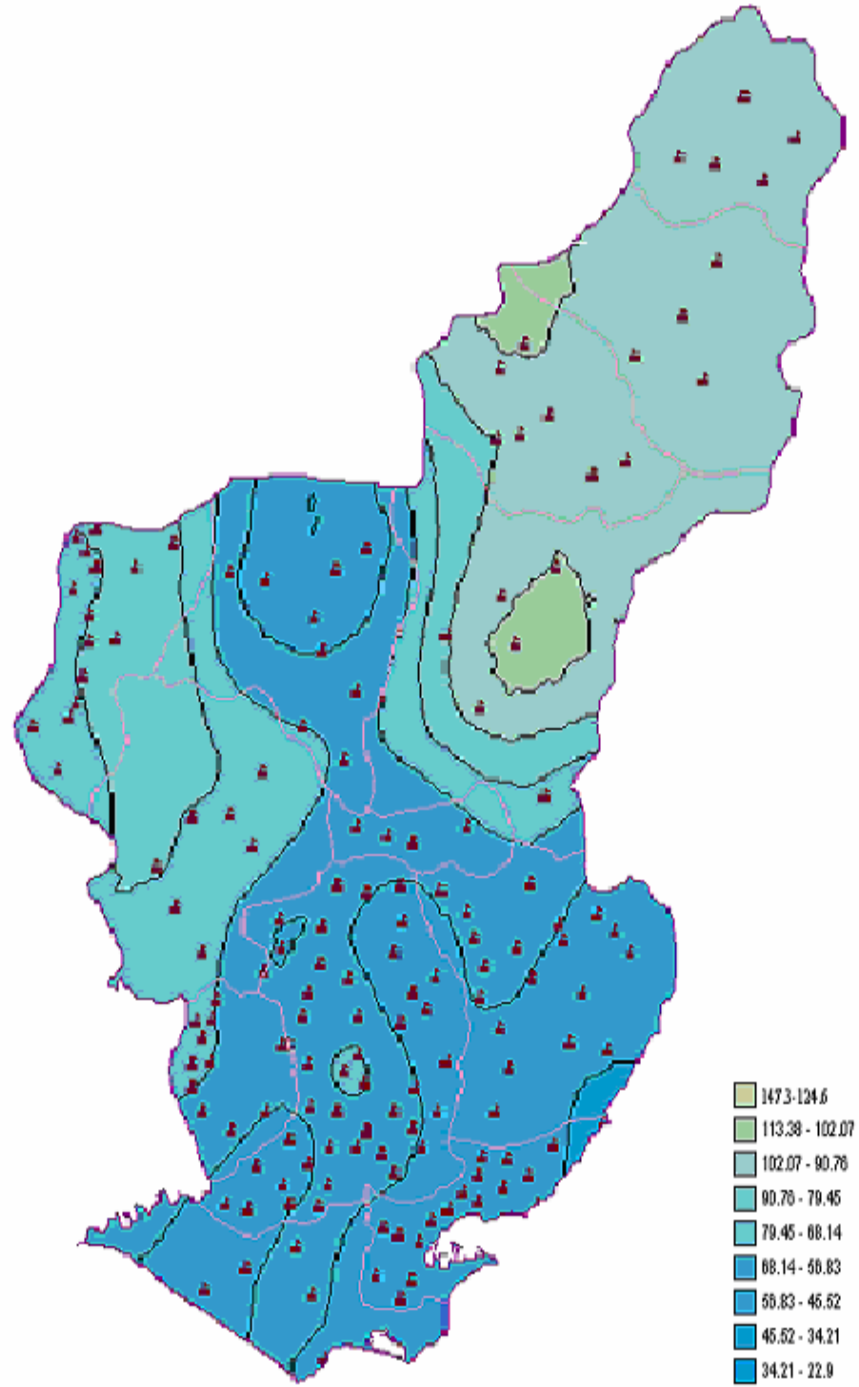


YER ADI	Havada Ölçülen Soğurulmuş Doz Hızları (nGy/ saat)
HADIRLI	50,1
KOYUNCU	65,2
DERVİŞLİ	71,8
ÇABUTÇU	73
KÖYLÜOĞLU	74,3
DÖRTAĞAÇ	69,6
YENİCE	59,6
GERDAN	71,7
ARAPLAR	72,6
KÜÇÜKDİKİLİ	81,8
KABASAKAL	68,1
KURTTEPE	61,6
<b>YÜREĞİR</b>	
ÜNİVERSİTE	54,1
HAVUTLU	71,5
TAŞCI	45,2
AYDINCIK	43,2
YERDELEN	36,8
KARAAHMETLİ	40,5
YENİKÖY	47,9
GERDAN	41,6
SOLAKLI	73,3
DOĞANKENT	59
ÇANALDI ÇİFTLİĞİ	42,1
AKDAM	54,2
DANIŞMENT	68,1
AĞZIBÜYÜK	70,5
ÇOTLU	71,1
DÜZCE	71,8
CAMİLİ	72,2
KÖKLÜCE	82,8
İNCİRLİK	70,7
DEDEPINAR	70,2
KÜRKCÜLER	64,4
GÖZTEPE	51,2
ABDİOĞLU	67,3

YER ADI	Havada Ölçülen Soğurulmuş Doz Hızları (nGy/ saat)
KÜTÜKLÜ	70
AKPINAR	43,8
RADAR	56,5
KERİZ	54,4
BAKLALI	40
ÜNLÜCE	40,5
ÇAMLICA	55,6
DEDELER	55,2
HASANBEYLİ	56,3
BURUK	67,2
SOFULU	66,3
AKKUYU	68,1
KARAÖMERLİ	40,8
HOCALI	48,2
KERPİÇTEPE	50,4
MALTEPE	67
KAŞOBASI	42,7
SARIÇAM	44,2
HAKKİBEYLİ	53,3
TURUNÇLU	57,3
MUSTAFALAR	59,1
YENİYAYLA	55,8
<b>KARATAŞ</b>	
KARATAŞ	49,5
YEMİŞLİ	69,1
GÖKÇELİ	62,8
ÇAVUŞ	68,2
TUZLA	48,1
<b>ORTALAMA</b>	<b>65,6</b>



Şekil 4.1. Adana İl Sınırları İçerisinde Ölçüm Alınan Noktalar



### Adana İli Doğal Gama Radyasyon İzo-Dos Haritası (nGy/saat)

Şekil 4.2. Adana İli Doğal Gama Radyasyon İzo-Dos Haritası (nGy/saat)

**4.3. Ölçülen Ev Dışı Gama Radyasyonlarının Yıllık Etkin Doz Eşdeğerine Katkıları**

Yıllık etkin doz eşdeğeri, insanın bir yıl süresince maruz kaldığı radyasyonlardan alacağı doz olarak tanımlanır. Eşdeğer doz birimi **rem** (röntgen equivalent man) olarak adlandırılır. SI birimler sisteminde eşdeğer doz birimi Sv(Sievert)'dir ve 1 Sv, 100 Rem'e eşittir. Değişik ülkelerde yapılan benzeri çalışmalarda etkin doz eşdeğerinin havadaki soğurulmuş doza oranı, orta enerjilere düşürülmüş çevresel gama ışınları için 0,7 Sv/Gy olarak tanımlanır.(UNSCEAR Report,2000)

Bu değer, hem ev içi (indoor) hem de ev dışı (outdoor) çevresel gama ışınları için kullanılır. Gama ışınlarının insana verdiği yıllık etkin doz eşdeğerini hesaplariken bilinmesi gereken diğer bir faktör de, insanların bu ışınlarla 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 ne kadarlık bir kısmının açık alanlarda geçirmesidir. Bu çalışmada hesaplar, bir insanın zamanının yaklaşık % 80'ini ev içerisinde veya kapalı alanlarda, % 20'sini de ev dışı (outdoor) alanlarda geçireceği düşünülerek yapılmıştır. Bu bilgilerin ışığında, insanın ev dışı ışınlamalarla alacağı yıllık etkin doz eşdeğeri (Y.E.D.E) aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$Y.E.D.E = \text{Havada Ölçülen Ortalama Soğurulmuş Doz} \times \text{Çevresel Gama Radyasyonların Havadaki Soğurulmuş Doza Oranı} \times \text{Meşguliyet Faktörü} \times \text{Zaman}$$

Açık alanlar için;

$$Y.E.D.E = 65.6 \text{ (nGy/saat)} \times 0,7 \text{ (Sv/Gy)} \times 0,20 \times 8760 \text{ (saat /yıl)}$$

$$Y.E.D.E = 80451.84 \text{ nGy/saat} \times \text{Sv/Gy} \times \text{saat/yıl}$$

$$Y.E.D.E = 80451.84 \times 10^{-9} \text{ Sv/yıl}$$

$$Y.E.D.E = 80451.84 \times 10^{-9} \times 10^6 \mu \text{ Sv/yıl}$$

$$Y.E.D.E = 80.452 \mu \text{ Sv/yıl}$$

Adana bölgesinde yaşayan bir insan ev dışı gama ışınlarından bir yılda toplam 80.452  $\mu$  Sv/yıl'lık radyasyon dozu almaktadır.

#### **4.4. Adana İli Toprak Örneklerinde Belirlenen Doğal Temel Radyasyon Seviyeleri**

Bu çalışmada, Adana ilinin toprak örneklerinin içerdikleri doğal radyoaktif çekirdek konsantrasyonlarının belirlenmesi amacıyla 36 değişik yerleşim biriminden toprak örnekleri alınarak gama spektrometrik analizleri yapılmıştır. Bu analizlerde  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  doğal radyoaktif serilerinin elemanlarının ve  $^{40}\text{K}$  radyoizotopunun aktivite konsantrasyonları belirlenmiştir.

Ayrıca doğada doğal olarak bulunmayan, nükleer denemeler veya kazalar sonucu çevreye yayılarak radyoaktif yağışlarla yere düşen bir fisyon ürünü olan  $^{137}\text{Cs}$  radyoizotopunun konsantrasyonu da tespit edilmiştir.  $^{137}\text{Cs}$  veya benzeri fisyon ürünü olan radyonüklitler akıntı veya yağmur sularıyla toprağın derinliklerine kadar inebilirler.

Toprak örneklerinin gama spektrometrik analizleri Canberra 85 serisi (4096 kanallı) gama spektrometre cihazı kullanılarak yapılmıştır. Bu sistem 0,33 MeV'de % 15-16'lık relatif verime sahip yüksek saflıktaki koaksiyel germanyum dedektöründen yapılmıştır. Bu dedektör, kozmik ışıklardan ve ortamdan kaynaklanan backgroundun dedektöre ulaşmasını engellemek için 2mm bakır ve 2 mm kadmiyum tabakayla 10 cm derinlikte içten zırhlanmıştır. Ayrıca dış taraftan 10 cm kalınlığında bir kurşun tabaka ile zırhlanmıştır.

Gama spektrometresinin enerji kalibrasyonu ve kısmi verim kalibrasyonu 80 keV ve 2500 keV arasında değişen enerjilerde  $^{109}\text{Cd}$ ,  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{113}\text{Sn}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{188}\text{Y}$  ve  $^{60}\text{Co}$  içeren 1000 ml hacimli marinelli kalibrasyon kaynağı kullanılarak yapılmıştır.

Doğal fon (Background) için her bir örneği sayma zamanı 50 000 sn dir.

Gama spektrometre sayım sisteminden kaynaklanan sayım hataları yaklaşık olarak % 0,25 – 30arasındadır. Ayrıca toprak örneklerinin kurutulmaları esnasında

oluşan radyoaktivite kayıpları ihmal edilebilecek seviyelerde düşük olmaları nedeni ile hesaplamalara dahil edilmemiştir.

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

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

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

$^{228}\text{Ac}$ ,  $^{232}\text{Th}$  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. (L'annunziata,1998) Bu çalışmada bolluğu en fazla olan 911 keV'deki enerji piki kullanılmıştır.

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

$^{40}\text{K}$  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.İnsan vücudu için yaşamsal bir öneme sahiptir. 1460 keV enerji pikinde % 11 bollukta bulunmaktadır.

Tabiatta doğal olarak bulunmayan, bir fisyon ürünü olan  $^{137}\text{Cs}$ , 661 keV'de % 85 bollukta bir pike sahiptir. (L'annunziata,1998)

Çizelge 4.2'de Adana ili toprak örneklerinin gama spektrometrik analizleri sonucunda bulunan radyoaktivite konsantrasyon değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.2. Adana İli toprağında bulunan doğal radyonüklitlerin 0-30 cm derinlikteki konsantrasyonları(Bq / kg )

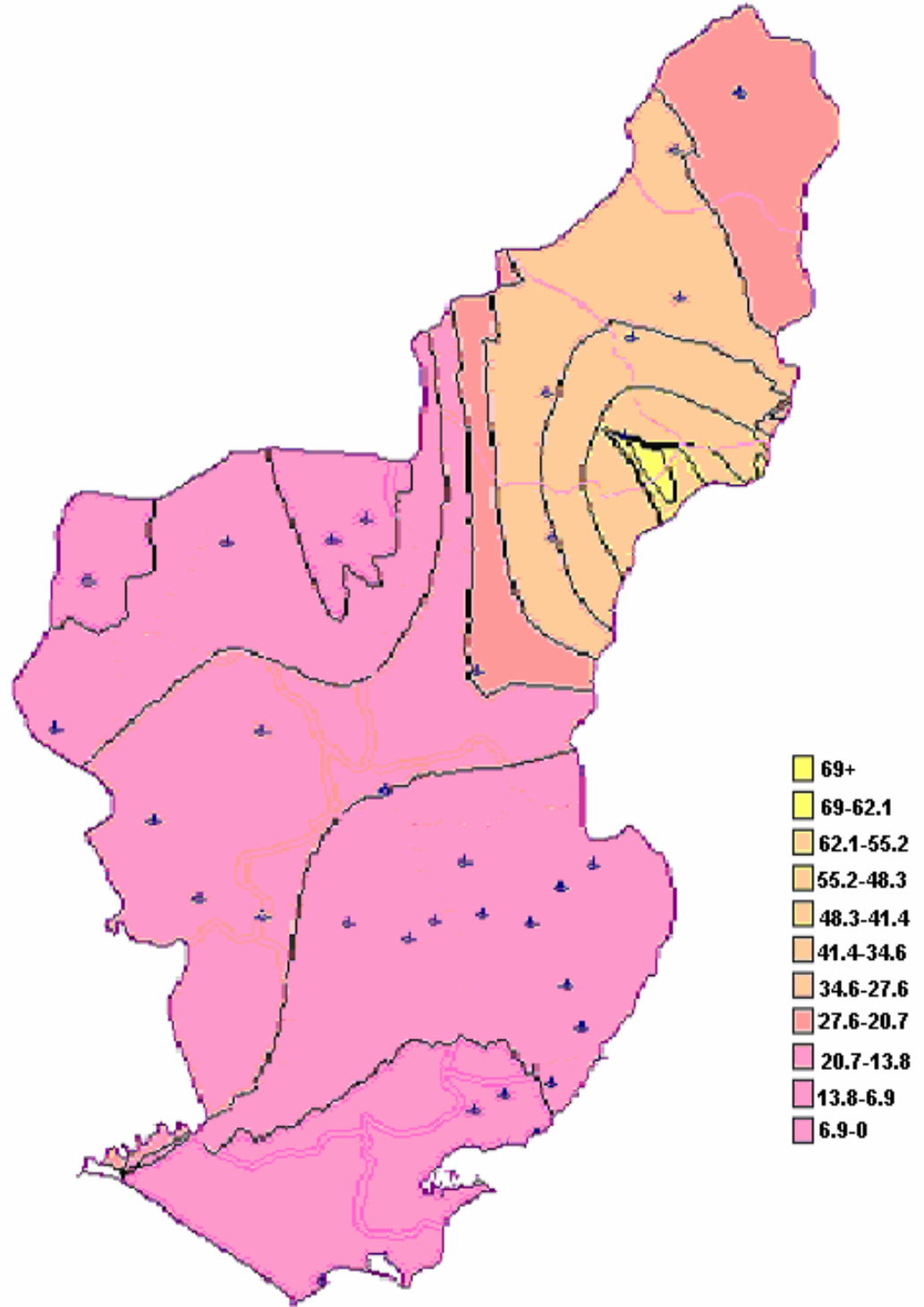
Yer Adı	<sup>238</sup> U Serisi		<sup>232</sup> Th Serisi		<sup>40</sup> K	<sup>137</sup> Cs	
	<sup>226</sup> Ra	<sup>214</sup> Pb	<sup>214</sup> Bi	<sup>228</sup> Ac			
Balcalı-fen- edeb.(Yüreğir)	27,81 ± 1,36	17,66 ± 0,35	16,17 ± 0,35	23,63 ± 0,583	27,19 ± 0,516	296,56 ± 3,11	5,83 ± 0,17
Yeniayla(Yüreğir)	10,25 ± 0,7	5,80 ± 0,21	4,83 ± 0,2	8,38 ± 0,37	8,36 ± 0,31	110,69 ± 2,51	22,43 ± 1,54
Kökeçli (Aladağ)	15,74 ± 1,13	11,02 ± 0,39	9,12 ± 0,38	11,37 ± 0,61	9,53 ± 0,52	189,98 ± 4,14	28,01 ± 0,44
Kelçeler(Karaisalı)	26,00 ± 0,99	20,39 ± 0,29	20,01 ± 0,33	27,63 ± 0,54	28,16 ± 0,44	462,42 ± 3,60	0,85 ± 0,12
Tekir(Pozantı)	16,53 ± 1,02	12,38 ± 0,36	12,14 ± 0,39	8,07 ± 0,49	9,15 ± 0,42	158,75 ± 3,48	4,50 ± 0,19
Salbaş(Karaisalı)	23,53 ± 0,90	20,22 ± 0,29	21,70 ± 0,34	19,85 ± 0,45	24,86 ± 0,47	330,06 ± 3,07	8,37 ± 0,17
Feke(Merkez)	27,20 ± 2,52	22,59 ± 0,69	21,34 ± 0,70	39,38 ± 1,21	43,47 ± 1,09	792,84 ± 7,69	11,53 ± 0,38
Draylı(Saimbeyli)	38,99 ± 1,25	32,01 ± 0,36	28,37 ± 0,35	35,21 ± 0,59	39,02 ± 0,51	626,81 ± 4,26	7,45 ± 0,16
Hamzalı(Yumurtalık)	10,03 ± 0,59	7,66 ± 0,20	7,44 ± 0,23	8,20 ± 0,34	8,83 ± 0,29	378,79 ± 3,40	6,99 ± 0,15
Ceyhan (Merkez)	21,35 ± 1,12	17,38 ± 0,31	16,77 ± 0,32	16,15 ± 0,50	14,98 ± 0,40	274,59 ± 2,80	2,75 ± 0,11
Karataş (Merkez)	12,28 ± 0,87	9,10 ± 0,26	9,75 ± 0,28	8,65 ± 0,39	8,37 ± 0,34	144,08 ± 2,20	0,45 ± 10,25
Zeytinbeyli(yumurtalık)	17,23 ± 1,02	14,16 ± 0,33	14,31 ± 0,34	16,01 ± 0,52	17,37 ± 0,47	299,71 ± 3,26	8,32 ± 0,19



Yer Adı	<sup>238</sup> U Serisi			<sup>232</sup> Th Serisi			<sup>137</sup> Cs
	<sup>226</sup> Ra	<sup>214</sup> Pb	<sup>214</sup> Bi	<sup>228</sup> Ac	<sup>208</sup> Tl	<sup>40</sup> K	
Mustafalar(Yüreğir)	5,07 ± 0,73	7,84 ± 0,35	8,45 ± 0,37	14,87 ± 0,63	13,84 ± 0,52	190,16 ± 3,29	12,46 ± 0,29
Çamlıca(Yüreğir)	13,41 ± 1,43	9,16 ± 0,45	7,54 ± 0,48	14,64 ± 0,87	14,45 ± 0,73	175,12 ± 5,21	6,62 ± 0,31
Balcalı-kayıkhaneye (Yüreğir)	26,05 ± 2,48	15,42 ± 0,56	12,35 ± 0,47	25,37 ± 0,90	28,14 ± 0,89	274,54 ± 4,69	18,58 ± 0,40
Akoluk(Feke)	104,07 ± 4,93	67,80 ± 1,01	70,67 ± 1,39	55,14 ± 1,71	58,46 ± 1,43	310,64 ± 6,46	4,74 ± 0,43
Çulluşağı(Kozan)	32,32 ± 1,66	31,78 ± 0,46	28,95 ± 0,47	55,55 ± 0,87	58,18 ± 0,73	814,19 ± 4,80	1,58 ± 0,21
Darlıküstü- boyalık(Aladağ)	0,17 ± 0,02	0,54 ± 0,07	0,97 ± 0,12	0,72 ± 0,18	0,55 ± 0,15	9,59 ± 0,75	2,55 ± 0,15
Hacıhasanlı(İmamoğlu)	21,45 ± 0,84	17,32 ± 0,30	16,15 ± 0,30	16,15 ± 0,30	19,23 ± 0,38	343,96 ± 3,19	0,17 ± 0,09
Saimbeyli(Merkez)	36,68 ± 2,11	28,33 ± 0,67	23,06 ± 0,59	49,87 ± 1,19	54,89 ± 1,08	385,93 ± 5,94	1,51 ± 0,21
Karaisalı(Merkez)	28,95 ± 1,35	20,77 ± 0,38	21,74 ± 0,38	22,88 ± 0,49	28,44 ± 0,53	415,10 ± 3,48	0,11 ± 0,12
Kozan(Merkez)	40,66 ± 3,13	23,76 ± 0,63	23,26 ± 0,86	36,79 ± 1,14	37,23 ± 0,86	471,27 ± 6,26	10,58 ± 0,36
Tufanbeyli(Merkez)	37,72 ± 1,81	25,69 ± 0,53	20,99 ± 0,53	36,68 ± 0,96	40,17 ± 0,84	430,25 ± 5,76	6,45 ± 0,26
Çatalçam(Tufanbeyli)	39,12 ± 1,27	31,532 ± 0,37	27,67 ± 0,37	43,96 ± 0,66	44,86 ± 0,56	455,55 ± 3,73	6,82 ± 0,66
Narlık(Ceyhan)	6,60 ± 0,40	2,63 ± 0,13	0,91 ± 0,09	2,35 ± 0,25	3,49 ± 0,20	63,67 ± 0,54	13,02 ± 0,17

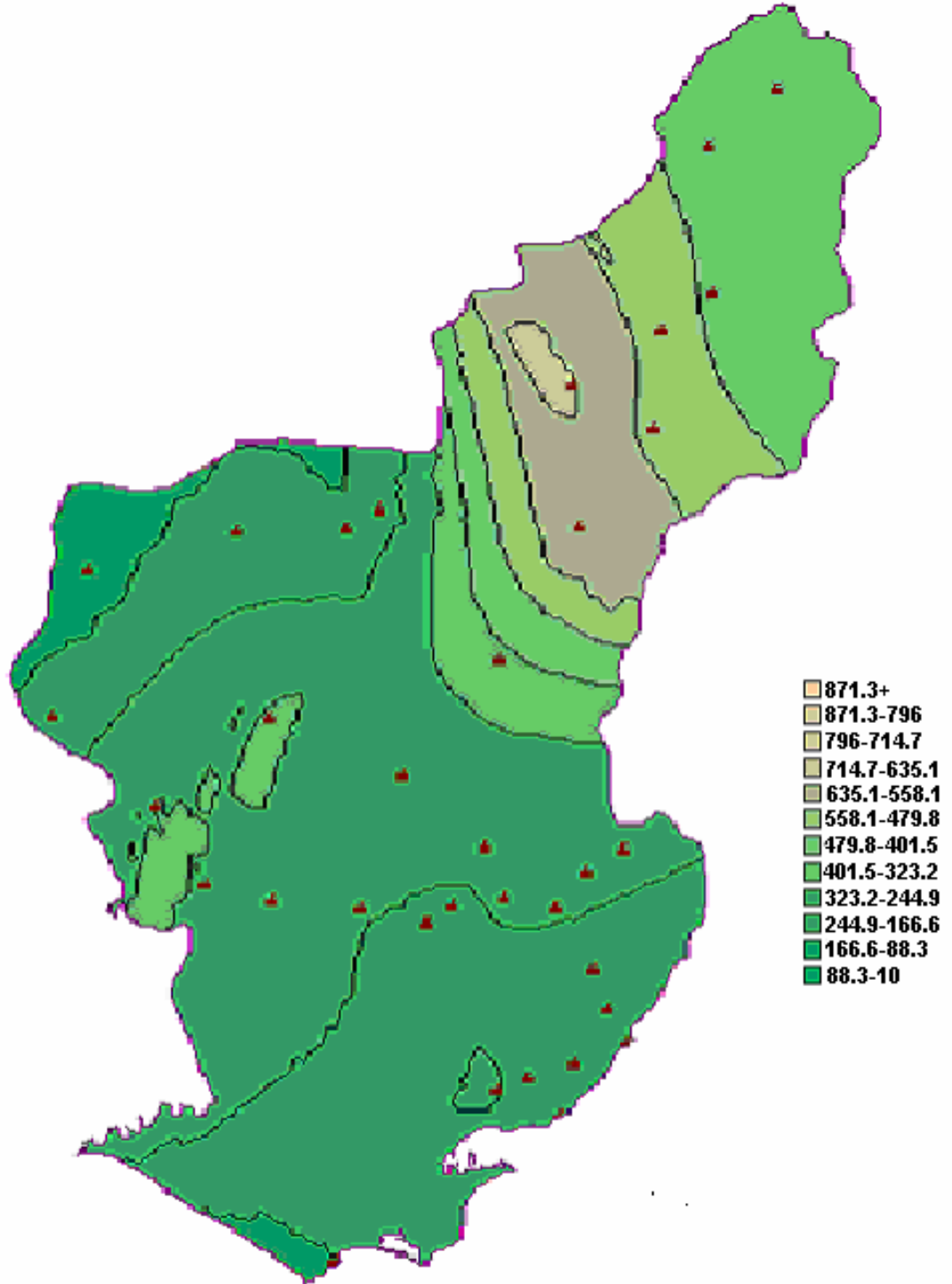
Yer Adı	<sup>238</sup> U Serisi			<sup>232</sup> Th Serisi			<sup>137</sup> Cs
	<sup>226</sup> Ra	<sup>214</sup> Pb	<sup>214</sup> Bi	<sup>228</sup> Ac	<sup>208</sup> Tl	<sup>40</sup> K	
Ceyhan(Merkez)	14,98 ± 1,52	11,94 ± 0,46	10,55 ± 0,45	18,93 ± 0,84	20,69 ± 0,74	284,46 ± 5,68	4,45 ± 0,25
İncirli-botaş yanı(Yumurタルık)	11,20 ± 0,54	10,21 ± 0,19	10,06 ± 0,22	7,31 ± 0,27	8,61 ± 0,29	116,66 ± 1,76	2,00 ± 0,08
Yumurタルık(Merkez)	6,98 ± 0,46	6,34 ± 0,19	6,42 ± 0,19	3,85 ± 0,24	3,69 ± 0,19	170,87 ± 2,15	0,48 ± 0,06
Kamışlı çıkış (Pozantı)	19,22 ± 1,23	15,53 ± 0,31	16,14 ± 0,34	18,07 ± 0,47	24,14 ± 0,53	274,65 ± 3,13	6,17 ± 0,15
Kösreli(Ceyhan)	16,09 ± 1,19	14,28 ± 0,47	14,01 ± 0,46	14,40 ± 0,69	15,96 ± 0,63	291,15 ± 4,86	8,88 ± 0,27
Zeytinbeli(Yumurタルık)	17,77 ± 1,21	9,95 ± 0,23	10,12 ± 0,26	13,97 ± 0,44	15,43 ± 0,39	222,09 ± 2,75	7,68 ± 0,16
Tatlıkuyu(Ceyhan)	27,28 ± 2,07	14,31 ± 0,58	12,69 ± 0,58	22,91 ± 1,09	26,49 ± 0,97	310,54 ± 6,86	14,33 ± 0,44
Kamışlı(Pozantı)	6,35 ± 0,51	2,41 ± 0,11	2,04 ± 0,11	2,79 ± 0,22	3,65 ± 0,19	86,54 ± 1,67	1,69 ± 0,08
Yalak(Ceyhan)	14,94 ± 1,07	10,31 ± 0,40	8,46 ± 0,36	9,79 ± 0,57	10,33 ± 0,48	397,09 ± 5,32	6,24 ± 0,23
Botaş(Yumurタルık)	14,27 ± 0,97	8,54 ± 0,25	8,15 ± 0,25	19,72 ± 0,49	20,62 ± 0,45	112,57 ± 2,00	2,55 ± 0,13
Gölovası(Yumurタルık)	13,35 ± 1,31	11,98 ± 0,48	11,41 ± 0,46	9,41 ± 0,70	18,20 ± 0,71	270,02 ± 4,96	3,90 ± 0,21
Kamışlı giriş (Pozantı)	13,52 ± 0,83	8,05 ± 0,22	54 ± 0,22	4,72 ± 0,26	5,98 ± 0,28	112,43 ± 1,98	1,72 ± 0,11
Sağkaya(Ceyhan)	11,66 ± 1,11	15,15 ± 0,48	11,96 ± 0,41	21,91 ± 0,82	24,78 ± 0,76	250,38 ± 4,43	6,38 ± 0,25

Yer Adı	<sup>238</sup> U Serisi		<sup>232</sup> Th Serisi		<sup>40</sup> K	<sup>137</sup> Cs
	<sup>226</sup> Ra	<sup>214</sup> Pb	<sup>214</sup> Bi	<sup>228</sup> Ac		
Darılık Üstü Boyalık(Aladağ)	0,17 ±0,02	0,54±0,07	0,97±0,12	0,72±0,18	9,59±0,75	2,55±0,15
<b>ORTALAMA</b>	<b>22,35</b>	<b>16,54</b>	<b>16,77</b>	<b>20,68</b>	<b>305,53</b>	<b>7,00</b>



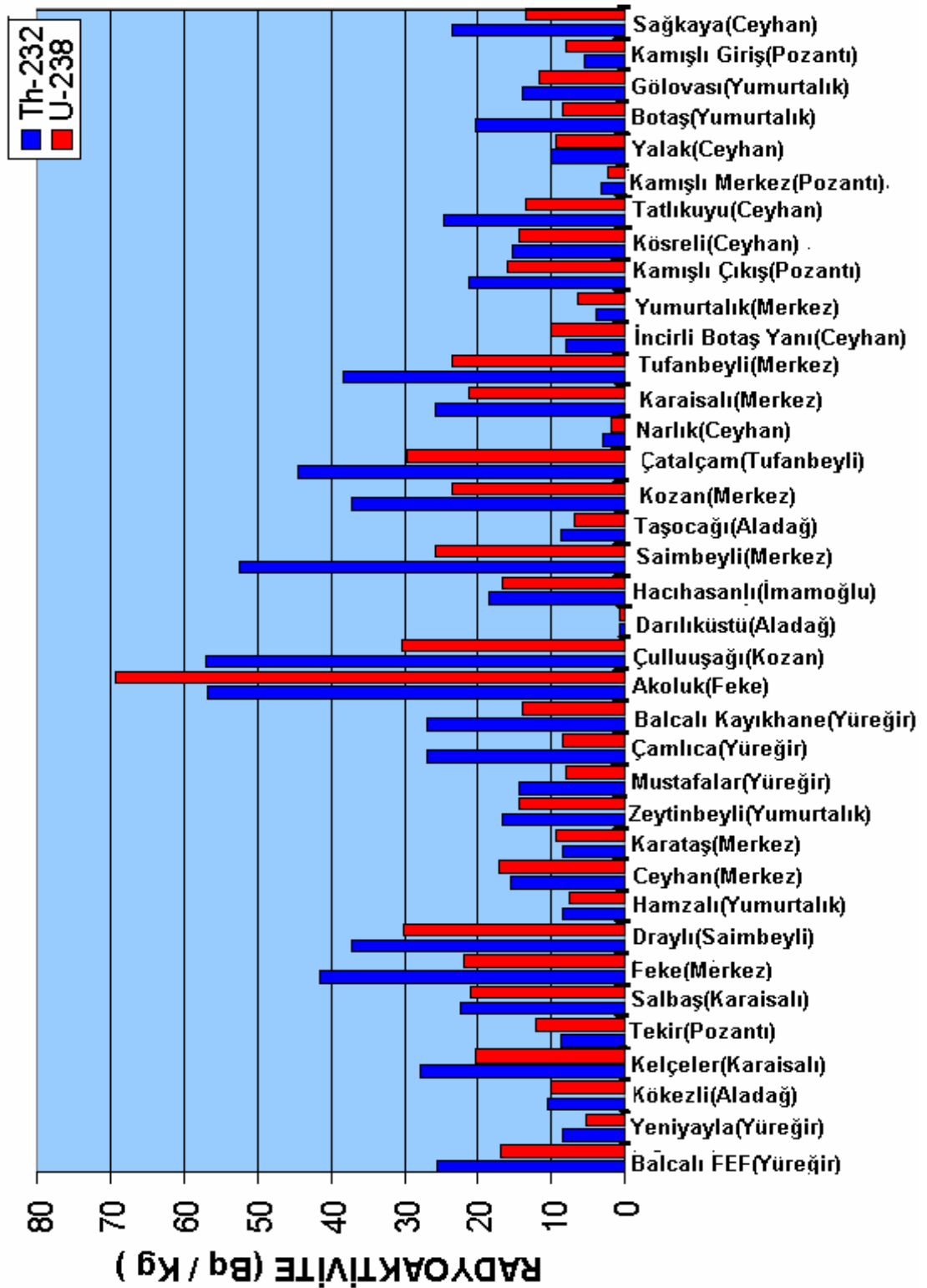
Adana toprağı U-238 izo-aktivite haritası Bq/kg

Şekil 4.3. Adana Toprağı U- 238 İz-Aktivite Haritası Bq/kg

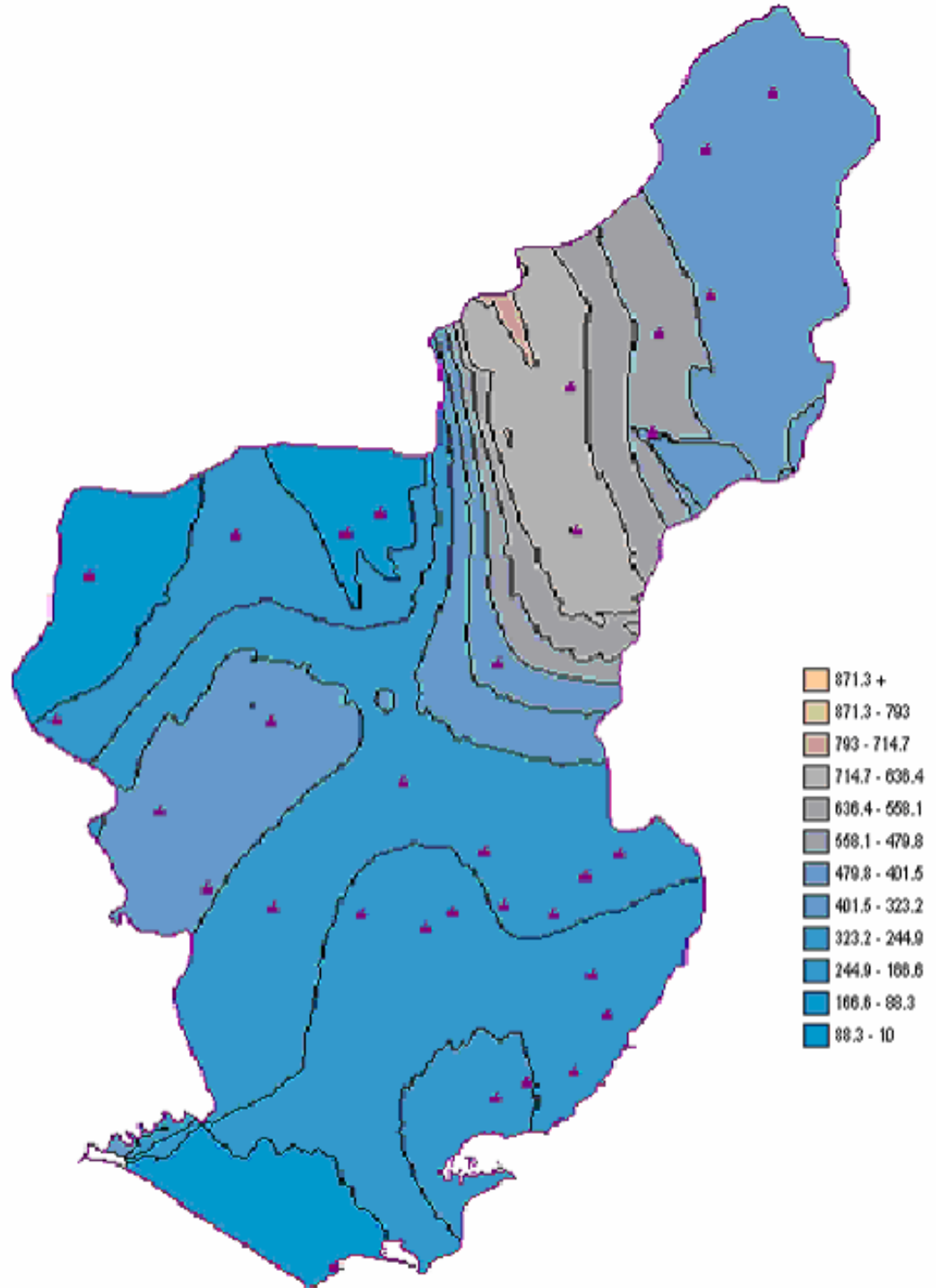


**Adana toprağı Th-232 izo-aktivite haritası (Bq/kg)**

Şekil 4.4. Adana Toprağı Th-232 İzo-Aktivite Haritası Bq/kg.

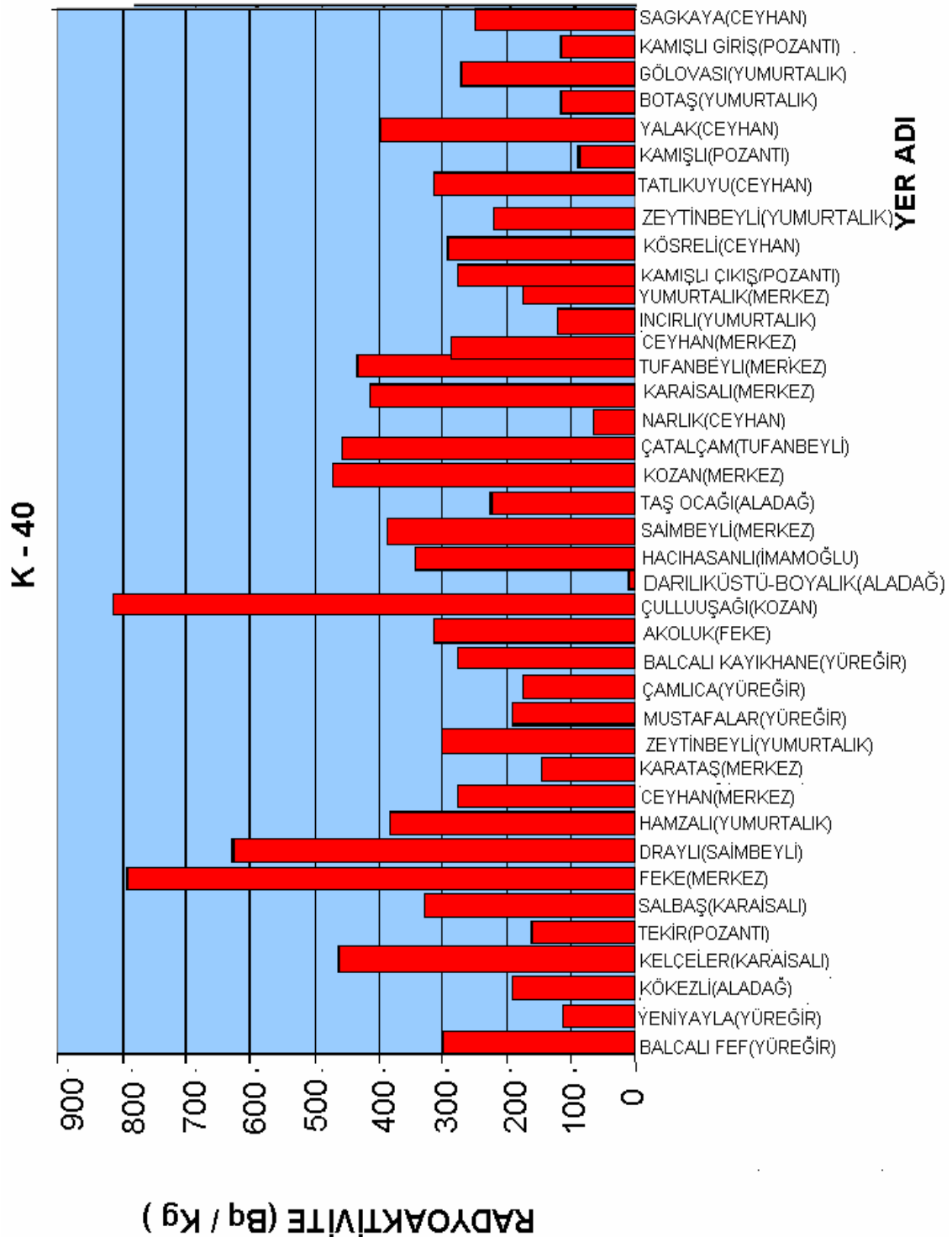


Şekil 4.5. Adana toprağında Ölçüm Alınan Noktalara Göre U-238 ile Th-232'nin karşılaştırması.



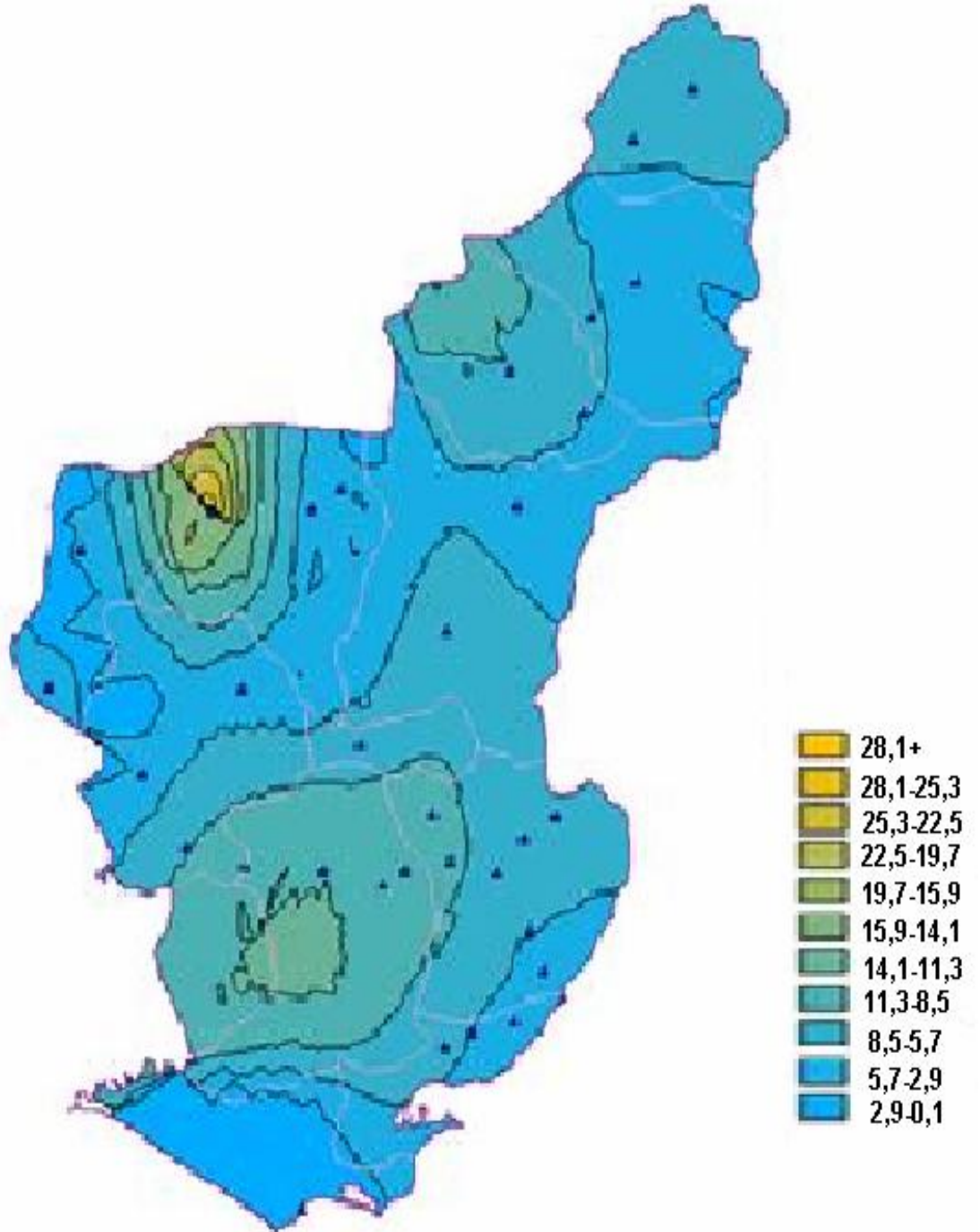
**Adana toprağı K-40 izo-aktivite haritası (Bq/kg)**

Şekil 4.6. Adana Toprağı K-40 İzo-Aktivite Haritası Bq/kg.



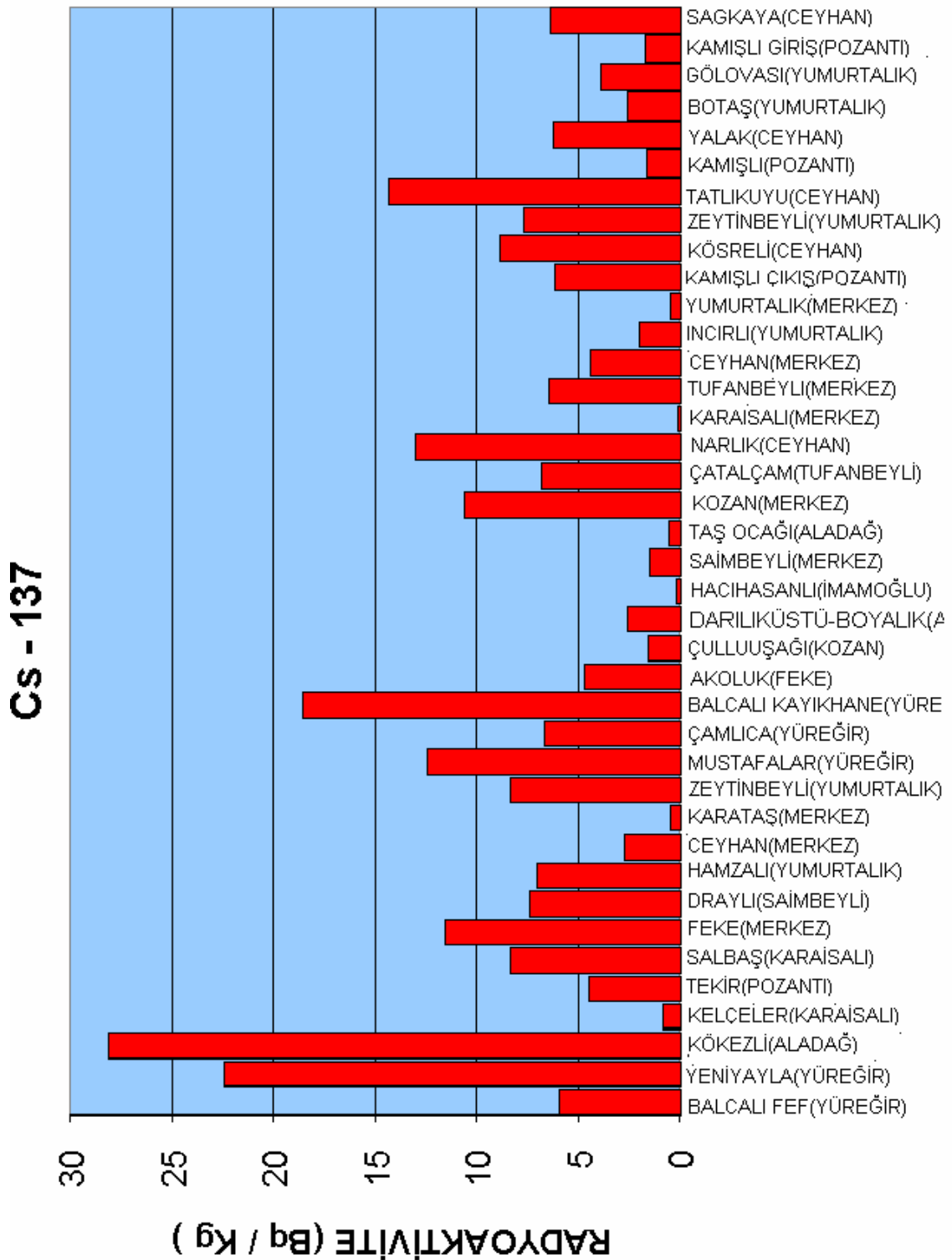
Şekil 4.7. Adana Toprağında Ölçüm Alınan Noktalara Göre K-40 Değerleri



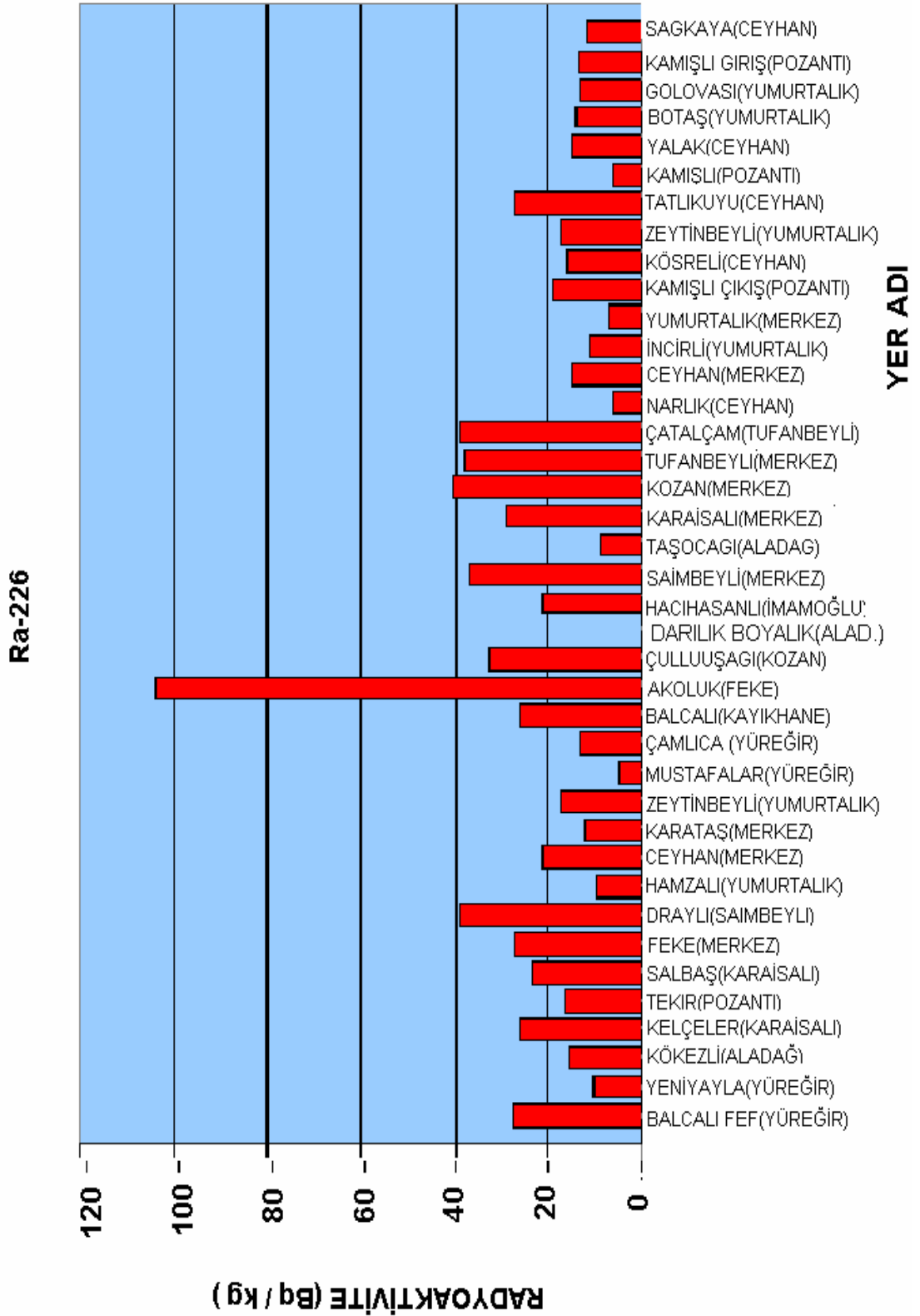


Adana toprağı Cs-137 izo-aktivite haritası (Bq/kg)

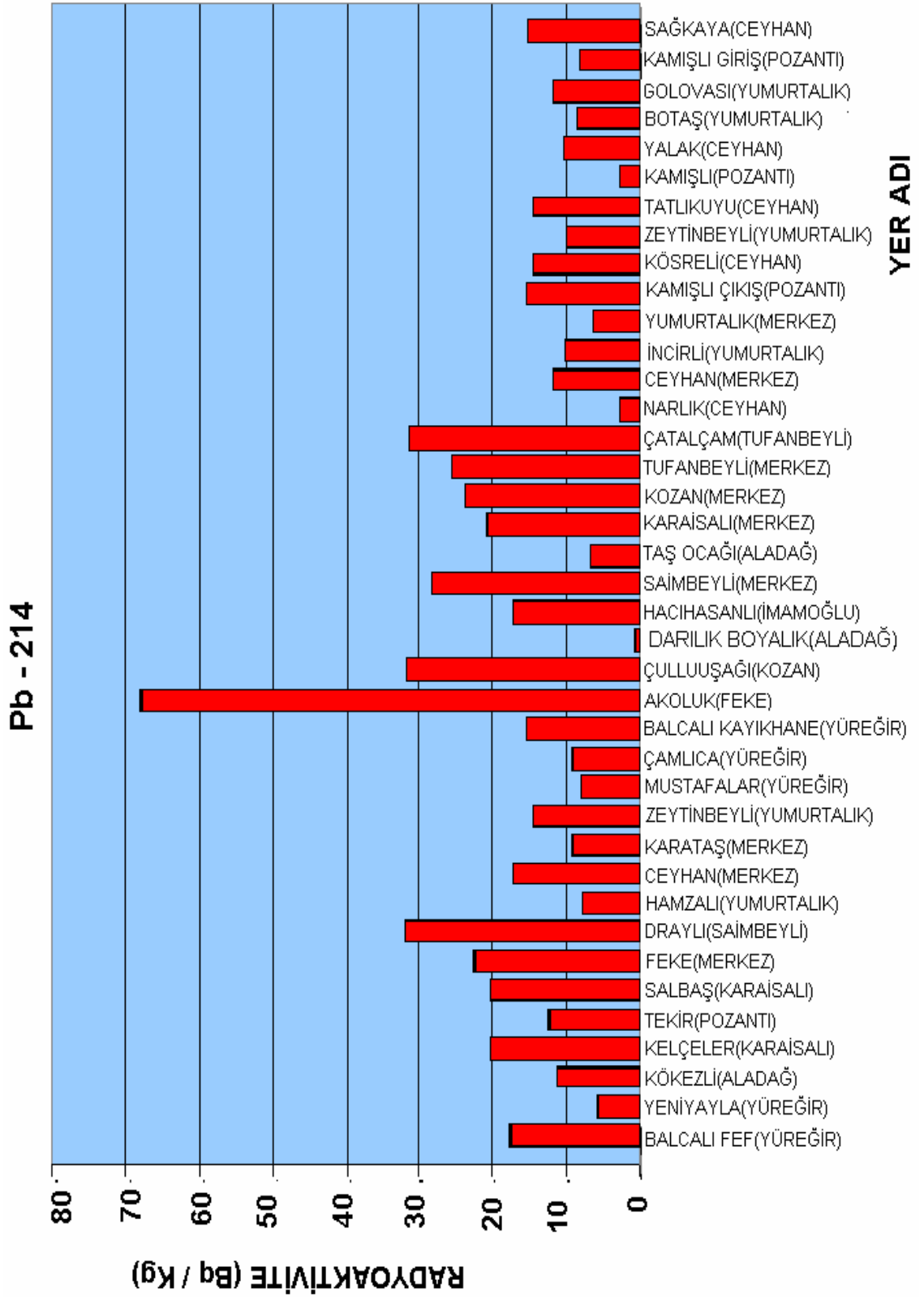
Şekil 4.8. Adana Toprağı Cs-137 İzo-Aktivite Haritası Bq/kg



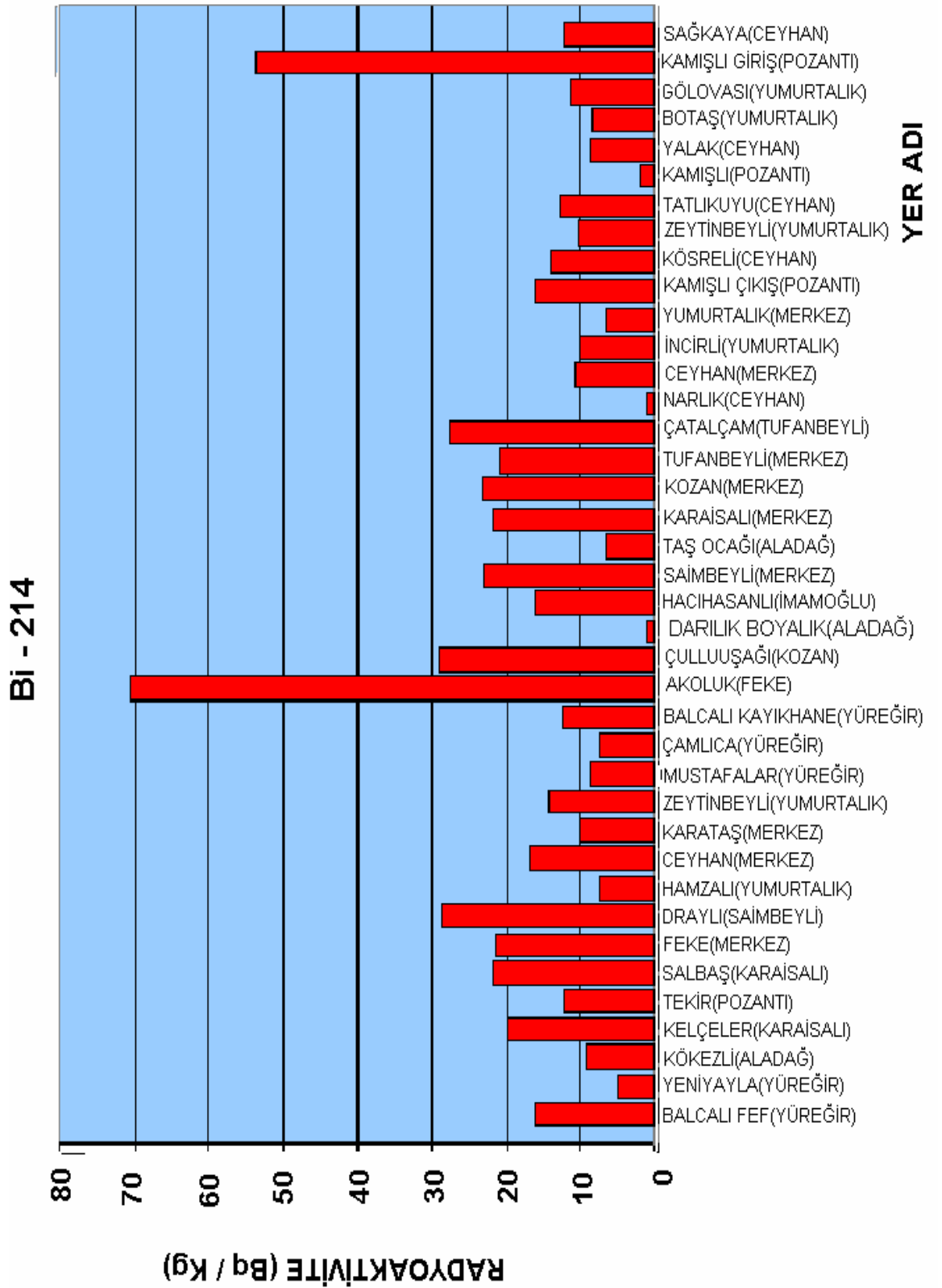
Şekil 4.9. Adana İli Toprağında Ölçüm Alınan Yerlere Göre Cs- 137 Dağılımı



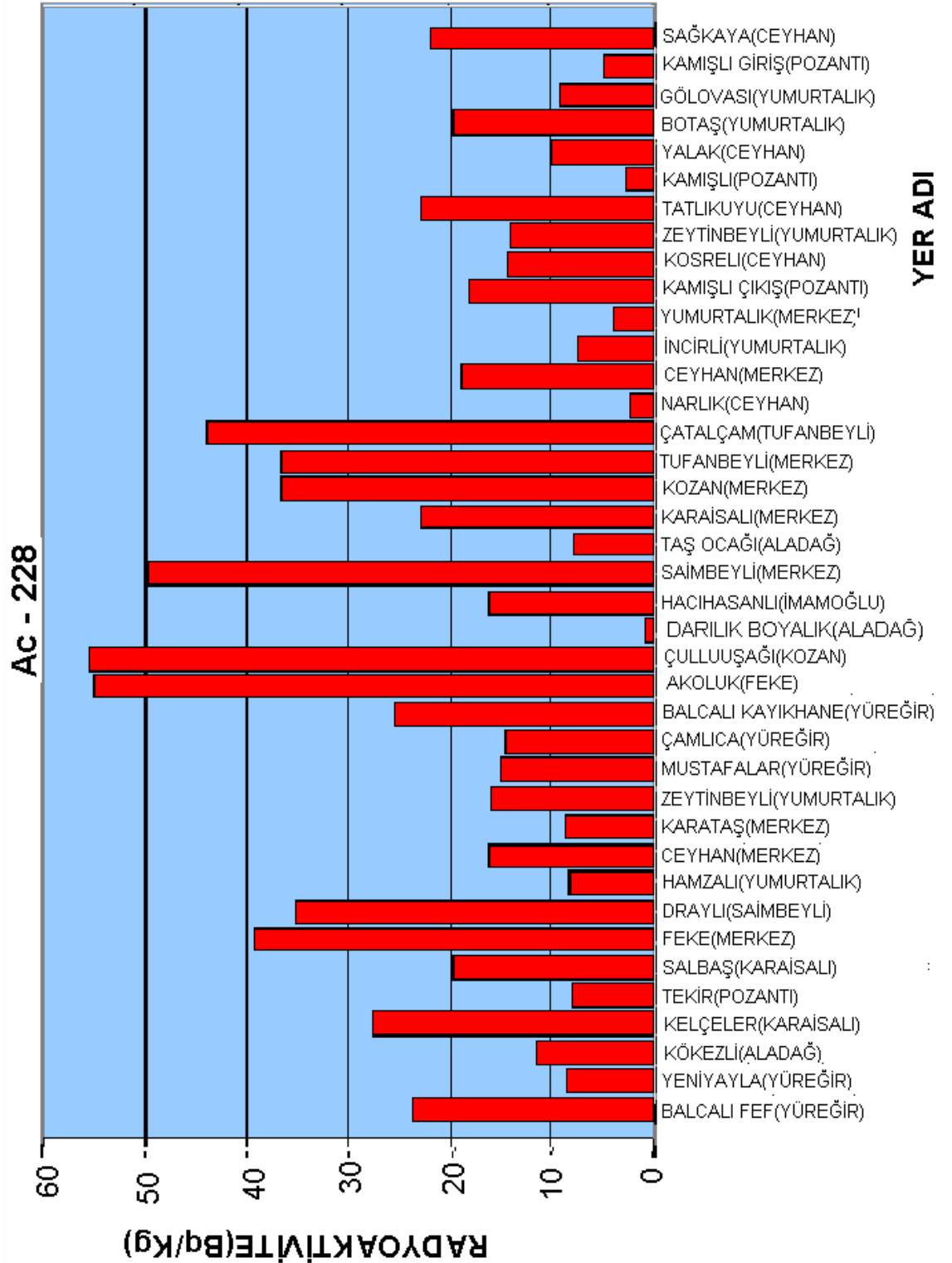
Şekil 4.10 Adana Toprağında ölçüm Alınan Yerlere Göre Ra-226 Dağılımı



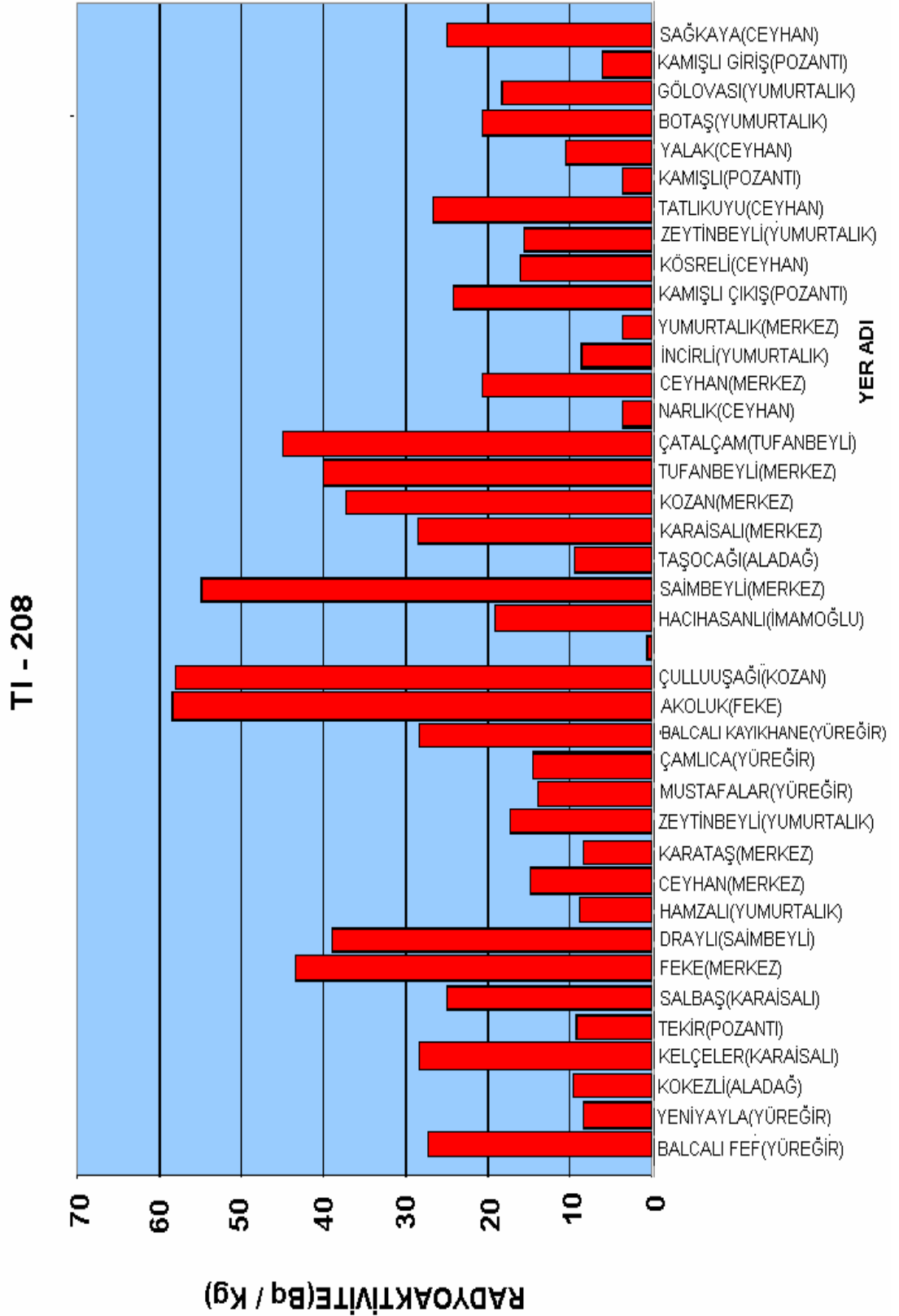
Şekil 4.11. Adana Toprağında Ölçüm Alınan Yerlere Göre Pb-214 Dağılımı



Şekil 4.12. Adana Toprağında Ölçüm Alınan Yerlere Göre Bi-214 Dağılımı



Şekil 4.13. Adana Toprağında Ölçüm Alınan Yerlere Göre Ac-228 Dağılımı



Şekil 4.14. Adana Toprağında Ölçüm Alınana Noktalara Göre TI-208 Dağılımı.

**4.5. Havada Soğurulmuş Doz Oranı**

Havadaki absorblanmış doz oranına doğal radyonüklitlerin katkısı topraktaki radyonüklit konsantrasyonuna bağlıdır. Gama radyasyonunun en büyük kısmı karasal radyonüklitlerden ileri gelir. Topraktaki radyonüklit konsantrasyonu ve karasal gama radyasyonu arasında doğrudan bir bağlantı vardır. Eğer topraktaki radyonüklit aktivitesi bilirse yerden 1 m yükseklikte nüklitlerin doz oranları bulunabilir. Her Bq/kg'da dönüşüm faktörleri  $^{238}\text{U}$  için 0,427,  $^{232}\text{Th}$  için 0,662 ve  $^{40}\text{K}$  için 0,043 nGy h<sup>-1</sup> alınır.(Beck,1972) Havada absorblanan doza karasal gama radyasyonunu katkısı aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır.(Beck,1972)

$$D(\text{nGyh}^{-1}) = 0,427 C_{\text{U}} + 0,662 C_{\text{Th}} + 0,043 C_{\text{K}} \quad (4.1)$$

Burada  $D$ , yerin 1 m üzerindeki doz oranı,  $C_{\text{U}}$  toprak örneğindeki  $^{238}\text{U}$  aktivite konsantrasyonunu,  $C_{\text{Th}}$ ,  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonunu, ve  $C_{\text{K}}$ ,  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonunu göstermektedir.



Çizelge 4.3. Adana İli toprağında belirlenen aktivite konsantrasyonları, havadaki absorblanmış doz oranları ve yıllık etkin doz eşitliği

Yer Adı	Aktivite Konsantrasyonu (Bq / kg)			Havadaki Soğurulmuş Doz Oranı ( $10^{-8}$ Gy/saat)	Yıllık Etkin Doz Eşitliği ( $\mu$ Sv)
	$^{238}\text{U}$	$^{232}\text{Th}$	$^{40}\text{K}$		
Balcalı-fen edeb(Yüreğir)	$27.81 \pm 1.36$	$27.19 \pm 0.516$	$296.56 \pm 3.11$	5, 41	66.35
Yeniayla(Yüreğir)	$10.25 \pm 0.7$	$8.36 \pm 0.31$	$110.69 \pm 2.51$	5, 58	68.43
Kökeçli(Aladağ)	$15.74 \pm 1.13$	$9.53 \pm 0.52$	$189.98 \pm 4.14$	3, 75	45.99
Keleşler(Karaisalı)	$26.00 \pm 0.99$	$28.16 \pm 0.44$	$462.42 \pm 3.60$	9, 3	114.06
Tekir(Pozantı)	$16.53 \pm 1.02$	$9.15 \pm 0.42$	$158.75 \pm 3.48$	5, 56	68.19
Salbaş(Karaisalı)	$23.53 \pm 0.90$	$24.86 \pm 0.47$	$330.06 \pm 3.07$	7, 9	96.88
Feke(Merkez)	$27.20 \pm 2.52$	$43.47 \pm 1.09$	$792.84 \pm 7.69$	13, 4	164.34
Draylı(Saimbeyli)	$38.99 \pm 1.25$	$39.02 \pm 0.51$	$626.81 \pm 4.26$	8, 77	107.55

Yer Adı	Aktivite Konsantrasyonu (Bq / kg)			Havadaki Soğurulmuş Doz Oranı ( $10^{-8}$ Gy/saat)		Yıllık Etkin Doz Eşitliği ( $\mu$ Sv)
	$^{238}\text{U}$	$^{232}\text{Th}$	$^{40}\text{K}$	Soğurulmuş (karasal)	Ölçülmüş Doz (Karasal ve Kozmik)	
Hamzalı(Yumurtalık)	10.03 ± 0.59	8.83 ± 0.29	378.79 ± 3.40	2,641	4, 4	53.96 32.389
Ceyhan(Merkez)	21.35 ± 1.12	14.98 ± 0.40	274.59 ± 2.80	2,022	5, 28	64.75 24.797
Karataş(Merkez)	12.28 ± 0.87	8.37 ± 0.34	144.08 ± 2.20	1,698	4, 95	60.71 20.812
Zeytinbeyli(yumurtalık)	17.33 ± 1.02	17.37 ± 0.47	299.71 ± 3.26	3,179	4, 81	58.98 38.98
Mustafalar(Yüreğir)	5.07 ± 0.73	13.84 ± 0.52	190.16 ± 3.29	1,95	5, 91	72.48 23.914
Çamlıca(Yüreğir)	13.41 ± 1.43	14.45 ± 0.73	175.12 ± 5.21	2,282	5, 56	68.19 27.986
Balcalı kayıkhanesi(Yüreğir)	26.05 ± 2.48	28.14 ± 0.89	274.54 ± 4.69	4,155	5, 66	69.41 50.895
Akoluk(Feke)	104.07 ± 4.93	58.46 ± 1.43	310.64 ± 6.46	9,649	8, 2	100.56 118.335
Çulluuşağı(Kozan)	32.32 ± 1.66	58.18 ± 0.73	814.19 ± 4.80	8,732	14, 4	176.60 107.089
Darılıküstü Boyalık(Aladağ)	0.17 ± 0.02	0.55 ± 0.15	9.59 ± 0.75	0,085	2, 29	28, 08 1.044
Hacıhasanlı (İmamoğlu)	21.45 ± 0.84	19.23 ± 0.38	343.96 ± 3.19	3,668	6, 92	84.87 44.984

Yer Adı	Aktivite Konsantrasyonu (Bq / kg)			Havadaki Soğurulmuş Doz Oranı (10 <sup>-8</sup> Gy/saat)		Yıllık Etkin Doz Eşitliği (µ Sv)	
	<sup>238</sup> U	<sup>232</sup> Th	<sup>40</sup> K	Soğurulmuş (karasal)	Ölçülmüş Doz (Karasal ve Kozmik)	Karasal ve Kozmik	Karasal
Saimbeyli(Merkez)	36.68 ± 2.11	54.89 ± 1.08	385.93 ± 5.94	6,859	11, 1	136.13	84.118
Taşocağı(Aladağ)	8.92 ± 0.89	9.23 ± 0.43	259.46 ± 4.09	2,107	0,973	11, 93	25.84
Karaisalı(Merkez)	28.95 ± 1.35	28.44 ± 0.53	415.10 ± 3.48	4,903	9, 13	111.97	60.13
Kozan(Merkez)	40.66 ± 3.13	37.23 ± 0.86	471.27 ± 6.26	6,227	10, 5	128.77	76.367
Tufanbeyli(Merkez)	37.72 ± 1.81	40.17 ± 0.84	430.25 ± 5.76	5,162	8, 77	107.55	63.301
Çatalçam(Tufanbeyli)	39.12 ± 1.27	44.86 ± 0.56	455.55 ± 3.73	6,599	8, 75	107.31	80.93
Narlık(Ceyhan)	6.60 ± 0.40	3.49 ± 0.20	63.67 ± 0.54	0,786	4,08	50.04	9,639
Ceyhan (Merkez)	14.98 ± 1.52	20.69 ± 0.74	284.46 ± 5.68	3,232	5, 28	64.75	39.637
İncirli botaş yanı(Yumurtaalık)	11.20 ± 0.54	8.61 ± 0.29	116.66 ± 1.76	1,55	4, 04	49.55	19.009
Yumurtalık(merkez)	6.98 ± 0.46	3.69 ± 0.19	170.87 ± 2.15	1,276	4, 88	59.85	15.648
Kamışlı Çıkış(Pozanrı)	19.22 ± 1.23	24.14 ± 0.53	274.65 ± 3.13	3,599	6, 17	75.67	44.138

Yer Adı	Aktivite Konsantrasyonu (Bq / kg)			Havadaki Soğurulmuş Doz Oranı (10 <sup>-8</sup> Gy/saat)		Yıllık Etkin Doz Eşitliği (μ Sv)	
	<sup>238</sup> U	<sup>232</sup> Th	<sup>40</sup> K	Soğurulmuş (karasal)	Ölçülmüş Doz (Karasal ve kozmik)	Karasal ve kozmik	Karasal
Kösreli(Ceyhan)	16.09 ± 1.19	15.96 ± 0.63	291.15 ± 4.86	2,996	4, 58	56.17	36.73
Zeytinbeyli(Yumurタルık)	17.77 ± 1.21	15.43 ± 0.39	222.09 ± 2.75	2,735	4, 81	58.99	33.542
Tatlıkuyu(Ceyhan)	27.28 ± 2.07	26.49 ± 0.97	310.54 ± 6.86	4,254	6, 58	80.69	52.159
Kamışlı(Pozantı)	6.35 ± 0.51	3.65 ± 0.19	86.54 ± 1.67	0,885	6, 17	75.67	10.854
Yalak(Ceyhan)	14.94 ± 1.07	10.33 ± 0.48	397.09 ± 5.32	3,029	6, 08	74.57	37.148
Botaş(Yumurタルık)	14.27 ± 0.97	20.62 ± 0.45	112.57 ± 2.00	2,458	3, 69	45.25	30.145
Gölovası(Yumurタルık)	13.35 ± 1.31	18.20 ± 0.71	270.02 ± 4.96	2,936	4, 54	55.68	36.007
Kamışlı Giriş (Pozantı)	13.52 ± 0.83	5.98 ± 0.28	112.43 ± 1.98	1,456	6, 17	75.67	17.856
Sağkaya(Ceyhan)	11.66 ± 1.11	24.78 ± 0.76	250.38 ± 4.43	3,214	5, 55	68.07	39.416

**4.6. Adana Sularındaki Toplam Alfa ve Toplam Beta Radyoaktivitesinin Tayini**

Sularda radyoaktivite tayininde doğal kaynaklardaki gama aktif elementlerinin yarı ömürlerinin alfa ve beta aktif elementlerine göre daha kısa olmaları nedeniyle çoğu kez gama aktivitesi tayini yoluna gidilmemektedir. Buna karşın iç radyasyon tehlikesi açısından önemli olmaları nedeni ile sular için alfa ve beta radyoaktivite tayini üzerinde daha fazla durulması gereken bir konumdadır.

Suların radyoaktivite kirliliğinin saptanmasında ilk olarak alfa ve beta aktivitelerini ölçmek gerekmektedir.

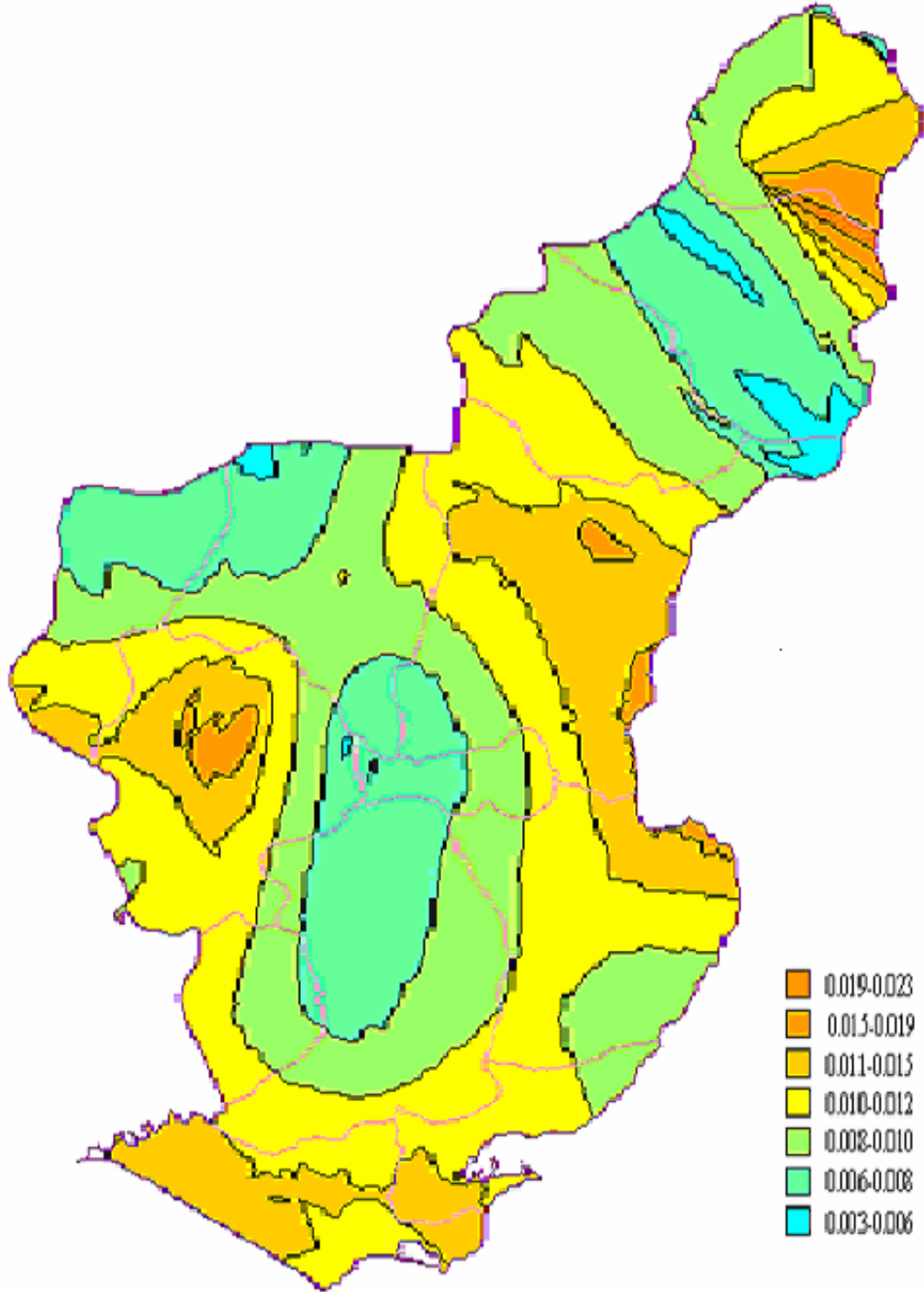
Sulardaki alfa ve beta aktivitelerini belirlemek üzere Adana il sınırları içerisinde ilçe, belde ve nüfusu kalabalık olan köylerdeki su kaynaklarından ayrıca deniz, göl ve nehir sularından 500 cm<sup>3</sup> lük su örnekleri toplanmıştır.

Su analizleri ÇNAEM Sağlık Fiziği laboratuvarında bulunan LB 770 – PC 10 kanallı radyasyon sayıcısı kullanılarak yapılmıştır.

Çizelge 4.4. Adana İli deniz, nehir, göl ve içme sularında bulunan toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite konsantrasyonları ve rezidü miktarları

	Örnek Adı	Toplam Alfa Radyoaktivite Konsantrasyonu (Bq/l)	Toplam Beta Radyoaktivite Konsantrasyonu (Bq /l)	Rezidü Miktarı (gr)
1	Hacıhasanlı (İmamoğlu)	0,0038 ± 0.0017	0,0636 ± 0.0035	0,423
2	Aladağ belediyesi	0,0141 ± 0.0021	0,112 ± 0.0039	0,222
3	Saimbeyli	0,0061 ± 0.0038	0,0983 ± 0.0079	0,134
4	Karataş	0,0113 ± 0.0026	0,2907 ± 0.0048	0,403
5	Tufanbeyli	0,0083 ± 0.0037	0,0809 ± 0.0052	0,328
6	Çulluuşağı (Kozan)	0,0157 ± 0.0025	0,039 ± 0.0047	0,163
7	Kozan	0,0131 ± 0.0023	0,1924 ± 0.0047	0,222
8	Karataş Deniz Suyu	0,8463 ± 0.0927	3,7395 ± 0.1644	2,035
9	İncirci(Feke)	0,0072 ± 0.0036	0,024 ± 0.0044	0,389
10	Yemişli (Karataş)	0,0114 ± 0.0030	0,0423 ± 0.0042	0,233
11	Feke	0,0099 ± 0.0046	0,2348 ± 0.0090	0,172
12	Suluhan(Kozan)	0,0098 ± 0.0025	0,0557 ± 0.0034	0,169
13	Kabasakal (Aladağ)	0,0003 ± 4.6992	0,042 ± 0.0039	0,166
14	Salbaş(Karaisalı)	0,0135 ± 0.0021	0,0866 ± 0.0037	0,364
15	Karaisalı	0,0016 ± 4.7639	0,0189 ± 0.0040	0,085
16	İmamoğlu	0,0083 ± 0.0023	0,0515 ± 0.0048	0,292
17	Hacılı(Karaisalı)	0,0229 ± 0.0024	0,0683 ± 0.0032	0,102
18	Güzelim(Tufanbeyli)	0,0144 ± 0.0063	0,0543 ± 0.0082	0,122
19	İmamoğlu-Aladağ sınırı Seyhan N	0,005 ± 0.0024	0,2453 ± 0.0046	0,181
20	Balcalı	0,008 ± 0.0049	0,0491 ± 0.0070	0,22
21	Mustafalar(Yüreğir)	0,0049 ± 0.0020	0,1092 ± 0.0043	0,485
22	Zeytinbeyli(Yumurtalık)	0,0114 ± 0.0023	0,1085 ± 0.0043	
23	Yeniayla(Yüreğir)	0,0085 ± 0.0036	0,0369 ± 0.0045	0,207
24	Çamlıca(Yüreğir)	0,0033 ± 0.0028	0,0323 ± 0.0041	0,262
25	Ceyhan	0,017 ± 0.004	0,164 ± 0.007	0,237
26	Tekir /Pozantı	0,0157 ± 0.0025	0,0458 ± 0.0048	0,152
27	Narlık(Ceyhan)	0,0071 ± 0.0035	0,058 ± 0.0065	0,14
28	Hamzalı (Yumurtalık)	0,013 ± 0.0024	0,1476 ± 0.0040	0,29
29	Botaş (Yumurtalık)	0,0094 ± 0.0019	0,0632 ± 0.0036	0,469
30	Adana şehir suyu	0,0146 ± 0.0050	0,2405 ± 0.0091	0,1
31	Seyhan Göl suyu	0,012 ± 0.0061	0,0426 ± 0.0080	0,158

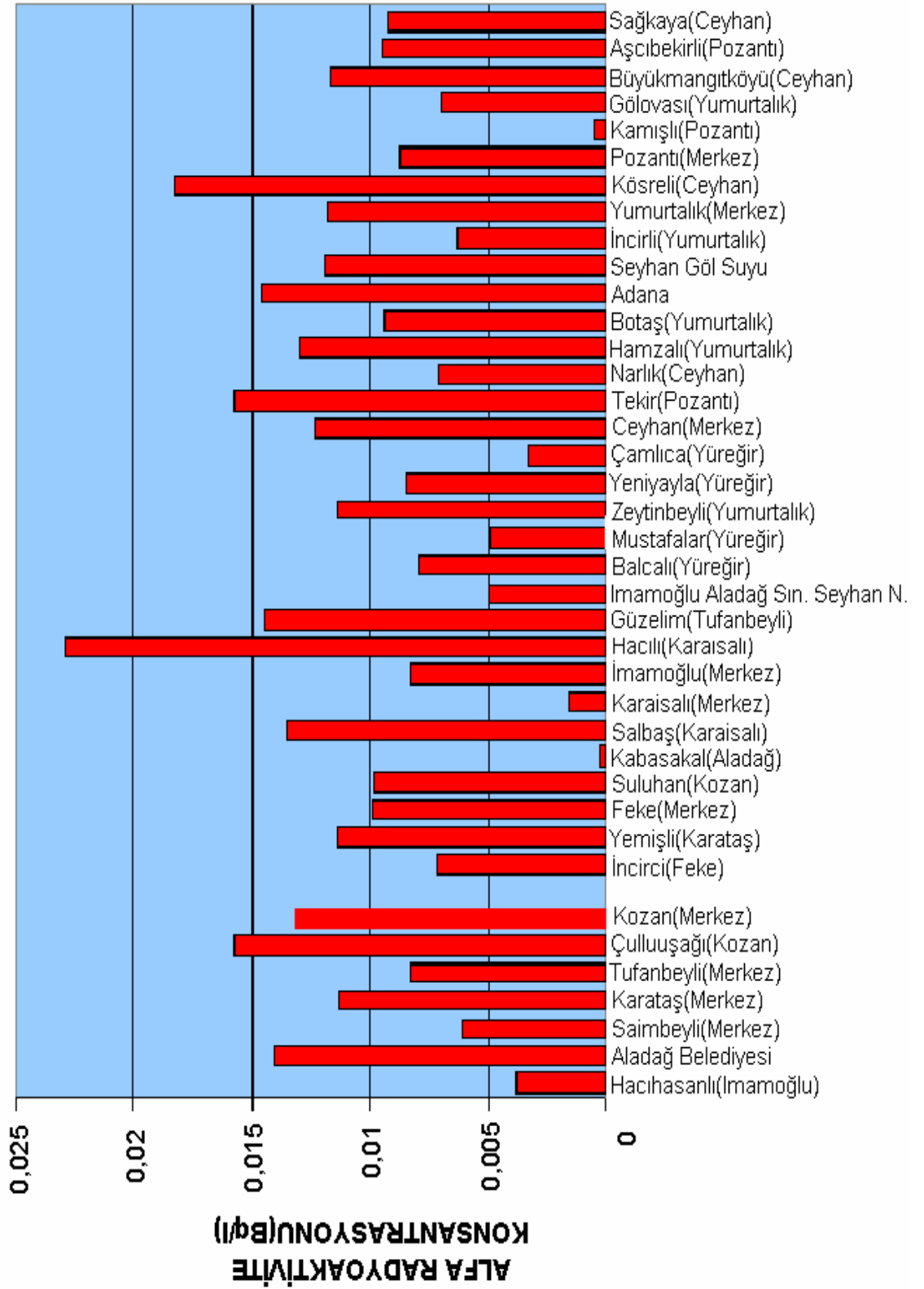
	<b>Örnek Adı</b>	<b>Toplam Alfa Radyoaktivite Konsantrasyonu (Bq/l)</b>	<b>Toplam Beta Radyoaktivite Konsantrasyonu (Bq /l)</b>	<b>Rezidü Miktarı (gr)</b>
<b>32</b>	İncirli içme suyu (Botaş yanı yumurtalık)	0,0063 ± 0.0021	0,1352 ± 0.0044	0,434
<b>33</b>	Yumurtalık merkez içme suyu	0,0118 ± 0.0060	0,1678 ± 0.0091	0,399
<b>34</b>	Kösreli içme suyu(Ceyhan)	0,0183 ± 0.0057	0,1911 ± 0.0091	0,187
<b>35</b>	Pozantı merkez içme suyu	0,0087 ± 0.0025	0,0533 ± 0.0034	0,06
<b>36</b>	Kamışlı (Pozantı) içme suyu	0,0005 ± 4.6882	0,0536 ± 0.0039	0,363
<b>37</b>	Gölovası (yumurtalık)	0,007 ± 0.0041	0,1351 ± 0.0076	0,323
<b>38</b>	Büyükmangıt Köyü (Ceyhan)	0,0117 ± 0.0018	0,2557 ± 0.0033	0,368
<b>39</b>	Aşçibekirli (Pozantı)	0,0095 ± 0.0095	0,0369 ± 0.0035	0,143
<b>40</b>	İncirli Deniz suyu(Yumurtalık)	0,703 ± 0.138	6,81 ± 0.24	1,958
<b>41</b>	Sağkaya (Ceyhan)	0,0093 ± 0.0025	0,0543 ± 0.0032	0,517



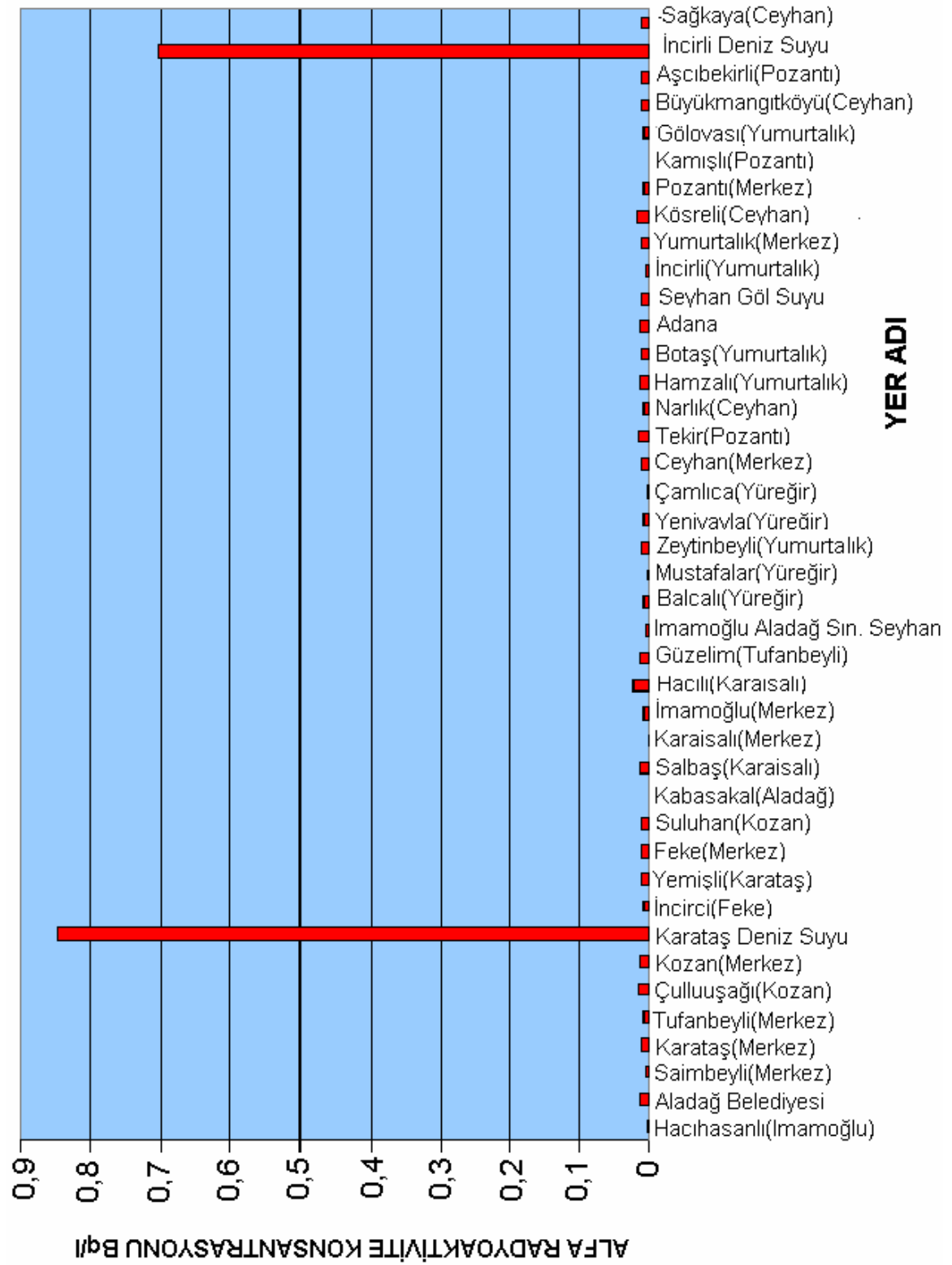
**Adana İli İçme Sularında Toplam Alfa Radyoaktivite Dağılım Haritası(Bq/l)**

Şekil 4.15. Adana İli İçme Sularında Toplam Alfa Radyoaktivite Dağılım haritası Bq/l.

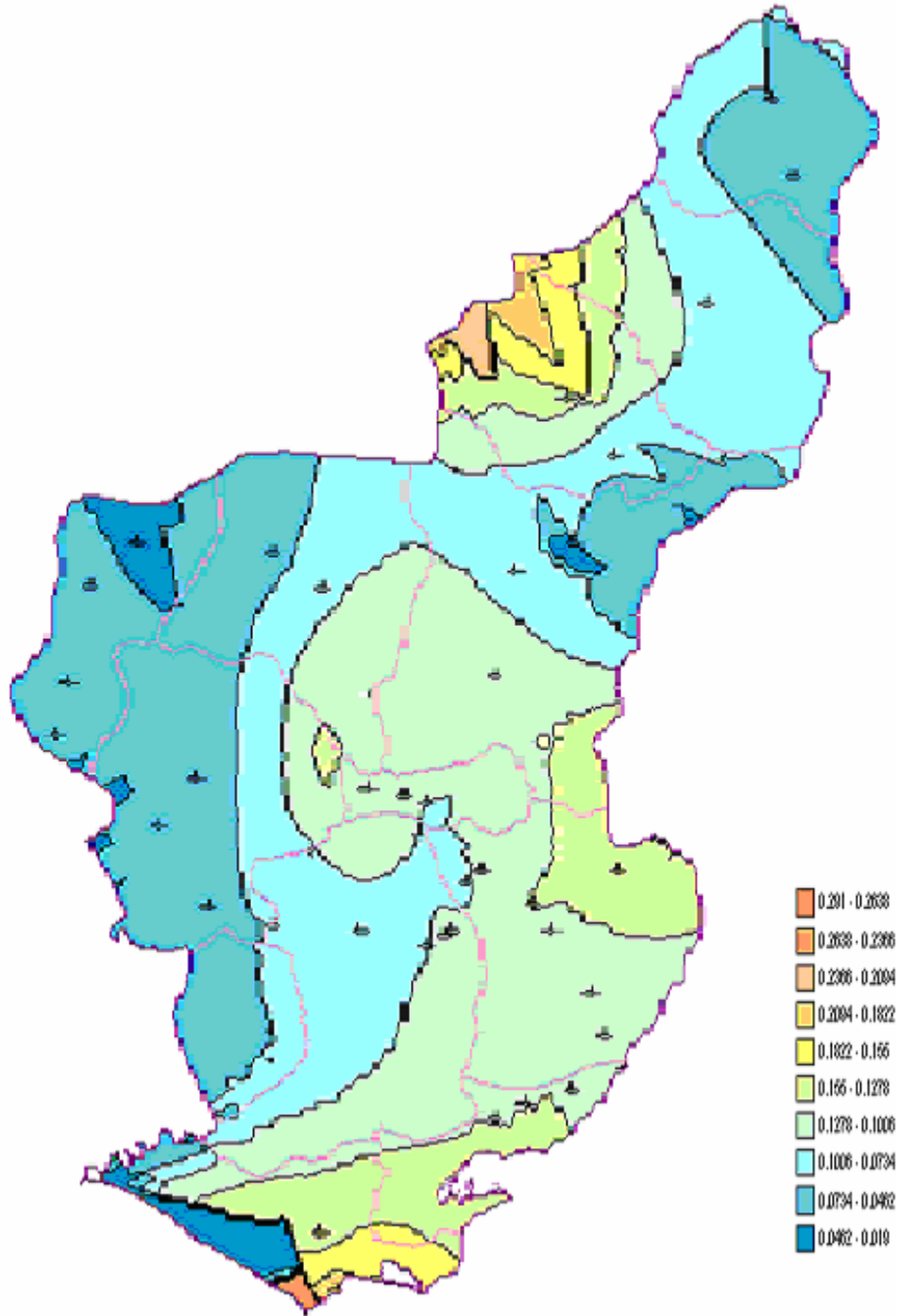




Şekil 4.16. Adana İçme Sularında Ölçüm Alınan Yerlere Göre Alfa Radyoaktivite Konsantrasyon Değerleri Bq/l.

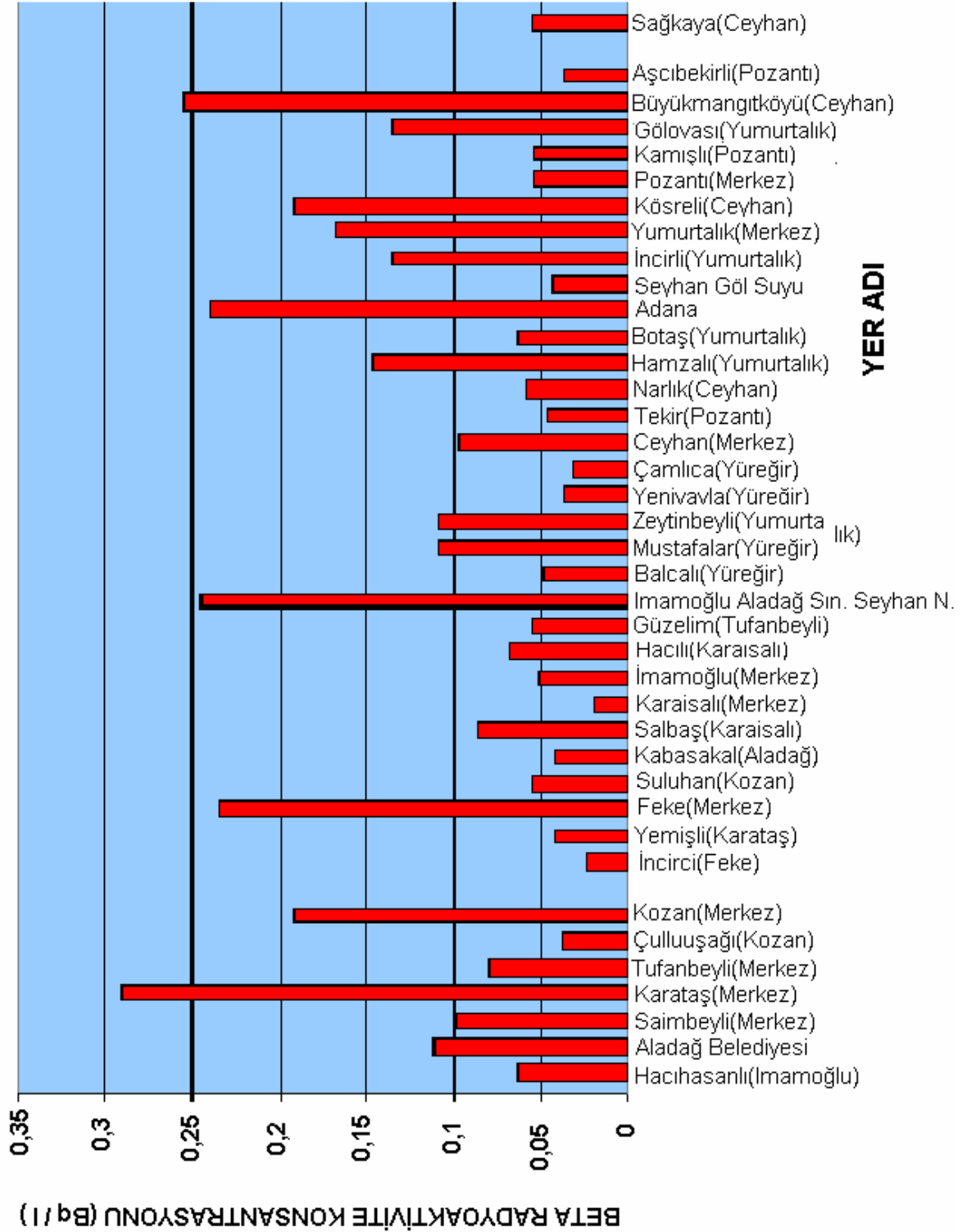


Şekil 4.17. Adana İlinin Deniz ve Göller Dahil Tüm Sularındaki Alfa Radyoaktivite Konsantrasyonu Bq/l

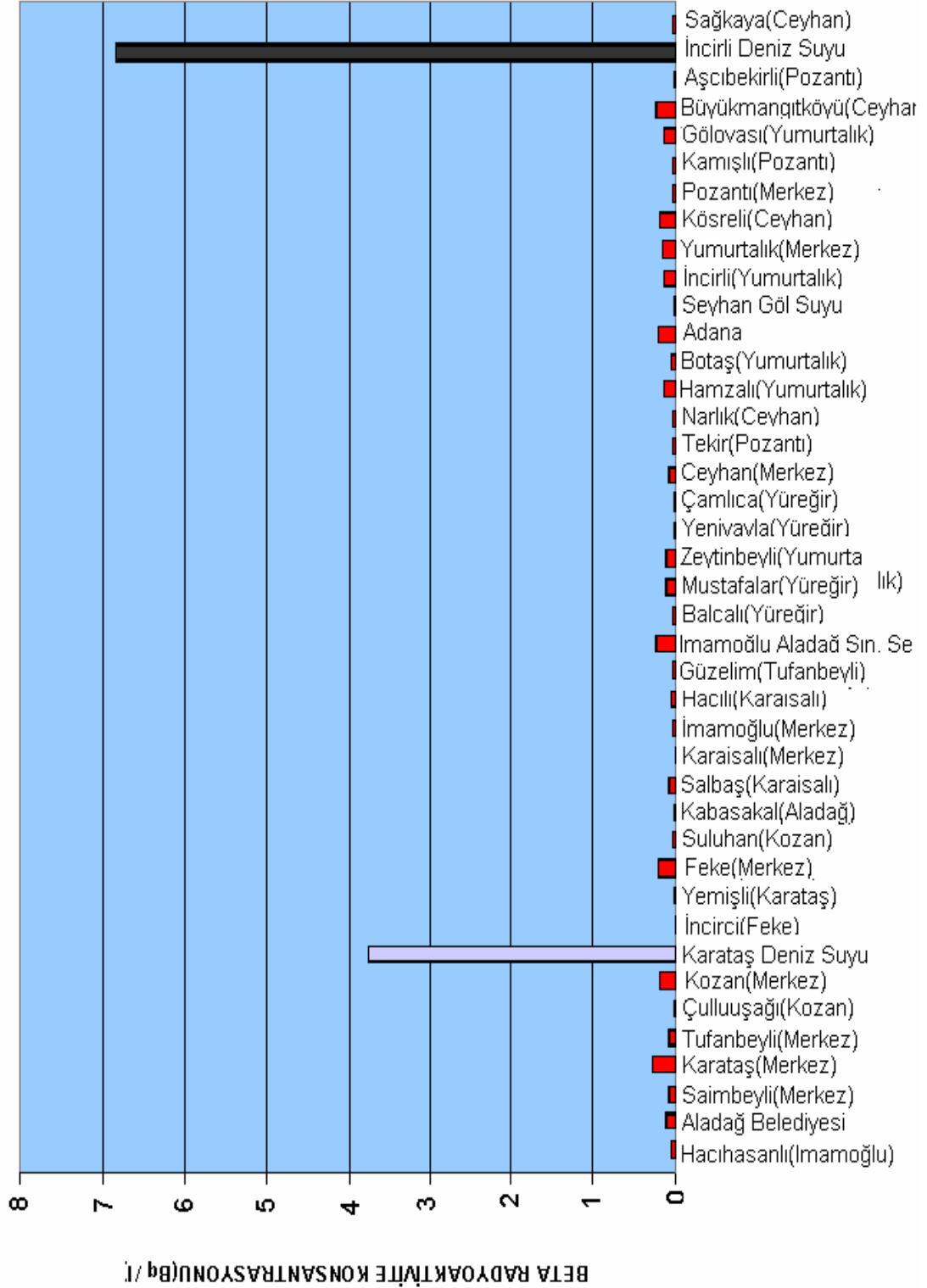


**Adana ili İçme Suları Toplam Beta Radyoaktivite Dağılım Haritası (Bq/l)**

Şekil 4.18. Adana İçme Sularında Ölçüm Alınan Yerlere Göre Beta Radyoaktivite Konsantrasyonu Bq/l.



Şekil 4.19. Adana İçme Sularında Ölçüm Alınan Yerlere Göre Beta Radyoaktivite Konsantrasyon Değerleri Bq/l.



Şekil 4.20 Adana İlinin Deniz, Göl ve Nehirler Dahil Tüm Sularındaki Beta Radyoaktivite Konsantrasyonu Bq/l.

**4.7. Adana Evlerinde Radon Konsantrasyonlarının Ölçümü**

İnsanların solunum yoluyla aldıkları radyasyon dozunun büyük bir kısmını yapı malzemelerinden ve hava ortamında bulunan radyoaktif toz ve partiküllerden çıkan  $^{222}\text{Rn}$ 'den kaynaklanmaktadır. Radon birkaç günlük yarı ömre sahip olmasına rağmen gaz olması nedeniyle geniş alanlara yayılabilme özelliğine sahiptir. Bu özellik onun etkisini arttırmaktadır.

Bu çalışmada ev içi radon konsantrasyonlarının ölçümleri pasif yöntemle CR-39 plastik dedektörlerinin yardımı ile yapılmıştır. Kullanılan dedektörler Romanya'da bulunan Radosys firmasına ait olan dedektörlerdir.

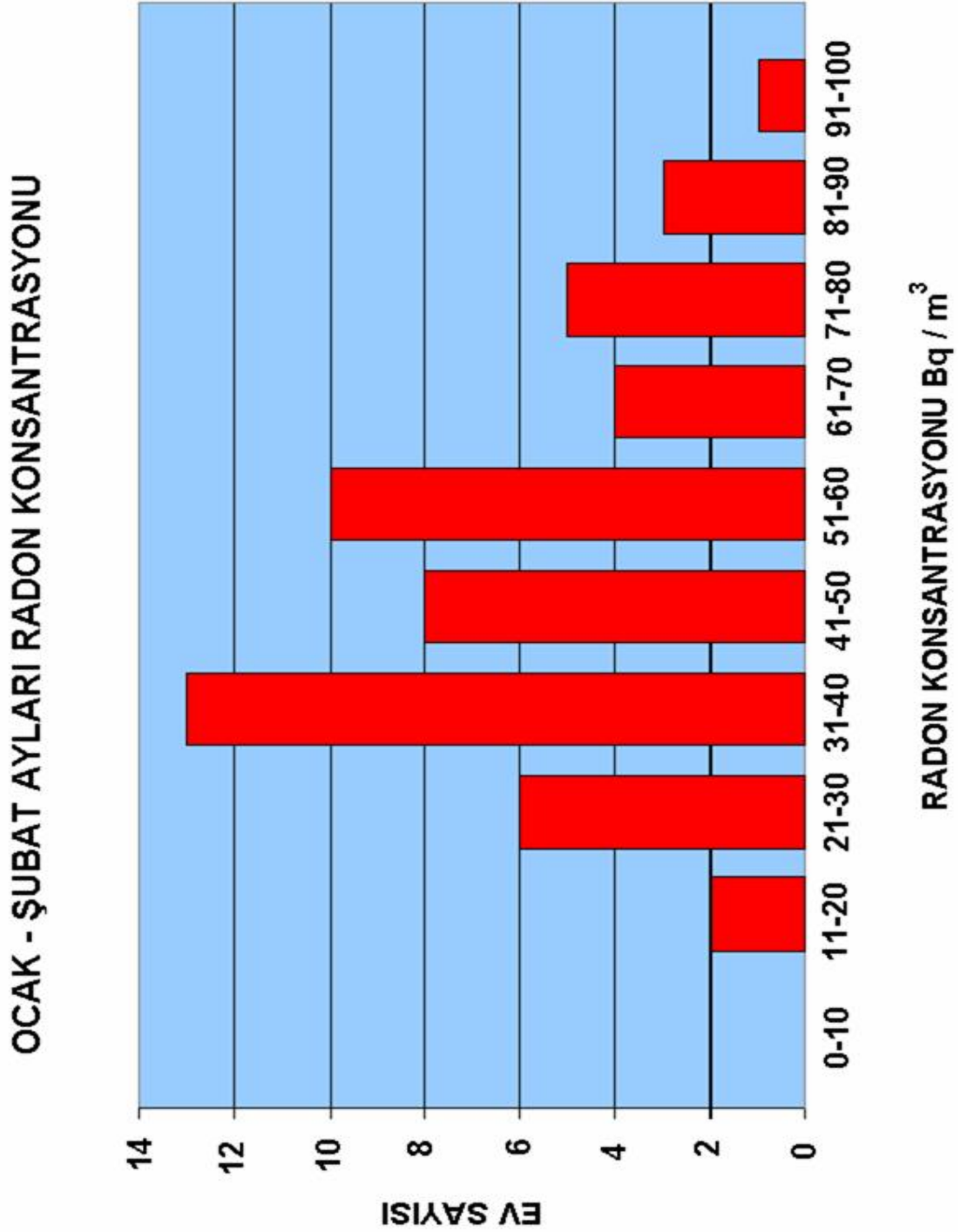
Adana ili içerisinde seçilen her biri farklı tipteki malzemelerden yapılmış 52 eve bu bölgede görülen en soğuk iki ay (Ocak – Şubat 2005) ve 57 eve en sıcak iki ay (Haziran – Temmuz 2005) için bu dedektörler dağıtılmıştır. Ayrıca yaz ve kış ayları kıyaslamasını yapmak için 43 tane ev seçilmiştir. Ev halkından bu dedektörleri oturma odalarına koymaları istenilerek daha ayrıntılı bilgiye ulaşmak için on sorudan oluşan bir anket formu doldurmaları istenmiştir. Bilgi formlarının bir örneği Ek 2'de yer almaktadır. 60 günlük gözlem süresinin sonunda oluşan alfa izlerinin görünür hale gelmesi için iz kazıma işlemi yapılmıştır.

Çizelge 4.5. Adana evlerinde ölçülen kış dönemi (Ocak – şubat 2005) radon konsantrasyonları (Bq/m<sup>3</sup>)

Dedektör No	Bina Yapısı	Kat Numarası	Radon Konsantrasyonu (Bq /m <sup>3</sup> )
D80012	Betonarme	zemin kat	86
D80129	Betonarme	8.kat	45
D80148	Betonarme	4.kat	19
D80149	Betonarme	zemin kat	37
D80151	Betonarme	3.kat	
D80152	Betonarme	4.kat	58
D80155	Betonarme	1.kat	55
D80156	Betonarme	zemin kat	25
D80158	Betonarme	10.kat	31
D80161	Betonarme	2.kat	66
D80162	Betonarme	1.kat	38
D80164	Betonarme	3.kat	26
D80166	Betonarme	2.kat	34
D80170	Betonarme	zemin kat	61
D80171	Betonarme	4.kat	52
D80182	Betonarme	1.kat	30
D80195	Betonarme	10.kat	44
D80199	Betonarme	4.kat	72
D80205	Betonarme	5.kat	26
D80207	Betonarme	2.kat	60
D80213	Betonarme	2.kat	53
D80217	Betonarme	4.kat	15
D80218	Betonarme	4.kat	47
D80223	Betonarme	2.kat	40
D80224	Betonarme	zemin kat	97
D80225	Betonarme	1.kat	30
D80227	Betonarme	zemin kat	71
D80229	Betonarme	2.kat	50
D80235	Betonarme	3.kat	40
D80237	Betonarme	2.kat	51
D80542	Betonarme	2.kat	83
D80547	Betonarme	3.kat	34
D80554	Betonarme	10.kat	68
D80595	Betonarme	8.kat	37

Dedektör No	Bina Yapısı	Kat Numarası	Radon Konsantrasyonu (Bq /m <sup>3</sup> )
D80615	Betonarme	zemin kat	60
D80648	Betonarme	4.kat	72
D80661	Betonarme	1.kat	52
D80673	Betonarme	1.kat	47
D80682	Betonarme	3.kat	37
D80693	Betonarme	2.kat	39
D80705	Betonarme	zemin kat	44
D80716	Betonarme	4.kat	60
D80730	Betonarme	1.kat	52
D80733	Betonarme	2.kat	24
D80734	Betonarme	8.kat	82
D80739	Betonarme	2.kat	38
D80749	Betonarme	zemin kat	71
D80751	Betonarme	5.kat	46
D80755	Betonarme	2.kat	37
D80756	Betonarme	2.kat	62
D80762	Betonarme	2.kat	73
D80763	Betonarme	2.kat	48
D80765	Betonarme	3.kat	39
<b>ORTALAMA</b>			<b>49, 3 Bq / m<sup>3</sup></b>



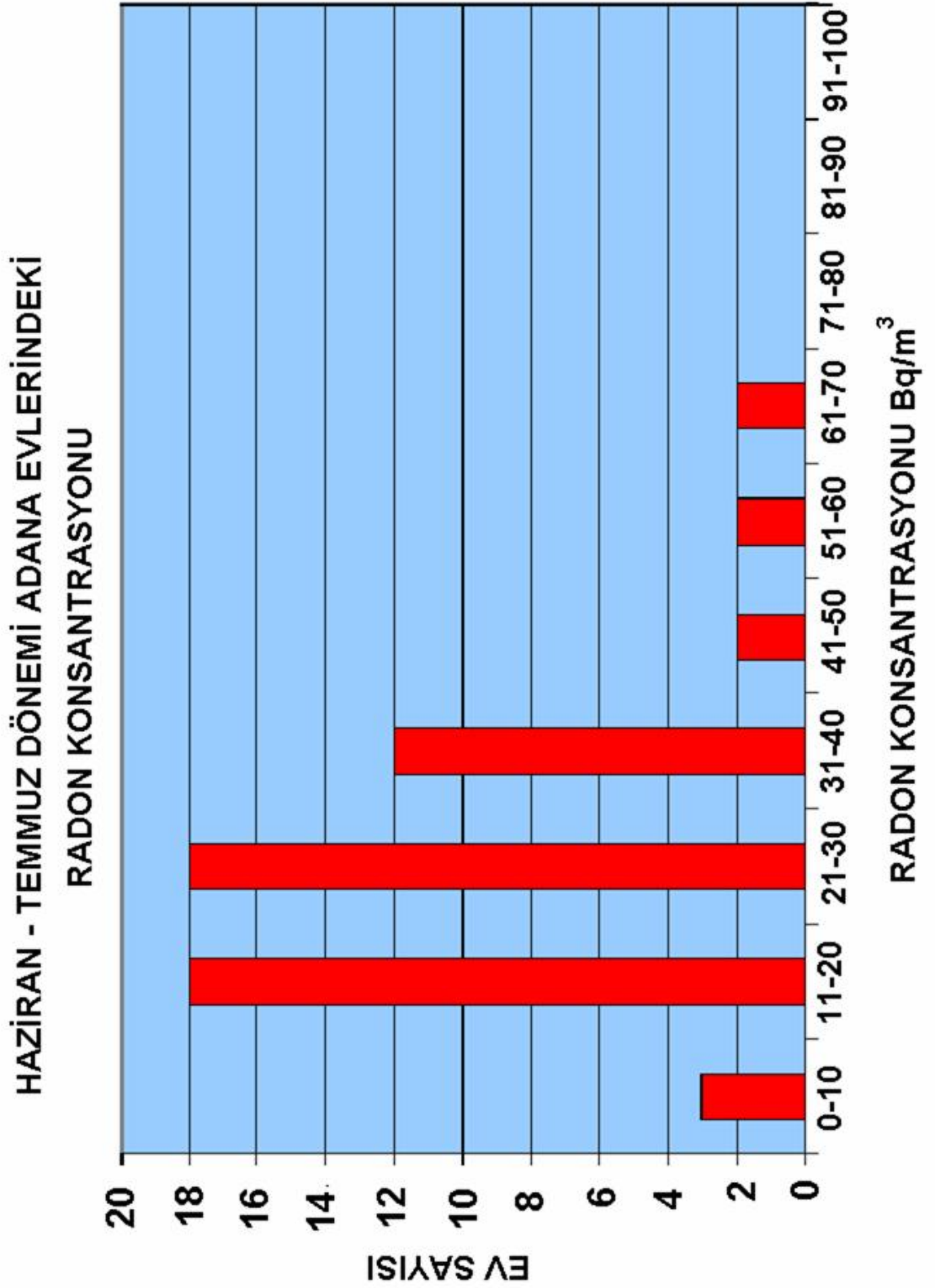


Şekil 4.21. Adana Evlerinde Kış Aylarında Gözlemlenen Radon Konsantrasyon Değerleri Bq/m<sup>3</sup>.

Çizelge 4. 6. Adana evlerinde yaz dönemi (Haziran – Temmuz) ölçülen radon konsantrasyon değerleri(Bq/m<sup>3</sup>)

Dedektör No	Bina Yapısı	Kat Numarası	Radon Konsantrasyonu(Bq /m <sup>3</sup> )
D80228	Betonarme	7.kat	37
D80773	Betonarme	10.kat	18
D80790	Betonarme	2.kat	70
D80826	Betonarme	2.kat	10
D80845	Betonarme	1.kat	20
D80858	Betonarme	10.kat	34
D80860	Betonarme	1.kat	16
D80879	Betonarme	3.kat	28
D80884	Betonarme		25
D81040	Betonarme	4.kat	14
D81042	Betonarme	2.kat	28
D81043	Betonarme	5.kat	27
D81046	Betonarme	zemin kat	20
D81049	Betonarme	2.kat	55
D81051	Betonarme		36
D81052	Betonarme		11
D81054	Betonarme	4.kat	19
D81059	Betonarme	2.kat	23
D81060	Betonarme	1.kat	23
D81061	Betonarme	4.kat	31
D81062	Betonarme	3.kat	16
D81067	Betonarme	2.kat	25
D81070	Betonarme	1.kat	20
D81071	Betonarme	2.kat	6
D81072	Betonarme	3.kat	19
D81073	Betonarme	6.kat	27
D81074	Betonarme	2.kat	49
D81076	Betonarme	zemin kat	19
D81078	Betonarme	zemin kat	34
D81082	Betonarme	2.kat	20
D81084	Betonarme	4.kat	22
D81085	Betonarme	3.kat	27
D81088	Betonarme	2.kat	27

Dedektör No	Bina Yapısı	Kat Numarası	Radon Konsantrasyonu(Bq /m <sup>3</sup> )
D81091	Betonarme	2.kat	23
D81092	Betonarme	1.kat	35
D81094	Betonarme	3.kat	16
D81095	Betonarme	2.kat	25
D81096	Betonarme	zemin kat	38
D81099	Betonarme	2.kat	42
D81100	Betonarme	5.kat	14
D81101	Betonarme	zemin kat	22
D81103	Betonarme	8.kat	20
D81105	Betonarme	3.kat	36
D81107	Betonarme	2.kat	15
D81110	Betonarme	9.kat	31
D81113	Betonarme	zemin kat	22
D81116	Betonarme	zemin kat	30
D81122	Betonarme	9.kat	52
D81123	Betonarme	2.kat	13
D81124	Betonarme	9.kat	5
D81125	Betonarme	4.kat	40
D81129	Betonarme	zemin kat	34
D81130	Betonarme	4.kat	16
D81131	Betonarme	4.kat	64
D81132	Betonarme	2.kat	25
D81133	Betonarme	zemin kat	34
D81136	Betonarme	4.kat	21
<b>ORTALAMA</b>			<b>26, 8 Bq / m<sup>3</sup></b>

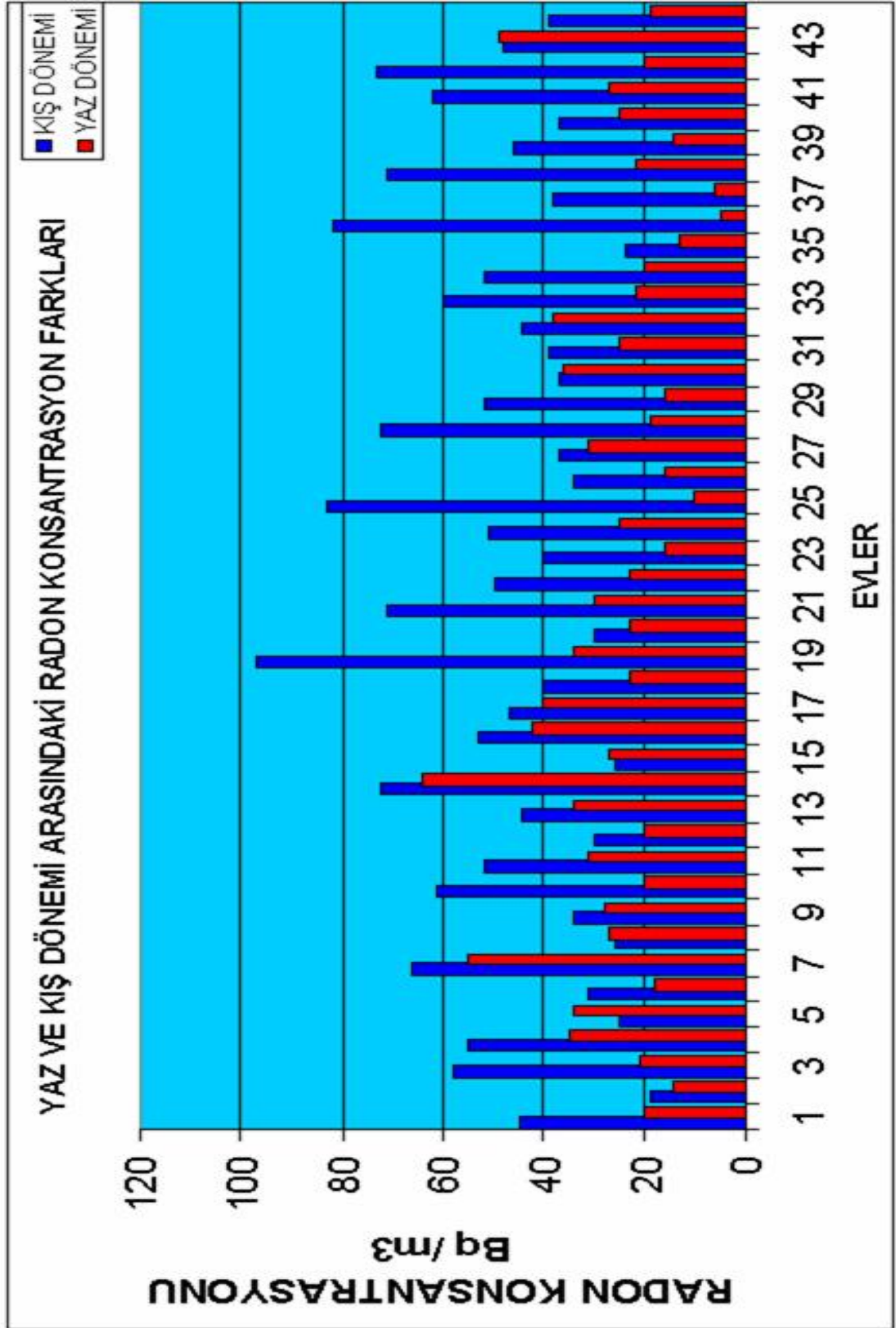


Şekil 4.22. Adana Evlerinde Yaz Aylarında Gözlemlenen Radon Konsantrasyon Değerleri Bq/m<sup>3</sup>.

Çizelge 4. 7.Adana evlerinde yaz dönemi ve kış dönemleri arasındaki karşılaştırma

	<b>OCAK - ŞUBAT 2005 RADON KONSANTRASYONU Bq / m<sup>3</sup></b>	<b>HAZİRAN – TEMMUZ 2005 RADON KONSANTRASYONU Bq / m<sup>3</sup></b>
<b>1.EV</b>	45	20
<b>2.EV</b>	19	14
<b>3.EV</b>	58	21
<b>4.EV</b>	55	35
<b>5.EV</b>	25	34
<b>6.EV</b>	31	18
<b>7.EV</b>	66	55
<b>8.EV</b>	26	27
<b>9.EV</b>	34	28
<b>10.EV</b>	61	20
<b>11.EV</b>	52	31
<b>12.EV</b>	30	20
<b>13.EV</b>	44	34
<b>14.EV</b>	72	64
<b>15.EV</b>	26	27
<b>16.EV</b>	53	42
<b>17.EV</b>	47	40
<b>18.EV</b>	40	23
<b>19.EV</b>	97	34
<b>20.EV</b>	30	23
<b>21.EV</b>	71	30
<b>22.EV</b>	50	23
<b>23.EV</b>	40	16
<b>24.EV</b>	51	25
<b>25.EV</b>	83	10
<b>26.EV</b>	34	16
<b>27.EV</b>	37	31
<b>28.EV</b>	72	19
<b>29.EV</b>	52	16
<b>30.EV</b>	37	36
<b>31.EV</b>	39	25
<b>32.EV</b>	44	38
<b>33.EV</b>	60	22
<b>34.EV</b>	52	20

	<b>OCAK - ŞUBAT 2005 RADON KONSANTRASYONU Bq / m<sup>3</sup></b>	<b>HAZİRAN – TEMMUZ 2005 RADON KONSANTRASYONU Bq / m<sup>3</sup></b>
<b>35.EV</b>	24	13
<b>36.EV</b>	82	5
<b>37.EV</b>	38	6
<b>38.EV</b>	71	22
<b>39.EV</b>	46	14
<b>40.EV</b>	37	25
<b>41.EV</b>	62	27
<b>42.EV</b>	73	20
<b>43.EV</b>	48	49
<b>44.EV</b>	39	19



Şekil 4.23. Adana Evlerinde Gözlenen Yaz ve Kış Ayları Arasındaki Radon Konsantrasyon Farkları

#### 4.8. Denge Faktörü

Radon gaz konsantrasyonu ve kısa yarı ömürlü bozunma ürünleri üzerine yapılan araştırmalar bir denge faktörü kavramını ortaya koymaktadır.  $F$  denge faktörü, denge eşdeğer radon konsantrasyonunun, havadaki radonun radyoaktivite konsantrasyonuna oranı olarak tanımlanır. Denge eşdeğer radon konsantrasyonu (equilibrium equivalent concentration, EEC), havadaki kısa yarı ömürlü radon ürünlerinin dengede olmayan bir karışımını temsil eder ve bu karışım ile aynı potansiyel alfa enerjisi konsantrasyonuna sahip, kısa yarı ömürlü ürünleri ile radyoaktif dengede olan radonun, radyoaktivite konsantrasyonu olarak tanımlanır. Potansiyel alfa enerjisi konsantrasyonu ise, havadaki radon ürünleri karışımında, havanın birim hacminde, radonun tüm bozunma ürünleri tarafından yayınlanan alfa enerjileri toplamıdır. SI birim sisteminde potansiyel alfa enerjisi konsantrasyonu  $J m^{-3}$  (Joule  $m^{-3}$ ) olarak tanımlanır.

$$1 J m^{-3} = 6.24 \times 10^{12} MeV m^{-3} = 6.24 \times 10^9 MeV L^{-1} \quad (4.4)$$

Potansiyel alfa enerjisi konsantrasyonu genellikle 1 WL (Çalışma Seviyesi) olarak ifade edilir. Çalışma seviyesi (WL), 1 litre havadaki, toplam  $1.3 \times 10^5$  MeV potansiyel alfa enerjisi veren kısa yarı ömürlü radon ürünlerinin konsantrasyonu olarak tanımlanır. Bu enerji miktarı, 3700 Bq radonla dengede bulunan, kısa yarı ömürlü radon ürünleri tarafından yayınlanan alfa enerjisine eşittir.

$$1 WL = 1.3 \times 10^5 MeV L^{-1} = 2.08 \times 10^{-5} J m^{-3} \quad (4.5)$$

değerine eşdeğerdir.

Radon ürünleri konsantrasyonuna maruz kalma, aylık çalışma seviyeleri (WLM) olarak ölçülür. Bir madencinin, 170 saatlik çalışma ayı boyunca bu konsantrasyona maruz kalması, aylık çalışma seviyesi olarak tanımlanır.

$$1 WLM, 3.54 m J s m^{-3} \quad (4.6)$$

değerine eşittir.



Denge faktörünün matematiksel ifadesi şu şekildedir:

$$F = \chi_{\text{esd, Rn}} / \chi_{\text{Rn}} \quad (4.7)$$

$$\chi_{\text{esd, Rn}} = 0.105 \chi_1 + 0.516 \chi_2 + 0.379 \chi_3 \quad (4.8)$$

Burada  $\chi_1$ ,  $\chi_2$ ,  $\chi_3$  sırasıyla polonyum – 218, kurşun -214 ve polonyum -214'ün radyoaktivite konsantrasyonlarıdır.  $F$  denge faktörü yerden 1m yukarıda 0.8 olarak verilmektedir. (UNSCEAR Report, 1993 )

Radon ve ürünlerinden alınan dozun değerlendirilebilmesi için, denge eşdeğer radon konsantrasyon değerinin bilinmesi gerekir. Bu değer,  $F$  denge faktörü eşitliğinden yararlanılarak hesaplanabilir.  $F$  değeri ev içi ışınlamalar için 0.4, dış hava için 0.8 olarak verilmektedir. (UNSCEAR Report, 1993 )

Denge eşdeğer konsantrasyonu, etkin doza çevrilme katsayısı ise; 1 Bq saat  $\text{m}^{-3}$  ( EEC ) denge eşdeğer radon konsantrasyonunun solunması ile alınan etkin doz, ev içi ve dış hava için 9 nSv olarak belirlenmiştir.

Radon ürünlerine maruz kalma sonucu akciğer kanseri riski katsayısı, uranyum madencileri üzerinde yapılan epidemiyolojik çalışmalardan türetilmiştir. ICRP – 65 raporunda, Uluslar arası Radyolojik Korunma Komisyonu, radyasyon korunması amacıyla, çalışanlar ( 18 – 65 yaş arası ) ile halk ( çocuklarda dahil olmak üzere ) için aynı risk katsayısının kullanılmasını önermektedir. Bu katsayı:

$$3 \times 10^{-4} \text{ WLM}^{-1} \text{ (SI birimlerinde } 8.0 \times 10^{-5} \text{ (mJ saat } \text{m}^{-3} \text{)}^{-1} \text{)} \quad (4.9)$$

olarak verilmiştir.

Akciğer kanseri riski halk ve çalışanlar için aynı verilmesine rağmen, 1 m J s  $\text{m}^{-3}$  değerinde radon ışınlarına maruz kalma, çalışanlar için 1.43 mSv etkin doza, bireyler için 1.10 mSv etkin doza eşdeğerdir.

Çizelge 4.8. Risk hesaplarında kullanılan ICRP – 60 tarafından önerilen çevirme katsayıları ( Köksal; Çelebi, 2003 )

<b>Faktör</b>	<b>Önerilen Değer</b>
<b>Bireysel Ölüm riski</b>	
Çalışanlar İçin	$5 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$
Halk İçin	$4 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$
Akciğer Kanseri Riski	$8 \times 10^{-5} (\text{mJ s m}^{-3})^{-1}$
<b>Doz Çevirme Katsayısı (etkin doz / ışınlama)</b>	
Çalışanlar İçin	$1.43 \text{ mSv} (\text{mJ s m}^{-3})^{-1}$
Halk İçin	$1.10 \text{ mSv} (\text{mJ s m}^{-3})^{-1}$

#### 4.9. Ev İçi Radon Gazının Solunumu İle Alınan Yıllık Etkin Doz Eşdeğerinin Hesaplanması

Radon konsantrasyonlarının yıllık etkin doz eşdeğerinin hesaplanması UNCEAR,1993’de verilen modele göre yapılmıştır.

Adana ili evlerinde yaz ve kış dönemi için yapılan radon konsantrasyon ortalaması  $38,06 \text{ Bq} / \text{m}^3$  olarak bulunmuştur.

$$\text{YEDE} = \text{Radon Konsantrasyonu}(\text{Bq}/\text{m}^3) \times \text{F Denge Faktörü} \times \text{EEC faktörü} \times \text{Ev İçi Meşguliyet Faktörü} \times 8760 (\text{saat}/\text{yıl}) \quad (4.10)$$

$$\text{Y.E.D.E} = 38,06 (\text{Bq}/\text{m}^3) \times 0,4 \times 9 \times 10^{-9} (\text{Sv}/\text{saat})(\text{Bq}/\text{m}^3) \times 0,8 \times 8760(\text{saat} / \text{yıl})$$

$$\text{Y.E.D.E} = 0,9 \text{ mSv}/\text{yıl}$$

**5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER**

Bu çalışmada, Adana ili ve çevresinin toprağında, yüzeye yakın atmosferinde, deniz, göl ve içme sularında bulunan doğal radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonları belirlenmiştir. Ayrıca yaz ve kış dönemi olmak üzere Adana ilinin en soğuk olduğu 2 ay ve en sıcak olduğu 2 aylık süreler içerisinde 60 farklı evde Rn-222 gazı incelemesi yapılmış ve sonuç olarak insanların bir yıl içerisinde bu doğal radyonüklitlerden yayınlanan radyasyonlardan ne oranlarda doz aldıkları saptanmıştır.

**5.1. Belirlenen Doğal Temel Radyasyon Seviyeleri****5.1.1. Toprakta**

Adana ili yüzey toprağı tüm il genelinde 38 ölçüm noktasından toplanmıştır.

Yüzeyden itibaren 0-30 cm derinlikte tespit edilen doğal radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonları bölüm 4’de çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelgeden de görüleceği üzere, bu doğal radyonüklitlerin başında  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  serisinden bazı ürünler,  $^{40}\text{K}$  ve fisyon ürünü olan  $^{137}\text{Cs}$  gelmektedir.

$^{238}\text{U}$ ’in bozunum ürünü olan 186 keV’de pik oluşturan  $^{226}\text{Ra}$  aktivite konsantrasyonları 0,17Bq/kg ile 104,07 Bq/kg değerleri arasında, 351 keV’de pik oluşturan  $^{214}\text{Pb}$ ’nın aktivite konsantrasyonları 0,54 Bq/kg ile 67,80 Bq/kg değerleri arasında, 609 keV’de pik oluşturan  $^{214}\text{Bi}$ ’ün aktivite konsantrasyon değerleri ise 0,97 Bq/kg ile 70,67 Bq/kg değerleri arasında değişmektedir.

$^{232}\text{Th}$  serisinden 911 keV’de pik oluşturan  $^{228}\text{Ac}$ ’in aktivite konsantrasyonları ise 0,72 Bq/kg ile 55,55 Bq/kg değerleri arasında, 583 keV’de pik oluşturan  $^{208}\text{Tl}$ ’in aktivite konsantrasyonları ise 0,55 Bq/kg ile 58,46 Bq/kg değerleri arasında değişmektedir.

1460 keV’de görülen  $^{40}\text{K}$  ise 9,59 Bq/kg ile 814,19 Bq/kg değerleri arasında değişmektedir.

661 Kev'de pik oluşturan  $^{137}\text{Cs}$ 'nin aktivite konsantrasyon değerleri ise 0,11 Bq/kg ile 28,01 Bq/kg değerleri arasında değişmektedir.

Adana ili yüzey toprağında  $^{238}\text{U}$ 'in bozunma ürünü olan  $^{226}\text{Ra}$ 'nın ortalama aktivite konsantrasyonu 22,35 Bq/kg,  $^{214}\text{Pb}$ 'ün ortalama aktivite konsantrasyonu 16,54 Bq/kg ve  $^{214}\text{Bi}$ 'ün ortalama aktivite konsantrasyonu 16,77 Bq/kg olarak bulunmuştur.  $^{226}\text{Ra}$ 'nın ortalama aktivite konsantrasyon değeri  $^{238}\text{U}$ 'in diğer bozunum ürünleri olan  $^{214}\text{Pb}$  ve  $^{214}\text{Bi}$ 'ün aktivite konsantrasyon değerlerinden daha büyük çıkmıştır.

$^{232}\text{Th}$  serisinin bozunma ürünü olan  $^{228}\text{Ac}$ 'in ortalama aktivite konsantrasyonu 20,68 Bq/kg,  $^{208}\text{Tl}$ 'in ortalama aktivite konsantrasyonu 22,69 Bq/kg olarak bulunmuştur.

$^{232}\text{Th}$ 'nin bozunum ürünü olan  $^{208}\text{Tl}$ 'in ortalama değeri diğer bozunum ürünü olan  $^{228}\text{Ac}$ 'den daha yüksek bulunmuştur.

Tabiatta tek başına bulunan  $^{40}\text{K}$ 'ın ortalama aktivite konsantrasyonu 305,53 Bq/kg olarak bulunmuştur.

Tüm Adana ili göz önüne alındığında  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$ 'nin aktivite konsantrasyonları ilin kuzey kesimlerde güneye göre daha yüksek değerlerdedir.

Ölçüm alınan Tekir (Pozantı), Ceyhan (Merkez), Karataş (Merkez), Akoluk (Feke), İncirli-Botaş (Ceyhan) ve Yumurtalık (Merkez) noktalarında  $^{238}\text{U}$  değeri  $^{232}\text{Th}$  değerinden daha yüksek bulunmuştur. Diğer ölçüm noktalarında ise  $^{232}\text{Th}$  değeri  $^{238}\text{U}$  değerinden daha yüksek bulunmuştur.

$^{40}\text{K}$  ise tüm Adana ili içerisinde Kozan ilçesinin dağlık kesimlerinden itibaren Feke ve Saimbeyli ilçelerinde en yüksek değerlerde bulunmuştur.

$^{137}\text{Cs}$  nükleer denemeler veya nükleer santrallerde meydana gelen kazalar sonucu atmosfere atılmaktadır. Havadan (fallout) gelen radyoaktivitenin önemli bir kısmının toprakta biriktiği bilinmektedir. (OECD,1979). Bilindiği gibi 1986 yılında Rusya'nın Çernobil bölgesinde meydana gelen reaktör kazası nedeni ile, bir çok ülke gibi Türkiye'de Çernobil'den yayılan radyoaktif maddelerin meydana getirdiği kirlilikten etkilenmiştir.

Çernobil kazasından 20 yıl sonra Adana İli genelinde yapılan bu çalışmada, toprak örneklerinde  $^{137}\text{Cs}$ 'nin ortalama aktivite konsantrasyonu ise 7,00 Bq/kg olarak bulunmuştur.  $^{137}\text{Cs}$ 'un ise en yüksek değeri Kökezli (Aladağ) ölçüm noktasında bulunmuştur.

Kazadan 8 yıl sonra İstanbul genelinde yapılan bir çalışmada  $^{137}\text{Cs}$  ortalama aktivite konsantrasyonu 16,5 Bq/kg olarak bulunmuştur.(Karahan,1997)

Tekirdağ İli'nde yılında yapılan diğer bir çalışmada ise  $^{137}\text{Cs}$  ortalama aktivite konsantrasyonu 5,17 Bq/kg olarak bulunmuştur.(Kam,2004)

Çizelge 5.1. Farklı ülkelerden toplanan toprak örneklerinin spektrometrik analiz sonuçları (UNSCEAR Report, 2000)

Bölge/ Ülke	Topraktaki Konsantrasyon (Bq kg <sup>-1</sup> )							
	<sup>40</sup> K		<sup>238</sup> U		<sup>226</sup> Ra		<sup>232</sup> Th	
	Arit. Ort	Aralık	Arit.Ort	Aralık	Arit.Ort	Aralık	Arit.Ort.	Aralık
<b>Afrika</b>								
Cezayir	370	66-1 150	30	2-110	50	5 -180	25	2-140
Mısır	320	29-650	37	6-120	17	5 – 64	18	2-96
<b>Kuz. Amer.</b>								
Kostarika	140	6-380	46	11-130	46	11-130	11	1-42
U.S.A	370	100-700	35	4-140	40	8-160	35	4-130
<b>Gün.Amer.</b>								
Arjantin	650	540-750						
<b>Doğu Asya</b>								
Bangladeş	350	130-610			34	21-43		
Çin	440	9-1 800	33	2-690	32	2-440	41	1-360
Hong Kong	530	80-1 100	84	25-130	59	20-110	95	16-200
Hindistan	400	38-760	29	7-81	29	7-81	64	14-160
Japonya	310	15-990	29	2-59	33	6-98	28	2-88
Kazakistan	300	100-1 200	37	12-120	35	12-120	60	10-220
Kore	670	17-1 500						
Malezya	310	170-430	66	49-86	67	38-94	82	63-110
Tayland	230	7-712	114	3-370	48	11-78	51	7-120
<b>Batı Asya</b>								
Ermenistan	360	310-420	46	20-78	51	32-77	30	29-60
İran	640	250-980			28	8-55	22	5-42
Suriye	270	87-780	23	10-64	20	13-32	20	10-32
<b>Batı Avrupa</b>								
Belçika	380	70-900			26	5.-50	27	5-50
Almanya		40-1 340		11-330		5-200		7-134
İrlanda	350	40-800	37	8-120	60	10-200	26	3-60
Lüksemburg	620	80-1 800			35	6-52	50	7-70
Hollanda		120-730		5.-53	23	6-63		8 -77
İsviçre	370	40-1 000	40	10-150	40	10-900	25	4-70
UK		0-3 200		2-330	37			1-180

Bölge/ Ülke	Topraktaki Konsantrasyon (Bq kg <sup>-1</sup> )							
	<sup>40</sup> K		<sup>238</sup> U		<sup>226</sup> Ra		<sup>232</sup> Th	
	Arit. Ort	Aralık	Arit.Ort	Aralık	Arit.Ort	Aralık	Arit.Ort.	Aralık
<b>Doğu Avrupa</b>								
Bulgaristan	400	40-800	40	8-190	45	12-210	30	7-160
Macaristan	370	79-570	29	12-66	33	14-76	28	12.-45
Polonya	410	110-970	26	5-120	26	5-120	21	4-77
Romanya	490	250-1 100	32	8.-60	32	8-60	38	11-75
Rusya	520	100-1 400	19	0-67	27	1.-76	30	2.-79
Slovakya	520	200-1 380	32	15-130	32	12-120	38	12 – 80
<b>Güney Avrupa</b>								
Arnavutluk	360	15-1 150	23	6-96			24	4-160
Hırvatistan	490	140-710	110	83-180	54	21-77	45	12.-65
Kıbrıs	140	0-670			17	0-120		
Yunanistan	360	12-1 570	25	1-240	25	1-240	21	1-190
Portekiz	840	220-1 230	49	26-82	44	8-65	51	22-100
Slovenya	370	15-1 410			41	2-210	35	2-90
İspanya	470	25-1 650			32	6-250	33	2-210
<b>Kuz.Avrupa</b>								
Danimarka	460	240-610			17	9-29	19	8-30
Estonya	510	140-1 120			35	6-310	27	5-59
Litvanya	600	350-850	16	3-30			25	9-46
Norveç	850		50		50		45	
İsveç	780	560-1 150			42	12-170	42	14-94
<b>ORTALAMA</b>	<b>400</b>	<b>140-850</b>	<b>35</b>	<b>16-110</b>	<b>35</b>	<b>17-60</b>	<b>30</b>	<b>11-64</b>
<b>ADANA</b>	<b>305,53</b>	<b>9,59-814,19</b>	<b>22,35</b>	<b>0,17-104,07</b>	<b>22,35</b>	<b>0,17-104,07</b>	<b>22,69</b>	<b>0,55-58,46</b>

Çizelge 5.2 İstanbul ve Tekirdağ illerine ait topraktaki aktivite konsantrasyonu (Karahana, 1987, Kam 2004)

Şehir Adı	Topraktaki aktivite Konsantrasyonu (Bq/kg)			
	<sup>40</sup> K	<sup>238</sup> U	<sup>226</sup> Ra	<sup>232</sup> Th
Tekirdağ	579	25	36	39
İstanbul	342	21		37

Çizelge 5.1. ve çizelge 5.2'den de görüleceği üzere, Adana ili için yapılan ölçümlerde  $^{238}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  için bulunan değerler dünya ortalamasının ve Türkiye'nin diğer iki ili için bulunan değerlerin altındadır.

### 5.1.2. Sularda

Suyun radyolojik yönden incelenmesi ve doğal radyasyon seviyelerinin belirlenmesi insan sağlığını doğrudan ilgilendirdiği için önemlidir.

Dünya Sağlık Örgütü (WHO), ABD Çevre Korunma Ajansı (EPA) tarafından tavsiye edilen ve T.C. Sağlık Bakanlığı tarafından izin verilen içme suları için maksimum radyoaktivite sınırları, toplam alfa için 0,1 Bq/l ve toplam beta için 1 Bq/l olarak kabul edilmiştir. 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. Çizelge 5.3'de içme suları için saptanan aktivite limitleri verilmiştir. Bu değerler; T.C. Sağlık Bakanlığı tarafından 2001 yılında, "İçilebilir Nitelikteki Suların İstihali Ambalajlanması, Satışı ve Denetlenmesi Hakkında Yönetmelik" ile yayınlanmıştır.

Çizelge 5.3. İçme suları için saptanan aktivite limitleri(Resmi Gazete, 1984)

Radyoaktivite	Dünya Sağlık Örgütü (WHO)			EPA	TSE	İSKİ
	TEÜL 1984	TEÜL 1971	MEÜL 1971			
				MEÜL 1976	MEÜL 1984	MEÜL 1984
<b>Toplam Alfa</b>	0,1 Bq/l	0,11Bq/l	0,37Bq/l	0,55 Bq/l	0,1Bq/l	0,1Bq/l
<b>Toplam Beta</b>	1,0Bq/l	1,10Bq/l	3,70Bq/l	-----	1,0Bq/l	1,0Bq/l

EPA: A.B.D. Çevre Korunma Ajansı, TSE: Türk Standartlar Enstitüsü

TEÜL:Tavsiye Edilen Üst Limit MEÜL: Müsaade Edilen Üst Limit

Adana İlinde ölçümü yapılan deniz, göl ve nehir suları dahil tüm sularda toplam alfa radyoaktivite konsantrasyonu 0,0003 Bq/l ile 0,8463 Bq/l değerleri arasında toplam beta radyoaktivite konsantrasyonu 0,0189 Bq/l ile 6,81 Bq/l



değerleri arasında değişmektedir. Toplam alfa ve beta radyoaktivite konsantrasyonu için en yüksek değerler Karataş ve İncirli(Yumurtalık) bölgelerinden alınan deniz suyu örneklerinde bulunmuştur. Karataş deniz suyu örneğinde toplam alfa konsantrasyonu 0,8463 Bq/l, beta konsantrasyonu 3,7395 Bq/l olarak bulunmuştur.

İncirli (Yumurtalık) deniz suyu örneğinde ise toplam alfa 0,703 B/l ve toplam beta konsantrasyonu 6,81 Bq/l olarak bulunmuştur.

Yapılan bir çalışmada Marmara Denizi'nin ortalama toplam alfa aktivite konsantrasyonu ortalaması 1,42 Bq/l, ortalama toplam beta aktivite konsantrasyonu 5,47 Bq/l olarak bulunmuştur. Yine aynı çalışmada Karadeniz suyunun ortalama alfa aktivite konsantrasyonu 0,375 Bq/l, ortalama beta aktivite konsantrasyonu 5,63 Bq/l olarak bulunmuştur. (Karahana,1997)

Adana İli deniz suyu örneklerinde alfa ve beta radyoaktivitesinin yüksek çıkmasının nedeni Akdeniz'deki tuzluluk oranının yüksek olmasıdır. Deniz suyunda ergimiş halde bulunan potasyumdaki radyoaktif <sup>40</sup>K izotopu deniz sularındaki radyoaktiviteyi arttırmaktadır.

İçme suyu olarak kullanılan sularda ise toplam alfa aktivite konsantrasyonu 0,003Bq/l ile 0,0229 Bq/l değerleri arasında toplam beta aktivite konsantrasyonu 0,0189 Bq/l ile 0,2907 Bq/l değerleri arasında değişmektedir.

Ölçüm alınan noktalardaki içme sularının hiç birisinde alfa radyoaktivite konsantrasyonu için belirlenen üst limit olan 0,1 Bq/l ve beta radyoaktivite konsantrasyonu için belirlenen üst limit olan 1 Bq/l değeri aşılmamıştır.

### **5.1.3. Havada**

Çevresel gama radyasyonlarının büyük bir kısmı toprak ve kayalarda bulunan <sup>40</sup>K, <sup>238</sup>U ve <sup>232</sup>Th gibi doğal radyonüklitlerden, az bir kısmı ise uzay kaynaklı kozmik ışıklardan ileri gelmektedir. Adana ilini kapsayan ölçüm noktalarında alınan havada ölçülen soğurulmuş doz hızları 22,9 nGy/saat ile 145nGy/saat aralığında ve ortalama değeri ise 65,6 nGy/saat olarak tespit edilmiştir. Çizelge 4.1'de belirlenen noktalarda havada ölçülen soğurulmuş gama doz hızları nGy/saat cinsinden verilmiştir. Ayrıca şekil 4.22'de Adana ili doğal gama radyasyon izo-doz haritası

verilmiştir. Alınan bu ölçümlere kozmik ışınların katkısı Seyhan Baraj Gölü'nde yapılan ölçümlere göre 9,46 nGy/saat dir.

İstanbul ili için yapılan incelemede havada ölçülen soğurulmuş gama doz hızları ortalaması 64,7 nGy/saat olarak, Tekirdağ ili için yapılan incelemede ise havada ölçülen soğurulmuş gama doz hızları ortalaması 43,27 nGy/saat olarak bulunmuştur. (Karhan,1997; Kam,2004)

Dünyanın çeşitli bölgelerinde yapılan ölçümlere göre ortalama ev dışı havada soğurulmuş gama radyasyon değerleri 57 nGy/saat olarak bulunmuştur (UNSCEAR Report 2000). Çizelge 5.4'de Bölge ve ülkelere göre ev dışı havada soğurulmuş gama radyasyon değerleri verilmiştir.

Adana ili için yapılan ölçümler, dünya ortalamasının ve Türkiye'de İstanbul ve Tekirdağ illeri için bulunan değerlerin üzerindedir.

Çizelge 5.4. Bölge ve Ülkelere Göre Ev Dışı Havada Soğurulmuş Gama Radyasyon Değerleri (UNSCEAR Report,2000)

Bölge	Ülke	Ev dışı havada soğurulmuş gama radyasyonu (nGy/h)	Aralık
Afrika	Cezayir	70	20-133
	Mısır	32	8-93
	Namibya		
	Sudan	53	26-690
Kuzey Amerika	Kanada	63	43-101
	Küba	42	26-53
	Meksika	78	42-140
	Birleşik Devletler	47	14-118
Güney Amerika	Şili	51	21-83
	Paraguay	46	38-53
	Brunei	33	3-70
	Çin	62	2-340
	Tayvan	57	17-87
	Hong Kong	87	51-120
	Hindistan	56	20-1 100

Bölge	Ülke	Ev dışı havada soğurulmuş gama radyasyonu (nGy/h)	Aralık
Doğu Asya	Endonezya	55	47-63
	Japonya	53	21-77
	Kazakistan	63	10-250
	Kore	79	18-200
	Malezya	92	55-130
	Filipinler	56	31-120
	Tayland	77	2-100
Batı Asya	İran	71	36-130
	Suriye	59	52-67
Kuzey Avrupa	Danimarka	52	35-70
	Estonya	59	14-230
	Finlandiya	71	45-139
	İzlanda	28	11-83
	Litvanya	58	36-85
	Norveç	73	20-1 200
	İsveç	56	40-500
Batı Avrupa	Avusturya	43	20-150
	Belçika	43	13-80
	Fransa	68	10-250
	Almanya	50	4-350
	İrlanda	42	1-180
	Lüksembourg	49	14-73
	Hollanda	32	10-60
	İsviçre	45	15-120
	İngiltere	34	8-89
Doğu Avrupa	Bulgaristan	70	48-96
	Macaristan	61	15-130
	Polonya	45	18-97
	Romanya	59	21-122
	Rusya	65	12-102
	Slovakya	67	24-154
	Arnavutluk	71	20-350
	Kıbrıs	18	9-52
	Yunanistan	56	30-109
	İtalya	74	3-228

Bölge	Ülke	Ev dışı havada soğurulmuş gama radyasyonu (nGy/h)	Aralık
Güney Avrupa	Portekiz	84	4-230
	Slovenya	56	4-147
	İspanya	76	40-120
Okyanusya	Avustralya	93	
	Yeni Zellanda		
<b>ORTALAMA</b>		<b>57</b>	<b>18-93</b>
<b>ADANA</b>		<b>65,6</b>	<b>22,9 - 145</b>

#### 5.1.4.Radon

İnsanların doğal radyasyon kaynaklarından aldıkları eşdeğer doza en büyük katkısı  $^{222}\text{Rn}$  yapmaktadır.  $^{222}\text{Rn}$ 'nin asıl kaynağı uranyum olduğu için radon konsantrasyonu yer kabuğu üzerinde bölgeden bölgeye göre değişmektedir.

Adana İli şehir merkezindeki evlerde yapılan kış dönemi ölçümlerinde (Ocak- Şubat 2005), radon konsantrasyonu  $15 \text{ Bq/m}^3$  ile  $97 \text{ Bq/m}^3$  değerleri arasında ölçülmüştür ve ortalama radon konsantrasyonu ise  $49,3 \text{ Bq/m}^3$  olarak bulunmuştur.

Yaz dönemi (Haziran – Temmuz 2005) ölçümlerinde ise radon konsantrasyonu  $5 \text{ Bq/m}^3$  ile  $64 \text{ Bq/m}^3$  değerleri arasındadır ve ortalama radon konsantrasyonu ise  $26,8 \text{ Bq/m}^3$  olarak bulunmuştur.

Yaz dönemi ve kış dönemi ortalaması  $38,06 \text{ Bq/m}^3$ 'dür.

Her iki dönemde de ölçüm alınan evlerden 43 tanesi aynıdır ve buna göre her iki dönem karşılaştırıldığında kış dönemindeki radon konsantrasyon değerleri yaz dönemindeki radon konsantrasyon değerlerinden daha yüksek bulunmuştur.

Adana ilinde ortalama gözlenen en düşük sıcaklık, 2005 yılı Ocak ayı için  $5,5 \text{ }^\circ\text{C}$  ve 2005 Şubat ayı için  $5,9 \text{ }^\circ\text{C}$ ; 2005 Haziran ayı için  $20,1 \text{ }^\circ\text{C}$  ve 2005 Temmuz ayı için  $23,6 \text{ }^\circ\text{C}$  ve en yüksek sıcaklıklar Ocak ayı için  $15,0 \text{ }^\circ\text{C}$ , Şubat ayı için  $16,1 \text{ }^\circ\text{C}$ ; Haziran ayı için  $31,7 \text{ }^\circ\text{C}$ , Temmuz ayı için ise  $33,8 \text{ }^\circ\text{C}$ 'dir. Adana ili genel olarak

sıcak bir ilkeme sahiptir ve özellikle sıcaklıkların çok fazla olduğu yaz aylarında kapı ve pencereler sürekli olarak açık tutulmaktadır. Bunun sonucu olarak da ev içerisinde sürekli olarak havalandırma oluşmaktadır. Radon konsantrasyon değerlerinin yaz aylarında düşük çıkmasının nedeni süreklilik oluşturan bu havalandırmadan ileri gelmektedir.

Uluslararası Radyolojik Korunma Komisyonu (ICRP)'nin 1977 ve 1990 yıllarında yayımladığı tavsiye raporlarında, radyasyonun stokastik etkileri (kanser oluşumu ve genetik etkiler) için bir eşik dozun bulunmadığı belirtilmiş, doz ve etki arasında lineer bir bağıntı olduğu kabul edilerek, müsaade edilen doz sınırları çok düşük düzeylere indirilmiş ve gereksiz olarak hiçbir radyasyon dozuna maruz kalınmaması önerilmiştir. İnsanların özellikle büyük toplum kurumlarının, küçük olsa dahi sürekli olarak radyasyona maruz kalmasının toplum sağlığını olumsuz yönde etkileyeceği görüşü, Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi tarafından yayınlanan UNSCEAR raporları ile de desteklenmiştir. Yapılan epidemiyolojik ve istatistik çalışmalardan, toplumda görülen kanser vakalarının belirli bir oranının iyonlaştırıcı radyasyonlardan meydana gelebileceği ileri sürülmüştür. Özellikle akciğer kanser vakalarının % 20 kadarı havadaki radyoaktif <sup>222</sup>Rn gazı ve bunun bozunma ürünlerinin solunumu sonucu akciğer bronşlarının aldığı doza bağlanmaktadır.

Uluslararası Radyasyon Korunması Komitesi, radona maruz kalma konusunu inceleyerek “Evlerde ve işyerlerinde Radon-222'ye karşı korunma” konusunda bir rapor hazırlamıştır. Bu raporda radona maruz kalma sınırlandırılarak, limit değerler tavsiye edilmiş ve yıllık doz için bir eylem seviyesi tespit etmiştir. Eylem seviyesinin, 3-10 mSv arasında sınırlandırılması tavsiye edilmiştir. Bu doz değerlerine karşılık gelen radon konsantrasyonu evler için 200-600 Bqm<sup>-3</sup> (evde geçirilecek süre yılda 7000 saat ve denge faktörü 0.4 alınarak), iş yerlerinde ise 500-1500 Bqm<sup>-3</sup> arasında bir değer tespit edilmesi önerilmiştir. Çizelge 5.5'de evlerde ve işyerlerinde radon ve ürünleri için önerilen eylem seviyeleri verilmiştir.

Çizelge 5.5. Evlerde ve İşyerlerinde Radon Ve Ürünleri İçin Önerilen Eylem Seviyeleri (Köksal; Çelebi, 2003 )

Eylem Seviyesi(Etkin Doz)	3 mSv yıl <sup>-1</sup>	10 mSv yıl <sup>-1</sup>
Evler İçin Eylem Seviyesi	200 Bqm <sup>-3</sup>	600 Bqm <sup>-3</sup>
İş Yerleri İçin Eylem Seviyesi	500 Bqm <sup>-3</sup>	1500 Bqm <sup>-3</sup>

Çizelge 5.6 Ülkelere göre radon için tavsiye edilen üst limitler (Bq/m<sup>3</sup>)

A.B.D	150	Hindistan	150	Norveç	200
Almanya	250	İngiltere	200	Rusya	200
Avustralya	200	İrlanda	200	Türkiye	400
Çin	200	İsveç	200	AB*	400
Danimarka	400	Kanada	800	ICRP**	400
Fransa	400	Lüksemburg	250	WHO***	100

Türkiye'nin 27 ilinde bulunan toplam 1414 evde yapılan radon ölçümlerinde ortalama radon konsantrasyonu  $35 \pm 12$  Bq/m<sup>3</sup> olarak bulunmuştur. (Çelebi,Köksal;2003)

Çizelge 5.6'da ülkelere göre radon için tavsiye edilen üst limitler verilmiştir.

Adana ili evlerinde kış dönemi ve yaz dönemi radon konsantrasyon ölçümlerinde hiçbir evde Dünya sağlık örgütünün tanımladığı 100 Bq/m<sup>3</sup>'lük üst limit değeri aşılmamıştır. Yaz ve kış dönemi ortalama ev içi radon konsantrasyon değeri, Türkiye ortalamasının biraz üzerinde, 46 Bq/m<sup>3</sup> olan dünya ortalamasının ise altındadır.

Çizelge 5.7. Evlerdeki ev içi radon konsantrasyon değerleri (UNSCEAR,2000)

BÖLGE	ÜLKE	Radon Konsantrasyonu (Bq/m <sup>3</sup> )	Maksimum Değer
Afrika	Cezayir	30	140
	Mısır	9	24
	Gana		340
Kuzey Amerika	Kanada	34	1720
	Amerika Birleşik Devletleri	46	
Güney Amerika	Arjantin	37	211
	Şili	25	86
	Paraguay	28	51
Doğu Asya	Çin	24	380
	Hong Kong	41	140
	Hindistan	57	210
	Endonezya	12	120
	Japonya	16	310
	Kazakistan	10	6000
	Malezya	14	20
	Pakistan	30	83
	Tayland	23	480
Batı Asya	Ermenistan	104	216
	İran	82	3070
	Kuveyt	14	120
	Suriye	44	520
Kuzey Avrupa	Danimarka	53	600
	Estonya	120	1390
	Finlandiya	120	20000
	Litvanya	55	1860
	Norveç	73	50000
	İsveç	108	85000
Batı Avrupa	Avusturya		190
	Belçika	48	12000
	Fransa	62	4690
	Almanya	50	>10000

BÖLGE	ÜLKE	Radon Konsantrasyonu (Bq/m <sup>3</sup> )	Maksimum Değer
	İrlanda		1700
	Hollanda	23	380
	İsviçre	70	10000
	İngiltere	20	10000
Kuzeydoğu Avrupa	Bulgaristan		250
	Çek Cumhuriyeti	140	20000
	Macaristan	107	1990
	Polonya	41	432
	Romanya	45	1025
	Slovakya	87	3750
	Güney Avrupa	Arnavutluk	120
Hırvatistan		35	92
Kıbrıs		7	78
Yunanistan		73	490
İtalya		75	1040
Portekiz		62	2700
Slovenya		87	1330
İspanya		86	15400
Okyanusya	Avustralya	11	420
	Yeni Zellanda	20	90
<b>ORTALAMA</b>		<b>46</b>	<b>480</b>



## KAYNAKLAR

- 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.
- ALKAN H., GÖKSEL S., 1984. Türkiye Kaplıca ve Maden Sularında Doğal Radyoaktivite Tayinleri. TÜBİTAK Ulusal Çevre Sempozyumu Tebliği, Adana.
- AKKURT I., SEVİN Z., MAVİ B., KAPLAN A., 2004. Isparta Bölgesinde Doğal Gamma Radyasyonu Ölçümü. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 8-2, Özel Sayı p 108-110.
- AKKURT I., SEVİN Z., MAVİ B., KAPLAN A., 2004. Isparta Bölgesinde Doğal Gamma Radyasyonu Ölçümü. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 8-2, Özel Sayı p 108-110.
- ARAF A. W., EL SAMMAN H., ASHRY A. ve ABD ALLA A., 2002. Airborne <sup>222</sup>Rn Concentration In An Egyptian Village, Health Physics, 83(1), 105-109.
- ALPHER P. A., HERMAN R. C., 1953. Origin and Abundance Distribution of Elements, Am. Rev. Nuclear Sci., 2:1.
- BANZI F. P., MSAKI P. ve MAKUNDI I. N., 2002. A Survey of Background Radiation Dose Rates and Radioactivity in Tanzania, 82(1), 80-86.
- BECK H. L., 1982. The Natural Radiation Environment II. USERDA Conf.-720805-P2, The Physics of Environmental Gamma Radiation Fields, p. 101-104.
- BENSON F. B., HENDERSON J. J., CALDWELL D. E., 1970. A Literature Review, EPA Report AP-112, Indoor – Outdoor Air Pollution Relationship.
- BECK H.L., 1972. In The Natural Radiation Environment II, The Physics of Environmental Radiation Fields, p.101.
- CANBERRA MANUAL, Applications and Technical Reference
- COTHERN C. R., LAPPENBUSCH W. L., 1983. Compliance Data for The Occurrence of Radium and Gross Alpha Particle Activity in Drinking Water Supplies in The U.S. Environmental Protection Agency, Washington DC, 20460.

- CHUNG-WOO H., SI-YOUNG C., BYUNG-HUN L., 1992. Dose Assesment To Inhalation Exposure Of Indoor <sup>222</sup>Rn Doughters In Korea, Health Physics, Vol. 63.
- ÇELEBİ N.,1995. Çevresel Örneklerde Uranyum, Radyum ve Radon Ölçüm Tekniklerinin Geliştirilmesi, Doktora Tezi, İstanbul, 95s.
- ÇELEBİ N., KÖKSAL E. M., ATAKSOR B., TAŞDELEN M., ULUĞ A., KOPUZ G., 2005. Radon ve Türkiye Evlerinde Radon Ölçüm Çalışmaları,
- EISENBUD M., 1963. Enviromental Radioactivity in US, p. 135.
- GHIASSI M., MORTAZAVI S. M., CAMERON J. R., NİROOMAND A.ve KARAM P. A., 2002. Very High Background Areas of Ramsar, Iran: Preliminary Biological Studies, Health Physics, 82(1), 87-93.
- HAFEZ A. F., BISHARA A. A., KOTB M. A. ve HUSSEIN A. S., 2003. Regular Radon Activity Concentration and Effective Dose Measurements Inside The Great Pyramid With Passive Nuclear Track Dedectors, Health Physics, 85(2):210-215.
- IBRAHİM 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.
- IYOGI T., UEDA S., HISAMATSU S., KONDO K., HARUTA H., KATAGİRİ H., KURABAYASHİ M., NAKAMURA Y. VE TSUJİ N., 2002. Enviromental Gamma- Ray Dose Rate In Aomori Prefecture, Japan, Health Physics, 82(4), 521-526.
- ICRP Publication 61, 1991. The International Commission On Radiological Protection , Pergamon Pres, Oxford.
- ICRP Publication 30,1981. The International Commission on Radiological Protection Annual Limits on Intakes of Radionuclides by Workers Based on The 1990 Recommendation.
- KÖKSAL, M.E., ÇELEBİ N.,2003. Radon ve Türkiye Evlerinde Radon Ölçümleri, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi.

- 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.
- KAM E.,2004. Tekirdağ'ın Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Tayini, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 112s.
- 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 İn İstanbul, Turkey, Water Res., Vol. 34, No: 18, 4367-4370.
- KAM E., YARAR Y., ÇELEBİ N., KARAHAN G., ÖZÜAĞ C.,2005. Tekirdağ İli Gama Işınlama Dozlarının ve Ev- İçi Radon Konsantrasyonlarının Belirlenmesi,
- KAM E., YARAR Y., KARAHAN G., ÇELEBİ N., ÖZÜAĞ C.,2005. Tekirdağ İli ve Çevresinin Doğal Radyasyon Seviyelerinin Belirlenmesi,
- KARABULUT M. T., ULUĞ A., ÇELEBİ N., 2005. Antalya İlçelerinde Ev İçi Radon Konsantrasyonunun Belirlenmesi,
- KARAKUYU Y., DOĞAN M.,2004. Sandıklı Bölgesindeki Kuyu ve Kaplıca Sularındaki Radyasyon Değişimi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 8-2, Özel Sayı, 104-107.
- KELLY O.,1999. Gamma Ray Spectroscopy.
- LAL D., PETTERS B., 1967, Cosmic Ray Produced Radioactivity on The Earth, Encyclopeda of Physics, p.551.
- LALITY B. Y., SHUKLA V. K., 1982. Natural Radioactivity in Foods From High Natural Radioactivity Areas of Southern India, Natural Radiation Enviroment in S. India, p. 43-49.
- LİBOFF A.R., 1975. Cosmic Ray Ionization in The Lower Atmosfere, The Natural Enviroment II.

- LINSALATA P., MORSE R., FORD H, 1991. Th, U, Ra and Rare Earth Element Distributions in Form Animal Tissues From An Elevated Natural Radiation Background Enviroment. Journal Enviroment Radioactivity in U.S. 14, 233-257.
- 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., AL- HADDAD I.K., 1992. Population Doses From Enviromental Gamma Radiation in IRAQ, Health Physics, vol. 62.
- MERDANOĞLU B.,2004. Kestanbul (Çanakkale) Civarındaki Su, Toprak ve Granit Örneklerinde Doğal Radyoaktivitenin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul,70s.
- 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 Report 45, 1975. Natural Background Radiation in The U.S., Soil Radioactivity, National Council on Radiation Protection and Measurement No:45, p. 45.
- NCRP Report 45, 1975. Natural Background Radiation in The U.S., Soil Radioactivity, National Council on Radiation Protection and Measurement No:45, p.54 .
- NCRP Report 98, 1989. National Council on Radiation Protection and Measurements Guidance on Radiation Received in Space Activities.
- NCRP Report 50, 1976. Enviromental Radiation Measurement, National Council on Radiation Protection and Measurement.
- NCRP Report No:94,1987. Exposure of The Population in The United States and Canada From Natural Background Radiation, National Council On Radiation Protection And Measurements.
- NIEWIADOMSKI T., KOPERSKI J., RYBA E., 1982. Natural Radiation in Poland and its Disturbance in An Urban Enviroment, Health Physics, Vol. 38.

- NAZAROFF W. W., MOED B. M., SEXTRO R. G., 1988. Soils As A Source Of Indoor Radon: Generation, Migration and Entry, In Radon and Its Decay Products In Indoor Air, Wiley, New York.
- ÖZGER G.,2005. Ceyhan, Yumurtalık ve Pozantı Bölgelerinin Doğal Radyoaktivite Düzeylerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 100s.
- 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.
- PRICHARD H. M.,1983. <sup>222</sup>Rn In Municipal Water Suplies Central United States, Health Physics, Vol.45, 991-993.
- RASSOW J. N. N., 1986. Kernneaktorun Fall in Chernobly, p. 92-93.
- RANKAMA K., 1954. Isotope Geology, New York.
- SEDLER J., COLCHART N. W., DUFFY T. L., 1973. Enviromental Monitoring at Argon National Labarotory-1972 USAEC Report ANL-8007.
- SOHRABI M., 1997. High Levels of Natural Radiation, Elsevier Science B.V.,57-68.
- HARRIS R.L., BALES R.E.,1964. Protection Of Workers Against Radioactive Gas and Dust, In Proceeding of Symposium On Radiological Health and Safety in Mining and Miling of Nuclear Material 1963 Vol.II, IAEA Publication STI/PUB/78,Vienna.
- TÜRKİYE ATOM ENERJİSİ KURUMU ÇEKMECE NÜKLEER ARAŞTIRMA ve EĞİTİM MERKEZİ Teknik Rapor No:32, 1985. Tıp ve Biyolojik Bilimlerde Radyasyon Korunması Kurs Notları, İstanbul.
- TUNCER S.,1991. Çeşitli İçme Sularındaki Radyoaktivite Seviye Tayini, İstanbul Teknik Üniversitesi Nükleer Enerji Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- TAEK Yayınları, 1988. Türkiye Çernobil Sonrası Radyasyon ve Radyoaktivite Ölçümleri, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Yayınları.

- 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.
- TSO M. Y. ve Leung J. K., 2000. Population Dose Due To Natural Radiation İn Hong Kong, Health Physics, 78(5): 555-558.
- TIEH-CHI C., PAO-SHAN W., YU-MING L., 1989. Changes in Per Capita and Collective Dose Equivalent Due To Natural Radiation in Taiwan 1950-1983, Health Physics, Vol.57.
- UNSCEAR 2000 Report, United Nations Scientific Committee on The Effects of Atomic Radiation Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiations. New York.
- UNSCEAR 1993 Report, United Nations Scientific Committee on The Effects of Atomic Radiation Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiations. New York.
- 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 1982 Report ,1982. Exposure From Natural Sources of Radiation, United Nations Scientific Committee on The Effects of Atomic Radiation, Annex B, p. 84.
- UNSCEAR REPORT 88 ,1988.  $^{222}\text{Rn}$  and Its shord –lived Decay Products, United Nations Scientific Committee on The Effects of Atomic Radiation, Annex A.
- UNSCEAR REPORT 88 ,1988.Exposure From Natural Sources Of Radiation, United Nations Scientific Committee on The Effects of Atomic Radiation, Annex A, p. 94.
- ULUĞ A., KILIÇ, D., ÇELEBİ N., 2005. Batı Anadolu Fay Hattında Yer Alan Burdur İlinin Ev İçi Radon Ölçümleri,
- ULUĞ A., ÇELEBİ N., 2005. Evimizdeki Görünmeyen Tehlike Radon Gazı: Türkiye Değerleri ve Diğer Ülkelerle Karşılaştırılması,

YAŞAR S., ALKAN H., TÜRER A., 1984. İstanbul İçi Gama Radyasyon Ölçümleri,  
TÜBİTAK Ulusal Çevre Sempozyumu Tebliğleri, Adana.

ZHU H., 1993. Investigation of Food Radioactivity and Estimation of External Dose  
by Ingestion in Two Chnes High Radiation Areas. In Proceedings of the  
International Conference on High Levels of Natural Radiation, IAEA,  
Vienna, p. 153-162.

[www.lib.utexas.edu/chem/info/ems3.jpg](http://www.lib.utexas.edu/chem/info/ems3.jpg)

[www.nukeworker.com/](http://www.nukeworker.com/)

[www.gulflink.osd.mil/library/randrep/du/mr1018.7.chap1.html#1.1](http://www.gulflink.osd.mil/library/randrep/du/mr1018.7.chap1.html#1.1)

[www.gulflink.osd.mil/library/randrep/du/mr1018.7.appb.html](http://www.gulflink.osd.mil/library/randrep/du/mr1018.7.appb.html)

[www.taek.gov.tr](http://www.taek.gov.tr)

[www.umich.edu/~radinfo/index.htm](http://www.umich.edu/~radinfo/index.htm)

[www.canberra.com](http://www.canberra.com)

[www.berthold.com](http://www.berthold.com)

[www.angelfire.com/mo/radioadaptive/ramsar.html](http://www.angelfire.com/mo/radioadaptive/ramsar.html)

## **ÖZGEÇMİŞ**

1974 yılında Afyon/Bolvadin'de doğdum. İlk, orta ve lise öğrenimimi Mersin'de tamamladım. 1997 yılında Erciyes Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünden mezun oldum. Aynı yıl Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Yüksek Lisans eğitimime başladım.2001 yılında Yüksek Lisans eğitimimi tamamladım ve aynı yıl Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalında doktora eğitimime başladım.



## **EK – 1**

### **Radyasyon Doz Birimleri**

İyonlaştırıcı radyasyonların tüm etkileri radyasyonun geçtiği ortamda meydana getirdiği iyonlaşmaya bağlıdır. İyonlaştırıcı radyasyon miktarının ölçülebilmesi için her şeyden önce radyasyonun soğurulmalarını ölçebilecek birimlerin bulunması gerekir.

Uluslararası Radyasyon Birimleri Komisyonu'nun (ICRU) 1925 yılından beri yaptığı çalışmalar neticesinde soğurulan doz için Rad, ışınlama için Röntgen, aktivite için Curie, doz eşdeğeri için ise Rem'i özel radyasyon birimleri olarak tanımlamıştır. MKS sistemini esas alan Uluslar arası Birimler Sistemi'nin (International System of Unit – SI) kabul edilmesi ile ICRU 1971 yılında SI birimlerini tanımlamıştır.

### **Aktivite Birimleri**

Özel Birim : Curie (Ci)

SI Birimi : Becquerel (Bq)

Aktivite, birim zamandaki radyoaktif madde miktarını göstermektedir. Yapay radyoizotopların elde edilemediği senelerde çok uzun yarı ömürlü bir radyoaktif madde olan radyum standart alınıp radyoaktif madde miktarı birimi olarak Curie tanımlanmıştır. Bu tanım önce 1 gram radyumun parçalanma hızı, daha sonra 1 gram radyumla dengede olan radon miktarı ve 1930'larda da 1 gr radyumla dengede olan radon gazı miktarlarında bir saniyedeki bozunma sayısı olarak değiştirilmiştir. Ancak o zamana kadar radyumun atom ağırlığının ve bozunma sabitinin çok hassas tayinleri yapılamamış olduğundan daha sonra bu tarifin radyumdan bağımsız yapılması fikri oluşmuştur. Bu nedenle Uluslararası Standartlar ve Radyoaktivite Birimleri komisyonu tanımı genişleterek bütün radyonüklitler için Curie'yi bir saniyede  $3,7 \times 10^{10}$  parçalanma gösteren radyoaktif madde miktarının aktivitesi olarak tanımlamıştır.

SI birim sisteminde aktivite birimi Becquerel (Bq) olup, 1 Bq, saniyede bir parçalanma gösteren bir maddenin aktivitesi olarak tanımlanmıştır. Dolayısıyla Ci ve Bq arasında dönüşüm

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

$$1 \text{ Bq} = 2,703 \times 10^{-11} \text{ Ci} \text{ şeklindedir.}$$

### Spesifik Aktivite

Özel Birim : Curie / g (Ci / g)

SI birimi : Becquerel / Kg ( Bq / Kg)

İlk tanımlamayla 1 Curie 1 gr radyuma karşılık gelmesine rağmen tanım genelleştirilip bütün radyonüklitlere uygulandığında gerekli madde miktarını göstermemektedir.

Saniyede  $3,7 \times 10^{10}$  bozunmayı meydana getirecek yani aktivitesi 1 Curie olan radyoaktif maddenin ağırlığı, bozunma sabiti ve atom ağırlığının fonksiyonu olacaktır. Bu durum Curie ile radyoaktif maddenin ağırlığı arasında bir bağıntı kuran “Spesifik Aktivite” kavramının ortaya atılmasına neden olur.

Spesifik aktivite herhangi bir saf radyonüklit maddenin Ci / g olarak ölçülen aktivite yoğunluğudur.

Bir kaynakta bulunan radyonüklit bazen bir karışım veya bileşik durumunda olabilir. Böyle bir durumda elementin tüm atomları o radyonüklidin atomları olmayacaktır. Ayrıca bir arada birden fazla radyonüklid de bulunabilir. Bu durumda spesifik aktivitenin hesaplanması çok karışıktır.

$$\text{Spesifik Aktivite ( Ci / g)} = 1,308 \times 10^8 / A \times T_{1/2}$$

bağıntısı ile verilir. Burada A atom ağırlığı,  $T_{1/2}$  ise radyonüklidin gün olarak yarı ömrüdür. SI birimine geçişi ise

$$1 \text{ Ci / g} = 37 \times 10^{12} \text{ Bq / kg}$$

$$1 \text{ Bq / kg} = 27 \times 10^{-15} \text{ Ci / g} \text{ dönüşümleri ile sağlanır.}$$

## **Işınlama Birimi**

Özel Birim: Röntgen ( R )

SI Birimi : Coulomb / kg ( C / kg )

Işınlama X ve ışınlarının havayı iyonlaştırma kabiliyetinin bir ölçüsüdür.

Işınlama birimi Röntgen, normal hava şartlarında ( 0 °C ve 760 mmHg basıncı) havanın 1 kg'ında  $2,58 \times 10^{-4}$  Coulomb'luk elektrik yükü değerinde + ve – iyonlar oluşturan X ve  $\gamma$  radyasyon miktarıdır şeklinde tarif edilir. Bu tarif 3 MeV'e kadar olan X ve  $\gamma$  ışınları için geçerlidir.

SI birimlerinde ışınlama birimi olarak Röntgen eşdeğeri karşılığının Coulomb / kg normal hava şartlarında (0 °C ve 760 Hg basıncı) havanın 1 kg'ında 1 Coulomb'luk elektrik yükü değerinde + ve – iyonlar oluşturan X ve  $\gamma$  radyasyon miktarıdır.

$$1 \text{ C / kg} = 3,876 \times 10^3 \text{ R}$$

$$1 \text{ R} = 2,58 \times 10^{-4} \text{ C / kg}$$
 şeklinde ifade edilir.

## **Soğurulma ( Absorblanma ) Doz Birimi**

Özel Birim :rad

SI Birimi : Gray ( Gy)

Röntgen X ve  $\gamma$  ışınları için tanımlandırıldığından başka radyasyonlar için kullanılamaz. Bu nedenle radyasyonun cinsinden, enerjisinden ve soğurucu ortamın özelliğinden bağımsız yeni bir birime gerek duyulmuştur.

İyonlaştırıcı radyasyonun soğurulmuş dozu birim kütlede maddeye verilen enerji miktarıdır.

Soğurma doz birimi Rad ışınlanan maddenin 1 kg'ına  $10^{-2}$  joule'lük enerji veren radyasyon miktarıdır. Bu doz birimi sadece soğurulan enerji miktarını gösteren fakat hem parçacık hem de foton özellikli radyasyonlara uygulanabilen bir büyüklük olup radyasyon demeti ile birlikte soğurucu maddenin de özelliğini gösterir.

1 Röntgenlik ışınlamanın havadaki enerji soğurma gücü  $0,873 \times 10^{-2}$  joule / kg olduğuna göre, 1 röntgenlik ışınlamanın havadaki soğurulan dozu 0,873 rad olur. Su ve yumuşak doku için ise bu miktar 0,98 rad olur.

SI birimleri sisteminde soğurulmuş doz birimi olarak Gray (Gy) tanımlanmış ve 1 Gy ışınlanan maddenin 1 kg'ına 1 joule'lük enerji veren radyasyon miktarıdır.

$$1 \text{ rad} = 10^{-2}$$

### **Biyolojik Doz**

Özel Birim : rem

SI Birimi : Sievert (Sv)

Farklı iyonlaştırıcı radyasyonların meydana getirdiği biyolojik etki farklıdır.

Aynı miktarda enerji soğurulması veren farklı tipteki radyasyonlar aynı biyolojik etkiyi vermeyebilir. Genel olarak radyasyonun yolu boyunca birim uzunlukta kaybedilebilen enerji kaybına ( LET) bağlıdır, LET arttıkça biyolojik etkide artar.

Biyolojik doz birimi olan rem (röntgen equivalent man) 1 röntgenlik X ve  $\gamma$  ışınının meydana getirdiği aynı biyolojik etkiyi meydana getiren herhangi bir radyasyon miktarıdır.

SI birimler sisteminde doz eşdeğer birimi joule / kg olup bunun özel adı Sievert (Sv) dir ve 1 Sv, 1 Gy'lik X ve  $\gamma$  ışını ile aynı biyolojik etkiyi meydana getiren herhangi bir radyasyon miktarı olarak tanımlanmıştır.

$$1 \text{ Sv} = 1 \text{ J} / \text{kg} \cdot 10^2 \text{ rem}$$

$$1 \text{ rem} = 10^{-2} \text{ Sv} \quad \text{şeklindedir.}$$

<b>Büyükölük</b>	<b>SI Birimi</b>	<b>Özel Birim</b>	<b>Dönüşüm</b>
<b>Aktivite</b>	Bq sn <sup>-1</sup>	Ci	1 Bq = 27,03 x 10 <sup>-12</sup> Ci 1 Ci = 3,7 x 10 <sup>10</sup> Bq
<b>Işnlama</b>	C / kg	R	1 C /kg = 3,876 x 10 <sup>3</sup> R 1 R = 2,58 x 10 <sup>-4</sup> C/kg
<b>Soğurulma</b>	Gy J / kg	rad	1 Gy = 100 rad 1 rad = 10 <sup>-2</sup> Gy
<b>Doz Eşdeğeri</b>	Sv J / kg	rem	1 Sv = 100 rem 1 rem = 10 <sup>-2</sup> Sv

**EK 2:**

**EVLERDE RADON ARAŞTIRMASI BİLGİ FORMU**

Araştırma Yapılan Dedektör No:

Görüşmenin Yapıldığı Tarih:

Görüşme Yapılan Kişinin Adı – Soyadı:

Görüşme Yapılan Kişinin Adresi ve Telefon Numarası:

Radon Dedektörünün Eve Konuş Tarihi:

Dedektörün Alınış Tarihi:

**1-Evin Tipi:**

a-) Apartman

b-) Müstakil

c-) Bunlardan Başka

**2- Evin Yapıldığı Tarih (yıl)**

**3- Evin Duvar, Tavan ve Tabanının Yapı Malzemeleri**

Taban : a-) Toprak + Sap Beton b-) Beton c-) Ahşap

Tavan : a-) Beton b-) Ahşap

Duvarlar : a-) Beton b-) Tuğla c-) Ahşap d-) Taş e-) Bunlardan Başka

**4- Oturma Odasının Hangi Katta Olduğunu Belirtiniz.**

a-) Bodrum b-) Giriş Kat c-) I. Kat d-) II. Kat d-) III. Kat f-) IV. Kat g-) V.

Kat h-) Diğer

**5- Pencerelelerin Durumu**

a-) Pencereleler Tek Camlı ve Isı Yalıtımı İyi

b-) Pencereleler Tek Camlı Isı Yalıtımı Zayıf

c-) Pencereleler Çift Camlı Isı Yalıtımı İyi

**6- Havalandırma Sistemi**

a-) Doğal Havalandırma

b-) Cihaz İle Havalandırma

**7- Evde Kaç Kişi Yaşıyor ve Bunların Yaşları**

**8- Akciğer Kanseri Olan veya Bu Hastalıktan Ölen Kişi Var mı ?**