

**T.C.
CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DEMİRCİ (MANİSA) İLÇESİNİN ÇEVRESEL
RADYOAKTİVİTESİNİN SAPTANMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ayşe Betül TUNÇKIN

Danışman: Prof. Dr. İsmail MARAŞ

**Anabilim Dalı: Fizik
Programı: Nükleer Fizik**

MANİSA – 2014

T.C.
CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DEMİRCİ (MANİSA) İLÇESİNİN ÇEVRESEL RADYOAKTİVİTESİNİN SAPTANMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ayşe Betül TUNÇKIN

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 27 Haziran 2014
Tezin Savunulduğu Tarih : 11 Haziran 2014

Tez Danışmanı : Prof. Dr. İsmail MARAŞ
Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Müslim Murat SAÇ (EÜ)
Doç. Dr. Mahmut BÖYÜKATA (ÇOMÜ)

MANİSA – 2014

ÖNSÖZ

Manisa –Demici bölgesinde yapılan bu çalışma boyunca bilgi birikimi ve tecrübesi ile bana yardımcı olan ve yönlendiren değerli danışmanlarım sayın Prof. Dr. F. Serap EREEŞ ve sayın Prof. Dr. İsmail MARAŞ' a, çalışmalarımda desteğini esirgemeyen sayın Arş. Gör. Dr. Sermin ÇAM KAYNAR' a, Önder AKAR' a ve hayatım boyunca bana destek olan annem Emine TUNÇKIN' a , babam Mestan TUNÇKIN' a, bu süreçte beni hiç yalnız bırakmayan değerli eşim Mahmut TUNÇKIN' a ve en önemlisi varlığıyla hayatımı anlamlandıran canım kızım Süreyya Betül TUNÇKIN' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayşe Betül TUNÇKIN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ŞEKİLLER DİZİNİ	VI
ÇİZELGELER DİZİNİ	VIII
ÖZET	IX
ABSTRACT	X
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	4
2.1. Radyoaktivite	4
2.2. Radyoaktivite Birimleri	4
2.3. Radyoaktif Bozunum Serileri	5
2.3.1. Doğal Seriler	5
2.3.2. Yapay Seriler	7
2.3.3. Potasyum	7
2.4. Radyasyon	8
2.5. Radyasyon Kaynakları	9
2.5.1. Doğal Radyasyon Kaynakları	9
2.5.2. Yapay Radyasyon Kaynakları	10
2.6. Radon Gazı	10
2.6.1. Havada Radon	11
2.6.2. Toprakta Radon	11
2.6.3. Sullarda Radon	13
2.6.4. Bina İçi Radon	14
2.6.5. Radon Ölçme Yöntemleri	16
2.6.6. Radonun İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri	16
3.BÖLGENİN JEOLojİK YAPISI	18
4.MATERYAL VE METOD	20
4.1.Toprak Örneklerinde Yapılan Çalışmalar	20
4.1. 1.Gama Spektrometresi ile Radyoaktivite (^{40}K , ^{238}U ve ^{232}Th) Tayini	20
4.1.2. CR-39 Nükleer İz Kazıma dedektörleri ile Radon Konsantrasyonu, Radon Soluma Hızı ve Efektif Radyum Ölçümü	22
4.2. Su Örneklerinde Yapılan Çalışmalar	
4.2.1.pH, İletkenlik, mV, Tuzluluk ve Alkalite Ölçümü	23
4.2.2. CR-39 Nükleer İz Kazıma dedektörleri ile Radon Konsantrasyonu, Radon Soluma Hızı ve Efektif Radyum Ölçümü	24

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa No</u>
4.3. Bina İçi Örneklerinde CR-39 Nükleer İz Kazıma Dedektörleri ile Radon Konsantrasyonu, Radon Solunma Hızı ve Efektif Radyum Ölçümü	25
5. BULGULAR	26
5.1. Yüzey Gama Doz Hızı Sonuçları	26
5. 2.Toprak Örnekleri Ölçüm Sonuçları	28
5.2.1. Toprak Örneklerinin Gama Spektrometre Sistemi Ölçüm Sonuçları	28
5.2.1.1. Demirci Merkez	29
5.2.1.2. Mahmutlar Beldesi	30
5.2.1.3. Bardakçı Köyü	31
5.2.1.4. Örucüler Köyü	32
5.2.1.5. Kılavuzlar Köyü	33
5.2.2.Toprak Örneklerinin CR-39 İz Kazıma Dedektörleri ile Yapılan Ölçüm Sonuçları	35
5.2.2.1 Demirci Merkez	37
5.2.2.2. Bardakçı Köyü	38
5.2.2.3. Kılavuzlar Köyü	39
5.2.2.4. Mahmutlar Beldesi	40
5.2.2.5. Örucüler Köyü	41
5.3. Su Örnekleri Ölçüm Sonuçları	42
5.3.1. Sularda ph, İletkenlik, mV, Toprak Alkalitesi ve Tuzluluk Ölçüm Sonuçları	42
5.3.2. Su Örneklerinin CR-39 Nükleer İz Kazıma Dedektörleri ile Yapılan Ölçüm Sonuçları	44
5.4. Bina içi Radon Konsantrasyonu Ölçüm Sonuçları	47
5.4.1. Demirci Merkez	47
5.4.2. Bardakçı Köyü	49
5.4.3.Kılavuzlar Köyü	50
5.4.4.Mahmutlar Beldesi	51
5.4.5.Örucüler Köyü	52
6. TARTIŞMA	53
6.1. Yüzey Gama Doz Hızı Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi	53
6.2. Toprakta ²³⁸ U, ²³² Th ve ⁴⁰ K Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi	53
6.3. Toprakta Radon Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi	55
6.4. Suda Radon Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi	56
6.5. Bina İçi Radon Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi	57
7.SONUÇ	59
8. KAYNAKLAR	60

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 2.1 Uranyum Serisinin Bozunum Şeması	5
Şekil 2. 2 Toryum Bozunum Serisi	6
Şekil 2. 3 Aktinyum Bozunma Serisi	6
Şekil 2. 4 Neptünyum Bozunma Serisi	7
Şekil 2. 5 Radyasyon Çeşitleri	8
Şekil 2. 6 Dünya Genelinde Doğal ve Yapay Radyasyon Kaynaklarından Alınan Dozların Oranları	9
Şekil 2.7 Radonun Oluşumu ve Gözenek Uzayına Geçiş	12
Şekil 2.8 Radon Bozunma Şeması	13
Şekil 2.9 Kapalı Ortamlara Radonun Girişi	15
Şekil 3.1 Demirci ve Civar Köylerin Gösteren Uydu Haritası	18
Şekil 4.1 Potasyum, Uranyum ve Toryum Kanallarına Gelen Katkılar	21
Şekil 5. 1 Tüm Örnekleme Noktalarına Göre Ölçülen Yüzey Gama Doz Hızlarının ($\mu\text{R/h}$), 35S ve UTM Koordinat Sistemine Göre (Metre) Kontur Grafiği	27
Şekil 5. 2 Demirci İlçesi Toprakta ^{40}K Konsantrasyonu	29
Şekil 5. 3 Demirci İlçesi Toprakta ^{238}U Konsantrasyonu	29
Şekil 5. 4 Demirci İlçesi Toprakta ^{232}Th Konsantrasyonu	29
Şekil 5. 5 Mahmutlar Beldesi Toprakta ^{40}K Konsantrasyonu	30
Şekil 5. 6 Mahmutlar Beldesi Toprakta ^{238}U Konsantrasyonu	30
Şekil 5. 7 Mahmutlar Beldesi Toprakta ^{232}Th Konsantrasyonu	30
Şekil 5. 8 Bardakçı Köyü Toprakta ^{40}K Konsantrasyonu	31
Şekil 5. 9 Bardakçı Köyü Toprakta ^{238}U Konsantrasyonu	31
Şekil 5. 10 Bardakçı Köyü Toprakta ^{232}Th Konsantrasyonu	31
Şekil 5. 11 Örucüler Köyü Toprakta ^{40}K Konsantrasyonu	32
Şekil 5. 12 Örucüler Köyü Toprakta ^{238}U Konsantrasyonu	32
Şekil 5. 13 Örucüler Köyü Toprakta ^{232}Th Konsantrasyonu	32
Şekil 5. 14 Kılavuzlar Köyü Toprakta ^{40}K Konsantrasyonu	33
Şekil 5. 15 Kılavuzlar Köyü Toprakta ^{238}U Konsantrasyonu	33
Şekil 5. 16 Kılavuzlar Köyü Toprakta ^{232}Th Konsantrasyonu	33
Şekil 5. 17 Toprak Örneklerindeki Efektif Radyum Aktivitesi	36
Şekil 5. 18 Demirci İlçesi Toprak Örneklerindeki Radon Konsantrasyonu	37
Şekil 5. 19 Demirci İlçesi Toprak Örneklerindeki Radon Soluma Hızı	37

ŞEKİLLER DİZİNİ (DEVAM)

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 5. 20 Demirci İlçesi Toprak Örneklerinde Efektif Radyum İçeriği	37
Şekil 5. 21 Bardakçı Köyü Toprak Örneklerindeki Radon Konsantrasyonu	38
Şekil 5. 22 Bardakçı Köyü Toprak Örneklerindeki Radon Soluma Hızı	38
Şekil 5. 23 Bardakçı Köyü Toprak Örneklerinde Efektif Radyum İçeriği	38
Şekil 5. 24 Kılavuzlar Köyü Toprak Örneklerindeki Radon Konsantrasyonu	39
Şekil 5. 25 Kılavuzlar Köyü Toprak Örneklerindeki Radon Soluma Hızı	39
Şekil 5. 26 Kılavuzlar Köyü Toprak Örneklerinde Efektif Radyum İçeriği	39
Şekil 5. 27 Mahmutlar Beldesi Toprak Örneklerindeki Radon Konsantrasyonu	40
Şekil 5. 28 Mahmutlar Beldesi Toprak Örneklerindeki Radon Soluma Hızı	40
Şekil 5. 29 Mahmutlar Beldesi Toprak Örneklerinde Efektif Radyum İçeriği	40
Şekil 5. 30 Örucüler Köyü Toprak Örneklerindeki Radon Konsantrasyonu	41
Şekil 5. 31 Örucüler Köyü Toprak Örneklerindeki Radon Soluma Hızı	41
Şekil 5. 32 Örucüler Köyü Toprak Örneklerinde Efektif Radyum İçeriği	41
Şekil 5. 33 Su Örneklerinde Toprak Alkalitesi	42
Şekil 5. 34 Su Örneklerinin pH Dağılımı	43
Şekil 5. 35 Su Örneklerinde mV Dağılımı	43
Şekil 5. 36 Su Örneklerinde İletkenlik Dağılımı	43
Şekil 5. 37 Su Örneklerinde Tuzluluk Dağılımı	43
Şekil 5. 38 Su Örneklerinde Radon Konsantrasyonu	45
Şekil 5. 39 Su Örneklerinde Radon Soluma Hızı	45
Şekil 5. 40 Su Örneklerinde Efektif Radyum İçeriği	45
Şekil 5. 41 Su Örneklerindeki Efektif Radyum Aktivitesi	46
Şekil 5. 42 Demirci İlçe Merkezindeki Bina İçi Radon Konsantrasyonu	48
Şekil 5. 43 Demirci İlçe Merkezindeki Bina İçi Efektif Doz Eşdeğeri	48
Şekil 5. 44 Bardakçı Köyü Bina İçi Radon Konsantrasyonu	49
Şekil 5. 45 Bardakçı Köyü Bina İçi Efektif Doz Eşdeğeri	49
Şekil 5. 46 Kılavuzlar Köyü Bina İçi Radon Konsantrasyonu	50
Şekil 5. 47 Kılavuzlar Köyü Bina İçi Efektif Doz Eşdeğeri	50
Şekil 5. 48 Mahmutlar Beldesi Bina İçi Radon Konsantrasyonu	51
Şekil 5. 49 Mahmutlar Beldesi Bina İçi Efektif Doz Eşdeğeri	51
Şekil 5. 50 Örucüler Köyü Bina İçi Radon Konsantrasyonu	52
Şekil 5. 51 Örucüler Köyü Bina İçi Efektif Doz Eşdeğeri	52

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 2. 1 Doğal Kaynakların Sebep Olduğu Dünya’ da Ortalama Radyasyon Doz Değerleri	10
Çizelge 2. 2 Radon Konsantrasyon Limitleri (Bq/m ³)	15
Çizelge 5. 1 Demirci ve Civar Köylerinden Toplanan Toprak ve Su Örneklerinin Koordinatlara Göre Gama Doz Hızları ÇNAEM Dose Rate Meter-NEB.211 Marka Cihaz ile (µR/h) ve (nGy/h) Olarak Alınan Doz Hızı Dağılımları	26
Çizelge 5. 2 Tüm Toprak Örneklerindeki ⁴⁰ K, ²³⁸ U ve ²³² Th Aktivite Konsantrasyonları	28
Çizelge 5. 3 Toprak Örneklerinden Elde Edilen Absorplanan Doz Hızı Değerleri (nGy/h), Yıllık Ortalama Efektif Doz Eşdeğeri (µSv), Eşdeğer Radyum Aktiviteleri (Bq/kg) ve Dış Tehlike Endeksleri	34
Çizelge 5. 4 Toprak Örneklerine Ait Radon Soluma Hızı, Efektif Radyum İçeriği ve Radon Konsantrasyonu	35
Çizelge 5. 5 Demirci İlçesi, Örucüler Köyü, Mahmutlar Beldesi ve Bardakçı Köyü’nden Toplanan 17 Su Örneğinin Toprak Alkalitesi , pH , mV, İletkenlik ve Tuzluluk Değerleri	42
Çizelge 5. 6 Demirci İlçesi, Örucüler Köyü, Mahmutlar Beldesi ve Bardakçı Köyü’nden Toplanan 17 Su Örneğinde Radon Konsantrasyonu, Radon Soluma Hızları ve Efektif Radyum İçeriği.	44
Çizelge 5. 7 Demirci İlçe Merkezi Bina İçi Radon Konsantrasyonu ve Efektif Doz Eşdeğeri	47
Çizelge 5. 8 Bardakçı Köyü Bina İçi Radon Konsantrasyonu ve Efektif Doz Eşdeğerleri	49
Çizelge 5. 9 Kılavuzlar Köyü Bina İçi Radon Konsantrasyonu ve Efektif Doz Eşdeğerleri	50
Çizelge 5. 10 Mahmutlar Beldesi Bina İçi Radon Konsantrasyonu ve Efektif Doz Eşdeğerleri	51
Çizelge 5. 11 Örucüler Köyü Bina İçi Radon Konsantrasyonu ve Efektif Doz Eşdeğerleri	52
Çizelge 6. 1 Türkiye’de 1 metre yükseklikte ölçülen yüzey gama doz hızları	53
Çizelge 6. 2 Türkiye’de Yapılan Çalışmaların Toprakta ²³⁸ U ²³² Th ve ⁴⁰ K Tayini	54
Çizelge 6. 3 Türkiye’ de Yapılan Çalışmalarda Toprak Örneklerinden Elde Edilen Absorplanan Doz Hızı Değerleri (nGy/h). Yıllık Ortalama Efektif Doz Eşdeğeri (µSv) ve Dış Tehlike Endeksi	55
Çizelge 6. 4 Türkiye’ de Yapılan Çalışmalarda Toprak Örneklerine Ait Radon Konsantrasyonu	56
Çizelge 6. 5 Türkiye’ de Yapılan Çalışmalarda Su Örneklerine Ait Radon Konsantrasyonu	57
Çizelge 6. 6 Türkiye’ de Yapılan Çalışmalarda Bina İçi Radon Konsantrasyonu	58

ÖZET

DEMİRCİ (MANİSA) İLÇESİNİN ÇEVRESEL RADYOAKTİVİTESİNİN SAPTANMASI

TUNÇKIN Ayşe Betül

Tez Danışmanı: Prof.Dr. İsmail MARAŞ

Bu çalışmada, Demirci İlçesi ve çevre köylerinden alınan toprak ve su örnekleri ile bölgenin doğal radyoaktivitesi incelendi. İnceleme alanından alınan toprak örneklerinin ^{40}K , ^{238}U ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonları gama spektrometresi kullanılarak ölçüldü. Ayrıca toprak ve su örneklerinde CR-39 iz kazıma dedektörleri kullanılarak radon konsantrasyonu, radon soluma hızı ve efektif radyum aktivitesi belirlendi.

Demirci İlçe merkezinde ve çevre köylerdeki bina içi radon konsantrasyonu ölçümü CR-39 nükleer iz kazıma dedektörleri kullanılarak belirlendi ve bina içi radondan gelen yıllık efektif doz hesaplandı.

Çalışma alanında toprak ve sudan gelen dozlara göre dağılım grafikleri oluşturuldu ve elde edilen sonuçlar literatürle karşılaştırılarak yorumlandı.

Anahtar Kelimeler: Radyoaktivite, CR-39 İz Kazıma Dedektörü, Radon Konsantrasyonu, Radon Soluma Hızı, Gama Spektrometresi

ABSTRACT

DETERMINATION OF ENVIRONMENTAL RADIOACTIVITY IN DEMIRCI (MANISA) DISTRICT

TUNÇKIN Ayşe Betül

Supervisor : Prof.Dr. İsmail MARAŞ

In this study, the region's natural radioactivity with soil and water samples received in Demirci district and surrounding villages was examined. The activity concentrations of ^{40}K , ^{238}U and ^{232}Th in soil samples which are received in study area were measured by using gamma spectrometry. Also, radon concentration and radon exhalation rate and effective radium activity in soil and water samples were determined by using CR- 39 nuclear track detector.

The measurement of the indoor radon concentration in Demirci center and surrounding villages were determined by using CR- 39 nuclear track detectors and radon annual effective dose from indoor was calculated.

The distribution graphs were created by the doses which is calculated water and soil samples and obtained results were interpreted by comparison with the literature

Keywords: Radioactivity, CR-39 Track Detector, The Concentration of Radon, Radon Exhalation Rate, Gamma Spectrometry

1.GİRİŞ

Çevresel doğal radyoaktivite dünyanın yapısında bulunan ve çok uzun yarıömürlü radyoaktif çekirdeklerden (Uranyum, Toryum ve Radyum gibi) kaynaklanır. Doğal radyasyona en büyük katkı doğal olarak bulunan ^{238}U , ^{232}Th ile bunların bozunma ürünleri olan ^{226}Ra , ^{222}Rn ve ^{235}U , ^{40}K gibi radyoaktif elementlerden ileri gelmektedir(UNSCEAR, 2000).

İnsanoğlu; yaşam standartları, yaşadıkları ortamların fiziksel özellikleri ve coğrafi şartlara bağlı olarak değişiklik göstermekle birlikte, doğal kaynaklardan dolayı yaklaşık 2,4 mSv yıllık doza maruz kalmaktadır. Bu dozun büyük bir kısmını (yaklaşık yıllık doz miktarı 1,3 mSv) radon gazı ve onun kısa yarı ömürlü bozunma ürünleri oluşturmaktadır (UNSCEAR, 2000). Radon; uranyum içeren toprak, kum, kaya ve bunlardan yapılan yapı malzemelerinden gelmekte ve gaz olması nedeniyle bulunduğu ortamın boşluklarında ilerleyerek atmosfere yayılmaktadır. Radon solunum yoluyla akciğerlere girmekte ve bozunması sonucunda akciğer kanseri oluşma riskini artırmaktadır(Çelik vd. , 2008). Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi (ICRP) toplam akciğer kanserlerinin %10'unu radona bağlamaktadırlar(ICRP, 1990). 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(Enflo, 2002).

Son yüzyılla birlikte teknolojinin çok hızlı gelişmesi, özellikle tıp, nükleer ve endüstriyel alandaki gelişmeler insanoğlunun yapay radyasyona maruz kalmasına neden olmuştur. Ancak maruz kalınan doz değeri doğal radyasyon ile karşılaştırıldığında az olup yıllık etkin doz değeri 0,6 mSv' dir (Öztürk, 2012).

Dünyanın çeşitli yerlerinde ve Türkiye' de birçok yerde doğal radyasyonun tayinine yönelik çalışmalar yapılmaktadır.

Konya' da yapılan çalışmada suda radon konsantrasyon seviyeleri WHO tarafından açıklanan güvenlik limiti olan 100Bq /L ' nin oldukça altındadır. İlkbahar mevsiminde radon konsantrasyon seviyesi 2.29 ± 0.17 Bq /L ile 27.25 ± 1.07 Bq /L iken, yaz mevsiminde 1.44 ± 0.18 Bq/L ile 27.45 ± 1.25 Bq /L arasında değişmektedir. Bu suların tüketimlerinden kaynaklanan etkin doz değerleri hesaplanmıştır. Ölçülen minimum etkin doz 0.29 μSv /y iken maksimum doz 5.49 μSv /y bulunmuştur (Demirel, 2013).

Kütahya' da yapılan çalışmada 355 toprak örneğindeki U-238, Th-232 ve K-40 aktivite seviyeleri NaI(Tl) detektörü kullanılarak belirlenmiştir. Örneklerin toplandığı noktalarda Ludlum 2241-3RK taşınabilir el detektörü ile yerden 1 m yükseklikte havadaki gama doz oranları $\mu\text{R/h}$ biriminde ölçülmüştür. Toprak ve havadaki gama doz oranları kullanılarak Kütahya ili için yıllık etkin doz değerleri hesaplanmıştır. Havadaki ortalama soğurulmuş doz 247,45 nGy/y olarak ve ortalama yıllık etkin doz 303,47 $\mu\text{Sv/y}$ olarak belirlenmiştir (Hafizoğlu, 2012).

Trabzon'da yapılan çalışmada belirlenen 222 noktadan toplanan toprak örneklerinin aktivite konsantrasyonları HPGe dedektörü kullanılarak belirlenmiştir. ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K 'ın

aktivite konsantrasyonları sırasıyla 41, 35 ve 437 Bq/kg olarak, havadaki soğurulmuş gama dozu oranı 59 nGy/h olarak ve karasal gama radyasyonu sebebiyle maruz kalınan yıllık etkin eşdeğer doz 72 µSv/y olarak hesaplanmıştır. Bunlara ilaveten dışsal gama doz oranı ölçümleri, taşınabilir NaI dedektörü kullanılarak gerçekleştirilmiş ve sonucunda yıllık etkin doz 66 µSv/y olarak hesaplanmıştır (Kurnaz et al. , 2011).

Yunanistan'daki kaplıcalarda Nikolopoulos ve arkadaşlarının 2010 yılında yaptığı radon konsantrasyonu ölçümleri AlphaGUARD PQ2000 Pro cihazı ile yapılmış olup su örneklerinde 54 ± 10 Bq/L ile 297 ± 25 Bq/L aralığında değerler bulunmuştur (Nikolopoulos et al. , 2010). Likit sintilasyon sayacı WinSpectral 1414' ü kullanarak Polonya'da bulunan 115 kaynak suyu ve kuyu suyu üzerinde, Koztowska ve arkadaşları 2010 yılında su numuneleri olarak yer altı sularında aktif radon konsantrasyonunu belirlemeye dayalı çalışmalar yapmış olup 4.2 ± 0.4 Bq/L ile 1703 ± 55 Bq/L arasında sonuçlar gözlemlenmiştir. Aynı zamanda tüketim için kullanılan 50 ayrı yer altı suyu veya çeşme suyu içinde doz hesaplanmış ve yıllık değerlerin 0.003 mSv ile 1.1 mSv arasında değiştiği anlaşılmıştır (Koztowska et al. , 2010).

Libya'da yapılan bir çalışmada, sahil kesiminde 40 farklı bölgeden alınan toprak örneklerindeki aktivite konsantrasyonlarını belirleyebilmek için yüksek çözünürlüklü gama spektroskopisi kullanılmıştır. ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{210}Pb için aktivite konsantrasyonları 5-10 cm derinlikten alınan örnekler için sırasıyla $7,5 \pm 2,5$ Bq/kg, $4,5 \pm 1,3$ Bq/kg, $28 \pm 6,7$ Bq/kg ve $10,3 \pm 2,7$ Bq/kg olarak ve 50-70 cm derinlikten alınan örnekler için $6,7 \pm 1,9$ Bq/kg, $4,2 \pm 1,1$ Bq/kg, $26,6 \pm 5,9$ Bq/kg ve $9,2 \pm 3,9$ Bq/kg olarak bulunmuştur. Ortalama etkin eşdeğer doz oranı $0,0054 \pm 0,0016$ mSv/y olarak belirlenmiştir (El-Kameesy et al. , 2008).

Prasad Shiva ve arkadaşları tarafından Hindistan'ın Bangalore bölgesinin 33 farklı yerleşim yerinde yapılan çalışmada, topraktaki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivitelerinin ortalamaları sırasıyla 26,2Bq/kg, 53,1Bq/kg ve 635,1Bq/kg olduğu belirlenmiştir. Ayrıca topraktaki doğal radyonüklitlerden dolayı havadaki ortalama dış gama doz hızı ve yıllık ortalama etkin doz değeri sırasıyla 73,9 nGy/s ve 90,6µSv/y olarak bulunmuştur (Prasad Shiva et al, 2008).

Romanya'da Comsa ve arkadaşları yüzey suları, kuyu suları ve kaynak sularında radon konsantrasyonu ölçümleri yapmışlardır. Yüzey sularında 0.5 kBq/m^3 ile 10 kBq/m^3 , kuyu sularında 0.6 kBq/m^3 ile 112.6 kBq/m^3 ve kaynak sularında 2 kBq/m^3 ile 129.3 kBq/m^3 değerleri arasında sonuçlar elde etmişlerdir (Comsa ve ark. 2008).

Meksika' nın Chihuahua eyaletinin 9 şehrinin içme ve kuyu sularında yaptıkları ^{222}Rn ölçümünde % 48'inde Radon konsantrasyonlarının USEPA' nın sınır değerlerin üzerinde bulmuşlardır (Villalba et al. , 2005).

Brezilya' da 2004 yılında nükleer iz dedektörü kullanılarak yapılan bir çalışmada ^{226}Ra ölçüm sonuçları; yer altı suları için 0.95-36.00 Bq/L, deniz suları için 0.30-0.54 Bq/L, musluk suları için 0.39-0.47 Bq/L, nehir suları için 0.43-2.40 Bq/L olarak ölçülmüştür. Brezilya devletinin koymuş olduğu sınır değer ise 2.35 Bq/L' dir (Marques et al. , 2004).

Sarrou ve Pashalidis, Güney Kıbrıs için atmosferde ve sularda  l m   oldukları Radon derişiminin düşük olduğunu tespit ettiler. Radon derişiminin d   kl   n , artılmı  deniz suyunun su şebekelerinde kullanılmasıyla ili kilendirdiler (Sarrou and Pashalidis, 2003).

Bu  alı mada Demirci ve  evre yerle kelerin de doğal radyoaktivitenin tayin edilmesi amaçlanmıştır. Çevrenin radyoaktif haritası çıkartılarak ortamın radyasyon açısından tehlikeli olup olmadığı ortaya konmak istenmiştir.

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Radyoaktivite

İlk olarak radyoaktivite, Fransız fizikçi Becquerel' in 1896 yılında yapmış olduğu çalışmalarda uranyum tuzlarının fotoğraf filmlerini karartmasıyla keşfedilmiştir. Becquerel'in yapmış olduğu deneylerde kağıtla örtülü olduğu halde (bu kağıtlar ışık geçirmeme özelliğine sahip) yinede filmler etkilenmekteydi. Bu sonuçlar tıpkı görünür ışık gibi, fotoğraf filmi üzerindeki atomları iyonlaştırabilen bir ışıma türü olması gerektiğini göstermekteydi. Ancak bu ışıma görünür ışığın tersine kağıtta da geçebiliyordu. Bu tür ışımaya radyoaktivite adı verildi ve sonraki iki yıl içinde Fransız fizikçilerden Marie ve Pierre Curie üç radyoaktif elementin daha (toryum, polonyum ve radyum) var olduğunu ortaya koydular. Bu çalışmalarından dolayı Becquerel ve Curie'ler 1903 yılında Nobel ödülünü almaya hak kazanmışlardır. Günümüzde radyoaktivitenin atom çekirdeğinden kaynaklandığı bilinmektedir. Becquerel'in henüz çekirdek yapısı anlaşılmadan 15 yıl önceki keşfi çekirdek fiziğinin başlangıcı olarak kabul edilmektedir (Taylor,1996).

2.2. Radyoaktivite Birimleri

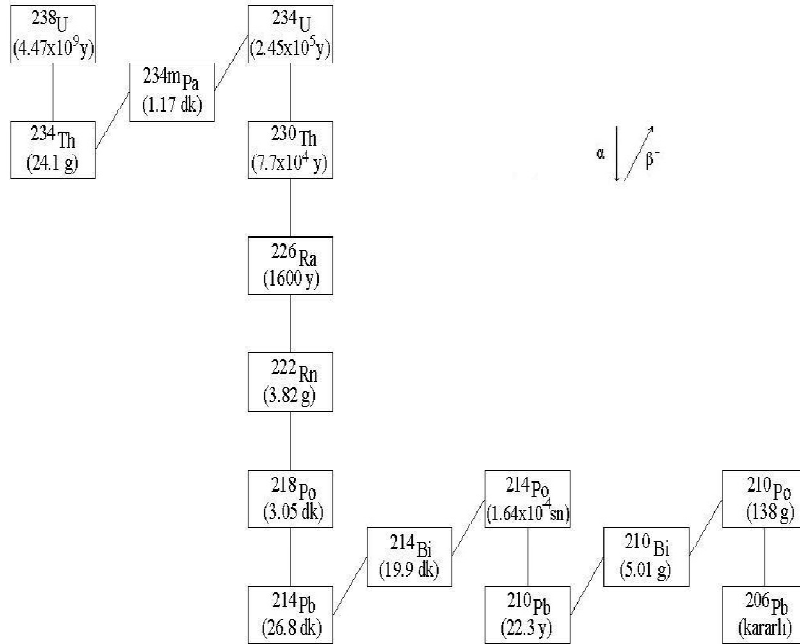
- ❖ **Aktivite:** radyoaktif maddenin belirli bir zaman aralığındaki bozunma miktarıdır. Aktivite Birimi Becquerel (Bq) 'dir.
Becquerel (Bq) = *bir saniyedeki bozunma sayısı*, (s^{-1})
Eski Birim Curie'dir.
 $1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$ veya $1 \text{ Bq} = 2.703 \times 10^{-11} \text{ Ci}$ (1 Bq küçük bir değerdir.)
- ❖ **İşinlama:**
Röntgen: Normal hava şartlarında havanın 1 kg'ında $2.58 \times 10^{-4} \text{ C}$ luk elektrik yükü değerinde pozitif ve negatif iyonlar oluşturan x ve gama ışını miktarıdır.
 $1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C / kg}$
 $1 \text{ C/kg} = 3.88 \times 10^3 \text{ R}$
- ❖ **Soğurulmuş Doz:** Birim kütle başına depolanan enerjinin ölçüsüdür. Her tür radyasyona uygulanabilir Birimi; Gray (Gy) = 1 Joule/kg 'dır.
Eski birim rad = 0.01Gy'dir.
(1 Gy yüksek bir doz değeridir.)
- ❖ **Eşdeğer Doz:** Vücutta toplanan enerjinin ifadesidir. Düşük doz düzeylerinde radyasyonun tipine ve enerjisine göre biyolojik hasarlarını da içeren bir kavramdır. Birimi; Sievert (Sv) = 1 Joule/kg' dır. Radyasyon korunmasında kullanılan bir birimdir. Eski birim rem = 0.01 Sv 'dır.
X ışınları, gamma ışınları ve beta ışınları için $1 \text{ Gy} = 1 \text{ Sv}$ 'dir .
- ❖ **Etkin Doz:** Doku veya organların aldığı dozun tüm vucut için yüklediği riski ifade etmek için kullanılan bir kavramdır. Birimi Sievert'tir. (URL1)

2.3. Radyoaktif Bozunum Serileri

Dünyanın oluşumundan beri var olan çekirdeklere primordial (ilksel) çekirdekler (nüklidler) ve bunlar içerisinde radyoaktif olanlara da primordial radyonüklidler denir. Bu tanımlamaya göre dünyada 254 kararlı ve 35 radyoaktif primordial çekirdek bulunmaktadır. Bu radyoaktif çekirdekler incelendiğinde bozunma süreçleri bir zincir şeklinde devam eden dört radyoaktif seri keşfedilmiştir. Bu radyoaktif seriler; Toryum (^{232}Th), Neptünyum (^{237}Np), Uranyum (^{238}U) ve Aktinyum (^{235}U) serileridir. Bu seriler sırasıyla ^{232}Th , ^{237}Np , ^{238}U ve ^{235}U çekirdekleriyle başlayıp ^{208}Pb , ^{209}Bi , ^{206}Pb ve ^{207}Pb çekirdekleriyle sonlanmaktadır. Neptünyum serisinin yarı ömrü 2.25×10^5 yıldır. Bu ömür ise dünyanın yaşı (≈ 106 yıl) yanında küçük olduğundan, Neptünyum serisi doğada bulunmaz. Neptünyum serisi dışındaki serilerin bazı ortak özellikleri olduğu yapılan çalışmalarla belirlenmiştir (Arya, 1999).

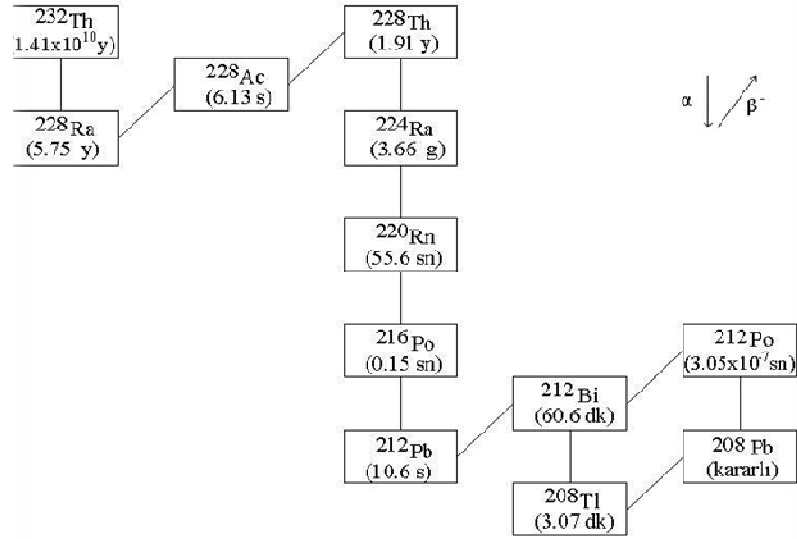
2.3.1. Doğal Seriler

Uranyum serisi: ^{238}U ile başlar. Alfa ve beta parçacıkları yayınlarak RaG denilen ve kurşunun bir izotopu olan ^{206}Pb kararlı bir atoma dönüşür. Bu serinin kütle sayıları $(4n+2)$ şeklindedir (n bir tamsayıdır).



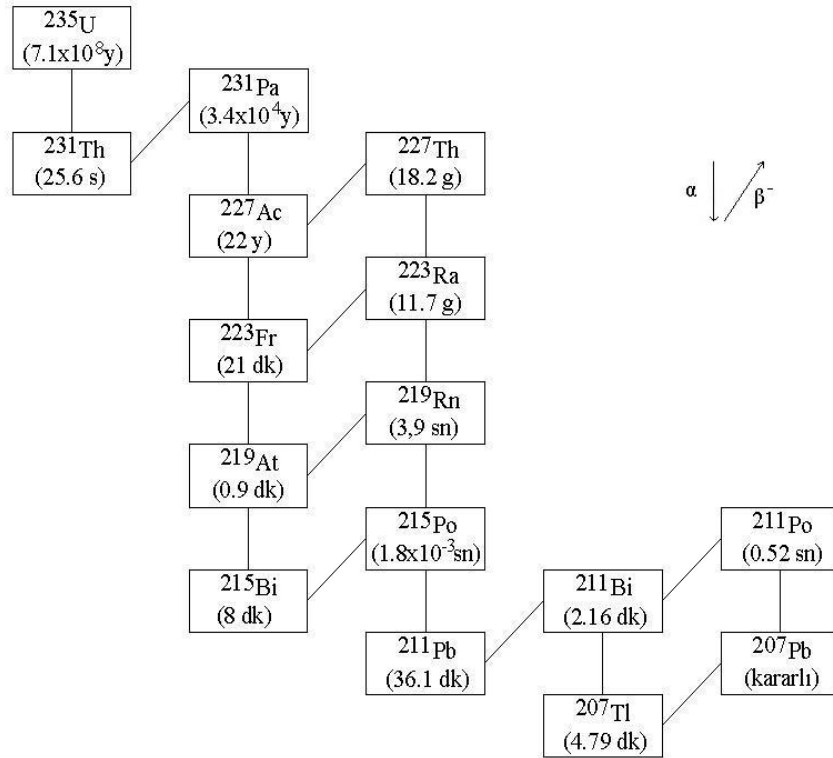
Şekil 2.1 Uranyum Serisinin Bozunum Şeması (Çelebi, 1995).

Toryum serisi: ^{232}Th ile başlar. Alfa ve beta parçacıkları yayınlaraarak ThD denilen kurşunun bir izotopu olan ^{208}Pb a dönüşür. Bu serinin kütle sayısı $(4n)$ şeklindedir.



Şekil 2. 2 Toryum Bozunum Serisi (Çelebi, 1995)

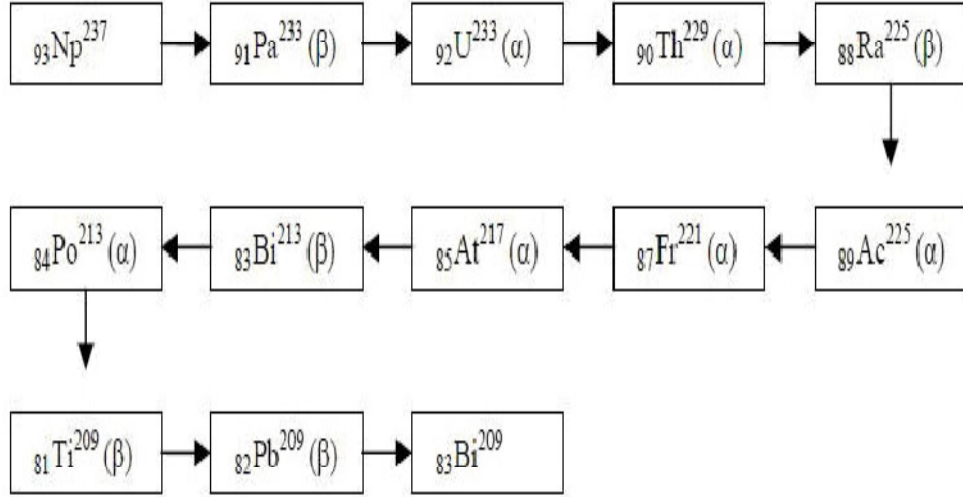
Aktinyum serisi: ${}_{92}\text{U}^{235}$ ile başlar. Alfa ve beta parçacıkları yayınlayarak AcD denilen ve kurşunun bir izotopu olan ${}_{82}\text{Pb}^{207}$ 'a dönüşür. Bu serinin kütle sayıları $(4n+3)$ şeklindedir.



Şekil 2. 3 Aktinyum Bozunma Serisi (Çelebi, 1995)

2.3.2. Yapay Seriler

Neptünyum serisi : Yapay bir seridir. Kütle sayılar $(4n+1)$ şeklindedir. Bu seri Pu^{241} ile başlar ve serinin kararlı olan son elementi ${}_{83}\text{Bi}^{209}$ dur.



Şekil 2. 4 Neptünyum Bozunma Serisi (Çelebi, 1995)

2.3.3. Potasyum

Doğal potasyumun küçük bir kısmı (% 0,12) radyoaktif ${}^{40}\text{K}$ dir. ${}^{40}\text{K}$ in bozunması, 1.461 MeV'lik gama çıkışına neden olur. ${}^{40}\text{K}$ ' in bozunumu sonucunda oluşan ürün çekirdek karardır. Yer kabuğunun % 2.6' sını oluşturması nedeni ile potasyum önemli bir elementtir. Boşluğu yaklaşık olarak 0.012 olan radyoaktif potasyumun yarı ömrü 1.26×10^9 yıl ve spesifik aktivitesi 3.3 Bq/g' dir. Bunun anlamı ${}^{40}\text{K}$ 'in her türlü koşulda konsantrasyonu sabittir ve gram başına saniyede 3.3 gama ısınımı yayınlar (Azovazi et al. , 2001).

${}^{40}\text{K}$ kararlı elementinin içinde 120 ppm oranında bulunur ve yeryüzü kabuğunun ağırlık olarak % 2.4' ünü oluşturur (TAEK, 2011).

Potasyum doğada, kireç taşında % 0.1'den bazı granitlerde %3.5'e varan oranlarda dağıtılmıştır. Kumtaşları %1 veya daha az potasyum içeriği ile orta sıralardadır. ${}^{40}\text{K}$ ' in aktivite ortalaması, bazı granitlerde, özellikle kalsiyumu düşük olanlarda ve siyanitlerde 50 pCi/g (1.85 Bq/g) aşan yoğunlukta iken, Crustal (kabuk) kayalar için, 17 pCi/g (0.63 Bq/g)'dir. Topraklar, 12pCi/g (0.44 Bq/g) civarında bir ortalama ile daha düşük konsantrasyonlara sahiptir (Barış, 2006).

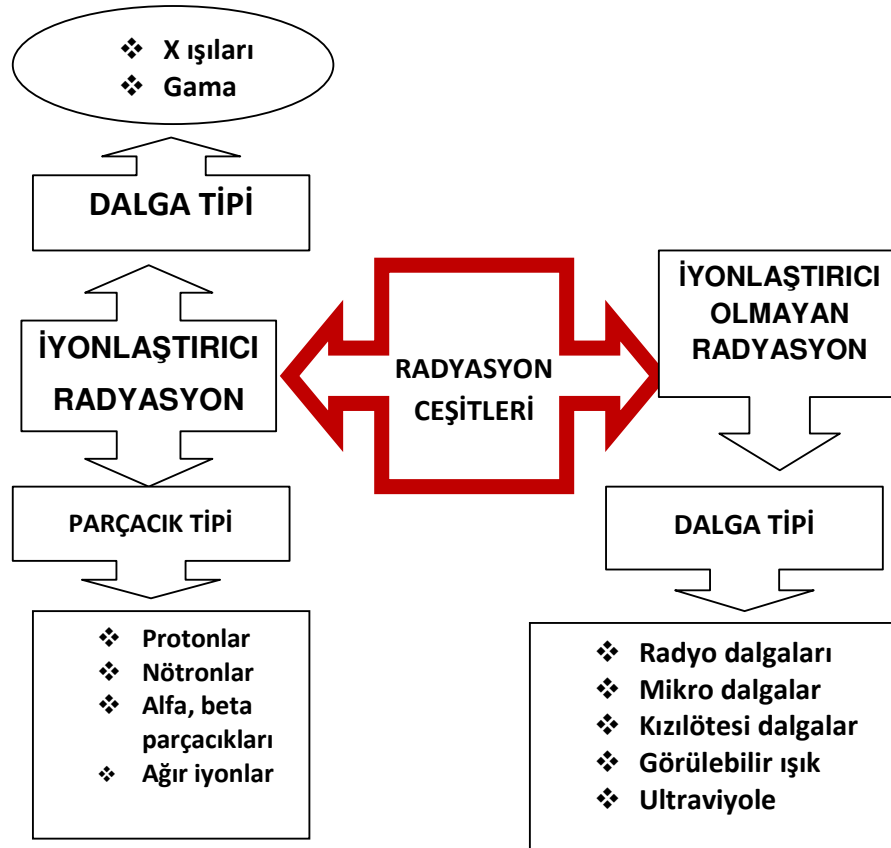
2.4. Radyasyon

Maddenin kendiliğinden veya çevreden aldığı enerji etkisiyle dış ortama saldıgı parçacık veya foton yapısındaki dalga türünde enerjiye radyasyon denir (Taşkın et al, 2009).

Radyasyon yaşamın bir parçasıdır. Isı ve ışık güneşten gelen radyasyonun doğal formudur. Bunların yanısıra mikrodalgalar, radyo dalgaları, radar, X-ışınları, gama ışınları radyasyonun diğer türleridir. Bunlar çevremizde doğal olarak bulunduğu gibi yapay olarak da elde edilmektedir. Radyasyon, madde üzerinde meydana getirdiği etkilere göre;

- İyonlaştırıcı radyasyon (X-ışınları, gama ışınları, alfa, beta radyasyonları, kozmik ışınlar, nötronlar)
- İyonlaştırıcı olmayan radyasyon (ultraviyole, kızılötesi, radyo dalgaları, mikrodalgalar) şeklinde sınıflandırılır. (URL2)

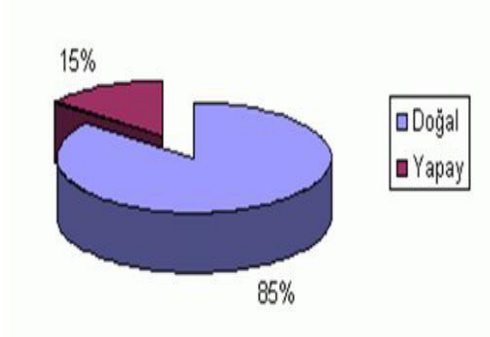
Bu sınıflandırma Şekil 2.5 de ayrıntıları ile verilmektedir.



Şekil 2. 5 Radyasyon Çeşitleri

2.5. Radyasyon Kaynakları

Radyasyon kaynakları, doğal ve yapay olmak üzere ikiye ayrılır(Şekil 2.6). Doğal radyasyon, dünya nüfusu tarafından alınan ortalama doza en büyük katkıyı sağlar.



Şekil 2. 6 Dünya Geneline Doğal Ve Yapay Radyasyon Kaynaklarından Alınan Dozların Oranları (URL3).

2.5.1. Doğal Radyasyon Kaynakları

İnsanoğlu ve diğer canlılar, milyonlarca yıldan beri evrenden gelen kozmik ışınlar ve yerkürede bulunan doğal radyoaktif maddelerden yayılan radyasyonla ışınlanmakta olup; tüm canlıların varoluşlarından bu yana sürekli olarak doğal radyasyonla iç içe yaşamaktadırlar (Değerlier, 2007).

Vücudumuza solunum ve sindirim yollarıyla, hava, su, tüm bitkisel ve hayvansal besinlerde az da olsa bulunan radyoaktif maddeler alınmakta, bunlarda zamanla çeşitli organlarda birikmektedir. Buna ek olarak kozmik ışınlardan ve yerkürede bulunan doğal radyoaktif maddelerden etkilendiğimiz de düşünüldüğünde, insan vücudu hem iç hem de dış radyasyon ışınlanmasına doğal olarak maruz kalmaktadır.(URL4)

Günümüzde, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR)'da tüm radyasyon kaynaklarından alınan dozlara ilişkin veriler düzenli olarak yayımlanmaktadır. Çizelge 2. 1' de 2008 yılında yayımlanan rapora göre dünya nüfusunun doğal radyasyon kaynaklarından aldığı yıllık ortalama dozlar görülmektedir. Çizelge 2. 1' e göre toplam doğal radyasyonun yıllık ortalaması 2.42 mSv olup, 1-13 mSv arasında değiştiği görülmektedir. Bu değer % 52.07'si Radon gazı solunumundan, % 19.83'ü ise kayaçların içinde yer alan U, Th ve K gibi radyoaktif elementlerden kaynaklanmaktadır (UNSCEAR, 2008).

Çizelge 2. 1 Doğal kaynakların sebep olduğu dünya ortalama radyasyon doz değerleri
(UNSCEAR, 2008)

Kaynak	Yıllık Ortalama Doz (mSv)	Ortalama Değişim Aralığı (mSv)	Yüzdesi (%)
Radon soluma	1.26	0.2-10	52.07
Doğal ışıınlanma	0.48	0.3-1.0	19.83
Kozmik ışıınlanma	0.39	0.3-1.0	16.12
İç ışıınlanma	0.29	0.2-0.8	11.98
Toplam	2.42	1-13	100.00

2.5.2. Yapay Radyasyon Kaynakları

Teknolojinin gelişimi, insanlığın yaşam standartlarının yükselmiş olması, sağlık alanındaki gelişmeler, enerji ihtiyacındaki artma insanoğlunun radyasyon kaynaklarını yapay yollarla üreterek kullanmasını kaçınılmaz hale getirmiştir. Nükleer santrallerle termik santraller kıyaslandığında güvenlik tedbirleri doğru uygulanmak şartıyla nükleer santrallerin üstünlüğü ortadadır. Daha az maddeyle çok fazla enerjinin üretilmesi ve doğaya salınan gazların azaltılmış olması nükleer enerji gereksinimini vazgeçilmez hale getirmektedir. Ayrıca yapılan araştırmalar doğal radyasyon kaynaklarından alınan doz miktarının yapay kaynaklardan alınan doz miktarından çok daha fazla olduğunu ortaya koymaktadır. Yapay radyasyon kaynakları kontrol altında olduğundan alınacak doz miktarının da az olduğu söylenebilir. Yapay radyasyon kaynakları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Akkurt, 2006).

- a) Nükleer güç santralleri
- b) Tıbbi uygulamalar
- c) Nükleer tıp
- d) Radyoterapi
- e) Endüstriyel uygulamalar
- f) Nükleer serpinti
- g) Tüketici ürünleri (Akkurt, 2006).

2.6. Radon Gazı

Radon gazı 86 atom numarası ile periyodik cetvelin 8A grubunda yer alan, renksiz, kokusuz, tatsız, duyu organlarıyla algılanamayan, bilinen en yoğun gazdır. Yoğunluğu havadan dokuz kat fazladır. Erime noktası 202 °K, kaynama noktası 211 °K'dir. Donma noktasından düşük sıcaklıklara soğutulduğunda parlak renkte fosforesans verir, daha düşük sıcaklıklara inildiğinde bu renk yeşile döner ve sıvı gaz sıcaklıklarına kadar soğutulduğunda ise bu renk turuncu-kırmızı halini alır. Radon kaya, toprak ve sudaki doğal uranyumun bozunma zincirinden meydana gelen alfa yayınlı gaz ürünlerinden biri olup bir miktar hava içinde yayılır. Radon'un ²²²Rn (radon), ²²⁰Rn (toron), ²¹⁹Rn (aktinon) olmak üzere üç izotopu bilinmektedir. Bunlar sırasıyla ²³⁸U, ²³²Th ve ²³⁵U'nin radyoaktif parçalanma sonucunda oluşmaktadır (Öztürk, 2012).

Toron'un yarılanma ömrü 5.56 saniye, aktinonun 3.96 saniye ve Radon'un ise 3.8 gündür. 3.8 günlük yarı ömrüyle radon, havada önemli bir konsantrasyon meydana getirmeye yetecek kadar yayılabilir. Atomik yarıçapı 1.34 Å'dur. Tek atomlu olduğu için kağıt, deri, düşük yoğunluklu plastikler, boyalar ile alçı kaplamaları, beton bloklar, ahşap kaplamalar, yalıtım malzemeleri gibi yapı malzemelerinden kolaylıkla geçebilir (Öztürk, 2012).

Radon bulunduğu coğrafi bölgenin jeolojik yapısıyla da yakından ilişkili olarak çevreye yayılım göstermektedir. Özellikle granit ve volkanik topraklar, tortul şistler önemli radon kaynaklarını oluşturmaktadır. Araştırmalarda radon konsantrasyonunun sedimanter topraklarda düşük olduğu görülmüştür. Bunun yanı sıra bazı tebeşir çökelti bölgelerinde az miktarda da olsa radona rastlamak mümkündür. Radon salınımı yapabilme özelliğine sahip yeraltı suları, doğal gazlar, kömür ve okyanuslarda da radona rastlamak mümkündür (Davutoğlu, 2008).

Havadaki yayılma hızlarının yüksek olması nedeni ile Radon ve ürünlerine atmosferin her yerinde rastlanmaktadır. Bu olgu bize radon konsantrasyonlarının yüksek olduğu bölgelerde olası uranyum madenlerinin rezervinin de bulunduğu ipuçlarını vermektedir (Güleç, 1997).

2.6.1. Havada Radon

Havada bulunan radon ve toron havadaki taneciklere tutunarak yeryüzüne yağışla ya da kuru serpintilerle inerek besinler yoluyla, ya da doğrudan insanı ıslamaktadırlar (Atakan, 2006).

Radonun atmosfere yayılması iki şekilde olmaktadır. Radon topraktan moleküler difüzyon veya konveksiyonla sızarak yerden havaya doğru hareket etmekte ve atmosfere ulaşmaktadır. Ancak bir kısmı yüzey altında kalıp, suda çözünerek yeraltı sularına karışmaktadır. Difüzyon mekanizması topraktaki ve yapı malzemelerindeki radyum konsantrasyonuna ile difüzyon katsayısına bağlıdır. Birçok dış faktör radonun difüzyonunu etkileyebileceği gibi solunumla vücuda alınma oranını da etkilemektedir. Bu dış faktörlerden; yağmur yağışı, kar yağışı, havanın soğuk olması ve yükselti (atmosfer basıncı) solunma oranını düşürürken, rüzgar hızı ve sıcaklığın artması bu solunma oranını artırmaktadır (Çelebi, 1995).

2.6.2. Toprakta Radon

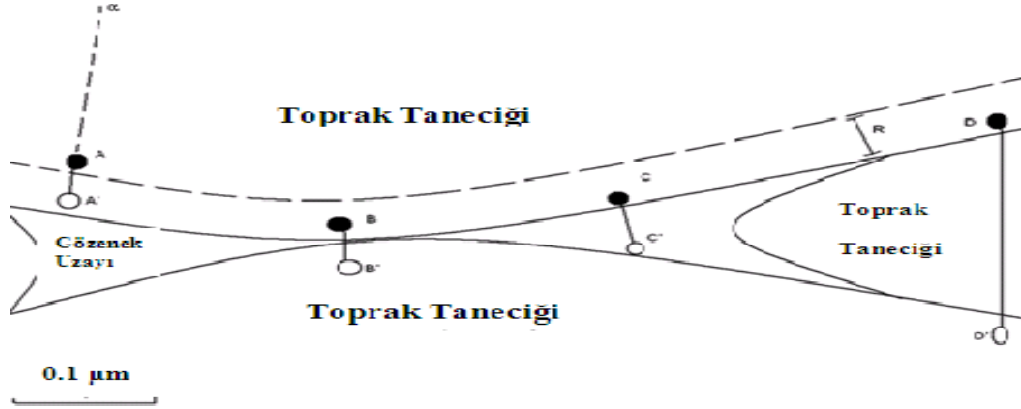
Uranyum bozunum serisinde Radyumun (^{226}Ra) bozunumu sonucu oluşan radon, göreceli kısa yarı ömrü süresince yerkabuğundan/topraktan atmosfere doğru göç etmektedir. Bununla birlikte bozunumla oluşan radon atomlarının yalnızca belirli bir kısmı olduğu katı materyalden ayrılarak gözenek hacmi içine girebilmektedir. Oluştugu katı materyalden kaçarak gözenek hacmi içine giren radon atomlarının kesri emanasyon gücü, emanasyon katsayısı veya emanasyon kesri olarak adlandırılmaktadır (Şekil 2.7). Radon emanasyon

katsayısı yapılan çalışmalarda 0.02 ile 0.70 arasında değişen değerlerde tespit edilmiştir (Tabar, 2010).

Gözenek içine giren radonun atmosfere göçü üç mekanizma ile sağlanmaktadır. Bu mekanizmalar moleküler difüzyon, konveksiyon ve transport olarak adlandırılır. Difüzyon en basit mekanizmadır ve radonun difüzyon ile göçü kısa yarı ömrü nedeniyle birkaç metre ile sınırlıdır. İkinci mekanizma konveksiyon ise viskozite, porozite ve geçirgenlik (permability) gibi parametrelere bağlı olarak toprak içerisinde oluşabilecek termal gradient olarak tanımlanır. Üçüncü mekanizma ise CO₂, H₂, SO₂ ve H₂S gibi gaz taşıyıcılarla radonun hareketi olarak tanımlanır (Giammanco et al. , 2009).

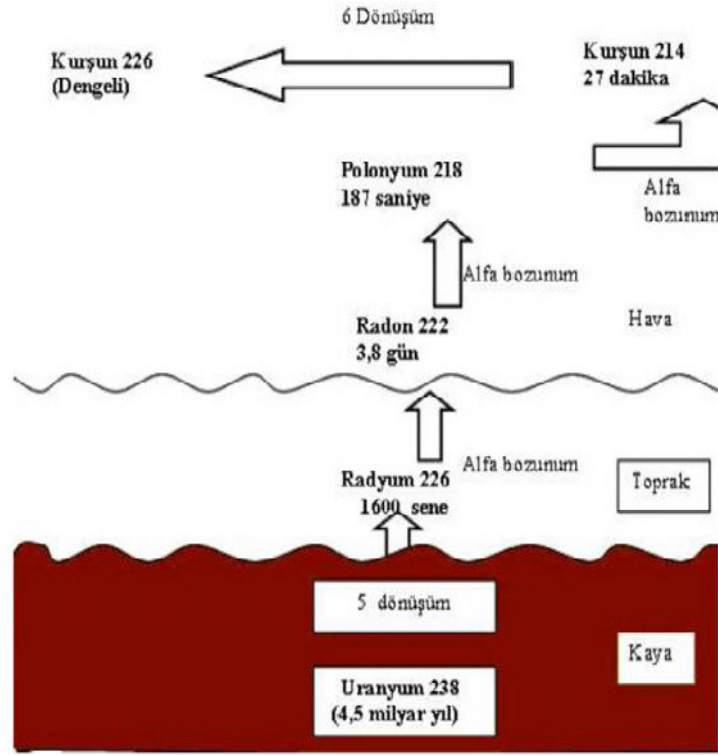
Bazı kaynaklarda ise radon göçünün difüzyon ve adveksiyon olmak üzere iki yolla meydana geldiği tarif edilmiştir (Abumurad et al. , 2001).

Her iki tanımlamada da radonun difüzyon ile kat edebileceği mesafe 1-1.5 metre arasında hesaplanmıştır. Dolayısıyla radonun daha derinlerden atmosfere doğru olan hareketi difüzyon dışındaki mekanizmalar ile gerçekleşmektedir (İçhedef, 2011).



Şekil 2.7 Radonun Oluşumu Ve Gözenek Uzayına Geçişi (İçhedef, 2011)

Radon yeryüzüne topraktaki radyumun bozunmasıyla açığa çıkar. Atmosfer basıncın düşmesi aynı zamanda toprak havasından da basıncın düşmesine neden olur. Bu da radon göçünü artırır. Yağışlı havalarda yüzey deki topraklar nemlendiğinden toprak gözenekleri kapanır. Radonun yukarı doğru difüzyon yoluyla geçmesi zorlaşır ve toprak yüzeyindeki radon yoğunluğunun azalmasına neden olur. Sıcaklık yükselmesi toprağın kurumasına ve gözeneklerin çoğalmasına neden olduğundan, radonun topraktan kaçması kolaylaşmaktadır. Radon konsantrasyonunun mevsimsel değişimi deniz seviyesinden yüksekliğe göre farklılıklar göstermektedir. Dağlık bölgelerde, sıcaklık ve rüzgar değişimine bağlı olarak konsantrasyonda dalgalanmalar gözlenmektedir (Kam, 2004).



Şekil 2.8 Radon Bozunma Şeması (Topçu, 2010)

2.6.3. Sularda Radon

Yer kabuğunun katı materyali ya da toprak parçacıklarında meydana gelen radon atomunun çoğu radon atomu yine bu zerreler içinde gömülü kalmaktadır. Oluşan radon atomlarının bazı kaynaklara göre sadece % 10 ila % 50 (15) bazı kaynaklara göre de sadece % 20 ile % 70 oranındaki kısmı gözeneklere çıkabilmektedir. Gözenek uzayına geçen radon atomlarının hareketi gözenek uzayının su ile dolu olup olmamasına göre değişmektedir. Radon sulara kolayca çözünabilmektedir. Yüzey ve yer altı suları, az miktarlarda bile Radyum içeren toprak ve kayalarla etkileşime girdiğinde bünyelerinde bir miktar Radon barındırırlar. Radon gazı, kayalar ve topraklar arasından atmosfere yayılmakta ve böylece atmosfer içinde yaklaşık 0.1 pCi/litrelik bir ortalama radon konsantrasyonu bulunmaktadır. Yer kabuğundaki kayalarda bulunan Radon ya doğrudan gaz olarak ya da yeraltı suyundan çözünerek yeryüzüne ulaşmaktadır (Özmen, 1995).

Yer altı Uranyum yataklarının keşfinde yapılan çalışmalar genellikle kuyu ve kaynak sularında Radon yoğunluğu ölçerek gerçekleştirilir. Bunun sebebi bu suların kaynağının, yeraltı, akarsular sistemi olması ve bu akarsu sisteminin de kollarının uranyum yataklarından geçme ihtimalinin yüksek olmasıdır. Eğer uranyum yatağından geçen bir kol varsa yatağı yıkayan sulara uranyum ve radyum çözünür ve tabii ki radon gazı çıkışı gözlenir. Bu yüzden kaynak sularının çıkış noktalarında radon gazı yoğunluğu artar. Radon miktarının termal sular söz konusu olduğunda ise daha fazla olduğu gözlenmiştir. Bunun en önemli sebepleri termal suların sıcak olmaları, geçtikleri yerlerde daha fazla minerali, dolayısıyla uranyum

tuzunu çözebilmeleri ve yerin daha derin noktalarından yeryüzüne çıkıyor olmalarıdır. Evlerde kullanılan musluk suları da tüm arındırma işlemlerine rağmen belirli bir miktar radon içermektedir. Bu miktar ev suyunun alındığı kaynağa ve ne kadar arıtıldığına bağlıdır (Akkurt, 2006).

2.6.4. Bina İçi Radon

Evlerde radon gazı ölçümü ilk defa 1956 yılında İsveç'te yapılmıştır. Radon kapalı ortamda çevreye yayıldığında giderek miktarı artar, bu sebepten dolayı düşük dozlarda olsa bile etkisi açısından tehlikeli olabilmektedir. Çevremizde ve toprak tabanda bol miktarda bulunmaktadır. Evlerde bulunan radonun büyük çoğunluğu evin yapıldığı yerdeki topraktan gelmektedir. Eğer zemin topraksa, radon kolayca sızabilmekte, çimento ise radon zamanla oluşan çatlaklardan sızmaktadır. Ayrıca su boruları, tesisattaki duvar arası boşluklar radonun sızmasını kolaylaştırır (Durak, 2010).

Eğer radyoaktif materyalden yapılmışsa duvardan da radon yayılabilmektedir. Özellikle volkanik kayaların kullanıldığı inşaat malzemeleri eğer radon içermekte ise musluk suyu da evlerde bulunan radonun kaynağını oluşturabilmektedir (Durak, 2010).

Radon gazı kapalı ortamlara:

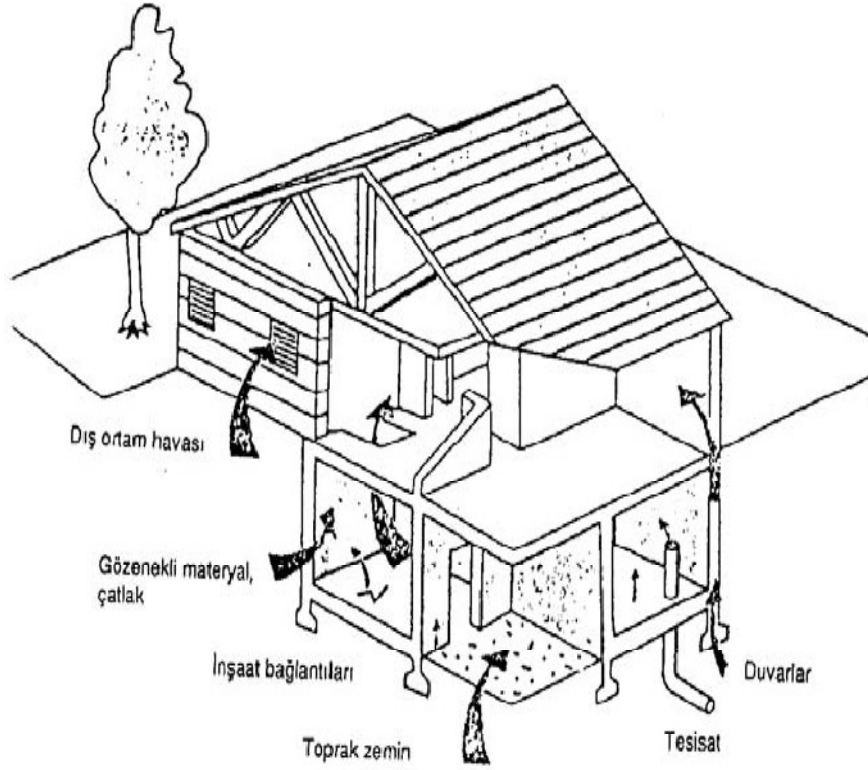
- a) Toprak ve kayalardan evlerin zemin katlarına
- b) Yeraltı sularında eriyerek kuyular aracılığıyla
- c) Radonlu materyalden yapılmış briket vb. malzeme kullanıldığında

evlere girmektedir (Durak, 2010).

Binalar bir bakıma dışarıdan gelen radyasyonu (kozmetik ışınlar, karasal radyasyon vb.) kısmen durdurmasına rağmen, esas yapı malzemesi toprak olduğu için bina içi radyasyon düzeyi daha yüksek olabilir (Topçu, 2010).

- Topraktaki ve yapı malzemelerindeki ²²⁶Ra miktarı
- Toprak ve yapı malzemelerinin nem oranı
- Toprak ve yapı malzemelerinde yayılma (difüzyon) potansiyeli
- Toprakla temasta olan yapının yüzey alanı ve izolasyon niteliği
- Bina zemini
- Binadaki havalandırma kapasitesi
- İklim koşulları
- İç-dış hava sıcaklık ve basınç farkı (Nikolaev et al. , 1998).

Sağlam çimento duvarlardan radonun yayılımında başlıca mekanizma difüzyondur. Evin içerisine sızan radon havadan ağır olmasından dolayı evde yerden genellikle 50 cm yükseklikte kalmaktadır. Evde özel bir mekanizma yoksa evin içindeki basınç dışarıdaki basınçtan genelde biraz daha düşük olacağından otürü kapalı ortamdaki hava binada kalma eğilimindedir. Ancak yapım sırasında doğal havalandırma mekanizmalarının kurulması ve yeterince havalandırma yapılması ile bu durumların önüne geçilebilir (Durak, 2010).



Şekil 2.9 Kapalı Ortamlara Radonun Girişi (Bozkurt et al. , 2007)

Çizelge 2.2 'de çeşitli ülkeler ve uluslar arası kuruluşlar tarafından benimsenen kapalı ortamlar için müsaade edilebilir radon konsantrasyonları verilmektedir (Bozkurt et al. , 2007).

Çizelge 2.2 Radon Konsantrasyon Limitleri (Bq/m^3) (UNSCEAR, 2000)

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

* Avrupa Birliği

** Uluslar arası Radyasyon Korunma Komitesi

*** Dünya Sağlık Örgütü

2.6.5. Radon Ölçme Yöntemleri

Radon ve ürünlerini ölçmek için çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bunlardan bazıları:

1. İyonizasyon odası
2. Filtre yöntemi
3. Kollektör yöntemi
4. Lucas Hücresi
5. İz kazıma yöntemi(Akdoğan, 2010)

Bu çalışmada, CR-39 ile iz kazıma yöntemini kullanarak radon ölçümü yapılmıştır.

➤ İz Kazıma Yöntemi Kullanılarak Radon Ölçümü

Radyonüklidlerin yayınladıkları alfa tanecikleri bazı maddeler ve özellikle plastik filmler üzerinde etkilidirler. Alfa taneciği bu filmlere çarptığı zaman onun yapısında bir hasar oluşturur. Bu hasar film üzerinde normal mikroskop altında görülemeyecek kadar küçük çukurlar seklindedir. Bu olaya maruz kalmış bir film laboratuvarında belirli şartlar altında kimyasal işleme tabi tutulursa alfa taneciğinin oluşturduğu izler normal mikroskop altında görülebilir hale gelir. Bu işlemlerden dolayı bu ölçüm sistemine iz kazıma tekniği adı verilmiştir. İz kazıma filmleri genelde üzerine gelen alfa parçacığının sayısını verir. Ve bu olay alfa taneciğinin kendine özel bir durumudur. Çünkü filmler diğer radyasyon türlerine karşı duyarlı değildirler (Akdoğan, 2010).

➤ CR-39 İz Kazıma Filmlerinin Yapısı ve Özellikleri

Alfa iz kazıma filmleri yine organik özellik gösteren mika, kuartz, cam vb. ile organik özellik gösteren selüloz asetat, selüloz nitrat, polikarbonat ve polietilen maddelerden yapılabilirler. Bu filmler diğer elektromanyetik ışınlardan etkilenmezler. Elektronlara karşı duyarsızdırlar. Filmin bulunduğu ortamda gama veya x-ışınları bulursa bile yine de kullanılabilirler. CR-39 filmleri polikarbonat yapıdadır (Akdoğan, 2010).

2.6.6. Radonun İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri

İnsan sağlığını tehdit eden en önemli tehlikelerden biri kapalı alanlarda hava kirliliğine yol açan radon gazıdır. Buna göre radon uzun vadede uzun süre bulunduğu takdirde kansere neden olmaktadır. Esasında az miktarda radyasyona dayanıklı olan insan vücudu doz artışında dayanıklılığını kaybetmektedir. Akciğerin en küçük dokularına nüfuz eden radyoaktif partiküller alveollere zarar verebilmektedir. Akciğer kanseri üzerinde yapılan araştırmalarda uranyum madencilerinin bu hastalığa yakalanma riskinin yüksek olduğu görülmüştür. Radyasyonun en büyük zararı insanın genetik maddesi olan DNA (deoksiribonükleik asit) molekülünde mutasyona neden olmasıdır. Üreme hücrelerinde meydana gelen DNA mutasyonları gelecek nesillere de aktarılabildiğinden nesiller boyu çeşitli hastalıklara neden olabilmektedir. Bunun en açık örneği Hiroshima ve Nagasaki'ye

atılan atom bombalarının radyasyon etkisinden etkilenmiş bireylerin çocuklarında da bu mutasyonların kendisini göstermesidir (Akdoğan, 2010).

Radon gazı topraktan havaya kolaylıkla sızar ve alfa parçacıklarını yayar. Bu parçacıklar elektrik yüklüdür ve havadaki toz ve diğer parçacıklara yapışır ve soluk almamızla birlikte alfa parçacıkları solunum yollarımıza yerleşebilir ve DNA yapımıza zarar vererek akciğer kanserine yol açabilir (Özderya, 2009).

Radon kaynaklı akciğer kanseri daha çok sigara içenler arasında gözükmektedir. Son araştırmalar göstermiştir ki, 75 yaşına kadar sigara içmeyenlerin 100 Bq/m³'lük radon konsantrasyonuna maruz kaldıkları takdirde akciğer kanserine yakalanma risklerinin bu oranda radona maruz kalmayanlara göre 1000'de 1 arttığı gözlenmiştir. Aynı radyasyon oranına maruz kalan sigara içen kişilerde ise akciğer kanserine yakalanma oranının 25 kat daha fazla olduğu tespit edilmiştir (WHO, 2002).

1984 yılında Türkiye Atom Enerji Kurumu Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi Sağlık Fiziği Bölümü'nce başlatılan 'Türkiye'de Ev İçi Radon Ölçümü Projesi' kapsamında ev içi radon gazı konsantrasyonları henüz yeterince ölçülmemiş olduğundan hem radon gazı düzeyinin mevsimsel değişimini hem de bölgesel değişimini incelemek üzere çalışmalar yapılmış olup halen bu çalışmalar sürdürülmektedir (Taşkın, 2006).

3. BÖLGENİN JEOLJİK YAPISI

Menderes (Saruhan-Menteşe) masifinin bir parçası olan Demirci ve çevresindeki Paleozoik yaşlı metamorfik kayalara, Mesazoik kireç taşı ve yaygın olarak Neojen depolara rastlanmaktadır. Ayrıca geniş saha kaplayan andezit, Kuzey-doğuda dasit, trakit, riolit gibi volkanik kütlelerde bulunmaktadır (URL 5).

Menderes masifinin çekirdek kısmına ait olan gnayslar masifin bir uzantısı olan Demirci yöresinde de görülür. Nitekim Demirci-Simav dağlarının esas yapısını gnayslar oluşturmaktadır. Kütlelerin özellikle zirve kısmını oluşturan gnayslar Doğu-Batı istikametinde yer yer daralıp genişleyerek Türkmen dağı zirvelerinde Bardakçı köyü civarında son bulur. Aynı gnays kuşağı Demirci'nin sınırını teşkil eden Batısındaki bir hat boyunca Güneye devam eder. Gnaysların yaygın halde bulunduğu bir diğer sahada NE-SW uzanışlı faylarında bulunduğu bir hat boyunca İsmailler köyü Kuzeyinden başlayarak Marmaracık, Karaisalar, Ahmetler ve Üşümüş köyleri ile buradan Güneye uzanan sahaları içine almaktadır. Kılavuzlar köyü ile Hırkalı-Bayramşah köyleri doğusunda granitler gözlenir (URL 5).

Bölgenin coğrafi görünümü de Şekil 3.1 'de verilmektedir.



Şekil 3.1. Demirci ve Civar Köyleri Gösteren Uydu Haritası(URL 5) (URL6)

Gnayslar dahilinde kuşaklar ve ayrı bantlar halinde ortaya çıkan şişmeler Demircinin doğu kesiminde ve Demirci-Simav Dağı'nın güney eteklerine doğru yaygınlık kazanırlar. Neojen saha Demirci'nin Kuzey, Kuzeydoğu ve Güney-Batısında geniş sahalar kaplamaktadır. Genel olarak karasal yeni göl çökellerinden oluşan Neojen formasyonu marn, killi kireç taşı,

silisli-çörtlü ve kum taşı tabakalarının ardalanmasından ibarettir. Ayrıca sahanın Kuzeydoğu kısmında volkano sedimenter Neojen örtülerine de rastlanır. Demirci yerleşim alanı tamamen Neojen'e ait marnlardan oluşan bir zemin üzerine kurulmuştur. Yer yer traversenimsi kireç taşı, konglomera, kumtaşı ve silisli tabakalardan oluşan Neojen'i de görmek mümkündür. Kireç taşı tabakaları arasında kil ara katkıları da görülür. Batı ve Güneybatı sahalarda kireç taşlarının temelinde tabakalı, sert yapılı yeşil renkli killerde bulunur. Demirci Neojen havzası özellikle Batısında Karaköy deresinin de içinde aktığı havzanın Kuzeyi ile bu sahanın Serke Deresi ile birleştiği alanlarda kum taşı, marn, kireç taşı ve konglomeralar görülür (URL 5).

Demirci havzasında volkanik kayalarda oldukça yaygınlık göstermektedir. Bu volkanikler arasında başta andezit olmak üzere dasit, trakit, riyolit ve graniti sayabiliriz. Bunlar genellikle dislokasyon hatları boyunca meydana gelmişlerdir. Granitler dışında diğer intrüzyonlar topografya üzerinde diklikler şeklinde kendilerini belirtmektedirler. Nitekim Demirci yöresindeki andezitlerden oluşan Asi tepenin yüksekliği 1535 m. dir (URL 5).

4. MATERYAL VE METOD

4.1. Toprak Örneklerinde Yapılan Çalışmalar

4.1.1. Gama Spektrometresi İle Radyoaktivite (^{40}K , ^{238}U ve ^{232}Th) Tayini

Manisa-Demirci ilçesi ve çevre yerleşim beldelerden toplanan toprak örnekleri, yüzeyden yaklaşık 5-10 cm derinlikten alınmıştır. TAEK-Doz Rate-Meter ile yerden yaklaşık 1m yukarıdan yüzey gama ölçümleri yapılmıştır. Alınan toprak örnekleri naylon poşetlere konularak laboratuvara getirildi. Toprak örnekleri elendikten sonra fırında 105 °C'de 1 gün süreyle kurutuldu. Kurutma işleminden sonra her bir örneğin 100 gramı tartılıp, yüksekliği 6.5 cm, eni 4.5 cm genişliği 3.5 cm olan plastik kutulara yerleştirildi ve radonun kaçmaması için kutular sıkıca yapışkanla kapatıldı. Örnekler içindeki radyum ve ürünleri arasındaki radyoaktif dengenin oluşması için 30 gün beklendi. NaI(Tl) dedektörü kullanılarak bekleme sonunda örneklerin toplam gama sayımları ve ayrıca çok kanallı analizörde ^{40}K , ^{238}U ve ^{232}Th ait (sırasıyla 1.46 MeV, 1.76 MeV ve 2.61 MeV) enerjilerine karşılık gelen gama piklerinin altındaki alanlardan gidilerek elementlere ait gama sayımları ppm olarak elde edilmiştir.

Toprak örnekleri içinde ^{40}K , ^{238}U ve ^{232}Th değişik konsantrasyonlarda ve birlikte bulunurlar. Alınan spektruma bu üç elementten de katkı gelmektedir. Bu katkılar ve konsantrasyonlar belirli formüllerle tayin edilmektedir (Gür, 1999).

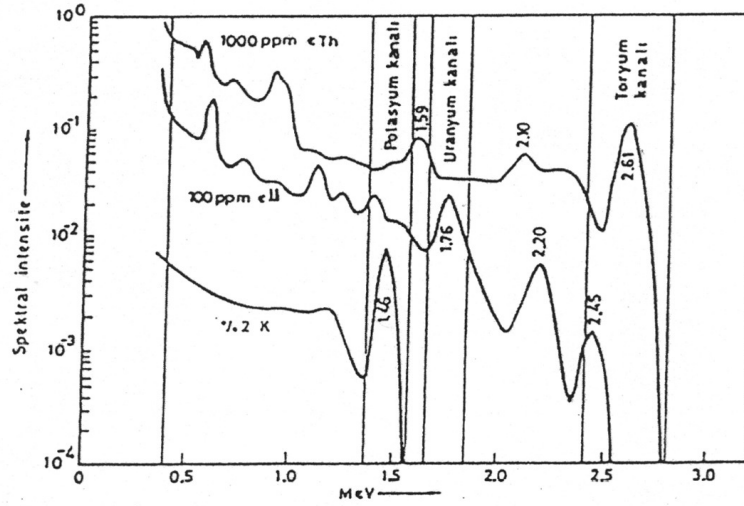
Potasyum spektrumu, tek enerjili gama kaynağına karşı NaI (TI) dedektörünün tipik bir cevabıdır. ^{40}K pikinin enerjisi 1.461 MeV gama ışınının compton saçılması yapmasından ileri gelmektedir. Uranyum spektrumu, çok sayıdaki değişik gama enerjili ürün radyonüklidlerden dolayı potasyuma nazaran daha komplekstir. Spektrumda ^{214}Bi 'den gelen 1.76 MeV enerjili gama piki, örnek içindeki ^{238}U 'i tespit etmek için kullanılır. Toryum spektrumunda, ürün radyonüklidlerin bozunmasıyla oluşan birçok gama ışını pikine sahiptir. Bunların en önemlisi ^{208}Tl 'dir. Bu pik, ^{232}Th 'i tespit etmek için kullanılır. Toprak örneklerinde ^{40}K , ^{238}U ve ^{232}Th tayini yapmak için spektrumlarda bu anlattığımız gama enerjilerine karşılık gelen enerji aralıkları seçilir. Seçilen enerji aralığına düşen net sayımdan dolayı, örnek konsantrasyonunu hesaplamak için o enerji aralığına diğer elementlerden gelen gama ışınlarının katkısının çıkarılması gerekir (Aközcan, 2002).

Toryum Kanalı: Toryum için seçilen kanallardaki sayımların %86 sı toryumdan, %2 si uranyumdan, geri kalanda art ortamdan gelmektedir. Şekil 4.1.'deki gibi uranyum spektrumundaki ^{214}Bi 'ün 1.76 MeV enerjili gama pikinden bu kanala küçük bir katkı gelir.

Uranyum Kanalı: Spektrumda uranyum için seçilen kanallara toryumdan ihmal edilmeyecek katkılar gelir. Toryum serisinden ^{208}Tl 'in 2.614 MeV enerjili gamasından kaynaklanan tek kaçak pik 2.10 meV'de ve çift kaçak pik 1.59 MeV'de oluşur. Uranyumu saptamakta kullanılan 1.76 MeV gama enerjisine sahip pik, bu iki enerji arasındadır (Şekil 4.1). Bunlardan başka toryum serisinde ^{228}Ac 'in 1.588 MeV enerjili gaması da uranyum kanalındaki sayımlara katkıda bulunur. Bu yüzden, uranyum kanallarındaki sayımlar uranyum konsantrasyonu hesabında doğrudan kullanılmazlar.

Potasyum Kanalı: Bu kanaldaki sayımların çoğu art ortamdan kaynaklanmaktadır. Sistemin bulunduğu yerdeki ortamdan, bu kanala gelen katkılar %65 dolayındadır. Toryum ve uranyumdan gelen katkılar %15-20 arasındadır. Bu kanallardaki sayımlarda doğrudan konsantrasyon hesabında kullanılmaz.

Potasyum, uranyum, toryum konsantrasyonlarını saptamak için seçilen kanallardaki katkıları uygun faktörlerle çıkarmak gerekir. Bu katkı oranlarını geometriye ve spektrometrenin çeşitli ayarlarına bağlı olarak veren faktörlere 'Sıyırma' (Stripping) oranları denir. Net sayımlardan %K, ppm eU, ppm eTh olarak konsantrasyona geçmeyi sağlayan faktörlere de 'Duyarlılık' faktörleri denir (Aközcan, 2002).



Şekil 4.1 Potasyum, Uranyum ve Toryum Kanallarına Gelen Katkılar (Atakan, 2006)

Duyarlılık Faktörleri:

$$K_1 = C (Th) / Th (ppm)$$

C (Th): Toryum kanalındaki net sayım.

Th (ppm): Hazırlanan standart kaynağın ppm olarak değeri.

$$K_2 = C (U) / U (ppm)$$

C (U): Uranyum kanalındaki net sayım.

U (ppm): Hazırlanan standart kaynağın ppm olarak değeri.

$$K_3 = C (K) / \%K$$

C (K): Potasyum kanalındaki net sayım.

%K: % olarak potasyum miktarı.

Sıyırma Oranları:

$$\alpha = \text{Toryumdan Uranyuma gelen katkı} / \text{Toryum net sayımı}$$

β = Toryumdan Potasyuma gelen katkı / Toryum net sayımı

γ = Uranyumdan Potasyuma gelen katkı / Uranyum net sayımı

Hazırlanan uygun standartlar ile duyarlılık faktörleri ve sıyırma oranları saptandıktan sonra, örnek içindeki konsantrasyonlar aşağıdaki eşitlikler tarafından bulunur.

$$eTh(ppm) = \frac{C(Th)}{K_1} \quad (4.1)$$

$$eU(ppm) = \frac{[C(U) - \alpha.C(Th)]}{K_2} \quad (4.2)$$

$$\%K = \frac{[C(K) - \gamma.[C(U) - \alpha.C(Th)] - \beta.C(Th)]}{K_3} \quad (4.3)$$

Bu çalışmada, enstitümüzde daha önceden hazırlanmış olan potasyum % 52.45'lik, uranyum 118 ppm'lik, toryum 600 ppm'lik standartlar kullanıldı. Ayrıca ortam içinde hazırlanmış bir standart kullanıldı.

Ayrıca farklı radyonüklidler içeren malzemelerin spesifik radyoaktivitelerini karşılaştırmak için sık sık eşdeğer radyum aktivitesi denen yaygın bir indeks kullanılır. Radyum eşdeğer aktivitesi ise aşağıdaki eşitlikten hesaplanır.

$$Ra_{eq} = A_{Ra} + 1.43 A_{Th} + 0.077 A_K \text{ (Amrani et al. , 2001)}$$

Burada, A_{Ra} , A_{Th} ve A_K ; sırasıyla ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K 'in aktivite konsantrasyonlarıdır. Burada 1Bqkg⁻¹'lık ^{238}U , 0,7Bqkg⁻¹'lık ^{232}Th ve 13Bqkg⁻¹'lık ^{40}K aynı gama doz oranlarını verir.

$$Hex = A_{Ra} / 370 + A_{Th} / 260 + A_K / 4810 \leq 1 \text{ olması istenir (Amrani et al. , 2001).}$$

Bu radyum eşdeğer tanımı, standart bir odanın bina elementlerindeki 4810Bqkg⁻¹'lık ^{40}K ya da 370Bqkg⁻¹'lık ^{226}Ra ya da 260Bqkg⁻¹'lık ^{232}Th konsantrasyonunun odada yaşayanlara aynı maruziyeti vereceği varsayımına dayanır.

4.1.2. CR-39 Nükleer İz Kazıma dedektörleri ile Radon Konsantrasyonu, Radon Solunma Hızı ve Efektif Radyum Ölçümü

Demirci merkez ve çevre köylerinden 40 adet toprak örneği toplanmıştır. Bu örnekler 50°C'de kurutulduktan sonra öğütüldü 100 gram tartılıp, çapı 5.5cm boyu 15cm olan plastik şişelere konulmuştur. Plastik kutuların üst kısmına CR-39 filmler yerleştirilmiş, kutular sıkıca kapatılmış ve 40 gün bekletilmiştir. Açılan CR-39 filmler, 70 °C sıcaklıkta %20 NaOH çözeltisi içinde 10 saat süre ile banyo edilip aşınma işlemine tabi tutulmuştur. 10 saatlik süre sonunda alınan filmler oda sıcaklığında destile su ile 20 dakika boyunca durulanmış ve temiz bir

ortamda kurumaya bırakılmıştır. Filmler üzerindeki izlerin sayımı 10 x 10 büyütmeli optik mikroskopla yapılmıştır. Detektör üzerindeki zayıf sayım istatistiğinden kaçınmak için rutin olarak 1 cm²'lik detektör alanı sayılmıştır. Bir cm²'yi 100 mm²'ye bölen özel ölçekle mm²'deki iz sayıları toplanıp, ortalaması alınmıştır. iz/mm².saat olarak bulunan iz değerleri aşağıdaki uygun kalibrasyon faktörü kullanılarak Bq/m³'e dönüştürülmüştür.

$$1 \text{ iz/mm}^2 \cdot \text{saat} = 5 \text{ kBq/m}^3 \quad (4.4)$$

Alan başına radon soluma hızını hesaplayabilmek için Ching-Jiang Chent ve arkadaşları tarafından geliştirilen (4.5) eşitliği kullanılarak radon soluması hesaplanmıştır (Maged et al. , 1997).

$$E = \frac{CtV\lambda}{S \left[t - \frac{(1 - e^{-\lambda t})}{\lambda} \right]} \quad (4.5)$$

Burada :

E: toprakların ortalama radon soluma hızı (Bq/m²saat)

C: CR-39 nükleer iz kazıma dedektörü ile ölçülen ortalama radon konsantrasyonu (Bq/m³)

t: maruziyet süresi (30gün=720 saat)

V: boş kap hacmi (m³) =330ml= 0,00033m³

λ: radon bozunum sabiti (λ=0.693/T_{1/2})

S: radonun yayıldığı yüzey alanı (m²)

Toprak örneklerindeki efektif radyum içeriği,

$$C_{Ra} = \frac{\rho.V}{\eta.M.T_{eff}} \quad (4.6)$$

kullanılarak hesaplanmıştır (Baykara, 2005). Burada ρ, CR-39 dedektörü ile ölçülen iz yoğunluğu; V, örnek kabının hacmi, η, dedeksiyon verimliliği; M, örneğin kütlesi (kg); T_{eff}, efektif maruz kalmadır (T_{eff} = T+1/λ (e^{-λT} -1)).

4.2. Su Örneklerinde Yapılan Çalışmalar

4.2.1.pH, İletkenlik, mV, Tuzluluk ve Alkalite Ölçümü

Arazi çalışmasında akan çeşmelerden alınan 17 su örneğinin pH, iletkenlik, mV ve tuzluluk ölçümleri WTW marka Multi 340i/SET ile yapıldı.

Su örneklerinin alkalite ölçümü için 17 su örneğinden 50 mL alınıp üzerine 3-4 damla fenolftalain (FF) damlatıldı. Renk pembe olduğunda, örneğin rengi kaybolana kadar 0.02 N H₂SO₄ ile titre edildi. Ne kadar sarfiyat yapıldığı kaydedildi. Sonra su örneğinin üzerine 3-4 damla metil oranj (MO) ilave edildi. Renk sarıdan kırmızıya dönene kadar 0.02 N H₂SO₄ ile

titre edildi. Sarfiyatın ne kadar olduğu kaydedildi. Aşağıdaki formül kullanılarak su örneklerinin alkalitesi hesaplandı (Abalı ve diğ. , 2002).

$$\text{Toplam Alkalite (CaCO}_3\text{) (ppm)} = \frac{N \times S \times 50 \times 1000}{\text{Örnek (mL)}} \quad (4.7)$$

N: Asidin normalitesi

S: Toplam sarfiyat

50: CaCO₃'ün ekivalent gramı

Örnek (mL): kullanılan su örneği.

Su örneklerinin kimyasal ölçümleri tamamlandıktan sonra su örneklerinin diğer deneylere hazır hale gelmesi için asitlendirildi ve pH 2'ye düşürüldü (Çam, 2011).

4.2.2. CR-39 Nükleer İz Kazıma Dedektörleri ile Radon Konsantrasyonu, Radon Soluma Hızı Ve Efektif Radyum Ölçümü

Arazi çalışması ile toplanan 17 su örneğindeki radon konsantrasyonunu ölçmek için CR-39 nükleer iz kazıma dedektörleri kullanıldı. Su örneklerinden 500 ml alınarak yarıçapı 4.5 cm ve uzunluğu 20 cm olan plastik şişelere koyuldu(Şekil4.4) Radon ve ürünlerinin radyoaktif dengeye ulaşabilmesi için bir aydan daha fazla süre şişenin sıkıca kapalı tutulması gerekir. Böylece radon gazının, şişe hacmi içerisinde tutulması ve ayrıca radon ürünlerinin örnek içinde kalması sağlanmış olacaktır. CR-39 polikarbonat filmler 1x1 cm boyutunda kesilip, Özel hazırlanmış 1 litrelik plastik şişelerin ağız kısmında olacak şekilde sıkıca kapatıldı ve 3 ay boyunca bekletildi.

3 ay boyunca radon ve ürünlerinden yayınlanan alfa parçacıklarına maruz kalan CR-39 filmler toplandı ve kimyasal banyo işlemine (70°C'de, %20'lik NaOH çözeltisi, 10 saat) tabi tutuldu, filmler saf su ile yıkanıp kurutulduktan sonra 10x10 büyütme optik mikroskopla sayıldı. İz değerlerinden radon aktivitesi Eşitlik (4.4) deki dönüşüm faktörü kullanılarak Bq/m³ olarak hesaplandı.

a) Sudaki radon konsantrasyonu ($A_{Rn(su)}$),

$$A_{su} = \frac{\lambda.C.h.T}{L} \quad (4.8)$$

kullanılarak hesaplanmıştır. (Baykara, 2006)

Burada; λ : Rn-222'nin bozunma sabiti, C: Radon konsantrasyonu (Bq/m³), h: plastik şişedeki suyun dedektöre olan uzaklığı, T: örneğin maruziyet zamanı, L: şişedeki su örneğinin derinliği

b) Su örneğindeki radon soluma hızı (E_{su}),

$$E_{su} = \frac{\rho.V.\lambda}{\eta.A.T_{eff}} \quad (4.9)$$

kullanılarak bulunmuştur .(Baykara, 2006).

Burada; ρ : CR-39 dedektörü ile ölçülen iz yoğunluğu, V : örnek kabının hacmi, λ : Rn-222'nin bozunma sabiti, η : dedeksiyon verimliliği, A : örnek kabının yüzey alanı, T_{eff} : efektif maruz kalma ($T_{eff} = T-1/\lambda(1-e^{-\lambda T})$).

c) Efektif radyum içeriği,

$$C_{Ra} = \frac{\rho.V}{\eta.K.T_{eff}} \quad (4.10)$$

kullanılarak hesaplanmıştır (Baykara, 2006) .

Burada ; ρ : CR-39 dedektörü ile ölçülen iz yoğunluğu, V : örnek kabının hacmi, λ : Rn-222'nin bozunma sabiti, η : dedeksiyon verimliliği, A : örnek kabının yüzey alanı, T_{eff} : efektif maruz kalma ($T_{eff} = T-1/\lambda(1-e^{-\lambda T})$), K : su örneğinin hacmi

4.3. Bina İçi Örneklerinde CR-39 Nükleer İz Kazıma Dedektörleri ile Radon Konsantrasyonu, Radon Soluma Hızı ve Efektif Radyum Ölçümü

Çalışma alanındaki 80 tane eve CR-39 filmler yerleştirilmiş ve evlerin belirli yerlerinde filmler iz kazıma için 40 gün boyunca bekletilmiştir. Verilen filmlerin sadece 60 tanesine ulaşılabilmektedir. 20 tanesi ise çeşitli sebeplerden dolayı geri alınamamıştır.

CR-39 filmler, 70 °C sıcaklıkta %20 NaOH çözeltisi içinde 10 saat süre ile banyo edilip aşınma işlemine tabi tutulmuştur. 10 saatlik süre sonunda alınan filmler oda sıcaklığında destile su ile durulanmış ve temiz bir ortamda kurumaya bırakılmıştır. Filmler üzerindeki izlerin sayımı 10 x 10 büyütmeli optik mikroskopla yapılmıştır. Detektör üzerindeki zayıf sayım istatistiğinden kaçınmak için rutin olarak 1 cm²'lik detektör alanı sayılmıştır. Bir cm²'yi 100 mm²'ye bölen özel ölçekle mm²'deki iz sayıları toplanıp, ortalaması alınmıştır. iz/mm².saat olarak bulunan iz değerleri (4.4) denklemindeki uygun kalibrasyon faktörü kullanılarak Bq/m³'e dönüştürülmüştür.

Radon konsantrasyonu değerlerinden yıllık efektif doz,

$$1 \text{ Bq/m}^3 = 0.05 \text{ mSv/yıl} \quad (4.11)$$

çevrim faktörü kullanılarak hesaplanmıştır (Ereeş ve diğ. , 2006).

5. BULGULAR

5.1. Yüzey Gama Doz Hızı Sonuçları

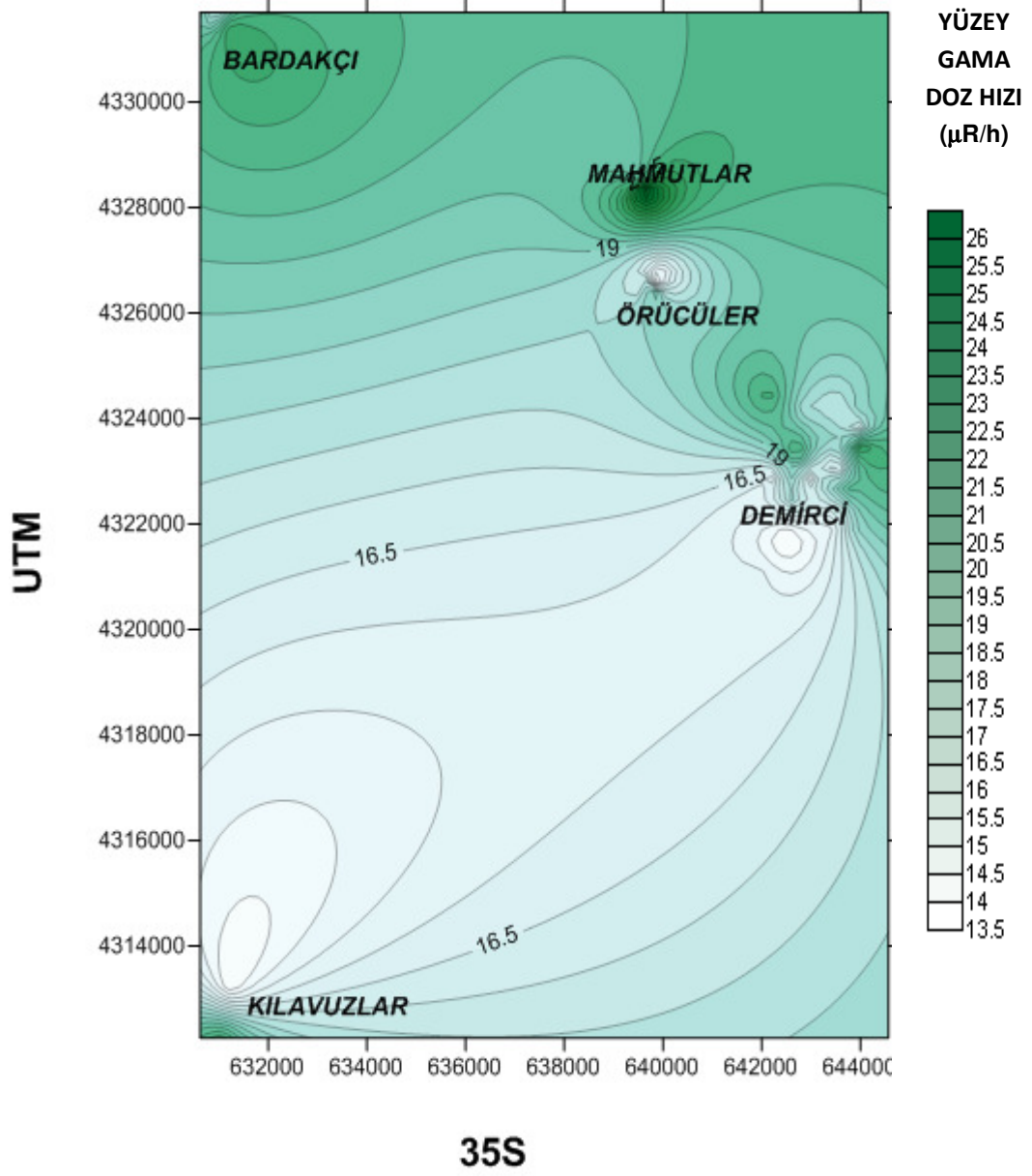
Çalışma alanı olarak seçilen Demirci ve bazı çevre yerleşim bölgelerinden toplam 40 toprak ve 17 su örneği toplanmıştır. Aynı zamanda örneklerin alındığı yerlerin koordinatları ve doz hızları belirlenmiştir. Toplanan su ve toprak örneklerin 35S- UTM koordinat değerleri, $\mu\text{R/h}$ olarak ölçülen yüzey gama doz hızları 8.7 (nGy/h)/ $\mu\text{R/h}$ çevirme faktörü kullanılarak hesaplanan nGy/h doz hızları Çizelge 5.1 de verilmektedir.

Çizelge 5.1 Demirci ve Civar Köylerinden Toplanan Toprak ve Su Örneklerinin Koordinatlara Göre Gama Doz Hızları ÇNAEM Dose Rate Meter-NEB.211 Marka Cihaz İle ($\mu\text{R/h}$) ve (nGy/h) Olarak Alınan Doz Hızı Dağılımları

Örneklemeye Noktası	Toprak No	Su No	UTM	35S	Gama Doz Hızı	
					Ölçülen ($\mu\text{R/h}$)	Hesaplanan (nGy/h)
1	D1		4321065	641956	15.68	136.416
2	D2		4321774	642503	13.73	119.451
3	D3	S1	4321972	643465	15.40	133.98
4	D4		4321891	643869	18.32	159.384
5	D5		4322369	643626	17.45	151.815
6	D6	S2	4322664	643699	20.44	177.828
7	D7	S3	4322979	643811	18.70	162.69
8	D8		4323517	643993	22.70	197.49
9	D9		4323897	644270	18.85	163.995
10	D10		4324242	644569	19.59	170.433
11	D11		4324406	644029	18.78	163.386
12	D12		4324170	643989	18.96	164.952
13	D13		4324254	643584	17.49	152.163
14	D14		4323686	643371	18.70	162.69
15	D15		4323769	643968	16.50	143.55
16	D16	S4	4322819	642564	18.68	162.516
17	D17		4322622	642800	17.12	148.944
18	D18		4322465	642633	18.32	159.384
19	D19		4322893	642247	15.68	136.416
20	D20		4322868	643012	15.50	134.85
21	D21		4322824	643285	18.58	161.646
22	D22	S5,S6	4323049	643505	15.49	134.763
23	D23		4323363	642722	21.49	186.963
24	D24	S7	4324156	642861	17.96	156.252
25	D25	S8	4324414	642154	21.33	185.571
26	K1		4312261	631053	21.50	187.05
27	K2		4312859	630793	17.75	154.425
28	K3		4313202	631219	14.00	121.8
29	O1		4326604	639853	13.64	118.668
30	O2		4326502	639781	21.22	184.614
31	O3	S9	4326406	639588	16.94	147.378
32	O4	S10	4326269	639590	18.36	159.732
33	M1	S12	4328504	639528	20.86	181.482
34	M2		4328348	639606	26.50	230.55
35	M3	S11	4328589	639573	20.30	176.61
36	M4	S13	4328629	639309	19.91	173.217
37	B1	S14	4331410	631218	22.14	192.618
38	B2	S15	4331676	630960	17.46	151.902
39	B3	S16	4331606	630745	18.43	160.341
40	B4	S17	4331696	630625	19.62	170.694
Minimum					13.64	118.668
Maksimum					26.5	230.550
Ortalama					18.50	160.965

(D: Demirci İlçesi, K: Kılavuzlar Köyü, Ö: Örücüler Köyü, M: Mahmutlar Beldesi, B:Bardakçı Köyü)

Demirci İlçesi, Mahmutlar Beldesi, Örücüler Köyü, Bardakçı Köyü ve Kılavuzlar Köyü yerleşim alanlarını içine alan ve Çizelge 5.1 deki verilere göre çizilen yüzey gama doz hızlarının ($\mu\text{R/h}$), 35S ve UTM koordinat sistemine göre (metre) kontur grafiği Şekil 5.1'de verilmektedir.



Şekil 5. 1 Tüm Örnekleme Noktalarına Göre Ölçülen Yüzey Gama Doz Hızlarının ($\mu\text{R/h}$), 35S ve UTM Koordinat Sistemine Göre (Metre) Kontur Grafiği

5. 2. TOPRAK ÖRNEKLERİ ÖLÇÜM SONUÇLARI

5.2.1. Toprak Örneklerinin Gama Spektrometre Sistemi Ölçüm Sonuçları

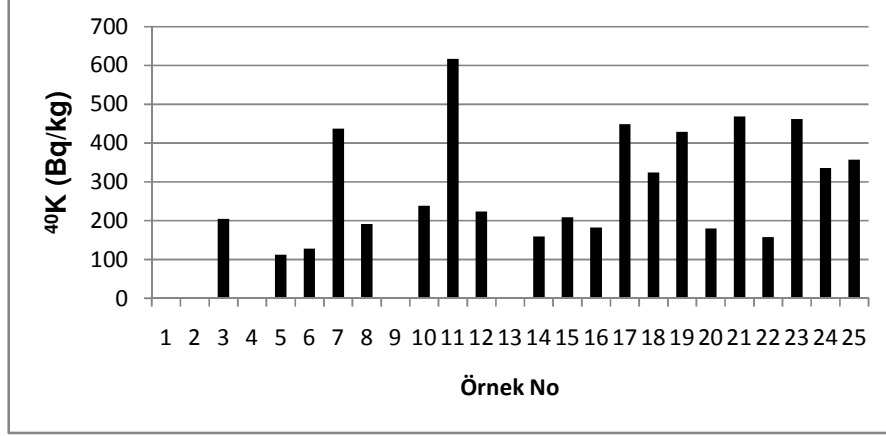
Demirci ve çevre yerleşim yerlerinden toplanan 40 farklı toprak örneğinde ^{40}K , ^{238}U ve ^{232}Th konsantrasyonları araştırılmış ve Çizelge 5.2'de bu örneklere ait ölçümler verilmektedir. Bu çalışmada 5 örnek noktasının ^{40}K ölçümleri dedeksiyon limitinin altında kalmıştır. (LLD)

Çizelge 5. 2 Tüm Toprak Örneklerindeki ^{40}K , ^{238}U ve ^{232}Th Aktivite Konsantrasyonları

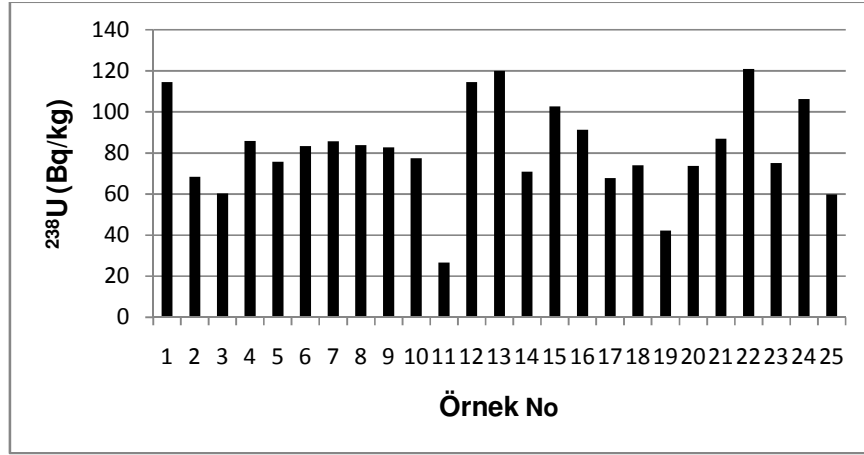
Örnek Adı	e(Th) ppm	e(U) ppm	% K	^{40}K (Bq/kg)	^{238}U (Bq/kg)	^{232}Th (Bq/kg)
D-1	6.18	9.1	LLD	LLD	114.47	25.17
D-2	0.5	5.43	LLD	LLD	68.33	2.02
D-3	3.64	4.79	0.69	204.48	60.27	14.83
D-4	2.04	6.82	LLD	LLD	85.81	8.32
D-5	11.04	6.02	0.38	112.75	75.78	44.95
D-6	7.68	6.63	0.43	127.7	83.34	31.24
D-7	8.01	6.81	1.48	437.38	85.63	32.59
D-8	5.19	6.67	0.65	191.21	83.91	21.13
D-9	4.86	6.58	LLD	LLD	82.8	19.78
D-10	8.12	6.16	0.81	238.39	77.48	33.04
D-11	12.15	2.12	2.08	616.99	26.67	49.44
D-12	8.83	9.11	0.75	223.12	114.57	35.96
D-13	6.41	9.53	LLD	LLD	119.95	26.07
D-14	5.58	5.63	0.54	158.56	70.88	22.7
D-15	13.53	8.16	0.7	208.52	102.69	55.06
D-16	8.06	7.26	0.61	181.98	91.38	32.81
D-17	5.25	5.4	1.52	448.64	67.87	21.35
D-18	9.06	5.89	1.1	324.34	74.11	36.86
D-19	5.91	3.35	1.45	428.75	42.14	24.05
D-20	12.59	5.85	0.61	179.66	73.61	51.24
D-21	7.01	6.92	1.58	468.57	87.05	28.54
D-22	3.15	9.62	0.53	157.7	121.01	12.81
D-23	4.2	5.97	1.56	462.15	75.14	17.08
D-24	6.68	8.45	1.14	335.98	106.3	27.19
D-25	12.26	4.77	1.21	357.14	59.95	49.89
M-1	10.38	6.9	0.56	165.37	86.83	42.25
M-2	9	4.42	2.05	607.75	55.57	36.63
M-3	11.49	4	2.23	658.93	50.26	46.75
M-4	14.74	6.55	1.7	502.38	82.36	60
B-1	10.93	6.65	0.35	103.93	83.7	44.5
B-2	13.97	7.36	0.79	234.49	92.56	56.86
B-3	11.98	8.41	1.01	299.13	105.8	48.77
B-4	14.74	7.26	1.36	401.16	91.36	60
Ö-1	9.88	6.33	1.02	301.93	79.6	40.23
Ö-2	9.83	7.09	0.74	218.39	89.24	40
Ö-3	7.4	5.56	1.07	316.21	69.99	30.11
Ö-4	11.98	6.64	1.24	367.27	83.54	48.77
K-1	13.8	5.63	1.11	327.98	70.81	56.18
K-2	8.95	6.8	0.08	23.6	85.58	36.41
K-3	14.25	4.22	1.65	489.12	53.11	57.98
Minimum				23.6	26.67	2.02
Maksimum				658.93	121.01	60
Ortalama				310.904	80.786	35.739

5.2.1.1. Demirci Merkez

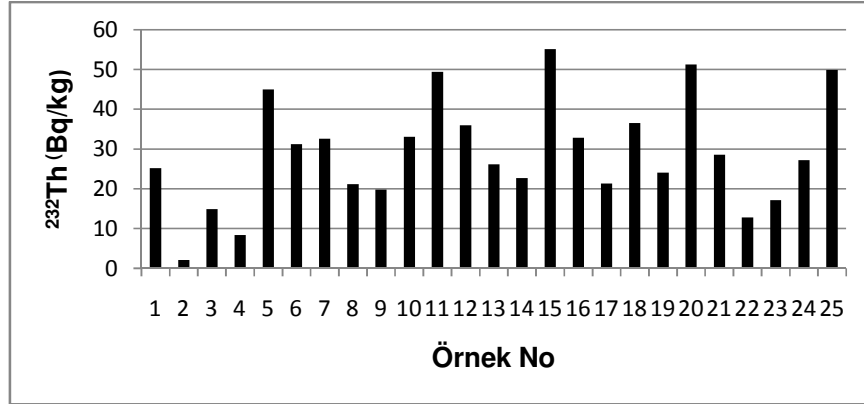
Demirci ilçesi'nden toplanan 25 toprak örneğine ait ^{40}K , ^{238}U ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonları sırası ile Şekil 5.2, Şekil 5.3 ve Şekil 5.4 de verilmektedir.



Şekil 5. 2 Demirci toprak örneklerinin ^{40}K aktivite konsantrasyonu



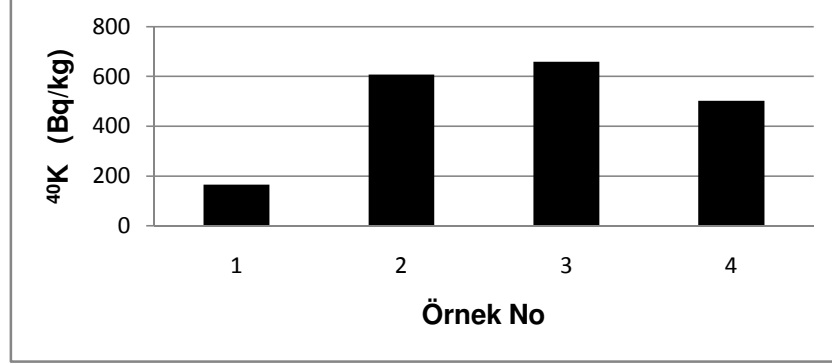
Şekil 5. 3 Demirci toprak örneklerinin ^{238}U aktivite konsantrasyonu



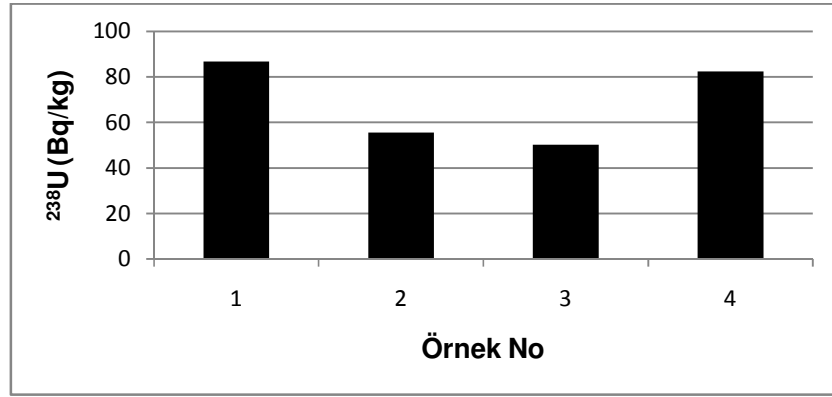
Şekil 5.4 Demirci toprak örneklerinin ^{232}Th aktivite konsantrasyonu

5.2.1.2. Mahmutlar Beldesi

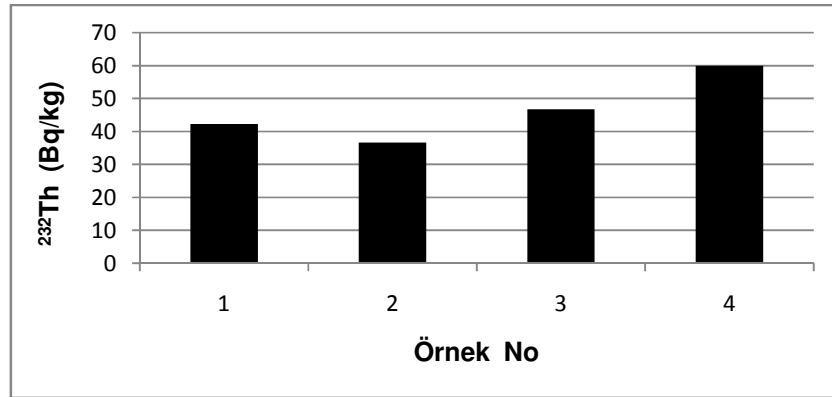
Mahmutlar Beldesi'nden toplanan 4 toprak örneğine ait ^{40}K , ^{238}U ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonları sırası ile Şekil 5.5, Şekil 5.6 ve Şekil 5.7 de verilmektedir.



Şekil 5. 5 Mahmutlar Beldesi toprak örneklerinin ^{40}K aktivite konsantrasyonu



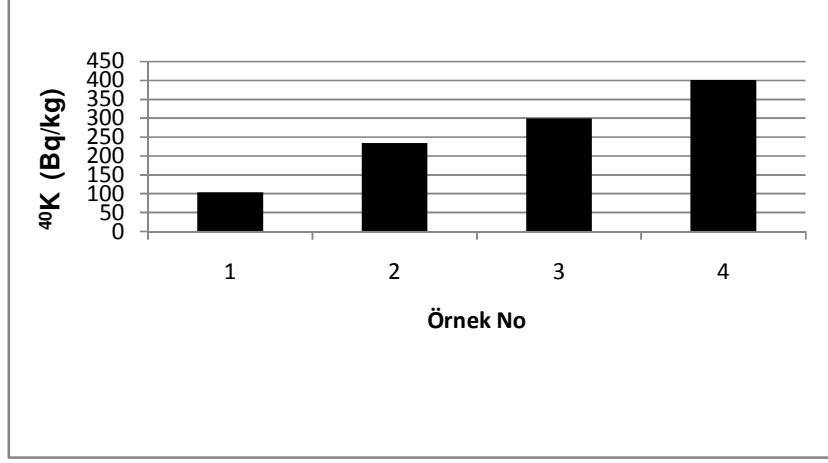
Şekil 5 .6 Mahmutlar Beldesi toprak örneklerinin ^{238}U aktivite konsantrasyonu



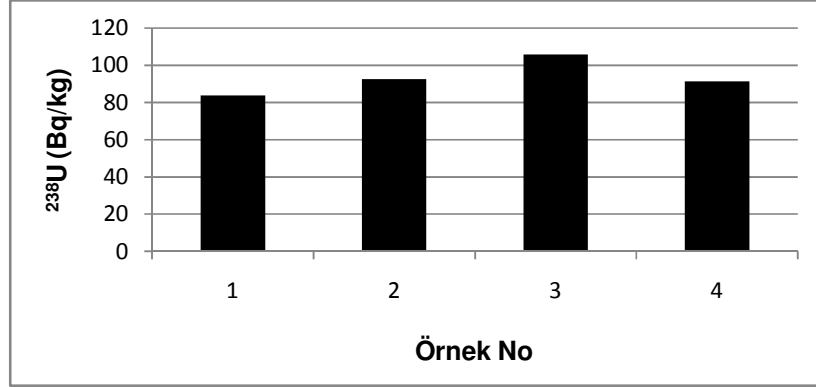
Şekil 5.7 Mahmutlar Beldesi toprak örneklerinin ^{232}Th aktivite konsantrasyonu

5.2.1.3. Bardakçı Köyü

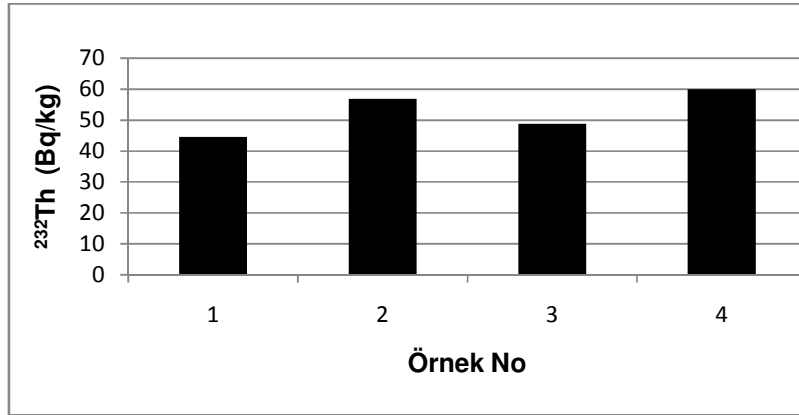
Bardakçı Köyü'nden toplanan 4 toprak örneğine ait ^{40}K , ^{238}U ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonları sırası ile Şekil 5.8 Şekil 5.9 ve Şekil 5.10 de verilmektedir.



Şekil 5. 8 Bardakçı Köyü toprak örneklerinin ^{40}K aktivite konsantrasyonu



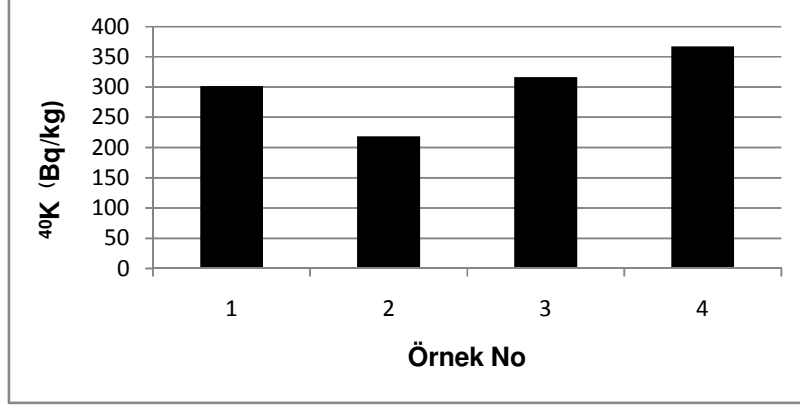
Şekil 5. 9 Bardakçı Köyü toprak örneklerinin ^{238}U aktivite konsantrasyonu



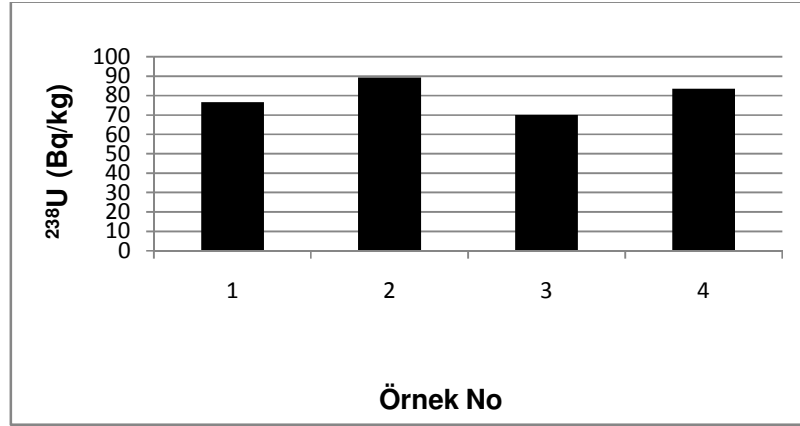
Şekil 5. 10 Bardakçı Köyü toprak örneklerinin ^{232}Th aktivite konsantrasyonu

5.2.1.4. Örücüler Köyü

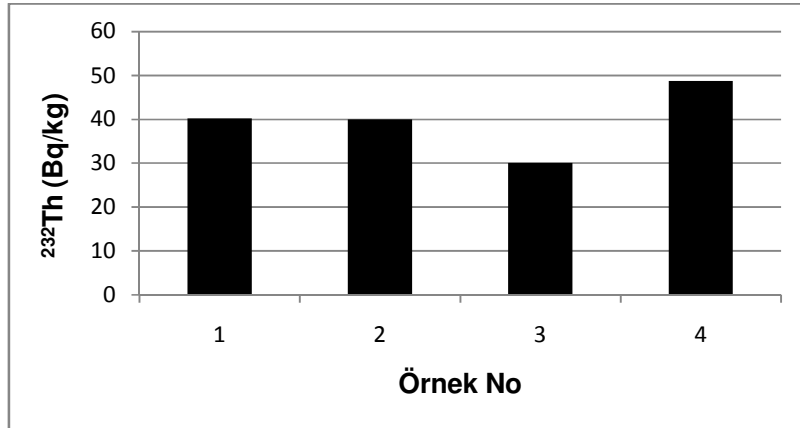
Örücüler Köyü' nden toplanan 4 toprak örneğine ait ^{40}K , ^{238}U ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonları sırası ile Şekil 5. 11, Şekil 5. 12 ve Şekil 5. 13 da verilmektedir.



Şekil 5. 11 Örücüler Köyü toprak örneklerinin ^{40}K aktivite konsantrasyonu



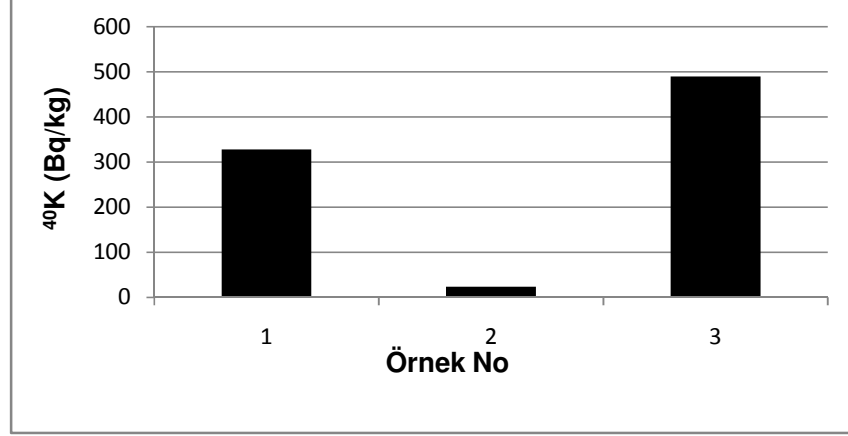
Şekil 5. 12 Örücüler Köyü toprak örneklerinin ^{238}U aktivite konsantrasyonu



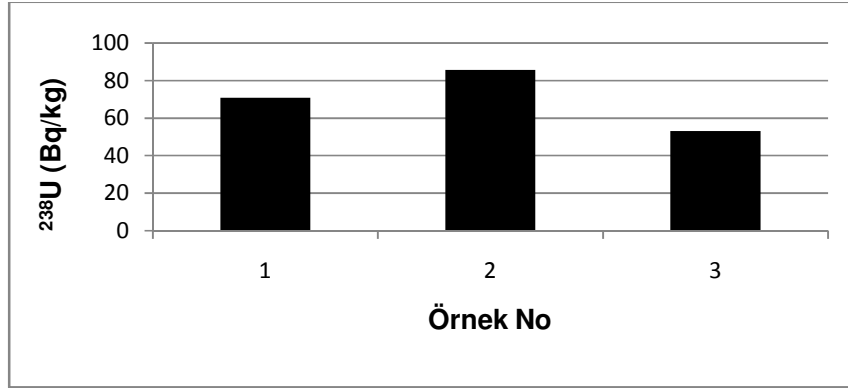
Şekil 5. 13 Örücüler Köyü toprak örneklerinin ^{232}Th aktivite konsantrasyonu

5.2.1.5. Kılavuzlar Köyü

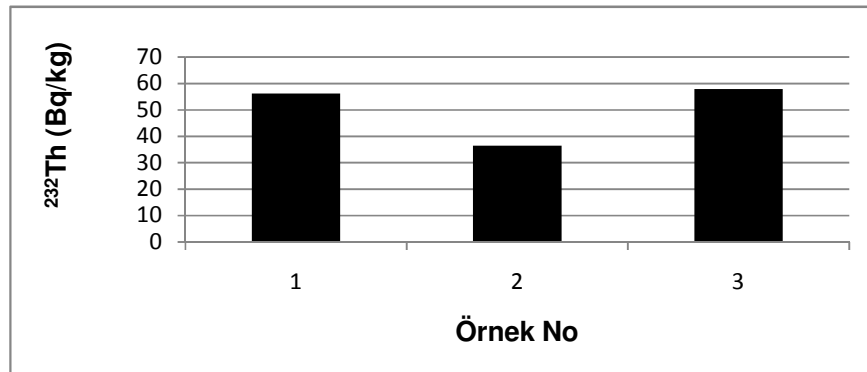
Kılavuzlar Köyü'nden toplanan 3 toprak örneğine ait ^{40}K , ^{238}U ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonları sırası ile Şekil 5. 14, Şekil 5. 15 ve Şekil 5.16 da verilmektedir.



Şekil 5. 14 Kılavuzlar Köyü toprak örneklerinin ^{40}K aktivite konsantrasyonu



Şekil 5. 15 Kılavuzlar Köyü toprak örneklerinin ^{238}U aktivite konsantrasyonu



Şekil 5. 16 Kılavuzlar Köyü toprak örneklerinin ^{232}Th aktivite konsantrasyonu

Toplanan toprak örneklerinden elde edilen ^{40}K , ^{238}U ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonları UNCEAR 2000 raporunda verilen formüllerden yararlanarak absortlanan doz hızı değerleri (nGy/h), insanların gün boyunca maruz kaldıkları yıllık ortalama efektif doz eşdeğeri (μSv), eşdeğer radyum aktiviteleri (Bq/kg) ve dış tehlike endeksleri hesaplanmış ve Çizelge 5.3'de verilmektedir.

Çizelge 5.3 Toprak Örneklerinden Elde Edilen Soğurulan Doz Hızı Değerleri (nGy/h), Yıllık Ortalama Efektif Doz Eşdeğeri (μSv), Eşdeğer Radyum Aktiviteleri (Bq/kg) ve Dış Tehlike Endeksleri

Örnek Noktası	Doz Hızı (nGy/h)	Efektif Doz Eşdeğeri (μSv)	Eşdeğer Radyum Aktivitesi (Bq/kg)	Dış Tehlike Endeksi (H_{ex})
D-1	68.09	83.5	150.46	0.41
D-2	32.79	40.21	71.22	0.19
D-3	45.33	55.59	97.22	0.26
D-4	44.67	54.78	97.71	0.26
D-5	66.86	82	148.74	0.40
D-6	62.7	76.89	137.85	0.37
D-7	77.48	95.03	165.91	0.45
D-8	59.5	72.97	128.85	0.35
D-9	47.04	57.69	105.25	0.28
D-10	65.69	80.57	143.08	0.39
D-11	67.91	83.29	144.88	0.39
D-12	83.96	102.96	183.17	0.49
D-13	71.16	87.27	157.23	0.42
D-14	53.07	65.08	115.55	0.31
D-15	89.39	109.63	197.48	0.53
D-16	69.62	85.39	152.31	0.41
D-17	62.96	77.21	132.95	0.36
D-18	70.03	85.88	151.79	0.41
D-19	51.87	63.62	109.55	0.30
D-20	72.45	88.85	160.72	0.43
D-21	76.99	94.43	163.94	0.44
D-22	70.22	86.12	151.47	0.41
D-23	64.3	78.86	135.15	0.37
D-24	79.54	97.55	171.05	0.46
D-25	72.72	89.19	158.79	0.43
M-1	72.53	88.95	159.98	0.43
M-2	73.14	89.7	154.75	0.42
M-3	78.93	96.81	167.85	0.45
M-4	95.24	116.8	206.84	0.56
B-1	69.88	85.7	155.34	0.42
B-2	86.88	106.56	191.93	0.52
B-3	90.81	111.37	198.57	0.54
B-4	95.18	116.72	208.05	0.56
Ö-1	73.66	90.34	160.38	0.43
Ö-2	74.5	91.36	163.26	0.44
Ö-3	63.71	78.13	137.4	0.37
Ö-4	83.37	102.24	181.56	0.49
K-1	80.32	98.51	176.4	0.48
K-2	62.51	76.67	139.46	0.38
K-3	79.95	98.05	173.68	0.47
Minimum	32	40.21	71.22	0.19
Maksimum	95	116.8	208.05	0.56
Ortalama	70.73	86.061	152.694	0.412

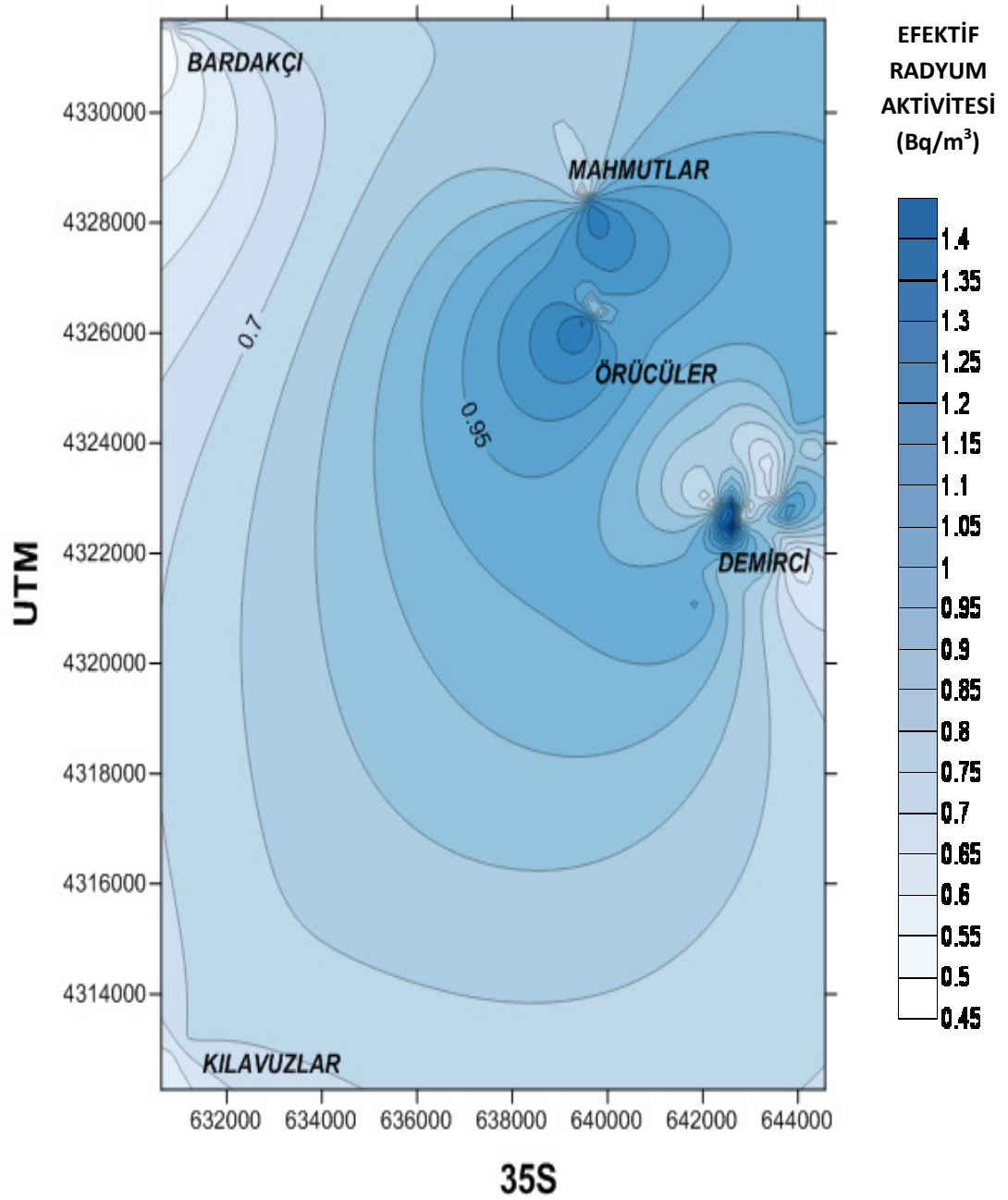
5.2.2.Toprak Örneklerinin CR-39 İz Kazıma Dedektörleri ile Yapılan Ölçüm Sonuçları

Demirci İlçesi'nden alınan 25 farklı toprak örneğinde ve çevresindeki köy ve beldelelerden alınan 15 farklı toprak örneğine ait radon soluma hızı, efektif radyum içeriği ve radon konsantrasyonu Çizelge 5.4 de verilmiştir.

Çizelge 5. 4 Toprak Örneklerine Ait Radon Soluma Hızı, Efektif Radyum İçeriği Ve Radon Konsantrasyonu

Örnek No	Radon konsantrasyonu (Bq/m ³)	Radon soluma hızı (Bq/m ² .saat)	Efektif Radyum içeriği (Bq/m ³)
D-1	238	0.31	0.96
D-2	195	0.25	0.79
D-3	218	0.28	0.88
D-4	133	0.17	0.53
D-5	185	0.24	0.74
D-6	260	0.33	1.05
D-7	252	0.32	1.02
D-8	216	0.28	0.87
D-9	182	0.23	0.73
D-10	216	0.28	0.87
D-11	233	0.3	0.94
D-12	209	0.27	0.84
D-13	191	0.25	0.77
D-14	152	0.2	0.61
D-15	206	0.26	0.83
D-16	347	0.45	1.4
D-17	181	0.23	0.73
D-18	344	0.44	1.39
D-19	158	0.2	0.64
D-20	159	0.2	0.64
D-21	208	0.27	0.84
D-22	152	0.2	0.61
D-23	214	0.27	0.86
D-24	178	0.23	0.72
D-25	200	0.26	0.81
B-1	145	0.19	0.58
B-2	201	0.26	0.81
B-3	101	0.13	0.41
B-4	158	0.2	0.64
K-1	144	0.19	0.58
K-2	144	0.19	0.58
K-3	176	0.23	0.71
M-1	125	0.16	0.5
M-2	284	0.37	1.15
M-3	168	0.22	0.68
M-4	187	0.24	0.76
Ö-1	250	0.32	1.01
Ö-2	149	0.19	0.6
Ö-3	236	0.3	0.95
Ö-4	293	0.38	1.18
Minimum	101	0.13	0.41
Maksimum	347	0.45	1.4
Ortalama	199.7	0.257	0.805

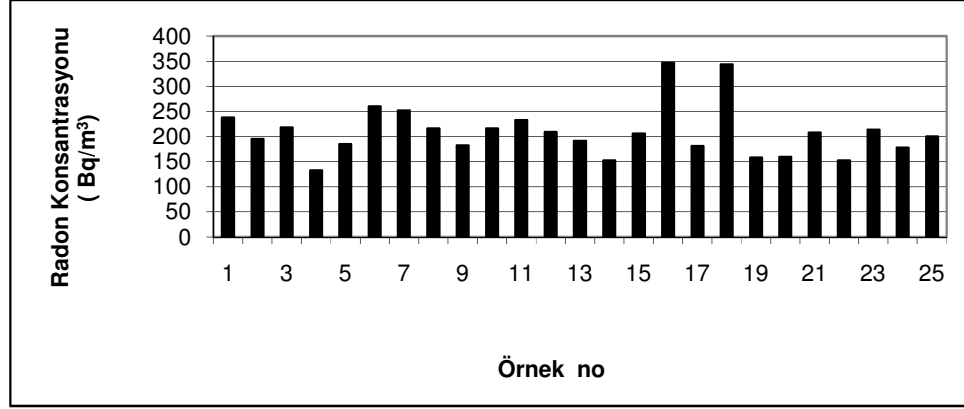
Demirci İlçesi, Bardakçı Köyü, Mahmutlar Beldesi, Örücüler Köyü ve Kılavuzlar Köyü'nden toplanan toprak örneklerinden elde edilen efektif radyum aktivitelerinin dağılımını gösteren kontür grafiği Şekil 5.17 de verilmektedir.



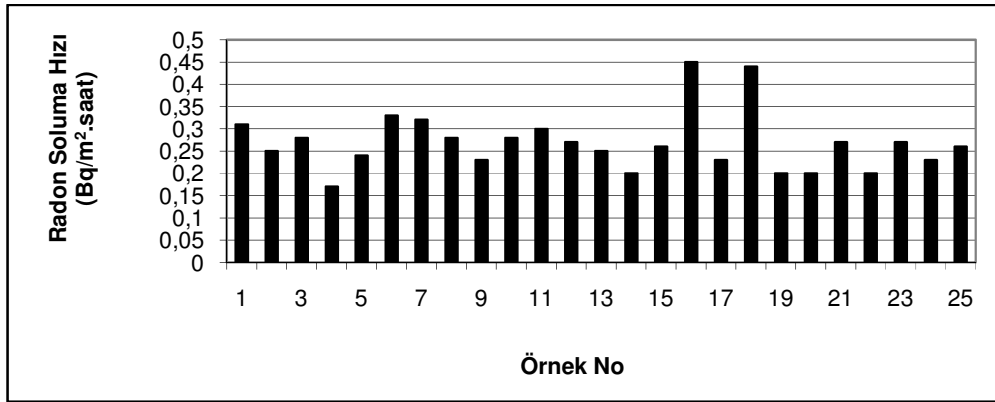
Şekil 5.17 Toprak Örneklerindeki Efektif Radyum Aktivitesi

5.2.2.1. Demirci Merkez

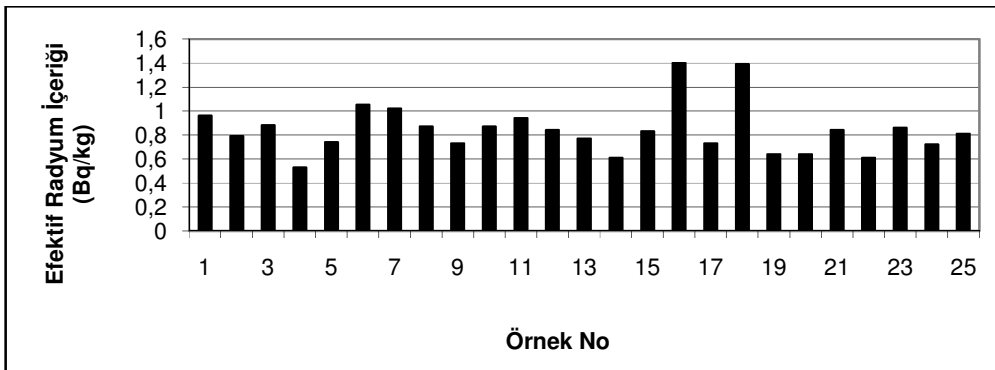
Demirci İlçesi'nden alınan 25 toprak örneğinden elde edilen radon soluma hızı ve radon konsantrasyonu ve efektif radyum içeriği dağılımları Şekil 5.18, 5.19 ve 5.20'de verilmektedir.



Şekil 5.18 Demirci İlçesi Toprak Örneklerindeki Radon Konsantrasyonu



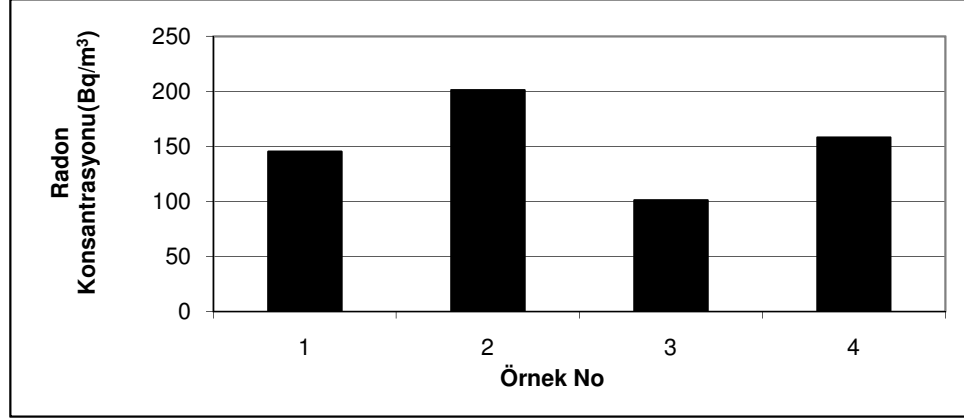
Şekil 5.19 Demirci İlçesi Toprak Örneklerindeki Radon Soluma Hızı



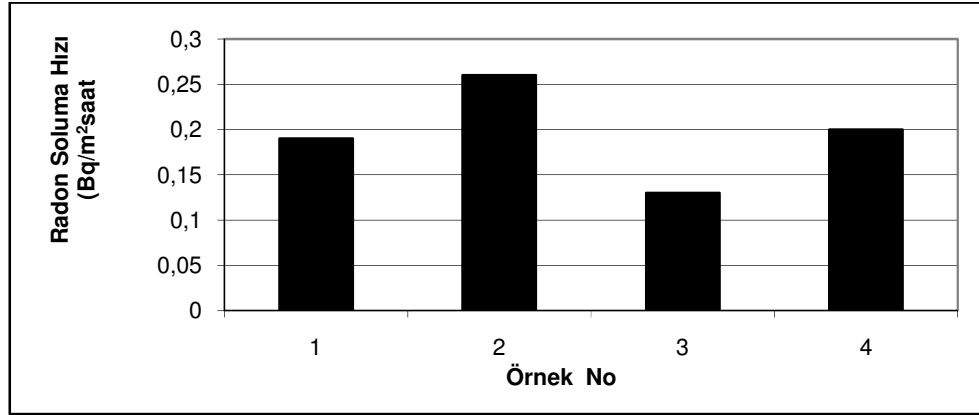
Şekil 5.20 Demirci İlçesi Toprak Örneklerinde Efektif Radyum İçeriği

5.2.2.2. Bardakçı Köyü

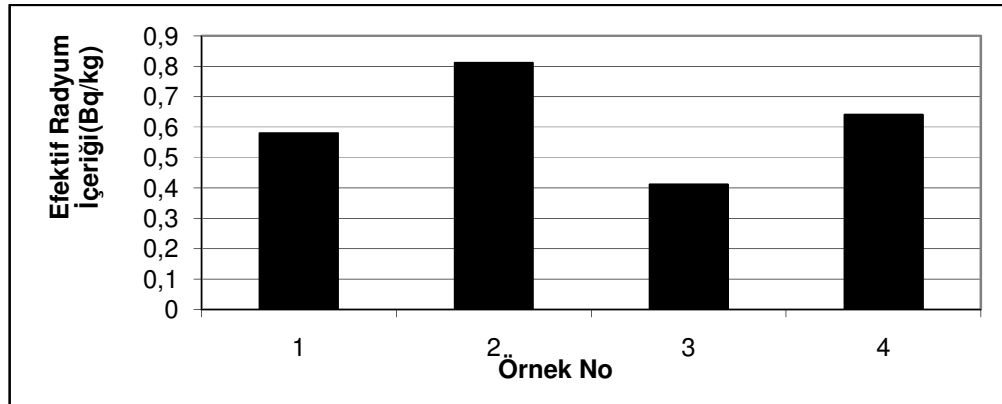
Bardakçı Köyü'nden alınan 4 toprak örneğinden elde edilen radon soluma hızı ve radon konsantrasyonu ve efektif radyum içeriği dağılımları Şekil 5. 21, 5. 22 ve 5. 23 de verilmektedir.



Şekil 5. 21 Bardakçı Köyü Toprak Örneklerindeki Radon Konsantrasyonu



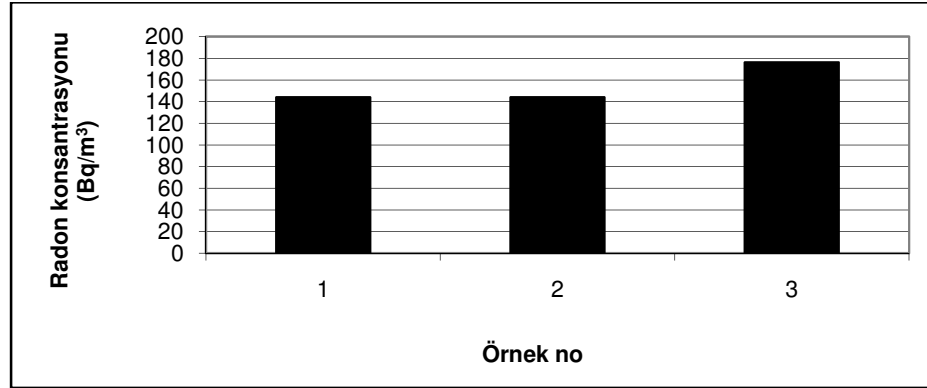
Şekil 5.22 Bardakçı Köyü Toprak Örneklerindeki Radon Soluma Hızı



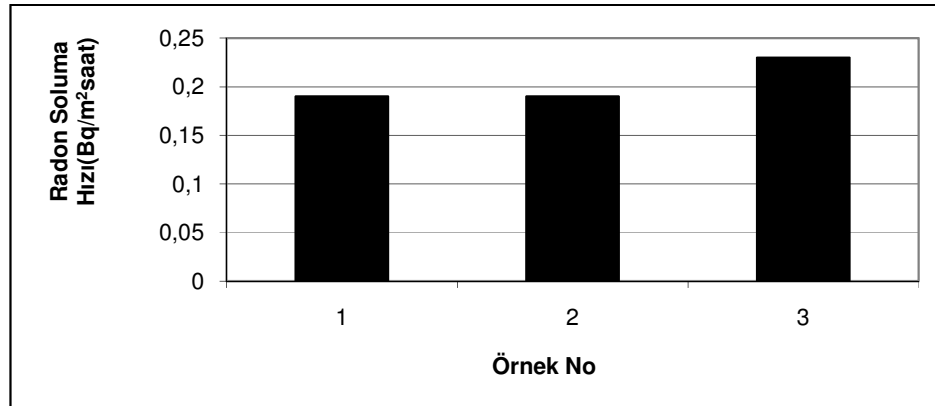
Şekil 5.23 Bardakçı Köyü Toprak Örneklerinde Efektif Radyum İçeriği

5.2.2.3. Kılavuzlar Köyü

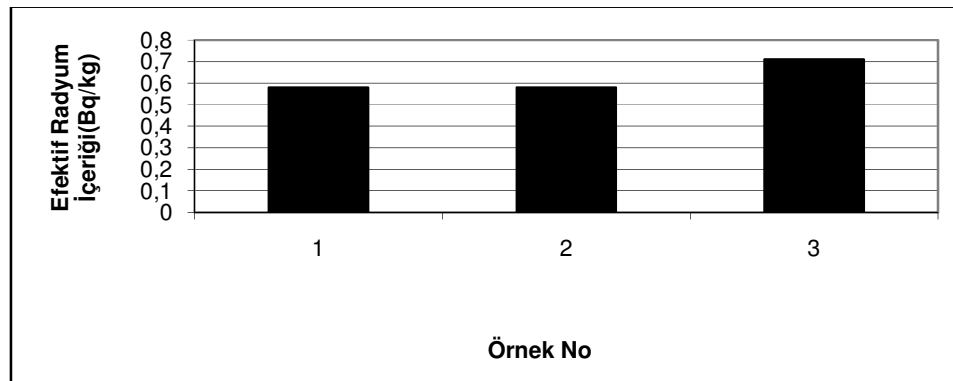
Kılavuzlar Köyü'nden alınan 3 toprak örneğinden elde edilen radon soluma hızı ve radon konsantrasyonu ve efektif radyum içeriği dağılımları Şekil 5. 24, 5. 25 ve 5. 26 da verilmektedir.



Şekil 5. 24 Kılavuzlar Köyü Toprak Örneklerindeki Radon Konsantrasyonu



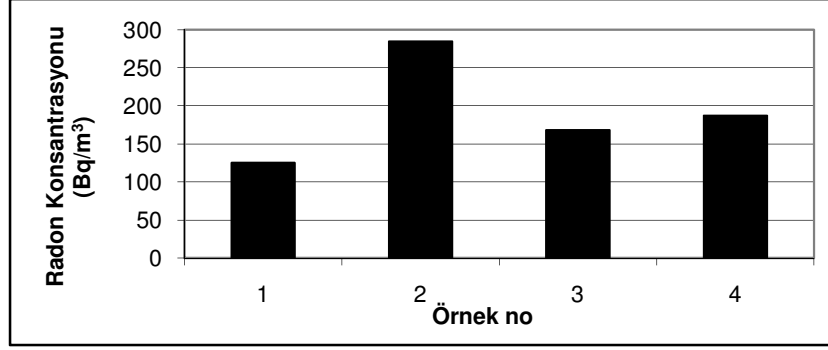
Şekil 5.25 Kılavuzlar Köyü Toprak Örneklerindeki Radon Soluma Hızı



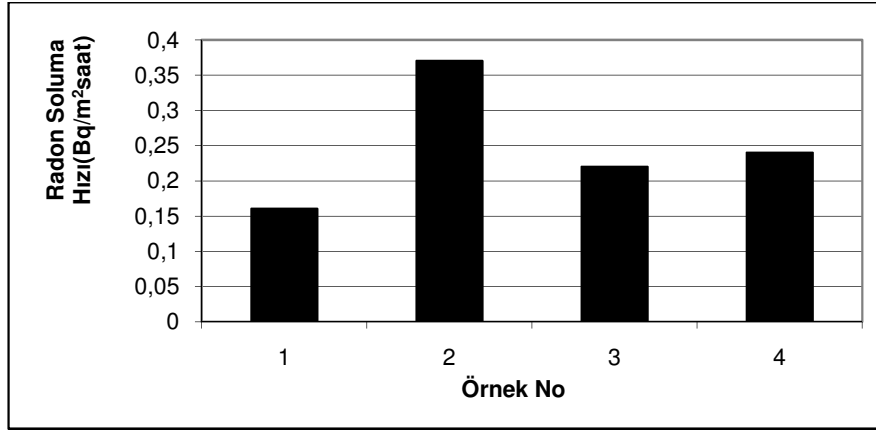
Şekil 5.26 Kılavuzlar Köyü Toprak Örneklerinde Efektif Radyum İçeriği

5.2.2.4. Mahmutlar Beldesi

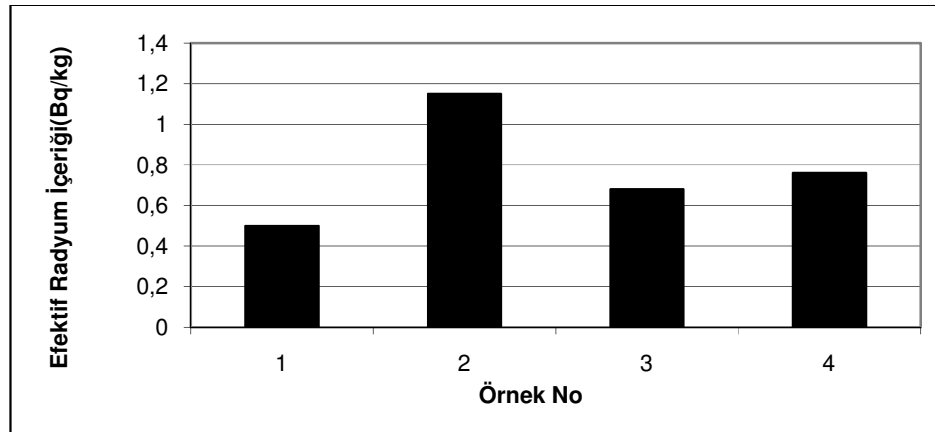
Mahmutlar Beldesi'nden alınan 4 toprak örneğinden elde edilen radon soluma hızı ve radon konsantrasyonu ve efektif radyum içeriği dağılımları Şekil 5.27, 5.28 ve 5.29'da verilmektedir.



Şekil 5. 27 Mahmutlar Beldesi Toprak Örneklerindeki Radon Konsantrasyonu



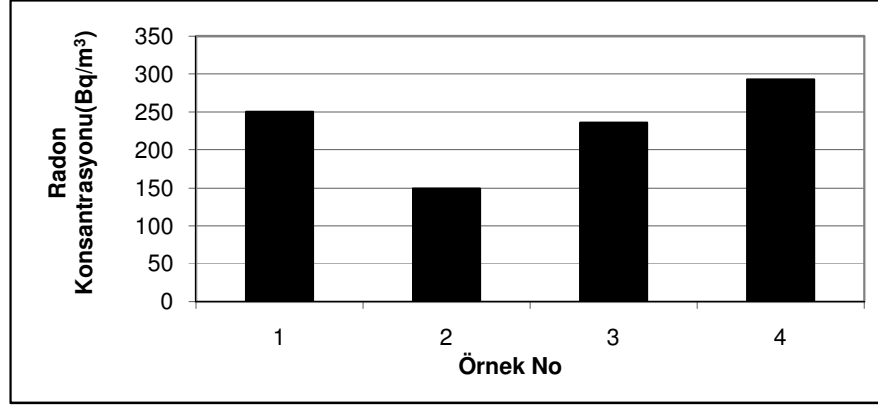
Şekil 5.28 Mahmutlar Beldesi Toprak Örneklerindeki Radon Soluma Hızı



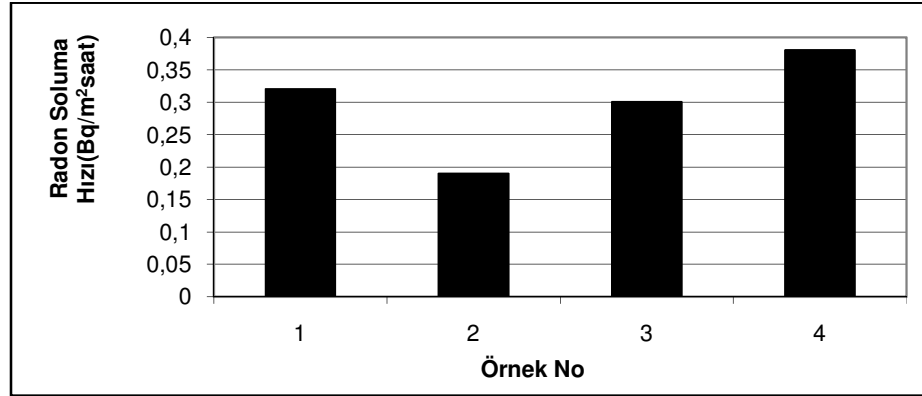
Şekil 5.29 Mahmutlar Beldesi Toprak Örneklerinde Efektif Radyum İçeriği

5.2.2.5.Örücüler Köyü

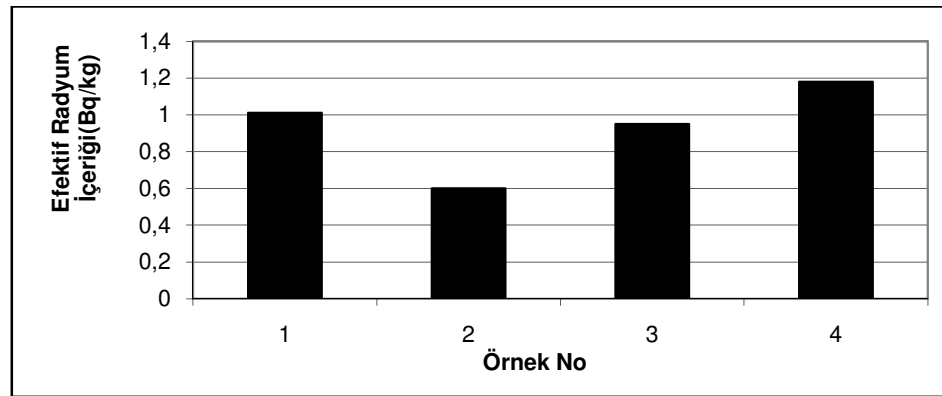
Örücüler Köyü'nden alınan 4 toprak örneğinden elde edilen radon soluma hızı ve radon konsantrasyonu ve efektif radyum içeriği dağılımları Şekil 5. 30, 5.31 ve 5.32 de verilmektedir.



Şekil 5. 30 Örücüler Köyü Toprak Örneklerindeki Radon Konsantrasyonu



Şekil 5.31 Örücüler Köyü Toprak Örneklerindeki Radon Soluma Hızı



Şekil 5.32 Örücüler Köyü Toprak Örneklerinde Efektif Radyum İçeriği

5.3. Su Örnekleri Ölçüm Sonuçları

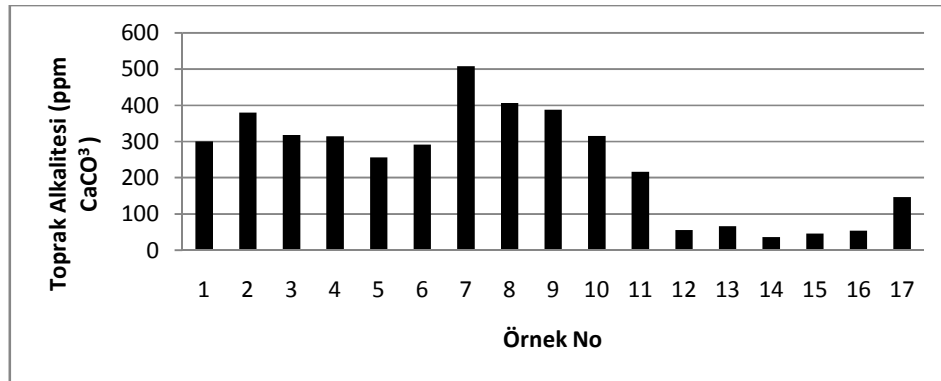
5.3.1. Sularda pH, İletkenlik, mV, Toprak Alkalitesi ve Tuzluluk Ölçüm Sonuçları

Demirci İlçesi, Örücüler Köyü, Mahmutlar Beldesi ve Bardakçı Köyü'nden toplanan 17 su örneğinin, toprak alkalitesi, pH, mV, iletkenlik, ve tuzluluk değerleri Çizelge 5.5'de verilmektedir.

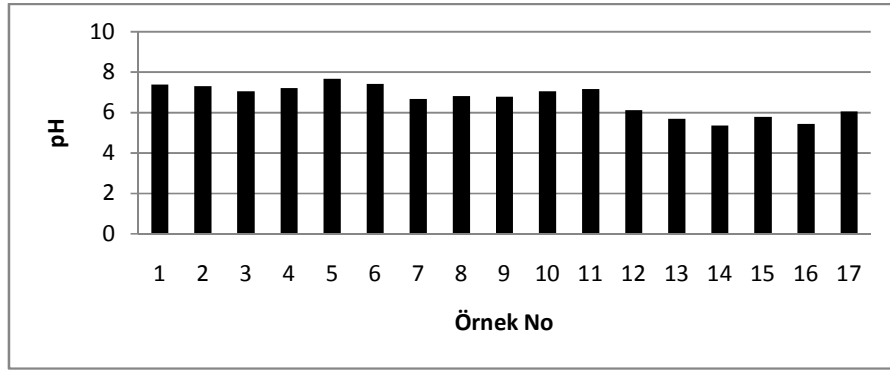
Çizelge 5.5 Demirci İlçesi, Örücüler Köyü, Mahmutlar Beldesi ve Bardakçı Köyü'nden Toplanan 17 Su Örneğinin Toprak Alkalitesi, pH, mV, İletkenlik ve Tuzluluk Değerleri

Örnek No	Toprak alkalitesi (ppm CaCO_3)	pH	mV	İletkenlik ($\mu\text{S/cm}$)	Tuzluluk
1 (D3)	300	7.38	-25	603	0.0
2 (D6)	380	7.31	-22	693	0.1
3 (D7)	318	7.05	-6	1058	0.3
4 (D16)	314	7.22	-17	821	0.2
5 (D22)	256	7.68	-43	612	0.1
6 (D22)	292	7.42	-28	696	0.1
7 (D24)	508	6.67	16	1240	0.4
8 (D25)	406	6.81	8	1180	0.4
9 (Ö3)	388	6.79	9	908	0.2
10 (Ö4)	316	7.05	-6	730	0.1
11 (M3)	216	7.18	-13	695	0.1
12 (M1)	56	6.12	49	109	0.0
13 (M4)	66	5.70	73	143	0.0
14 (B1)	36	5.35	93	68	0.0
15 (B2)	46	5.79	68	76	0.0
16 (B3)	54	5.44	89	95	0.0
17 (B4)	146	6.05	53	442	0.0

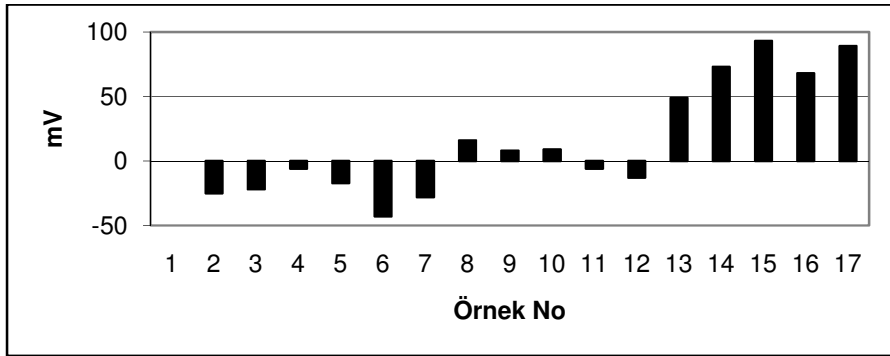
Su örneklerinde toprak alkalitesi , pH , mV, iletkenlik , ve tuzluluk değerleri Şekil 5.33, 5.34, 5.35 , 5.36 ve 5.37 de verilmiştir.



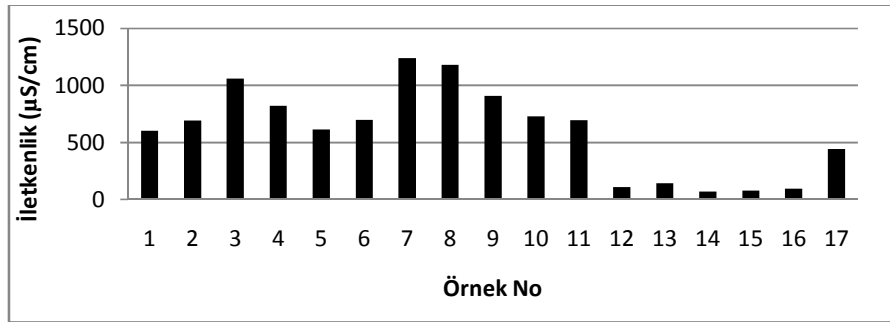
Şekil 5.33 Su Örneklerinde Toprak Alkalitesi



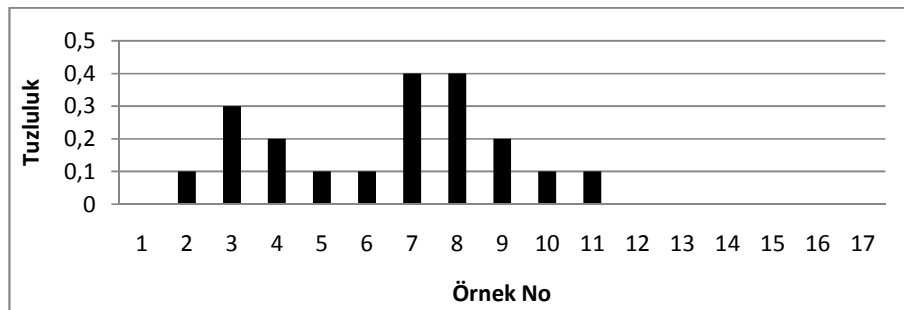
Şekil 5.34 Su Örneklerinin pH Dağılımı



Şekil 5. 35 Su Örneklerinde mV Dağılımı



Şekil 5. 36 Su Örneklerinde İletkenlik Dağılımı



Şekil 5. 37 Su Örneklerinde Tuzluluk Dağılımı

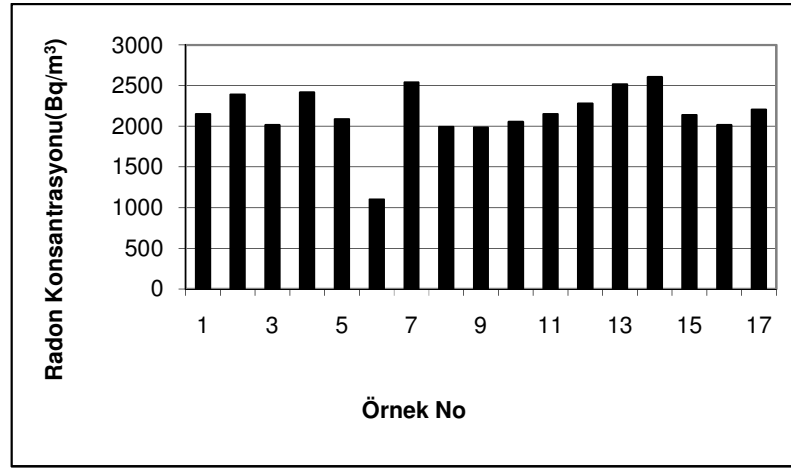
5.3.2. Su Örneklerinin CR-39 Nükleer İz Kazıma Dedektörleri İle Yapılan Ölçüm Sonuçları

Demirci İlçesi, Örücüler Köyü, Mahmutlar Beldesi ve Bardakçı Köyü' nden toplanan 17 su örneğinde yapılan çalışmalar sonucu radon konsantrasyonu, radon soluma hızları ve efektif radyum içeriği hesaplanmıştır değerler Çizelge 5. 6 da verilmiştir.

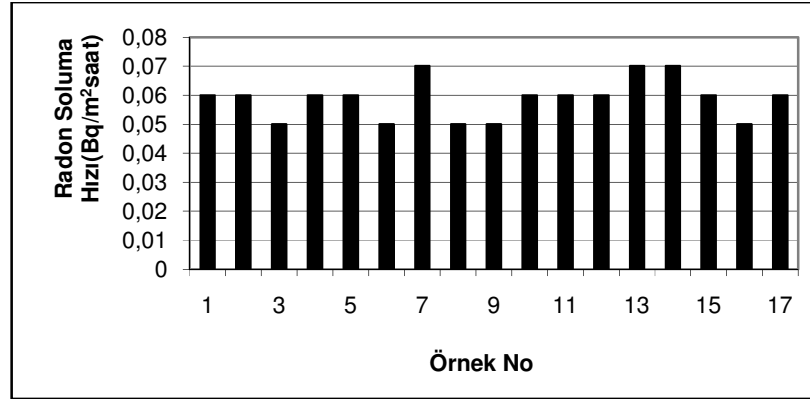
Çizelge 5.6 Su Örneklerinin Radon Konsantrasyonu, Radon Soluma Hızları ve Efektif Radyum İçeriği

Örnek No	Radon konsantrasyonu (Bq/m ³)	Radon soluma hızı (Bq/m ² .saat)	Efektif Radyum içeriği (Bq/m ³)
1 (D3)	2149	0.06	97
2 (D6)	2390	0.06	108
3 (D7)	2012	0.05	91
4 (D16)	2416	0.06	109
5 (D22)	2086	0.06	94
6 (D22)	1098	0.05	86
7 (D24)	2537	0.07	115
8 (D25)	1991	0.05	90
9 (Ö3)	1981	0.05	90
10 (Ö4)	2054	0.06	93
11 (M3)	2149	0.06	97
12 (M1)	2280	0.06	103
13 (M4)	2516	0.07	114
14 (B1)	2605	0.07	118
15 (B2)	2138	0.06	97
16 (B3)	2012	0.05	91
17 (B4)	2206	0.06	100
MİNİMİM	1098	0.05	86
MAXİMUM	2605	0.07	118
ORTALAMA	2154.117	0.058	99.588

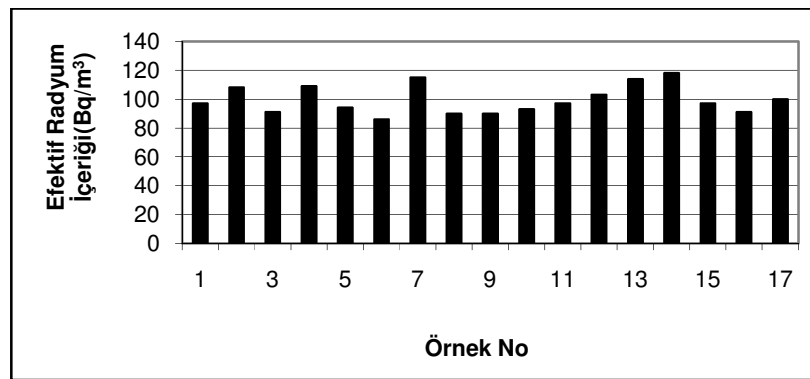
Demirci İlçesi, Örücüler Köyü, Mahmutlar Beldesi ve Bardakçı Köyü' nden toplanan 17 su örneğinden elde edilen radon konsantrasyonu, radon soluma hızı ve efektif radyum içeriği Şekil 5. 38, 5.39 ve 5.40 de verilmektedir.



Şekil 5. 38 Su Örneklerinde Radon Konsantrasyonu

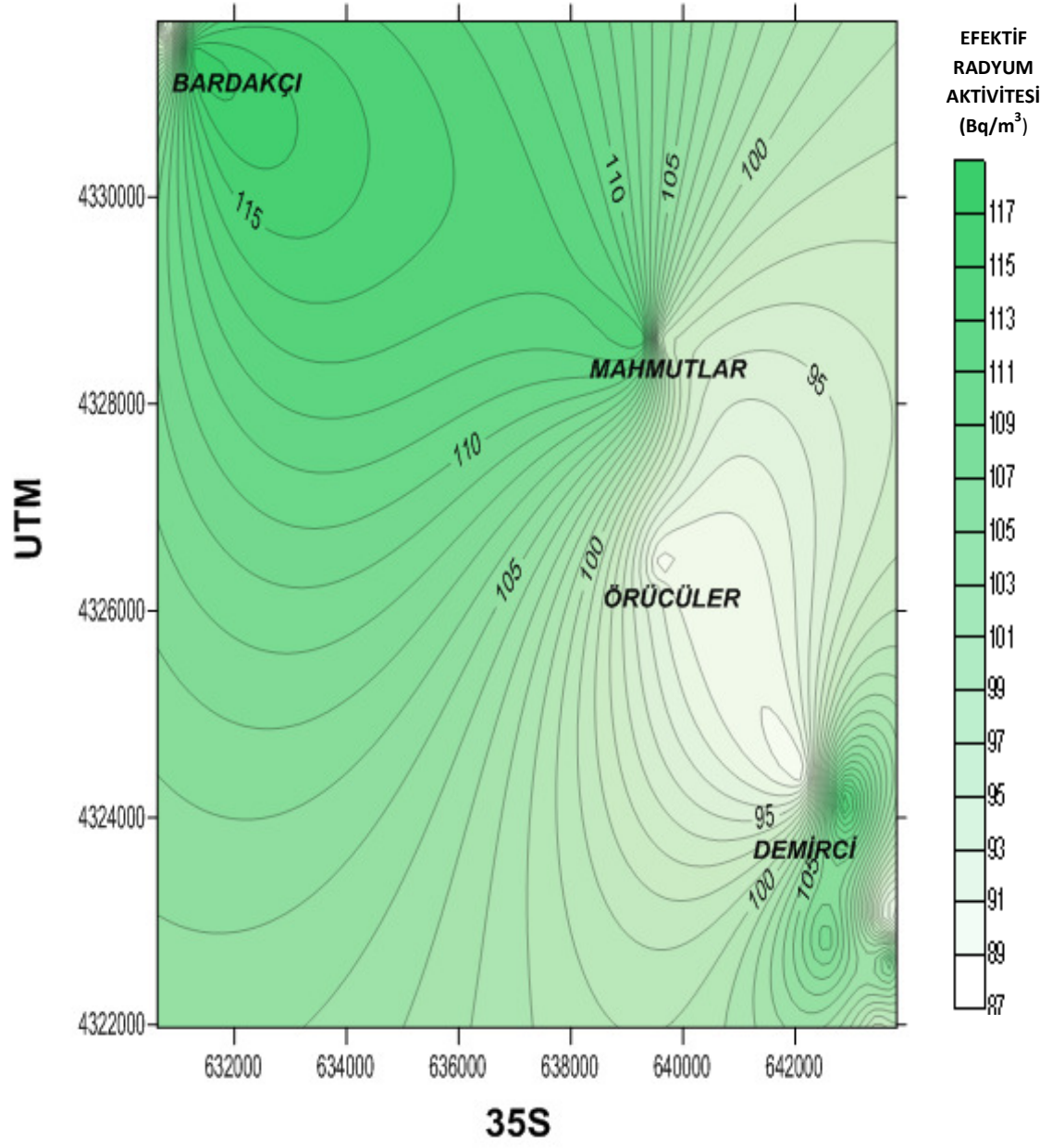


Şekil 5. 39 Su Örneklerinde Radon Soluma Hızı



Şekil 5. 40 Su Örneklerinde Efektif Radyum İçeriği

Toplanan su örneklerindeki efektif radyum aktivitelerinin dağılımını gösteren kontür grafiği Şekil 5. 41 de verilmektedir.



Şekil 5. 41 Su Örneklerindeki Efeaktif Radyum Aktivitesi

5.4. Binaİçi Radon Konsantrasyonu Ölçüm Sonuçları

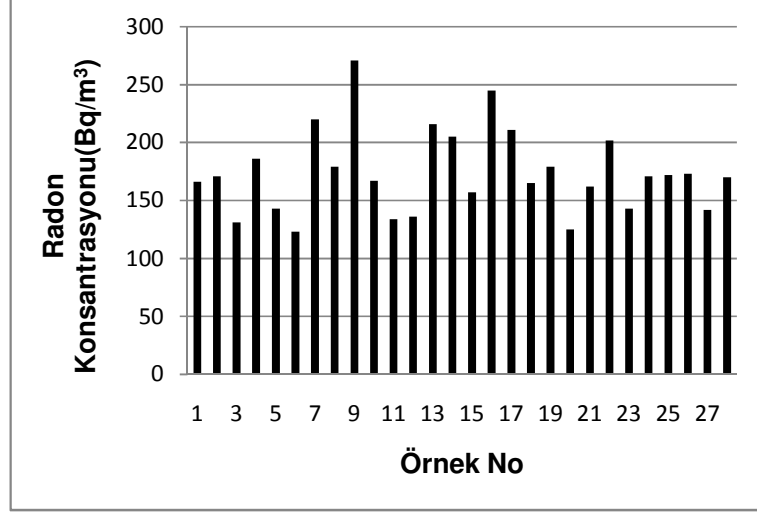
5.4.1. Demirci Merkez

Demirci' deki evlere 35 tane CR 39 iz dedektörü dağıtılmıştır. Fakat bunların ancak 28 tanesine ulaşılabilmektedir. Bu dedektörlerin analizlenmesi sonucunda Demirci ilçe merkezindeki bina içi radon konsantrasyonları ve efektif doz eşdeğerleri Çizelge 5. 7'de verilmektedir.

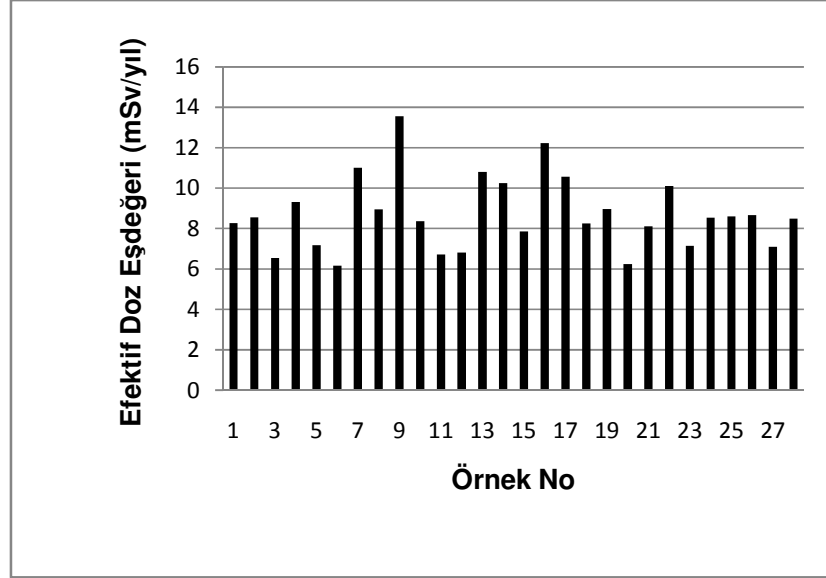
Çizelge 5. 7 Demirci İlçe Merkezindeki Binaİçi Radon Konsantrasyonları ve Efektif Doz Eşdeğeri

Örnek No	Film No.	Radon Kons. (Bq/m ³)	Efektif Doz Eşdeğeri (mSv/yıl)
1	1	166	8.28
2	2	171	8.56
3	3	131	6.55
4	4	186	9.32
5	5	143	7.17
6	7	123	6.16
7	8	220	11.02
8	9	179	8.94
9	12	271	13.56
10	13	167	8.37
11	15	134	6.72
12	16	136	6.81
13	17	216	10.80
14	18	205	10.26
15	19	157	7.86
16	22	245	12.24
17	24	211	10.57
18	25	165	8.26
19	26	179	8.96
20	27	125	6.23
21	28	162	8.11
22	29	202	10.10
23	30	143	7.15
24	31	171	8.54
25	34	172	8.61
26	37	173	8.66
27	40	142	7.10
28	41	170	8.49
Minimum		123	6.16
Maksimum		271	13.56
Ortalama		173.75	8.692

Demirci ilçe merkezindeki bina içi radon konsantrasyonu ve efektif doz eşdeğeri dağılımları Şekil 5. 42ve 5. 43 de verilmektedir.



Şekil 5.42 Demirci İlçe Merkezindeki Bina İçi Radon Konsantrasyonu



Şekil 5. 43 Demirci İlçe Merkezindeki Bina İçi Efektif Doz Eşdeğeri

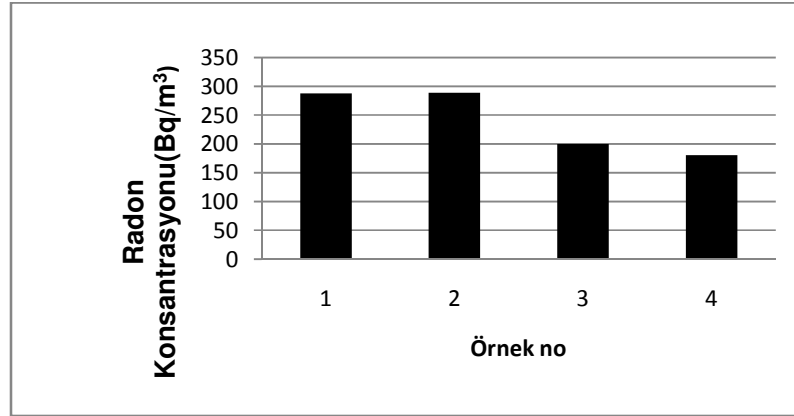
5.4.2. Bardakçı Köyü

Bardakçı Köyü' ndeki evlere 5 tane CR 39 iz dedektörü dağıtılmıştır. Fakat bunlardan ancak 4 tanesine ulaşılabilmektedir. Bu dedektörlerin analizlenmesi sonucunda Bardakçı Köyündeki bina içi radon konsantrasyonları ve efektif doz eşdeğerleri Çizelge 5. 8'de verilmektedir.

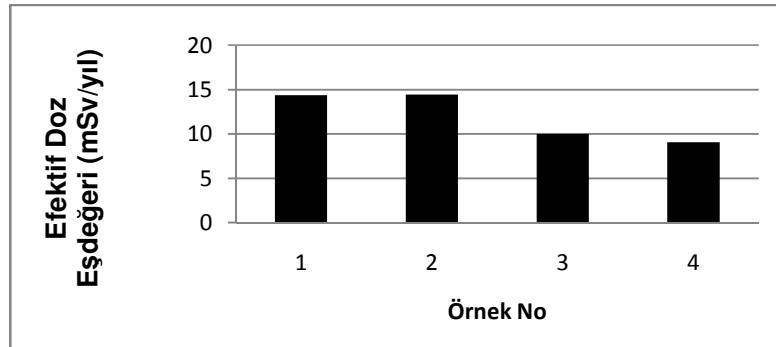
Çizelge 5. 8 Bardakçı Köyü Bina İçi Radon Konsantrasyonu Ve Efektif Doz Eşdeğerleri

Örnek No	Film No.	Radon Kons. (Bq/m ³)	Efektif Doz Eşdeğeri (mSv/yıl)
1	43	288	14.38
2	44	289	14.44
3	46	200	10.00
4	49	181	9.06
Minimum		181	9.06
Maksimum		289	14.44
Ortalama		239	12

Bardakçı Köyü bina içi radon konsantrasyonu ve efektif doz eşdeğeri dağılımları Şekil 5. 44ve 5. 45 de verilmektedir.



Şekil 5. 44 Bardakçı Köyü Bina İçi Radon Konsantrasyonu



Şekil 5. 45 Bardakçı Köyü Bina İçi Efektif Doz Eşdeğeri

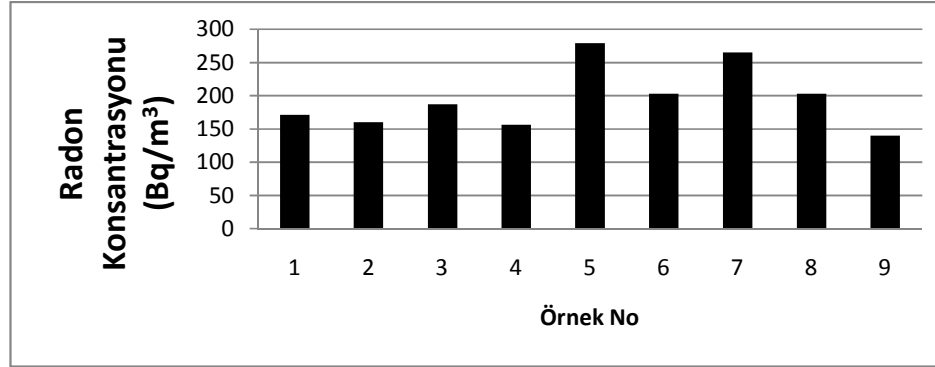
5.4.3.Kılavuzlar Köyü

Kılavuzlar Köyü' ndeki evlere 11 tane CR 39 iz dedektörü dağıtılmıştır. Fakat bunlardan ancak 9 tanesine ulaşılabılmıştır. Bu dedektörlerin analizlenmesi sonucunda Kılavuzlar' ın merkezindeki bina içi radon konsantrasyonları ve efektif doz eşdeğerleri Çizelge 5. 9' da verilmektedir.

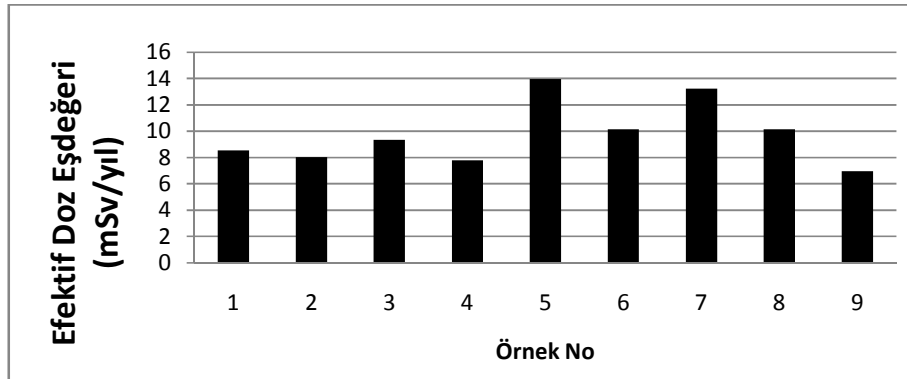
Çizelge 5. 9 Kılavuzlar Köyü Bina İçi Radon Konsantrasyonu ve Efektif Doz Eşdeğerleri

Örnek No	Film No.	Radon Kons. (Bq/m ³)	Efektif Doz Eşdeğeri (mSv/yıl)
1	60	171	8.56
2	61	160	8.02
3	63	187	9.36
4	64	156	7.80
5	65	279	13.96
6	67	203	10.14
7	68	265	13.23
8	69	203	10.14
9	70	140	6.98
Minimum		140	6.98
Maksimum		279	13.76
Ortalama		196	10

Kılavuzlar Köyü bina içi radon konsantrasyonu ve efektif doz eşdeğeri dağılımları Şekil 5. 46 ve 5. 47 de verilmektedir



Şekil 5. 46 Kılavuzlar Köyü Radon Konsantrasyonu



Şekil 5.47 Kılavuzlar Köyü Efektif Doz Eşdeğeri

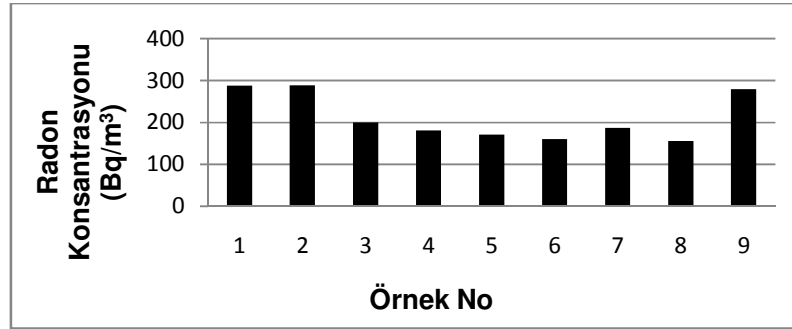
5.4.4.Mahmutlar Beldesi

Mahmutlar Beldesi'ndeki evlere 9 tane CR 39 iz dedektörü dağıtılmıştır. Bu dedektörlerin analizlenmesi sonucunda Mahmutlar Beldesinin merkezindeki bina içi radon konsantrasyonları ve efektif doz eşdeğerleri Çizelge 5. 10' da verilmektedir.

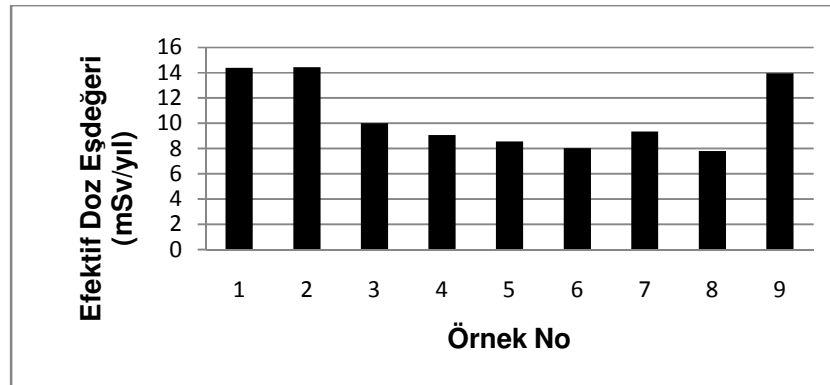
Çizelge 5. 10 Mahmutlar Beldesi Bina içi Radon Konsantrasyonu Ve Efektif Doz Eşdeğerleri

Örnek No	Film No.	Radon Kons. (Bq/m ³)	Efektif Doz Eşdeğeri (mSv/yıl)
1	11	311	15.56
2	14	303	15.16
3	32	286	14.32
4	35	139	6.93
5	36	318	15.89
6	38	436	21.81
7	42	139	6.94
8	45	249	12.45
9	47	199	9.95
Minimum		139	4.93
Maksimum		436	21.81
Ortalama		264	13

Mahmutlar Beldesi bina içi radon konsantrasyonu ve efektif doz eşdeğeri dağılımları Şekil 5. 48 ve 5. 49 da verilmektedir.



Şekil 5. 48 Mahmutlar Beldesi Bina İçi Radon Konsantrasyonu



Şekil 5. 49 Mahmutlar Beldesi Bina İçi Efektif Doz Eşdeğeri

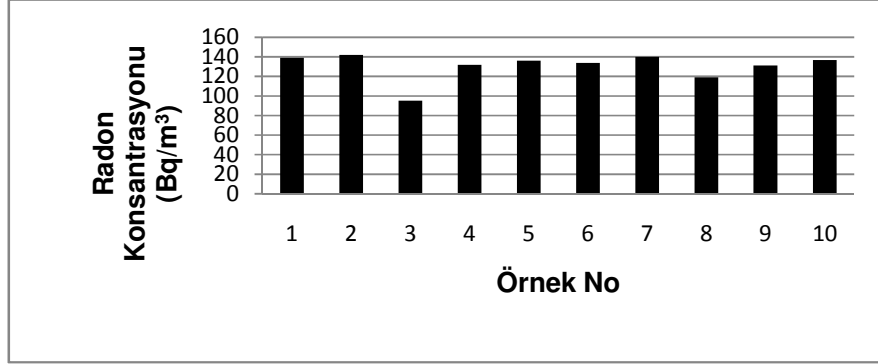
5.4.5.Örücüler Köyü

Örücüler Köyü' ndeki evlere 10 tane CR 39 iz dedektörü dağıtılmıştır. Bu dedektörlerin analizlenmesi sonucunda Örücüler' in merkezindeki bina içi radon konsantrasyonları ve efektif doz eşdeğerleri Çizelge 5. 11' da verilmektedir.

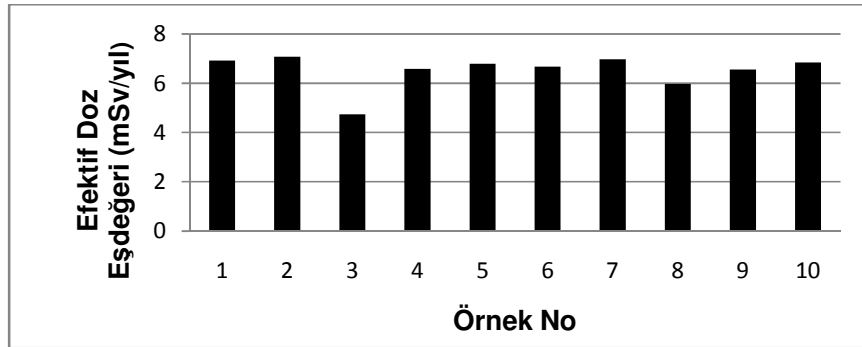
Çizelge 5. 11 Örücüler Köyü Bina İçi Radon Konsantrasyonu Ve Efektif Doz Eşdeğerleri

Örnek No	Film No.	Radon Konsantrasyonu (Bq/m ³)	Efektif Doz Eşdeğeri (mSv/yıl)
1	50	139	6.93
2	51	142	7.08
3	52	95	4.74
4	53	132	6.58
5	54	136	6.79
6	55	134	6.68
7	56	140	6.98
8	57	119	5.97
9	58	131	6.56
10	59	137	6.84
Minimum		95	4.74
Maksimum		142	7.08
Ortalama		130	6

Örücüler Köyü bina içi radon konsantrasyonu ve efektif doz eşdeğeri dağılımları Şekil 5. 50 ve 5. 51 ' de verilmektedir.



Şekil 5. 50 Örücüler Köyü Bina İçi Radon Konsantrasyonu



Şekil 5. 51 Örücüler Köyü Bina İçi Efektif Doz Eşdeğeri

6. TARTIŞMA

6.1. Yüzey Gama Doz Hızı Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Demirci İlçesi, Kılavuzlar Köyü, Örücüler Köyü Mahmutlar Beldesi ve Bardakçı Köyü yerleşim yerlerinden alınan örneklerin yerden 1 metre yükseklikte ÇNAEM Dose Rate Meter-NEB.211 marka cihaz ile ölçülen yüzey gama doz hızları Çizelge 5.1 'e bakıldığında; 13.67-26.5 $\mu\text{R/h}$ aralığında ve ortalama 18.50 $\mu\text{R/h}$ olarak bulunmuştur. Bu değerlerden hesaplanan doz hızı değerleri minimum 118.668 nGy/h, maksimum 230.550 nGy/h'dır ve ortalama 160.965 nGy/h olarak bulunmuştur

Bu çalışmada elde edilen yüzey gama doz hızlarının 35S UTM koordinat sistemine göre çizilen bölgesel dağılım grafiğinde gama doz hızı eşdeğer çizgilerinin Mahmutlar Beldesinde ve Demircinin doğu kesiminde yoğunlaştığı gözlenmektedir. Bu da toprak yüzeyindeki en yüksek gama dozunun Mahmutlar Beldesinde ölçüldüğünü göstermektedir. Diğer taraftanda en düşük değerler Örücüler Köyünün ve Demircinin merkezinde ayrıca Kılavuzlar köyünün kuzey batısında bulunmuştur. (Şekil 5.1)

Türkiye'de yapılan yüzey gama doz hızı çalışmaları ile ilgili sonuçlar Çizelge 6.1'de verilmektedir.

Çizelge 6.1 Türkiye'de 1 metre yükseklikte ölçülen yüzey gama doz hızları

Çalışma Alanı	Yüzey Gama Doz Hızı (nGy/h)	Kaynak
İstanbul	65(32- 94)	(Karahan et al. , 2000)
Manisa	78 – 136	(Ereeş et al. , 2006)
Kastamonu	48(36-85)	(Kam et al. , 2007)
Kırklareli	118	(Taşkın et al. , 2009)
Adana	67	(Değerlier et al. , 2008)
Trabzon	59(12-191)	(Kurnaz et al. , 2011)
Elazığ	85.4± 23. 1	(Canbazoglu et al. , 2011)
Dünya Ortalaması	59 (24-160)	(UNCEAR, 2000)
Demirci(Manisa)	160.965 (118.668 -230.550)	Bu Çalışma

Çizelge 6.1' e bakıldığında;

Çalışma bölgesinde bulunan ortalama doz hızı Dünya ortalaması ve Türkiye' de yapılan diğer çalışmalardan daha yüksek olduğu açıkça görülmektedir.

6.2. Toprakta ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Demirci İlçesi. Kılavuzlar Köyü. Örücüler Köyü Mahmutlar Beldesi ve Bardakçı Köyü yerleşim yerlerinden alınan 40 farklı toprak örneğinde ^{40}K , ^{238}U ve ^{232}Th konsantrasyonları incelendiğinde :(Çizelge 5.2)

^{238}U konsantrasyonu: 26.67-121.01 Bq/kg aralığında ve ortalama 80.9 Bq/kg olarak bulunmuştur.

^{232}Th konsantrasyonu: 2.02-60 Bq/kg aralığında ve ortalama 35.7 Bq/kg olarak bulunmuştur.

^{40}K konsantrasyonu: 23.6-658.93 Bq/kg aralığında ve ortalama 310.9 Bq/kg olarak bulunmuştur.

Bu çalışmada elde edilen ^{238}U konsantrasyonu en düşük Demirci Merkezde, en yüksek de Demirci Merkezde bulunmuştur. ^{232}Th konsantrasyonu en düşük Demirci Merkezde, en yüksek Bardakçı Köyü' nde bulunmuştur. ^{40}K konsantrasyonu en düşük Kılavuzlar Köyü' nde, en yüksek Mahmutlar Beldesi' nde bulunmuştur.(Çizelge 5.2)

Türkiye'de yapılan toprakta ^{238}U ^{232}Th ve ^{40}K tayini çalışmaları ile ilgili sonuçlar Çizelge 6.2' de verilmektedir.

Çizelge 6.2 Türkiye'de Yapılan Çalışmaların Toprakta ^{238}U ^{232}Th ve ^{40}K Tayini

Çalışma Alanı	^{238}U (Bq/kg)	^{232}Th (Bq/kg)	^{40}K (Bq/kg)	Kaynak
Adana	17.6	21.10	297.5	(Değerlier et al. , 2008)
Balıkesir	37.6	54.70	674.5	(Kapdan et al. , 2011)
Çanakkale	94.6	110.40	1273	(Kam et al. , 2010)
Gaziantep	25.2	23.70	289.2	(Osmanlıoğlu et al. , 2007)
İstanbul	21	37	342	(Karahana et al. , 2000)
Kastamonu	32.9	27.17	431.43	(Kam et al. , 2007)
Kütahya	33	32	255	(Şahin et al. , 2008)
Manisa	28.5	27	340	(Ereeş et al. , 2006)
Şanlıurfa	20.8	24.95	298.61	(Bozkurt et al. , 007)
Tekirdağ	29	39	580	(Kurnaz et al. , 2007)
Trabzon	41	35	437	(Canbazoğlu et al. , 2011)
Erzincan	8.9	11.39	281.94	(Yalçın et al. , 2012)
Dünya	35	30	400	(UNSCEAR, 2000)
Demirci(Manisa)	80.9 (26.67-121.01)	35.7 (2.02-60)	310.9 (23.6-658.93)	Bu Çalışma

Çizelge 6.2 incelendiğinde çalışma bölgesinde bulunan ortalama;

^{238}U aktivitesi: Çanakkale' ye göre düşük fakat Dünya ortalamasından ve Türkiye de yapılan diğer çalışmalardan (Adana, Balıkesir, Gaziantep, İstanbul, Kastamonu, Kütahya, Manisa, Şanlıurfa, Tekirdağ, Trabzon, Erzincan) yüksek olduğu belirlenmiştir.

^{232}Th aktivitesi: Balıkesir, Çanakkale, İstanbul ve Tekirdağ'a göre düşük fakat Dünya ortalamasından ve Türkiye de yapılan diğer çalışmalardan(Adana, Gaziantep, Kastamonu, Kütahya, Manisa, Şanlıurfa, Tekirdağ, Trabzon, Erzincan) yüksek olduğu belirlenmiştir.

^{40}K aktivitesi: Adana, Gaziantep, Kütahya, Şanlıurfa ve Erzincan' a göre yüksek fakat Dünya ortalamasından ve Türkiye de yapılan diğer çalışmalardan(Balıkesir, Çanakkale, İstanbul, Kastamonu, Manisa, Tekirdağ, Trabzon,) düşük olduğu belirlenmiştir.

Demirci ve çevre yerleşim yerlerinden toplanan 40 farklı toprak örneğinden elde edilen ^{40}K , ^{238}U ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonlarından ve UNSCEAR 2000 raporunda verilen formüllerden yararlanarak soğurulan doz hızı değerleri 32-95 nGy/h aralığında ve ortalama 70.73 nGy/h olarak bulunmuştur. İnsanların gün boyunca maruz kaldıkları yıllık ortalama efektif doz eşdeğeri 40.21-116.8 μSv aralığında ve ortalama 86.061 μSv olarak bulunmuştur. Eşdeğer radyum aktiviteleri 71.22-208.05 Bq/kg aralığında ve ortalama 152.694 Bq/kg olarak bulunmuştur. H_{ex} 0.19- 0.56 aralığında ve ortalama 0.412 olarak bulunmuştur. Bölgedeki

ortalama dış tehlike endeks değeri (H_{ex}) 1' in altında bulunduğu için insan sağlığını tehdit eden bir durum söz konusu değildir. (Çizelge 5.3)

Bu çalışmada toprak örneklerinden elde edilen absorplanan doz hızı, efektif doz eşdeğeri, eşdeğer radyum aktiviteleri ve dış tehlike endeksleri en düşük Demirci Merkezde, en yüksek Bardakçı Köyünde çıkmıştır. (Çizelge 5.3)

Türkiye'de yapılan çalışmalar ile ilgili sonuçlar Çizelge 6. 3' de verilmektedir.

Çizelge 6.3 Türkiye' de Yapılan Çalışmalarda Toprak Örneklerinden Elde Edilen Absorplanan Doz Hızı Değerleri (nGy/h), Yıllık Ortalama Efektif Doz Eşdeğeri (μ Sv).

Örnek Noktası	Doz Hızı (nGy/h)	Efektif Doz Eşdeğeri (μ Sv)	Kaynak
Kırklareli	71	87	(Taşkın et al. , 2009)
Manisa	54	66	(Ereeş et al. , 2006)
İstanbul	49	65	(Karahana et al. , 2000)
Kastamonu	53	65	(Kam et al. , 2007)
Adana	54	67	(Değerlier et al. , 2008)
Şanlıurfa	38	61	(Bozkurt et al. , 2007)
Rize	77		(Kurnaz et al. , 2007)
Kilis	11	13.94	(Bakkal et al. , 2012)
Dünya	60	70	(UNSCEAR, 2000)
Demirci İlçesi	70.73 (32.79-95.24)	86.061 (40.21-116.8)	Bu Çalışma

Çizelge 6.3' e bakıldığında ;

Çalışma bölgesinde bulunan ortalama doz hızı Rize ve Kırklareli' ne göre düşük fakat Dünya ortalaması ve Türkiye' de yapılan diğer çalışmalardan (Manisa, İstanbul, Kastamonu, Adana, Şanlıurfa, Kilis) daha yüksek olduğu açıkça görülmektedir.

Ortalama efektif doz eşdeğeri ise Kırklareli' ne göre düşük fakat Dünya ortalaması ve Türkiye' de yapılan diğer çalışmalardan (Manisa, İstanbul, Kastamonu, Adana, Şanlıurfa, Kilis) daha yüksek olduğu açıkça görülmektedir.

6.3. Toprakta Radon Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Demirci Merkezden alınan 25 farklı toprak örneğinde ve çevresindeki köylerden alınan 15 farklı toprak örneğine ait radon konsantrasyonları, radon soluma hızları ve efektif radyum eşdeğeri Çizelge 5.4 de bakıldığında; Radon konsantrasyonu 101-347 Bq/m³ aralığında ve ortalama 199.7 Bq/m³ olarak bulunmuştur. Bu değerlerden hesaplanan radon soluma hızları 0.13-0.45 Bq/m².saat aralığında ve ortalama 0.257 Bq/m².saat olarak bulunmuştur.

Bu çalışmada toprak örneklerinden elde edilen efektif radyum içeriğinin 35S UTM koordinat sistemine göre çizilen bölgesel dağılım grafiğinde efektif radyum çizgilerinin Demirci Merkez' de yoğunlaştığı gözlenmektedir. Buda topraktaki en yüksek efektif radyum

içeriğinin Demirci Merkez' de ölçüldüğünü göstermektedir. Diğer taraftanda en düşük değerler Bardakçı Köyünün güneyinde ve Kılavuzlar Köyünde bulunmuştur (Şekil 5.17).

Türkiye'de yapılan toprakta radon çalışmaları ile ilgili sonuçlar Çizelge 6.4'de verilmektedir.

Çizelge 6. 4 Türkiye' de Yapılan Çalışmalarda Toprak Örneklerine Ait Radon Konsantrasyonu

Örnek Noktası	Radon konsantrasyonu (Bq/m ³)	Referans
Denizli	242-7196	(Başdan, 2013)
Dikili-Bergama (İzmir)*	21.9-1913	(Tabar, 2010)
DAFZ	6400	(Baykara, 2005)
KAFZ	8400	(Baykara, 2005)
Adıyaman	0-36000	(Erkmen, 2007)
Isparta	8000-20000	(Kulalı, 2009)
Demirci İlçesi	199.7(101-347)	Bu Çalışma

* $1 \text{ iz/m m}^2 \cdot \text{saat} = 5 \text{ kBq/m}^3$ faktörü kullanılarak Bq/m³ 'e dönüştürülmüştür. (Değerler 0.3 katsayısı ile çarpılmıştır.) (DAFZ: Doğu Anadolu Fay Zonu, KAFZ: Kuzey Anadolu Fay Zonu)

Çizelge 6.4' e bakıldığında;

Çalışma bölgesinde bulunan ortalama toprakta radon konsantrasyonu Türkiye' de yapılan diğer çalışmalara (Denizli, Dikili-Bergama (İzmir), DAFZ, KAFZ, Adıyaman, Isparta) göre düşük olduğu açıkça görülmektedir.

6.4. Suda Radon Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Çalışma bölgesinden alınan 17 farklı su örneğinde alkalite. ph. mV. iletkenlik ve tuzluluk değerleri Çizelge 5.5' e bakıldığında; toprak alkalitesi 36-508 ppm CaCO³ aralığında ve ortalama 241 ppm CaCO³, ph değeri 5 – 8 ve ortalama 7, mV değeri -43 – 93 ve ortalaması 18 iletkenliği 68-1240 µS/cm ve ortalama 598 µS/cm, tuzluluğu 0- 0,4 ve ortalama 0.12 olarak bulunmuştur.

Çalışma bölgesinden alınan 17 farklı su örneğinde; radon konsantrasyonları, radon soluma hızları ve efektif radyum eşdeğeri Çizelge 5.6' ya bakıldığında; Radon konsantrasyonu 1098- 2605 Bq/m³ aralığında ve ortalama 2154 Bq/m³ olarak bulunmuştur. Bu değerlerden hesaplanan radon soluma hızları 0.05- 0.07 Bq/m².saat aralığında ve ortalama 0.06 Bq/m².saat olarak bulunmuştur.

Bu çalışmada su örneklerinden elde edilen efektif radyum içeriğinin 35S UTM koordinat sistemine göre çizilen bölgesel dağılım grafiğinde efektif radyum çizgilerinin Bardakçı Köyünün kuzey batısında ve Mahmutlar Beldesinde yoğunlaştığı gözlenmektedir. Buda sudaki en yüksek efektif radyum içeriğinin Bardakçı Köyü'n' de ölçüldüğünü göstermektedir. Diğer taraftanda en düşük değerler Demirci İlçesi' nin batısında ve Örücüler Köyünün güney doğusunda bulunmuştur. (Şekil 5.38)

Türkiye'de yapılan suda radon çalışmaları ile ilgili sonuçlar Çizelge 6.5'de verilmektedir.

Çizelge 6. 5 Türkiye' de Yapılan Çalışmalarda Su Örneklerine Ait Radon Konsantrasyonu

Örnek Noktası	Radon konsantrasyonu (Bq/m ³)	Kaynak
Denizli*	800-5400	(Başdan, 2013)
Dikili-Bergama (İzmir)*	340-28130	(Tabar, 2010)
Bursa*	7290 (Kış) 9240 (İlkbahar)	(Alakuş, 2013)
Kastamonu*	362-12734 (İlkbahar) 312- 19213 (Yaz)	(İncirci, 2011)
Kütahya*	165 (1.Çalışma) 460 (2.Çalışma) 1110 (3.Çalışma)	(Durak, 2010)
Demirci (Manisa)	2154 (1098-2605)	Bu Çalışma

* 1L=0.001 m³ dönüşümü yapılmıştır.

Çizelge 6. 5 e bakıldığında;

Çalışma bölgesinde bulunan ortalama suda radon konsantrasyonu 2154 Bq/m³ dür. Bu değer Kütahya' da yapılan çalışmalardan yüksek fakat Türkiye' de yapılan diğer çalışmalara (Denizli, Dikili-Bergama (İzmir), Bursa, Kütahya, Kastamonu) göre düşük olduğu bulunmuştur.

6.5. Bina İçi Radon Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Demirci Merkezdeki binalardan alınan 28 farklı örneğe ait; radon konsantrasyonları. 123-271 Bq/m³ aralığında ve ortalama 174 Bq/m³ olarak bulunmuştur. Bu değerlerden hesaplanan efektif radyum eşdeğeri 6.16- 13.56 mSv/yıl aralığında ve ortalama 9 mSv/yıl olarak bulunmuştur.(Çizelge 5.7)

Mahmutlar Beldesindeki binalardan alınan 9 farklı örneğe ait; radon konsantrasyonları. 139-436 Bq/m³ aralığında ve ortalama 264 Bq/m³ olarak bulunmuştur. Bu değerlerden hesaplan efektif radyum eşdeğeri 6.93-21.81 mSv/yıl aralığında ve ortalama 13 mSv/yıl olarak bulunmuştur.(Çizelge 5.8)

Bardakçı Köyündeki binalardan alınan 4 farklı örneğe ait; radon konsantrasyonları. 181-289 Bq/m³ aralığında ve ortalama 239 Bq/m³ olarak bulunmuştur. Bu değerlerden

hesaplanan efektif radyum eşdeğeri 9.06- 14.44 mSv/yıl aralığında ve ortalama 12 mSv/yıl olarak bulunmuştur. (Çizelge 5.9)

Örücüler Köyündeki binalardan alınan 10 farklı örneğe ait; radon konsantrasyonları.; 95-142 Bq/m³ aralığında ve ortalama 130 Bq/m³ olarak bulunmuştur. Bu değerlerden hesaplanan efektif radyum eşdeğeri 4.74 -7.08 mSv/yıl aralığında ve ortalama 6 mSv/yıl olarak bulunmuştur. (Çizelge 5.10)

Kılavuzlar Köyündeki binalardan alınan 9 farklı örneğe ait; radon konsantrasyonları 140-279 Bq/m³ aralığında ve ortalama 196 Bq/m³ olarak bulunmuştur. Bu değerlerden hesaplanan efektif radyum eşdeğeri 6.98- 13.96 mSv/yıl aralığında ve ortalama 10 mSv/yıl olarak bulunmuştur. (Çizelge 5.11)

Çizelge 6. 6 Önceden Yapılan Çalışmalarda Bina İçi Radon Konsantrasyonu

Örnek Noktası	Radon konsantrasyonu (Bq/m ³)	Kaynak
Manisa	97	(Ereeş et al. , 2006)
Kastamonu	98.4	(Kam et al. , 2007)
Tekirdağ	87	(Yarar et al. , 2005)
Karabük	131.6	(Baldık et al. , 2011)
Giresun	130	(Çelik et al. , 2008)
Batman	84	(Damla et al. , 2010)
Elazığ	98	(Canbazoğlu et al. , 2011)
Türkiye	400	(UNSCEAR, 2000)
Dünya (*ICRP)	400	(UNSCEAR, 2000)
Demirci İlçesi	174(123-271)	Bu Çalışma
Mahmutlar Beldesi	264(139-436)	Bu Çalışma
Bardakçı Köyü	239(181-289)	Bu Çalışma
Örücüler Köyü	130(95-142)	Bu Çalışma
Kılavuzlar Köyü	196(140-279)	Bu Çalışma

* Uluslar arası Radyasyon Korunma Komitesi

Çizelge 6.6 ya bakıldığında;

Çalışma bölgesinde bulunan ortalama bina içi radon konsantrasyonu en yüksek Mahmutlar Beldesinde, en düşük Örücüler Köyünde bulunmuştur. Bu değerler, Türkiye' de yapılan diğer çalışmalara(Manisa, Kastamonu, Tekirdağ, Karabük, Giresun, Batman, Elazığ) göre yüksek çıkmıştır, fakat Türkiye ve Dünya ortalamasına göre düşük olduğu bulunmuştur.

7.SONUÇ

Demirci (Manisa) İlçesi ve çevresindeki köy ve beldelerinden toplanan toprak ve su örneklerinde radyoaktivite tayinleri ve örneklerin alındığı noktalarda yapılan yüzey gama doz hızı ile ilgili çalışmanın yapılması bu bölgede yaşayan insanların sağlık riskleri açısından önem teşkil etmektedir.

Yapmış olduğumuz çalışmada bölgenin yüzey gama doz hızı ölçümleri, toprak ve su örneklerinde radon soluma hızları ve toprak örneklerinde ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K aktivite konsantrasyonları ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca aktivite ölçümleri kullanılarak eşdeğer radyum değerleri hesaplanmıştır.

Çalışma bölgesinin doz dağılımını gösteren kontur grafikleri çıkartılarak yapılan incelemede en yüksek yüzey gama doz hızı Mahmutlar Beldesi'nde, en düşük yüzey gama doz hızı Örüçüler Köyü'nde olduğu saptanmıştır. Toprak örneklerinde en yüksek radon soluma hızı Demirci Merkezde en düşük radon soluma hızı Bardakçı Köyünde, su örneklerinde en yüksek radon soluma hızı Bardakçı Köyünde en düşük radon soluma hızı Demirci Merkezde olduğu saptanmıştır. Bölgedeki radyolojik değerler bölgenin jeolojik yapısıyla ve çalışmanın yaz döneminde yapılmasından kaynaklı değişimler göstermektedir. Fakat incelemeler sonucunda bölgenin radyolojik olarak insan sağlığını tehdit etmediği görülmüştür.

Sular üzerinde yapılan kimyasal çalışmalarda: Demirci merkeze bakıldığında sularda toprak alkalitesi, pH, , iletkenlik, ve tuzluluk değerlerinin çevre köy ve beldelerden daha yüksek olduğu görülmüştür. İletkenlik suda çözünmüş katıların miktarını ve suyun kirliliği hakkında bize bilgi verir. Tuzluluk miktarındaki artışta iletkenliği etkileyen bir faktördür.

Ayrıca Demirci merkez ve çevre yerleşim beldelerinde (Mahmutlar, Kılavuzlar, Örüçüler ve Bardakçı) bina içi radon konsantrasyonları ölçülmüştür. Bina içinde yapılan çalışmada en yüksek radon konsantrasyonu Mahmutlar Beldesinde en düşük radon konsantrasyonu Örüçüler Köyünde olduğu saptanmıştır. Bu değerlerin Dünya ve Türkiye ortalamasından düşük olduğu görülmüştür. Çalışma alanındaki bina içi radon konsantrasyonu ve yüzey gama doz hızının en yüksek değerlerinin ve en düşük değerlerinin Mahmutlar Beldesi ile Örüçüler Köyünde ortaya çıktığı görülmüştür.

Çalışma alanındaki bina içi radon konsantrasyonu evlerin düzgün bir şekilde havalandırılmaması, binalarda yalıtımın düzgün olmaması, bina içinde, çatıda çatlakların bulunması ve bina malzemelerinden kaynaklı olabildiği düşünülmüştür. Ayrıca evlerde sigara içilmesi de bina içi radon konsantrasyonunun artmasına neden olabilecek bir etkidir.

8. KAYNAKLAR

Abumurad K.M, and Al-Tamimi M (2001) Emanation Power Of Radon And Its Concentration In Soil And Rocks, *Radiation Measurements*, 34 (1-6), 423-426.

Akdoğan Ç (2010) Radon Kirliliği Ve Halk Sağlığı İlişkisi, Ege Üniversitesi, Tıp Fakültesi Bitirme Tezi

Akkurt A (2006) Afyon Jeotermal Sularında Radon Aktivitesi Tayini. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, s.37-41

Aközcan S (2002) Manisa İli Yerleşim Alanı Topraklarında ICP-AES Ve Gama Spektrometresi İle Element Analizleri Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi

Alakuş F (2013) Bursa İli Kaynak Sularında Radon Gazı Radyoaktivitesinin Ölçülmesi. Bozok Üniversitesi, BAP projesi

Amrani D, Tahtat M (2001) Natural Radioactivity in Algerian Building Materials. *Applied Radiation and Isotopes* 54 (2001) 687-689.

Arya F.A (1999) Çekirdek Fiziğinin Esasları, Ankara

Atakan Y (2006) İyonlayıcı Radyasyon Etkileri ve Sağlık Riski. Radyasyon ve Çevre Sempozyumu, Çanakkale

Azovazi M, Quahidi Y, Fakhi S, Andres Y, Abbe J. Ch, Benmansour M (2001) Natural radioactivity in phosphates ,phosphogypsum and natural waters in Morocco .*Journal of Environmental Radioactivity* 54;231-242

Bakkal S (2012) Determination Of, ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K and ^{137}Cs Radioactivity Concentrations İn Kilis Soil Samples

Baldık R, Aytekin H, Erer M (2011) Radioactivity measurements and radiation dose assessments due to natural radiation in Karabük (Turkey). *J Radioanal Nucl Chem* 289:297–302

Barış C, (2006) İzmir-Çesme Yeraltı-Termal Suları ve Çevresindeki Topraklarda Radyoaktivite Araştırmaları Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi

Başdan N. (2013) Denizli Bölgesindeki Jeotermal Alanlarda Radon Ölçümleri ile Sismik Aktiviteler Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi

Baykara O (2005) Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu Fay Hatlarının Kesişim Bölgesindeki Doğal Radyoaktivite, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi

Baykara O, Doğru M (2006) Measurements of radon and uranium concentration in water and soil samples from East Anatolian Active Faults Systems (Turkey). *Radiation Measurements*. Vol.41. pp. 362-367.

Bozkurt A, Yorulmaz N, Kam E, Karahan G, Osmanlioglu AE (2007) Assessment of environmental radioactivity for Sanliurfa region of southeastern Turkey. *Radiat Meas* 42:1387–1391.

Brai M, Basile S, Belli S, Hauser S, Puccio P, Rizzo S, Bartolotta A, Licciardello A (2002) Environmental radioactivity at Stromboli (Aerolian islands), Applied Radiation And Isotopes. Vol.57, 99-107.

Canbazoğlu C, Doğru M, Çelebi N, Kopuz G (2011) Assessment of natural radioactivity in Elazığ region, eastern Turkey. J Radioanal Nucl Chem (2012) 292:375–380.

Comsa C.M, Moldovan T, Dicu T, Kovacs. (2008) Radon In Water From Transylvania (Romania). Radiation Measurements 43, 1423-1428.

Çam Kaynar S. (2011) Akhisar-Gölmarmara-Gördes-Sındırgı Bölgesi Doğal Radyoaktivitesinin Jeolojik Yapı İle İlişkisinin İncelenmesi. CBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi.

Çelebi, N. (1995) Çevresel Örneklerde Uranyum, Radyum ve Radon Ölçüm Tekniklerinin Geliştirilmesi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.

Çelik N, Cevik U, Celik A, Küçükömeroğlu B (2008) Determination of indoor radon and soil radioactivity levels in Giresun, Turkey. J Environ Radioact 99:1349–1354.

Çelik N, Damla N, Cevik U (2010) Gamma ray concentrations in soil and building materials in Ordu. Turk Radiat Eff Defect Solids 165:1–10.

Çelik N, Poffijn A, Çevik U ve Schepens L (2008) Indoor Radon Survey in Dwellings of the Kars Province ,Turkey Radiation Protection Dosimetry, 128, 432-436

Damla N, Cevik U, Kobya Aİ, Ataksor B, Isık U (2010) Assessment of environmental radioactivity for Batman, Turkey. Environ Monit Assess 160:401–412.

Davutoğlu, H.(2008) Radon Gazını Ölçme Metotları. Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Değerlier M, Karahan G, Ozger G (2008) Radioactivity concentrations and dose assessment for soil samples around Adana, Turkey. J Environ Radioact 99:1018–1025.

Değerlier M. (2007) Adana İli Ve Çevresinin Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Saptanması Ve Doğal Radyasyonların Yıllık Etkin Doz Eşdeğerinin Bulunması. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi

Demirel S.(2013) Konya'nın İçme Suyunun Sağlandığı Bazı Kuyu Sularında ²²²Rn Konsantrasyonu Değişimlerinin İncelenmesi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi

Durak S. (2010) Kütahya ili kaplıca sularında Radon-Radyum Konsantrasyonlarının ve Kaplıcalardaki Kapalı ortam Radon konsantrasyonunun Belirlenmesi. Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

El-Kameesy S. U, El-Ghany S. ABD, El-Minyawi S. M, Miligy Z and El-Mabrouk E. M (2008) Natural radioactivity of beach sand samples in the Tripoli region, northwest Libya, Turkish J. Eng. Env. Sci. 32, 245-251.

Enflo A (2002) Where are the radon-induced lung cancer cases? Is it time for a re-evaluation of the radon problem? International Congress Series, 1236, 23-25.

Erees F.S, Aközcan S, Parlak Y, Çam S (2006) Assessment of dose rates around Manisa (Turkey). *Radiat Meas* 41:598–601

Erees F.S, Yener G, Salk M, Özbal Ö (2006) Measurements of radon content in soil gas and in the thermal waters in Western Turkey. *Radiation Measurements*. Vol.4. pp. 354–361.

Erkmen C, Kuterdem N. K, Özaraç V, Tekin B. M, Eravcı B, Yaman M, Aktan T, Albayrak H, Tepeuğur E (2007) Dogu Anadolu Fayı'nın Gölbası - Türkoglu Arasında Kalan Kesiminin Tektonik Özellikleri Ve Paleosismolojisi, Esen ARPAT Doğu Anadolu Fay Zonu Sempozyumu 24-27 Mayıs Diyarbakır

Ferdoas S ve Al-Saleh (2007) Measurement of indoor gamma radiation and radon concentrations in dwellings of Riyadh city, Saudi Arabia. *Applied Radiation and Isotopes*, 65, 843-848.

Giammanco S, Imme G, Mangano G, Morelli D and Neri M (2009) Comparison Between Different Methodologies For Detecting Radon In Soil Along An Active Fault: The Case Of The Pernicana Fault System, Mt. Etna (Italy), *Applied Radiation And Isotopes*, 67, 178–185.

Güler Ç, Çobanoğlu Z (1997) Radon Kirliliği. T. C. Sağlık Bakanlığı, Sağlık Projesi Genel Koordinatörlüğü, Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi, No:44

Gür F (1999) Doğal Dış Radyasyonun İzmir İlinde Yaşayanların Aldıkları Toplam Doza Katkısının Belirlenmesi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Hafızoğlu N (2012) Kütahya İli Ve İlçelerindeki Çevresel Gama Radyasyonu Ölçümü Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi

Hamby D.M Tynybekov A.K (2002) Uranium, thorium, and potassium in soils along the shore of Lake Issyk-Kyol in the Kyrghyz Republic, *Environmental Monitoring and assessment*, Vol 73, Pages 101-108.

Hamori K, Toth E, Pal L, Köteles G, Losonci A ve Minda M (2006) Evaluation of indoor radon measurement in Hungary. *Journal of Environmental Radioactivity*, 88,189-198.

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

İçhedef M (2011) Radon Difüzyon Hızının Farklı Büyük Toprak Gruplarına Göre Değişiminin İncelenmesi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi

İncirci F (2011) Kastamonu Bölgesindeki Sularda Radon Aktivitesinin Ölçülmesi, Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi

Kam E (2004) Tekirdağ'ın Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Tayini. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi

Kam E, Bozkurt A (2007) Environmental radioactivity measurements in Kastamonu region of northern Turkey. *Appl Radiat Isot* 65:440–444

Kam E, Bozkurt A, Ilgar R (2010) A study of background radioactivity level for Canakkale. Turk Environ Monit Assess 168:685–690

Kam E, Yazar Y, Bozkurt A (2010) A study of background radioactivity level for Tekirdag. Turk Radiat Prot Dosim 138:40–44

Kapdan E, Varinlioglu A, Karahan G (2011) Outdoor radioactivity and health risks in Balikesir, northwestern Turkey. Radiat Prot Dosim. Accepted for publication. 1–9

Karahan G, Bayulken A (2000) Assessment of gamma dose rates around İstanbul (Turkey). J Environ Radioact 47:213–221.

Karunakara N, Somashekarappa H.M, Avadhani D.N, Mahesh H.M, Narayana Y, Siddappa K (2001) Radium-226, ²³²Th And ⁴⁰K distribution in the environment of kaiga of South west coast of India”, Health Physics, Vol 80, Pages 470-476.

Koztowska B, Walencik A, Dorda J, Zipper W (2010) Radon in Groundwater and Dose Estimation for Inhabitants in Spas of The Sudety Mountain Area, Poland. Applied Radiation and Isotopes, 68: 854-857

Köksal EM, Çelebi N, Özçınar B (1993) Indoor ²²²Rn concentrations in İstanbul houses. Health Phys 65(1):87–88

Kulalı F (2009) Topraktaki Radon Konsantrasyonu Ölçümü Ve Deprem İlişisinin Araştırılması, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi

Kurnaz A, Kucukomeroglu B, Damla N, Çevik U (2011) Radiological maps for Trabzon, Turkey. J Environ Radioact 102:393–399

Kurnaz A, Küçükömeroğlu B, Damla N and Çevik U (2011) Radiological maps for Trabzon, Turkey, Journal of Environmental Radioactivity 102, 393-399

Kurnaz A, Küçükömeroğlu B, Keser R, Okumuşoğlu N.T, Korkmaz F, Karahan G, Çevik U (2007) Determination of radioactivity levels and hazards of soil and sediment samples in Fırtına Valley (Rize, Turkey). Applied Radiation and Isotopes 65, 1281–1289.

Maged A.F, Borham E (1997) “A study of the radon emitted from various building materials using alpha track dedectors” Radiation Measurements. 28: 613-617.

Marques A.L, dos Santos W, Geraldo L.P, (2004) Direct measurements of radon activity in water from various natural sources using nuclear track detectors. Applied Radiation and Isotopes 60;801-804

NCRP (1997-1988) National Council on Radiation Protection and Measurements; Measurements of Radon and Radon Daughters in Air, NCRP Report No. 97

Nikolaev V.A (1998) Etched Track Radiometers İn Radon Measurements: A Review. Radiation Measurements 30 (1999) 1-13.

Nikolopoulos D, Vogianis E, Petraki E, Zisos A, Louizi A (2010) Investigation of The Exposure to Radon and Progeny in The Thermal Spas of Loutraki (Attica-Greece): Results From Measurements and Modelling. Science of The Total Environment, 408: 495-504

Osmanlioğlu A.E, Kam E, Bozkurt A (2007) Assessment of background radioactivity level for Gaziantep region of southeastern Turkey. Radiat Prot Dosim 24:407–410

Özderya F (2009) Samsun İli Ev İçi Radon Konsantrasyonu Ve Çevresindeki Topraklarda Radyoaktivitenin Tayini, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi

Özmen B (1995) Depremlerin Önceden Bilinmesinde Kullanılan Yöntemler, Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Seminer Dersi (JEO 500)

Öztürk E (2012) Erzincan İli Ev İçi Radon Konsantrasyonunun Mevsimsel Değişimi Ve Topraktaki Radyoaktivitenin Tayini, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi

Öztürk E. (2012) Erzincan İli Ev İçi Radon Konsantrasyonunun Mevsimsel Değişimi Ve Topraktaki Radyoaktivitenin Tayini Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi

Prasad Shiva G. N, Nagaiah N, Ashok G. V ve Karunakara N (2008) Concentrations of ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K the soils of Bangalore region, India. Health Physics, 94.

Ravisankar R , Vanasundari K, Chandrasekaran A, Rajalakshmi A, Suganya M, Vijayagopal P , Meenakshisundaram V (2012) Measurement of natural radioactivity in building materials of Namakkal, Tamil Nadu, India using gamma-ray spectrometry , Applied Radiation and Isotopes 70, 699–704

Sahin L, Cavas M (2008) Natural radioactivity measurements in soil samples of central Kutahya (Turkey). Radiat Prot Dosim 131:526–530

Saravanan S, Jodha A.S, Gopalani D, Bhatti S.S, Kumar S (2003) Preliminary measurements of natural radioactivity at Madurai district of Tamilnadu, India, Radiation Measurements, Vol 36, Pages 397-389.

Sarrou I, Pashalidis I (2003) Radon levels in Cyprus, Journal of Environmental Radioactivity,

Singh H, Singh J, Singh S, Bajwa B.S (2008) "Radon exhalation rate and uranium estimation study of some soil and rock samples from Tusham ring complex, India using SSNTD technique" Radiation Measurements. 43: 459-462.

Singh S, Kumar, A ve Singh B, (2002) Radon level in dwellings and its correlation with uranium and radium content in some areas of Himachal Pradesh India. Environmental International, 28, 97-101.

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

Singh S, Singh L, Kher S (2003) A comparison of fission track and lazer fluorimetry techniques for uranium analysis in water samples. Radiation Measurements 36;517-519

Sujo L.C, Cabrera M.E.M, Villalba L, Villalobas M.R, Moye E.T, Leon M.G, Garcia-Tenorio R, Garcia F M, Peraza E.F.H, Aroche D.S (2004) Uranium-238 and thorium-232 series concentrations in soil , radon-222 indoor and drinking water concentrations and

doseassessment in the city of Aldama , Chihuahua ,Mexico . Journal of Environmental Radioactivity 77;205-219

Tabar E. (2010) Dikili ve Bergama Bölgelerindeki Tektonik Aktivitenin Jeotermal Sularda Radon Ölçümleri ile Değerlendirilmesi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi

Taskin H, Karavus M, Ay P, Topuzoglu A, Hidiroglu S, Karahan G (2009) Radionuclide concentrations in soil and lifetime cancer risk due to gamma radioactivity in Kırklareli, Turkey. J Environ Radioact 100:49–53

Taşkın H (2006) İnsan Sağlığı Ve Çevre Kirliliği Açısından Kırklareli İlinin Fon Radyasyonunun Belirlenmesi Ve Haritalandırılması, Yüksek Lisans Tezi

Taylor J. R, Zafaritos C. D (1996) Fizik ve Mühendislikte Modern Fizik, İstanbul

Topçu N (2010) Manisa İlinden Toplanan Çeşitli Bina Materyallerinin Radon Soluma Hızlarının Hesaplanması Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi

UNSCEAR (2000) Sources and effects of ionizing radiation. Report of the United Nations scientific committee on the effects of atomic radiation to the general assembly. United Nations, New York

Villalba L, Colmenero Sujo, L, Montero Cabrera M.E, Cano Jime'nez A, Renter' a Villalobos M, Delgado Mendoza C.J, Jurado Tenorio L.A, Da'vila Rangel I, Herrera Peraza E.F (2005) Radon concentrations in ground and drinking water in the state of Chihuahua, Mexico, Journal of Environmental Radioactivity 80, pp. 139- 151.

Who (World Health Organization) (2002) World Health Report.

Yalcin P, Taskin H, Kam E, Taskin H, Terzi M, Varinlioglu A, Bozkurt A, Bastug A, Tasdelen B (2012) Investigation of radioactivity level in soil and drinking water samples collected from the city of Erzincan, Turkey. J Radioanal Nucl Chem (2012) 292:999–1006

Yarar Y, Günaydi T, Kam E (2005) A radon survey in some regions of Turkey. Int Congr Ser 1276:385–386

Yeboah J, Boadu M, Darko E.O (2001) Natural radioactivity in soils and rocks within the greater accra region of Ghana, Journal Of Radioanalytical And Nuclear Chemistry, Vol 249, Pages 629-632.

Zouridakis N, Ochsenkühn K.M, Savidou A (2002) Determination of uranium and radon in potable water samples. Journal of Environmental Radioactivity 61;225-232

Zunic Z. S, Yarmoshenke I. V, Birovljev A, Bochicchio F, Obryk B, Paszkowski M, Celikovic I, Demajo A, Ujic P, Budzanowski M, Olko P, McLaughlin J. P ve Waligorski M. P.R (2006) Radon survey in the high natural radiation region of Niska Banja, Serbia. Journal of Environmental Radioactivity. 92, 165-174.

URL1: <http://www.taek.gov.tr/bilgi-kosesi/183-radyasyon-insan-ve-cevre/radyasyon-ve-radyoaktivite/497-radyasyon-birimleri.html>

URL2:<http://www.taek.gov.tr/bilgi-kosesi/183-radyasyon-insan-ve-cevre/radyasyon-ve-radyoaktivite/498-radyasyon-ve-radyoaktivite.html>

URL3:<http://www.taek.gov.tr/bilgi-kosesi/radyasyon-insan-ve-cevre/81-radyasyonlabirlikte-yasiyoruz/234-radyasyon-ve-yasam.htm>

URL4:<http://www.taek.gov.tr/bilgi-kosesi/184-radyasyon-insan-ve-cevre/radyasyonlabirlikte-yasiyoruz/501-dogal-radyasyon-kaynaklari.html>

URL5:<http://www.demirci-bld.gov.tr/cografi-konumu.aspx>

URL6:<http://www.formalev.org/harita-kadastro/188416-turkiyenin-ince-ayrintili-il-ilce-vs-buyuk-haritasi.html>