

154495

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İZMİR-DİKİLİ JEOTERMAL SAHALARINA YAKIN
YERLEŞİM ALANLARINDA RADON
KONSANTRASYONLARININ BELİRLENMESİ

Fizikçi Tuğba GÜNAYDI

FBE Fizik Anabilim Dalında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yasemin

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Yasemin Yazar

İf. Dr. Metin Subaşı

Metin Subaşı

İstanbul, 2004

Prof. Dr. Ahmet Bayraktar

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	i
KISALTMALAR LİSTESİ	ii
ŞEKİL LİSTESİ.....	iii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	iv
ÖNSÖZ.....	v
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	vii
1. GİRİŞ.....	1
2. TEORİK BİLGİLER.....	5
2.1 Radon.....	5
2.2 Toprak ve Radon.....	8
2.2.1 Toprakta Radonun Oluşumu.....	9
2.2.2 Toprakta Radonun Hareketi.....	10
2.3 Sularda Radon.....	11
2.4 Bina İçi Radon.....	12
2.4.1 Sulardan Eve Gelen Radon.....	12
2.4.2 Yapı Malzemesinden Kaynaklanan Ev İçi Radon.....	13
2.4.3 Tek Katlı ve Yüksek Katlı Evlerde Radon.....	13
2.5 Kanser ve Radon.....	14
2.6 Sigara ve Radon.....	16
2.7 Radon Ölçüm Teknikleri.....	19
2.7.1 Evlerde Radon Ölçüm Teknikleri.....	19
2.7.2 Sularda Radon Ölçüm Teknikleri.....	19
2.7.3 Toprakta Radon Ölçüm Teknikleri.....	19
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	20
3.1 Evlerde Radon Ölçümleri.....	22
3.1.1 Cr-39 İz Detektörleri.....	22
3.1.2 İz Kazıma İşlemi.....	25
3.1.3 Cr-39 Detektörlerinin Kalibrasyonu.....	25
3.1.4 Deneysel Ölçümlerden Elde Edilen Bulgular.....	26
3.1.5 Evlerde Radon Ölçümlerinin Değerlendirilmesi ve Birbirleriyle Kıyaslanması... 40	
3.1.6 Doz Değerlendirmeleri.....	43
3.1.6.1 Solunumla İçe Çekilen ve Vücutta Çözünen Radondan Alınan Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri.....	43
3.1.7 Risk Hesaplamaları.....	45
3.1.7.1 Yöre Halkında Oluşabilecek Akciğer Kanseri Riski.....	46
3.2 Sularda Rn-222 Ölçümleri.....	47
3.2.1 Sıvı Sintilasyon Analiz Cihazı.....	47
3.2.2 Deneysel Yöntem.....	50
3.2.3 Deneysel Ölçümlerden Elde Edilen Bulgular.....	50
3.2.4 Suların İçilmesi İle Vücutta Alınan Yıllık Etkin Doz.....	51
3.3 Toprakta Radon Ölçümleri.....	51
3.3.1 Coaxial Germanyum Detektörler.....	52
3.3.2 Deneysel Yöntem.....	53

3.3.3	Deneyisel Ölçümlerden Elde Edilen Bulgular.....	53
4.	TARTIŞMA ve SONUÇ.....	56
4.1	Evlerde Radon.....	56
4.2	Sularda Radon.....	59
4.3	Toprakta Radon.....	61
4.4	Doz ve Risk Değerlendirmeleri.....	62
KAYNAKLAR.....		64
EKLER		67
Ek 1a	Bademli Köyü radon detektörleri değerlendirme çizelgesi.....	68
Ek 1b	Dikili ilçesi radon detektörleri değerlendirme çizelgesi.....	69
Ek 1c	Kocaoba Köyü radon detektörleri değerlendirme çizelgesi.....	70
Ek 1d	Mazılı Köyü radon dedektörleri değerlendirme çizelgesi.....	71
Ek 1e	Nebiler Köyü radon detektörleri değerlendirme çizelgesi.....	72
EK-2	Türkiye’de Ev İçi Ortalama Radon Konsantrasyon Dağılımı.....	73
EK-3	Alfa parçacıklarının CR-39 iz dedektörünün yüzeyinde oluşturduğu izler.....	74
ÖZGEÇMİŞ.....		75

SİMGE LİSTESİ

β	Beta parçacığı
Sv	Sievert, eşdeğer doz birimi
Rem	(Radiation Equivalent Man), biyolojik hasarı gösteren doz birimi
Bq	Becquerel, radyoaktivite birimi
m	Mili, (10^{-3})
μ	Mikro, (10^{-6})
α	Alfa parçacığı
Ci,	Curie, radyoaktivite birimi
γ	Gama ışını



KISALTMA LİSTESİ

A.B.D	Amerika Birleşik Devletleri
BEIR	Biological Effects of Ionizing Radiations
CLS	Commmission on Life Sciences
ÇNAEM.	Çekmece Nükleer araştırma ve Eğitim Merkezi
DPT	Devlet Planlama Teşkilatı
EPA	Enviromental Protection Agency
HPGe	High Purity Germanium
ICRP	The International Commission on Radiological Protection
LET	Lineer Enerji Transferi
NRSB	National Radon Safety Board
MTA	Maden Tetkik ve Arama
TAEK	Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
UNSCEAR	United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
WL	Working Levels
WLM	Working Levels Month



Şekil 2.1	Radon atomunun mineral taneleri arasındaki gözeneklerden geçişi.....	9
Şekil 2.2	Değişik toprak tiplerinin radon geçirgenliği.....	10
Şekil 3.1	Dikili jeotermal sahasında, çalışma bölgesi olarak seçilen yerleşim alanları.....	21
Şekil 3.2	Bademli Köyü için evlerin oturma ve yatak odalarına göre radon konsantrasyon dağılımı.....	28
Şekil 3.3	Bademli Köyü'nde 11 evde ölçülen ortalama radon konsantrasyon dağılımı.....	28
Şekil 3.4	Bademli Köy evlerinde kullanılan yapı malzemesine göre ev içi ortalama radon konsantrasyonlarının dağılımı.....	29
Şekil 3.5	Dikili ilçe merkezi için evlerin oturma ve yatak odalarına göre radon konsantrasyon dağılımı.....	31
Şekil 3.6	Dikili ilçe merkezinde 14 evde ölçülen ortalama radon konsantrasyon dağılımı..	31
Şekil 3.7	Kocaoba Köyü için evlerin oturma ve yatak odalarına göre radon konsantrasyon Dağılımı.....	33
Şekil 3.8	Kocaoba Köyü'nde 13 evde ölçülen ortalama radon konsantrasyon dağılımı.....	33
Şekil 3.9	Kocaoba Köy evlerinde kullanılan yapı malzemesine göre ev içi ortalama radon konsantrasyonlarının dağılımı.....	34
Şekil 3.10	Mazılı Köyü için evlerin oturma ve yatak odalarına göre radon konsantrasyon Dağılımı.....	36
Şekil 3.11	Mazılı Köyü'nde 14 evde ölçülen ortalama radon konsantrasyon dağılımı.....	36
Şekil 3.12	Mazılı Köy evlerinde kullanılan yapı malzemesine göre ev içi ortalama radon konsantrasyonlarının dağılımı.....	37
Şekil 3.13	Nebiler Köyü için evlerin oturma ve yatak odalarına göre radon konsantrasyon Dağılımı.....	39
Şekil 3.14	Nebiler Köyü'nde 10 evde ölçülen ortalama radon konsantrasyon dağılımı.....	39
Şekil 3.15	Nebiler Köy evlerinde kullanılan yapı malzemesine göre ev içi ortalama radon konsantrasyonlarının dağılımı.....	40
Şekil 3.16	Dikili jeotermal sahasında bulunan yerleşim alanlarında, 62 evde ölçülen ortalama radon konsantrasyon dağılımı.....	41
Şekil 3.17	Dikili jeotermal sahasında bulunan yerleşim alanları için evlerin oturma ve yatak odalarına göre radon konsantrasyon dağılımı.....	41
Şekil 3.18	Dikili jeotermal sahasındaki yerleşim alanlarının ev içi ortalama radon konsantrasyon değerlerinin kıyaslanması.....	42
Şekil 3.19	Dikili jeotermal sahasındaki evlerde, kullanılan yapı malzemesine göre ev içi ortalama radon konsantrasyon dağılımı.....	42
Şekil 3.20	Sintilasyon detektöründeki temel işlemler.....	49
Şekil 3.21	Dikili jeotermal sahasındaki yerleşim alanlarından alınan toprak örneklerinin radon konsantrasyon değerlerinin kıyaslanması.....	55
Şekil 4.1	Dikili jeotermal sahasındaki içilebilir su kaynaklarının radon konsantrasyon değerlerinin, ülkemizde diğer yerleşim alanlarında ölçülmüş su kaynaklarına ait değerler ile mukayesesi.....	60

Çizelge 1.1	İyonlaştırıcı radyasyonlardan alınan ortalama yıllık etkin doz eşdeğerleri.....	2
Çizelge 1.2	Bina içi radon konsantrasyonları.....	3
Çizelge 2.1	Radonun radyoaktivite Özellikleri.....	5
Çizelge 2.2	Uranyum-238 Serisi.....	6
	Toryum-232 Serisi	
	Uranyum-235 (Aktinyum) Serisi	
Çizelge 2.3	Kuzey ülkelerinin değişik toprak tiplerinde bulunan doğal radyoaktif çekirdeklerin aktivite konsantrasyonları.....	8
Çizelge 2.4	Su kaynaklarının ortalama radon konsantrasyonu ve yüzdelik kullanım oranları.....	11
Çizelge 2.5	Norveç evlerindeki radon konsantrasyonları.....	13
Çizelge 2.6	Akciğer kanserinin oluşturan risk faktörleri.....	14
Çizelge 2.7	Radona maruz kalmış solunum sistemindeki hedef hücrelerde dozu etkileyen faktörler.....	15
Çizelge 2.8	Sigara içimi ve oransal doz.....	16
Çizelge 2.9	Sigara içen kişilerde oluşacak radon riski.....	17
	Hiç sigara içmemiş kişilerde oluşacak radon riski	
Çizelge 3.2	Yerleşim alanlarına dağıtılan ve toplanan detektör sayıları.....	22
Çizelge 3.3	İz detektörlerinin yapısını oluşturan malzemeler.....	24
Çizelge 3.4	Bademli Köyü'nde detektör dağıtılan evlerin özellikleri ve bu evlere ait radon konsantrasyon değerleri.....	27
Çizelge 3.5	Dikili Merkez'de detektör dağıtılan evlerin özellikleri ve bu evlere ait radon konsantrasyon değerleri.....	30
Çizelge 3.6	Kocaoba Köyü'nde detektör dağıtılan evlerin özellikleri ve bu evlere ait radon konsantrasyon değerleri.....	32
Çizelge 3.7	Mazılı Köyü'nde detektör dağıtılan evlerin özellikleri ve bu evlere ait radon konsantrasyon değerleri.....	35
Çizelge 3.8	Nebiler Köyü'nde detektör dağıtılan evlerin özellikleri ve bu evlere ait radon konsantrasyon değerleri.....	38
Çizelge 3.9	Evlerde radon ve ürünlerinin solunmasıyla alınan yıllık etkin doz eşdeğerleri.....	45
Çizelge 3.10	Evlerde radon ve bozunma ürünlerinin solunmasıyla yaşam içinde ortaya çıkması muhtemel akciğer kanser riski.....	47
Çizelge 3.11	Çeşitli su kaynaklarına ait radon konsantrasyonları.....	50
Çizelge 3.12	Suların içilmesiyle vücuda alınan yıllık etkin dozlar.....	51
Çizelge 3.13	Dikili jeotermal sahasındaki toprak örneklerinde bulunan doğal radyoaktif çekirdeklerin konsantrasyonları.....	54
Çizelge 3.14	Dikili jeotermal sahasındaki toprak örneklerinde belirlenen radon konsantrasyonları.....	55
Çizelge 3.15	Ev içi radon konsantrasyonu 200-600 Bq/m ³ e karşılık gelen eylem seviyeleri.....	62

ÖNSÖZ

Yıldız Teknik Üniversitesi Fizik Anabilim Dalı'nda yapmış olduğum yüksek lisans eğitimimin ve tezimin hazırlanması süresince bilgi ve deneyimlerinden sonsuz bir hoşgörü içinde yararlanmamı sağlayan, sabrını, insanlara olan yaklaşımını ve onlara verdiği değeri, öğrenmeye ve öğretmeye olan merakını ve çağdaş düşünce yapısını kendime örnek aldığım değerli hocam Sayın Doç. Dr. Yasemin Yazar'a,

Deneysel çalışmalarım süresince bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan Dr. Nilgün Çelebi'ye,

Haritaların hazırlanmasında yardımını esirgemeyen Y.T.Ü Kartografya Bölümü'nden Arş.Gör. Melih Başaraner'e,

Eğitimim süresince manevi destek olan Yük. Kimyager Esmâ Günaydı'ya,

Detektörlerin köylerde dağıtılması ve toplanması esnasında gerekli araç ve personel yardımını sağlayan Dikili Belediye Başkanı Sayın Yüksel Uçar'a ve Müh. Vahap Önlü'ye,

Detektörleri evlerinde bekleten ve zarar görmemesi için duyarlı davranan Dikili halkına,

Tüm hayatım boyunca her zaman yanımda olan ve sevgisi ile emeklerini ödeyemeyeceğim aileme teşekkür ederim.

ÖZET

Bu çalışmada, İzmir-Dikili ilçesindeki jeotermal sahaları kapsayan yerleşim alanlarında, bina içlerinde, sularda ve toprakta radon konsantrasyon ölçümleri yapılmıştır. Bu amaçla evlerde radon konsantrasyonunu belirleyebilmek için ölçüm sahası olarak seçilen, Dikili ilçe merkezi, Bademli, Kocaoba, Mazılı ve Nebiler Köylerinde 75 evin oturma ve yatak odalarına yerleştirilmek üzere, toplam 150 adet CR-39 pasif nükleer iz detektörü dağıtılmıştır. Detektör dağıtılan evler seçilirken, kat seviyeleri ve içerdiği yapı malzemeleri göz önünde bulundurulmuştur. 12-4-2003 ile 8-7-2003 tarihleri arasında evlerde bekletilen detektörler, yaklaşık 3 aylık izleme süresi sonunda toplanmış ve kimyasal iz kazıma işlemi uygulanarak, net iz sayılarına karşılık gelen konsantrasyon değerleri ve ev-içi radon solunmasından kaynaklanan eşdeğer dozlar ile kanser oluşturma riskleri hesaplanmıştır. Sularda radon konsantrasyonunu belirleyebilmek için, inceleme sahası içinde yer alan çeşitli su kaynaklarından toplam 19 adet su örneği alınmış ve sıvı sintilasyon analiz cihazı kullanılarak, sularda radon konsantrasyonları ve bu suların içilmesiyle alınan yıllık etkin doz değerleri hesaplanmıştır. Bölgenin toprak örnekleri de, gama spektrometrik yöntemle incelenerek doğal radyoizotop konsantrasyonları belirlenmiştir. Sonuçlar Türkiye ve diğer ülkelerde gerçekleştirilen ölçümlerde elde edilen değerler ile karşılaştırılarak tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Radon, CR-39 detektörü, doz, kanser riski, radyoaktivite

ABSTRACT

In this study, a geothermal area around İzmir-Dikili, located in the west part of Turkey, was chosen as measuring site and the radon concentrations of the environmental samples were determined. A 3-mo indoor radon monitoring was performed in dwellings located in the different parts of the region by using passive, CR-39 nuclear track detectors. Indoor radon concentrations varied between 31 and 280 Bq m⁻³. Annual equivalent doses and lung cancer risks from indoor radon exposure were calculated according to the model given in ICRP publication 65. Radon concentrations of the water samples drawn from wells, municipal supplies, village fountains and spas were measured by using a liquid scintillation detector. Soil samples were analyzed by using a gamma-ray spectrometer connected with a HPGe detector. Experimental data was presented and the results were compared with national and international radon surveys.

Keywords: Radon, CR-39 detector, dose, cancer risk, radioactivity

1. GİRİŞ

Bütün canlı organizmalar sürekli olarak doğada var olan iyonlaştırıcı radyasyona maruz kalırlar. Dış uzay ve güneşten gelen kozmik ışınlar ile yerkabuğunda, bina yapı malzemelerinde, havada, suda, gıdalarda ve insan vücudunda bulunan karasal radyoaktif çekirdekler doğal radyasyon kaynaklarını oluştururlar (UNSCEAR, 2000). Sindirim ve soluma yoluyla alınan radyoaktif çekirdeklerin vücut içinde bozunması sonucu iç ışınlama, radyasyon kaynaklarının vücudu dışardan ışınlaması sonucu dış ışınlama meydana gelir. İnsanların doğal radyasyon kaynaklarından aldıkları radyasyon dozlarının değerlendirilmesi çok önemlidir çünkü dünya nüfusu tarafından alınan toplam etkin doza en büyük katkıyı doğal kaynaklı iyonlaştırıcı radyasyonlar oluşturur (UNSCEAR, 1993).

Bireylerin maruz kaldığı bazı radyasyon kaynakları yeryüzüne düzgün bir şekilde dağılmıştır. Örneğin gıdalarda bulunan K-40'ın sindirim sonucu vücutta oluşturacağı doz, dünyanın her yerinde homojen bir dağılım oluşturur. Maruz kalınan diğer radyasyon kaynakları ise yaşadığımız bölgenin coğrafik ve jeolojik yapısına bağlı olarak değişiklik gösterir. Kozmik ışınlardan gelen radyasyon, yüksek yerlerde daha çok etkilidir. Toprağın içerdiği uranyum, toryum çekirdeklerinin farklı radyoaktivite konsantrasyonlarında bulunması, insanların doğal radyasyon kaynaklarından alacağı dozu etkiler (UNSCEAR, 2000).

İnsanların iyonlaştırıcı radyasyondan alacağı doza yalnızca doğal radyasyon kaynakları değil, nükleer silah denemeleri, tıbbi X ışınları, radyoaktif serpintiler ya da mesleki ışınlamalar gibi yapay radyasyon kaynakları da ek bir katkı sağlar. İnsanlar ortalama yıllık etkin doz eşdeğerinin % 82'sini doğal radyasyon kaynaklarından, geri kalan % 18'ini de yapay radyasyon kaynaklarının etkisinde kalarak alırlar. Doğal kaynaklardan alınan dozun en önemli bileşeni ise radyoaktif radon gazı ve onun kısa yarı ömürlü bozunma ürünleridir. Doğal radyasyon kaynakları içinde radon, toplumun maruz kaldığı radyasyon dozunun %55'ini oluşturur. Bu orana karşılık gelen radondan ötürü halkın alacağı ortalama yıllık etkin doz eşdeğeri 2 mSv.'tir (BEIR V, 1990). Özellikle evlerin yapımında kullanılan inşaat malzemeleri, havalandırma sistemleri ve bina tasarımı, ev içi radon ve bozunma ürünleri miktarını etkileyen önemli etkenler arasında yer alır (UNSCEAR, 2000). Radyasyon Korunması ve Ölçümü Ulusal Konseyi (National Council on Radiation Protection and Measurement, NCRP) tarafından elde edilen verilere göre, Amerikan nüfusunun maruz kaldığı çeşitli radyasyon kaynakları ve bu kaynaklardan aldıkları ortalama yıllık eşdeğer doz ve etkin eşdeğer doz değerleri Çizelge 1.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1.1 İyonlaştırıcı radyasyonlardan alınan ortalama yıllık etkin doz eşdeğerleri (BEIR V, 1990)

Kaynak	Doz Eşdeğeri ^a		Etkin Doz Eşdeğeri	
	mSv	mrem	mSv	%
Doğal Radyasyon				
Radon ^b	24	2400	2,0	55
Kozmik Işınlr	0,27	27	0,27	8,0
Karasal Radyasyon	0,28	28	0,28	8,0
İç Işınlanma	0,39	39	0,39	11
*Toplam	—	—	3,0	82
Yapay Radyasyon				
Medikal X Işınları	0,39	39	0,39	11
Nükleer İlaçlar	0,14	14	0,14	4,0
Tüketim Ürünleri	0,10	10	0,10	3,0
Diğer				
Mesleki Işınlamalar	0,009	0,9	<0,01	<0,3
Nükleer Güç Üretimi	< 0,01	< 1,0	< 0,01	< 0,03
Radyoaktif Serpintiler	<0,01	<1,0	<0,01	<0,03
Çeşitli Amaçlı Kullanım	<0,01	<1,0	<0,01	<0,03
* Toplam	—	—	0,63	18
Toplam Doğal ve Yapay Radyasyon	—	—	3,6	100

^a Yumuşak dokular için

^b Bronşlarda radonun bozunma ürünlerinden gelen eşdeğer doz. Bütün vücut söz konusu olduğunda etkin doz eşdeğeri için ağırlık faktörü 0,08 olarak varsayılmıştır.

Dünyada yapılan çeşitli epidemiyolojik çalışmalar ile, radon ve bozunma ürünlerinin solunmasından kaynaklanan akciğer kanserine bağlı ölümlerin meydana geldiği kanıtlanmıştır (EPA Document, 2002). Bu sebeple gelişmiş ülkelerin ülke çapında yaptıkları radon ölçümleri giderek yoğunluk kazanmaktadır.

Radon gazının, insan sağlığını ciddi boyutlarda tehdit edici radyoaktif bir element olması, onun özellikle kapalı ortamlarda birikerek yüksek konsantrasyon düzeyine erişmesinden kaynaklanır. Radon konsantrasyonunun yüksek düzeyde bulunduğu yerler bina içleri, maden ocakları, mağaralar, tüneller ve tıbbi tedavi amaçlı kullanılan kaplıcalar şeklinde sıralanmaktadır (ICRP 65, 1994).

Çeşitli ülkeler için evlerde ölçülmüş ortalama radon konsantrasyon değerlerine ait bilgi Çizelge 1.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 1.2 Bina içi radon konsantrasyonları (UNSCEAR, 1993).

ÜLKE	İnceleme yılı	İnceleme çeşidi	İnceleme süresi	Konut sayısı	Radon konsantrasyonu (Bq/m ³)		
					Aritmetik ortalama	Geometrik ortalama	Maximum değer
Avusturalya	1990	Ulusal	1 yıl	3413	12	8,7	423
Belçika	1991	Ulusal	6 ay	450	48		4000
Kanada	1990	Bölgesel	3 ay	719	108		5920
Danimarka	1985	Ulusal	6 ay	496	47	29	560
Fransa	1988	Ulusal	60 gün	3006	62	41	4687
Almanya	1984	Bölgesel	3 ay	5970	49	40	
Almanya	1991	Bölgesel	3 ay	1040	57	34	3100
İtalya	1991	Ulusal	1 yıl	2250	80	62	
Japonya	1990	Ulusal	1 yıl	6000	29	23	
İngiltere	1991		3 ay	96000	20		10000
Norveç	1991	Ulusal	6 ay	7500	60	30	
Lüksemburg	1991	Ulusal		2500		65	
İrlanda	1987	Ulusal	6 ay	736		37	1700
Y.Zelanda	1988	Ulusal	1 yıl	717	20	18	94
Portekiz	1991	Ulusal	4 ay	4200	81	37	2795
İspanya	1991	Ulusal		1700	86	43	15400
İsveç	1980-1982	Ulusal	2 hafta	512	108	62	3310
İsveç	1990-1991	Ulusal	3 ay	1360	108	56	3900
İsviçre	1991	Ulusal	2,5 ay	1600	70		3000
A.B.D	1991	Ulusal	1 yıl	5967	46	25	
A.B.D. Newyork	1988	Bölgesel	1 yıl	2043	42	26	1420
Çin’de 7 vilayet	1989	Bölgesel		3945	24	20	378
Finlandiya	1982	Ulusal	1 ay	8150	90	64	
Hollanda	1982-1984	Ulusal	1 yıl	1000	29	24	118
TÜRKİYE	1984-2003	Ulusal		1685	56		

Ülkemizde diğer ülkelerde olduğu gibi, radon konsantrasyonlarını saptamak ve evlerde radondan dolayı maruz kalınan radyasyon dozunu belirleyebilmek amacıyla, Türkiye radon haritası oluşturulmaya çalışılmaktadır. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, TAEK, Çekmece Nükleer Araştırma Merkezince 1984 yılında başlayan bu projeye, 1987-1990 yılları arasında ara verilmiştir. Bu tarihten sonra yapılan çalışmalar yaygınlaştırılarak sürdürülmüş olmasına rağmen, Türkiye’de radon ölçümleri bugüne kadar sadece 33 ilde 1685 evde tamamlanabilmiştir. Bu projenin 81 ili kapsayacak şekilde en kısa zamanda tamamlanabilmesi için üniversitelerin yada ilgili kuruluşların, kurumun desteğini alarak projeye katılmaları beklenmektedir (Yıldız, 2004).

Türkiye’nin en önemli jeotermal sahalarından biri, İzmir’in Dikili ilçesinde yer alır. Maden Tetkik Arama Ege Bölge Müdürlüğü raporuna göre, Dikili jeotermal sahasında bulunan doğal sıcak su kaynaklarının en önemlilerini, Kaynarca çamuru, Nebiler kaplıcası, Dikili ve Kocaoba ılıcaları oluşturur. Kaynarca jeotermal sahasından sağlanacak jeotermal enerji ile ilçede 7000 konutun ısıtılması ve 1000 evin soğutulmasına ilişkin projenin sonuçlandırılmasına çalışılmaktadır (DPT, 1996).

Bu çalışmada radon konsantrasyonlarını tespit etmek amacıyla, ölçüm yerleri olarak, jeotermal sahalar içinde yer alan Dikili ilçe merkezi, Kaynarca Mevki, Nebiler Köyü, Kocaoba Köyü, Bademli Köyü, ve Mazılı köyleri seçilmiştir. Ev içi havada, toprak ve su örneklerinde radon konsantrasyonları belirlenmiştir. Ayrıca evlerde radon ve bozunma ürünlerinin solunmasından ve çevrede bulunan çeşitli su kaynaklarına ait suların içilmesinden ötürü, yöre halkının alacağı yıllık eşdeğer dozlar hesaplanmıştır.

2. TEORİK BİLGİLER

2.1 Radon

Radon, atom numarası 86 olan doğal oluşumlu radyoaktif bir gazdır (BEIR VI, 1999). Periyodik tabloda soy gazlar grubunda yer alır. Radonun radyoaktif bir gaz oluşu ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerinin bilinmesi çok eski yıllara dayanır.

Radon, 1900 yılında Friedrich Ernst Dorn tarafından keşfedilmiştir. İlk keşfedildiği yıllarda parlama anlamına gelen Latince nitens sözcüğünden türeyen niton ismiyle adlandırılmıştır. 1923 yılından bu yana element, radon ismiyle kullanılmaktadır.

Orta Avrupa da, özellikle maden işçileri arasında seyreden yüksek ölüm oranlarının keşfedilmesi 1600'li yılların öncesine dayanır. 19. yüzyılın sonlarında, ölümlerin esas nedeninin akciğer kanserinden kaynaklandığı rapor edilmiştir. 1924 yılında ise akciğer kanser vakalarının radona maruz kalınması sonucu ortaya çıktığı ileri sürülmüştür. İlk bina içi radon ölçümleri 1950' li yıllarda başlamış ancak üzerine fazla dikkat çekmeyi başaramamıştır. Son yıllarda ise ev ve iş yerlerinde radonun incelenmesi, bu konuya olan ilgiyi fazlasıyla arttırmıştır (ICRP 65, 1994).

Doğal radyoaktif seriler içersinde radonun, kütle numaraları 219 , 220 , ve 222 olan üç önemli izotopu bulunur. Bu izotoplara nbait radyoaktivite özellikleri Çizelge 2.1 'de verilmiştir.

Çizelge 2.1 Radonun Radyoaktivite Özellikleri (CLS, 1999)

Radyoaktif Seri	Ana element	Ürün element	Tarihsel adı	Yarı ömür	Bozunma türü
U-238	Ra-226	Rn-222	Radon	3.82 gün	α , γ
Th-232	Ra-224	Rn-220	Toron	55.6 s	α , γ
U-235	Ra-223	Rn-219	Aktinon	3.96 s	α , γ

U-235 bozunma serisi içinde bulunan Rn-219 izotopu, aktinon olarak adlandırılır.Yarı ömrü 3.96 saniyedir. U-235 in doğada düşük radyoaktivite konsantrasyonuna sahip olması ve Rn-219' un yarı ömrünün kısa olması nedeniyle aktinonun, insan sağlığı üzerinde çok olumsuz bir etkisi yoktur.

Th-232 bozunma zincirinin bir üyesi olan Ra-224, alfa parçacığı yayınlarak yarı ömrü 55.6 saniye olan Rn-220 ye bozunur. Rn-220 izotopu toron olarak adlandırılır. Toron atomu doğada yalnızca Th-232' nin doğada yüksek konsantrasyonda bulunduğu yerlerde önemli bir yoğunluk meydana getirir.

U-238 bozunma serisinde yer alan olan Ra-226 atomu, alfa parçacığı yayınlarak 3.82 gün yarı ömürlü Rn-222' ye bozunur. Oluşan bu bozunma ürünü, radon olarak adlandırılır. Radon atomu, diğer izotopları ile kıyaslandığında yarı ömrünün uzun olması ve U-238 in doğada bol miktarda bulunmasından ötürü, seriler içinde oldukça önemli bir paya sahiptir.

Radondan sonra gelen bozunma ürünleri de uzun ve kısa yarı ömürlü olmak üzere iki grupta toplanır. Kısa yarı ömürlü bozunma ürünlerini Po-218, Pb-214, Bi-214, Po-214 ; uzun yarı ömürlü bozunma ürünlerini ise Pb-210, Bi-210, Po-210 oluşturur. Doğal radyoaktif seriler ve bozunma ürünlerinin radyoaktivite özellikleri Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.2 Uranyum-238 Serisi (CLS, 1999)

Çekirdek	Tarihsel adı	Yarı ömür	Bozunma türü
²³⁸ U	Uranyum I	4,47 x 10 ⁹ yıl	α , < %1 γ
²³⁴ Th	Uranyum X ₁	24,1 gün	β ,
²³⁴ Pa	Uranyum X ₂	1,17 dak.	β , < %1 γ
²³⁴ U	Uranyum II	2,46 x 10 ⁵ yıl	α , < %1 γ
²³⁰ Th	İonyum	7,54 x 10 ⁴ yıl	α , γ β
²²⁶ Ra	Radyum	1600 yıl	α , γ
²²² Rn	Radon	3,82 gün	α , < %1 γ
²¹⁸ Po	Radyum A	3,10 dak.	α , < %1 γ
²¹⁴ Pb	Radyum B	26,8 dak.	β , γ
²¹⁴ Bi	Radyum C	19,9 dak.	β , γ
²¹⁴ Po	Radyum C'	164,3 μ s	α , < %1 γ
²¹⁰ Pb	Radyum D	22,3 yıl	β , γ
²¹⁰ Bi	Radyum E	5,01 gün	β
²¹⁰ Po	Radyum F	138,4 gün	α , < %1 γ
²⁰⁶ Pb	Radyum G	Kararlı	—

Çizelge 2.2 Toryum-232 Serisi

(Devam)

Çekirdek	Tarihsel adı	Yarı ömür	Bozunma türü
²³² Th	Toryum	1,41 x 10 ¹⁰ yıl	α , < %1 γ
²²⁸ Ra	Mezotoryum I	5,75 yıl	β, < %1 γ
²²⁸ Ac	Mezotoryum II	6,15 sa	β, γ
²²⁸ Th	Radyotoryum	1,91 yıl	α , γ
²²⁴ Ra	Toryum X	3,66 gün	α , γ
²²⁰ Rn	Radon	55,6 s	α , < %1 γ
²¹⁶ Po	Toryum A	0,145 s	α , < %1 γ
²¹² Pb	Toryum B	10,64 sa	β, γ
²¹² Bi	Toryum C	1,01 sa	α , γ
$\swarrow$ ²¹² Po (%64)	$\searrow$ ²⁰⁸ Tl (%36)	Toryum C' /	α / β, γ
		Toryum C''	3,05 dak.
²⁰⁸ Pb	Toryum D	kararlı	—

Çizelge 2.2 Uranyum-235 (Aktinyum) Serisi

(Devam)

Çekirdek	Tarihsel adı	Yarı ömür	Bozunma türü
²³⁵ U	Aktinouranyum	7,04 x 10 ⁸ yıl	α , γ
²³¹ Th	Uranyum Y	1,06 gün	β, γ
²³¹ Pa	Protoaktinyum	3,28 x 10 ⁴ yıl	α , γ
²²⁷ Ac	Aktinyum	21,77 yıl	β, < %1 γ
$\swarrow$ ²²⁷ Th (%98,62)	$\searrow$ ²²³ Fr (%1,38)	Radyoaktinyum /	α , γ / β, γ
		Aktinyum K	22,0 dak.
²²³ Ra	Aktinyum X	11,44 gün	α , γ
²¹⁹ Rn	Aktinon	3,96 s	α , γ
²¹⁵ Po	Aktinyum A	1,78 msn.	α , < %1 γ
²¹¹ Pb	Aktinyum B	36,1 dak.	β, γ
²¹¹ Bi	Aktinyum C	2,14 dak.	α , γ
²⁰⁷ Tl	Aktinyum C'	4,77 dak.	β, < %1 γ
²⁰⁷ Pb	Aktinyum D	Kararlı	—

2.2 Toprak ve Radon

Radon için yapılan jeolojik araştırmaların amacı, uranyum ve radon kaynaklarının kaya ve toprak içindeki dağılımlarını, oluşumlarını ve hareketlerini incelemektir. Aynı zamanda radonun topraktan binalara ve su sistemlerine nasıl geçiş yaptığı da radon jeolojisinin önemli bir kısmını oluşturur.

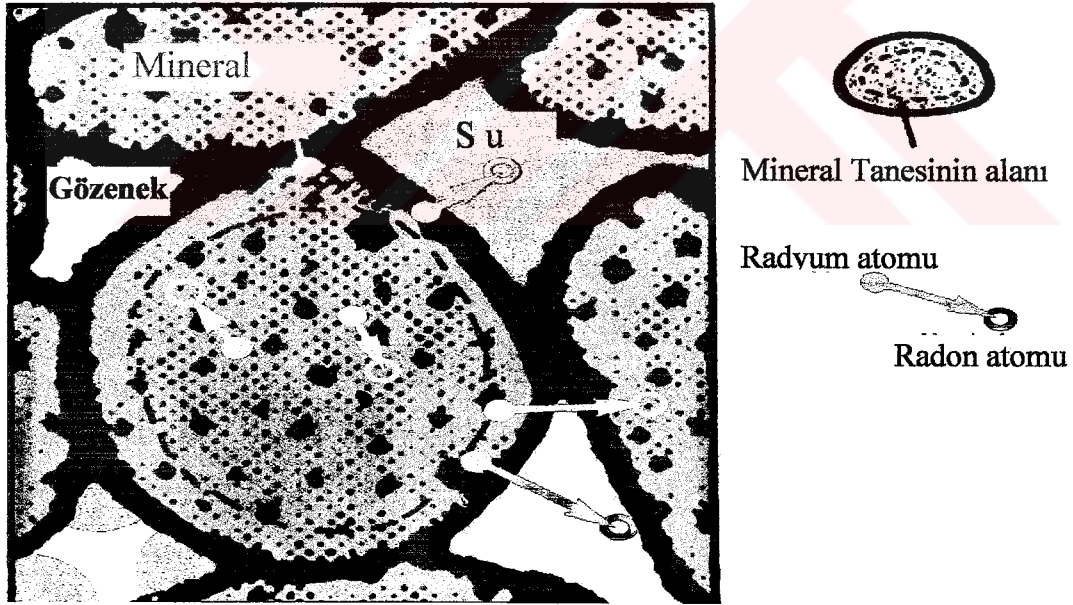
Dünyanın başlangıcından bu yana var olan radyoaktif çekirdeklerin en önemli bileşenlerinden biri, doğal uranyum izotoplarıdır. Doğal Uranyum izotopları içinde U-238 in bolluk miktarı %99.28'dir. U-238 in doğada bol ve yaygın olarak bulunması ve doğadaki radyonüklidlerin bir çoğunun U-238 bozunma zincirinde yer alması nedeniyle uranyum, toprakta radon oluşumunun esas kaynağını teşkil eder . Bütün toprak ve kayaların uranyum içermesi radyum ve radonun da varlığını düşündürür, çünkü radyum ve radon U-238' in radyoaktif bozunma ürünleridir. En sık rastlanan kaya tiplerinde uranyum konsantrasyonu 0.5 ten 4.7 ppm'e kadar değişir. Bu aralığa karşılık gelen U-238' in aktivite konsantrasyonu 7.60 Bq/kg dır (CLS, 1999). Açık sarı renkli Tyuyamunite minerali, Uranyum maden mineralleri arasında en çok bilinenlerden biridir. Bazı kaya tipleri ortalama konsantrasyonun üzerinde uranyum içerir. Örneğin Fosfat içerikli açık renkli volkanik kayalar, tortullu kayalar, şist ve granitler 100 ppm'e kadar uranyum içerirler. Kuzey ülkelerinin topraklarında bulunan ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th in ortalama konsantrasyon değerleri Çizelge 2.3'te verilmiştir.

Çizelge 2.3 Kuzey ülkelerinin değişik toprak tiplerinde bulunan doğal radyoaktif çekirdeklerin aktivite konsantrasyonları (UNSCEAR, 1993).

Toprak çeşidi	Aktivite konsantrasyonu (Bq / kg)		
	^{40}K	^{226}Ra	^{232}Th
Kum	600-1200	5-25	4-30
Kil	600-1300	20-120	25-80
Moraine (Buzultaş)	900-1300	20-80	20-80
Tortulu şist (Alum shale)	600-1000	100-1000	20-80

2.2.1 Toprakta Radonun Oluşumu

Uranyum 238 bozunma serisinde yer alan Ra-226 çekirdeği, iki nötron ve iki protondan oluşan alfa parçacığı yayınlanarak radon atomunu oluşturur. Alfa parçacığının dışarı atılmasıyla yeni oluşan radon atomu ters doğrultuda geri teper. Alfa parçacığının geri tepmesi radonun mineral taneleri arasından serbest kalmasına etki eden en önemli faktördür. Mineral tanesi içindeki radyum atomunun yeri ve radon atomunun geri tepme yönü yeni oluşan radon atomunun mineral taneleri arasındaki gözeneklerden geçişini saptar. Eğer radyum atomu, büyük tanecik içerisinde derinlerde yer almışsa ve geri tepme yönü dikkate alınmıyorsa, radyum atomu radonun tanecik dışına çıkmasına izin vermeyecektir. Bu nedenle radon atomu mineral tanesi içinde gömülü olarak kalır. Radyum atomu tanecik yüzeyine yakın bir yerde olsa dahi, eğer geri tepme yönü taneciğin içine doğruysa, radonu mineralin daha da içine doğru itecektir. Bununla birlikte taneciğin yüzeyine yakın bazı radon atomlarının geri tepmesi taneciğin yüzeyine doğru yönlendirir. Bu olayın meydana gelmesiyle yeni oluşan radon atomu minerali terk eder ve tanecikler arasındaki gözeneklerden veya kaya içindeki kırıklardan geçerek atmosfere ulaşır. Şekil 2.1’de Radon atomunun mineral taneleri arasındaki gözeneklerden geçişi gösterilmiştir.

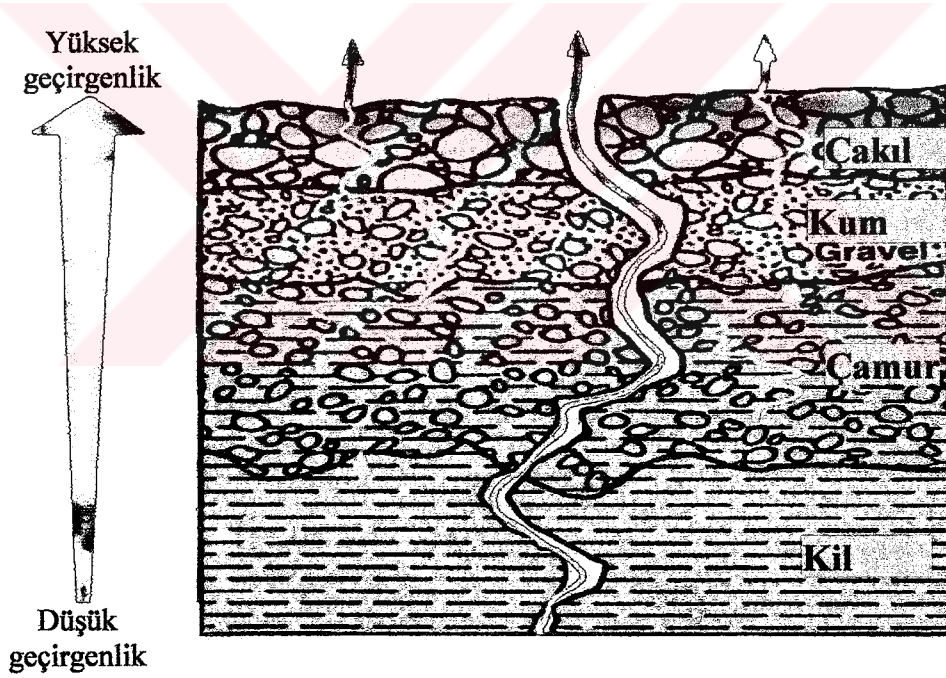


Şekil 2.1 Radon atomunun mineral taneleri arasındaki gözeneklerden geçişi (Otton vd, 1995)

2.2.2 Toprakta Radonun Hareketi

Radonun gaz olması onu, toprak içinde bulunan uranyum ve radyumdan daha fazla hareketli kılar. Bu yüzden toprak taneleri arasındaki gözeneklerden ve kaya içindeki açıklıklardan, kırıklardan kaçarak toprak ve kayaları kolaylıkla terk edebilir. Gözenekler içinde serbest hareket edebilme yeteneğine sahip olması, uzun mesafeler boyunca hareket edebilmesini sağlar. Böylece bina içlerinde yüksek konsantrasyonlarda radon birikme ihtimali yüksek olur.

Toprak içindeki radonun hızı, gözeneklerde yer alan su ile kontrol edilir. Toprağın nem içermesi ve topraktaki gözeneklerin oranı, toprağın suyu ve havayı geçirme kabiliyetini belirler. Buna geçirgenlik adı verilir. Radon geçirgen toprak içerisinde (örneğin kumlu veya çakıllı toprak gibi) geçirgen olmayan toprağa göre (örneğin killi toprak gibi) daha hızlı hareket eder. Eğer toprak ve kayada herhangi bir kırık varsa o zaman hareketi daha da hızlı olacaktır. Şekil 2.2’de değişik toprak tiplerinin radon geçirgenlik oranları gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Değişik toprak tiplerinin radon geçirgenliği (Otton vd, 1995)

2.3 Sulara Radon

Daha önce de belirtildiği gibi, radon suda çözünebilir. Radonun sudaki çözünürlüğü 0 °C de 510 cm³/l, 25 °C de 220 cm³/l ve 50 °C de 130 cm³/l dir (UNSCEAR, 1993). Verilen örneklerden anlaşılacağı gibi, sıcaklık arttıkça radonun sudaki çözünürlüğü azalmaktadır. İnsanlar yaşadıkları bölgede gerekli su ihtiyaçlarını değişik su kaynaklarından sağlamaktadırlar. Su kaynaklarını yüzey suyu, yer altı suyu ve kuyu suyu olmak üzere üç başlık altında toplamak mümkündür. Sular için yapılan bu genel sınıflama Çizelge 2.4'te verilmiştir (UNSCEAR, 1993).

Çizelge 2.4 Su kaynaklarının ortalama radon konsantrasyonu ve yüzdelik kullanım oranları (UNSCEAR, 1993).

Kaynak tipi	Konsantrasyon (Bq/m ³)			Kullanım (%)		
	ABD	İngiltere	Referans değer	ABD	İngiltere	Referans değer
Yüzey suyu	1100	1000	1000	50	66	60
Yer altı suyu	11500	30000	10000	32	34	30
Kuyu suyu	208000	< 1000000	100000	18	< 1	10

Unsear 1988 raporunda 1000 Bq/m³ referans değeri olarak kabul edilmiştir. Fakat Finlandiya ve İsveç gibi ülkelerde sulara ortalama radon konsantrasyonunun 300000 Bq/m³ ün üzerinde olduğu rapor edilmiştir. Güney Finlandiya'da kuyu suları için yapılan geniş çaplı araştırmalar 210 000 Bq/m³ değerinde ortalama (medyan) konsantrasyonunu verir. Bunun yanında 50 MBq/m³ değerine yaklaşan az sayıda konsantrasyon değerlerine rastlamak mümkündür.

Zengin uranyum içerikli topraktan çıkan yer altı suları ve derin jeolojik zonlardan yeryüzüne çıkan sular, yüksek miktarda radon ve radyum konsantrasyonuna sahiptir (Horvát vd, 2000). Termal bölgede bulunan ılıca ve kaplıca suları da bu gruba girer Yer altı sularının bir kısmı magmaya yakın yerlerden geçerken ısınarak yüksek bir sıcaklığa ulaşır. Yeraltındaki maden ve kayalıklar arasında süzülürken yüksek sıcaklığın etkisiyle iyi bir çözücü özelliği kazanır. Böylece sıcak sular, yer altı ortamında dolaşırken daha çok miktarda radyumun çözünmesine sebep olurlar (Özbal, 1999).

Dünya üzerinde yüksek oranda doğal radyoaktiviteye sahip bir çok bölge bulunur. Bunlar Brezilya'daki Minas Gerais bölgesi, Espirito Santo Sahili, Hindistan'ın Kerala Sahili ve İran'ın Ramsar bölgesindeki sıcak kaplıcalar olarak gösterilebilir.

2.4 Bina İçi Radon

Radon içerikli malzemeye kuşatılan kapalı ortamlarda radon konsantrasyonu bina dışı ortamdaki daha yüksektir. Bina içi atmosferde yer alan radon, bulunduğu ortamda dağılıp yayılamaz ise daha yüksek konsantrasyonlara doğru giderek artış gösterir. Özellikle uranyum madenleri, mağaralar ve tek katlı evler çok yüksek radon konsantrasyon düzeyine sahiptir (BEİR VI, 1999 ; CLS 1999).

Mağaraların havaya radon yayabilen toprak ve kayalarla çevrili olması, havalandırmanın elverişsiz oluşu üstelik radonun sular yoluyla mağara içlerine taşınabiliyor olması nedeniyle mağaralar içinde çok miktarda radon birikimi olur. ABD’ de Ulusal Park Hizmeti tarafından yürütülen çalışmada çeşitli mağaraların birçok yerinde radon konsantrasyonunun 7500 Bq/m^3 ten yüksek çıktığı gözlenmiştir (CLS, 1999).

Radonun en fazla birikime uğradığı yerlerden birini de içinde yaşadığımız evler oluşturur. İnsanlar zamanlarının büyük bir bölümünü ev gibi kapalı ortamlarda geçirdiklerinden, radonun kanser yapıcı olumsuz etkilerine maruz kalmaları kaçınılmazdır.

Ev içi radon kaynaklarını bina altındaki toprak ve kayalar, dışarıdaki havanın açık pencere ve kapılardan içeriye süzülmesi ve evin yapısında kullanılan inşaat malzemeleri oluşturur (UNSCEAR, 1988). Bunlar dışında radonun evlere giriş yolları aşağıda belirtilmiştir (EPA Document, 2002).

Radonun evlere giriş yolları :

- Zemindeki çatlaklar
- Yapı bağlantı noktaları
- Duvar çatlakları
- Asma kat boşlukları
- Tesisat boru boşlukları
- Duvar arası boşlukları
- İçme suyu

2.4.1 Sulardan Eve Gelen Radon

İçilebilir suda çözünen radon ev içi radon kaynaklarından birini oluşturur. Çünkü radon, muslukta akan suda çözünmüş olarak ortaya çıkar ve ev içindeki havaya karışır. Su kaynakları genelde bina içi radon konsantrasyonunun artışına küçük bir katkı sağlar. Ancak su gereksinimi radon içeriği yüksek yeraltı sularından sağlanıyorsa sulardan ev atmosferine kaçan radon,

binalar için önemli bir radon kaynağı haline gelir. Maine ve Colorado’da yapılan çalışmalar suların gelen radonun bazı evlerin radon konsantrasyonunun artışına önemli bir katkı sağladığını göstermiştir (CLS, 1999).

2.4.2 Yapı Malzemesinden Kaynaklanan Ev İçi Radon

Bina malzemesinin kendisi evin zemininde yer alan toprağın oluşturduğu etkinin yanında önemsiz kalır. Ancak yapı malzemeleri gerçekten yüksek konsantrasyonda radyum içeriyorsa ve malzeme radonu sızdıracak yeterli gözenek ve geçirgenliğe sahipse o zaman durum farklıdır. Örneğin yapı malzemesinin içeriğinde alçıtaşı ya da fosfat gübresinin bulunması onu önemli bir radon kaynağı haline getirebilir (CLS, 1999).

Yapılan bir araştırma ile farklı yapı malzemesi içeren Oslo şehri yakınlarındaki Norveç evlerinde 120 ev için kış dönemi radon konsantrasyonu incelenmiş, elde edilen ev içi radon konsantrasyon değerleri Çizelge 2.5’te verilmiştir (Stranden vd,1978).

Çizelge 2.5 Norveç evlerindeki radon konsantrasyonları

Bina Özelliği	Radon Konsantrasyon (Bq/m ³)		
	Minimum	Ortalama	Maksimum
Ahşap	7.4	48	140
Beton	7.4	74	250
Tuğla	11.0	37	210

NRPB Ulusal Radyoloji Koruma Kurumundan elde edilen bilgilere göre, İngiltere’nin güney batısında incelenen toplam 91000 evin % 24 ‘ünde radon konsantrasyonu 200 Bq/m³’ün üzerinde bulunmuştur. Aynı bölgede granit kayalarla kaplı alanlarda kurulan evlerin % 30 undan fazlasında radon konsantrasyonunun İngiltere için izin verilen 200 Bq/m³ ün üzerinde olduğu saptanmıştır (Varley ve Flowers, 1998).

2.4.3 Tek Katlı ve Yüksek Katlı Evlerde Radon

Bina içi radonun yüksek konsantrasyonda bulunduğu yerlerden birini tek katlı evler oluşturur. Tek ya da iki katlı evlerin radon seviyesi, yüksek katlı binalardaki radon seviyesi ile karşılaştırıldığında daha fazla çıkar. Bunun en önemli sebebi zemine olan yakınlıktır. Bilindiği üzere Rn-222 çıkışının ana kaynağı topraktır. O °C de radonun yoğunluğu 9.73 gr/l, deniz seviyesindeki havanın yoğunluğu ise yaklaşık 1 gr/l’dir. Bu durumda havadaki radon yoğunluğu, deniz seviyesindeki havanın yoğunluğunun yaklaşık 9 katıdır. Ayrıca Steinhäuser,

1975 yılında meteorolojik faktörlerin de ev içi radon bozunma ürünleri konsantrasyonunu etkileyebileceğini göstermiştir.

2.5 Kanser ve Radon

Bir yüzyılı aşkın bir süredir, maden işçilerinin nüfusun geneline kıyasla daha yüksek oranda akciğer kanserine yakalandığı bilinen bir gerçektir. Son on yılda yapılan araştırmalar, akciğer kanser vakalarının yüksek düzeyde radona maruz kalınması ve sigara içimiyle bağlantılı olduğu gerçeğini kanıtlamıştır. Bu bilgiler ışığında, evlerdeki radon seviyesi birçok madenden daha düşük seviyede olmasına rağmen, evlerdeki radonun da akciğer kanserine sebep olabileceği ileri sürülmektedir (BEIR VI, 1999).

1990 yılında yayınlanan Ulusal Güvenlik Konseyinin (National Safety Council) raporuna göre, Amerika Birleşik Devletlerinde her yıl 14000 kişi radona maruz kalınması sonucu hayatını kaybetmektedir. Bu rakamın yılda 7000-30000 arasında değişebileceği tahmin edilmektedir (EPA Document, 2002). Akciğer kanserine neden olan risk faktörleri Çizelge 2.6'da verilmiştir.

Çizelge 2.6 Akciğer kanserini oluşturan risk faktörleri (BEIR VI, 1999).

-
1. Aktif sigara içimi
 2. Pasif sigara içimi
 3. RADON
 4. Mesleki kanserojen maddeler
 - Arsenik
 - Asbest
 - Klorometil eter
 - Nikel
 5. Polisiklik aromatik hidrokarbonlar
 6. Genetik faktörler
 7. Fibrotik akciğer hastalıkları
 8. Hava kirliliği
-

Radonun bozunma serileri 6 ve 7,7 MeV enerjili başlıca iki alfa parçacığının salınmasını içerir. Alfa parçacıklarının doku içinden geçişleri yoğun iyonlaşmaya sebep olur. Bu da yüksek radyasyon dozunun birikimini artırır. Doku içinde alfa parçacıklarının menzili 48 ve 71 μm dir. (BEIR VI, 1994).

Solunum sisteminde yer alan doku ve hücrelerde biriken doz hem biyolojik ve hem de biyolojik olamayan faktörlere dayanır. Radon ürünlerinin dozimetresini etkileyen faktörler içe çekilen havanın fiziksel özelliklerine, nefes alma şekline ve akciğerin biyolojik özelliklerine bağlıdır.

Çizelge 2.7 Radona maruz kalmış solunum sistemindeki hedef hücrelerde dozu etkileyen faktörler (BEIR VI, 1999)

-
- Solunan havanın karakteristiği
 - Parçacıklara bağlanmayan bozunma ürünlerinin miktarı
 - Aerosol özellikleri
 - Radon ve bozunma ürünleri arasındaki denge
 - Soluma biçimi
 - Tidal hacim
 - Nefes alma sıklığı
 - Burun veya ağızdan soluma
 - Akciğerin özellikleri
 - Bronşial morfolometri
 - Mukosilier temizleme hızı
 - Mukus kalınlığı
 - Hedef hücrelerin yeri
-

İçe çekilen hava içindeki parçacık büyüklüğünün dağılımı aynı zamanda hava yolundaki dozu etkileyecektir. Çünkü farklı büyüklüğe sahip parçacıklar, akciğer havayolunun farklı bölümlerinde depolanır. İçe çekilen radon ürünlerinin miktarı, dakika başına içe çekilen havanın toplam hacmi ile yakından ilişkilidir. Akciğerlerde radon ürünlerinin depolanması yalnızca hava hacmi ile değil aynı zamanda her hava yolundaki akış oranı ile de değişime uğrar. Akış oranının değişimi ise nefes alma sıklığı ve tidal hacim (*) ile değişir. Ağız ve burun yolundan nefes alma maruz kalma ile doz arasındaki ilişkiye etki edecektir. Bağlanmamış radon ürünlerinin önemli bir kısmı burundan nefes alınması ile burunda depolanacaktır. Bunun yanında küçük bir kısmı da ağızdan nefes alınması ile ağız içinde birikecektir.

* tidal hacim (soluk hacmi) : Her normal solunum hareketi ile akciğerlere alınan veya akciğerlerden çıkarılan hava hacmidir. Miktarı ortalama 500 ml kadardır (Tıbbi Fizyoloji, 2001).

2.6 Sigara ve Radon

Sigarada bulunan tütün çok sayıda eser element içerir. Tütünde radyoaktif ve kansorejen madde içeren eser elementlerini K, Pb, As ,Cd, Hg, Th, U, Po...vb. oluşturur. Solunum yoluyla vücuda alınan zararlı eser elementler, yiyecek yoluyla alınmalarından çok daha fazla etkilidir. Örneğin uranyumun yiyecek yoluyla yıllık alım limiti 40 gram iken solunum yoluyla yıllık alım limiti 0,6 gramdır. Bu yüzden radyoaktif uranyum elementi solunum yoluyla vücuda alındığında, yiyecek yoluyla vücuda alınmasına oranla 65 kat daha fazla kimyasal zehirleyici özelliği kazanacaktır.

Radford ve Hunt sigaradaki alfa parçacığı aktivitesinin %75'inin havaya karıştığını, solunum hastalıklarına yalnızca sigara içenlerin değil, içenlerle aynı ortamda bulunan kişilerin de alfa ışımasına maruz kaldığını göstermiştir. Örneğin A.B.D'de yapılan araştırmalar, anne ve babaların kapalı ortamlarda sigara içmeleri yüzünden yılda 6200 çocuğun öldüğünü, hastalanan çocuklar için her yıl 4,6 milyar dolar tıbbi harcama yapıldığını göstermiştir. A.B.D'de kanser hastalarının %87'sini (erkeklerin %90'ını, kadınların %82'sini) aktif sigara içenler oluşturur. Çizelge 2.8'de Boice ve Lubin'in sigara içimi ve oransal doz tablosu verilmiştir. Çizelgedeki oransal doz verileri, sigara içmeyen bir kişinin riski 1 kabul edilerek kıyaslanmaktadır.

Çizelge 2.8 Sigara içimi ve oransal doz

Oransal Risk	Günlük İçilen Sigara Adeti	Doz
1	0	0
4,6	1-9	3,4
7,5	10-19	6,1
13,1	20-39	11,4
16,6	40+	14,1

Akciğer kanserine yakalanma olasılığı günde 1-9 adet sigara içilmesiyle 4,6 kat, 10-19 adet sigara içilmesiyle 7,5 kat, 40 adet üzerinde yani günde iki paketten fazla sigara içilmesiyle de 16,6 kat artmaktadır. 3 Sv'lik bir doz 10 000 adet göğüs röntgen filmi çektilmesiyle alınacak doza karşılık gelir. Günde 2 paketten fazla sigara içen kişinin alacağı 14 Sv'lik dozun ise öldürücü bir risk oluşturacağı kesindir. (http://www.taek.gov.tr/yayinlar/yayinlar/sigara_radon/tuketiciisunumu.htm)

Yaşamları boyunca ev içinde devamlı sigara içen ve hiç sigara içmeyen kişilerin maruz kalacağı radon seviyesi ve radondan kaynaklanan kanser riskinin diğer ölüm riskleriyle karşılaştırılması Çizelge 2.9'da verilmiştir.

Çizelge 2.9 Sigara içen kişilerde oluşacak radon riski (EPA Document, 2002)

SİGARA İÇEN KİŞİLERDE OLUŞACAK RADON RİSKİ			
Ev İçi Radon Konsantrasyonu (Bq/m³)	Sigara İçen 1000 Kişi Arasında Meydana Gelebilecek Durum	Diğer Ölüm Riskleriyle Kıyaslanması	Alınması Gereken Önlem: Sigarayı Bırakmak ve...
740	Yaklaşık 135 kişi akciğer kanserine yakalanır	Suda boğulma riskinden 100 kat daha fazla	Ev içi radon konsantrasyonunu azaltmak
370	Yaklaşık 71 kişi akciğer kanserine yakalanır	Evde çıkan yangın sonucu ölmekten 100 kat daha riskli	Ev içi radon konsantrasyonunu azaltmak
296	Yaklaşık 57 kişi akciğer kanserine yakalanır		Ev içi radon konsantrasyonunu azaltmak
148	Yaklaşık 29 kişi akciğer kanserine yakalanır	Uçak kazasında ölmekten 100 kat daha riskli	Ev içi radon konsantrasyonunu azaltmak
74	Yaklaşık 15 kişi akciğer kanserine yakalanır	Trafik kazasında ölmekten 2 kat daha riskli	74-148 Bq/m ³ aralığında ev içi radon konsantrasyonunu ayarlamak
48,1	Yaklaşık 9 kişi akciğer kanserine yakalanır	(Ev içi ortalama radon konsantrasyonu)	(Ev içi radon konsantrasyonunu 74Bq/m ³ 'ün altına düşürmek zordur)
14,8	Yaklaşık 3 kişi akciğer kanserine yakalanır	(Bina dışı ortalama radon konsantrasyonu)	(Ev içi radon konsantrasyonunu 74Bq/m ³ 'ün altına düşürmek zordur)

Çizelge 2.9 Hiç sigara içmemiş kişilerde oluşacak radon riski (Devam)

HİÇ SİGARA İÇMEYEN KİŞİLERDE OLUŞACAK RADON RİSKİ			
Ev İçi Radon Konsantrasyonu (Bq/m³)	Sigara İçen 1000 Kişi Arasında Meydana Gelebilecek Durum	Diğer Ölüm Riskleriyle Kıyaslanması	Alınması Gereken Önlem: Sigarayı Bırakmak ve...
740	Yaklaşık 8 kişi akciğer kanserine yakalanır	Bir cinayet sonucu ölmekle aynı risk	Ev içi radon konsantrasyonunu azaltmak
370	Yaklaşık 4 kişi akciğer kanserine yakalanır		Ev içi radon konsantrasyonunu azaltmak
296	Yaklaşık 3 kişi akciğer kanserine yakalanır	Uçak kazasında ölmekten 10 kat daha riskli	Ev içi radon konsantrasyonunu azaltmak
148	Yaklaşık 2 kişi akciğer kanserine yakalanır	Suda boğularak ölmekle aynı risk	Ev içi radon konsantrasyonunu azaltmak
74	Yaklaşık 1 kişi akciğer kanserine yakalanır	Evde çıkan yangın sonucu ölmekle aynı risk	74-148 Bq/m ³ aralığında ev içi radon konsantrasyonu ayarlamak
48,1	Akciğer kanserine yakalanma olasılığı çok düşük	(Ev içi ortalama radon konsantrasyonu)	(Ev içi radon konsantrasyonu 74Bq/m ³ 'ün altına düşürmek zordur)
14,8	Akciğer kanserine yakalanma olasılığı çok düşük	(Bina dışı ortalama radon konsantrasyonu)	(Ev içi radon konsantrasyonu 74Bq/m ³ 'ün altına düşürmek zordur)

2.7 Radon Ölçüm Teknikleri

2.7.1 Evlerde Radon Ölçüm Teknikleri

Ev içi havada radon ve bozunma ürünleri için kullanılan ölçüm metotları, ana başlıklar halinde aşağıda verilmiştir (NRSB, 2002);

A- Radon gazı ölçüm yöntemleri

- 1- Sürekli radon monitörleri
- 2- Alfa iz detektörleri
 - a- (Filtreli)
 - b- (Filtresiz)
- 3- İyon odası
 - a- (Uzun dönem)
 - b- (Kısa Dönem)
- 4- Aktiflenmiş kömür adsorbsiyonu
- 5- Kömürlü sıvı sintilasyon
- 6- Grab radon örnekleme yöntemi
 - a- Aktiflenmiş kömür ile grab radon örnekleme
 - b- Pompa kullanımı ile grab radon örnekleme
 - c- Sintilasyon hücresi ile grab radon örnekleme
- 7- Havası alınmış sintilasyon hücresi
- 8- Pompa kullanarak radon çekme yöntemi

B- Radon bozunma ürünleri için kullanılan ölçüm yöntemleri

- 1- Sürekli radon monitörü
- 2- Grab Örnekleme
- 3- Integrating örnekleme

2.7.2 Sularda Radon Ölçüm Teknikleri

- 1- Sıvı sintilasyon sayıcısı
- 2- Gaz ekstraksiyonu
- 3- Ge-Gama spektrometri sayıcısı

2.7.3 Toprakta Radon Ölçüm Teknikleri

- 1- Sintilasyon sayıcısı
- 2- Alfa iz detektörü

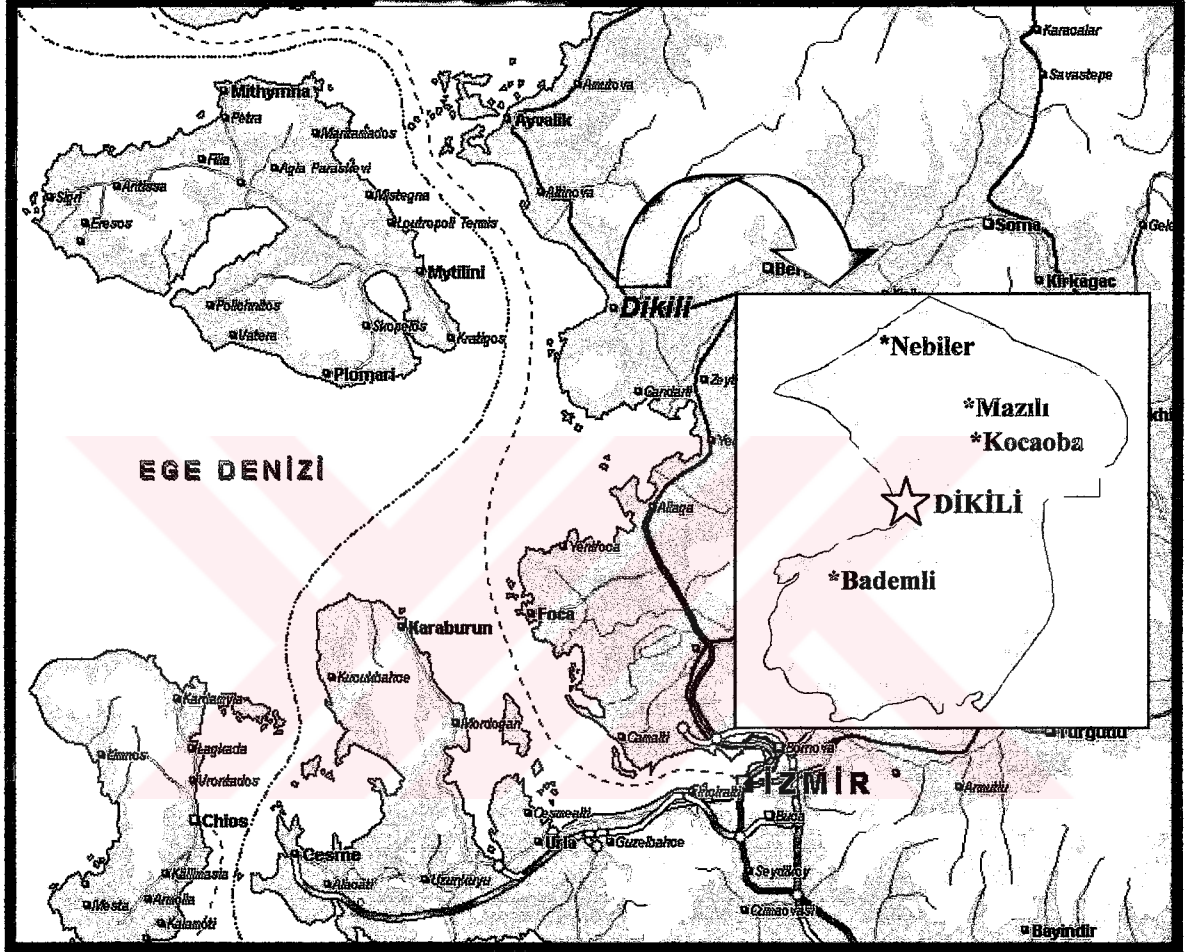
Bu çalışmada, kullanılan teknik ve detektör ile ilgili ayrıntılı bilgi Bölüm 3'te verilmiştir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Radon sızıntısının, aktif faylar üzerinde daha çok birikim oluşturduğu, atmosferik koşullara ve çevredeki sismik faaliyetlere bağlı değişiklikler gösterdiği bilinmektedir. Derin yer altı kuyu sularının radon konsantrasyonlarında gözlenen değişimler, depremlerin öncü işaretleri arasında üzerinde önemle durulan belirtkenlerdir (Göksel vd, 1987). Genelde Batı Anadolu ve özel olarak İzmir ve civarı yoğun depremselliğin (sismisitenin) gözlemlendiği bir bölgeyi oluşturmaktadır. Bu aktivite, yüksek açılı normal faylarla sınırlanan doğu-batı doğrultulu graben sistemleri ile ilişkilidir. Bursa-Gönen, Gemlik- İznik-Edremit, Bakırçay, Bergama, Simav, Gediz, Büyük Menderes, Küçük Menderes ve Alaşehir grabenleri, bu sistemin en önemli tektonik yapılarını oluşturur. 20. yüzyılda İzmir ve civarında çok sayıda hasar verici deprem meydana gelmiştir. Bunlar arasında, 22 Eylül 1939 tarihinde Bakırçay vadisinde meydana gelen Dikili depremi de yer almaktadır (Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, 2000).

Türkiye'de radonun esas kaynağı olan uranyum cevherinin bulunma olasılığı fazla olan sahalar, daha önceki yıllarda M.T.A tarafından belirlenmiştir. Aramalar sonucunda: Salihli-Köprübaşı, Yozgat-Sorgun, Uşak-Fakılı, Aydın-Demirtepe ve Küçükçavdar sahalarında ekonomik olabilecek 9129 ton uranyum ve diğer bölgelerde çok sayıda uranyum anomalisi bulunmuştur. Ancak bir çok sahada kaynak yetersizliği nedeniyle çalışmalar sürdürülememiştir (Tuncer ve Eskibalci, 2003). 1957 yılında M.T.A tarafından yayınlanan raporda, muhtemel uranyumlu bölge olarak düşünülen yerlerden biri; İzmir, Manisa, Uşak, Denizli, Aydın bölgesidir (Tokay ve Erentöz, 1957). Dikili ilçesi de bu bölge sınırları içinde bulunmaktadır.

Bu çalışmada, yukarıda belirtildiği gibi, bölgenin jeolojik ve tektonik özellikleri dikkate alınarak Dikili ilçesinin, radon araştırmaları için uygun olduğu düşünülmüştür. Jeotermal saha içinde çalışma bölgesi olarak seçilen yerleşim alanlarında, radon konsantrasyonlarının belirlenmesine çalışılmıştır. Şekil 3.1'de verilen harita üzerinde çalışma bölgeleri gösterilmiştir. Evlerde, toprakta ve sularda gerçekleştirilen konsantrasyon ölçümlerinin her biri ayrı başlıklar altında incelenmiştir.



Şekil 3.1 Dikili jeotermal sahasında, çalışma bölgesi olarak seçilen yerleşim alanları

3.1 Evlerde Radon Ölçümleri

Evlerde radon konsantrasyonunu belirleyebilmek için ölçüm alınan yerler, Dikili jeotermal sahası içinde bulunan; Bademli, Kocaoba, Mazılı, Nebiler Köyleri ve Dikili ilçe merkezi olmak üzere toplam 5 yerleşim alanından oluşur. Her köyden 15 ev seçilmek üzere toplam 75 evin oturma ve yatak odalarına 150 adet CR-39 pasif nükleer iz detektörü dağıtılmıştır. Detektör dağıtılan evler seçilirken, kat seviyeleri ve içerdiği yapı malzemeleri göz önünde bulundurulmuştur. 12-4-2003 ile 8-7-2003 tarihleri arasında evlerde bekletilen detektörler, yaklaşık 3 aylık izleme süresi sonunda toplanarak kimyasal iz kazıma işlemine tabi tutulmuştur. Her detektörün taşıdığı iz sayıları ve net iz sayılarına karşı gelen radon konsantrasyonları belirlenmiştir. Bazı detektörler, hasar görmeleri ya da iade edilmemeleri nedeniyle değerlendirilememiştir. Dağıtılan ve toplanan detektör sayılarını gösteren bilgi Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2 Dağıtılan ve toplanan detektör sayıları

Yerleşim Yeri	Dağıtılan Detektör Sayısı	Toplanan Detektör Sayısı
Dikili Merkez	30	28
Bademli Köyü	30	21
Kocaoba Köyü	30	24
Mazılı Köyü	30	28
Nebiler Köyü	30	20
Toplam	150	121

3.1.1 Cr-39 İz Detektörleri

İyonlaştırıcı yüklü parçacıklar, dielektrik malzemeden geçerken elektronlara enerji aktarırlar. Bunun sonucunda parçacık izleri boyunca hasarlı moleküller meydana gelir. Güçlü asit ve baz çözeltileri kullanılarak izlerin belirgin hale gelmesi sağlanır. Normal mikroskop altında yüzeyde yeterli oranda büyük oyuk oluşturan izleri saptamak için kullanılan bu malzemelere iz kazıma detektörleri, (Track etch detectors) adı verilir.

Alfa parçacıklarının maddeyle etkileşmesi

Alfa, beta gibi yüklü parçacıklar maddesel ortam içinden geçerken peş peşe çarpışmalar yaparak enerjilerini kaybederler ve hızlarını azaltarak dururlar.

Bu parçacıkların madde içinde kat ettiği yolun birim uzunluğunda, yavaşlayarak kaybettiği enerji miktarına durdurma gücü (Stopping Power) denir. Bu tanımın matematiksel ifadesi (3.1) eşitliğinde verilmiştir.

$$S(E) = - \frac{d(E)}{dx} \quad (3.1)$$

Alfa ya da beta gibi yüklü parçacıkların maddesel ortam içinde hareketi esnasında yavaşlayıp tamamen duruncaya kadar kat ettiği yolun uzunluğu, erim (Range) olarak tanımlanır. Bu tanımlardan yola çıkarak R erimi ve S durdurucu güç arasındaki bağıntı yazıldığında Lineer Enerji Transferi (LET) ifadesi elde edilir. Lineer enerji transferi, bir radyasyonun birim yol boyunca meydana getirdiği iyonlaştırma ve ortama transfer ettiği enerji miktarıdır.

Ağır yüklü alfa parçacıkları madde içinden geçtiği atomların genellikle dış yörünge atomlarını kopartarak onları pozitif ve negatif atomdan oluşan iyon çifti haline dönüştürürler. Bir radyasyon parçacığının ortam içinde kat ettiği yolun birim uzunluğunda yarattığı iyon çiftleri sayısına özgül iyonlaşma adı verilir. Özgül iyonlaşma; ortamın cinsine, ortamın yoğunluğuna, radyasyon cinsine ve radyasyon enerjisine bağlıdır. Alfa parçacıklarının özgül iyonlaştırma gücü çok yüksektir ve madde içinde özgül iyonlaştırması, kat ettiği yol boyunca artarak devam eder. Ancak menzilin son kısmında iyonlaştırıcı etkinliğini hızla yitirir ve yüksüz He atomuna dönüşerek maddesel ortam tarafından soğurulurlar ve madde yüzeyinde hasarlı izlerin oluşmasına neden olurlar (Özden, 1977). İz detektörlerinin yüzeyinde oluşan izler Ek-3'teki Şekilde görülmektedir.

İzleri kaydedebilen detektörlerin yapı bileşenlerini, inorganik ve organik katılar meydana getirir. İnorganik katıların en çok bilinenlerine örnek olarak mika ve flint cam, organik katılar içinse polikarbonat ve polyester filmler verilebilir. Çizelge 3.3'te bu malzemelerin özellikleri verilmiştir (Knoll, 1988).

Çizelge 3.3 İz Detektörlerinin Yapısını Oluşturan Malzemeler (Knoll, 1988)

	Atomik Bileşikler	En az görülen iyonlaştırıcı iyonlar
İnorganik maddeler		
Kuvars	SiO_2	100 MeV ^{40}Ar
Filogopit mika	$\text{KMg}_2\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	
Muskovit mika	$\text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	2 MeV ^{20}Ne
Silika cam	SiO_2	16 MeV ^{40}Ar
Flint cam	$18\text{SiO}_2:4\text{PbO}:1.5\text{Na}_2\text{O}:\text{K}_2\text{O}$	2-4 MeV ^{20}Ne
Organik Maddeler		
Polietilen teraftalat		
(Cronar, Melinex)	$\text{C}_5\text{H}_4\text{O}_2$	36 MeV ^{16}O
Bisfenol A-Polikarbonat		
(Lexan, Makrofol)	$\text{C}_{16}\text{H}_{14}\text{O}_3$	0,3 MeV ^4He
Polimetilmetaakrilat		
(Plexiglas, Lucite, Perspex)	$\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2$	3 MeV ^4He
Selüloz triasetat		
(Cellit, Triafol-T, Kodacel		
TA-401 unplasticized)	$\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_2$	3 MeV ^4He
Selüloz nitrat		
(Daicell)	$\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_9\text{N}_2$	0,55 MeV ^1H

Cr-39 plastik filmler, inorganik katılar sınıfına giren alfa parçacıklarına karşı duyarlı ev içi radon ölçümlerinde kullanılan iz detektörleridir. Cr-39 detektörünün tercih edilmesini sağlayan özellikleri aşağıda sıralanmıştır:(Margiotta, 1997).

- 1- Renksiz, görünür ışıktaki tamamen saydam, ayrıca morötesi ve kızılötesi ışınlar karşı da opak özellik taşırlar. Bu nedenle güneş gözlüğü camlarının üretiminde yaygın olarak kullanılırlar.
- 2- Aşınma ve kırılmalara karşı direnci yüksek optik malzeme özelliği gösterirler.
- 3- Ağırlığı camın ağırlığının yarısı kadardır.
- 4- Kuvvetli asit ve baz çözeltilerinin kimyasal etkilerine karşı optik özelliklerini korurlar.
- 5- Sıcaklığı $100\text{ }^\circ\text{C}$ kadar varan ısıya ve sıçrayan kıvılcımlara karşı dayanıklıdır.

3.1.2 İz Kazıma İşlemi

Ev içi radon ölçümleri için kullanılan Cr-39 plastik plakaları 20x20x0,25 mm boyutlarında kesilip 100 ml hacmindeki difüzyon kabı içine tutucu desteğiyle yerleştirildikten sonra ağızları sıkıca kapatılmıştır. Filmlerin, bina zemini altındaki topraktan, yapı malzemesinden ya da sulardan gelen radonun bozunmasıyla yayınlanan alfa radyasyonuna maruz kalması için evlerde bir süre bekletilmesi gerekir. Film üzerinde oluşan alfa izlerinin sayısı, bekletildiği ortamın radon konsantrasyonu ile orantılı olacaktır. Filmler üzerinde oluşan izleri mikroskop altında görülebilir hale getirebilmek için Ç.N.A.E.M Sağlık Fiziği laboratuvarında kimyasal iz kazıma işlemi uygulanmıştır. Bu amaçla detektörler laboratuvar koşulları altında hazırlanan % 30'luk NaOH baz çözeltisi içinde 61 ° C sıcaklığındaki etüv içine konulup, 16 saat bekletilmiştir. Bu süre sonunda etüvden çıkartılan filmler yıkanıp kurutulduktan sonra mikroskopta sayılmaya elverişli duruma getirilmiştir. Ancak alfalara karşı duyarlı olan pasif radon dozimetrelerinin değerlendirilmesi için kalibrasyon işleminin yapılması gerekir.

3.1.3 Cr-39 Detektörlerinin Kalibrasyonu

Evlerde radon konsantrasyonunu belirleyebilmek için kullanılan yöntemlerden birisi de pasif yöntem olarak bilinen, pasif nükleer iz detektörlerinin en az birkaç ay süreyle kapalı ortamlarda bekletilmesine dayanır. İntegre ya da uzun dönem ölçümlerin kullanılmasının sebebi iklim değişimi, havalandırma, zemine yakınlık gibi parametrelerin ölçümler içinde yer almasını sağlamaktır. İntegre ölçümler bu yüzden kapalı ortamlardaki radon konsantrasyonunun belirlenmesinde daha doğru bir sonuç verir. Ancak Cr-39 detektörlerinin uzun dönem (integre) radon ölçümlerinde kullanılması için kalibrasyon işleminin yapılması çok önemlidir.

Ç.N.A.E.M'nin Sağlık Fiziği Bölümünde bulunan radon kalibrasyon odası 225 litrelik bir bidon ve tabanına yerleştirilen Ra-226 kaynağından meydana gelmiştir. Bu bidon hacmi içindeki radonun denge konsantrasyonu 3,2 (kBq/m³) olarak bulunmuştur. (Çelebi, 1995 ve Karahan, 1997).

Bu çalışmada kullanılan pasif radon dozimetrelerinin kalibrasyon faktörü 5,879 (kBq/m³)/(iz sayısı/saat) olarak hesaplanmıştır. Kalibrasyon faktörü tayin edildikten sonra ev içi radon konsantrasyonu aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır.

$\text{Ortalama Aktivite} = \frac{\text{Kalibrasyon faktörü} \times \text{net iz sayısı}}{\text{Detektörün radona maruz kaldığı süre}}$

3.1.4 Deneyisel Ölçümlerden Elde Edilen Bulgular

Dikili jeotermal sahasında, detektör dağıtılan evlerin özellikleri ve bu evlere ait ev içi radon konsantrasyon değerlerini gösteren tüm veriler, Çizelge 3.4, 3.5, 3.6, 3.7 ve 3.8’de verilmiştir. Bu veriler kullanılarak her bir yerleşim alanı için ev içi radon konsantrasyon dağılımları, evlerin ortalamalarına, oturma ve yatak odalarına ve binalarda kullanılan yapı malzemelerine göre incelenmiş ve grafiğe geçirilmiştir.

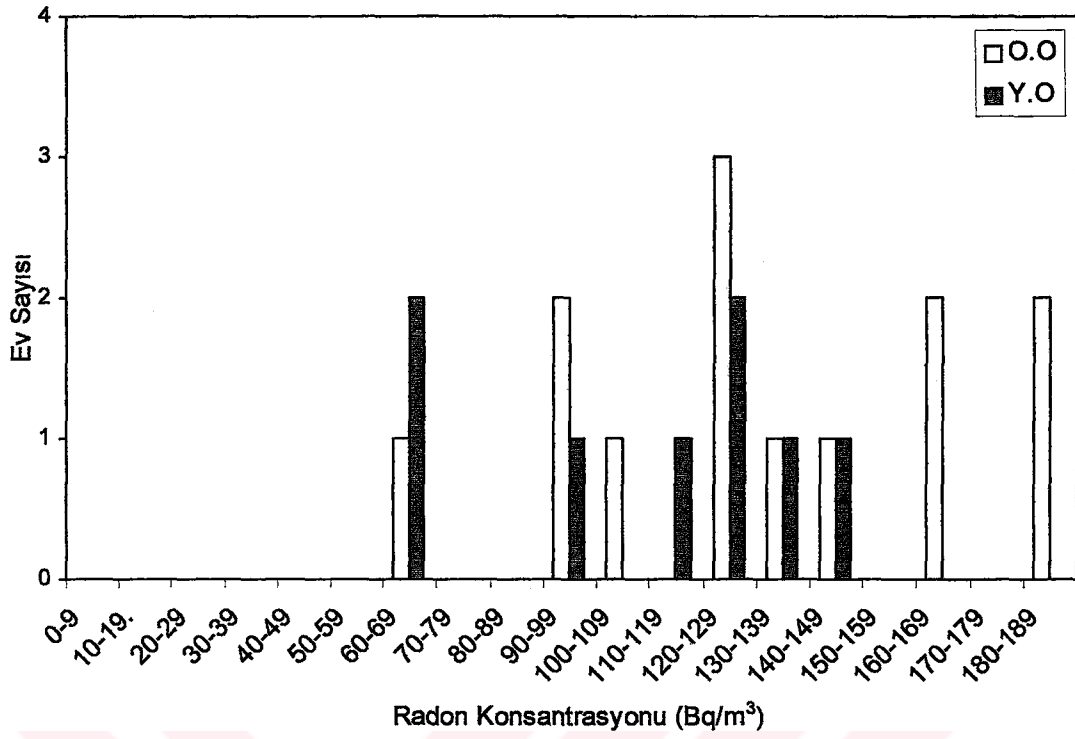
Her bir yerleşim bölgesinde, evlerin oturma ve yatak odalarına göre belirlenen radon konsantrasyon dağılımları, Şekil 3.2, 3.5, 3.7, 3.10, ve 3.13’te gösterilmiştir.

Dikili İlçe merkezi ve dört kaplıca köyünü kapsayan her bir yerleşim alanının ortalama radon konsantrasyon dağılımları Şekil 3.3, 3.6, 3.8, 3.11 ve 3.14’te gösterilmiştir.

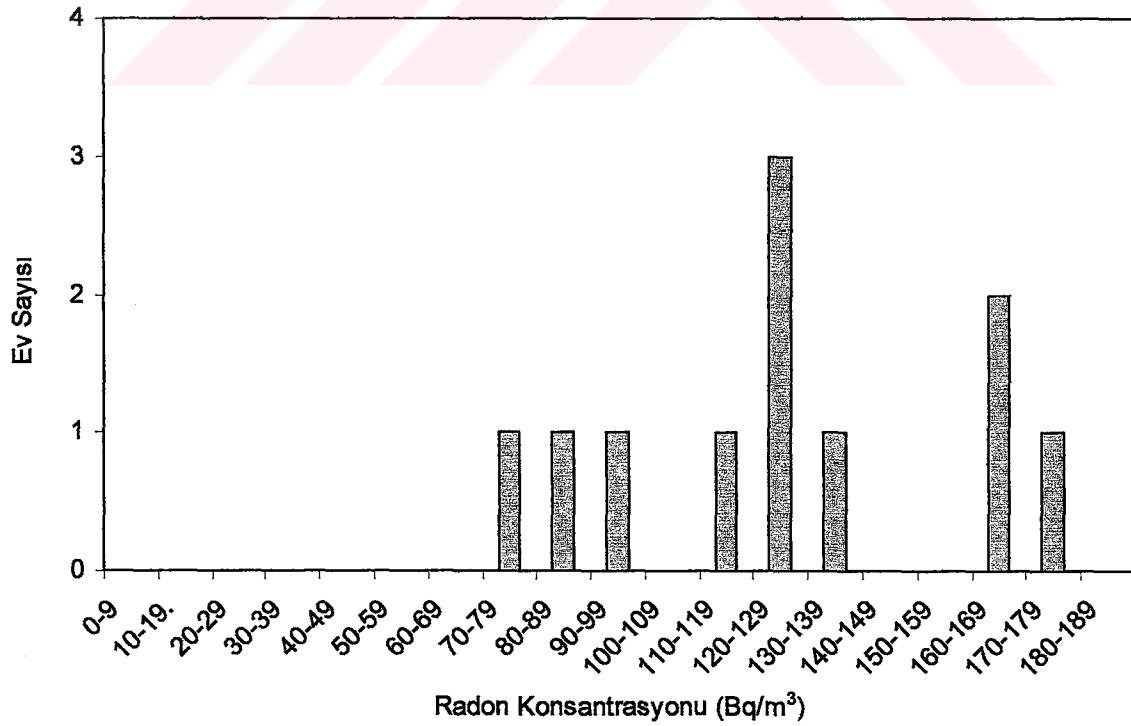
Ölçüm alınan köy evlerinde taş, kagir ve tuğladan oluşan üç tip yapı malzemesi kullanılmıştır. Her bir yapı malzemesine karşılık gelen radon konsantrasyonları Şekil 3.4, 3.9, 3.12 ve 3.15’te verilmiştir. Dikili merkezde detektör yerleştirilen bütün evler betonarme yapılar olduğundan, radon konsantrasyonları üzerinde yapı malzemesi farkından kaynaklanan bir etki söz konusu değildir.

Çizelge 3.4 Bademli Köyü'nde detektör dağıtılan evlerin özelliklikleri ve bu evlere ait radon konsantrasyon değerleri

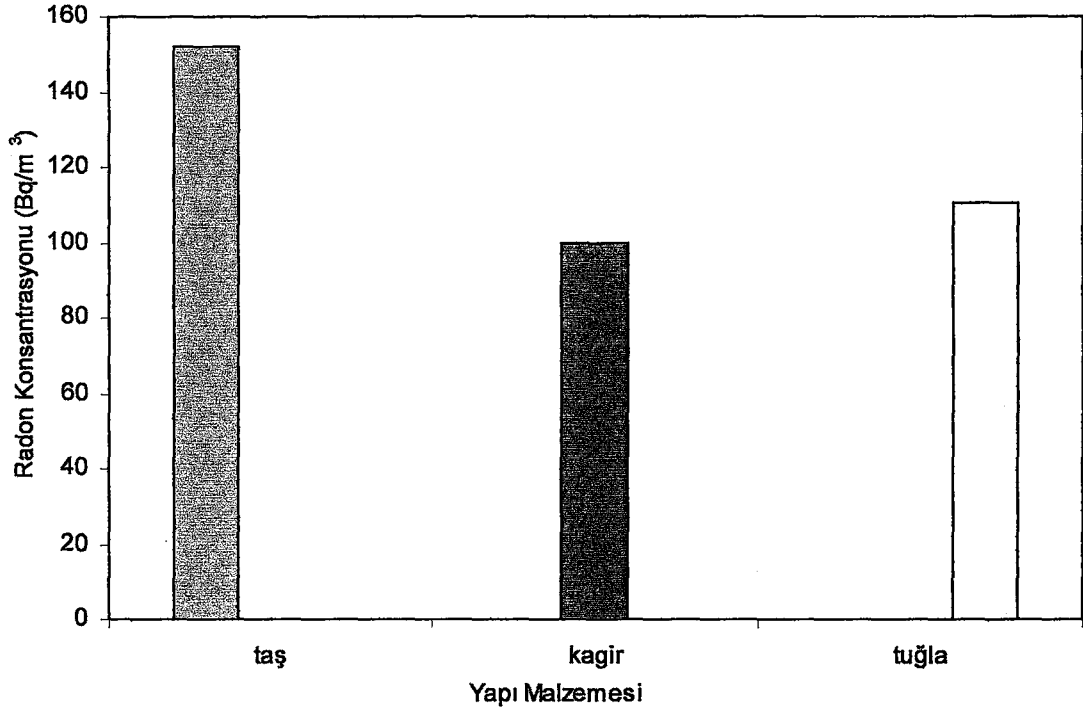
Yer	Detektör No	Yapı Malzemesi	Kat Seviyesi	Radon Konsantrasyonu (Bq m ⁻³)		
				O.O	Y.O	Ortalama
Bademli Köyü	1	Taş	1	164	188	176
	2	Kagir	1	102	129	116
	3	Tuğla	2	134	112	123
	4	Taş	2	141	182	161
	5	Tuğla	1	98	98	98
	6	Taş	1	124	146	135
	7	Kagir	1	122	127	125
	8	Kagir	1	70	76	73
	9	Kagir	1	96	77	86
	10	Taş	1	160	-	
	11	Taş	1	124	135	129



Şekil 3.2 Bademli Köyü için evlerin oturma ve yatak odalarına göre radon konsantrasyonlarının dağılımı



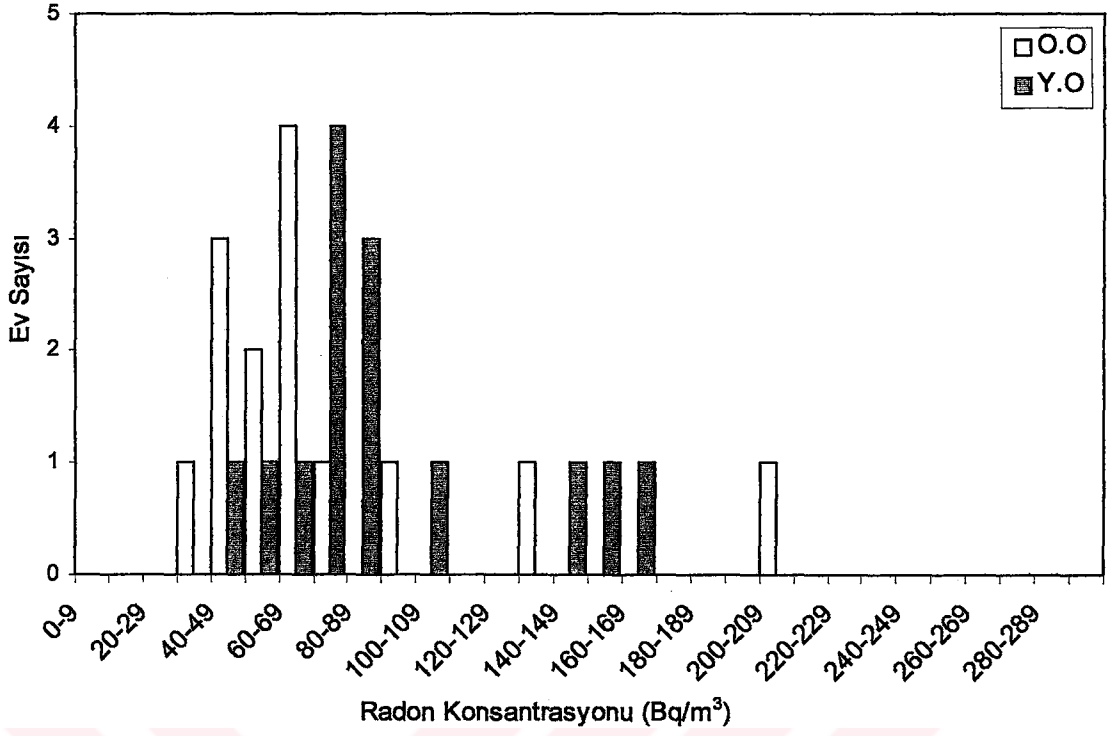
Şekil 3.3 Bademli Köyü'nde 11 evde ölçülen ortalama radon konsantrasyonlarının dağılımı



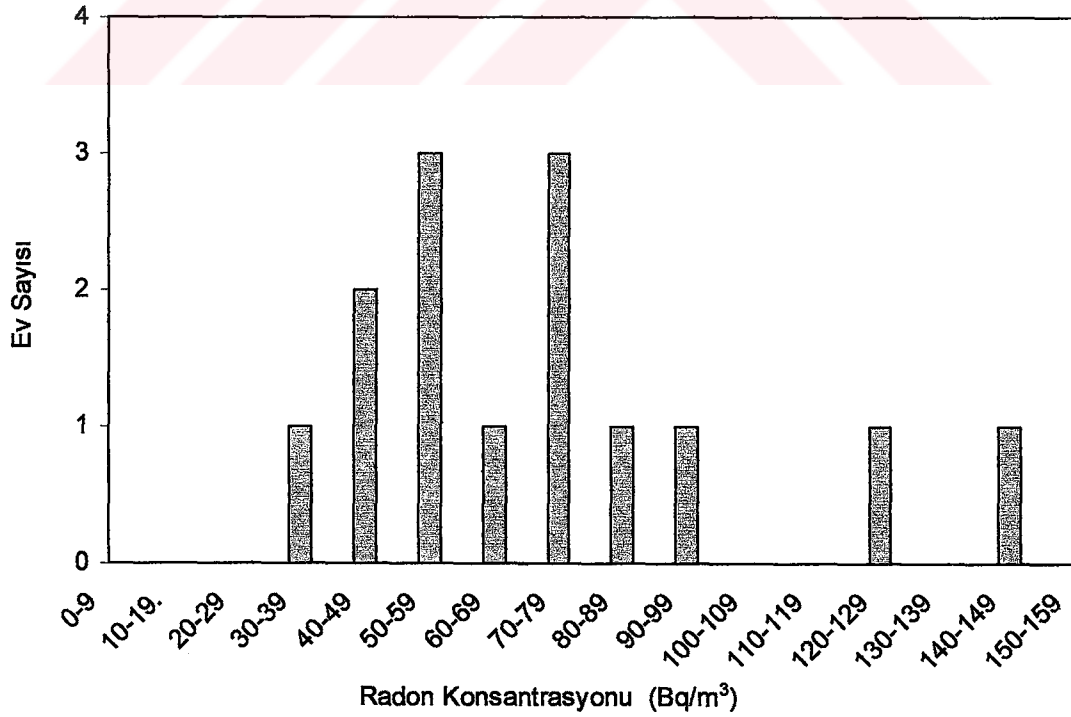
Şekil 3.4 Bademli Köy evlerinde kullanılan yapı malzemesine göre ev içi ortalama radon konsantrasyonlarının dağılımı

Çizelge 3.5 Dikili Merkez’de detektör dağıtılan evlerin özellikleri ve bu evlere ait radon konsantrasyon değerleri

Yer	Defektör No	Yapı Malzemesi	Kat Seviyesi	Radon Konsantrasyonu (Bq m ⁻³)		
				O.O	Y.O	Ortalama
Dikili Merkez	1	Beton	3	66	70	68
	2	“	3	56	86	71
	3	“	4	68	76	72
	4	“	3	32	73	53
	5	“	2	112	73	92
	6	“	5	70	72	71
	7	“	3	99	145	122
	8	“	4	44	65	54
	9	“	5	134	157	145
	10	“	4	60	108	84
	11	“	5	60	55	58
	12	“	4	49	46	48
	13	“	5	48	51	49
	14	“	5	19	43	31



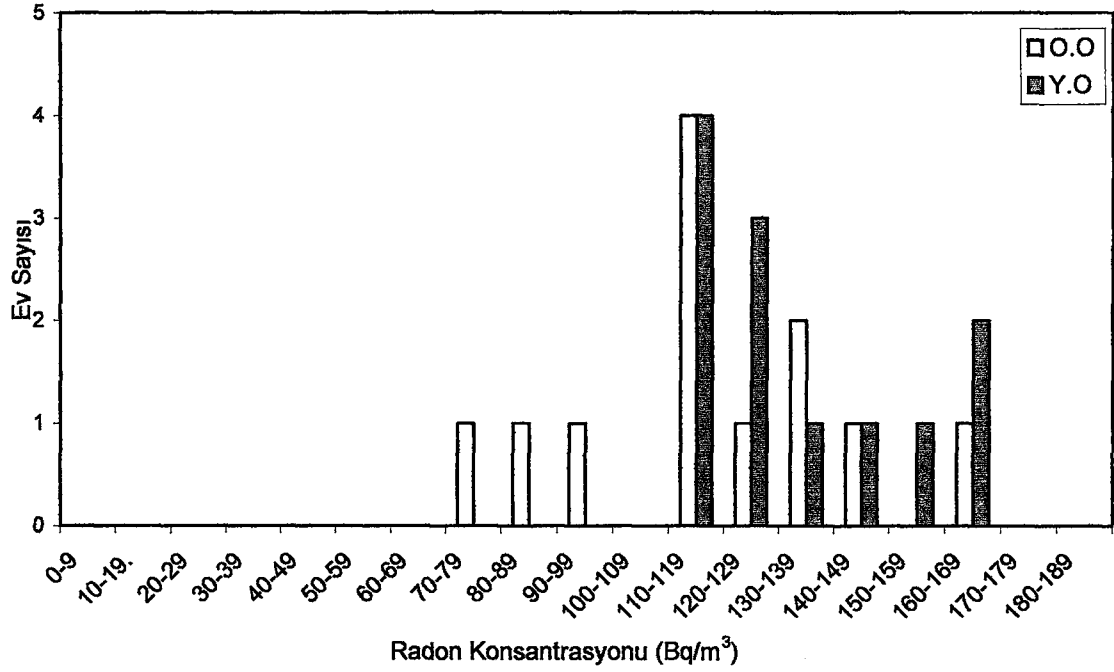
Şekil 3.5 Dikili ilçe merkezi için evlerin oturma ve yatak odalarına göre radon konsantrasyonlarının dağılımı



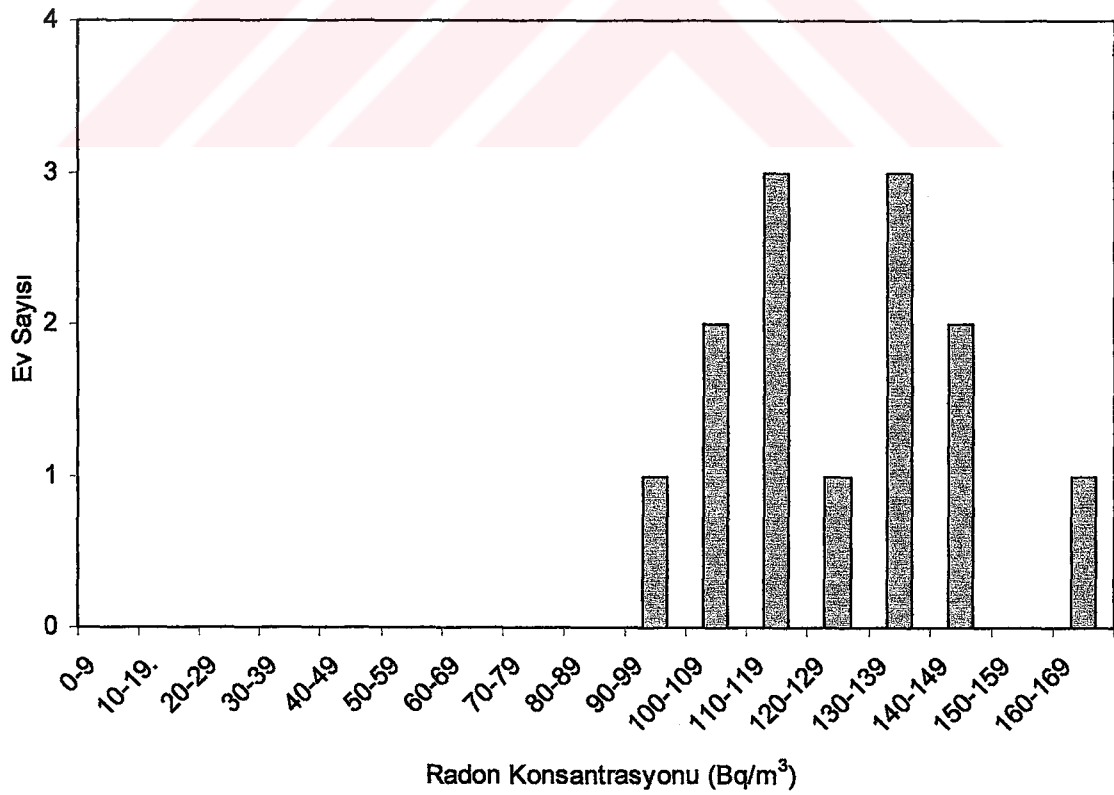
Şekil 3.6 Dikili ilçe merkezinde 14 evde ölçülen ortalama radon konsantrasyonlarının dağılımı

Çizelge 3.6 Kocaoba Köyü'nde detektör dağıtılan evlerin özelliklikleri ve bu evlere ait radon konsantrasyon değerleri

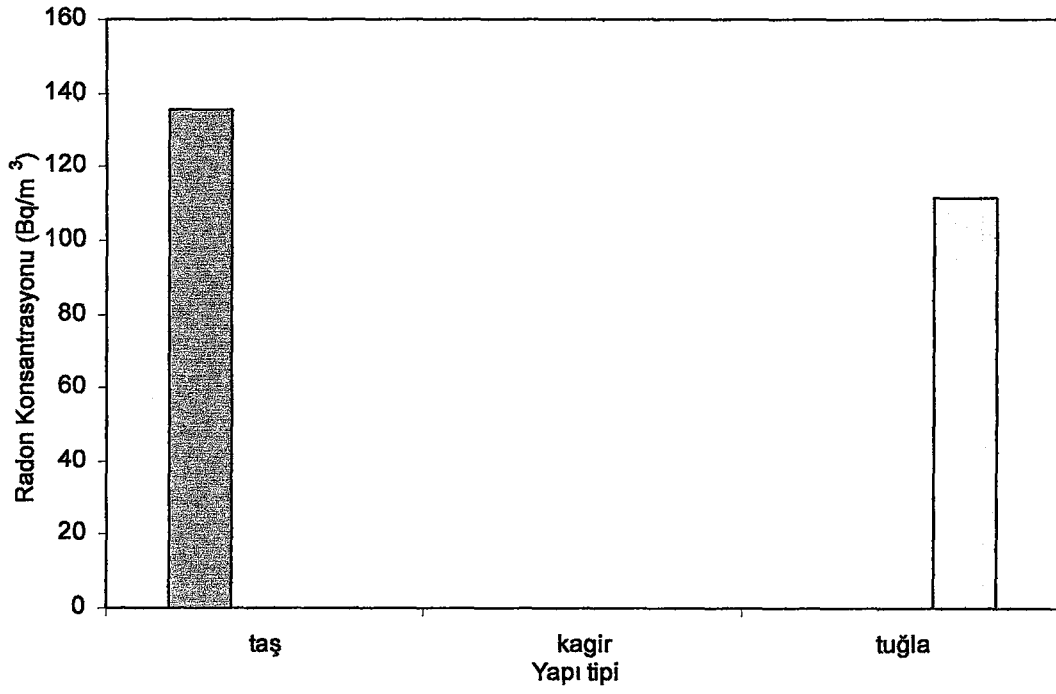
Yer	Detektör No	Yapı Malzemesi	Kat Seviyesi	Radon Konsantrasyonu (Bq m ⁻³)		
				O.O	Y.O	Ortalama
Kocaoba Köyü	1	Tuğla	1	-	111	111
	2	Tuğla	1	129	140	134
	3	Taş	1	112	114	113
	4	Taş	1	114	124	119
	5	Tuğla	1	74	121	98
	6	Taş	1	130	-	130
	7	Tuğla	1	117	123	120
	8	Taş	1	161	164	163
	9	Taş	1	140	159	149
	10	Taş	1	114	167	141
	11	Taş	1	134	135	134
	12	Tuğla	1	87	113	100
	13	Tuğla	1	96	112	104



Şekil 3.7 Kocaoba Köyü için evlerin oturma ve yatak odalarına göre radon konsantrasyonlarının dağılımı



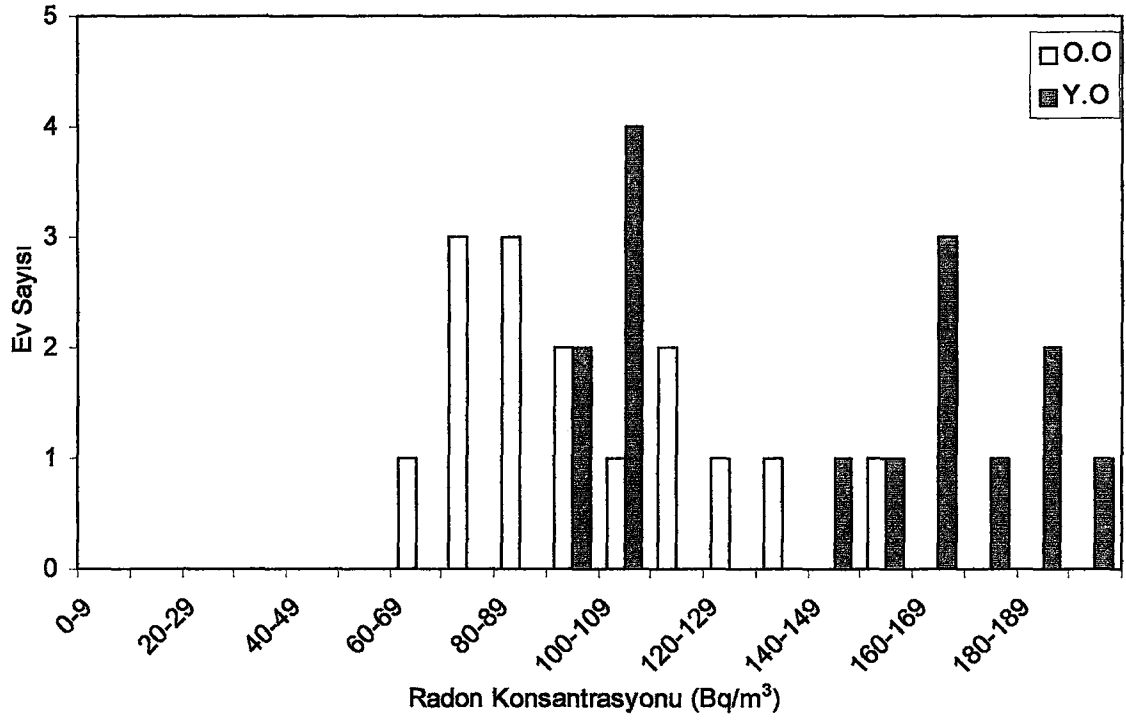
Şekil 3.8 Kocaoba Köyü'nde 13 evde ölçülen ortalama radon konsantrasyonlarının dağılımı



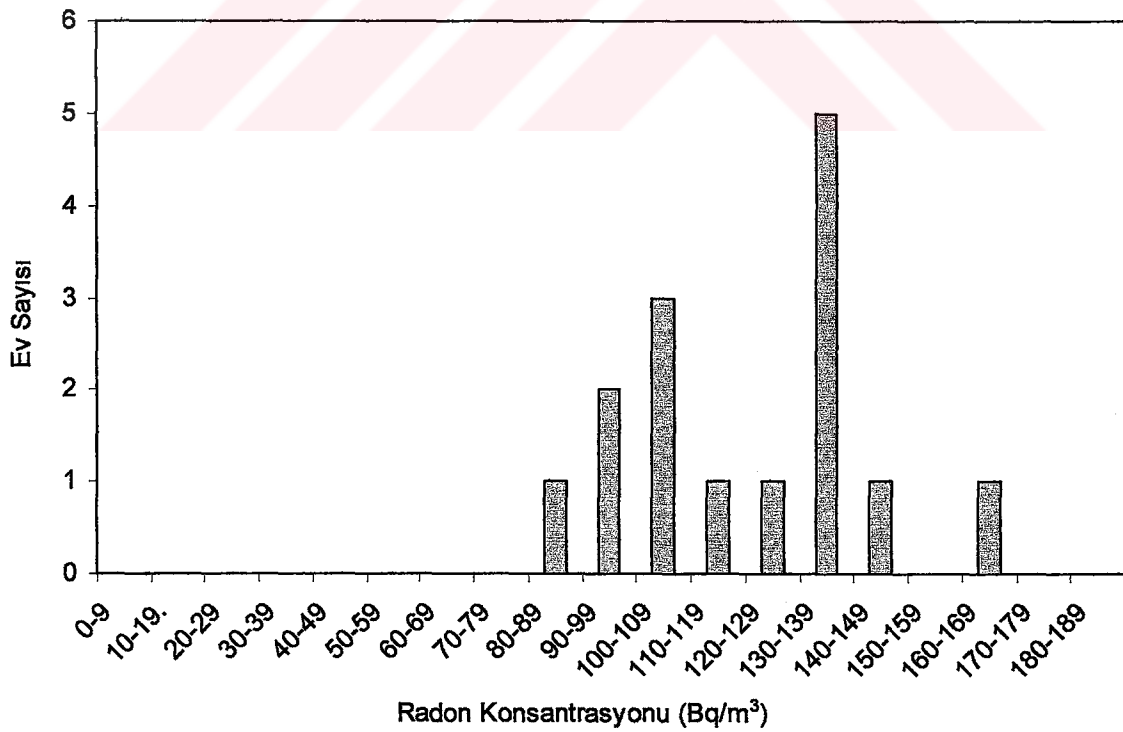
Şekil 3.9 Kocaoba Köy evlerinde kullanılan yapı malzemesine göre ev içi ortalama radon konsantrasyonlarının dağılımı

Çizelge 3.7 Mazlı Köyü'nde detektör dağıtılan evlerin özellikleri ve bu evlere ait radon konsantrasyon değerleri

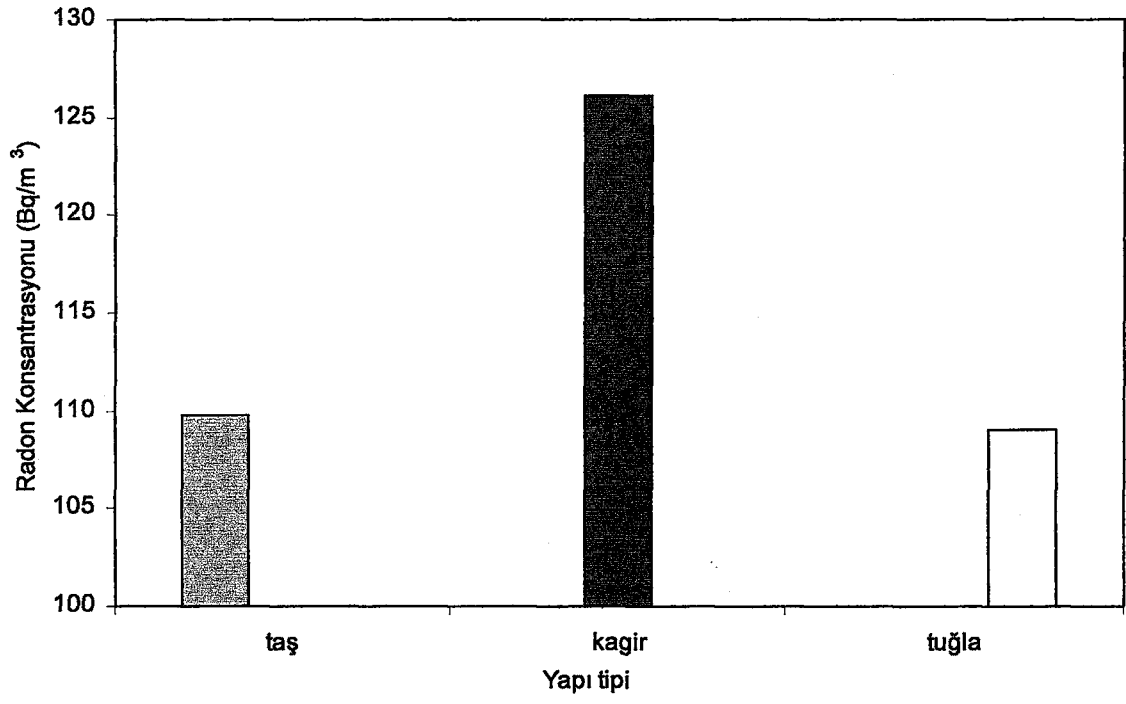
Yer	Detektör No	Yapı Malzemesi	Kat Seviyesi	Radon Konsantrasyonu (Bq m ⁻³)		
				O.O	Y.O	Ortalama
Mazlı Köyü	1	Taş	1	72	99	86
	2	Kagir	1	101	107	104
	3	Kagir	1	122	146	134
	4	Kagir	1	78	105	92
	5	Tuğla	1	112	106	109
	6	Kagir	1	88	93	91
	7	Taş	1	73	162	117
	8	Taş	1	89	178	134
	9	Kagir	1	96	181	138
	10	Kagir	1	136	160	148
	11	Kagir	1	110	152	131
	12	Kagir	1	159	160	160
	13	Kagir	1	81	192	137
	14	Taş	1	97	106	102



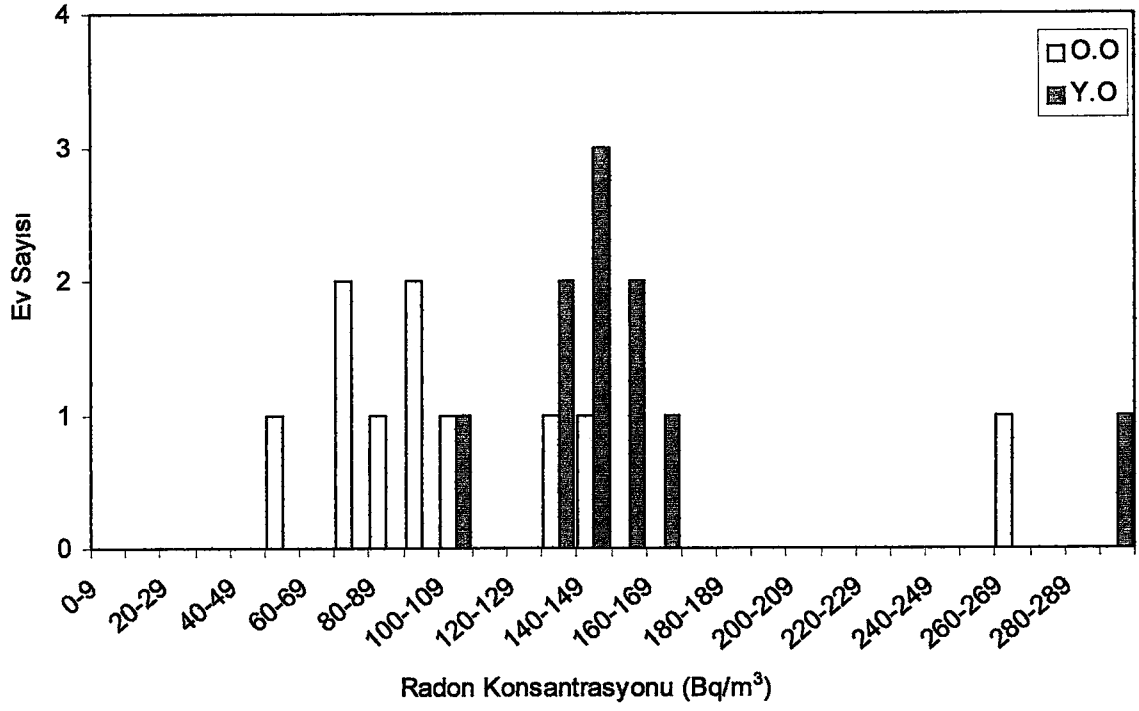
Şekil 3.10 Mazılı Köyü için evlerin oturma ve yatak odalarına göre radon konsantrasyonlarının dağılımı



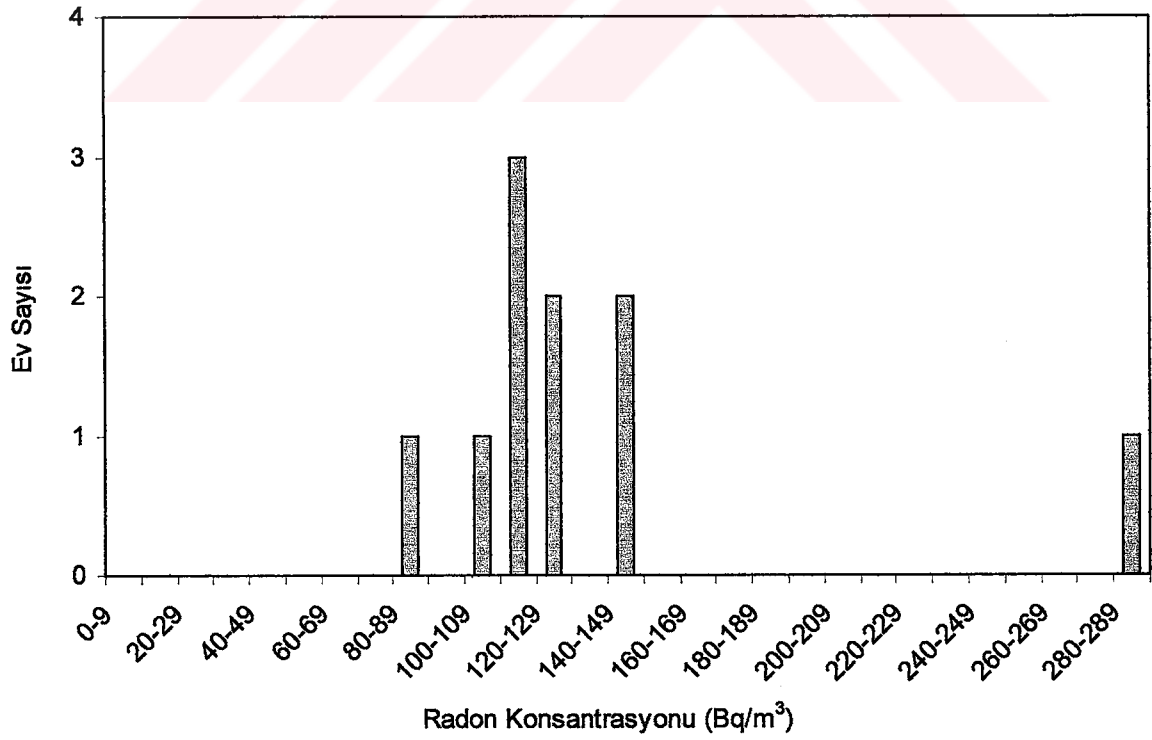
Şekil 3.11 Mazılı Köyü'nde 14 evde ölçülen ortalama radon konsantrasyonlarının dağılımı



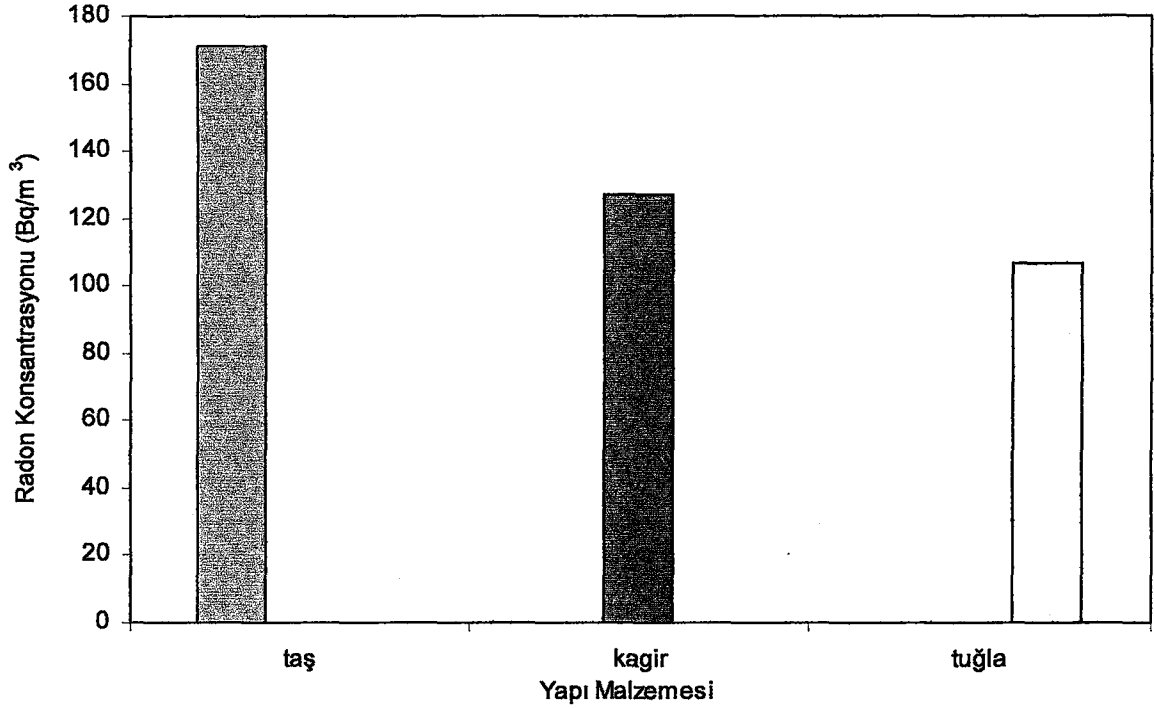
Şekil 3.12 Mazılı Köy evlerinde kullanılan yapı malzemesine göre ev içi ortalama radon konsantrasyonlarının dağılımı



Şekil 3.13 Nebiler Köyü için evlerin oturma ve yatak odalarına göre radon konsantrasyonlarının dağılımı



Şekil 3.14 Nebiler Köyü'nde 10 evde ölçülen ortalama radon konsantrasyonlarının dağılımı

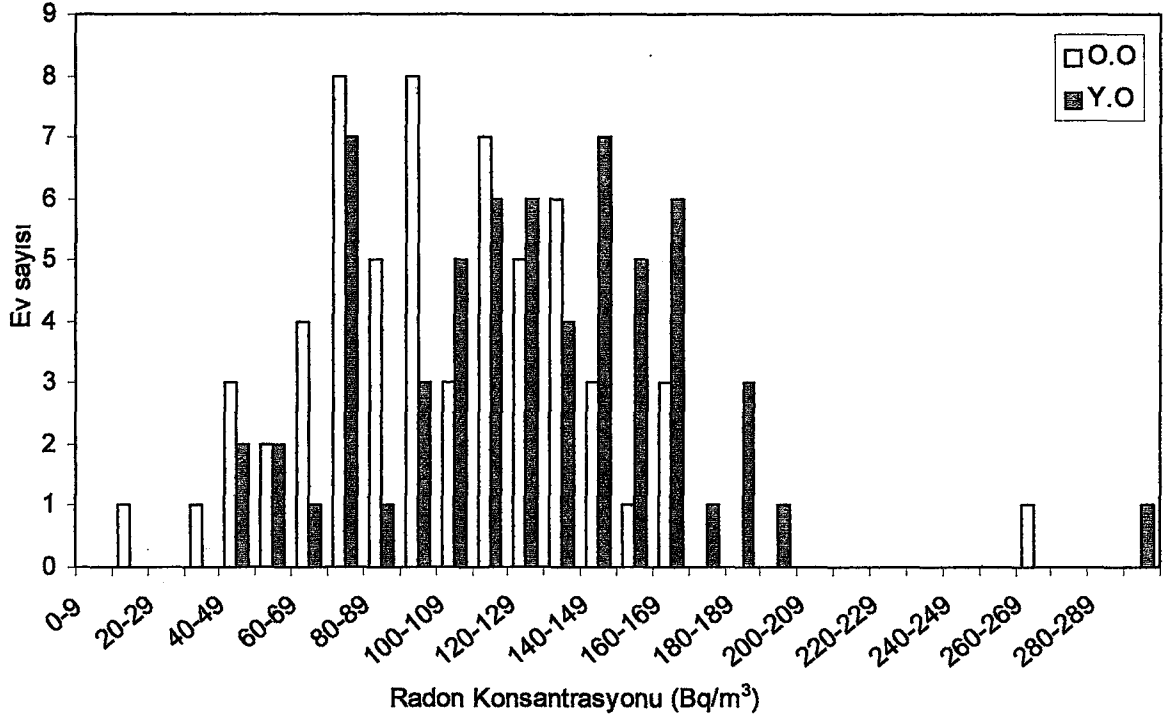


Şekil 3.15 Nebiler Köy evlerinde kullanılan yapı malzemesine göre ev içi ortalama radon konsantrasyonlarının dağılımı

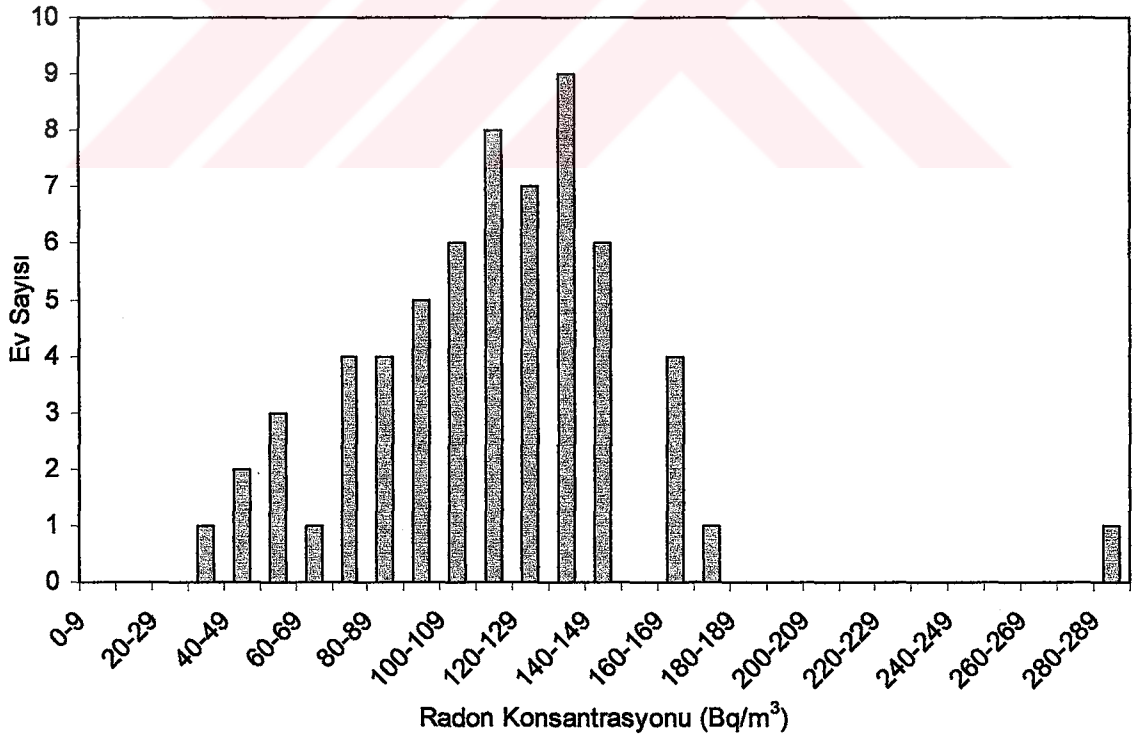
3.1.5 Evlerde Radon Ölçümlerinin Değerlendirilmesi ve Birbirleriyle Kıyaslanması

Dikili jeotermal sahasındaki ev içi radon konsantrasyonları yatak odaları ve oturma odalarına ve kullanılan yapı malzemesine göre toplu olarak değerlendirilmiş ve ilgili konsantrasyon dağılımları Şekil 3.16 ve 3.19'daki grafiklerle sunulmuştur.

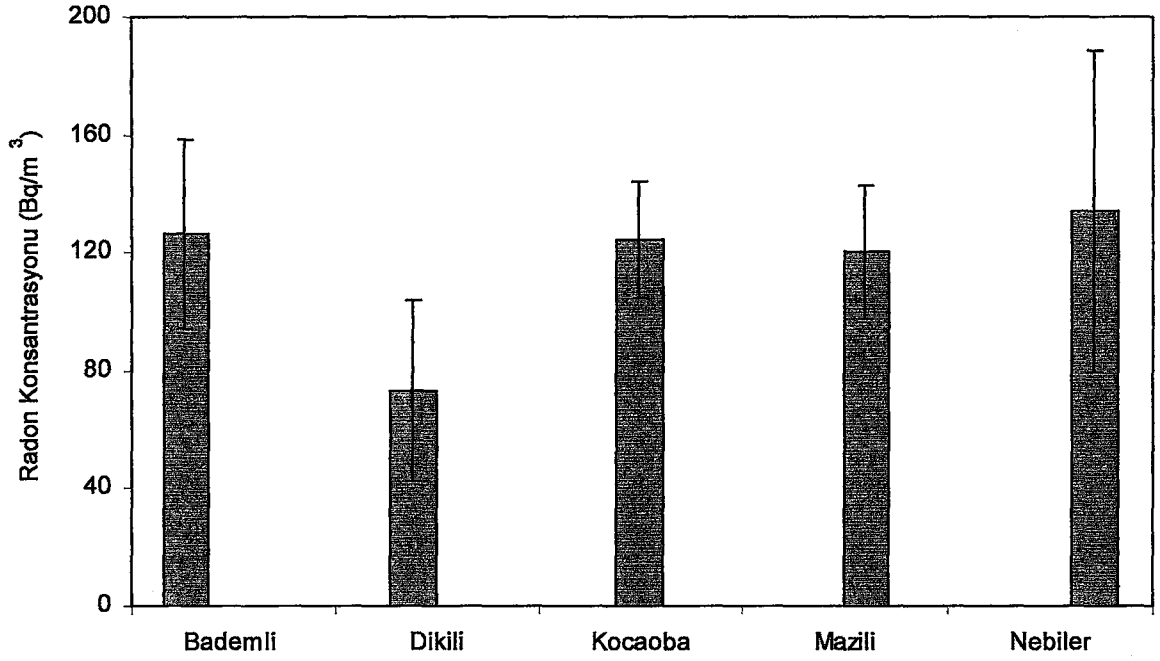
Bölgede ölçüm yapılan tüm evlere ait ortalama radon konsantrasyon dağılımı Şekil 3.17'de gösterilmiştir. Bütün yerleşim alanlarının ev içi ortalama radon konsantrasyonu $113,6 \text{ Bq/m}^3$ olarak saptanmıştır. Şekil 3.18'de de yerleşim alanlarının radon konsantrasyon değerleri birbirleriyle kıyaslanmıştır.



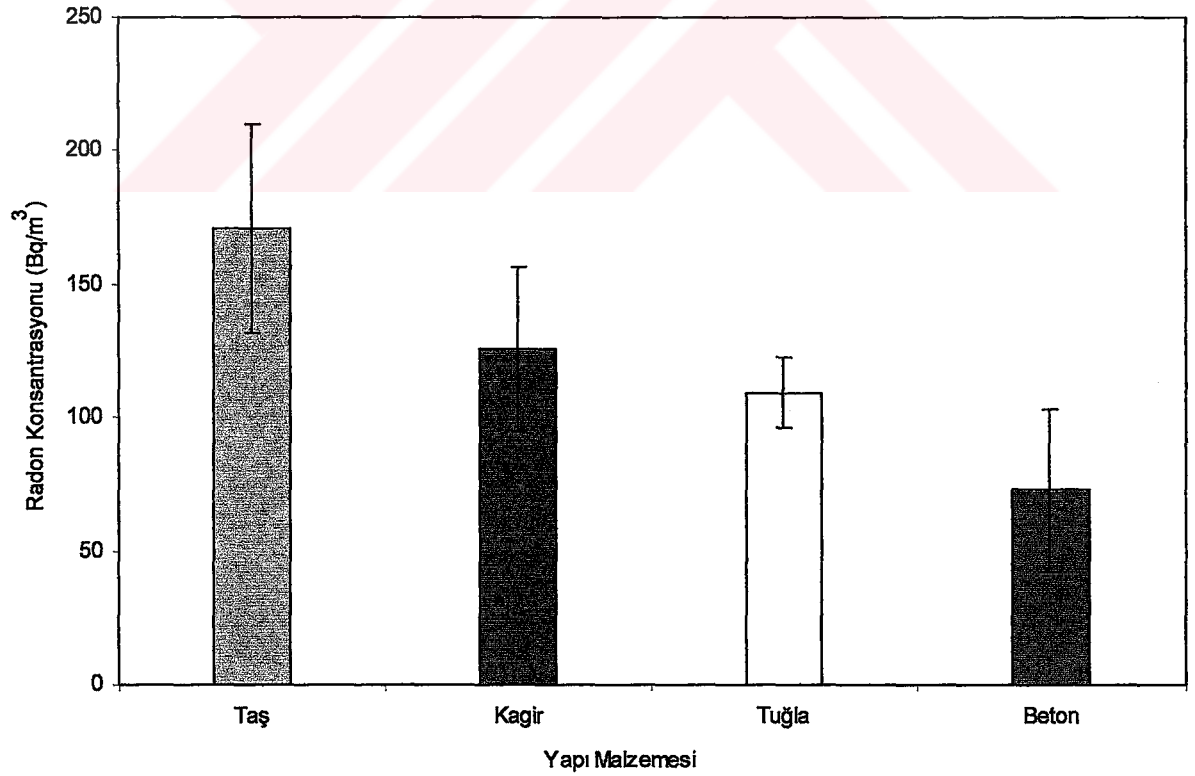
Şekil 3.16 Dikili jeotermal sahasında bulunan yerleşim alanları için evlerin oturma ve yatak odalarına göre radon konsantrasyonlarının dağılımı



Şekil 3.17 Dikili jeotermal sahasında bulunan yerleşim alanlarında, 62 evde ölçülen ortalama radon konsantrasyonlarının dağılımı



Şekil 3.18 Dikili jeotermal sahasındaki yerleşim alanlarının ev içi ortalama radon konsantrasyon değerlerinin kıyaslanması



Şekil 3.19 Dikili jeotermal sahasındaki evlerde, kullanılan yapı malzemesine göre ev içi ortalama radon konsantrasyonlarının dağılımı

3.1.6 Doz Değerlendirmeleri

Bu çalışmada bina içi radon konsantrasyonunu belirleyebilmek için özellikle kagir ve taş yapı malzemelerinin kullanıldığı tek katlı köy evlerinde ve ilçe merkezinde yer alan yüksek katlı betonarme binalarda radon ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen bulgular ışığında her bir farklı yerleşim bölgesinde yaşayan halkın kapalı ortamlarda radon ve bozunma ürünlerine maruz kalarak alacağı radyasyon dozunu saptayabilmek için soluma yolu ile vücuda alınan ve solunumla dokulara nüfus ederek çözünen yıllık etkin doz eşdeğerleri hesaplanmıştır. Bu bölümde ilk önce hava içerisinde bulunan radonun kısa yarı ömürlü bozunma ürünleri konsantrasyonunu karakterize etmekte kullanılan ve radonun bozunma ürünlerinin içe çekilmesi sonucu oluşan etkinin, özel nicelik ve birimleri açıklanılmaya çalışılacaktır.

Denge Eşdeğer Radon Konsantrasyonu

EEC (Equilibrium Equivalent Concentration), kısa yarı ömürlü bozunma ürünleriyle dengede olan radon konsantrasyonunun, çevresel örneklerde ölçüldüğü gibi hacim başına aynı potansiyel alfa enerjisine sahip olduğunu açıklar. Solunan havanın 1 m³ 'ünde 1 Bq 'lik bozunmanın 1 saat içinde oluşan doz eşdeğeri 9 nSv/saat 'tir.

Denge Faktörü

Denge faktörü (F), denge eşdeğer radon konsantrasyonunun ana çekirdeğin (parent) aktivite konsantrasyonuna oranı olarak ifade edilir. Bu faktör, potansiyel alfa enerjisine göre ana çekirdek ve kız çekirdek arasındaki dengesizliği ifade eder (ICRP 65, 1994). Evler için F değeri 0.4 olarak alınmaktadır (UNSCEAR, 1993).

Meşguliyet Faktörü

Binalarda ölçülen radon konsantrasyonlarının insanları ne ölçüde radona maruz bıraktığını hesaplamak için meşguliyet faktörünün tayin edilmesi gerekmektedir. Bölgede yaşayan halkın yaşam şekli ve alışkanlıkları düşünülerek meşguliyet faktörünün kapalı ortamlar için 0.7 olarak alınmasının uygun olacağı düşünülmüştür.

3.1.6.1 Solunumla İçe Çekilen ve Vücutta Çözünen Radondan Alınan Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri

Köyler ve ilçe merkezindeki evlerin oturma ve yatak odalarında tespit edilen radon konsantrasyonlarının aritmetik ortalaması alınarak her bir yerleşim yerine ait ortalama radon konsantrasyonları belirlenmiştir. Bu yörede yaşayan insanların, evlerde radon ve ürünlerini

soluyarak alacakları yıllık etkin doz eşdeğerini hesaplamak için aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$\text{EEC faktörü} \times \text{Ev içi meşguliyet faktörü} \times \text{Ortalama radon konsantrasyonu} \times 8760 \text{ (saat)}$$

Yine bu yörede yaşayan halkın radon ve ürünlerini soluması sonucu vücut içinde çözünen radondan alacağı yıllık etkin doz eşdeğeri de aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Ortalama radon konsantrasyonu} \times \text{Ev içi meşguliyet faktörü} \times 1,5 \mu\text{Sv} / \text{Bq m}^{-3}$$

İnceleme sahasında bulunan evlerin ev içi radon konsantrasyon ölçümlerinin aritmetik ortalaması, Bademli köyü için 126 Bq/m^{-3} , Dikili ilçe merkezi için 73 Bq/m^{-3} , Kocaoba köyü için 124 Bq/m^{-3} , Mazılı köyü için 120 Bq/m^{-3} ve Nebiler köyü için 134 Bq/m^{-3} olarak hesaplanmıştır. Hesaplamalar aşağıda ayrıntılı olarak gösterilmiş ve elde edilen sonuçlar Çizelge 3.9'da verilmiştir.

Bademli Köyü için :

EEC radon konsantrasyonu : $0,4 \times 126 = 50,4 \text{ Bq m}^{-3}$ tür

Evlerde, radon ürünlerinin solunumundan alınan yıllık etkin doz:

$$50,4 \text{ Bq m}^{-3} \times 9 \text{ nSv saat}^{-1} / \text{Bq m}^{-3} \times 0,7 \times 8760 \text{ saat yıl}^{-1} = 2,78 \text{ mSv}$$

Radon ve ürünlerinin solunması sonucu vücut içinde çözünen radondan alınan yıllık etkin doz

$$126 \text{ Bq m}^{-3} \times 0,7 \times 1,5 \mu\text{Sv} / \text{Bq m}^{-3} = 0,13 \text{ mSv}$$

Dikili ilçe merkezi için :

EEC radon konsantrasyonu : $0,4 \times 73 = 29,2 \text{ Bq m}^{-3}$ tür

Apartman katlarında radon ürünlerinin solunumundan alınan yıllık etkin doz:

$$29,2 \text{ Bq m}^{-3} \times 9 \text{ nSv saat}^{-1} / \text{Bq m}^{-3} \times 0,7 \times 8760 \text{ saat yıl}^{-1} = 1,61 \text{ mSv}$$

Radon ve ürünlerinin solunması sonucu vücut içinde çözünen radondan alınan yıllık etkin doz

$$73 \text{ Bq m}^{-3} \times 0,7 \times 1,5 \mu\text{Sv} / \text{Bq m}^{-3} = 0,08 \text{ mSv}$$

Kocaoba Köyü için :

EEC radon konsantrasyonu : $0,4 \times 124 = 49,6 \text{ Bq m}^{-3}$ tür

Evlerde, radon ürünlerinin solunumundan alınan yıllık etkin doz:

$$49,6 \text{ Bq m}^{-3} \times 9 \text{ nSv saat}^{-1} / \text{Bq m}^{-3} \times 0,7 \times 8760 \text{ saat yıl}^{-1} = 2,74 \text{ mSv}$$

Radon ve ürünlerinin solunması sonucu vücut içinde çözünen radondan alınan yıllık etkin doz

$$124 \text{ Bq m}^{-3} \times 0,7 \times 1,5 \mu\text{Sv} / \text{Bq m}^{-3} = 0,13 \text{ mSv}$$

Mazılı Köyü için :

EEC radon konsantrasyonu : $0,4 \times 120 = 48 \text{ Bq m}^{-3}$ tür

Evlerde, radon ürünlerinin solunumundan alınan yıllık etkin doz:

$$48 \text{ Bq m}^{-3} \times 9 \text{ nSv saat}^{-1} / \text{Bq m}^{-3} \times 0,7 \times 8760 \text{ saat yıl}^{-1} = 2,65 \text{ mSv}$$

Radon ve ürünlerinin solunması sonucu vücut içinde çözünen radondan alınan yıllık etkin doz

$$120 \text{ Bq m}^{-3} \times 0,7 \times 1,5 \text{ } \mu\text{Sv} / \text{Bq m}^{-3} = 0,13 \text{ mSv}$$

Nebiler Köyü için :

EEC radon konsantrasyonu : $0,4 \times 134 = 53,6 \text{ Bq m}^{-3}$ tür

Evlerde, radon ürünlerinin solunumundan alınan yıllık etkin doz :

$$53,6 \text{ Bq m}^{-3} \times 9 \text{ nSv saat}^{-1} / \text{Bq m}^{-3} \times 0,7 \times 8760 \text{ saat} = 2,96 \text{ mSv}$$

Radon ve ürünlerini solunması sonucu vücut içinde çözünen radondan alınan yıllık etkin doz :

$$134 \text{ Bq m}^{-3} \times 0,7 \times 1,5 \text{ } \mu\text{Sv} / \text{Bq m}^{-3} = 0,14 \text{ mSv}$$

Çizelge 3.9 Evlerde radon ve ürünlerinin solunmasıyla alınan yıllık etkin doz eşdeğerleri

Ortalama ev içi radon konsantrasyonu		Yıllık etkin doz eşdeğerleri (mSv/yıl)		
Yer adı	Bq m^{-3}	Solunan radon	Vücutta çözünen radon	Toplam
Bademli Köyü	126 ± 32	2.78	0.13	2.91
Dikili Merkez	73 ± 30	1.61	0.08	1.69
Kocaoba Köyü	124 ± 20	2.74	0.13	2.87
Mazılı Köyü	120 ± 23	2.65	0.13	2.78
Nebiler Köyü	134 ± 54	2.96	0.14	3.10

3.1.7 Risk Hesaplamaları

Radon ürünleri konsantrasyonları çalışma seviyesi WL (Working Levels) ile ölçülür. Çalışanların potansiyel alfa enerjisine maruz kalması çoğunlukla eski bir birim olan aylık çalışma seviyesi, WLM (Working Levels Month) ile ifade edilir. Çalışma seviyesi (WL); havanın 1 litre hacmindeki radonun kısa yarı ömürlü bozunma ürünlerinin, $1,3 \times 10^5 \text{ MeV}$ 'lik potansiyel alfa enerjisini meydana getirmesi demektir. Bu değer yaklaşık 100 pCi (3,7 Bq)'lik radonla dengede bulunan kısa yarı ömürlü bozunma ürünleri tarafından yayınlanan alfa enerji miktarına karşılık gelir. Ayda 170 saat çalışan bir madencinin bu konsantrasyona maruz kalması aylık çalışma seviyesi WLM olarak tanımlanır (BEIR IV, 1988).

1 MeV= $1,602 \times 10^{-13}$ J olarak alındığında eski ve SI birimleri arasındaki ilişki aşağıdaki gibi olur: (ICRP 65)

$$1 \text{ WLM} = 3,54 \text{ mJ h m}^{-3}$$

$$1 \text{ mJ h m}^{-3} = 0,282 \text{ WLM}$$

Akciğer kanser riskini hesaplayabilmek için ICRP 60 tarafından önerilen çevirme katsayıları kullanılmıştır. 1 mJ h m^{-3} değerinde radon ışınlarına maruz kalma, halk için 1.10 mSv 'lik etkin doza karşılık gelmektedir. Yöre halkının, ev içi havasındaki radonun solunması ile aldıkları toplam dozun enerji eşdeğeri, ya da radon ile ışıplanma miktarı, aşağıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanmıştır:

$$\text{Radon ile ışıplanma miktarı} = \text{Toplam yıllık etkin doz} \times 1 \text{ mJ h m}^{-3} \times (1.10 \text{ mSv})^{-1}$$

Akciğer kanserinden ölüm riskini hesaplayabilmek için çalışanlar ve halk için önerilen $8.10^{-5} (\text{mJ h m}^{-3})^{-1}$ çevirme katsayısı kullanılır. (ICRP 60, 1991). Bu bölgede yaşayan insanlarda akciğer kanserinin oluşma riski aşağıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanır (ICRP 60, 1991) :

$$\text{Akciğer kanser riski} = \text{Radon ile ışıplanma miktarı} \times 8.10^{-5} (\text{mJ h m}^{-3})^{-1}$$

3.1.7.1 Yöre Halkında Oluşabilecek Akciğer Kanseri Riski

Yukarıda verilen bağıntılar kullanılarak yapılan hesaplamalar, aşağıda sunulmuştur. Elde edilen akciğer kanser risk değerleri Çizelge 3.10'da verilmiştir.

▪ Bademli Köyü için :

$$\text{Radon ile ışıplanma miktarı} : 2,91 \text{ mSv} \times 1 \text{ mJ h m}^{-3} \times (1.10 \text{ mSv})^{-1} = 2,65 \text{ mJ h m}^{-3}$$

$$\text{Akciğer kanser riski} : 2,65 \text{ mJ h m}^{-3} \times 8.10^{-5} (\text{mJ h m}^{-3})^{-1} = 2,12 \times 10^{-4}$$

▪ Dikili ilçe merkezi için :

$$\text{Radon ile ışıplanma miktarı} : 1,69 \times 1 \text{ mJ h m}^{-3} \times (1.10 \text{ mSv})^{-1} = 1,54 \text{ mJ h m}^{-3}$$

$$\text{Akciğer kanserinden ölüm riski} : 1,54 \text{ mJ h m}^{-3} \times 8.10^{-5} (\text{mJ h m}^{-3})^{-1} = 1,23 \times 10^{-4}$$

▪ Kocaoba Köyü için :

$$\text{Radon ile ışıplanma miktarı} : 2,87 \times 1 \text{ mJ h m}^{-3} \times (1.10 \text{ mSv})^{-1} = 2,61 \text{ mJ h m}^{-3}$$

$$\text{Akciğer kanserinden ölüm riski} : 2,61 \text{ mJ.h.m}^{-3} \times 8.10^{-5} (\text{mJ h m}^{-3})^{-1} = 2,09 \times 10^{-4}$$

▪ Mazılı Köyü için :

$$\text{Radon ile ışıplanma miktarı} : 2,78 \times 1 \text{ mJ h m}^{-3} \times (1.10 \text{ mSv})^{-1} = 2,53 \text{ mJ h m}^{-3}$$

$$\text{Akciğer kanserinden ölüm riski} : 2,53 \text{ mJ h m}^{-3} \times 8.10^{-5} (\text{mJ h m}^{-3})^{-1} = 2,02 \times 10^{-4}$$

▪ **Nebiler Köyü için :**

Radon ile ışınlama miktarı : $3,10 \times 1 \text{ mJ h m}^{-3} \times (1.10 \text{ mSv})^{-1} = 2,82 \text{ mJ h m}^{-3}$

Akciğer kanserinden ölüm riski : $2,82 \text{ mJ h m}^{-3} \times 8.10^{-5} (\text{mJ h m}^{-3})^{-1} = 2,25 \times 10^{-4}$

Çizelge 3.10 Evlerde radon ve bozunma ürünlerinin solunmasıyla yaşam süresi içinde akciğer kanseri olma olasılıkları

	Yıllık doz eşdeğerleri	Radon ile ışınlama miktarı	Risk tahmini
Yer adı	mSv/yıl	(mJ h m ⁻³)	
Bademli Köyü	2.91	2.65	2.12×10^{-4}
Dikili Merkez	1.69	1.54	1.23×10^{-4}
Kocaoba Köyü	2.87	2.61	2.09×10^{-4}
Mazılı Köyü	2.78	2.53	2.02×10^{-4}
Nebiler Köyü	3.10	2.82	2.25×10^{-4}

3.2 Sularda Rn-222 Ölçümleri

Dikili ilçesi ve köylerinin su ihtiyacı yüzey sularından daha çok kuyu sularından sağlanmaktadır. Sıcak su kaynaklarının termal turizm ve hidroterapi merkezi olarak kullanılması amacıyla bu bölgede herhangi bir banyo ya da kapalı tesis henüz bulunmadığından kullanılmayan bu doğal sıcak su kaynakları derelere akıtılmaktadır. Su örneklerinin toplanması için Dikili Belediyesinin sağladığı imkanlarla ve yöre halkının yardımıyla seçilen bölgede yer alan kuyu suyu, çeşme suyu, sıcak su gibi çeşitli su kaynaklarından toplam 19 adet su örneği alınmış ve bu su örneklerine ait radon konsantrasyonları sıvı sintilasyon analiz cihazı kullanılarak belirlenmiştir.

3.2.1 Sıvı Sintilasyon Analiz Cihazı

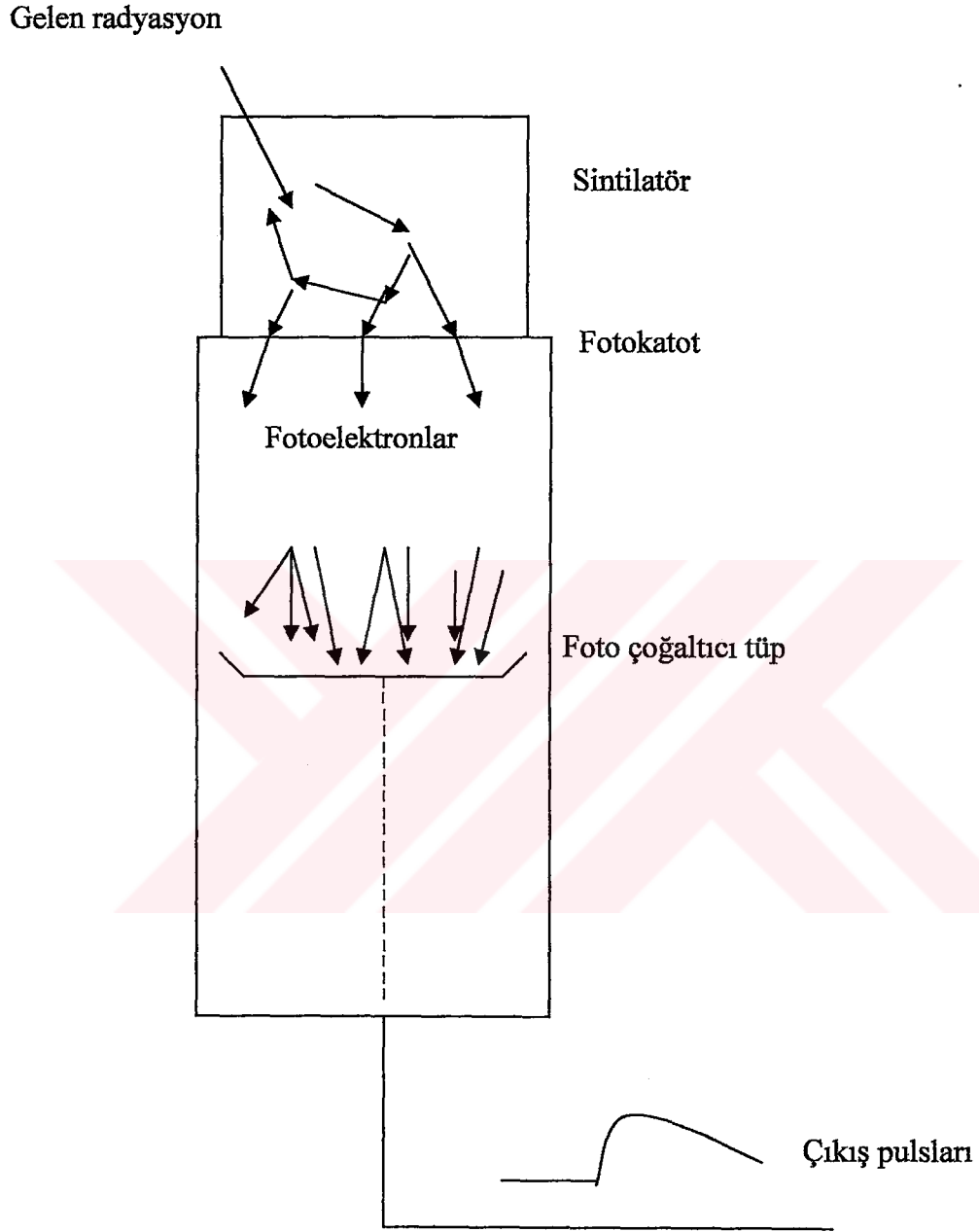
Nükleer spektroskopide ihtiyaçlara cevap verebilecek yüksek verimli ve uygun çözme gücüne sahip olan sintilasyon sayaçları 1950'lerde geliştirilmiştir (Arya, 1999). Aralarında sodyum iyodür, sezyum iyodür, antrasin, naftalin ve fenantirinin bulunduğu bazı maddelere bir tek yüklü parçacık, X ışını veya γ ışını çarptığı zaman bir ışık pırıltısı meydana gelir. Bu ışık pırıltıları elektrik pulslarına dönüştürülerek, elektrik pulslarının yükseltilip sayılabilir duruma gelmesi sağlanır (Krane1, 2002).

İdeal bir sintilatörün taşınması gereken özellikler aşağıda sıralanmıştır: (Knoll, 1988)

- 1- Yüklü parçacıkların kinetik enerjisini yüksek sintilasyon verimiyle detekte edilebilir ışığa çevirmelidir.
- 2- Bu çevirme sonucunda üretilen ışık, yüklü parçacıkların enerjisiyle orantılı olmalıdır
- 3- İyi ışık toplanımı için ortam saydam olmalıdır
- 4- Hızlı sinyal pulslarının üretilebilmesi için oluşan lüminesansın bozunma zamanı kısa olmalıdır.
- 5- Malzemenin optik kalitesi iyi olmalıdır

Sintilatörlerin kullanılacak uygulamalara bağlı olarak pek çok değişik tiplerini bulmak mümkündür. Sıvı sintilasyon sayıcısı, daha çok çevresel analizlerde alfa, beta radyasyon miktarının belirlenmesinde kullanılır. Bundan başka Pb-210, Rn-222, Pa-231, ve Th-234 gibi doğal radyoaktif çekirdeklerin aktivitelerinin hesaplanması, nükleer güç endüstrisiyle çevreye dağılan radyonüklitlerin ölçümü, nükleer serpintilerle havaya yayılan toplam alfa aktivitesinin ve yüzey kirliliğinin belirlenmesi, radyokarbon ile tarihleme ve çevrede ^3H ölçümleri gibi çok çeşitli kullanım alanlarını bulmak mümkündür. Bu nedenle sıvı sintilasyon tekniği son zamanlarda tercih edilen en iyi deteksiyon yöntemlerinden biridir.

Bir sıvı sintilasyon sayıcısı, fotoçoğaltıcı tüp, puls amplifikatörü, kaydedici sistem ve sayıcıdan meydana gelir. Örnekler sintilatör adı verilen fosfor içeren bir çözücü ile karıştırıldıktan sonra fotoçoğaltıcı tüpler önüne yerleştirilir.. Fotoçoğaltıcı tüpler, ışık pırıltılarını elektrik pulslarına dönüştüren elektronik tüplerdir. Sintilatör içinde oluşan fotonlar fotoçoğaltıcı tüpün fotokatoduna ulaştıklarında düşük enerjili elektronlara çevrilirler. Dinotlar yardımıyla çoğaltılan elektronlar, yeterli elektron sayısına ulaştıklarında elektrik sinyali olarak algılanırlar. Bir sintilasyon detektöründeki temel işlemleri gösteren düzenek Şekil 3.20’de verilmiştir (Çelebi, 2003).



Şekil 3.20 Sintilasyon detektöründeki temel işlemler (Krane 1, 2002)

3.2.2 Deneysel Yöntem

Bu çalışmada, su örnekleri toplanırken 0,5 litrelik plastik kaplar kullanılmış ve ağızları sıkıca kapatıldıktan sonra alınış tarih ve saatleri şişe üzerine kaydedilmiştir. Bazı kuyu suları ve doğal sıcak su kaynaklarını çeşmeden akıtarak doldurma imkanı bulunmadığından doldurma esnasında hava kabarcığının kalmamasına ve radon gazının kaçmamasına dikkat edilmiştir.

Sularda radon konsantrasyonunu belirleyebilmek için Packard Tri-Carb 2770 TR/SL marka, A-277001 model sıvı sintilasyon analiz cihazı kullanılmıştır. 20 ml 'lik şişeler içine otomatik pipet yardımıyla 10 ml hacminde sintilasyon kokteyli doldurulduktan sonra şişenin geri kalan 10 ml hacimlik kısmına su örnekleri eklenmiştir. Sularda radon konsantrasyonunun belirlenmesine ilişkin deneysel ölçümlerden elde edilen bulgular Çizelge 3.11'de verilmiştir.

3.2.3 Deneyisel Ölçümlerden Elde Edilen Bulgular

Sıvı sintilasyon analiz cihazında her bir yerleşim yerine ait su örneklerinin radon konsantrasyonu ölçülmüş, sayım sonuçları aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 3.11 Çeşitli su kaynaklarına ait radon konsantrasyonları

Yer Adı	Su Kaynağı	²²² Rn Konsantrasyonu (Bq/m ³)
Dikili Merkez	Kuyu Suyu	2884
	Musluk Suyu	112
Bademli Köyü	Kaynak Su	1934
	Kuyu Suyu 1	866
	Kuyu Suyu 2	3075
	Artezyen Su	473
	Cami Çeşmesi	991
	Dere Suyu	1470
	Artezyen Su	1329
Kaynarca Bölgesi	Musluk Suyu	526
	Sıcak Su 1	257
	Sıcak Su 2	984
	Köy Çeşmesi	356
Kocaoba Köyü	Sıcak Su 1	1279
	Sıcak Su 2	1341
	Köy Çeşmesi	29
Mazılı Köyü	Musluk Suyu	95
	Sıcak Su	1995
Nebiler Köyü	Sıcak Su	1995
	Köy Çeşmesi	200

3.2.4 Suların İçilmesi İle Vücuda Alınan Yıllık Etkin Doz

Yetişkin bir insanın yılda 50 litre su tükettiği düşünüldüğünde radon içeren suların içilmesi durumunda alınacak dozun hesabında doza dönüştürme katsayısı olarak 10^{-8} Sv Bq⁻¹ kullanılır. ICRP 60 da verilen model doğrultusunda, suların içilmesi ile yöre halkının alacağı yıllık ortalama etkin dozu hesaplamak için aşağıdaki formül kullanılmıştır. İçilen sulara karşılık gelen doz değerleri Çizelge 3.12’de gösterilmiştir.

$$\text{Suların içilmesiyle alınan doz} = \text{sudaki radon konsantrasyonu} \times 50 \text{ litre} \times 10^{-8} \text{ Sv Bq}^{-1}$$

Çizelge 3.12 Suların içilmesiyle vücuda alınan yıllık etkin dozlar

Yer Adı	Su Kaynağı	²²² Rn Konsantrasyonu (Bq/m ³)	Yıllık etkin doz (μSv)
Dikili Merkez	Kuyu Suyu	2884	1,44
	Musluk Suyu	112	0,056
Bademli Köyü	Kaynak Su	1934	0,97
	Kuyu Suyu 1	866	0,44
	Kuyu Suyu 2	3075	1,54
	Artezyen Su	473	0,24
	Cami Çeşmesi	991	0,50
	Dere Suyu	1470	0,74
	Artezyen Su	1329	0,67
Kaynarca Bölgesi	Musluk Suyu	526	0,26
	Sıcak Su 1	257	0,13
	Sıcak Su 2	984	0,49
	Köy Çeşmesi	356	0,18
Kocaoba Köyü	Sıcak Su 1	1279	0,64
	Sıcak Su 2	1341	0,67
	Köy Çeşmesi	29	0,015
Mazılı Köyü	Musluk Suyu	95	0,05
	Sıcak Su	1995	0,1
Nebiler Köyü	Köy Çeşmesi	200	0,18

3.3 Toprakta Radon Ölçümleri

Toprakta Ra-226 konsantrasyonunu belirleyebilmek için Dikili jeotermal sahasını kapsayan farklı bölgelerden 5 adet toprak örneği alınmıştır. Örneklerin nereden alınacağına karar verilirken yerleşim sınırları içinde işlenmemiş toprak özelliği göstermesine dikkat edilmiştir. Toprak örnekleri yaklaşık 10 cm derinliğinde açılan çukurdan toplanarak getirildikleri yerler üzerlerine kaydedilmiştir. Ç.N.A.E.M’ne getirilen topraklar önce kurumaya bırakılmış daha sonra toz haline gelmesi için iyice öğütülmüştür. Darası alınmış marinelli sayım kabına alınan

örneklerin ağırlıkları tartılıp ağızları sıkıca kapatılmıştır. Bir ay süreyle bu kaplar içinde bekletilen toprakta radyumun, radon gibi bozunma ürünleriyle dengeye gelmesi amaçlanmıştır. Hazırlanan örneklerin her biri gama spektrometri sayım cihazında 50000 sn süreyle sayılıp Ra-226, Pb-214, Th-232, Bi-214, Ac-228, K-40 radyoizotoplarının analizleri yapılarak radyonüklit konsantrasyonları Bq kg⁻¹ cinsinden hesaplanmıştır. Germanyum detektörlerle ilgili ayrıntılı açıklama aşağıdaki bölümde yer almıştır.

3.3.1 Coaxial Germanyum Detektörler

Coaxial germanyum detektörler gama ışın spektrometresi için kullanılan yüksek saflıkta germanyum içeren HPGe detektörler olarak tanımlanırlar. Germanyum kristalinin sahip olduğu katkı seviyesi 10¹⁰ atom/cm² kadar düşük olan yüksek saflıkta germanyum üretimi ilk kez 1970' lerin ortalarında başlamıştır. Detektörün temel yapısı, n ve p tipi kontaklara sahip germanyum silindirden meydana gelir.

N ve p tipi malzemeden çıkan elektronlar birbirleriyle temas ettirilirse, n tipi malzemeden çıkan elektronlar p tipi malzemeye eklem boyunca yayılırlar vedeşiklerle birleşirler. Yük taşıyıcılarının eklem yakınında nötr hale geldiği bölgeye tüketim bölgesi adı verilir. Gama ışın spektrometresi için kullanılacak detektörlerde maximum tüketim derinliğinin yada aktif hacmin yaratılması gerekir. Eşitlik 1'de tüketim bölgesinin kalınlığı:

$$d = \left[\frac{2\varepsilon V}{eN} \right]^{1/2} \text{ olarak verilmiştir.} \quad (3.3)$$

Burada ;

ε : İyonlaşma enerjisi

V: Ters bias voltaj

N: Yarıiletken malzeme içindeki net katkı konsantrasyonudur.

Daha büyük tüketim derinliği elde etmek için N değerinin küçültülmesi gerekir. Bu amaçla Ge detektörleri için yaygın olarak kullanılan fabrikasyon işlemlerinden biri önce p tipi bir malzeme alıp bunun yüzeyine Li atomlarını yaymaktır. Böylece verici durumlar oluşur ve n tipi ince bir bölge yaratılmış olur. Ters besleme ve hafifçe arttırılan sıcaklık altında Li atomları geniş bir tükenme bölgesi yaparak p tipi bölgeye sürüklenir. Ge detektörlerin üretiminde kullanılan n tipi tabakanın kalınlığı 1 mm civarındadır ve orta enerjili gamalar bu kalınlığa kolayca nüfuz edebilirler. Bütün Ge detektörlerde olduğu gibi detektör veriminin bozulmaması ve elektriksel gürültü düzeyinin düşük tutulması için Ge (Li) detektörlerinin 77 K⁰ 'lık sıvı azot sıcaklığında soğukta tutulmaları gerekir (Arya, 1999; Knoll, 1988).

3.3.2 Deneyisel Yöntem

Toprakta Ra-226 konsantrasyonunu belirleyebilmek için çok kanallı (4096) germanyum spektroskopi cihazı kullanılmıştır. Toprak örnekleri bölüm 3,3'te anlatıldığı gibi her biri 50.000 saniye süre ile sayılmıştır. Toprakta bulunan her bir radyoaktif çekirdeğin yayınladıkları gama enerjilerine göre enerji spektrumunda karşılık gelen pikleri vardır. Toprak örneklerinde yer alan U-235 ve Ra-226 çekirdeklerinin enerji spektrumunda pikleri birbirine çok yakındır. U-235'in 185.7 keV deki piki ile ve Ra-226 çekirdeğinin 186.0 keV deki pikini birbirinden ayırt etmek çok zor olduğundan topraktaki radyumun radyoaktivite konsantrasyonu aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmıştır (Karahan, 1997).

$$A = \frac{\text{Alan}}{\text{Sayım süresi (sn)} \times \text{yayınlama olasılığı (\%)} \times \text{Ağırlık (kg)} \times \text{Eff}} \times 0,58$$

Toprakta tayin edilen radyumdan, radon konsantrasyon miktarını tespit edebilmek için, radonun radyumla kalıcı yada sürekli denge şartını getiren bağıntılarından yararlanmak gerekir (Arya, 1999). Bir radyoaktif, N_1 ana çekirdeğinin bozunumu ile oluşan N_2 kız ürünün çekirdek sayısındaki değişim aşağıda verilen bağıntılar yardımıyla hesaplanabilir.

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2 \quad \text{genel ifadesi kullanılarak, genel ifade olarak,}$$

$$A_2 = \frac{A_{10} \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} \left(e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t} \right) + A_{20} e^{-\lambda_2 t} \quad \text{denklemleri elde edilir. (3.4)}$$

Kalıcı denge durumunda (secular equilibrium) $\Rightarrow T_1 \gg T_2$ ya da $\lambda_1 \ll \lambda_2$ koşulları için, Kız çekirdeğin $t=0$ anındaki aktivitesi, $A_{20} = 0$ kabul edilerek ve T_1 büyük, λ_1 küçük olduğundan, $\lambda_2 - \lambda_1 = \lambda_2 e^{-\lambda_1 t} \approx 1$ olacağından, böylece genel ifade aşağıdaki ifadeye indirgenir. $A_2 = A_{10} (1 - e^{-\lambda_2 t})$ (3.5)

Ürün çekirdeğin yedi yarı ömürlük bozunmasının ardından $e^{-\lambda_2 t} \approx 0$ olacaktır. Bu durumda aktiviteler $A_2 = A_{10}$ olur.

Topraktaki radon konsantrasyonu 3.5 bağıntısı ile yukarıda verilen aktivite denklemi kullanılarak hesaplanmıştır. Toprak örneklerinin radon konsantrasyonu Çizelge 3.14 ve Şekil 3.21'den görülmektedir.

3.3.3 Deneyisel Ölçümlerden Elde Edilen Bulgular

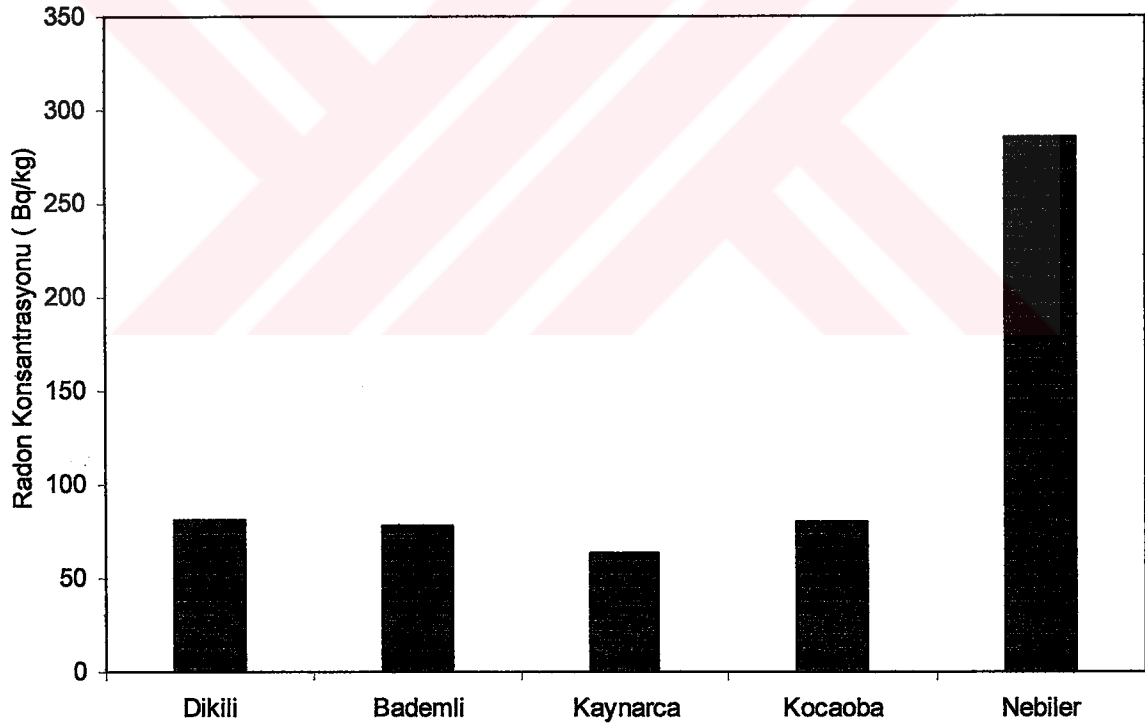
Dikili jeotermal sahasındaki toprak örneklerinin doğal radyoaktif çekirdek konsantrasyonları çizelge 3.13'te verilmiştir.

Çizelge 3.13 Dikili jeotermal sahasındaki toprak örneklerinde bulunan doğal radyoaktif çekirdeklerin konsantrasyonu (Bq/kg)

Yer Adı	Toprakta bulunan doğal radyoaktif çekirdeklerin aktivite konsantrasyonları (Bq/kg)				
	Ra-226	Pb-214	Th-232	Bi-214	K-40
Dikili Merkez	82 ± 4,59	52±1,45	93± 2,13	46±1,33	872 ±13,95
Bademli	78 ±1,87	63 ±0,5	67± 0,8	58 ± 0,58	844±5,9
Kaynarca	64 ± 2,81	76±0,98	35 ±1,01	67 ±1,07	391±7,07
Kocaoba	81± 3,72	59±1,06	94 ±1,69	61±1,15	842±11,78
Nebiler	287±10,33	195± 2,73	356 ± 4,62	109±1,74	2401±24

Çizelge 3.14 Dikili jeotermal sahasındaki toprak örneklerinde belirlenen radon konsantrasyonu (Bq/kg)

Yer Adı	Ra-226 Konsantrasyonu	Rn-222 Konsantrasyonu
Dikili Merkez	82	81,64
Bademli Köyü	78	77,66
Kaynarca Mevki	64	63,72
Kocaoba Köyü	81	80,65
Nebiler Köyü	287	285,75



Şekil 3.21 Dikili jeotermal sahasındaki yerleşim alanlarından alınan toprak örneklerinin radon konsantrasyon değerlerinin kıyaslanması

4. TARTIŞMA ve SONUÇ

4.1 Evlerde Radon

Dikili jeotermal sahasına yakın yerleşim birimlerinde bulunan evlere yerleştirilen 75 çift Cr-39 detektöründen, hasarsız olarak 62 evden toplanabilen 121 detektörün değerlendirilmesiyle, ev içi radon konsantrasyon düzeylerinin belirlenmesine çalışılmıştır. Böylece Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, (TAEK) tarafından yürütülen, Türkiye’de radon haritasının çıkarılması amaçlanan projeye, bu çalışma ile bir katkı sağlanmış olmaktadır. Türkiye’de çeşitli illerde bugüne kadar ölçülmüş ev içi radon konsantrasyon dağılımı Ek.2’deki şekilde gösterilmiştir. Dikili jeotermal sahasında yer alan, her bir yerleşim yerine ait radon konsantrasyon ölçümleri için elde edilen bulgular, Çizelge 3.4; 3.5; 3.6; 3.7; 3.8 ve Eklerde verilmiştir. Ortalama radon konsantrasyon değerleri 31 Bq/m^3 ile 280 Bq/m^3 arasında değişmektedir. Ölçüm alınan yerler içinde en yüksek konsantrasyon Nebiler Köyü’nde ortalama 134 Bq/m^3 , en düşük konsantrasyon ise Dikili ilçe merkezinde ortalama 73 Bq/m^3 olarak ölçülmüştür. Dikili jeotermal sahasında ev içi radon konsantrasyon ölçümlerinin aritmetik ortalaması $114 \pm 39 \text{ Bq/m}^3$ olarak hesaplanmıştır. Bu değer, TAEK’in kapalı ortamlar için izin verdiği 400 Bq/m^3 sınır değerinin altındadır. Fakat bu sonucun, Çanakkale-Kestanbol dışında Türkiye’de diğer il ve ilçelerde saptanmış radon ölçümleriyle kıyaslandığında yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca elde ettiğimiz sonuçlar, Çizelge 1.2’ de verilen çeşitli ülkelerde ölçülmüş ev içi radon konsantrasyon değerleriyle uygunluk içindedir. Evlerde kullanılan yapı malzemesi ve evlerin kat seviyesi, konsantrasyon düzeyinin yüksek çıkmasına etki eden en önemli faktörlerdir. Köy evleri, Bademli köyünde bulunan iki katlı iki ev dışında, toprağa yakın tek katlı yapılardan oluşmuştur. Bu evlerde toprakla temas eden zemin yüzeyinin yalıtımı iyi yapılmadığında radon gazı ev içlerine kolayca nüfuz etmektedir. Bazı evlerin zemininde görülen çok sayıda çatlak ve aşınma, ev içlerine radon geçişine kolaylık sağlamak ve içeride birikmesine neden olmaktadır. Bademli, Kocaoba, Mazılı ve Nebiler köy evleri çoğunlukla tek katlı yapılardan oluştukları için ev içi ortalama radon konsantrasyonları birbirine yakın çıkmıştır. Bu durum Şekil 3.18’de net bir şekilde görülmektedir. Evlerin yapımında kullanılan dört tip yapı malzemesi içinde en yüksek konsantrasyon taş yapıdan oluşan köy evlerinde tespit edilmiştir. Radonun esas kaynağını kayalar ve topraklar oluşturduğundan taş evlerde radonun yüksek çıkması beklenen bir sonuçtur. Şekil 3.19’da kullanılan yapı malzemesine göre radon konsantrasyon dağılımı gösterilmiştir. Dikili ilçe merkezindeki 2-5 katlı apartman dairelerinde yalnızca beton yapı malzemesi kullanıldığından ölçüm sonuçlarını etkileyen yalnızca kat seviyeleri olmuştur. Konsantrasyon

değişimlerine etki eden faktörlerden biri de havalandırma sıklığıdır. Birkaç istisnai örnek dışında, evlerdeki radon konsantrasyon seviyesi, yatak odalarında oturma odalarına oranla daha yüksek olarak tespit edilmiştir. Ölçüm yapılan evlerin oturma ve yatak odalarına göre radon konsantrasyon dağılımları Şekil 3.16'da görülmektedir. Tüm evlerin oturma odaları için ortalama radon konsantrasyonu 103 Bq/m^3 , yatak odaları içinse 127 Bq/m^3 olarak hesaplanmıştır. Yatak odası, kiler gibi fazla kullanılmayan ve havalandırılması pek sık yapılmayan kapalı mekanlarda radon gazının artışı ve birikimi söz konusudur. Her bir yerleşim alanına ait deneysel verilerin değerlendirilmesi aşağıda yapılmıştır.

▪ Bademli Köyü

Bademli köy evlerinde ölçülen radon konsantrasyonunun aritmetik ortalaması 126 Bq/m^3 olarak tayin edilmiştir. Ortalama konsantrasyon değerleri, 73 Bq/m^3 ile 176 Bq/m^3 aralığında değişmektedir. Üç tip yapı malzemesi içinde en yüksek konsantrasyonlar, çoğunlukla taş yapıdan oluşan evlerde tespit edilmiştir. Taş evlerde ölçülen radon konsantrasyonu 152 Bq/m^3 , kagir evlerde 100 Bq/m^3 , tuğla evlerde ise $110,5 \text{ Bq/m}^3$ 'tür. 7 nolu detektörden, iki katlı bir evde, köy ortalamasının üzerinde bir sonuç elde edilmiştir. Bu evde kullanılan yapı malzemesinin taş oluşu ve havalandırmanın yeterli olmayışı, tek katlı evlerden daha fazla miktarda radon birikmesine neden olmuş olabilir. Ayrıca yatak odalarında radon konsantrasyonu 127 Bq/m^3 , oturma odalarında ise $121,36 \text{ Bq/m}^3$ olarak ölçülmüştür. İlgili konsantrasyon dağılımları Şekil 3.2, 3.3 ve 3.4'te grafik halinde sunulmuştur.

▪ Dikili ilçe merkezi

Dikili ilçe merkezinde 2-5 katlı betonarme yapıdan oluşan apartman dairelerinde ölçülen radon konsantrasyonlarının aritmetik ortalaması 73 Bq/m^3 olarak belirlenmiştir. Ortalama konsantrasyon değerleri, 31 Bq/m^3 ile 145 Bq/m^3 aralığında değişmektedir. Dikili ilçe merkezinde ortalama radon konsantrasyon dağılımını veren grafik Şekil 3.6'da gösterilmiştir. Tek tip yapı malzemesi içeren bu evler arasındaki konsantrasyon farklılıklarının, kat seviyelerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Kat yüksekliği arttıkça radon konsantrasyon değerinin düştüğü gözlenmiştir. Yalnız 10 nolu detektörün yerleştirildiği 5. katta bulunan bir evin konsantrasyon değeri, genel ortalamanın üzerindedir. Yapılan inceleme sonucu, bu evin tek başına yaşayan bekar bir banka memuruna ait olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle kötü havalandırma koşulları sonucun yüksek çıkmasına sebep olmuştur. Yatak odalarında radon konsantrasyonu 80 Bq/m^3 , oturma odalarında ise $65,5 \text{ Bq/m}^3$ olarak ölçülmüştür. Konsantrasyon dağılımları Şekil 3.5'de grafik halinde sunulmuştur.

▪ Kocaoba Köyü

Kocaoba köy evlerinde ölçülen radon konsantrasyonunun aritmetik ortalaması 124 Bq/m^3 olarak tayin edilmiştir. Taş ve tuğladan oluşan iki farklı inşaat malzemesinin kullanıldığı Kocaoba Köyü'nde kagir evler bulunmaması nedeniyle Şekil 3.9'da görüldüğü gibi değerlendirme, iki tür yapı malzemesi için yapılmıştır. Konsantrasyon değerleri 98 Bq/m^3 ile 163 Bq/m^3 aralığında değişmektedir. İki tip yapı malzemesi içinde en yüksek konsantrasyon taş yapıdan oluşan evlerde 136 Bq/m^3 olarak saptanmıştır, tuğla evlerde ise bu miktar 111 Bq/m^3 'tür. Buradan, kaya, toprak ve yer küre kaynaklı yapı malzemelerinin kullanıldığı evlerde, radona daha fazla maruz kalınacağı açıkça görülmektedir. Ayrıca yatak odalarında radon konsantrasyonu 132 Bq/m^3 , oturma odalarında ise 117 Bq/m^3 olarak ölçülmüştür. Konsantrasyon dağılımları Şekil 3.7 ve 3.8'de grafik halinde sunulmuştur.

▪ Mazılı Köyü

Mazılı köy evlerinde ölçülen radon konsantrasyonunun aritmetik ortalaması 120 Bq/m^3 olarak tayin edilmiştir. Ortalama konsantrasyon değerleri, 86 Bq/m^3 ile 160 Bq/m^3 aralığında değişmektedir. En yüksek konsantrasyon kagir evlerde 126 Bq/m^3 olarak saptanmıştır. Taş evlerde 110 Bq/m^3 , tuğla evlerde ise 109 Bq/m^3 'tür. Şekil 3.12'den görüldüğü gibi, ölçüm alınan yerleşim alanları içinde en yüksek ev içi radon konsantrasyonu taş evlerde kendisini gösterirken, Mazılı köyü'nde ise, kagir evlerde taş evlerden daha fazla radon birikimi olmuştur. Taş ve tuğladan oluşan evlerin konsantrasyon düzeyleri ise birbirine çok yakındır. Kagir binalar, dış ve iç duvarları ile tavan ve tabanları beton, taş, tuğla, briket gibi yanmaz malzeme ile inşa edilen yapılar olarak tanımlanır (http://www.sigortam.net/bilgi_merkezi/konut_sigortasi_bilmeniz.asp). Mazılı köy evlerinde kagir yapıyı oluşturan binalarda, yapı bileşenleri arasında daha çok taş yapı malzemesinin yoğunluklu olduğu düşünülmektedir. Bunun yanında havalandırma miktarı, sigara ve soba dumanı, sulardan gelen radon gibi evlerde radon kaynağı olarak düşünülen diğer faktörlerin de radon artışına ek bir katkı sağlayacağı unutulmamalıdır. Bu faktörlerin, Mazılı Köyünde kagir binalarda radon konsantrasyonunun diğer yapı malzemelerinin kullanıldığı evlerden daha yüksek çıkmasında etkili olduğu kanısına varılmıştır. Ayrıca yatak odalarında radon konsantrasyonu 139 Bq/m^3 , oturma odalarında ise 101 Bq/m^3 olarak ölçülmüştür. Konsantrasyon dağılımları Şekil 3.10 ve 3.11'de grafik halinde sunulmuştur.

▪ Nebiler Köyü

Nebiler köy evlerinde ölçülen radon konsantrasyonunun aritmetik ortalaması 134 Bq/m^3 olarak saptanmıştır. Jeotermal sahada bulunan yerleşim alanları içinde en yüksek ortalama konsantrasyon değeri Nebiler Köyü'nde tespit edilmiştir. Tek kattan oluşan ve aynı yapı

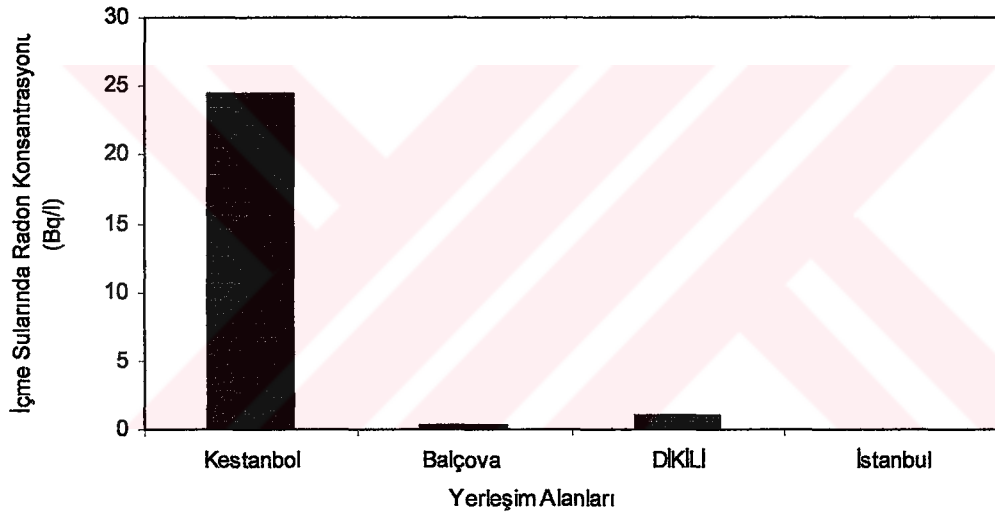
bileşenlerini içeren Nebiler köy evlerinde radon miktarının yüksek oluşu, Çizelge 3.13'te görüldüğü gibi, toprağındaki radyum konsantrasyonunun yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Evlerde ölçülen radon konsantrasyon değerleri 83 Bq/m^3 ile 280 Bq/m^3 aralığında değişmektedir. Şekil 3.15'ten de görüldüğü gibi üç tip yapı malzemesi içinde en yüksek konsantrasyon, taş yapıdan oluşan evlerde 171 Bq/m^3 olarak tespit edilmiştir . Bu miktar, kagir evlerde 127 Bq/m^3 , tuğla evlerde ise 107 Bq/m^3 'tür. Havalandırmanın daha az yapıldığı yatak odalarında radon konsantrasyonu 157 Bq/m^3 , daha çok yapıldığı oturma odalarında ise 112 Bq/m^3 olarak ölçülmüştür. Konsantrasyon dağılımları Şekil 3.13 ve 3.14'te grafik halinde sunulmuştur.

4.2 Sulara Radon

Yer kabuğı katmanlarının radyum içermesi ve yeraltı sularının toprak ve kayalar arasında süzülerek hareket etmesiyle radyum, sulara çözünerek belirli bir konsantrasyon oluşturur. Yarı ömrünün oldukça uzun olmasından ötürü yer altı suları içinde çözünmüş olarak uzun mesafeler boyunca sürüklenebilir. Bir bölgede suların radon konsantrasyon düzeyinin yüksek oluşu, o bölgenin toprağının uranyum ve radyum bakımından zengin olduğunun bir göstergesidir. Bunun en önemli sebebi radonun uranyum bozunma zincirinde yer alan radyumun bozunma ürünü olmasından kaynaklanır.

Dikili jeotermal sahası içinde bulunan çeşitli su kaynaklarından alınan 19 adet su örneğinde belirlenen radon konsantrasyon düzeyleri, Çizelge 3.11'de verilmektedir. Ölçüm sonuçları değerlendirildiğinde, sulara radon konsantrasyonu 3075 Bq/m^3 ile 29 Bq/m^3 aralığında değişmekte olup, en yüksek radon konsantrasyonunun Bademli Köyünden alınan kuyu suyu örneğinde, en düşük konsantrasyonun oranının ise Mazılı köy çeşmesinden alınan su örneğinde olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen verilere göre, en yüksek radon konsantrasyon düzeylerine daha sık olarak kuyu sularında ve kaplıca sıcak sularında rastlanmıştır. Çeşitli araştırmalar sonucu radon konsantrasyonunun yer altı sularında $4\text{--}40 \text{ kBq/m}^3$, yüzey sularında ise 40 Bq/m^3 ten daha az olduğu rapor edilmiştir (Ereeş S., 1999). İçme sularında bulunan radon radyoaktivitesi için uluslararası kuruluşlarca bir limit saptanamamıştır (Çelebi N., 1995). Ancak A.B.D'de içme suyu standardını belirleyebilmek için yapılan düzenlemeler 1991 yılında EPA tarafından verilmiştir. Buna göre radonun kanser yapıcı etkisinin kabul edilmesiyle, içme suları için önerilen radonun maksimum kirlilik düzeyi 11 Bq/l olarak sınırlandırılmıştır (Committee on Risk Assessment of Exposure to Radon in Drinking Water, 1999). Dikili jeotermal sahasındaki sulara tespit edilen radon konsantrasyon düzeylerine bakıldığında bulunan değerler, EPA'nın izin verdiği 11 Bq/l sınır değerinin oldukça altındadır.

Ülkemizde jeotermal sahaları kapsayan benzer çalışmalar, Çanakkale'nin Kestanbol ve İzmir'in Balçova kaplıca yöresinde yapılmıştır. Bu çalışmalardan çıkan bulgular incelendiğinde, Kestanbol'da kaplıca içme ve köy içme sularının aritmetik ortalamasını 24,445 Bq/l, Balçova'daki evlerde yaz ve kış olmak üzere iki dönem halinde yapılan ölçümlerin aritmetik ortalamasını ise 314 Bq/m³ olarak bulmak mümkündür. Bu çalışmada, Dikili jeotermal sahasında, içilebilir su örneklerinde tespit edilen radon konsantrasyonunun aritmetik ortalaması 1041,6 Bq/m³ olarak hesaplanmıştır. Bu ortalama dere suyu içilebilir su kaynakları arasında gösterilmediğinden katılmamıştır. Bunun yanında jeotermal sahayı içermeyen diğer bir çalışmada da, İstanbul musluk sularında ölçülen ortalama radon konsantrasyon değeri 0,029 Bq/l olarak bulunmuştur. Dikili, Kestanbol, Balçova ve İstanbul içme sularının radon konsantrasyonları Şekil 4.2'de mukayese edilmiştir. (Çelebi, 1995; Karahan, 1997; Özbal, 1999).



Şekil 4.2 Dikili jeotermal sahasındaki içilebilir su kaynaklarının radon konsantrasyon değerlerinin, ülkemizde diğer yerleşim alanlarında ölçülmüş su kaynaklarına ait değerler ile mukayesesi

Dikili içme sularındaki radon konsantrasyon miktarı Kestanbol içme sularından 23 kat daha düşük, Balçova evlerindeki musluk sularından ise üç kat daha fazladır. İstanbul musluk sularıyla karşılaştırıldığında ise yaklaşık 36 kat daha fazla olduğu görülür.

İspanya'da ülkenin geniş bir bölümünde yapılan çalışmada, içme sularındaki radon konsantrasyonunun aritmetik ortalaması 81 Bq/l olarak bulunmuş, maksimum konsantrasyon ise 31000 Bq/l olarak saptanmıştır (Soto vd., 1995).

Venezuela'nın kuzey bölgesinden alınan termal su örneklerinde radon konsantrasyonu 1-560 Bq/l aralığında değişirken, Slovenya'da içme sularındaki Rn-222 ve Ra-226 konsantrasyonu

sırasıyla 0,5-33 kBq/m³ ve 5-3 Bq/m³ aralığında değişmekte olduğu gözlenmiştir (Horvath vd, 1999; Vaupatič, 2002).

4.3 Toprakta Radon

Ege bölgesi, jeotermal kaynaklar bakımından Türkiye'nin en zengin bölgesidir. Çünkü Türkiye, Alp-Himalaya tektonik kuşağının Akdeniz kısmında yer almaktadır. İzmir-Dikili jeotermal sahasının oluşumu da kuzeydoğu-güneybatı doğrultulu grabenler ve volkanik aktiviteler sonucu meydana gelmiştir. Jeotermal enerjiden yararlanma, toprağın derinliklerinden yüksek sıcaklıktaki kayalar arasından sıcak suyun ya da sıcak su buharının çıkışıyla gerçekleşir. Jeotermal akışkan içindeki radyoaktivitenin bir çoğu uranyum bozunma zincirinden kaynaklanır (UNSCEAR, 1993).

Türkiye'de muhtemel uranyumlu bölgelerden biri, kuzeyde Uşak, Demirci, Gördes, Ayvalık; güneyde Manisa, İzmir, Aydın, Muğla doğuda Denizli arasında kalan bölgeyi içine alır (Tokay ve Erentöz, 1957). Dikili jeotermal sahası, tarif edildiği gibi uranyum olma ihtimali bulunan bölgede yer alır. İlçede çıkan en önemli maden perlitir. Dikili ilçesi, Türkiye'nin perlit rezervleri bakımından zengin bir kaynak ve kapasiteye sahiptir. Perlit, asidik karakterli volkanik bir camdır. Dünyada önemli perlit rezervleri, tersiyer-erken orta kuvaterner yaşlı volkanik bölgelerde yoğunlaşmıştır (D.P.T, 2001). Yeryüzünde radon konsantrasyonunun yüksek olduğu yerlerin başında uranyum ve fosfat yatakları, volkanik bölgeler ve kaplıcalar olarak sayılabilir.

Dikili jeotermal sahasından alınan toprak örnekleri incelendiğinde bir tek Nebiler köyü'nün toprağında radon konsantrasyonu yüksek bulunmuş, diğer dört yerleşim birimine ait sonuçlar ise birbirine yakın çıkmıştır. Bütün toprak örneklerinin nereden alınacağına karar verilirken, yöre halkının yaşadığı, yerleşim sınırlarını içine alan, işlenmemiş topraklar olmasına özen gösterilmiştir. Nebiler Köyü'nün yüksek çıkma sebebini, toprağın sıcak su kaynağına yakın yerden alınması oluşturabilir. Diğer toprak örnekleri ise kaynak yakınından alınmamış, kaynağa uzak halkın yaşadığı köy civarındaki arazilerden alınmıştır. Dikili jeotermal sahasından alınan toprakların Ra-226 konsantrasyonu, İstanbul topraklarıyla kıyaslandığında daha yüksek, Kestanbol topraklarıyla kıyaslandığında ise oldukça düşük çıktığı gözlemlenmiştir. Bu duruma etki eden en önemli faktör, bölgelerin farklı jeolojik yapılaraya sahip olmasıdır. Şekil 3.1'deki haritaya bakıldığında Nebiler Köyü, coğrafik konumu nedeniyle ölçüm alınan yerler arasında en kuzeyde, 250 ton uranyum rezervine sahip, Çanakkale'nin Ayvacık-Küçükkuyu sahasına en yakın olan yerleşim birimidir (Tuncer ve Eskibalci, 2003). Bu nedenle ölçüm alınan yerler içinde en çok Nebiler Köyü'nün toprağında radon konsantrasyonunun yüksek çıkması, bu bölgenin uranyum yataklarına daha yakın olması ile ilişkilidir.

4.4 Doz ve Risk Değerlendirmeleri

Dünya üzerinde yapılan bütün doz hesaplarında meşguliyet faktörü olarak, kapalı alanlar için 0,8 ; açık alanlar için 0,2 değeri kullanılmıştır (UNSCEAR, 1988). İsveç ve İngiltere'nin ev içi meşguliyet faktörünün dünyanın geneli ile kıyaslandığında daha yüksek olduğu görülür. İngiltere'de yaşayan halk, zamanının %90' ından fazlasını bina içlerinde, %75'ini ise yalnızca ev içlerinde geçirir, bununla beraber yaz ve kış aylarında evlerde geçirilen zaman arasındaki fark ta küçüktür. Fransa'da evde oturan kadınlar için meşguliyet faktörünün %90 olduğu belirtilmiştir. Örneklere bakıldığında evlerde ya da bina içlerinde geçirilen zamanın ülkeden ülkeye farklılık gösterebileceği görülmektedir. Yine de dünyanın genelinde ev içi meşguliyet faktörü yaklaşık olarak 0,8 kabul edilmiştir. Bu değer, yılın 7000 saatinin evlerde geriye kalan sürenin ise ev dışında geçirildiğini açıklar. Ancak unutulmamalıdır ki 0,8 faktörü tavsiye edilen bir değerdir, burada yaklaşık değerlerin kullanılmasındaki amaç belirsizlikleri ortadan kaldırmaktır (ICRP 65, 1994). Bu çalışmada ise halkın aldığı yıllık doz eşdeğerleri meşguliyet faktörü 0,7 alınarak hesaplanmıştır. Dikili jeotermal sahasındaki tüm yerleşim birimlerine ait değerlerin ortalaması alınarak hesaplama yapıldığında, halkın alacağı toplam ortalama yıllık doz 2,67 mSv olmaktadır. Bu doz miktarının 2,5 mSv'i ev içi radon ve bozunma ürünlerinin solunumundan, geriye kalan 0,12 mSv'lik kısmı da vücut içinde çözünen radondan ötürü alınmaktadır. Çizelge 3.15'te görüldüğü gibi, bu doz değerleri, ICRP 65 tarafından önerilen 200-600 Bq/m³ konsantrasyonlarına karşı gelen 3 mSv/yıl ile 10 mSv/yıl olan eylem seviyelerinin altında kalmaktadır. Çalışma bölgesinde Akdeniz ikliminin hüküm sürmesi ve kırsal bölgede yaşayan halkın daha çok tarım işleriyle uğraştığı düşünüldüğünde, insanların zamanlarını daha çok açık alanlarda geçirdikleri görülür. Bu nedenle kırsal yöre insanının açık havayla daha sık temas etmesi, doz miktarına bağlı olan akciğer kanser riskini de azaltıcı bir etki oluşturacaktır.

Çizelge 3.15 Ev içi radon konsantrasyonu 200-600 Bq/m³'e karşılık gelen eylem seviyeleri (ICRP 65, 1994)

Eylem seviyesi (Etkin doz)	3 (mSv y ⁻¹)	10 (mSv y ⁻¹)
Eylem seviyesi (radon konsantrasyonu)	200 (Bq m ⁻³)	600 (Bq m ⁻³)
Radona yıllık maruz kalma	1.4 (MBq h m ⁻³)	4.2 (MBq h m ⁻³)
Radon ürünlerine yıllık maruz kalma	3.11 (mJ h m ⁻³)	9.33 (mJ h m ⁻³)
	0.88 WLM	2.638 WLM

Evlerde Radon Artışına Karşı Alınması Gereken Önlemler:

- Ev inşa edilecek alanların radon haritası çıkarılmalıdır.
- Bina yapımında kullanılan yapı malzemelerinin radyoaktivite analizleri yapılarak, uranyum içeriği düşük malzemeler tercih edilmelidir.
- Binaların özellikle bodrum katlarının toprakla yalıtımı, radon sızıntısına imkan vermeyecek şekilde iyi yapılmalıdır.
- Kapalı ortamların havalandırılmasına özen gösterilmelidir.
- Kapalı ortamlarda sigara içilmemelidir.



KAYNAKLAR

- Arıkan İ.H., Uslu İ. “Günlük Hayatımızda Radyasyon”, http://www.taek.gov.tr/yayinlar/yayinlar/sigara_radon/tuketiciisunumu.htm
- Baş H., Kamanlı A. Madencilik ÖİK Özel İhtisas Komisyonu Raporu D.P.T (2001). Endüstriyel Alt Maddeler Komisyonu Yapı Malzemeleri “Perlit”, Ankara <http://www.ekutup.dpt.gov.tr/madencil/sanayiha/oik628.pdf>
- Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiations (BEIR IV). (1988), “Health Risks of Radon and Other Internally Deposited Alpha-Emitters, National Academy Press, Washington, D.C.
- Comittee on Health Risks of Exposure to Radon (BEIR V). (1990), “Health Effects of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation”. National Academy Press, Washington, D.C
- Comittee on Health Effects of Exposure to Radon (BEIR VI). (1994), “Health Effects of Exposure to Radon: Time for Reassessment?” National Academy Press, Washington, D.C.
- Comittee on Health Risks of Exposure to Radon (BEIR VI). (1999), “Health Effects of Exposure to Radon”, National Academy Press, Washington, D.C.
- Committee on Risk Assesment of Exposure to Radon in Drinking Water. (1999), Risk Assesment of Radon in Drinking Water, National Academy Press, Washington, D.C.
- Commmission on Life Sciences (CLS). (1999), Evalution of Guidelines for Exposures to Technologically Enhanced Naturally Occuring Radioactive Materials, National Academies Press, Washington, D.C.
- Çelebi N. (1995), “Çevresel Örneklerde Uranyum, Radyum ve Radon Ölçüm Tekniklerinin Geliştirilmesi.” İ.Ü. F.B.E Doktora Tezi, İstanbul.
- Çelebi N. (2003), Sıvı Sintilasyon Cihazı, Sağlık Fiziği Notları, Ç.N.A.E.M. İstanbul.
- Ereeş F.S. (1999), “Sulardaki Radyoaktiviteden Kaynaklanan Sağlık Riski”, İzmir Su Kongresi, 4-5 Haziran 1999, İzmir
- Göksel S.A., Köksal E.M., Yaşar S., Aklan H. (1987), Radon Ölçümleriyle Depremlerin Önceden Saptanması, 1: 176-182
- Guyton A.C., Hall J.E. (2001), Tıbbi Fizyoloji, Türkçe 1. Baskı, (Çeviri Prof Dr. Çavuşoğlu H.) Yüce Yayınları AŞ. ve Nobel Tıp Kitabevleri,
- Horvát Á., Bohus L.O., Urbani F., Marx G., Piróth A., Greaves E.D. (2000), “ Radon concentrations in hot spring waters in northern Venezuela”, Journal of enviromental radioactivity, 47 : 127-133
- Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü. (2000), İzmir deprem seneryosu ve deprem master planı, <http://www.koeri.boun.edu.tr/depremmuh/izmirrapor2002.htm>

Karahan G. (1997), İstanbul'un Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Tayini ve Doğal Radyasyonların Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri, İ.T.Ü N.E.E Doktora Tezi, İstanbul.

Knoll, G.F. (1988), Radiation Detection and Measurement. John Wiley & Sons, USA

Krane K.S. (2002), Nükleer Fizik I cilt, (Çeviri B. Şarer) Palme Yayıncılık, Ankara.

Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Enerji Hammaddeleri Alt Komisyonu Jeotermal Enerji Çalışma Grubu Raporu, M.T.A (1996). "Nükleer Enerji Hammaddeleri; Uranyum, Toryum" Ankara

Margiotta. A.(1997).Characteristicsof CR39 <http://www.df.unibo.it/macro/intercast/charact.htm>

Otton J.K, Gundersen L C.S, and Schumann R.R. (1995), U.S Department of the Interior/U.S Geological Survey, <http://energy.cr.usgs.gov/radon/georadon.html>

Özbal Ö. (1999). "İzmir-Balçova'da termal su kullanılan binalarda radon konsantrasyonu ve sudaki radonla korelasyonu." Ege Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İzmir

Özden N., (1977). "Radyoaktivite ve Radyasyonlar İ.T.Ü N.E.E Genel yayınlar No:14 İ.T.Ü matbaası, Gümüşsuyu

Radon Gas Measurement Method Definitions. National Radon Safety Board (NRSB). (2002), http://www.nrsb.org/measurement_method_definition.htm

Soto J., Fernandez P.L, Gomez J., Rodenas C. (1995) "Study of the occurrence of Rn-222 and Ra-226 in drinking water in Spain" Health Physics. 69(6):961-965

Stranden E., Berteig L., Ugletveit F. (1978), "A Study on Radon in Dwellings" Health Physics, Vol : 36 (March),413-421.

The International Commission on Radiological Protection, (ICRP). (1991), Recommendations of the Commission, ICRP Publication, No.60, Pergamon, Oxford

The International Commission on Radiological Protection (ICRP). (1994), Protection Against Radon 222 at Home and at Work, ICRP Publication, No.65, Pergamon, Oxford.

Tokay M., Erentöz C. (1957), "Türkiye'de muhtemel uranyum ve toryum bölgeleri", Maden Tetkik ve Arama (MTA) Enstitüsü, Ankara, 1957

Tuncer G., Eskibalcı M.F. (2003), "İ.Ü Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi" C.16, S.1, SS:81-92, İstanbul

"Türkiye'de kapalı ortam radon konsantrasyonları" (http://www.taek.gov/taek/cevre/cevre_radys_olcum_2004/Türkiye_de_Radon.pdf)

T.C Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı (DPT). (1996), yayın no: DPT: 2441_ÖİK: 497, Mayıs 1996

United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). (1988), Sources, Effects, and Risks of Ionizing Radiation. United Nations Sales Publication, Newyork.

United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). (1993), Sources, Effects, and Risks of Ionizing Radiation. United Nations Sales Publication. Newyork.

United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). (2000), Sources, Effects, and Risks of Ionizing Radiation. United Nations Sales Publication, Newyork.

US Enviromental Protection Agency. (EPA Document). (2002), <http://www.epa.gov/RadonPubs/citguide.html>

Varley N.R., and Flowers A.G. (1998), "Indoor Radon Prediction From Soil Gas Measurements" Health Physics. 74(6):714-718

Vaupatič J. (2002) "Radon Exposure at Drinking Water Supply Plants in Slovenia" Health Physics. 83(6):901-906; 2002

Yıldız S. (2004). "Görünmeyen Tehlike Radon Gazı." Bilim ve Teknik. Tübitak. 435: 54-57

Yücel B., Arıkan İ.H. "Binalarda Radon ve Sağlık Etkileri". http://www.taek.gov.tr/taek/rsgd/radyasyon/radyasyonu_taniyalim/binalarda_radon.htm

Yücel B., Arıkan İ.H. "Doğal Radyasyon Kaynakları ve Radon" <http://www.taek.gov.tr/yayinlarimiz/brosurler/radon.html>

EKLER

EK-1	Çizelge Listesi
Ek 1a	Bademli Köyü radon detektörleri değerlendirme çizelgesi
Ek 1b	Dikili ilçesi radon detektörleri değerlendirme çizelgesi
Ek 1c	Kocaoba Köyü radon detektörleri değerlendirme çizelgesi
Ek 1d	Mazılı Köyü radon dedektörleri değerlendirme çizelgesi
Ek 1e	Nebiler Köyü radon detektörleri değerlendirme çizelgesi
EK-2	Türkiye’de Ev İçi Ortalama Radon Konsantrasyon Dağılımı
EK-3	Alfa parçacıklarının CR-39 iz dedektörünün yüzeyinde oluşturduğu izler



EK-1

Çizelge Ek 1a Bademli Köyü radon detektörleri değerlendirme çizelgesi

Ev Dedektör No	Dedektör Konulan yer	Okunan İz Sayısı										BG= 12,24			Ortalama Aktivite (Bq/m³)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	KF= 5,879 kBqxSaat/m³xİz Sayısı			
												Ortalama İz Sayısı	Net İz Sayısı	Aktivite (Bq/m³)	
1	OO	65	71	66	72	68	60	63	71	67	69	67,2	54,96	164	176
	Y.O	74	88	78	69	80	81	84	71	63	65	75,3	63,06	188	
2	O.O.	42	46	55	39	41	36	53	52	46	56	46,6	34,96	102	116
	Y.O	58	55	52	62	63	50	51	65	47	54	55,7	43,46	129	
3	O.O.														
	Y.O														
4	O.O.	48	59	68	64	56	61	57	60	46	52	57,1	44,86	134	123
	Y.O	46	38	55	62	45	39	60	47	56	51	49,9	37,66	112	
5	O.O.														
	Y.O														
6	O.O.														
	Y.O														
7	O.O.	53	57	62	70	63	51	67	65	50	59	59,7	47,46	141	161
	Y.O	60	66	75	64	83	87	63	84	90	63	73,5	61,26	182	
8	O.O.	55	46	49	38	44	47	51	43	37	42	45,2	32,96	98	98
	Y.O	55	45	42	44	47	46	43	50	39	40	45,1	32,86	98	
9	O.O.	50	52	57	48	46	55	61	63	49	57	53,8	41,56	124	135
	Y.O	51	72	62	55	61	58	63	70	54	66	61,2	48,96	146	
10	O.O.	57	51	53	59	57	45	50	60	49	52	53,3	41,06	122	125
	Y.O	61	56	55	48	52	65	60	54	47	51	54,9	42,66	127	
11	O.O.	35	37	30	41	38	39	32	30	43	31	35,6	23,36	70	73
	Y.O	41	36	35	37	33	35	44	37	39	40	37,7	25,46	76	
12	O.O.	45	44	42	39	50	48	51	47	40	38	44,4	32,16	96	86
	Y.O	41	36	35	33	32	39	37	41	42	44	38	25,76	77	
13	O.O.														
	Y.O														
14	O.O.	48	57	77	81	70	59	65	57	75	69	65,8	53,56	160	160
	Y.O														
15	O.O.	53	61	62	55	50	46	53	51	52	54	53,7	41,46	124	129
	Y.O	53	37	62	58	57	60	65	49	65	71	57,7	45,46	135	

O.O : Oturma Odası

Y.O : Yatak Odası

Çizelge Ek 1b Dikili ilçesi radon detektörleri değerlendirme çizelgesi

Ev Dedektör No	Dedektör Konulan yer	Okunan İz Sayısı										BG= 12,24			Ortalama Aktivite (Bq/m³)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	KF= 5,879 kBqxSaat/m³xİz Sayısı			
												Ortalama İz Sayısı	Net İz Sayısı	Aktivite (Bq/m³)	
1	OO	29	34	39	42	33	34	36	30	27	38	34,2	21,96	66	68
	Y.O	41	35	36	28	37	29	41	34	40	32	35,3	23,06	70	
2	O.O.	20	35	37	34	33	26	32	31	28	33	30,09	18,66	56	71
	Y.O	39	41	42	45	38	43	40	39	36	44	40,07	28,46	86	
3	O.O.	36	43	38	30	33	35	29	41	32	30	34,7	22,46	68	72
	Y.O	35	45	41	32	31	40	33	35	44	39	37,5	25,26	76	
4	O.O.	22	19	23	18	25	26	30	19	26	20	22,8	10,56	32	53
	Y.O	45	36	30	36	41	29	39	34	42	33	36,5	24,26	73	
5	O.O.	89	68	33	61	25	55	50	34	42	36	49,3	37,06	112	92
	Y.O	32	45	30	28	52	35	27	43	40	32	36,4	24,16	73	
6	O.O.	56	45	51	27	30	35	25	28	33	36	36,6	24,36	70	71
	Y.O	38	50	42	33	43	31	33	30	31	42	37,3	25,06	72	
7	O.O.														
	Y.O														
8	O.O.	40	38	47	61	33	43	41	39	45	49	43,6	31,36	99	122
	Y.O	66	53	51	67	48	69	60	55	51	63	58,3	46,06	145	
9	O.O.	27	34	38	26	17	15	24	26	32	23	26,2	13,96	44	54
	Y.O	38	30	45	34	26	29	36	22	33	35	32,8	20,56	65	
10	O.O.	68	56	53	49	67	60	55	63	50	66	58,7	46,46	134	145
	Y.O	82	76	54	66	70	84	62	65	48	59	66,6	54,36	157	
11	O.O.	45	38	25	24	35	46	22	30	28	26	31,9	19,66	60	84
	Y.O	60	55	34	49	43	58	47	36	62	35	47,9	35,66	108	
12	O.O.	37	31	29	36	34	32	35	28	38	30	33	20,76	60	58
	Y.O	32	22	33	35	38	41	27	26	32	28	31,4	19,16	55	
13	O.O.	31	29	35	38	25	22	29	33	27	24	29,3	17,06	49	48
	Y.O	24	30	43	29	23	27	35	25	22	24	28,2	15,96	46	
14	O.O.	24	19	24	28	40	36	27	29	31	30	28,8	16,56	48	49
	Y.O	33	31	20	28	38	23	31	27	29	40	30	17,76	51	
15	O.O.	15	22	17	16	23	15	19	18	22	20	18,7	6,46	19	31
	Y.O	25	30	24	22	31	33	24	21	32	29	27,1	14,86	43	

O.O : Oturma Odası

Y.O : Yatak Odası

Çizelge Ek 1c Kocaoba Köyü radon detektörleri değerlendirme çizelgesi

Ev Dedektör No	Dedektör Konulan yer	Okunan İz Sayısı										BG= 12,24			Ortalama Aktivite (Bq/m³)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	KF= 5,879 kBqxSaat/m³ x İz Sayısı			
												Ortalama İz Sayısı	Net İz Sayısı	Aktivite (Bq/m³)	
1	OO														
	Y.O														
2	O.O.														111
	Y.O	57	52	61	45	43	48	54	40	50	42	49,2	36,96	111	
3	O.O	55	49	52	45	60	62	53	63	48	67	55,4	43,16	129	134
	Y.O	76	59	70	68	47	45	54	63	50	58	59	46,76	140	
4	O.O.	80	52	43	38	41	39	41	25	68	71	49,8	37,56	112	113
	Y.O	48	50	57	26	63	54	35	61	49	59	50,2	37,96	114	
5	O.O.	53	46	40	51	45	58	49	45	52	63	50,2	37,96	114	119
	Y.O	60	65	78	72	30	48	41	55	40	48	53,7	41,46	124	
6	O.O.	31	30	36	24	32	44	35	52	39	48	37,1	24,86	74	98
	Y.O	45	41	56	58	65	68	59	51	26	57	52,6	40,36	121	
7	O.O.	55	54	52	67	58	57	55	61	50	49	55,8	43,56	130	130
	Y.O														
8	O.O.	54	47	42	60	52	67	65	47	46	35	51,5	39,26	117	120
	Y.O	51	52	48	45	38	47	54	66	71	61	53,3	41,06	123	
9	O.O.	72	66	55	64	57	56	68	64	80	79	66,1	53,86	161	163
	Y.O	82	67	74	56	54	89	63	65	61	60	67,1	54,86	164	
10	O.O.	51	49	73	60	60	53	69	71	48	56	59	46,76	140	149
	Y.O	73	69	64	60	65	55	72	67	70	59	65,4	53,16	159	
11	O.O.	60	52	54	57	49	36	51	45	39	62	50,5	38,26	114	141
	Y.O	68	97	75	76	56	65	60	72	54	59	68,2	55,96	167	
12	O.O.	49	60	46	68	74	45	74	42	63	50	57,1	44,86	134	134
	Y.O	45	46	52	55	63	49	58	72	68	65	57,3	45,06	135	
13	O.O.														
	Y.O														
14	O.O.	60	50	41	34	33	35	51	42	40	29	41,5	29,26	87	100
	Y.O	63	51	57	52	28	47	50	44	46	61	49,9	37,66	113	
15	O.O.	44	58	52	43	36	23	54	53	42	39	44,4	32,16	96	104
	Y.O	52	50	36	63	62	56	65	32	36	44	49,6	37,36	112	

O.O : Oturma Odası

Y.O : Yatak Odası

Çizelge Ek 1d Mazılı Köyü radon dedektörleri değerlendirme çizelgesi

Ev Dedektör No	Dedektör Konulan yer	Okunan İz Sayısı										BG= 12,24			Ortalama Aktivite (Bq/m³)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	KF= 5,879 kBqxSaatt/m³xİz Sayısı			
												Ortalama İz Sayısı	Net İz Sayısı	Aktivite (Bq/m³)	
1	O.O.	34	30	35	43	38	24	39	37	45	37	36,2	23,96	72	86
	Y.O	31	33	38	57	46	61	44	30	59	55	45,4	33,16	99	
2	O.O.	52	49	51	42	39	47	41	43	50	46	46	33,76	101	104
	Y.O	43	52	42	49	53	46	57	43	49	47	48,1	35,86	107	
3	O.O.	56	58	56	57	52	65	58	56	49	51	55,8	43,56	122	134
	Y.O	74	69	65	51	72	54	75	60	61	63	64,4	52,16	146	
4	O.O.	40	42	36	45	30	33	37	41	46	34	38,4	26,16	78	92
	Y.O	52	77	52	54	46	54	39	40	22	37	47,3	35,06	105	
5	O.O.	28	53	42	34	54	60	52	63	55	57	49,8	37,56	112	109
	Y.O	31	47	51	36	43	49	63	39	46	71	47,6	35,36	106	
6	O.O.	35	47	48	41	45	43	44	33	34	46	41,6	29,36	88	91
	Y.O	35	52	60	41	42	39	48	43	35	37	43,2	30,96	93	
7	O.O.	22	52	49	40	16	41	43	35	46	39	38,3	26,06	73	117
	Y.O	49	60	45	90	96	89	60	81	79	54	70,3	58,06	162	
8	O.O.	40	42	45	32	45	40	44	55	34	42	41,9	29,66	89	134
	Y.O	56	53	81	91	57	61	91	82	80	64	71,6	59,36	178	
9	O.O.	49	40	31	35	58	55	49	50	44	32	44,3	32,06	96	138
	Y.O	98	60	75	100	65	64	86	63	60	57	72,8	60,56	181	
10	O.O.	57	46	55	70	68	77	67	59	61	49	60,9	48,66	136	148
	Y.O	43	44	58	56	73	78	82	86	79	98	69,7	57,46	160	
11	O.O.	35	38	49	52	46	54	60	56	49	52	49,1	36,86	110	131
	Y.O	37	66	40	41	60	42	107	106	65	67	63,1	50,86	152	
12	O.O.	66	65	76	81	61	59	70	60	55	59	65,2	52,96	159	160
	Y.O	52	54	48	35	47	82	83	99	74	81	65,5	53,26	160	
13	O.O.	35	41	36	37	44	38	35	47	45	34	39,2	26,96	81	137
	Y.O	101	73	85	84	49	76	79	70	82	63	76,2	63,96	192	
14	O.O.	46	49	44	50	35	43	52	36	42	48	44,5	32,26	97	102
	Y.O	54	49	60	41	45	44	43	53	39	47	47,5	35,26	106	
15	O.O.														
	Y.O														

OO : Oturma Odası

YO : Yatak Odası

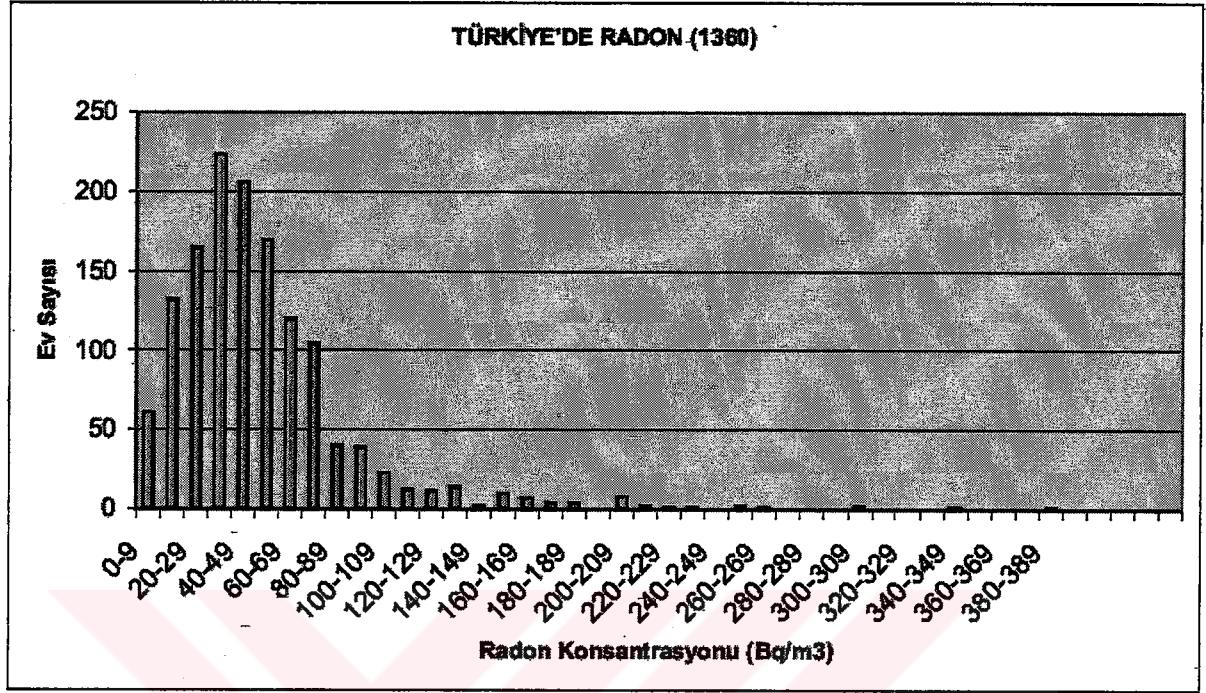
Çizelge Ek 1e Nebiler Köyü radon detektörleri değerlendirme çizelgesi

Ev Dedektör No	Dedektör Konulan yer	Okunan İz Sayısı										BG= 12,24			Ortalama Aktivite (Bq/m³)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	KF= 5,879 kBqxSaat/m³xİz Sayısı			
												Ortalama İz Sayısı	Net İz Sayısı	Aktivite (Bq/m³)	
1	OO	91	98	87	105	102	99	113	116	96	113	102	89,76	269	280
	Y.O	120	96	87	95	109	113	98	117	113	128	109,5	97,26	292	
2	O.O.														
	Y.O														
3	O.O.	39	35	42	45	51	38	37	40	44	47	41,8	29,56	89	127
	Y.O	79	63	47	65	72	64	76	70	63	74	67,3	55,06	165	
4	O.O.	59	38	42	50	35	33	46	47	50	35	43,5	31,26	94	114
	Y.O	71	50	47	53	55	62	58	49	61	63	56,9	44,66	134	
5	O.O.	56	43	48	55	42	39	41	52	40	44	46	33,76	101	121
	Y.O	60	48	64	62	50	70	66	58	61	54	59,3	47,06	141	
6	O.O.	45	41	38	42	39	40	34	28	35	42	38,4	26,16	78	110
	Y.O	50	48	63	57	64	67	53	61	59	69	59,1	46,86	141	
7	O.O.														
	Y.O														
8	O.O.	59	54	56	59	55	61	52	60	56	62	57,4	45,16	135	144
	Y.O	62	55	59	66	68	60	64	58	67	70	62,9	50,66	152	
9	O.O.	36	48	25	30	38	36	41	29	39	37	35,9	23,66	71	101
	Y.O	57	52	49	51	54	61	58	62	53	60	55,7	43,46	130	
10	O.O.	37	50	52	38	50	35	45	36	48	33	42,4	30,16	90	118
	Y.O	50	57	46	64	61	58	72	75	55	73	61,1	48,86	146	
11	O.O.	30	34	25	31	35	24	32	29	26	31	29,7	17,46	52	83
	Y.O	42	48	51	50	47	55	44	61	50	55	50,3	38,06	114	
12	O.O.														
	Y.O														
13	O.O.	65	62	61	49	56	66	60	58	64	55	59,1	46,86	141	146
	Y.O	59	61	65	62	63	66	64	68	60	61	62,9	50,66	152	
14	O.O.														
	Y.O														
15	O.O.														
	Y.O														

O.O : Oturma Odası

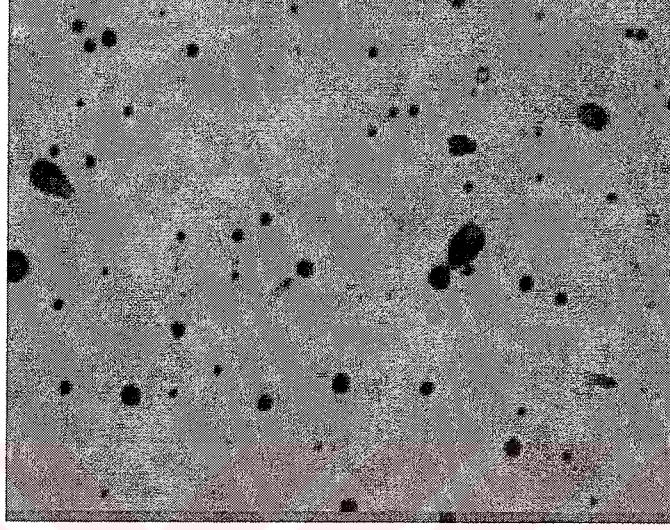
Y.O : Yatak Odası

EK-2



Şekil Ek 2 Türkiye’de 26 il ve ilçede 1360 evde ölçülen ortalama radon konsantrasyon dağılımı
 ([http://www.taek.gov/taek/cevre/cevre_radys_olcum_2004/Türkiye de_Radon.pdf](http://www.taek.gov/taek/cevre/cevre_radys_olcum_2004/Türkiye_de_Radon.pdf))

EK-3



Şekil Ek 3 Alfa parçacıklarının CR-39 iz detektörünün yüzeyinde oluşturdıkları izler

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	11.03.1975	
Doğum yeri	İstanbul	
Lise	1990-1993	Barbaros H. Lisesi Gölcük/Kocaeli
Lisans	1994-2000	İstanbul Üniversitesi Fen Fak. Fizik Bölümü

