

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

**İZMİR İLİ BAYINDIR İLÇESİ KAPALI YAŞAM
ALANLARINDA RADON DÜZEYLERİNİN
BELİRLENMESİ**

Zeynep YARAR

Tez Danışmanı: Prof. Dr. M. Nurullah KUMRU

Nükleer Bilimler Anabilim Dalı

Bilim Dalı Kodu: 622.01.01

Sunuş Tarihi: 25/04/2014

Bornova – İzmir

2014

Sayın **Zeynep YARAR** tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak sunulan “**İzmir İli Bayındır İlçesi Kapalı Yaşam Alanlarında Radon Düzeylerinin Belirlenmesi**” başlıklı bu çalışma E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi’nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 25.04.2014 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza

Jüri Başkanı : Prf. Dr. M. Nurullah KUMRU

Raportör Üye : Doç. Dr. M. Murat SAÇ

Üye : Yard. Doç. Dr. Coşkun HARMANŞAH

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “İzmir İli Bayındır İlçesi Kapalı Yaşam Alanlarında Radon Düzeylerinin Belirlenmesi” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

25 /04/ 2014

İmzası

ÖZET**İZMİR İLİ BAYINDIR İLÇESİ KAPALI YAŞAM
ALANLARINDA RADON DÜZEYLERİNİN BELİRLENMESİ**

YARAR, Zeynep

Yüksek Lisans Tezi, Nükleer Bilimler Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. M. Nurullah KUMRU

Nisan 2014, 85 sayfa

Uranyum bozunum serisinin bir ürünün olan radon renksiz, kokusuz, tatsız bir radyoaktif soy gazdır. Radon, dünya genelinde akciğer kanserinin önemli nedenleri arasında gösterilmektedir. Bu nedenle, uluslararası kuruluşlarca halk sağlığı açısından bir tehlike oluşturduğu düşünülmektedir. Termal tesislerde jeotermal su kullanımından kaynaklanan yüksek radon konsantrasyonları bu tesislerden yararlanan insanlar ve tesis çalışanları için bir tehlike yaratmaktadır.

Bu çalışmada termal bir alan olan Bayındır-Dereköy bölgesindeki termal tesislerde suda ve bina içinde, termal tesislerin etrafındaki evlerde ve termal tesislerin yakınındaki bir ilkokulda bina içi radon konsantrasyonu değişimleri bir yıl boyunca periyodik olarak ölçülmüştür. Çalışmamızda jeotermal suların radon konsantrasyonları kolektör metodu, bina içi radon konsantrasyonları ise katı hal nükleer iz kazıma dedektörleri (LR-115 Tip 2) ile belirlenmiştir. Bayındır-Dereköy bölgesindeki termal tesislerde bina içi radon konsantrasyonu $39,3-405,6 \text{ Bqm}^{-3}$ arasında bulunmuştur. Termal sularda yapılan ölçümlerde radon konsantrasyonu $3-13,3 \text{ Bq/L}$, radyum konsantrasyonu $0,35-1,71 \text{ Bq/L}$ olarak ölçülmüştür. Elde edilen veriler uluslararası kuruluşlarca verilen limit değerlerle karşılaştırılmıştır ve limit değerlerin altında olduğu görülmüştür.

Anahtar sözcükler: Radon, jeotermal sular, kolektör metodu, LR-115 Tip 2

ABSTRACT**DETERMINATION OF RADON LEVELS OF INDOOR LIVING
AREAS IN BAYINDIR DISTRICT IZMIR**

YARAR, Zeynep

MSc in Nuclear Sciences

Supervisor: Prof. Dr. Mehmet N. KUMRU

April 2014, 85 pages

Rn-222 which is a product of decay of U-238 is a colourless, odourless, tasteless, radioactive noble gas. Radon is shown as an important cause of lung cancer in the world. Therefore, International organizations consider radon to constitute a danger to public health. High radon concentrations arising from using geothermal water endanger for bathers who go to spas for treatment and workers in the spas.

In this study, in Bayındır-Dereköy thermal area, radon concentration variations were measured in water and air in thermal spas, in air in homes around the thermal spas and in air in an elementary school close by spas. In my study, the radon concentration of geothermal water was determined by using collector method and the radon concentration of indoor air was determined by using solid-state nuclear track detector (LR-115 Type 2). Indoor radon concentration around thermal area in Bayındır-Dereköy was measured between 39,3-405,6 Bqm⁻³. In measurements that were carried out in thermal waters, radon concentrations were found between 3-13,3 Bq/L, radium concentrations were found 0,35-1,71 Bq/L. The data obtained were compared with acceptable limit values which are specified by International organizations and the radon concentrations in this area are low than acceptable limit values.

Keywords: Radon, geothermal waters, collector method, LR-115 Type 2

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince değerli bilgi ve önerileri ile çalışmalarımı yönlendiren, her türlü destek ve imkânı sağlayan tez hocam Sayın Prof. Dr. Mehmet Nurullah KUMRU'ya, çalışmamın her aşamasında benimle ilgilenen, kıymetli tecrübelerini benimle paylaşan değerli hocam Sayın Doç.Dr. Müslim Murat SAÇ'a teşekkürü bir borç bilirim. Nükleer Bilimler Enstitüsü Müdürü Sayın Prof. Dr. Perihan ÜNAK'a sundukları imkân ve çalışma ortamı için teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam boyunca desteğini hep hissettiren, yardımlarını benden esirgemeyen Sayın Araş.Gör.Dr. Mutlu İÇHEDEF' e ve Doç.Dr. Berkay CAMGÖZ'e, çalışmam süresince manevi destekleriyle beni yalnız bırakmayan değerli arkadaşlarım Süleyman CANKURT, Özge DURLU ve Araş.Gör. Caner TAŞKÖPRÜ'ye ve enstitümüzün tüm çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Bu günlere gelmemde en büyük pay sahibi olan değerli aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
TEŞEKKÜR	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiv
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	12
2.1 Radyum.....	12
2.2 Radon.....	13
2.3 Radon ve İzotopları	15
2.3.1 Aktinon(Rn-219).....	15
2.3.2 Toron(Rn-220)	15
2.4 Radonun Oluşumu ve Göçü.....	15
2.5 Sularda Radyum ve Radon	19
2.6 Jeotermal Sular ve Kimyasal Özellikleri.....	19
2.7 Bina İçinde ve Bina Dışında Radon	21
2.8 Radon Ölçüm Yöntemleri.....	25

İÇİNDEKİLER(devam)

	<u>Sayfa</u>
2.8.1 Katı Hal Nükleer İz Kazıma Dedektör Metodu	26
2.8.2 Kolektör Metodu	30
3. LİTERATÜR ÖZETİ	33
4. MATERYAL VE METOD	36
4.1 Jeolojik Yapı	36
4.1.1 Batı Anadolu'nun Neotektoniği	36
4.1.2 Çalışma Bölgesinin Jeolojik Özellikleri	37
4.2 Arazi Etüt Çalışmaları.....	39
4.3 Radon ve Radyum Ölçüm Yöntemleri.....	43
4.3.1 Katı hal nükleer iz kazıma dedektör metodu	43
4.3.2 Yıllık etkin doz eşdeğeri	48
4.3.3 Kolektör metodu	49
4.3.4 Su örneklerinde radyum ölçümü	51
4.4 Jeotermal Suların Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi	51
4.3.1 Sularda pH ölçümü	51
4.4.2 Sularda iletkenlik ölçümleri	51
4.4.3 Sularda kimyasal analiz yöntemleri	52
5. BULGULAR	53

İÇİNDEKİLER(devam)

Sayfa

5.1 Bina İçi Radon Konsantrasyon Değişimi.....	53
5.2 Ev İçi Radon Gazının Solunumu İle Alınan Yıllık Etkin Doz Eşdeğerinin Hesaplanması	60
5.3 İstasyon Sularının Sıcaklık Değişimi.....	61
5.4 Jeotermal Sularda Radon Konsantrasyon Değişimi	62
5.5 Jeotermal Sularda Radyum Konsantrasyon Değişimi	62
5.6 pH Ölçüm Sonuçları	64
5.7 İletkenlik Ölçüm Sonuçları.....	64
5.8 Jeotermal Suların Kimyasal Analizleri.....	65
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	73
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	79
ÖZGEÇMİŞ.....	85

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 Jeotermal Sistemin Şematik Gösterimi	1
1.2 Türkiye’deki Jeotermal Alanlar	3
1.3 Su sıcaklığının bir fonksiyonu olarak radon için çözünürlük katsayısı	8
2.1 Radonun doğal izotoplarının bozunma zincirlerindeki yerleri	14
2.2 Radonun oluşumu, göçü ve bu süreçlerde etkili olan dış etmenler.....	16
2.3 Toprak taneciklerinde oluşan radon atomlarının izleyebileceği geri tepme yollarının şematik gösterimi.	17
2.4 Radonun gözenekli ortamlardaki hareketi	18
2.5 Ağır yüklü parçacıkların içinden geçtikleri polimerin molekül zincirlerini kırması	27
2.6 Polimer dedektörlerde gizli iz oluşumunu açıklamak için Huygens kuralının uygulanması	29
2.7 Kritik açı	29
2.8 İzlerin banyo süresi boyunca aldıkları şekiller	30
2.9 Kolektör sisteminin şematik gösterimi	31
4.1 Türkiye’nin basitleştirilmiş tektonik haritası	37
4.2 Çalışma alanının Türkiye haritası üzerindeki gösterimi	39
4.3 Çalışma alanının konumu.....	40

ŞEKİLLER DİZİNİ(devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.4 Ilıca 1	41
4.5 Ilıca 2	41
4.6 Ilıcılardan çıkan fazla suyun verildiği dere.....	42
4.7 Bina içi radon ölçümünün alındığı yerler	42
4.8 LR-115'in binalara asılma şekli	43
4.9 Filmlerin banyo edilmesi	44
4.10 Banyo işleminden sonra mikroskop altında alfa izlerinin görüntüsü	45
4.11 Fotoğrafın Corel Paint Shop yazılımıyla dönüştürülmüş hali	47
4.12 Scion yazılımı kullanılarak iz yoğunluğunun belirlenmesi	48
4.13 Kolektör sisteminin kalibrasyon eğrisi	50
5.1 Ilıca 1 istasyonu bina içi radon konsantrasyon değişimleri	55
5.2 Ilıca 2 istasyonunda bina içi radon konsantrasyon değişimleri	56
5.3 Ev 1 ve Ev 2'de bina içi Radon konsantrasyon değişimi	57
5.4 Ev 3'de bina içi radon konsantrasyon değişimleri.....	59
5.5 Bina içi radon konsantrasyonunun frekans dağılımı	59
5.6 Ilıca 1 ve Ilıca 2'deki jeotermal su sıcaklık değişimleri	61
5.7 Ilıca 1 ve Ilıca 2 istasyonlarında jeotermal su radon konsantrasyon değişimleri..	62

ŞEKİLLER DİZİNİ(devam)

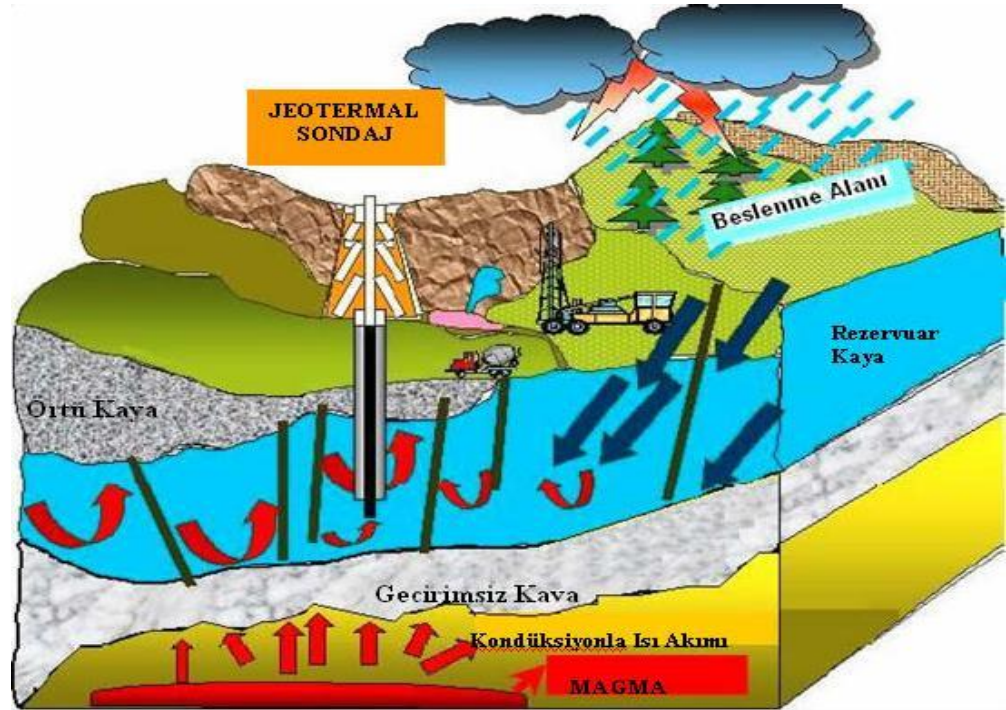
<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.8 Ilica 1 ve Ilica 2 istasyonlarında jeotermal su radyum konsantrasyon değişimleri	63
5.9 Ilica 1 ve Ilica 2 istasyonlarında pH değişimleri.....	64
5.10 Ilica 1 ve Ilica 2 istasyonlarında iletkenlik değişimleri	65
5.11 Ilica 1 istasyonunda Cl, CO ₃ , HCO ₃ , SO ₄ ve Toplam Anyon değişimleri.....	68
5.12 Ilica 1 istasyonunda Ca+Mg, Na, K ve Toplam Katyon değişimleri.....	69
5.13 Ilica 2 istasyonunda Cl, CO ₃ , HCO ₃ , SO ₄ ve Toplam Anyon değişimleri.....	70
5.14 Ilica 1 istasyonunda Ca+Mg, Na, K ve Toplam Katyon değişimleri.....	71

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 Radyasyon Kaynakları.	4
1.2 ^{222}Rn 'nin bazı fiziksel özellikleri	6
2.1 Radyum ve İzotoplarının Radyoaktif.	12
2.2 Farklı dedektör tipleri için iz kazıma koşulları	28
5.1 Ilıca 1 ve Ilıca 2 Bina içi radon konsantrasyonu değişimleri	54
5.2 Ev 1, Ev 2 Bina içi radon konsantrasyon değişimi	56
5.3 Ev 3'de bina içi radon konsantrasyonu değişimleri	58
5.4 Bayındır Ilıcalarında ^{222}Rn - ^{226}Ra değerleri ve $^{222}\text{Rn}/^{226}\text{Ra}$ oranı.....	63
5.5 Ilıca 1'den alınan su örneklerinin kimyasal analiz sonuçları	66
5.6 Ilıca 2'den alınan su örneklerinin kimyasal analiz sonuçları	67
5.7 Jeotermal suların kimyasal özelliklerine bağlı korelasyon matriksi	72

1.GİRİŞ

Jeotermal sular fay hatlarının yer aldığı jeolojik oluşum alanlarında yer almakta ve yer kabuğunun derinliklerinden yüzeye ulaşmaktadırlar. Yer kabuğunun derinliklerinde var olan ısı, soğuması bitmemiş magma kütlesi ya da bir volkanizma kaynaklıdır. Kırık ve çatlaklardan derinlere inen meteorit sular, bu ısı tarafından ısıtıldıktan ve mineralce zenginleştikten sonra yeryüzünde değişik derinliklerde yer alan gözenekli ve geçirimli hazne kayalarda birikirler. Bu sular, kırık ve çatlak sistemlerinin oluşturduğu yollarla yeryüzüne ulaşarak termal kaynakları oluşturur. Çok sayıda fay sistemi içeren ülkemizde bu oluşumlara bağlı olarak çok sayıda jeotermal kaynak bulunmaktadır (Kalıncı, 2006).



Şekil 1.1 Jeotermal sistemin şematik gösterimi

Jeotermal sular dünyada ve ülkemizde elektrik enerjisi üretilmesi, seraların ve konutların ısıtılması ve tedavi amaçlı olarak yaygın olarak kullanılmaktadır. Debi ve sıcaklık yönünden önem taşıyan jeotermal kaynaklar yeryüzüne çıktıklarında bulundukları yerin topoğrafik yapısına bağlı olarak en yakın dere yatağına ulaşırlar ve havzaların yeraltı ve yüzey suyu kaynaklarına karışırlar. Debi ve sıcaklık düzeyinin kullanım açısından önemli olduğu yeraltı suları amacı doğrultusunda kullanıldıktan sonra bir bölümü yeniden yeraltına enjekte

edilmekte ancak önemli bir bölümü de yine doğal su yolları ile bölge su sistemine karışıp sulama, içme amacı ile kullanılmaktadır.

Yerkabuğunun derin katmanlarından kendiliğinden yüzeye çıkan ya da sondaj ile çıkartılan bu suların fiziksel ve kimyasal içerikleri de farklıdır. Jeotermal sular, içme sularına oranla çok daha fazla radyoaktif madde içerirler ve gerek fiziksel gerekse kimyasal yapıları içme sularından oldukça farklıdır. Jeotermal sular, içme sularına kıyasla daha fazla radyonüklid ve ağır metal içerirler. Çünkü jeotermal sular yüksek sıcaklık ve tuz konsantrasyonuna sahip oldukları için topraktaki elementlerin çözünmeleri kolaylaşmaktadır (Külekçi, 2009).

Türkiye dünyanın en büyük jeotermal kuşaklarından biri olan Alp-Himalaya kuşağında yer almaktadır. Çok sayıda ve farklı büyüklüklerde fay sistemlerine sahip olan ülkemizde, sıcaklıkları 20-101 °C arasında değişen 1500 civarında kaynak çıkışı ve sıcaklıkları 30–242 °C arasında değişen 600’ den fazla termal kaynak bulunmaktadır. Ülkemizdeki termal kaynakların %70’ inden fazlası Ege bölgesi’ nde yer almaktadır (İlgar, 2005). Toprak, barajlar, göller, kuyular ve akarsular jeotermal suların taşıdığı radyonüklidler ve ağır metallerle maruz kaldığı için bu kaynaklardan yapılan sulamalarda bitkilerin kirlenmesine neden olmaktadır. Jeotermal kaynakların bulunduğu ortamlarda yaşayan insanlar ve diğer canlılar ve bu sularla sulanmış tarım ürünlerini tüketenler sağlık açısından önemli bir risk altında bulunmaktadır (Bolca vd, 2010).



Şekil 1.2 Türkiye’deki jeotermal alanlar(www.mta.gov.tr)

Konuya ülkemiz ve Kuzey Ege bölgesi açısından bakıldığında, termal alanlar üzerine sağlık amaçlı çeşitli işletmelerin kurulduğu ve farklı yörelerde termal suların tarımsal sulama amacıyla kullanıldığı görülmektedir. Ayrıca ülkemizde çok kısıtlı olmakla birlikte bazı şehirlerimizde ısınma amacıyla bu kaynaklardan yararlanılmaktadır. Farklı amaçlarla yaygın olarak kullanılan ülkemiz termal sularının fiziksel, kimyasal ve radyoaktif içeriklerine ilişkin ise sınırlı sayıda çalışma yapılmıştır (Vengosh et al., 2002; Tarcan, 2005; Ereeş et al., 2007; Karakuş, 2008; Serpen et al., 2009).

Radyasyon, yerkürenin ayrılmaz bir parçasıdır ve insanoğlunun yaşamını sürdürdüğü alanının tamamında bulunmaktadır. Radyasyon kaynakları doğal ve yapay radyasyon olarak ikiye ayrılmaktadır. Doğal radyasyon insanların maruz kaldığı radyasyon dozunun % 81’lik kısmını oluştururken yapay radyasyonun katkısı % 19’dur. Bu nedenle insanların yaşamları boyunca maruz kaldığı radyasyonun önemli bir kısmı doğal radyasyondan kaynaklanmaktadır. Türkiye’de doğal kaynaklardan alınan yıllık ortalama etkin doz 2,4 mSv’ dir. Doğal radyasyonun önemli bir kısmını ise radon ve bozunum ürünleri oluşturmaktadır.

Çizelge 1.1 Radyasyon Kaynakları

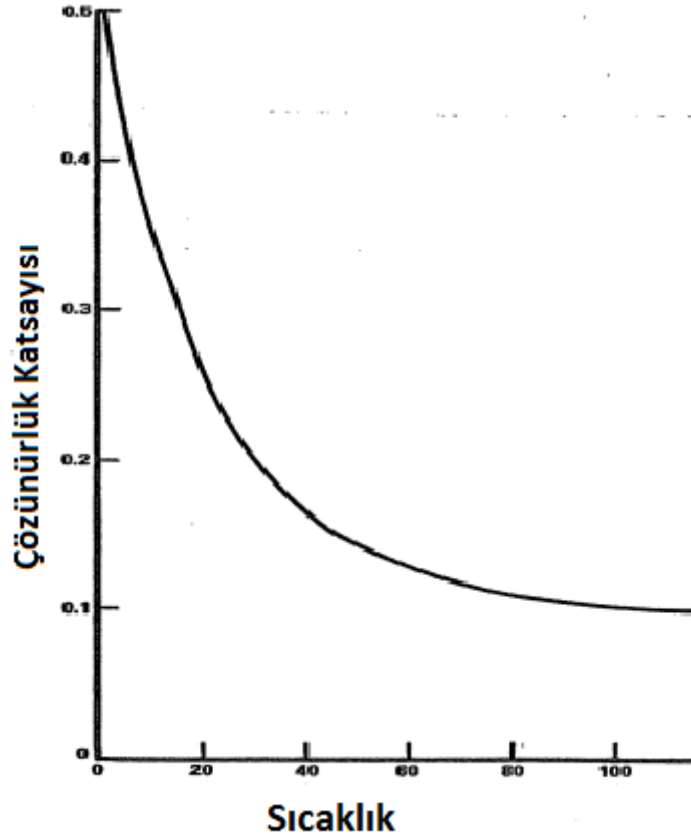
Doğal Kaynaklar	Radon	%55
	Kozmik	%8
	Karasal	%8
	İnternal	%11
İnsan Yapımı Kaynaklar	Tüketici Ürünleri	%3
	Nükleer Tıp	%4
	Tıbbi x- ışını	%11
Diğer Kaynaklar	Mesleki	%0.3
	Nükleer Kaza	<%0.3
	Nükleer Yakıt Döngüsü	%0.1

Parçacık reaktif olan radon ürünleri solunumla akciğerlere taşınmakta ve burada alfa ışınımı yapmaktadırlar. Bu olayla beraber alfa parçacıkları bir veya iki DNA sarmalını koparmakta ve bu mutasyon, kanserojen etkilerin hızlanmasına veya yeni bir sürecin başlamasına neden olmaktadır. Dolayısıyla yaşanan ortamlardaki radon ve ürünlerinin konsantrasyonun bilinmesi oldukça önemlidir. Bu nedenle dünya genelinde bina içi radon konsantrasyonları belirlenmekte ve uluslararası kuruluşlarca verilen sınır değerler belirlenmektedir.

Yaşam alanlarındaki radon konsantrasyonları birçok faktöre bağlıdır. Topraktaki ve yapı malzemelerindeki doğal radyoaktivite düzeyleri, nem oranı, binanın havalandırma kapasitesi, meteorolojik koşullar başlıca faktörler olarak sayılabilir. Radon renksiz, kokusuz, tatsız, radyoaktif bir gazdır. Radonun bazı özellikleri Çizelge 1.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 1.2 ^{222}Rn 'nin bazı fiziksel özellikleri(Cothern, 1987)

Özellik	Değer		
Kaynama noktası	-61.8 °C		
Erime noktası	-71 °C		
Kritik sıcaklık	104 °C		
Kritik basınç	62 atmosfer		
Normal sıcaklık ve basınçta yoğunluk	9.96 kgm ⁻³		
Normal sıcaklık ve basınçta 27.03 pCi'nin hacmi	1.6x10 ⁻²⁰ m ³		
Buhar basıncı;			
-144.0 °C	0.13 kPa		
-126.5 °C	1.3 kPa		
-111.3 °C	5.3 kPa		
-99.0 °C	13 kPa		
-71.0 °C	53 kPa		
-61.8 °C	100 kPa		
Suda atmosferik basınçta çözünürlük katsayısı;			
0 °C	0.507		
10 °C	0.340		
20 °C	0.250		
30 °C	0.195		
37 °C	0.167		
50 °C	0.138		
75 °C	0.114		
100 °C	0.106		
Çözünürlük katsayısı;		37 °C	18 °C
Saf alkol	-	6.17	8.28
Aseton	-	6.30	7.99
Amil alkol	-	10.6	-
Anilin	-	3.80	4.45
Hayvan yağları	5.5-6.5	-	-
Benzen	-	12.82	-
Karbon disülfat	-	23.14	33.4
Kloroform	-	15.08	20.5
Eter	-	15.08	20.09
Yağ asitleri	3.6-7.3	-	-
Etil asetat	-	7.35	9.41
Formik asit	0.96	-	-
Gliserin	-	0.21	-
Heksan	-	16.56	23.4
İnsan kanı	0.43	-	-
İnsan yağı	6.33	-	-
Linoleik asit	6.3	-	-
Oleik asit	6.7	-	-
Zeytin yağı	-	29.00	-
Petrol (likit parafin)	-	9.20	12.6
Toluen	-	13.24	18.4
Ksilen	-	12.75	-



Şekil 1.3 Su sıcaklığının bir fonksiyonu olarak radon için çözünürlük katsayısının grafiği (Cothorn, 1987)

Radonun en çok bilinen sırasıyla 133, 134, 136 nötrona sahip üç izotopu vardır. Çekirdekteki proton ve nötronların toplamı kütle numarasına eşittir. Radonun üç izotopu sırasıyla $86+133=219$, $86+134=220$ ve $86+136=222$ kütle numaralarına sahiptir. Sembolik olarak yazılımları ^{219}Rn , ^{220}Rn , ^{222}Rn şeklindedir. ^{200}Rn 'dan ^{226}Rn 'a kadar radonun bilinen 27 izotopu vardır. ^{222}Rn (3,8 gün), ^{210}Rn (2,5 saat), ^{211}Rn (14,7 saat) dışında bu izotopların yarı ömürleri bir saatten daha azdır. Radon ürünlerinin konsantrasyonu, yalnızca ^{222}Rn konsantrasyonu ölçülerek ve standart denge oranı kullanılarak belirlenebilir. Bu oranlar, atmosferik koşullar ve havalandırmaya dayanır (Cothorn and Smith, 1987).

Şimdiki yıllarda, radon ölçümü için aktif karbon süzgeci ve alfa iz metodları düşük fiyatlı ve kullanılan ekipmanın küçük boyutlu olmasından dolayı oldukça popülerdir. Aktif karbon aygıtının yüzeyi radonu absorblar ve radon ısıtma işlenime kadar orada tutulur. Bu metodun kullanımı çok kolaydır ve birçok laboratuarda bulunan minimum ekipman gerektirir. Son metod radonun alfa iz

materyaline doğrudan maruz kaldığı metoddur. Tipik olarak bu sistem, alfa iz materyalinin radon ürünlerinin duvarlarına yayılmayacağı herhangi bir kabın altına yerleştirilmesinden oluşur. Sıklıkla bu kabın altına radon ürünlerinin girişini önlemek için bir filter yerleştirilir. Böylece kabın içine yalnızca radon girer ve radon ürüne bozulur. Radondan alfalar yayılır ve kabın içinde her alfanın bıraktığı mikroskopik izler oluşur. Akciğerler için toplam maruz kalınan dozun en doğru hesaplaması için her katkıyı ayrı ayrı ölçmek gerekmektedir. Buna ek olarak, radon ürünlerinin konsantrasyonu, sadece ^{222}Rn konsantrasyonunun ölçülmesi ve daha sonra radon ürünlerinin konsantrasyonunu tahmin etmek için standart bir denge oranı uygulanmasıyla tahmin edilebilir. Bu oranlar atmosferik koşullara ve havalandırmaya bağlıdır. Çünkü, her yapı için doğru oranların sağlanması ve kullanılması gerekmektedir. Radon ya da ürünlerinin konsantrasyonunu tahmin etmek için kullanılan yöntem gerçek koşulları yansıtmaması açısından en doğru ve hassas şekilde olmalıdır. Radon konsantrasyonu, ve dolayısıyla ürünlerin konsantrasyonu, yıl boyunca farklılık gösterebilir. Bu farklılıklar topraktaki radon emanasyonu, toprak ve atmosferik basınç dalgalanmaları ve su içeriğindeki değişikliklerden ortaya çıkar. Buna ek olarak, binalarda havalandırma oranı, mevsime bağlı olarak değişir yani Kapılar ve pencereler sıcaklık değişimlerine yanıt olarak açılır ve kapanır. Son olarak, radon konsantrasyonu ,gece ve gündüz döngüsü boyunca değişebilir. Örnekleme planında, ölçümlere havalandırma koşullarının dağılımını yansıtmalıdır. Aksi takdirde yıllık ortalama maruz kalma ölçümlerinde büyük hatalar ortaya çıkabilir (Cothorn and Smith, 1987).

Ölçüm süresi boyunca potansiyel konsantrasyon farklılıklarını hesaba katılmalıdır. Örneğin bir bina içinde farklı noktalarda havalandırma koşullarından dolayı radon konsantrasyonu farklılıklar gösterebilir.

Ölçüm teknikleri üç ana kategoriye ayrılabilir.

(1) elle örnekleme, (2) sürekli ve aktif örnekleme ve (3) bütünleştirici örnekleme

Elle örnekleme konsantrasyon dalgalanmalarıyla zaman karşılaştırıldığında (dakika üzerine) kısa zaman aralıkları boyunca havada radon veya radon ürünlerinin konsantrasyonun anlık ölçümlerinden oluşur.

Sürekli örnekleme, uzun bir süre boyunca birbirine yakın zaman aralıklarında otomatik ölçüm almayı içerir.

Son olarak, entegre cihazlar genellikle aylık olarak oldukça uzun bir süre boyunca meydana gelen radyasyon olaylarının (örneğin, alfa bozunumu gibi), toplam sayısı hakkında bilgi toplar (Cothorn and Smith, 1987).

Entegre cihazlardan alınan sonuçlar yaklaşık ortalama konsantrasyondur.

Havadaki radon konsantrasyonunu ölçmek için kullanılan en eski yöntemlerden biri elle örnekleme sınıfına giren sintilasyon hücresi metodudur. Bu hücreye Lucas hücresi olarak adlandırılmaktadır. Bu sintilasyon hücreleri çeşitli şekillerde ve boyutlardadır (0,1 ila 2 L). Genel olarak duvarları gümüşle aktive edilmiş çinko sülfür fosfor ile kaplanır (Cothorn and Smith, 1987).

Havada radon ölçmek için başka yöntem ise iki filtre yöntemidir. Hava 0,3-1m uzunluğundaki bir tüpten içeri girer ve girişte radon ürünlerinden süzülür. Radon tüp içindeki yolculuğu sırasında çıkış filtresinde tuzaklanan ^{218}Po 'a bozunur. Uygun bir zaman aralığından sonra çıkış filtresi alfa bozunumunun ölçümü için çıkarılır. Sürekli ve bütünleştirici izleme filtre çıkışında bir termoluminesans dozimetrimin kullanımıyla tamamlanır (Cothorn and Smith, 1987).

Havadaki radon ürünlerinin ölçümleri akciğer dokusunun maruz kaldığı dozun tahminini sağlamak için yapılmaktadır. Havadaki konsantrasyonla ilgili en önemli sorunlardan biri bir radyonüklidin kesrinin belirtilmesi gerekliliğini ortaya çıkarır. Eğer radon ürünleri vücutta doğrudan ölçülebilir ya da havadaki geçmiş saçılmalar boyunca ürün konsantrasyonu tahmin edilebildiyse boşluk ve depozisyonun modelleme problemi ortadan kalkar (Cothorn and Smith, 1987).

İki temel yöntem vücuttaki radon ürünlerinin doğrudan tahmin için kullanılır. İç organlardaki bozunmanın bir sonucu olarak vücuttan çıkan gama ışınlarının iç organlarda ve idrarda aktivitesinin konsantrasyonda ölçümünü içerir. Her iki durumda da saçılmanın bir göstergesi olarak kullanılan uzun ömürlü kurşun yada polonyumdur. Gama ışınlarını doğrudan ölçmek için kemik yada akciğerden gelen Po-210 'un gaması kullanılır. Bu method canlı içi sayma sistemi olarak bilinen canlıya yerleştirilen Nal veya germanyum dedektörü ile gerçekleştirilir. Bu sistemde, sayma işlemini korumalı bir odada gerçekleştirilerek arka plan konsantrasyonu sorunu giderilebilir (Cothorn and Smith, 1987).

Suda radonun belirlenmesi havada radon ölçümlerinden daha basittir. Varyasyonun büyüklüğü ve oranın daha az olmasından daha az örnekleme problemi vardır. Örnekleme sırasında gecikmelerden dolayı bir düzeltme gerekir. Suda radon ölçümlerinde en zor kısım suların örneklendirilmesi ve taşıma işlemidir. İlk sorun örneklerin nereden toplanacağıdır. Örnek alacağımız yer evdeki musluk suyuysa musluk kısa bir süre akıtıldıktan sonra örnekleme yapılır. Bir kuyuda tek çıkış varsa bu örnekleme için teminat olabilir ancak birden fazla çıkış varsa tek örnekleme bizim için teminat olmaz. Örnekleme güne, zamana ve farklı kaynaklara bağlıdır. Böyle durumlarda radon konsantrasyonuna her kaynak farklı katkı sağlar. Çoklu sistemler bu varyasyonları tesbit etmek için iyi değildir. Bunun için her kaynağı temsil eden bir örnekleme sistemi planlamaktır. Önemli bir diğer sorun ise şişe içindeki radon gazının gerçek aktarımı ile ilişkilidir. Çünkü radon bir gazdır ve örnekler gaz çıkışının olmadığı kaplarda toplanmalıdır. Örnekleme, eğer musluktan yapılıyorsa musluk birkaç dakika, pompalama yöntemiyle yapılıyorsa su pompalandıktan birkaç dakika sonra örnekleme yapılmalıdır (Cothorn and Smith, 1987).

Radon ölçümü çocuklar üzerinde yapmak etik olmayacağı için yetişkinler üzerinde yapılan ölçüm değerleri üzerinden değerlendirme yapmak daha doğru olacaktır. Radonun akciğerler üzerindeki etkisini madenciler (özellikle uranyum madencileri) üzerinde sürekli ölçümler yaparak belirleyebiliriz (Cothorn and Smith, 1987).

Dünyamızı saran atmosferde kozmik ışınlardan kaynaklanan düşük bir radyasyon düzeyi vardır. Ancak, radyasyonun hangi kaynaktan ve ne kadar süreyle alındığı çok önemlidir. Doğal çevremizden aldığımız radyasyonun, herhangi bir sebeple belirli bir miktarın üzerine çıkması sağlık açısından önemli sorunlar ortaya çıkarmaktadır. Kaplıca suları, içme sularına oranla daha fazla radyoaktif madde içerdikleri için kaplıcalara sağlık amaçlı giden insanlar tedavi süresince sürekli radyoaktiviteye maruz kalırlar.

Bu tez çalışmasının gerçekleştirildiği Bayındır-Dereköy mevki, Bayındır'ın kuzeydoğusunda bulunmaktadır. Dereköy mevkiinde Fatma Hanım Ilıcısı, Vardar Ilıcısı ve Muhtar'ın Ilıcısı olmak üzere toplamda 3 ılıca bulunmaktadır. Muhtar'ın Ilıcısı ticari nedenlerden dolayı sadece yaz aylarında hizmete açılmaktadır. Fatma Hanım Ilıcısı ve Vardar Ilıcısı ise yıl boyunca açık kalmaktadır. Bölgede, termal tesislerden çıkan fazla su borular yardımıyla dereye akıtılmakta fakat halk tarafından sulama ya da diğer amaçlı kullanılmamaktadır.

Bu bölgede yapılmış çalışma sayısının oldukça az olması (Bulut ve Filiz, 2005) ve jeotermal suların radyoaktifliği üzerine yapılmış bir çalışma bulunmaması bu alanı önemli kılmaktadır.

Bu tez çalışması GİRİŞ, GENEL BİLGİLER, MATERYAL ve METOD, BULGULAR ve TARTIŞMA, SONUÇLAR ve ÖNERİLER ile KAYNAKLAR DİZİNİ ana başlıklarından oluşmaktadır. Genel Bilgiler bölümünde öncelikle radyum, radon, radon ve izotopları konuları ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır. Daha sonra radonun yeraltındaki hareketi, sulara radon ve radyum, bina içi ve dışı radon, jeotermal sular ve özellikleri ile radon ölçüm yöntemleri açıklanmıştır.

MATERYAL ve METOD başlığı altında ilk olarak çalışma alanının jeolojik yapısı, arazi etüd çalışmaları, radon ve radyum ölçüm yöntemleri, jeotermal suların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi ile ilgili bilgiler verilmiştir.

Tezde elde edilen veriler BULGULAR kısmında verilmiştir. Bu kısımda çalışma ile gerçekleştirilen ölçüm sonuçları, fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları ve yıllık etkin doz eşdeğeri hesaplamalarının sonuçları sunulmuştur.

SONUÇLAR ve ÖNERİLER bölümünde çalışmada elde edilen verilerin değerlendirilmesi yapılmış ve bundan sonra yapılabilecek çalışmalar için önerilerde bulunmuştur. KAYNAKLAR kısmında ise tez çalışmasında faydalanılan kaynaklar liste halinde sunulmaktadır.

2. GENEL BİLGİLER:

2.1 Radyum

Radyum 1898’ de Marie Curie ve Pierre Curie tarafından keşfedilmiştir. Periyodik tablonun 2-A grubunda yer alır ve bir alkali elementtir. Doğal olarak 4 izotopu bulunur. U-238 ve Th-232 bozunma serilerinin ürünü olan Ra-226 ve Ra-228 radyumun doğada en çok bulunan izotoplarıdır (Saç,1994).

Çizelge 2.1 Radyum ve İzotoplarının Radyoaktif Özellikleri

İZOTOP	BOZUNMA SERİSİ	ANA ELEMENT	ÜRÜN ELEMENT	YARI ÖMÜR	RADYASYON CİNSİ,ENERJİSİ(MeV), İNTENSİTESİ
$^{228}\text{Ra}_{88}$	Th-232	$^{232}\text{Th}_{90}$	$^{228}\text{Ac}_{89}$	5,8 yıl	β :0,024(%30) 0,055(%70) γ :0,0103(%20) 0,0263
$^{226}\text{Ra}_{88}$	U-238	$^{230}\text{Th}_{90}$	$^{222}\text{Rn}_{86}$	1600 yıl	α :4,60(%6) 4,78(%94) γ :0,186(%4)
$^{224}\text{Ra}_{88}$	Th-232	$^{228}\text{Th}_{90}$	$^{220}\text{Rn}_{86}$	3,66 gün	α :5,45(%6) 5,68(%94) γ :0,241(%3,9)
$^{223}\text{Ra}_{88}$	U-235	$^{227}\text{Th}_{90}$	$^{219}\text{Rn}_{86}$	11,4 gün	α :5,54(%9)-5,605(%26) 5,714(%53,7) γ :0,144(%39)-0,154(%52) 0,158(%9)

Radyum insanların maruz kaldığı doğal radyasyona katkıda bulunan önemli bir radyoizotopdur. Radyum bir alfa yayınlıyıcıdır ve yarı ömrü uzundur. Radyum tüm kaya ve topraklarda bulunabilir. Kireçtaşı ve volkanik kayalarda ortalama radyum konsantrasyonu sırasıyla 0,42 pCi/g ve 1,3pCi/g’dir. Radyum birçok su kaynağında mevcuttur (Borrelli, 1999). USEPA (Amerika Birleşik Devletler Çevresel Korunum Ajansı) sudaki radyum limitini 5pCi/L olarak belirlemiştir (Borrelli, 1999). Radyum ve ürünleri, insanların maruz kaldığı içsel dozun önemli bir kesrine katkıda bulunmaktadır. Radyum, diğer radyonüklidlerden kimyasal olarak daha aktiftir ve kimyasal olarak kalsiyuma benzer. Radyum bitkiler tarafından topraktan absorbe edilir ve yeme yoluyla insan vücuduna geçer. Tipik olarak gıdalarda mevcut Ra seviyeleri 0,1pCi/kg- 1 pCi/kg arasında değişmektedir. Yemek yoluyla alının sonucu, radyum kemikte kalsiyumla yer değiştirir. Vücuda alınan radyumun büyük kısmı (% 80-85) iskelete yerleşir. Bir

kg kalsiyum içeren bir yetişkinin iskeletindeki ortalama radyum konsantrasyonu 8 pCi (0,3Bq)-100 pCi (3,7 Bq) arasında değişir (Borrelli, 1999).

2.2 Radon (Rn-222)

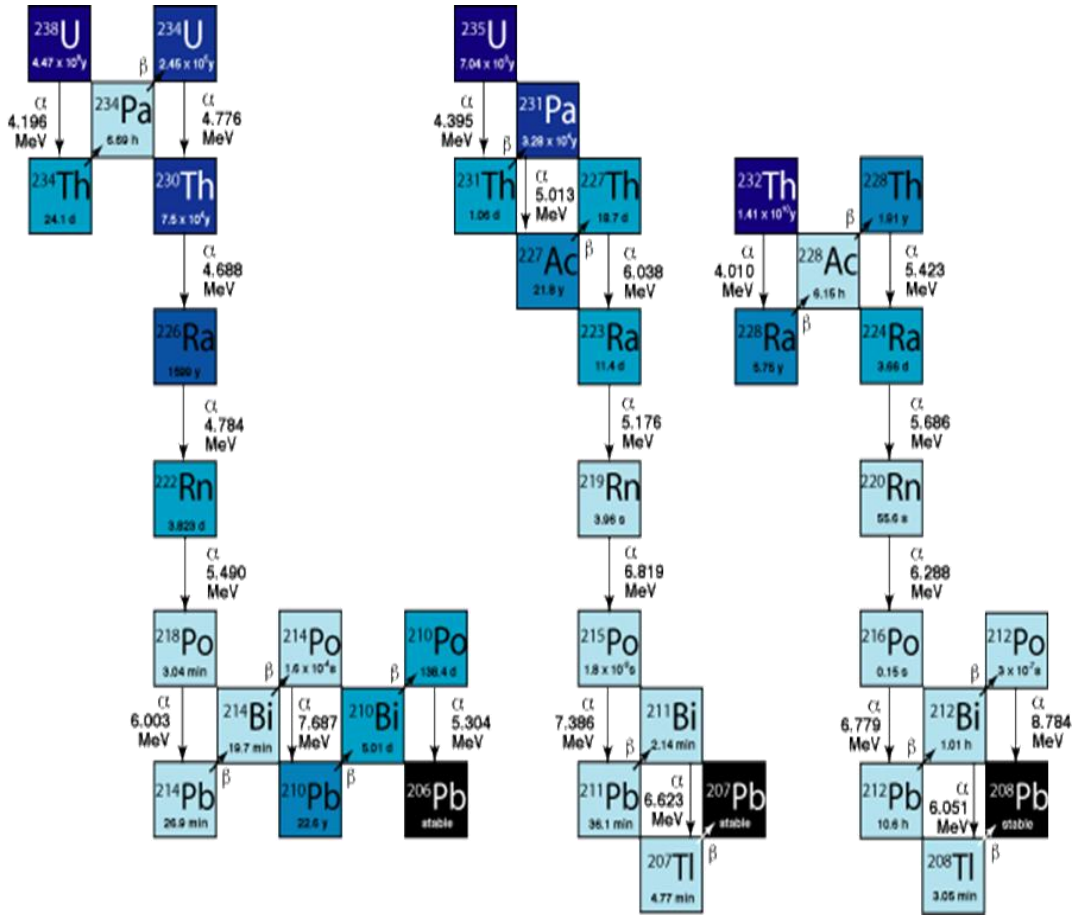
U-238' in bozunma ürünü olan Rn-222' nin yarı ömrü ($t_{1/2}$) 3,82 gündür ve enerjisi 5,48 MeV' lik alfa parçacığı yayınlar. Rengi, kokusu ve tadı yoktur. Radon gazının yoğunluğu toprakta bulunan uranyum miktarına göre değişim göstermektedir. Radon ağır bir gaz olduğu için binaların zemin ve bodrum katında birikir.

Rn-222, U-238 radyoaktif bozunma serisinde bulunan Ra-226' nın radyoaktif bozunumu sonucu oluşan renksiz, kokusuz bir soy gazdır. U-238'in doğada bol bulunuşu nedeniyle atmosferde ve toprak gazında radonun yoğunluğu fazladır. Uranyum bozunma zincirinde radondan sonra gelen Po-218 (RaA), Pb-214 (RaB), Bi-214 (RaC) ve Po-214 (RaC') radonun bozunma ürünleridir.

Bi-214 (RaC)' nin beta bozunumu sonucunda oluşan Po-214 (RaC') çok kısa bir yarı ömre sahiptir ve alfa yayınımlı yapar. Bu nedenle RaC doğrudan alfa yayınlayıcısı olarak kabul edilebilir (Saç, 1994).

Radon sularda kolayca çözünbilmektedir. Az miktarlarda bile radyum içeren toprak ve kayaçlar, yüzey ve yer altı sularıyla etkileşime girdiğinde radonla karşılaşmamız olasıdır. UNSCEAR (1982) raporuna göre ^{222}Rn konsantrasyonu yüzey sularında 40 Bq/m^3 (1 pCi/L) ve yer altı sularında ise 4 ile 40 kBq/m^3 (100 ile 1000 pCi/L) arasında değişmektedir. Radon sularda çözünbildiğinden dolayı radyasyona maruz kalmamız kaçınılmazdır. Mutfak ve banyo gibi alanlar evimizde suyun en çok kullanıldığı yerlerdir. Dolayısıyla bu yerlerde radon konsantrasyonunun yüksek olması beklenmelidir. Sularda bulunan çözünmüş radon kapalı ortamlara transfer olduğunda ve bu ortamlar sık sık havalandırılmadığında bu yerlerdeki ^{222}Rn konsantrasyonu artmaktadır. Kaplıcalardaki saunalar ve hamamlar termal suların kullanıldığı alanlardır ve bu alanlarda havalandırma az olduğundan ^{222}Rn konsantrasyonun yüksek olduğu yerlerdir. Radonun bozunma ürünleri havadaki toz ve diğer parçacıklara tutunarak solunum yoluyla kolayca alınabilirler ve üst solunum yollarına tutunan bu ürünler kararlı hale gelene dek radyasyon salınımı yaparak bozunmaya devam ederler. Bu parçacıkların bozunma süresi boyunca ortaya çıkan enerji akciğer dokusunda önemli hasarlara neden olabilir. Radyoaktif aerosoller solunum yoluyla vücuda

alınır. Trake, bronşlar ve alveollere yerleşerek akciğer ve doku hücrelerini sürekli olarak radyasyona maruz bırakırlar. Doğal kaynaklardan insan akciğerlerinin maruz kaldığı radyasyon dozunun % 57 oranındaki bölümü radon ve bozunma ürünlerinin solunumundan kaynaklanır. Radonun yayınladığı alfa parçacıkları akciğer hücrelerinin DNA' sında hasara yol açabilir. DNA' da hasar oluşması, kansere kadar götüren olaylar zincirinde ilk adımdır. Alfa parçacıkları vücudumuz içinde oldukça kısa yol almaktadır. Böylece radon ürünlerinin bozunması sonucu oluşan alfa parçacıkları diğer organların hücrelerine ulaşamaz, böylece soluduğumuz havada bulunan radonun en büyük potansiyel tehlikesi akciğer kanseridir (Nazaroff and Nero, 1988).



Şekil 2.1 Radonun doğal izotoplarının bozunma zincirlerindeki yerleri

(<http://eps.mq.edu.au/USRG/facil.html>, 2012)

2.3 Radon ve İzotopları

Alman kimyacı F. Ernst BORN tarafından 1900 yılında keşfedilen radon bir soygaz olup, periyodik cetvelin 8A grubunda yer alır. Atom numarası 86, atom ağırlığı 222 olan radon gazı renksiz, kokusuz ve tatsızdır. Radon -62 °C' de kaynamakta ve -71 °C' de ermektedir. Radon bir soygaz olduğu için hiçbir şekilde kimyasal etkileşmeye girmemektedir. Rn-222, Ra-226' nın bozunum ürünüdür ve her iki izotop da U-238' in bozunum zincirinin ürünleridir. Radonun toplam 61 tane izotopu bulunmaktadır. Bu izotoplardan sadece 3 tanesi radyoaktif bozunum serilerinin içinde yer almaktadır. Rn-222 (Radon) U-238 bozunum zincirinde, Rn-220 (Toron) Th-232 bozunum zincirinde ve Rn-219 (Aktinon) U-235 bozunma zincirinde yer alırlar. Radonun kararlı izotopu bulunmamaktadır (Saç, 1994).

2.3.1 Aktinon (Rn-219)

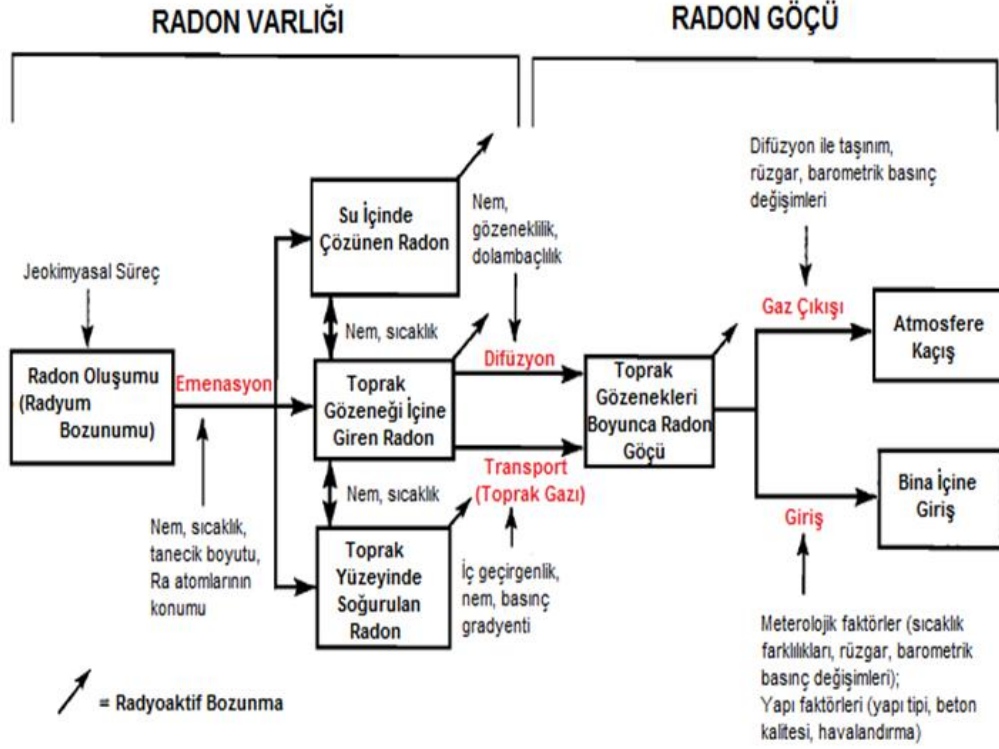
Yarı ömrü çok kısa ($t_{1/2}=3,98$ s) ve seri başı elementi U-235' in doğadaki bolluğu (% 0,711) çok az olduğundan doğal çevrede az bulunur. Kısa yarı ömrü nedeni ile hemen bozunmaya uğradığından atmosfere karışma ve atmosferde bir yoğunluk meydana getirme olasılığı zayıftır (Saç, 1994).

2.3.2 Toron (Rn-220)

Yarı ömrü aktinona göre daha uzun ($t_{1/2}=54,5$ s) olduğundan toprak gazında ve atmosferde bir yoğunluk oluşturabilir (Saç, 1994).

2.4 Radonun Oluşumu ve Göçü

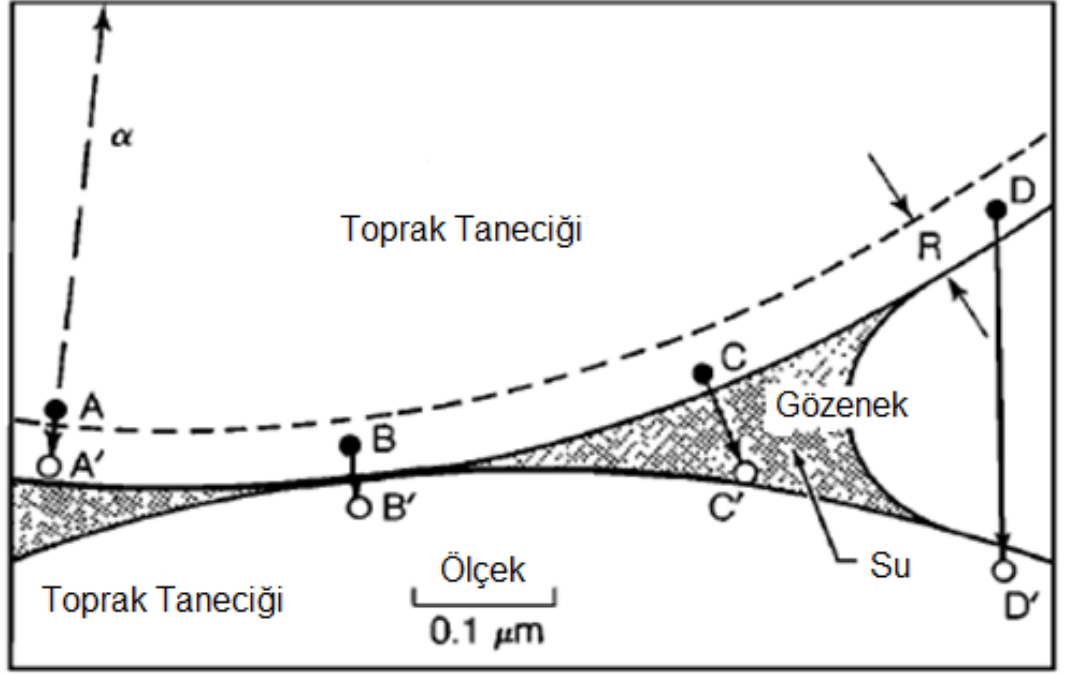
Doğadaki radon kaynaklarının büyük bölümünü toprak ve kayalar oluşturmaktadır. Toprakta radon oluşumunda, oluşan radonun bina içine veya atmosfere göçünde etkili olan süreçleri iki grupta inceleyebiliriz (Şekil 2.2). Birinci grup radon varlığı olarak adlandırılır ve radon konsantrasyonunu etkileyen faktörleri tanımlar. Bu gruptaki faktörler toprağın radon kaynağı olarak potansiyelini belirler. İkinci grup radon göçü olarak adlandırılır ve radonun topraktan bina içine veya atmosfere hareketini tanımlar.



Şekil 2.2 Radonun oluşumu, göçü ve bu süreçlerde etkili olan dış etmenler (Tabar, 2010)

Emanasyon gücü:

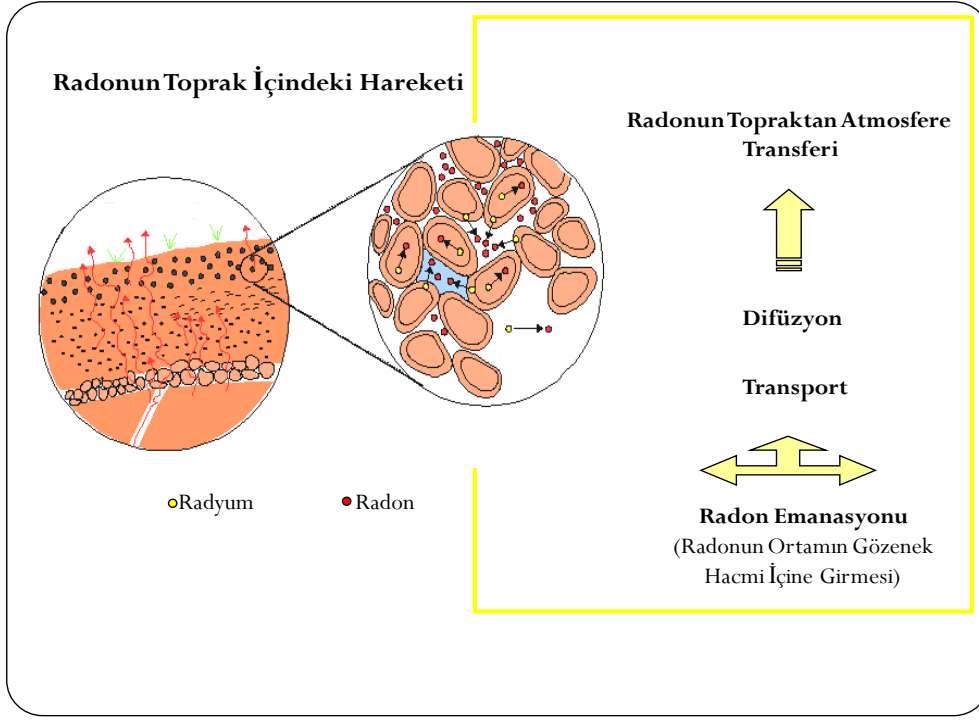
Yerkabuğunun alt katmanlarında bulunan radyumun radyoaktif bozunumu sonucu oluşan radon, kısa yarı ömrü süresince topraktan atmosfere doğru göç eder. Radon bu göç olayını gaz fazda, toprak gözenekleri arasında difüzyon ve transport mekanizmaları ile hareket ederek gerçekleştirmektedir. Ancak toprak içinde oluşan radon atomlarının yalnızca belirli bir kesri olduğu toprak taneciğinden ayrılarak gözenek hacmi içine girmektedir. Toprakta oluşan ve olduğu toprak taneciğinden kaçarak toprağın gözenek hacmi içine giren radon atomlarının kesri emanasyon gücü, emanasyon katsayısı veya emanasyon kesri olarak adlandırılır (Tanner, 1980; Nazaroff, 1992). Emanasyon gücünün üç bileşenden oluştuğu düşünülebilir. Bunlar direk geri tepme, dolaylı geri tepme ve difüzyon kesri olarak isimlendirilir. Bu bileşenler, geri tepen radon atomlarının, geri tepme yollarının bitiş konumuna bağlı olarak ortaya çıkmıştır (Şekil 2.3) (Nazaroff and Nera, 1988).



Şekil 2.3 Toprak taneciklerinde oluşan radon atomlarının izleyebileceği geri tepme yollarının şematik gösterimi. Şekilde 2µm çapındaki iki küresel tanecik B noktasında birbirleri ile temas halindedir. Boyalı bölgeler su ile doludur. Radon atomlarının geri tepme uzaklığı kesikli çizgiler ile gösterilmiştir. Koyu noktalar ile gösterilen radyum atomları bozunarak bir α parçacığı ve geri tepme yolunu içi boş noktalar ile gösterilen yerlerde bitirebilecek bir radon atomu oluşturmaktadır. A noktasında radyum atomu oluşacak radon atomunun tanecikten kaçışına izin vermeyecek kadar derinde yer almaktadır. B ve D noktalarında geri tepen radon atomu olduğu tanecikten kaçtıktan sonra komşu taneciğe girebilecek yeterli enerjiye sahiptir (dolaylı geri tepme). C noktasında ise radon atomu geri tepme yolunu gözeneği dolduran su içinde sonlandırmaktadır (direk geri tepme). Su içinde geri tepme enerjisini kaybeden radon gözenekler boyunca difüzyon ile hareket eder (Tanner, 1980).

Toprakta radon izotoplarının göçünü etkileyen önemli faktörler, izotopların bozunma hızı, akışkan ile dolu gözenekler söz konusu ise izotopların difüzyon katsayısı, akışkanın bileşimi, hareketi ve eğer akışkan birden fazla faz içeriyorsa izotopların bu fazlar arasındaki dağılımıdır (Tanner, 1980).

Radon göçünde etkili olan mekanizmaları difüzyon ve transport olarak ikiye ayırabiliriz. Difüzyon radon izotoplarının gözenek ortamını dolduran sıvıya göre hareket etmesidir. Transport ise gözeneği dolduran sıvının kendisinin gözenek ortamı boyunca hareket etmesi ve radon izotoplarını taşımasıdır. İncelenen bir bölgede bu mekanizmalardan yalnızca biri etkili olabileceği gibi her iki mekanizma da etkili olabilir (Tanner, 1980).



Şekil 2.4 Radonun gözenekli ortamlardaki hareketi (Wiegand, 2005)

Gözenek içinde akışkanın (çoğunlukla su) bulunması emanasyon sürecini hızlandırmakta ve radon izotoplarının soğurulmasını önleyebilecek bir etki göstermektedir. Ancak radon izotopu bir kez geri tepme enerjisini kaybettiğinde, ortamda bulunan akışkan izotopu soğurarak veya difüzyon katsayısını düşürerek göç olayını engellemektedir (Tanner, 1980).

Difüzyon teorisi radonun hareketini bozunma sabiti ile sınırladığı için $(D\tau)^{1/2}$ ortalama ömrü 5,5 gün olan radonun çok gözenekli ortamlarda bile difüzyon uzaklığı 1,5 m ile sınırlıdır. Bu nedenle birkaç difüzyon uzaklığında taşınan radon atomları 10–15 m’den daha uzağa varamaz. Yaklaşık 100 m veya daha derinlerdeki kaynaklardan gelen radon atomlarının algılanabilmesi onun difüzyonundan çok transportu ile açıklanabilir (Fleisher and Campero, 1980; Yaprak, 2003).

Radon transportu iki mekanizma ile açıklanmaktadır (Wilkening, 1980; Yaprak, 2003). Bu mekanizmalar mikroskopik (moleküler difüzyon ve viskoz akışkanlar) ve makroskopik (kırıklar, boşluklar ve yeraltı kanalları) olarak adlandırılır (Yaprak, 2003).

2.5 Sularda Radyum ve Radon

Jeotermal sular yeraltı kayaçlarına ve topraklara temas ederek yeryüzünün derinliklerinden yüzeye çıkmaktadır. Bu jeotermal suların içerikleri geçtikleri bölgenin jeolojik özelliklerini taşımaktadırlar. Yeraltı suları geçtikleri kayalardaki radyoaktif maddeleri çözer ve radyoaktif özellik kazanırlar. Bu sularda U-238'in bozulmasıyla ortaya çıkan Ra-226 ve Rn-222(radon) bulunmaktadır. Jeotermal sulardaki radon oranı insan sağlığını yakından ilgilendirmektedir. Bu sulardan ılıca yada tarımsal olarak faydalanan insanlar belli bir miktarda radona maruz kalmaktadırlar. Yeraltı sularında erimiş bir halde bulunan radon, radyoaktif bir gaz olduğu için yeryüzüne çıktıktan sonra havadaki tozlara ve su damlacıklarına tutunarak radyoaktif aerosoller oluşturmakta ve solunum yoluyla akciğerlere alınmaktadır.

Jeotermal suların sıcak olması nedeniyle, geçtikleri yerlerde daha fazla mineral ve uranyumu çözerler. Yeryüzüne ulaşan bu jeotermal sularda radon miktarının fazla olması beklenir. Evlerimizde kullandığımız musluk suları da bir miktar radon içerir. Bu radon miktarı, musluk suyunun geldiği kaynağa bağlı olarak değişmektedir.

2.6 Jeotermal Sular ve Kimyasal Özellikleri

Jeotermal su kaynakları yenilenebilir ve çevre dostu önemli bir doğal kaynaktır ve günümüzde birçok ülkede elektrik üretimi, tıp, turizm, ziraat, endüstri gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Ülkemizde 1300' ün üzerinde kaynak olmasına rağmen jeotermal enerjiden yeteri kadar faydalanmadığımız görülmektedir (Külekçi, 2009).

Jeotermal sular, ıslak veya kuru buhar halinde bulunurlar ve yüksek oranlarda çözünmüş kimyasal maddeler ve zengin mineral tuzlar içerirler (Bolca, 2010).

Jeotermal kaynak suları, yeraltından yeryüzüne çıkar ve köken aldıkları yeraltı suyunun sıcaklığı ile özdeşirler. Jeotermal kaynaklar hazne kayadaki kökenine göre mağmatik (juvenil), fosil (depo sistemi) ve meteorik (devirli sistem) olarak 3' e ayrılırlar. Sıcak sular fay (kırılma) çizgilerinin bulunduğu bölgelerde çok derinlerden gelirler ve bunlar mağmatik kökenli juvenil suların yani jeotermal kaynakların kökenini oluşturlar (Bolca, 2010).Termal sular sahip

oldukları sıcaklıktan dolayı geçtikleri yol boyunca kayaçlarla temas ederek bazı maddeleri çözer ve bu maddeleri kendileri ile birlikte taşırlar. Jeotermal sularda çözülmüş kimyasal madde miktarı yüksektir (Bolca, 2010).

Jeotermal suların bulunduğu ortamlarda su-kayaç ilişkisi ve oluşacak reaksiyon hızı sıcaklığın bir fonksiyonudur. Sıcaklık, reaksiyon hızını artırır. Ortam sıcaklığındaki her 10 °C' lik artış, reaksiyon hızının 2-3 kat artmasına neden olur. Bu nedenle, 200 °C sıcaklığa sahip bir ortamda gerçekleşen reaksiyonun hızı, 20 °C sıcaklığa sahip diğer bir ortama göre yaklaşık 2^{10} - 3^{10} kat daha hızlıdır. Yüksek sıcaklığa sahip ortamlarda kayaçların kimyasal olarak parçalanma ve ayrışmanın daha fazla olması bunun kanıtıdır (Bolca, 2010).

Sodyum ve potasyum, jeokimya değerlendirmelerinde çok karşılaşılan kanyonlardır; jeotermal sulardaki Na/K oranları fazla değişmediğinden jeotermometre uygulamalarında sıkça kullanılırlar. Sıcak sularda Na/K oranı 10' dan büyüktür. Na/K oranının 15' e yakın ve küçük olması, akışkanın yeryüzüne çıkış hızının yüksek olduğu “yukarı akış” (upflow) bölgesini gösterir. Daha yüksek değerler ise yanıl akışları ve yüzeye yakın kondüktif soğumayı belirtmektedir.

Jeotermal sulardaki Ca derişimi, doğada yaygın olarak gözlenen CaCO_3 (kalsit, aragonit), CaSO_4 (anhidrit, jips), CaF_2 (florit) ve diğer kalsiyum minerallerinin ortamdaki çözünürlüğü ile ilgilidir. CO_2 gazının basıncı CaCO_3 ' ün çözünürlüğü ve çökmesini etkiler. Ortam basıncı CO_2 ' nin kısmi buhar basıncının altına düşerse, serbest kalan CO_2 açığa çıkar ve ortamdaki CaCO_3 çöker. Yüksek sıcaklığa sahip sistemlerde, sıcak su içerisinde çözülmüş Ca derişimi genellikle 50 ppm' den küçüktür. Na/Ca oranı jeotermometre olarak da kullanılır. Yüksek değerlerin doğrudan rezervuardan beslenmeyi gösterdiği kabul edilmektedir.

Sulardaki Mg derişimi, suyun içinden geçtiği başta ferromagnezyen mineraller içeren ultrabazik kayaçlar olmak üzere dolomitin çözünürlüğü ile ilgilidir. Yüksek sıcaklığa sahip jeotermal sularda Mg derişimi 0.01-0.1 ppm arasındadır. Daha yüksek derişimler yüzeye yakın kayaçlardan ya da sığ sulardan karışımı göstermektedir.

Jeotermal sularda HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , F^- , Br^- ve I^- bulunmaktadır. Bikarbonat derişimi, jeotermal sulardaki toplam karbonat (CO_2 , suda), H_2CO_3 ,

HCO_3^- , CO_3^{2-}) derişimi, akışkanın pH'sı ve karbondioksit gazının kısmi basıncı ile değişir. Karbondioksit ile bikarbonat ve karbonat iyonlarının su kimyası üzerinde büyük etkisi vardır. Bu türlerin birbirine oranı suyun pH'sını tamponlayabileceği gibi, özellikle karbonat birçok mineralin çökmesine neden olmaktadır.

Doğrudan beslenen sistemlerde HCO_3^- derişimi azdır. $\text{HCO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ oranının artmasının sıcaklık yükselim zonundan uzaklaşmayı gösterdiği belirtilmektedir.

Derin jeotermal sularda sülfat miktarı 50 ppm'den azdır. Yüzeye yakın yerlerde hidrojen sülfürün yükseltgenmesi ile artış gösterir. Yüzey sularındaki sülfat artışı yüzeye yakın buhar yoğuşmasından kaynaklanmaktadır.

Klorür, jeotermal sistemlerin aranması ve yorumlanmasında çok kullanılan bir iyondur. Bir kez çözüldükten sonra başka minerallerin bünyesine kolay girmemesi nedeniyle doğrudan jeotermal suyu karakterize eder. Yüksek derişim doğrudan, derinden ve yüksek debili bir beslenmeyi gösterir. Eř klorür haritaları yüksek sıcaklık bölgelerinin ve fay sistemlerinin bulunmasında kullanılır. Düşük klorür derişimi yüzey sularının giriş doğrultularını belirtir.

2.7 Bina İçinde ve Bina Dışında Radon

Havadaki radonun ana kaynağı topraktaki radonun emanasyonudur. Toprağın yapısal özellikleri, nemi ya da meteorolojik koşullar radon konsantrasyonunu etkileyen faktörler arasındadır. Radonunun göçünün meydana gelmesi için, ilk olarak radon toprağın gözeneklerinin içinde emanasyona uğrar. Radyum atomu bir alfa parçacığı yayınladığında oluşan radon atomu ters yönde geri teper.

Radon gaz olduğu için, bu radyonüklid uranyum ve radyumdan çok daha büyük bir hareketliliğe sahiptir. Radonunun hareketliliğinin oranı toprağın nem içeriği, toprağın gözenekliliği ve toprağın geçirgenliğine bağlıdır. Radon iri taneli kum ve çakıl gibi materyallerde kolayca göç edebilir. Bu nedenle, en yüksek radon konsantrasyonunun granit kayalarla, en düşük radon konsantrasyonu bazalt kayalarla olduğu saptanmıştır. Radon suda, toprak gazında hareket ettiğinden daha yavaş hareket eder. Bu nedenle, kuru ya da yüksek geçirgenliğe sahip toprak ya da kayaların üzerine inşa edilen evler yüksek radon

konsantrasyonuna sahip olacaktır. Gözenekli materyaller vasıtasıyla radonun hareketi konsantrasyondaki farklılık ve basınç gradyanı ile yönlendirilir. Radonun hareket mekanizması difüzyon ve konveksiyondan (taşınım) oluşur. Difüzyon süreci, radonun atmosfere tahmini hacimsel üretim oranı $0.027 \text{ Bq/m}^3/\text{s}$ ve tahmini yaklaşık akı $0.026 \text{ Bq/m}^2/\text{s}$ olarak giriş yapmasıyla konveksiyon üzerinde bir baskınlık oluşturur (Borrelli, 1999).

Atmosferde radon ve ürünlerinin konsantrasyonu fazlasıyla değişkendir. Bu değişkenlik art ortam konsantrasyonundaki değişkenliğe büyük katkı sağlar. Havadaki radon konsantrasyonu günlük olarak değişir. Havadaki radon konsantrasyonundaki değişim gündüz minimum gece ise maksimumdur. Sabahın erken saatlerinde hava soğuktur ve daha ağırdır. Bu nedenle, radon konsantrasyonu yüksektir. Gün boyunca sıcaklıktaki artış havanın ısınmasına ve yükselmesine neden olur. Böylece radon üst atmosfere göç eder ve ortamdaki radon konsantrasyonu azalır. Atmosferdeki radon konsantrasyonu dispersiyondan dolayı topraktaki radon konsantrasyonundan daha düşüktür. Radon konsantrasyonu her bölgedeki farklı meteorolojik özelliklerden dolayı farklılık gösterir. Barometrik basınçtaki değişim, toprakla atmosfer arasındaki gaz değişim oranını etkileyebilir.

Yağış havadaki radon konsantrasyonunda azalmaya neden olur. Çünkü yüksek miktarda radon suyun içinde çözünür ve toprağın içine sızar.

Baraj gibi açık su kaynaklarında radon konsantrasyonu düşüktür çünkü radon kolayca atmosfere kaçar. Kentsel su kaynaklarında da radon konsantrasyonu düşüktür çünkü barajlarda açık su kaynakları olduğu için radon rahatça atmosfere kaçabilir.

Yeraltı suları genellikle tortul kayalardan beslenir ve bu sular düşük radon konsantrasyonuna sahiptir. Küçük su kaynakları ve şahsa ait kuyular kapalı sisteme sahiptir. Bu nedenle, radon atmosfere yayılmadığı için bu su kaynaklarında radon konsantrasyonu yüksek olabilir.

Bina içi radon ve radonunun bozunma ürünleri iyonize radyasyonunun bileşenlerine maruz kalmamızın en büyük nedenidir. Radonun kısa ömürlü bozunum ürünleri olan Po-218, Pb-214, Bi-214, Po-214 akciğerlerde ısıma yaparak akciğer kanseri riskini arttırmaktadır.

Bina içi radon girişini, binanın temelindeki toprak ve kayaların yanı sıra binanın yapı malzemesi ve binanın etrafındaki su kaynakları da etkiler. Havalandırma bina içi radon konsantrasyonunu etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Radonun evlere girişi, toprağın gözeneklerinden ve kayalardan çıkan radon miktarına bağlıdır. Radon gazının transportunu, toprağın geçirgenliği kadar toprağın gözeneklerinin boyutu da etkiler. Radon gazı zemindeki çatlaklardan bina içine doğru yayılır. Bina zeminindeki sadece % 1' lik bir boşluk ya da çatlak evin içindeki radon difüzyon oranında % 20' lik bir artış sağlayabilir (Borrelli, 1999).

Bina içi radon giriş oranı binanın duvarlarında ve binanın zemininde kullanılan materyallere de bağlıdır. Boşluk ve çatlaklardan difüzyonla radon girişinin $37 \text{ Bq/m}^3/\text{s}$ olduğu bir bina temelinde, temele atılan betondan sonra radon girişinin $2,6 \text{ Bq/m}^3/\text{s}$ 'ye düştüğü görülmüştür (Borelli, 1999). İri tane boyutuna sahip toprak büyük boşluklara ve yüksek geçirgenliğe sahiptir. Radon girişi oranı zeminin koşulu ve toprağın geçirgenliği ile büyük ölçüde değişecektir. Binanın yapısal özellikleri, radon giriş oranı ve radon konsantrasyonundaki yüksek değişkenliğe katkıda bulunur. Buna ek olarak, bodrum katına yakın olan birinci ve ikinci katlardaki evler kayaç ve toprakla temas eden bir alana yakın oldukları için bu evlerde radon giriş oranında bir artış görülecektir.

Ek olarak, konveksiyon da bina içi radon konsantrasyonunu etkiler. Barometrik basınç ve havalandırma, bina içi radon konsantrasyonundaki değişikliklere katkı sağlayan faktörlerdendir. Konveksiyon, normal şartlar altında bina içi radon giriş mekanizması olan difüzyon üzerinde hakim olacaktır.

Birçok faktör bina içi radon konsantrasyonuna katkı sağlar. Meteorolojik faktörler bina dışı radon konsantrasyonunu etkilediği gibi, bina içi radon konsantrasyonunu da etkiler. Topraktaki yüksek radon konsantrasyonu, bina içi radon konsantrasyonunun yüksek olmasına neden olacaktır. Yeraltı sularında yüksek radon konsantrasyonuna sahip alanlarda bina içi radon konsantrasyonu da yüksek olacaktır. Yapı malzemelerinin seçimi de bina içi radon girişini engelleyebilir ya da radon girişini kolaylaştırabilir.

Radon gazı toprağın gözeneklerinden yeryüzüne göç ederek binalarda birikir. Bina içi radon konsantrasyonu yapının zemininin geçirgenliğine bağlıdır. Radon zeminden ya da zemin seviyesinin altındaki duvarlardaki çok küçük ya da

görünmez çatlaklardan içeri sızabilir. Radonun yeni binalarda ve mevcut binalara girişini önlemek için radon kontrol sistemi üç farklı ilkeye dayanmaktadır.

1- Binanın zemininde membran ya da radon bariyeri uygulamasına başvurulmalı,

2- Aktif (fanla) ya da pasif (fansız) binanın zemininin havalandırılması için toprak basıncını alma ve bina içi hava ve toprak arasındaki basınç farkını dengeleme,

3- Hem kullanılan hem kullanılmayan odaları havalandırma (Jelle, 2012).

Ayrıca, radonun zararlı etkilerinin yanı sıra bazı çalışmalar radonun tedavi amaçlı kullanılabileceğini de göstermektedir. Amerika, Avrupa ve Japonya gibi gelişmiş devletler radon gazını bazı hastalıkların tedavisinde terapi amaçlı kullanmaktadır. Radon gazının insan vücudu üzerindeki etkilerini anlamak için yapılan araştırmaların sayısı azdır. Bu nedenle, kaplıcalara şifa bulmak için giden insanların olumlu sonuçlarla evlerine dönmelerinin temel nedeninin kaplıca sularında bulunan radon gazından kaynaklandığını söylemek zordur. Japonya’da yapılan bir çalışmada radonla zenginleştirilmiş suyun kullanıldığı tedavilerde vücuttaki aktif oksijenin bir miktarının uyarıldığını ve bu özelliğin eklem iltihabı, astım, damar sertliği gibi çeşitli hastalıkların tedavisinde olumlu yönde rol oynadığını söylemişlerdir (Yamaoka, 2002, 2004). Radon bir soygazdır ve vücudumuzdaki herhangi bir kimyasal bileşenle etkileşmeye girmez. Radon cildimizden ya da solunum yoluyla akciğerlerimize girdikten sonra kana karışır ve vücuda yayılmaya başlar. Radon, salgı bezleri, sinir lifleri gibi yağ içeren tabakayla kaplanmış yani yağca zengin organlarda birikir. Radonun vücuttaki tutulma zamanı kısadır. Sadece 15-30 dakika sonra dokuda % 50’ si bozunur. Bu kısa zaman içerisinde radon dokuyla etkileşim içerisinde. Alfa verici olan radon, dokularda yalnızca 20 μm uzaklığa gidebilir.

Yamaoka ve arkadaşlarının bir başka çalışmada ise insanlar üzerinde radonun radyoaktivitesinin etkileri ve termal etkiler karşılaştırılmıştır. Çalışmada öncelikle 40 ve 50 yaş aralığındaki 6 kadın hasta iki gruba ayrılmıştır. Birinci grup sıcaklığı 36 °C ve radon konsantrasyonu 2080 Bq/m³ olan bir odada günde 40 dakika olmak üzere 7 gün boyunca tutulmuştur. Diğer grup sıcaklığı ise 48°C ve radon konsantrasyonu art ortam seviyesinde olan bir saunada aynı işleme tabi tutulmuşlardır. Bu çalışmada her tedavi sonrası deneklerden kan örnekleri alınmış

ve radon terapisi yapılan deneklerin kan örneklerinde antioksidan fonksiyonlarının termal terapi yapılan deneklerden iki kat fazla olduğu görülmüştür. Bunun sonucunda, radonun bazı hastalıkların tedavisinde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Ayrıca, radon tedavi gören hastalarda, insan vücudunda solunumla oluşan süperoksit radikalini daha az zararlı bir molekül olan hidrojen peroksit ve suya dönüştüren süperoksitdismutaz enziminde 7. Gün sonunda % 35' lik bir artış gözlemlenmiştir. Bu artış termal tedavi gören hastalarda yalnızca % 15' tir (Yamaoka, 2002). Süperoksitdismutaz enzimi ayrıca saç dökülmesi tedavisinde kullanılmaktadır.

Yamaoka ve arkadaşlarının yaptığı bir diğer çalışmada, 50-70 yaş aralığında eklem iltihabı olan 11 erkek ve 9 kadın hasta oda sıcaklığı 42 °C ve ortamdaki radon konsantrasyonunun 2080 Bq/m³ olduğu bir odada her iki günde bir iki saat boyunca tutulmuşlardır. Altıncı haftanın sonunda hastaların eklem iltihaplarında azalma gözlemlenmiştir (Yamaoka, 2004).

2.8 Radon Ölçüm Yöntemleri

Radon ve radon bozunum ürünlerinin ölçümünde kullanılan yöntemler çoğunlukla radon ve bozunum ürünlerinin yayınladığı alfa parçacıklarının algılanmasına dayanır. Ölçüm süresine bağlı olarak üç tip ölçüm yapılabilir. Bunlar anlık radon ölçümleri, bütünleşik radon ölçümleri ve sürekli radon ölçümleridir (Papastefanou, 2007). Anlık radon ölçümleri, radon ve bozunum ürünlerinin konsantrasyonlarının kısa bir süreç içinde tespit edilmesi esasına dayanır. Ölçüm süresi radon konsantrasyonundaki dalgalanmaların ortaya çıkış süresi ile kıyaslandığında oldukça kısadır. Bütünleşik radon ölçümlerinde toplam radyasyon olayları üzerinden bilgi toplamaktadır. Elde edilen sonuçlar ölçüm aralığındaki tahmini ortalama radon konsantrasyonunu verir. Bütünleşik radon ölçümleri için ölçüm aralığı hafta veya ay olarak seçilir. Sürekli radon ölçümlerinde uzun bir zaman periyodunda radon ve ürünlerini otomatik olarak tespit edilmektedir. Ölçüm periyotları arasındaki boşluklar oldukça kısadır (Papastefanou, 2007). Bu çalışmada radon ölçümleri için kullanılan yöntemler aşağıda verilmiştir.

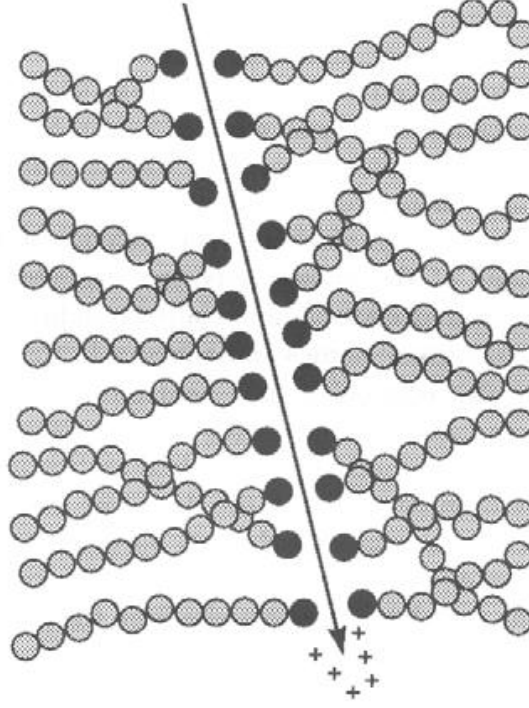
2.8.1 Katı hal nükleer iz kazıma dedektör metodu

Nükleer iz kazıma dedektörleri temel olarak mineral, kristal, plastik içeren, elektriksel olarak yalıtılmış katı materyallerdir. Nükleer iz kazıma dedektörlerinden ağır yüklü parçacıkların geçişi, dedektör materyalinde geçtikleri yollar boyunca hasarlara neden olmaktadır. Bu hasarlara gizli iz adı verilir. Gizli izler, dedektörlere kimyasal veya elektrokimyasal iz kazıma yöntemleri uygulandığında optik mikroskop altında görülebilecek boyutlara ulaşmaktadır. Alfa parçacıklarının ölçümü için en uygun dedektör materyali polimerik plastiklerdir. Çünkü polimerik plastikler basit, ucuz, dayanıklı, kararlı, yüksek duyarlılığa sahip ve kolay kullanılabilir yapıdadır. Polimer dedektörler genellikle Rn-222, Rn-220 ve ürünlerinin ölçümleri için kullanılmaktadır. Yaygın olarak kullanılan polimer dedektörler selüloz nitrat (LR-115), polyallyl di-glycol karbonat (CR-39) ve bisphenol A polikarbonat (makrofol)'dür. LR-115 ve CR-39, Makrofol'e göre daha yüksek duyarlılıktadır (Tabar, 2010).

İz oluşumu

İyonize parçacıklar katı materyal boyunca ilerlerken iyonizasyon ve eksitasyon ile enerjilerini ortama aktarırlar (prh.hec.gov.pk/Chapters/396-2.pdf, 2009).

Parçacığın materyal içinde enerji kaybı lineerdir ($\frac{dE}{dx}$). Lineer enerji kaybı parçacık karakteristiklerine (kütle, yük ve enerji) ve kullanılan materyale bağlı bir fonksiyondur. Enerji kaybı kritik değerin üzerine çıktığında dedektör materyali üzerinde lokal şekil değişiklikleri oluşmaya başlar. Bu şekil değiştirmeler polimerlerde moleküler zincirlerin kopması veya parçacık yolu boyunca oldukça reaktif olan yeni kimyasal bileşenlerin oluşması şeklinde açıklanabilir. Oluşan şekil değiştirmeler neticesinde çapı 1–10 nm arasında değişen gizli izler oluşur (İçhedef, 2011).



Şekil 2.5 Ağır yüklü parçacıkların içinden geçtikleri polimerin molekül zincirlerini kırması(prr.hec.gov.pk, 2009)

Gizli izler boyutları nedeni ile ancak elektron mikroskopları altında görülebilir. Bunun yanı sıra eğer dedektörler uygun sıcaklık ve konsantrasyondaki kazıyıcı çözelti, çoğunlukla basit alkali (örneğin NaOH veya KOH) veya asit (örneğin HF veya HNO₃), ile banyo edilirse gizli izlerin çapları birkaç μm 'ye kadar genişlemekte ve izler optik mikroskop altında görülebilmektedir (İçhedef,2011).

Kimyasal iz kazıma

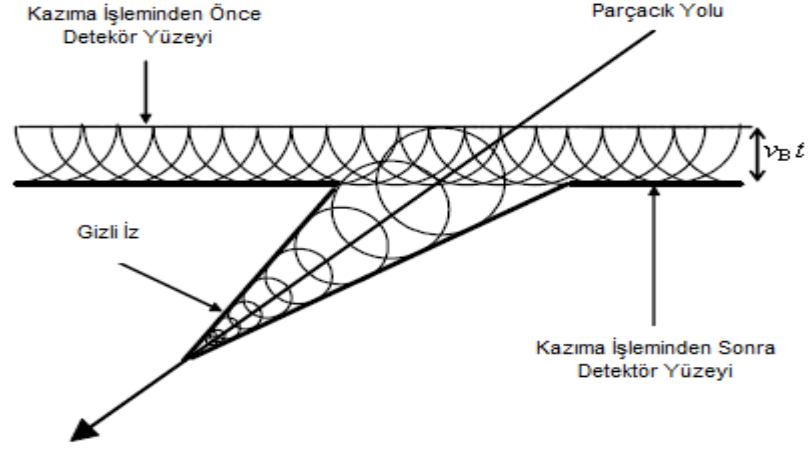
Kimyasal iz kazıma, dedektör filmlerinin sıcaklık değişimi termostatla kontrol edilen uygun çözelti içerisinde belirli süreler boyunca banyo işlemine tabi tutulmasıdır. Kullanılan çözeltinin cinsi, molaritesi, sıcaklığı ve banyo süresi tercih edilen dedektörlerin özelliklerine göre değişmektedir (Tabar,2010).

Çizelge 2.2 Farklı dedektör tipleri için iz kazıma koşulları (Yaprak, 2003)

Dedektör Tipi	Dedektör Materyali	Kazıma Sıcaklığı	Kazıma Konsantrasyonu	Kazıma Süresi
LR-115 Tip II CR-39	Selüloz	60 °C	% 10, 2,5 N NaOH	2 saat
	Nitrat			
	Polikarbonat	70 °C	% 25, 6,25 N NaOH	12 saat
CN- 85	Selüloz	60 °C	% 10, 2,5 N NaOH	20–30 dakika
	Asetat			

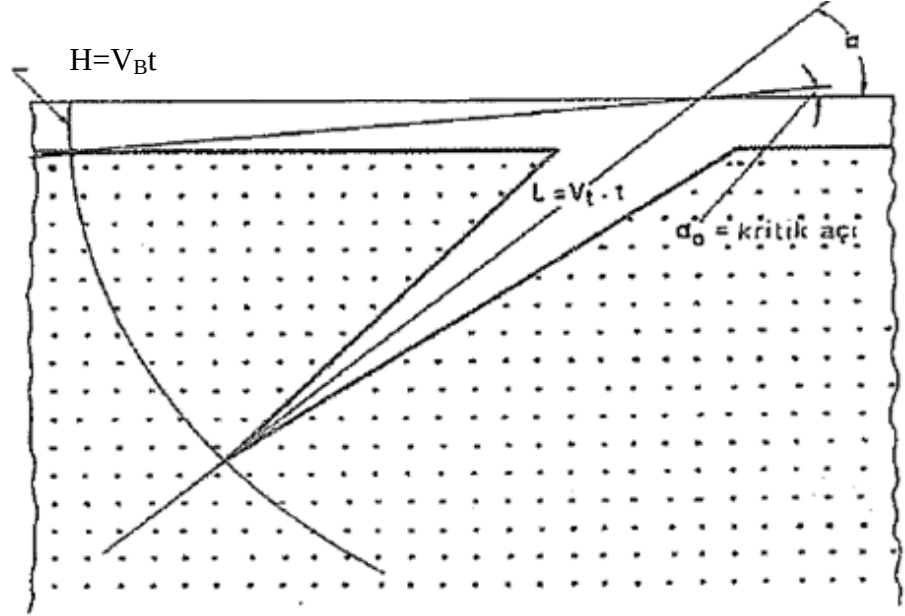
Kimyasal iz kazıma, gizli izin kimyasal reaktivitesinin, iz etrafındaki hasar görmemiş dedektör materyalinin reaktivitesinden daha yüksek olması esasına dayanır. Polimere kazıyıcı çözelti etki ettiğinde, polimer yüzeyi V_B hızı ile kazınırken, gizli iz V_T hızı ile kazınmaktadır. V_B hasara uğramayan dedektör materyalinin kazınma hızıdır ve yalnızca dedektörün yapısı ile kazıma koşullarına (sıcaklık, konsantrasyon ve zaman) bağlıdır. V_T ise iz kazıma hızıdır ve gelen parçacığın karakteristiklerine (yük, kütle, enerji kaybetme oranı) bağlıdır (İçhedef,2011).

V_B ve V_T 'nin sabit ve izotropik olduğu kabul edilirse iz oluşumu Huygens kuralının uygulanması ile Şekil 2.6'da görüldüğü gibi basit bir biçimde açıklanabilir. Bir t kazıma süresinde dedektörün yüzeyini saran kazıma yarıkürelerinin (yarıçapları $V_B t$ olan tüm elemanter yarıküreler) içi dedektörün yeni yüzeyini verirken, seçilen kimyasal kazıyıcı parçacık yolu boyunca konik kazıma profili oluşturacaktır (Tabar,2010).



Şekil 2.6 Polimer dedektörlerde gizli iz oluşumunu açıklamak için Huygens kuralının uygulanması
(prr.hec.gov.pk, 2009)

Dedektör üzerine gelen bütün yüklü parçacıklar kazınabilecek nitelikte iz oluşturamaz. Ancak belirli bir kritik açıdan daha büyük açılarla gelen yüklü parçacıklar kazınabilen iz oluşturur. Şimdi aşağıdaki şekil yardımı ile bu kritik açıyı hesaplayalım.

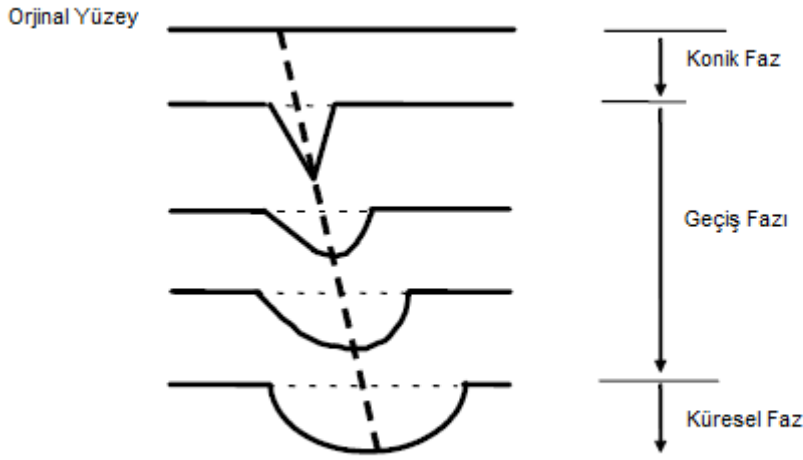


Şekil 2.7 Kritik açı (Yaprak, 2003)

Şekil 2.7’de V_B ve V_T ’nin sabit olduğu kabul edilmiştir. Toplam iz kazıma süresi (t) sonunda kazınan materyal yüzeyi $H=V_B t$, iz uzunluğu $L=V_T t$ kadardır. Tanecik için bütün geliş açılarında $a > a_0$ olduğunda kazınabilen iz oluşacaktır. a_0 kritik açı ile sınırlandırılan bu durum aşağıdaki eşitlikle tanımlanmaktadır (Yaprak, 1988, 2003)

$$\sin a_0 = \frac{H}{L} = \frac{V_B t}{V_T t} = \frac{V_B}{V_T}$$

İzlerin şekli kazıma işlemi süresince üç fazda değişim göstermektedir (Şekil 2.8). Bunlar konik faz, geçiş fazı ve küresel fazdır. Kazınan izin aldığı son şekil kimyasal kazımanın bittiği ana bağlıdır. Konik faz iz kazıma hasarlı yolun bitimine ulaşana kadar sürer. Bu fazda izin şekli koniktir, açık yüzey ise eliptiktir. Konik faz bittiğinde geçiş fazı başlar. Geçiş fazında izin alt tarafı daireselken açık yüzeyi hala eliptiktir. Kazıma hızı her doğrultuda materyal kazıma hızına eşittir. İz küresel, açık yüzey dairesel olduğunda küresel faza ulaşılmış olur (Tabar, 2010).



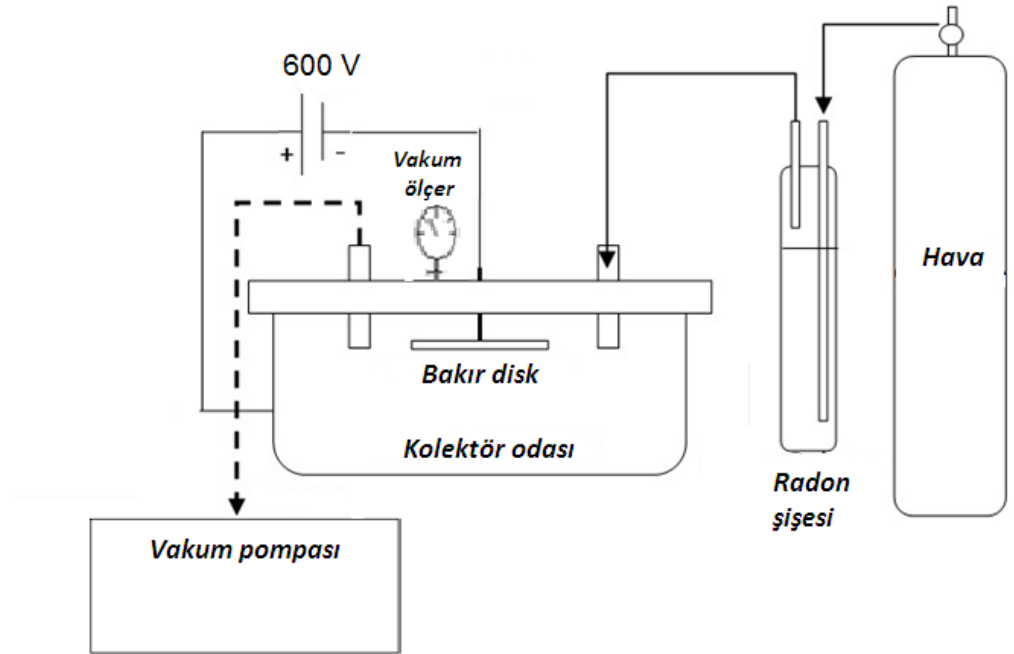
Şekil 2.8 İzlerin banyo süresi boyunca aldıkları şekiller (prh.hec.gov.pk, 2009)

2.8.2 Kolektör metodu

Kolektör metodu kayalar, toprak, sediment ve sular gibi çevresel örneklerin radyum ve radon içeriğinin tespiti için geliştirilmiş bir yöntemdir (Kumru, 1992).

Bu yöntemin kökeni ilk defa 1912 yılında Rutherford tarafından yapılmış ilginç bir deneye dayanmaktadır. Rutherford bu deneyinde içinde Radium çözeltisi bulunan büyükçe bir tank içine küçük bir tel parçası asmıştır ve bu tankı birkaç günlük bir süre sıkıca kapalı tutmuştur. Böylece radyumun bozunumundan oluşan radon gazının tank içinde kalmasını sağlamıştır. Rutherford bu süreç sonunda küçük tel parçası üzerindeki alfa aktivitesinin önemli ölçüde yüksek olduğunu tespit etmiştir. Böylece radon emanasyonunun kendiliğinden oluştuğunu ve radonun bozunmasından oluşan kısa ömürlü ürünlerin tel üzerinde aktif olarak depolandığını göstermiştir (Öznur, 1993).

Kolektör sisteminin basitleştirilmiş şeması Şekil 2.9’da gösterilmiştir. Sistemin optimum koşullarının belirlenmesi Kumru ve Öznur tarafından yapılan bir çalışmada kolektör plakasının tipi, çapı, kolektör odasının hacmi ve uygulanan voltaj parametreleri incelenmiştir. Yapılan bu çalışma sonucunda kolektör plakası olarak 4,5 cm çapında bakır levha kullanıldığında, kolektör odası 2,47 L hacminde seçildiğinde ve uygulanan voltaj 600 V olduğunda optimum koşulların elde edildiği saptanmıştır (Kumru and Öznur, 1994; Öznur, 1993).



Şekil 2.9 Kolektör sisteminin şematik gösterimi.

Sular için yapılan örnekleme ve ölçüm işleminde kullanılan radon şişeleri, alınan su örnekleri içindeki radon gazının taşıyıcı bir gaz yardımı ile ortamdan uzaklaştırılmasını sağlayacak biçimde tasarlanmıştır. Kullanılan taşıyıcı gazın ölçüm sonuçlarını etkilememesi için içeriğinde radon bulunmaması gerekmektedir. Bu sistemde taşıyıcı gaz olarak en az bir ay (radonun yarı ömrünün yaklaşık 8 katı) süreyle bekletilmiş hava kullanılır. Bu süre sonunda tüp içindeki sıkıştırılmış havada bulunan radon gazı bozularak sınır düzeye iner ve ölçüm sonuçlarının olumsuz yönde etkilenmesi önlenmiş olur.

Sistem topraktaki radon konsantrasyonunu belirlemek için de kullanılabilir. Bunun için ölçümü yapılacak toprak örnekleri 10 ml HCl ile karıştırılarak radon şişesine koyulur. Daha sonra radon şişesine bu karışımı 100 ml'ye tamamlayacak şekilde saf su ilave edilir (Öznur, 1993). Bu şekilde hazırlanan örnekler kolektör sistemine yerleştirilerek sularda yapılan ölçümler için uygulanan işlemler aynen tekrarlanır.

Radon ve ürünlerinin plaka üzerinde toplanması

Kolektör odasında bulunan radon atomları alfa radyasyonu yayınlayarak daha kısa ömürlü bozunum ürünleri oluşturur. Radonun bozunum ürünleri normal koşullarda gaz değil, katıdır. İlk ürün RaA (Po-218) elementidir. RaA, radon gibi asal bir gaz değildir ve kolaylıkla valans elektronu kaybedebilir veya kazanabilir. Hatta tam vakum olmamış bir kap içinde oksijenle birleşmesi bile mümkündür. Ancak RaA atomu termoiyonik olarak iyonize olsa bile, radondan oluşumu sırasında yayınlana alfa taneciklerinin etkisi ile valans elektronlarından bir kısmını kaybeder ve kuvvetlice iyonize olur. Alfa parçacıkları çift pozitif yüklü oldukları için atoma daha zayıf bağlanan dış kabuk valans elektronlarını kolayca kopartıp sürükler. Böylece RaA atomları kolayca fiziksel olaylara ve kimyasal reaksiyonlara karışır. RaA atomlarının pozitif iyon olarak oluşması hava içinde bulunan diğer tanecik ve aerosollere absorpsiyonunu kolaylaştırır (Öznur, 1993).

Daha sonra ardışık bozunmalar ile oluşan RaB, RaC, RaC¹ ve diğer bozunum ürünleri de aynı şekilde pozitif iyonize olurlar. Bu durumda uygulanacak bir elektrik alan ile radon ve ürünlerine ekstra hareket kazandırılır. Böylece kolektör odasında oluşan bütün radon bozunum ürünleri iletken bir yüzeyde yani kolektör plakasında toplanır (Öznur, 1993).

3. LİTERATÜR ÖZETİ

Son yıllarda, radona bağlı sağlık riski ile ilgili endişeler dünya çapında yaygınlaşmıştır. Tarihte radonun zararlı etkisi madenciler arasında akciğer kanserinin sık görülmesi ile ortaya çıkmıştır. Günümüzde radon ev ve işyerlerinde de dikkate alınması gereken değerlerde olabilir. İnsanlar evlerinde işyerlerinde geçirdikleri vaktin 2,5 katı kadar vakit geçirmelerine rağmen işyerlerinin konumuna bağlı olarak yüksek radon gazı konsantrasyonuna maruz kalabilirler. Bebekler ve çocuklar yetişkinlere göre radona maruz kalmada daha hassas oldukları için bazı ülkelerde okullar ve kreşler için farklı düzeylerde limit değerler belirlenmiştir. Mesela, İrlanda'da önerilen referans seviye işyerleri için 200 Bq/m^3 iken okullarda bu seviye 150 Bq/m^3 tür. İsrail'de önerilen referans seviye işyerleri için 400 Bq/m^3 iken okullar ve anaokulları için 200 Bq/m^3 tür. Radon seviyeleri, sıcaklık, hava basıncı, mevsimsel değişiklikler gibi birçok faktörden etkilenmektedir. Havalandırma radon konsantrasyonunu etkileyen önemli bir unsurdur.

Yarar ve arkadaşları (2005) tarafından yapılan bir araştırmada, Tekirdağ şehri ve Dikili Jeotermal bölgesinden alınan su örneklerindeki radyum düzeyleri incelenmiştir. Örnekler, kuyulardan, belediye içme suyu şebekesinden ve ılıcalardan sağlanmıştır. Elde edilen verilere göre, tüm su örneklerinde saptanan radyum miktarlarının USEPA (Amerika Birleşik Devletler Çevresel Korunum Ajansı) tarafından belirlenen 11 Bq/L düzeyini aşmadığı ortaya çıkmıştır.

Ereeş ve arkadaşlarının (2006) termal açıdan Türkiye'nin en zengin bölgesi olan Batı Anadolu'da yaptıkları çalışmada Edremit, Bergama, Gediz, Büyük Menderes grabenleri ve Denizli'de jeotermal sularda periyodik olarak aylık radon, radyum konsantrasyonunu ölçmüşler ve radon konsantrasyonunu $0,14\text{-}5,77 \text{ Bq/L}$, radyum konsantrasyonunu $0,12\text{-}0,7 \text{ Bq/L}$ olarak bulmuşlardır.

Yine Ereeş ve arkadaşlarının (2007) yaptığı bir çalışmada Ereeş (1997) ve arkadaşları, Ege bölgesi termal sularından aldıkları 40 adet termal su örneğinde radon konsantrasyonlarının 6.93 ile 78.62 pCi/L , radyum konsantrasyonlarının ise 3.20 ile 18.39 pCi/L arasında değiştiğini gözlemişlerdir.

Horvath ve arkadaşlarının (2000), Venezuela'nın kuzey bölgesinde yer alan termal su kaynaklarında Ra-222 ölçümleri yapmışlardır. Araştırma konusu su kaynaklarında $1\text{--}560 \text{ Bq/L}$ arasında değişen miktarlarda radon bulunduğu

belirtilerek radon miktarının, jeolojik yapı ve sulardaki uranyum ile ilintili olduğu rapor edilmiştir. Örneğin, yüksek sıcaklıkta granit kayalarının arasından çıkan ve yüksek düzeyde uranyum içeren Castano termal sularında 360 Bq/L radon ölçülürken, volkanik kayalardan çıkan, düşük uranyum içeren ve nispeten düşük sıcaklıktaki San Juan de los Morros termalindeki radon miktarı 1 Bq/L bulunmuştur. Ayrıca yazarlar Venezuela'nın tüm bölgelerinde 6 araştırma ekibinin çevresel radyasyon ve insan sağlığına etkilerini araştırmaya aktif olarak devam ettiklerini belirtmişlerdir.

Nikolopoulos ve arkadaşlarının (2010) Yunanistan' da Loutraki bölgesinde iki farklı termal kaynaktan yaptıkları çalışmada, bir yıl boyunca periyodik olarak her ay jeotermal sularda radon konsantrasyonunu ölçmüşler ve radon konsantrasyonlarının 54-297 Bq/L arasında değiştiğini belirlemişlerdir. Sulardaki yüksek radon konsantrasyonlarının termal tesis çalışanlarına zararı olmasının yanı sıra bu termal tesisleri kısa aralıklarla tedavi için ziyaret eden turistlerin pozitif sonuçlarla evlerine döndüklerini gözlemlemişlerdir.

Florou ve arkadaşları (2006), Ege denizinin doğusunda olan Yunanistan'a ait, Ikaria adasındaki jeotermal kaynaklarda ^{238}U , ^{226}Ra ve ^{222}Rn analizleri yapmışlardır. Elde edilen verilerin literatürdeki miktarlarla uyum gösterdiğini fakat Yunanistan'da bulunan diğer jeotermal kaynaklara göre daha yüksek olduğu ileri süren araştırmacılar, içilebilir kaynaklardan insanların aldıkları doz oranlarını ve çevre sağlığına etkilerini de rapor etmişlerdir.

Saç ve arkadaşları, termal kaynaklar açısından zengin bir bölge olan Batı Anadolu'da Denizli ilinde radon konsantrasyonu ve deprem arasındaki ilişkiyi anlamak için yaptıkları bir çalışmada Mayıs-Aralık 2000 tarihleri arasında termal sularda radon konsantrasyonunu ölçmüşlerdir. Jeotermal sularda radon konsantrasyonunu belirlemek için kolektör metodu kullanılmış ve değerler 0.67-25.90 kBq/m³ olarak bulunmuştur (Saç, 2007).

Song ve arkadaşları Çin' in Guangdong bölgesinde dört farklı kaplıcada bina içi ve jeotermal sularda radon ölçümü yapmışlardır. Jeotermal sularda radon konsantrasyonunu 53,4-292,5 Bq/L, bina içi radon konsantrasyonu 17,2-190,9 Bq/m³ olarak tespit etmişlerdir. Bir kaplıcada radon konsantrasyonunun uluslararası kuruluşlarca verilen limitlerin üstünde olduğunu saptamışlar ve bu kaplıcada çalışanların radona bağlı sağlık riski taşıdığını söylemişlerdir (Song, 2005).

Vogiannis ve arkadaşları Yunanistan' ın Lesvos Adası'nda 1999 yılının yazından başlayıp 2002 yılının yazına kadar beş termal tesiste sulara ve termal tesislerde bina içi radon konsantrasyonunu ölçmüşlerdir. Jeotermal sulara radon konsantrasyonunu 10-304 Bq/L, termal tesislerde bina içi radon konsantrasyonunu 224-1100 Bq/m³ olarak bulmuşlardır (Vogiannis, 2004).

Manic ve arkadaşları Sırbistan'da termal bir alan olan NiskaBanja'da içinde bir okul ve termal tesisin olduğu toplam 201 odada Mart-Haziran 2000 tarihleri arasında bina içi radon konsantrasyonunu ölçmüşlerdir. Radon konsantrasyonu okuldaki sınıflarda ortalama 45 Bq/m³ iken çalışma alanlarında radon konsantrasyonu 800 Bq/m³ e kadar çıkmıştır. Termal tesislerde ise radon konsantrasyonu 200-1320 Bq/m³ arasında değişmektedir. NiskaBanja'da yapılan bu çalışmada radon konsantrasyonunun %50'sinden fazlası uluslararası kuruluşlarca verilen limit değerlerin üstünde çıkmıştır (Manic, 2006).

Ciolini ve arkadaşı jeotermal bir bölge olan Tuscany-İtalya'da yaptığı bir çalışmada iki okulda bina içi radon konsantrasyonunu altı ay boyunca (Ocak-Haziran) katı hal iz kazıma dedektörü kullanarak ölçmüşlerdir. Tuscany'de iki farklı bölgede yapılan ölçümlerde radon konsantrasyonları 21-183 Bq/m³ arasında bulunmuştur. Bulunan değerler uluslararası kuruluşlarca verilen limit değerlerin altında olduğu için okul çalışanları ve öğrencilerin sağlık riski taşımadığını belirtmişlerdir (Ciolini, 2010).

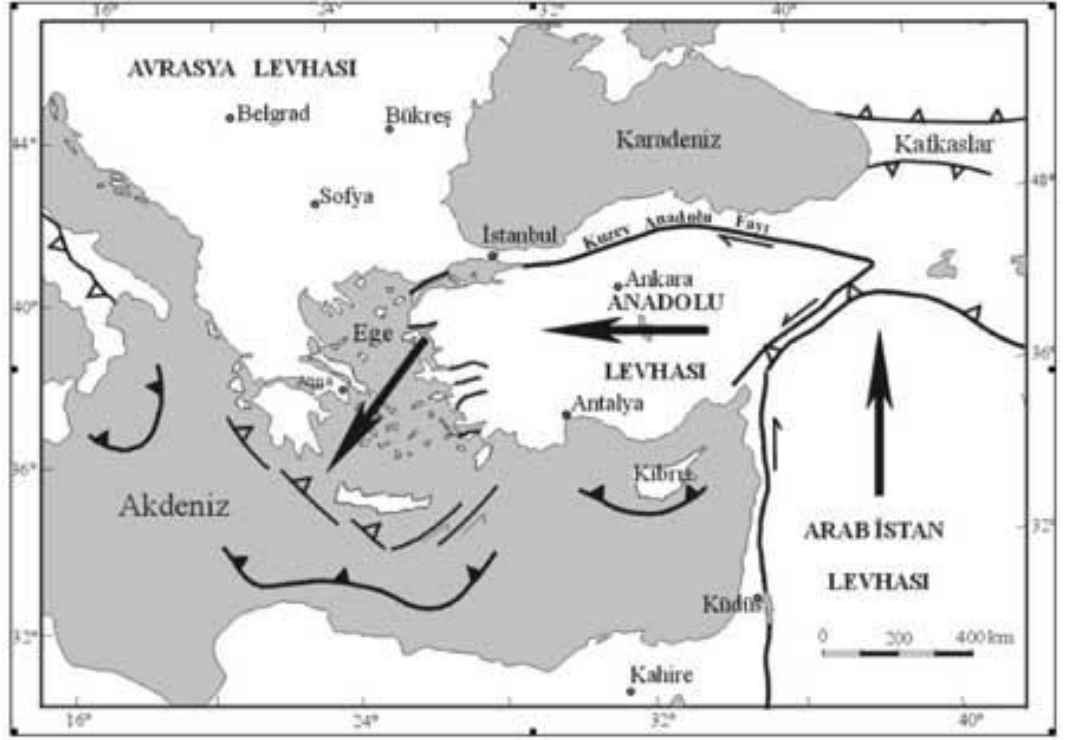
4.MATERYAL VE METOD

4.1 Jeolojik Yapı

4.1.1 Batı Anadolu'nun Neotektoniği

Bölgedeki aktif tektonik yapılar doğrultu atımlı ve normal faylardan oluşur. Diri faylar D-B, KD-GB, K-G ve KB-GD doğrultusunda uzanırlar. Bölgesel olarak K-G yönlü açılmalı tektonik rejim Anadolu genelinde izlenen neotektonizmanın bir sonucudur. Türkiye'de neotektonizmanın Orta-Üst Miyosen'de Doğu Anadolu'da Arap-Afrika levhaları ile Avrasya levhaları arasında gerçekleşen kıta-kıta çarpışması sonucu başlamış olduğu bilinir ve neotektonizma bu çarpışma sonucu ortaya çıkan Anadolu levhasının Kuzey ve Doğu Anadolu transform fayları boyunca batıya doğru kaçması şeklinde cereyan eden tektonik olaylar dizisini içerir. Normal fayların D-B genel gidişlidir. Doğrultu atımlı faylardan çoğunluğu sağ yönlü olup K-G, KD-GB ve KB-GD genel doğrultuludurlar.

İzmir doğusundaki faylar Gediz graben sistemi içerisinde yer alırlar. Bu graben batısında İzmir fayı hariç haritalanan fayların tamamına yakını doğrultu atımlı veya doğrultu atımı baskın oblik faylardır. Fayların niteliği ve bölgesel dağılımı Gediz grabeni batısında doğrultu atımlı deformasyonun egemen olduğunu gösterir. Doğrultu atımlı faylardan bir kısmı Gediz grabeninin batı ucundaki sönümlenmeyi sağlayan transfer yapılarıdır (MTA, 2005). Bölgedeki diri faylar boyunca yoğun bir sismisite izlenir. Tarihsel ve aletsel dönem kayıtları haritalanan fayların çok sayıda depreme kaynaklık ettiğini göstermektedir. Son yüzyılda meydana gelmiş depremlerdeki deprem büyüklüğü-yüzey faylanması uzunluğu açısından yapılan bölgesel deneştirmeler İzmir yöresinde uzunlukları 15 km'nin üzerinde olan normal fayların şiddeti 6 ve daha büyük, 30-35 km'den daha uzun doğrultu atımlı fayların ise şiddeti 6,5 ve daha büyük depremlere kaynaklık edebileceğine yorumlanmıştır. Kentsel yerleşmeleri kateden faylardan kaynaklanabilecek büyük depremlerde gelişebilecek yüzey faylanmalarının oluşturacağı fiziksel deformasyonların fay zonları boyunca hasarlara neden olması beklenir. Tavan bloğunda yer alması nedeniyle İzmir körfezi çevresindeki kıyılar İzmir fayından kaynaklanabilecek depremlerde yanal yayılmanın potansiyeli en yüksek alanlardır. Batı Anadolu neotektonizması açılmalı tektonik rejimle temsil edilir. Bölgesel olarak K-G yönlü açılmalı tektonik rejim Anadolu genelinde izlenen neotektonizmanın bir sonucudur (MTA, 2005).



Şekil 4.1 Türkiye'nin basitleştirilmiş tektonik haritası
(www.sayisalgrafik.com.tr/deprem, 2012)

Türkiye’de neotektonizmanın Orta-Üst Miyosen’de Doğu Anadolu’da Arap-Afrika levhaları ile Avrasya levhaları arasında gerçekleşen kıta-kıta çarpışması sonucu başlamış olduğu bilinir ve neotektonizma bu çarpışma sonucu ortaya çıkan Anadolu levhasının Kuzey ve Doğu Anadolu transform fayları boyunca batıya doğru kaçması şeklinde ortaya çıkan tektonik olaylar dizisini içerir. Küçük menderes ovasının Menderes masifi çekirdeği erozyonel süreçlerle deşilmesi sonucu şekillenmiştir (MTA, 2005).

4.1.2 Çalışma Bölgesinin Jeolojik Özellikleri

Bayındır jeotermal sistemi Batı Anadolu'nun Menderes masifi içinde Küçük Menderes grabeninin kuzeyinde yer alır. Triyas yaşlı metamorfik formasyonlar içinde bulunan kalkıştı ve mermerler jeotermal sistemin rezervuar kayaçlarıdır. Sistem aktif graben fayları ile kontrol edilir. Saha düşük entalpili olup suların yüzeye çıkış sıcaklığı 42-46 °C dir. Kimyasal jeotermometre uygulamalarına göre hazne kaya sıcaklığı 55-118 °C arasındadır. Kimyasal ve izotopik veriler jeotermal suların meteorik kökenli, sık dolaşım ve soğuk yeraltı suları ile karıştığını göstermektedir. Jeotermal sular $\text{Na} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{K}$ ve $\text{HCO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl}$, çevredeki soğuksular $\text{Ca} > \text{Mg} > \text{Na} > \text{K}$ ve $\text{HCO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl}$ kimyasal bileşimindedir (Bulut ve Filiz, 2005).

Batı Anadolu'da Küçük Menderes havzasının kuzeyinde yer alan Bayındır düşük entalpilidir. Bayındır jeotermal suları termal turizm ve sağlık amaçlı (deri ve romatizma hastalıkları, kadın hastalıkları) kullanılmaktadır. Batı Anadolu'da çok geniş bir masif olan Menderes masifi yüzeylenir. Bu masif Prekambriyen yaşlı bir çekirdek ile Paleozoyik ve Alt Mesozoyik yaşlı örtü serilerinden oluşur (İzdar, 1975). Çekirdek kayaları başlıca yüksek dereceli metamorfik gözlü gnayslardan yapılıdır. Örtü kayaları şist zarfı ve mermer zarfı olmak üzere iki birimden oluşur. Bu istifte metamorfizma derecesi güneyden kuzeye doğru artar (Bozkurt, 1996). Menderes masifinde bazik volkanizmaya Kula, Kiraz ve Söke yörelerinde rastlanılmaktadır. Masifin grabenzonları içinde saptanan zengin jeotermal kaynaklar, volkanik aktivitenin günümüzde de sürdüğünü göstermektedir (Dora ve diğerleri, 1992). Menderes masifinde aktif rift zonlardaki fay sistemleri meteorik suların derin dolaşımını sağlarlar. Bu rift zonlarında jeotermal gradyan yüksek olup, genç sub volkanik aktiviteler bu suları ısıtmaktadır (Özgür ve Pekdeğer, 1995). Selçuk-Bayındır bölgesinin güneybatı bölümünü Menderes metamorfikleri oluşturur. Menderes metamorfikleri eksenî KD-GB uzanımlı, GB' ye dalımlı bir antiklinal yapısı sunar ve bu yapı boyunca çok kalın bir metamorfik istif yüzeyler. Bayındır formasyonu olarak isimlendirilen Triyas yaşlı bu birim yaygın olarak tekdüze mikaşistler, muskovit ve biyotit şistler, granatlı mikaşistler ve kuvars mikaşistlerden meydana gelmiştir. Mikaşistlerin içerisinde ince mermer mercikleri bulunur. Birimin üzerine düşey ve yanal yönde geçişli bir dokanakla, alt düzeylerinde mikaşist ve mermer ardalanması, üst düzeylerinde ise dolomitik mermerlerden yapıları Kaya altı formasyonu gelir. Bu dereceli geçişin Bayındır çevresinde birkaç kilometre kalınlıkta olduğu ifade edilmiştir (Erdoğan ve Güngör, 1992). Batı Anadolu K-G yönlü bir gerilmeye uğramaktadır. Buna bağlı olarak bölge 3-6 cm/yıl genişlemektedir. Bunun sonucunda, bölgenin jeolojisinde egemen yapı unsurları olarak D-B gidişli grabenler gelişmektedir. Bu grabenler, kenarlarından normal faylarla sınırlıdır. Grabenlerin kenar fay zonları 100-150 km devamlılık göstermekle birlikte; bu zon, uzunlukları çoğunlukla 8-10 km'yi geçmeyen kısa faylardan oluşmuş bir fay demeti halindedir. Bu fayların üzerinde, sürekli bir sismik aktivite kaydedilmektedir (Yılmaz, 2000). Batı Anadolu'daki jeotermal aktiviteler çoğunlukla bu graben sistemleri içerisinde yer almışlardır. Büyük Menderes, Gediz, Simav, Bakırçay, İzmir, Gönen ve Edremit çevresinde 123 sıcak su kaynağı ve 36 jeotermal saha tanımlanmıştır (MTA, 1980; Şimşek, 2002). Çalışma sahasında yukarıda özellikleri kısaca özetlenen Menderes masifine ait çekirdek ve örtü kayaları yüzeylenir. Çekirdek kayalar şisti gnayslarla temsil edilir. Örtü kayaları mikaşist, kuvarşist, kloritşist, kalkşistlerden oluşur.

Kalkışistler içerisinde yanal devamlılığı olmayan girift halde mermer ara seviyeleri bulunur. Ayrıca bu metamorfikler içinde kuvarsitler bantlar halinde yer alır. Sahada görülen bu örtü metamorfik kayalar birbiri ile girift olarak bulunur ve Bayındır formasyonu içerisinde yer alırlar. Çekirdek kayaları örtü kayaları üzerine itilmişlerdir. İnceleme alanının en genç oluşukları grabenin kenarlarında yeralan yamaç molozları ve Küçük Menderes havzasındaki alüvyonlardır. Sahadaki mikaşistlerle genellikle ince orta katmanlı, kalkışist ve mermerler orta kalın katmanlı bir yapı sunarlar. Hakim şistozite ve katmanlanma duruşları K75D/45GD dur. Oldukça çatlaklı bir yapıya sahip olan bu kayalarda hakim çatlak sistemi DKD-BGB ve KKD-GGB doğrultuludur (Bulut ve Filiz, 2005).

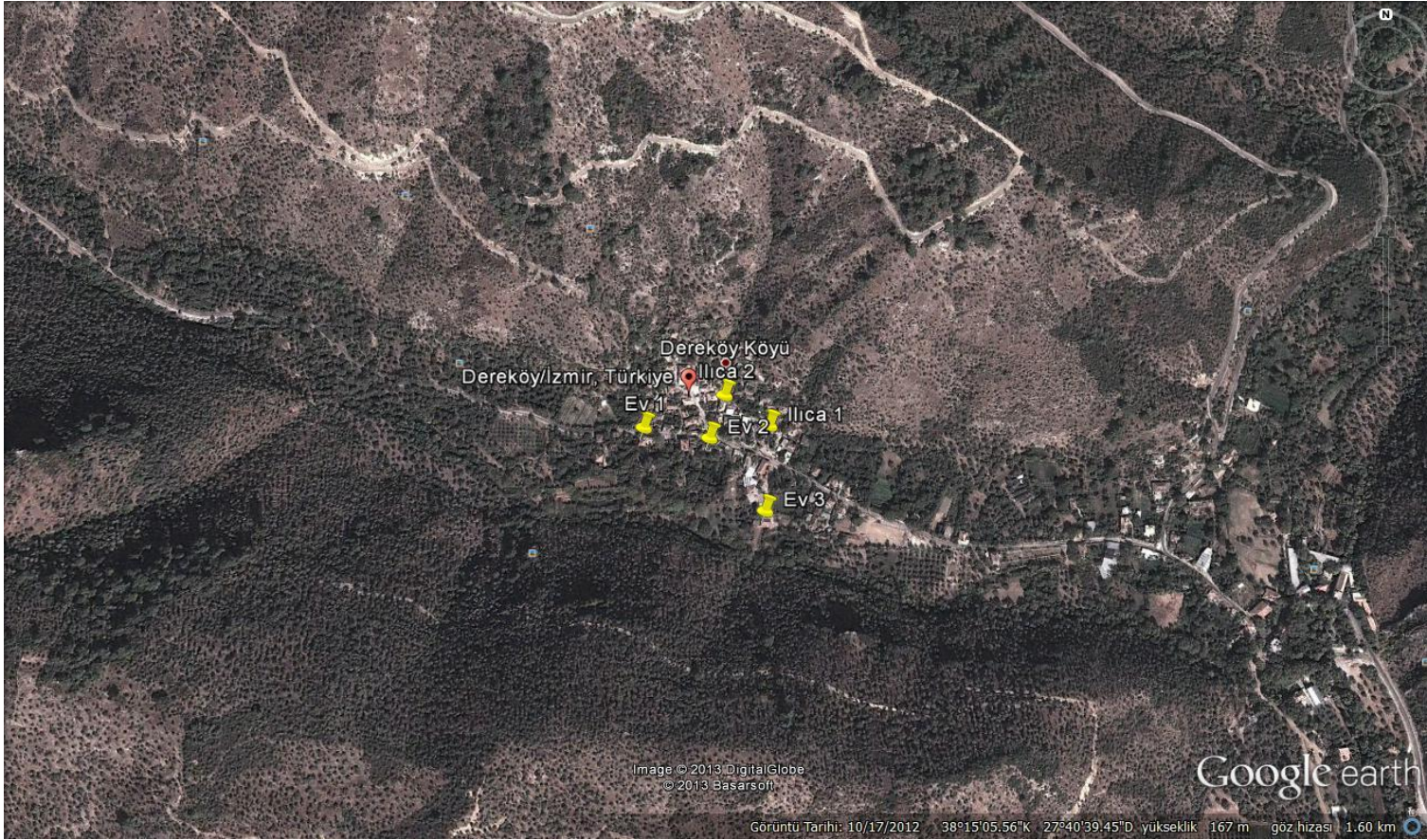
Çalışma sahası, Bayındır (İzmir) ilçesinin yaklaşık 14 km kuzeydoğusunda Küçük Menderes grabeninin kuzey kenarında Dereköy mevkiindeki kaplıcaları kapsamaktadır.

4.2 Arazi Etüt Çalışmaları

Arazi etüt çalışmalarıyla bölgede yer alan iki ılıca ve bunların çevresindeki evler örnekleme istasyonları olarak seçilmiştir.



Şekil 4.2 Çalışma alanının Türkiye haritası üzerindeki gösterimi



Şekil4.3 Çalışma alanının konumu (Google earth, 2012)



Şekil 4.4 İlçe 1



Şekil 4.5 İlçe 2



Şekil 4.6 Ilıcılardan çıkan fazla suyun verildiği dere



Şekil 4.7 Bina içi radon ölçümünün alındığı yerler

4.3 Radon ve Radyum Ölçüm Yöntemleri

Bu çalışmada bina içi gazı radon konsantrasyonlarını belirlemek için katı hal iz kazıma dedektörleri (LR-115 alfa duyarlı filmler), jeotermal suların radon konsantrasyonlarını belirlemek için ise kolektör metodu kullanılmıştır.

4.3.1 Katı hal nükleer iz kazıma dedektör metodu

Bina içi radon konsantrasyonları katı hal nükleer iz kazıma dedektör metodu ile belirlendi. Ölçümlerde dedektör olarak Kodak LR-115 Tip-II katı hal nükleer iz kazıma dedektörü kullanıldı. Her arazi çalışmasında filmler aylık olarak yenileri ile değiştirildi.

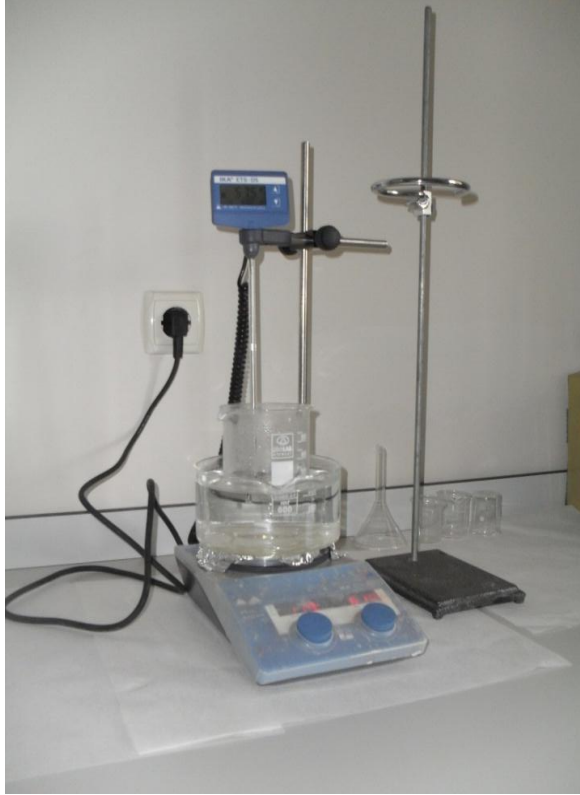
LR-115 Tip 2 nükleer iz kazıma dedektörleri 1cm X 1cm boyutunda kesildi ve filmleri dış etkilerden ve tozdan korumak için koruyucu kaplara kondu. Daha sonrakoruyucu kapların altı toron girişini engelleyen cam yünü membran ile kaplandı.



Şekil4.8 LR-115'in binalara asılma şekli

Aylık periyodlar halinde yapılan arazi çalışmalarında, bir önceki arazi çalışmasında Ilıca 1, Ilıca 2 ve çevresindeki binalara yerleştirilen filmler toplanarak yerlerine yenileri konuldu. Toplanan filmler laboratuara getirilerek

üzerlerindeki alfa izlerinin mikroskop altında görülebilmesi için kimyasal iz kazıma işlemine tabi tutuldu. Bu işlemde filmler 60 °C sıcaklıkta 2,5 N'lik (% 10) NaOH çözeltisi içinde 90 dakika boyunca banyo edildi. Banyo işleminde sıcaklığın sabit tutulabilmesi önemli olduğundan banyo işlemi $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ duyarlılığa sahip dijital termostatl ısıtıcı kullanılarak yapıldı. Banyo işleminin ardından filmler saf su içinde 10 dakika bekletildi. Kurutulan filmlerin üzerindeki izler yarı otomatik sayım sistemi (Arias ve ark, 2005) ile belirlendi. Bu sistem üç aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada mikroskop altında görüntülerin fotoğrafı çekilmiştir.

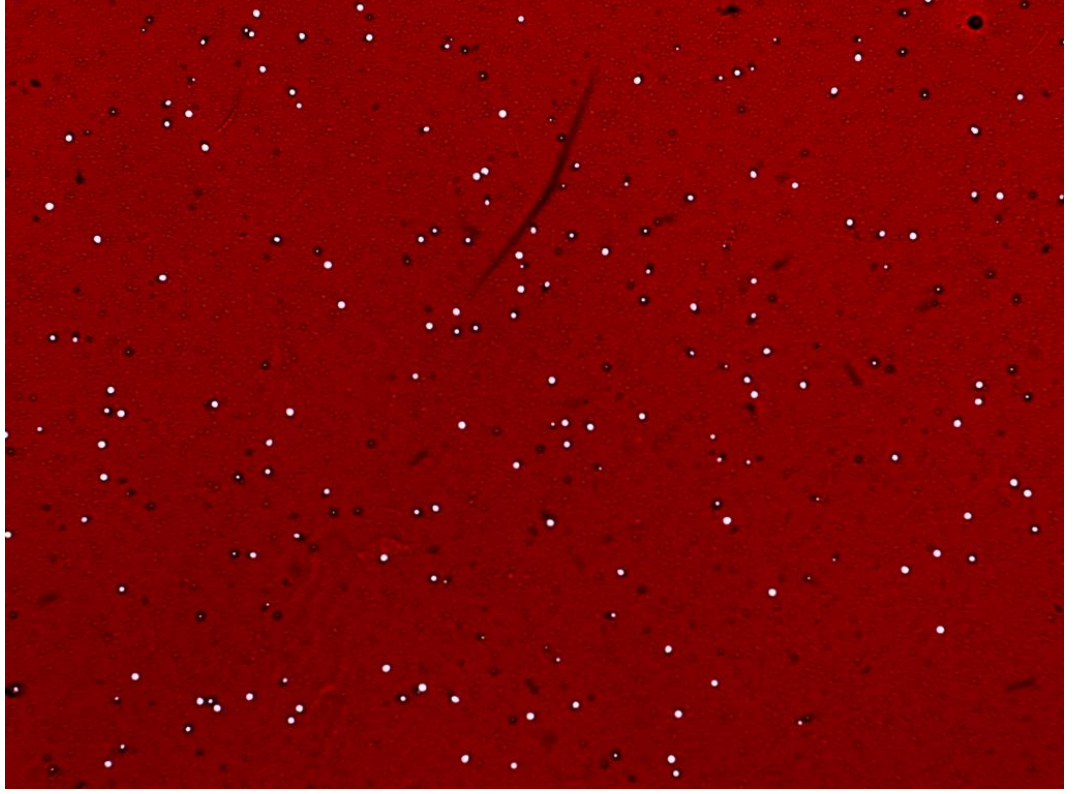


Şekil 4.9 Filmlerin banyo edilmesi

Filmlerin kalibrasyonu

Çalışmada LR-115 dedektörlerdeki alfa iz yoğunlukları ($\text{iz cm}^{-2} \text{gün}^{-1}$) ^{226}Ra standardı kullanılarak gerçekleştirilen kalibrasyon çalışması (Cherouati et al., 1988) sonucu elde edilen kalibrasyon sabiti ile aktiviteye (Bq m^{-3}) çevrilmiştir. Çalışmada 5 farklı aktivitede (10, 20, 30, 40 ve 50 Bq) sıvı radyum standardı 2000 cm^3 hacmindeki cam kaplara damlatılmış ve içerisine dedektör yerleştirilen kaplar hava almayacak şekilde kapatılmıştır. Dedektörler 21 gün süre ile bekletildikten sonra çıkarılmıştır. Daha sonra dedektörlerdeki iz yoğunluğu belirlenerek verilen

aktivitelere karşı kalibrasyon eğrisi çizilmiştir. Elde edilen eğrinin denkleminde kalibrasyon katsayısı $0,0217 \text{ kBq m}^{-3}/\text{iz cm}^{-2} \text{ gün}^{-1}$ olarak bulunmuştur (İçhedef, 2011).



Şekil 4.10 Banyo işleminden sonra mikroskop altında alfa izlerinin görüntüsü

Film üzerindeki farklı alanlarda seçilen kareler (1mm X 1mm alana sahip) üzerindeki izler sayılarak ortalaması alındı ve daha sonra bu ortalama sayım 100 ile çarpılarak film yüzeyindeki (1cm X 1cm alan içindeki) toplam iz yoğunluğu iz/cm^2 olarak elde edildi.

Mikroskopta fotoğrafı çekilen farklı alanlar yaygın olarak kullanılan bir görüntü ve resim işleme yazılımı olan Corel PaintShop Photo Pro X3 ile rötuşlanmıştır. Yazılımın kurulması ve açılmasından sonra sol üst köşede yer alan File (Dosya) sekmesinden Open (Aç) alt sekmesi seçilerek istenilen dosya (jpeg dosyası/görüntüsü) seçilir. Dosya ekranda açıldıktan sonra sağ üst köşedeki Full Editör Sekmesi açılır. Bu sekmenin açılmasıyla seçilen görüntüye uygulanacak işlemler aşağıdaki sıra ile takip edilmiştir.

- **Keskinlik (Sharpen More):** Bitişik pikseller arasındaki karışıklığın (contrast) artırılması sağlanır. Keskinlik ayarı için ekranın üstünde

yer alan ana sekme grubundan Adjust ana sekmesi seçilir. Açılan listeden Sharpness sekmesinden Sharpen More seçilerek işlem tamamlanır.

- **Yumuşaklık (Soften More):** Anlamlı renk geçişleri olan alanlar ve iz kenarındaki ortalama piksellerin karşıtlığının ayarlanması ve geçişlerin parlatılması sağlanır. Sharpen More işlemine benzer 7olarak sırasıyla Adjust-Softness-Soften More seçilerek işlem uygulanır.
- **Eşik Ayarlama (Threshold):** Siyah-beyaz imaj yaratmak için kullanılmaktadır. Az gelişmiş izleri hariç tutmak için eşik tercihi 200 seviyesi seçilmiştir. Eşik ayarlama için Adjust-Brightness and Contrast-Threshold sekmesi seçilir.
- **BMP olarak Kaydetme:** Fotoğraf üzerinde yukarıdaki işlemler sırasıyla uygulandıktan sonra elde edilen görüntü siyah ve beyaz olarak elde edilir. Bu görüntü .bmp (bitmap) olarak kaydedilir (İçhedef, 2011).

Çalışmada çok fazla dosyaya aynı işlem uygulandığı için işlemler çoklu işlem seçeneğiyle kullanılarak kolaylaştırılmıştır. Kaydetme işleminden sonra çoklu işlem uygulaması için Full Editör sekmesinden ekranın sağ üst köşesinde yer alan Organize butonu ile çıkılır. Açılan ekranın alt kısmı Thumbnail bölümünde işlem uygulanan diğer dosyalar görünmektedir. Burada bmp olarak kaydedilen dosya sol altta yer alan Capture Editing ile işaretlenir. Daha sonra işlenecek dosyalar seçilir ve Apply Editing butonuna tıklanarak tüm dosyalara aynı işlem uygulanır. Rötuşlanan dosyalar Full Editör tekrar açılarak birer birer kaydedilir.



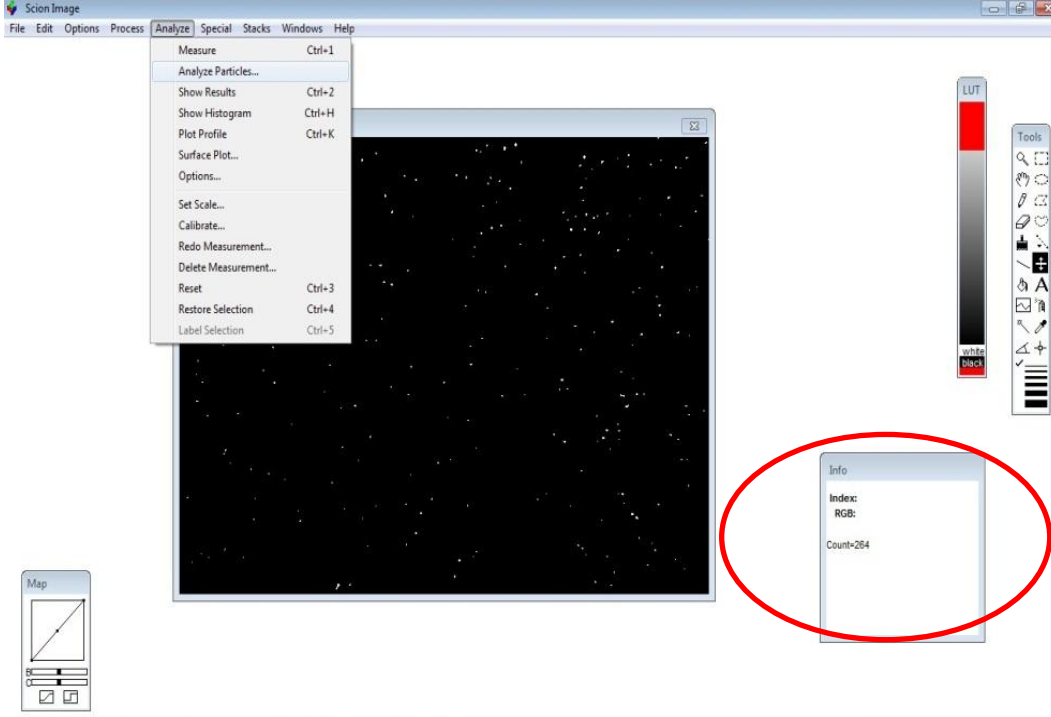
Şekil 4.11 Fotoğrafın Corel Paint Shop yazılımıyla dönüştürülmüş hali

İzlerin belirlenmesi ve iz dışındaki gürültülerin giderilmesi resim işleme yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Daha sonra dedektörlerdeki iz yoğunluğu ticari olarak bakteri sayımında kullanılan “SCION” yazılımı kullanılarak tayin edilmiştir. Scion Image Analyser yazılımı Arias ve arkadaşları (2005) tarafından ^{222}Rn ve ürünlerinden yayınlanan alfa izlerinin sayımına adapte edilmiştir. Bu yazılıma internet üzerinden ücretsiz olarak erişilebilmektedir.

Bu yazılımla;

- “Processes” altındaki “Aritmetic” menüsünde “Add” konumu aktif hale getirilir. Bu pencerede varsayılan değer kullanılır. Böylece iz görüntüsünün her pikseline 25 sabiti eklenir.
- “Options” menüsünden “Density Slicing” aktifleştirilir. LUT penceresinde pozisyon ve boyut sekmesi kullanılarak tüm izler kırmızı olana kadar değiştirilir.
- İzlerin sayılması ve ölçülmesi için “Analysis” menüsünden “Analyze Particle” aktifleştirilir.
- Bu işlemler sonunda ekranın sağ alt köşesinde yer alan Info penceresi içinde alanda sayılan iz sayısı görünmektedir. Burada yazılım, incelenen bmp görüntü üzerindeki iz sayısını vermektedir. Çalışmada mikroskobun

100X büyütme objektifi kullanarak farklı alanlar fotoğraflanmıştır. Mikroskop tarafından 1,2838 mm² büyüklüğünde alanlar görüntülenmektedir. Elde edilen iz sayıları birim alandaki (iz cm⁻²) iz yoğunluğuna dönüştürülmüştür (İçhedef, 2011).



Şekil 4.12 Scion yazılımı kullanılarak iz yoğunluğunun belirlenmesi

4.3.2 Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri

İnsanlar dışarıdan, yediği ve içtiği gıdalardan yada soluduğu havada bulunan değişik radyonüklitlerden yayınlanan ışınlardan dolayı değişik radyasyon kaynaklarına maruz kalırlar. Yıllık etkin doz eşdeğeri, insanların bir yıl boyunca alacağı radyasyon dozu olarak tanımlanır. Yıllık etkin eşdeğer doz birimi Sievert'tir. Yıllık etkin doz eşdeğerinin hesaplanmasında her radyonüklidin yayınladığı radyasyon tipi ve enerjisi kullanılır ve her radyonüklit için birim aktivite başına yayınladığı radyasyon doz dönüşüm faktörleri belirlenir. Birim hacim veya birim ağırlık başına tespit edilen aktivite konsantrasyonu ile doz dönüşüm faktörleri çarpılarak yıllık etkin doz eşdeğeri bulunur (Değerlier, 2007).

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

Yıllık etkin dozun %82'si doğal radyasyon kaynaklarından ve radondan ileri gelir. Diğer %18'lik kısmı ise çoğunlukla tıbbi teşhis ve tedavilerden %1'den daha azı ise nükleer güç ve parçalanmalardan ileri gelir.

4.3.3 Kolektör Metodu

Sulardaki radon ve radyum konsantrasyonu Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü tarafından geliştirilen kolektör yöntemi kullanılarak belirlenmiştir.

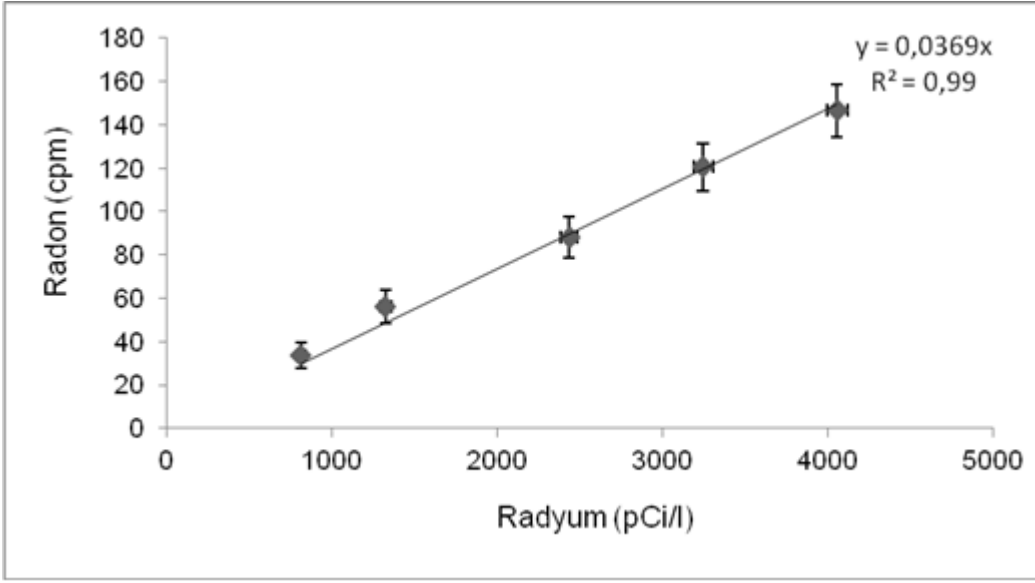
Arazi çalışmalarımızda jeotermal su kaynaklarından 200 ml'lik özel üretim radon şişeleri ile aylık olarak örnekler alınmıştır. Kullanılan radon şişeleri, alınan su örnekleri içindeki radon gazının taşıyıcı bir gaz yardımı ile ortamdan uzaklaştırılmasını sağlayacak biçimde tasarlanmıştır. Bu sistemde taşıyıcı gaz olarak 1 ay süreyle bekletilmiş hava kullanılmıştır. Arazi çalışmalarının ardından laboratuara getirilen radon şişelerinin bir ucu bir ay süreyle bekletilmiş hava içeren tüpe, diğer ucu ise kolektör odasına bağlanır. Kolektör odası, ortasına kolektör plakası (bir tarafı yalıtılmış bakır levha) bağlanmış, çelik bir kaptır. Radon şişesinin vanaları kapalı konumda iken kolektör odasının vanası açılarak sistem vakumlanır ve -0,6 mb'lik bir basınç ortamının oluşması sağlanır. Sistemin kaçırılmazlığı kontrol edildikten sonra radon şişesinin kolektör odasına bağlı ucunda bulunan vana açılır. Ardından radon şişesinin bekletilmiş hava içeren tüpe bağlı ucundaki vana yavaşça açılır. Böylece şişe içindeki su bekletilmiş hava ile köpürtülerek radon gazının kolektör odasına aktarılması sağlanır. Basınç sıfıra geldiğinde kolektör odasının vanası sıkıca kapatılır.

Radon ve ürünleri arasındaki geçici dengenin sağlanabilmesi için kolektör odasına, kolektör odasının duvarları pozitif, kolektör plakası negatif olacak şekilde 4 saat süreyle 600 Volt'luk gerilim uygulanır. Bu süre sonunda radon ve ürünlerinin bakır kolektör plakası üzerinde toplanması beklenmektedir. Çünkü alfa parçacıklarının çekirdekten çıkışları sırasında yörünge elektronlarını götürmeleri nedeniyle radonun bozunma ürünlerinin büyük kısmı pozitif iyonlar olarak oluşur.

4 saatlik süre sonunda kolektör odasından çıkarılan bakır plaka ZnS(Ag) alfa sintilasyon (Eberline Model SAC-4) dedektöründe 50 dakika boyunca sayılır. Daha sonra ölçümler 'cpm' yani dakikadaki sayıma dönüştürülür.

Kolektör sisteminin kalibrasyonu

Kolektör sisteminin kalibrasyonu için özel olarak hazırlanan radon şişelerine hazırlanan radyum standartları damlatıldı. Daha sonra radon şişelerindeki radyum standartları saf su eklenerek 200 ml'ye tamamlandı. Üç hafta bekletilen radyum standartları kolektör yöntemi kullanılarak ölçüldü. Bu radyum standartlarından elde edilen verilerden yararlanılarak kalibrasyon katsayısı elde edildi (Şekil 4.13). Elde ettiğimiz kalibrasyon katsayısını kullanarak jeotermal su örnekleri içindeki radon konsantrasyonları aktivite cinsinden belirlendi.



Şekil 4.13 Kolektör sisteminin kalibrasyon eğrisi

Alfa sintilasyon dedektörünün özellikleri

Kolektör yönteminde kullanılan alfa sayım cihazı SAC-4Eberline Alfa Sintilasyon dedektörüdür. Dedektörün örnek boyutu maksimum 52 mm çapında, 9,5 mm kalınlığındadır ve sintilasyon fosforu plastik boru üzerinde bulunan ZnS(Ag) tozudur. Dedektörün verimi 1 inç çaplı Pu-239 kaynağı ve 2π geometrisi için %80'dir. Platosunun uzunluğu 200 Volt civarında, plato eğimi %1'den daha azdır.

Kolektör yönteminde bakır plaka üzerinde toplanan radon ve ürünleri alfa sintilasyon dedektöründe 50 dakika boyunca sayılmaktadır. Sistemin radon ve radyum için verdiği minimum sayım 1 sayım/dakika'dır.

4.3.4 Su örneklerinde radyum ölçümü

Çevresel su örnekleri radon ve radyumu çözünmüş olarak barındırır. Bunlar genellikle radyoaktif dengede bulunmazlar. Bu su örneklerinde radon radyumdan daha fazladır. Bu nedenle radyum ve radon konsantrasyonlarını ayrı ayrı ölçülür (Saç, 1994).

Çalışma kapsamında alınan su örneklerinde radon ölçümü yapıldıktan sonra örnekler radon ile radyum arasındaki dengenin oluşması için 21 süre ile bekletilmiştir. Bu süre sonunda su örneği kolektör sistemine bağlanarak radon ölçümünde yapılan işlemler tekrarlanarak ölçüm alınmıştır.

4.4 Jeotermal Suların Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi

4.4.1 Sularda pH ölçümü

Bir çözeltideki hidrojen iyonu konsantrasyonunun logaritmasının negatif değeri ($\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$) çözeltisinin pH'ı olarak tanımlanır. Nötr suyun pH'ı 7'dir. pH değeri 7'den düşük sular asidik, büyük olan sular bazik olarak açıklanır. pH ölçümlerinde kalorimetrik ve elektrometrik yöntemler kullanılır (Saç, 1994; Güloğlu, 2007).

Arazi çalışmalarında toplanan su örneklerinin pH değeri ölçümünde dijital ölçüm cihazı (WTW marka pH meter PH 526) kullanıldı. Ölçüm işlemlerinden önce cihaz $\text{pH}=4$ ve $\text{pH}=7$ tampon çözeltileri ile kalibre edildi. Ölçüm işlemlerinde pH metrenin elektrodu saf su ile temizlendikten sonra su örneğinin bulunduğu şişenin içine koyuldu. Elektrot su içine daldırıldığı zaman hidrojen iyonları konsantrasyonu ile ilgili olarak meydana gelen potansiyel farkına göre ayarlanmış alet üzerindeki göstergeden doğrudan doğruya suyun pH değeri okunarak kaydedildi.

4.4.2 Sularda iletkenlik ölçümleri

İletkenlik, çözeltinin elektrik akımını geçirmeye karşı gösterdiği direnç ya da akımı geçirme yeteneğidir. Öz direnci ρ (ohm. m), kesiti S (m^2) ve boyu L (m) olan bir iletkenin direnci $R = \rho \cdot (L/S)$ ile verilir. İletkenlik birimi Siemens'tir (Saç, 1994; Güloğlu, 2007).

Suda çözünen tuzların konsantrasyonunun az olması nedeniyle ölçülecek iletkenlik değeri çok küçük olacaktır. Bu nedenle iletkenlik 10^{-6} ile çarpılarak μS olarak ifade edilir. Ölçülen iletkenlik, suda çözünmüş olan madde miktarı ile ilgilidir. Suda çözünen tuzun cinsi değişirse, iletkenliği de değişir. Sıcaklık yükseldikçe anyon ve katyonların kinetik enerjileri arttığı için iyonik iletkenlik artar (Saç, 1994; Güloğlu, 2007).

Arazi çalışmalarında toplanan su örneklerinin iletkenlik değerlerinin ölçümünde dijital ölçüm cihazı (WTW Cond 720) kullanıldı. Her ölçüm işlemi öncesinde aletin cam elektrotu saf su ile temizlendikten sonra su örneğine daldırıldı. Elektrot örnek içinde bir süre bekletilerek alet üzerindeki göstergeden doğrudan doğruya suyun iletkenliği okunarak kaydedildi.

4.4.3 Sularda kimyasal analiz yöntemleri

Cl ölçümü için 40ml saf su içine jeotermal su örneklerinden alınan 10 ml su örneği karıştırılır. Bu 50ml'lik su örneklerine önce üç damla 0,5N potasyum kromat damlatılır ve çalkalanır. Daha sonra 0,05N $AgNO_3$ ile kiremit rengi elde edilene kadar titre edilir. Değerimiz okunur ve kaydedilir.

Ca+Mg ölçümü için yine 40 ml saf su içine 10 ml jeotermal su ile hazırlanan 50 ml'lik örneklerimize önce 8-10 damla buffer tampon daha sonra 3-5 damla eriyokam black damlatılır. Bu karışım EDTA ile titre edilir.

Jeotermal sularımızın pH değerleri 8'in altında olduğu için sulardaki CO_3 değerlerimiz sıfırdır. HCO_3 tayini için 40 ml saf suya 10 ml jeotermal su örneklerinden hazırlanmış 50 ml'lik örneklerimize önce 3-5 damla metil oranj daha sonra 8-10 damla phenolphthalein damlatılır ve çalkalanır. Daha sonra bu örnekler 0,05N HCl ile titre edilir.

5.BULGULAR

Çalışma kapsamında 03.11.2011 ve 01.11.2012 tarihleri arasında yapılan örnekleme işlemleri sonucu elde edilen veriler aşağıda çizelge ve grafikler halinde verilmiştir.

5.1 Bina İçi Radon Konsantrasyon Değişimi

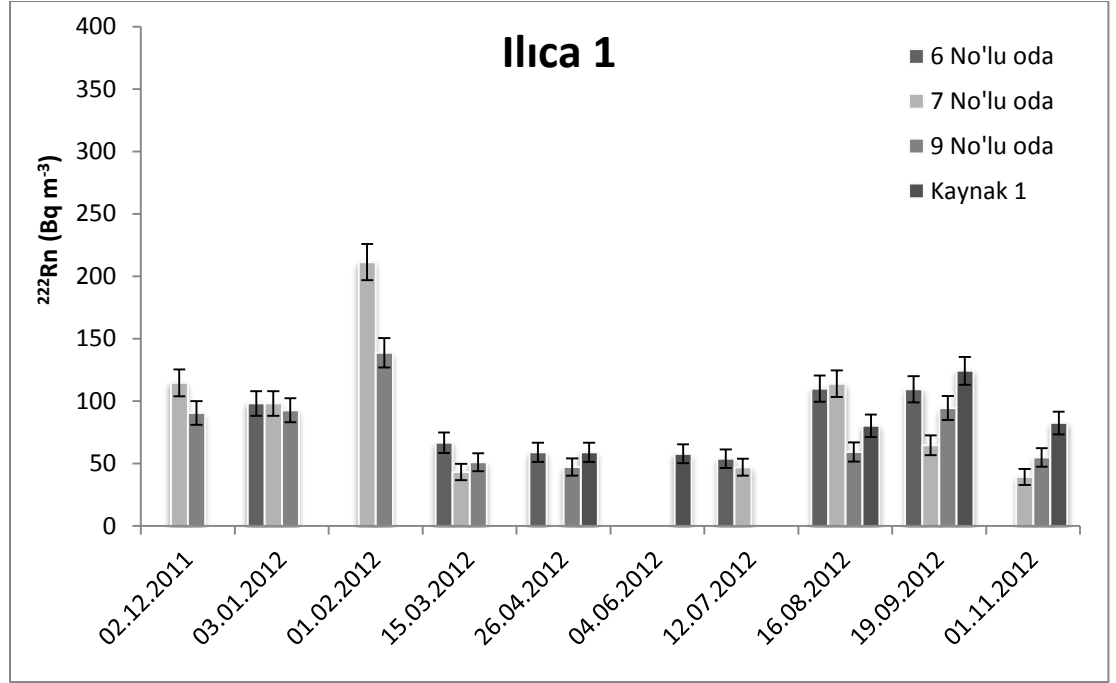
Termal tesisler ve çevresindeki binalara yerleştirilen LR-115 Tip-2 nükleer iz kazıma dedektör filmlerinden elde edilen bina içi radon konsantrasyon değişimleri aşağıdaki çizelgelerde verilmiştir (Çizelge 5.1, Çizelge 5.2, Çizelge 5.3). Ölçüm sonuçlarından bina içi radon konsantrasyonlarının $39,3\text{-}405,6\text{ Bqm}^{-3}$ arasında değiştiği görülmektedir.

Çizelge 5.1 Ilıca 1 ve Ilıca 2 Bina içi radon konsantrasyonu değişimleri

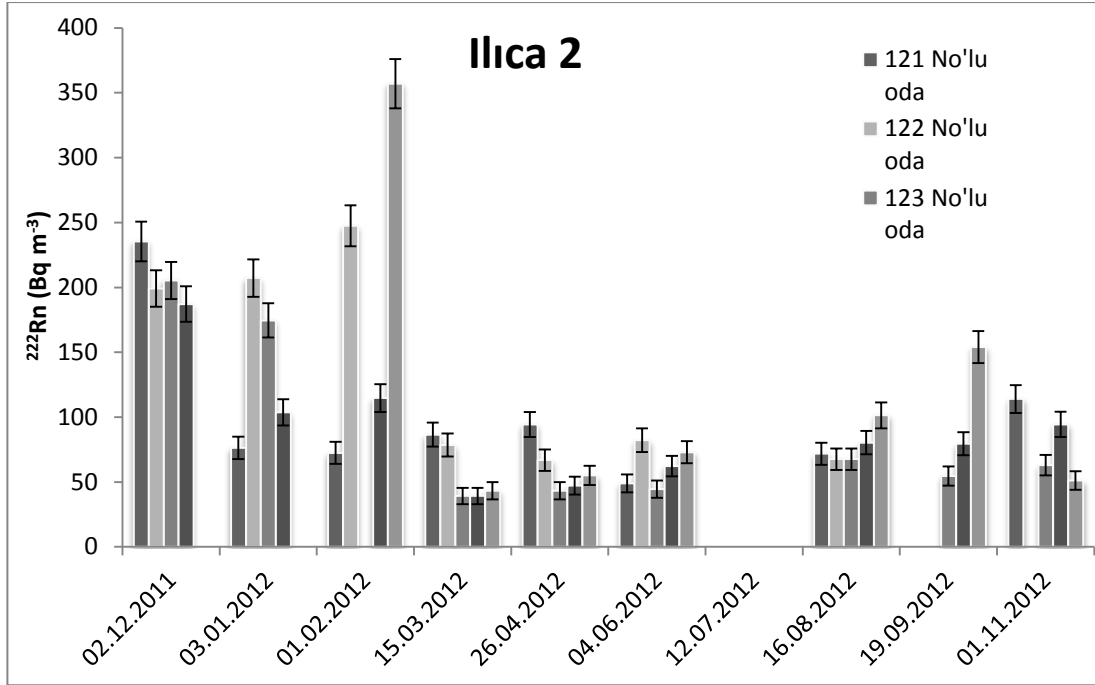
Tarih	Bina içi Radon Konsantrasyon Değişimi (Bqm ⁻³)								
	Ilıca 1				Ilıca 2				
İstasyon	6 No'lu oda	7 No'lu oda	9 No'lu oda	Kaynak 1	121 No'lu oda	122 No'lu oda	123 No'lu oda	Banyo	Kaynak 2
02.12.2011	-	114,70	90,55	-	235,40	119,20	205,25	187,14	-
03.01.2012	98,15	98,15	92,70	-	76,33	207,20	174,50	103,70	-
01.02.2012	-	211,30	138,80	-	72,44	247,50	-	114,70	357,00
15.03.2012	66,82	43,24	51,10	-	86,48	78,60	39,30	39,30	43,30
26.04.2012	59,00	-	47,20	59,00	94,30	66,82	43,30	47,20	55,00
04.06.2012	-	-	-	57,82	48,92	82,29	44,48	62,27	72,94
12.07.2012	54,00	47,00	-	-	-	-	-	-	-
16.08.2012	110,00	114,00	59,20	80,30	71,80	67,60	67,60	80,30	101,40
19.09.2012	109,40	64,60	94,50	124,30	-	-	54,70	79,50	154,00
01.11.2012	-	39,30	55,00	82,50	114,00	-	62,90	94,40	51,10

Çizelgede (-) ile gösterilen yerlerde o tarihte belirli nedenlerden dolayı ölçüm alınamamıştır.

Elde edilen veriler yardımı ile her bir ılıca istasyonu için bina içi radon gazı konsantrasyon değişimleri grafik halinde verilmiştir (Şekil 5.1, Şekil 5.2)



Şekil 5.1 Ilica 1 istasyonu bina içi radon konsantrasyon değişimleri



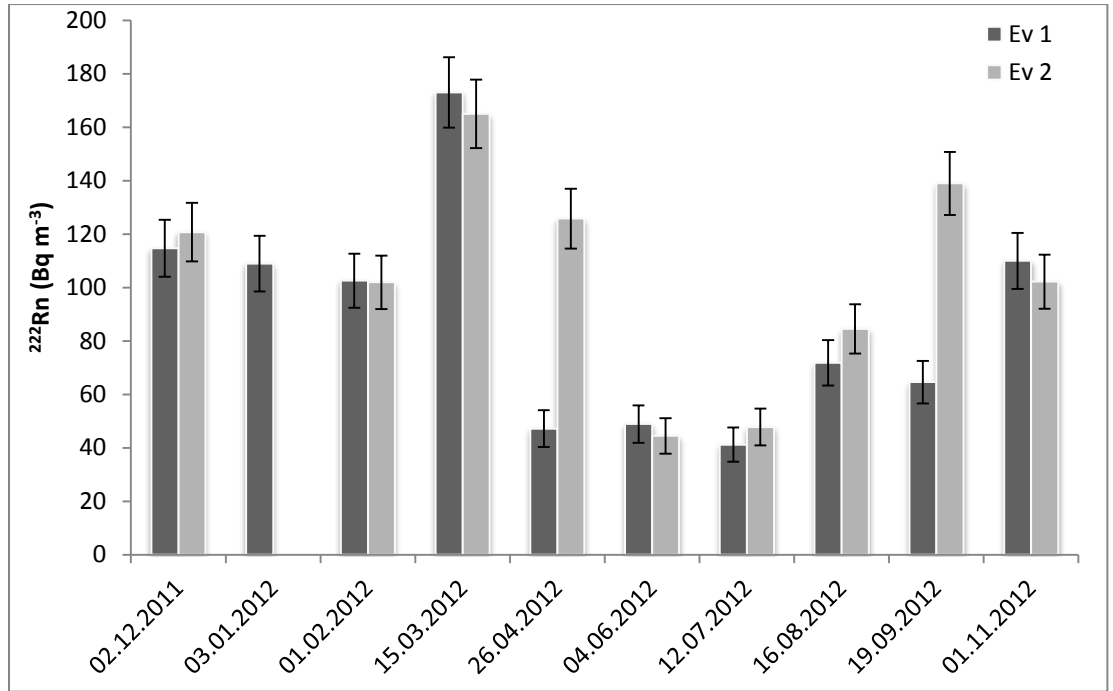
Şekil 5.2 İlca 2 istasyonunda bina içi radon konsantrasyon değişimleri

Çizelge 5.2 Ev 1, Ev 2 Bina içi radon konsantrasyon değişimi

Bina içi Radon Konsantrasyon Değişimi(Bq m ⁻³)		
Tarih	Ev 1	Ev 2
02.12.2011	114,7	120,7
03.01.2012	109,0	-
01.02.2012	102,6	102,0
15.03.2012	173,0	165,0
26.04.2012	47,2	125,8
04.06.2012	48,9	44,5
12.07.2012	41,2	47,8
16.08.2012	71,8	84,5
19.09.2012	64,6	139,0
01.11.2012	110,0	102,2

Çizelgede (-) ile gösterilen yerde o tarihte belirli nedenlerden dolayı ölçüm alınamamıştır.

Elde edilen veriler yardımı ile Ev 1, Ev 2 istasyonları için bina içi radon gazı konsantrasyon değişimleri grafikler halinde verilmiştir (Şekil 5.3).



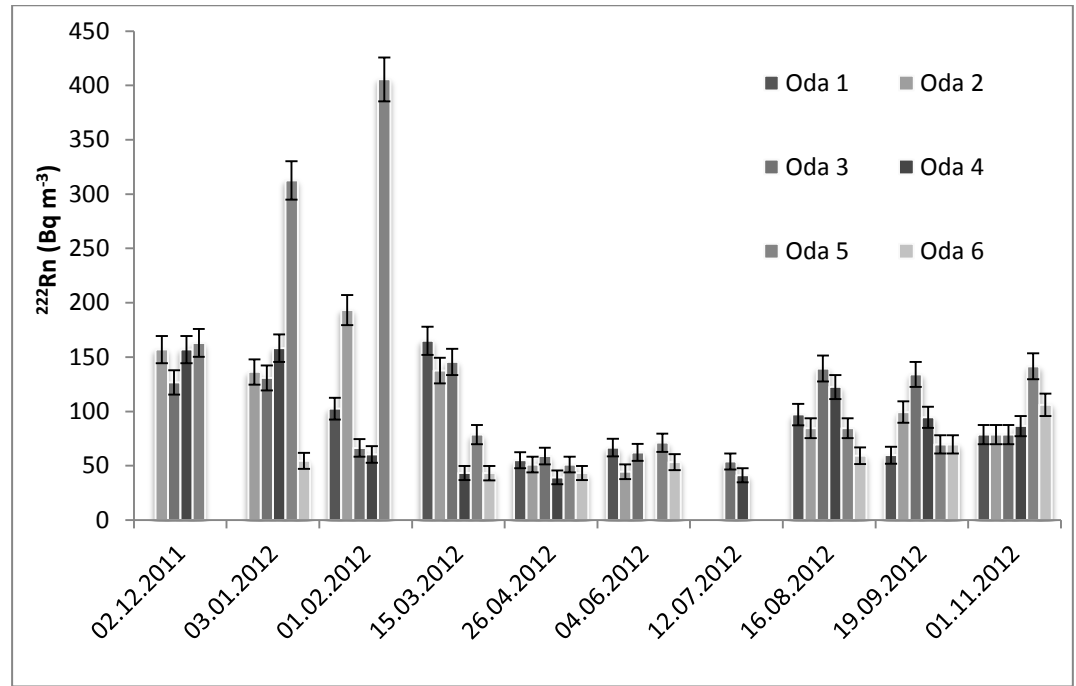
Şekil 5.3 Ev 1 ve Ev 2’de bina içi Radon konsantrasyon değişimi

Çizelge 5.3 Ev 3’de bina içi radon konsantrasyonu değişimleri

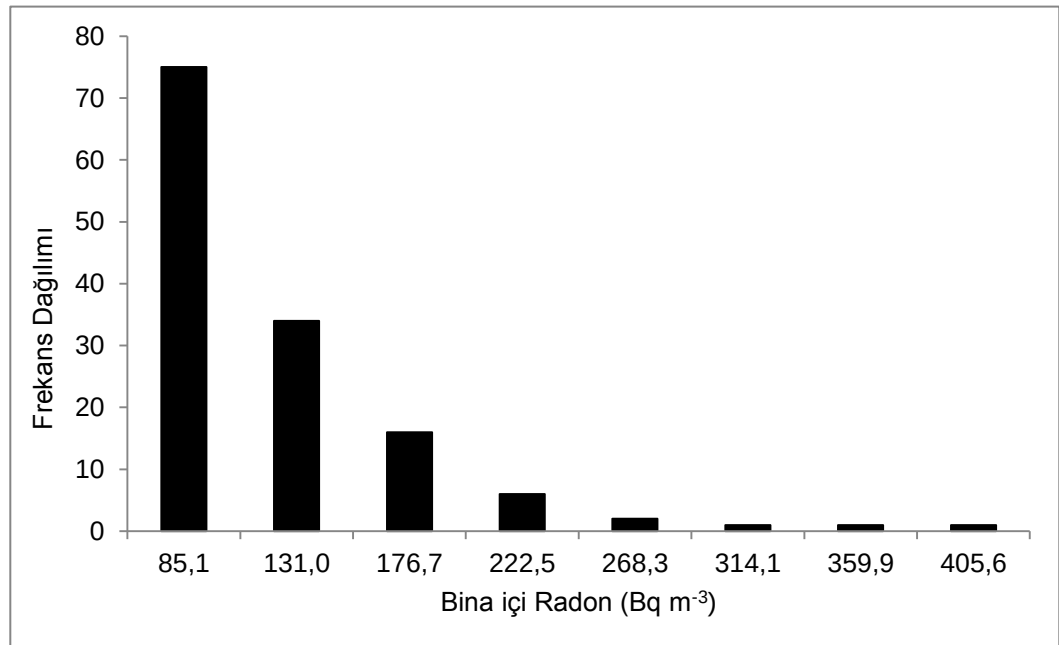
Tarih	Bina içi Radon Konsantrasyon Değişimi (iz/cm ² /gün)					
	Ev 3					
İstasyon	Oda 1	Oda 2	Oda 3	Oda 4	Oda 5	Oda 6
02.12.2011	-	157,0	126,8	157,0	163,0	-
03.01.2012	-	136,3	130,9	158,2	312,7	54,5
01.02.2012	102,6	193,2	66,4	60,4	405,6	-
15.03.2012	165,0	137,6	145,5	43,3	78,6	43,3
26.04.2012	55,0	51,1	59,0	39,3	51,1	43,3
04.06.2012	66,7	48,5	62,3	-	71,2	53,4
12.07.2012	-	-	54,0	41,2	-	-
16.08.2012	97,2	84,5	139,5	122,5	84,5	59,2
19.09.2012	59,7	99,4	134	94,5	69,6	69,6
01.11.2012	78,6	78,6	78,6	86,5	141,5	106,2

Çizelgede (-) ile gösterilen yerlerde o tarihte belirli nedenlerden dolayı ölçüm alınamamıştır.

Elde edilen veriler yardımı ile Ev 3'deki Oda 1, Oda 2, Oda 3, Oda 4, Oda 5 ve Oda 6 istasyonları için bina içi radon gazı konsantrasyon değişimleri grafik halinde verilmiştir (Şekil 5.4).



Şekil 5.4 Ev 3'de bina içi radon konsantrasyon değişimleri



Şekil 5.5 Bina içi radon konsantrasyonunun frekans dağılımı

5.2 Ev İçi Radon Gazının Solunumu İle Alınan Yıllık Etkin Doz Eşdeğerinin Hesaplanması

Radon konsantrasyonlarının yıllık etkin doz eşdeğerinin hesaplanması UNSCEAR 2000’de verilen modele göre yapılmıştır. Bulgular aşağıda verilen formüle göre hesaplanmıştır. Yıllık etkin doz binalarda 0,025-1,1 mSv aralığında bulunmuştur.

$$Y.E.D.E. = C \times H \times F \times D \times T$$

C=Radon konsantrasyonu

H=Meşguliyet faktörü (Bina içinde yaşayanlar için 0,5)

F=Denge faktörü (Komite tarafında bina içinde 0,4)

D=Doz dönüşüm faktörü (9×10^{-6} mSv/saat)

T=Zaman (bir yıl için 8760 saat)

Ev 1’deki ölçülen yıllık bina içi radon konsantrasyonun ortalaması 88,3 Bqm⁻³ ve yılda 7000 saatin evde geçirildiğini düşünürsek;

$$Y.E.D.E = 1,1 \text{ mSv}$$

Ev 2’deki ölçülen yıllık bina içi radon konsantrasyonun ortalaması 103,5 Bqm⁻³ ve yılda 7000 saatin evde geçirildiğini düşünürsek;

$$Y.E.D.E = 1,3 \text{ mSv}$$

Ev 3’de ölçülen yıllık bina içi radon konsantrasyonun ortalaması 108,15 Bqm⁻³’tür. Öğrencilerin 9 ay, ayda 22 gün, haftada 5 gün, günde 12 saat okulda olduğunu düşünürsek;

$$Y.E.D.E = 0,46 \text{ mSv}$$

O. Binası bahçesindeki A. S.’de ölçülen yıllık bina içi radon konsantrasyonunun ortalaması 61,35 Bqm⁻³’tür.

Y.E.D.E= 0,26mSv

Ilıca 1’de yıllık bina içi radon konsantrasyonu ortalaması $83,8 \text{ Bqm}^{-3}$ ’tür. Ilıcaya tedavi amaçlı gelen müşteriler ortalama 1 hafta (168 saat) konaklamaktadırlar.

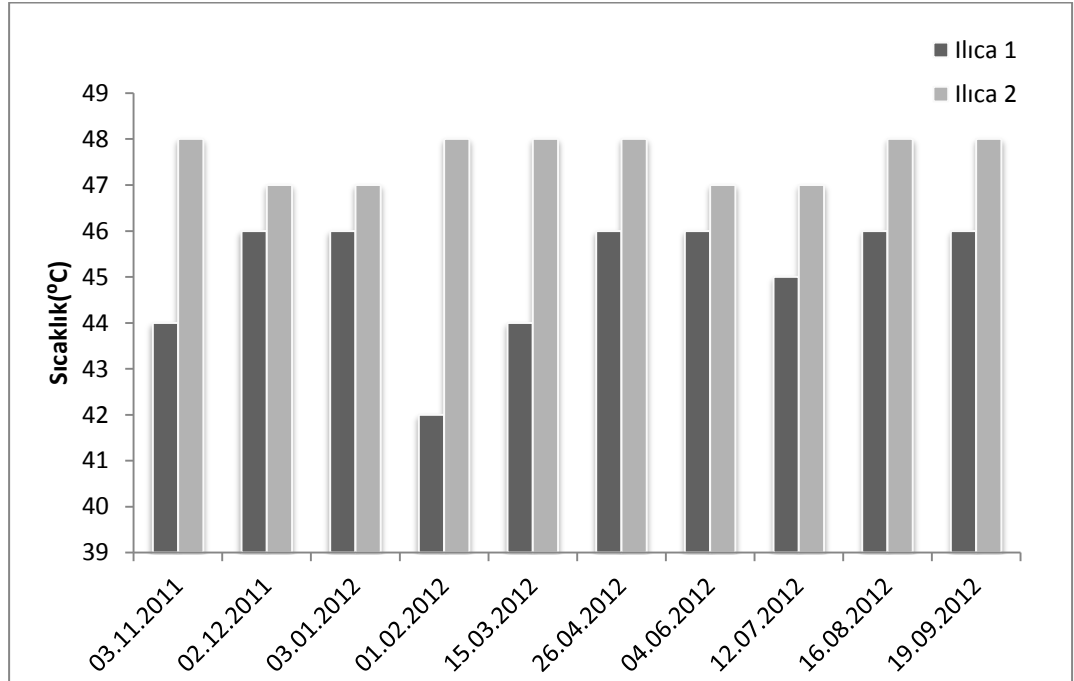
Y.E.D.E= 0,025mSv

Ilıca 2’de yıllık bina içi radon konsantrasyonu ortalaması 107 Bqm^{-3} ’tür. Ilıcaya tedavi amaçlı gelen müşteriler ortalama 1 hafta (168saat) konaklamaktadırlar.

Y.E.D.E= 0,032mSv

5.3 İstasyon Sularının Sıcaklık Değişimi

Elde edilen veriler yardımı ile jeotermal su sıcaklık değişimleri grafiklendirilmiştir (Şekil 5.6). İstasyon sularında sıcaklık değerleri 42°C - 48°C arasında bulunmuştur.

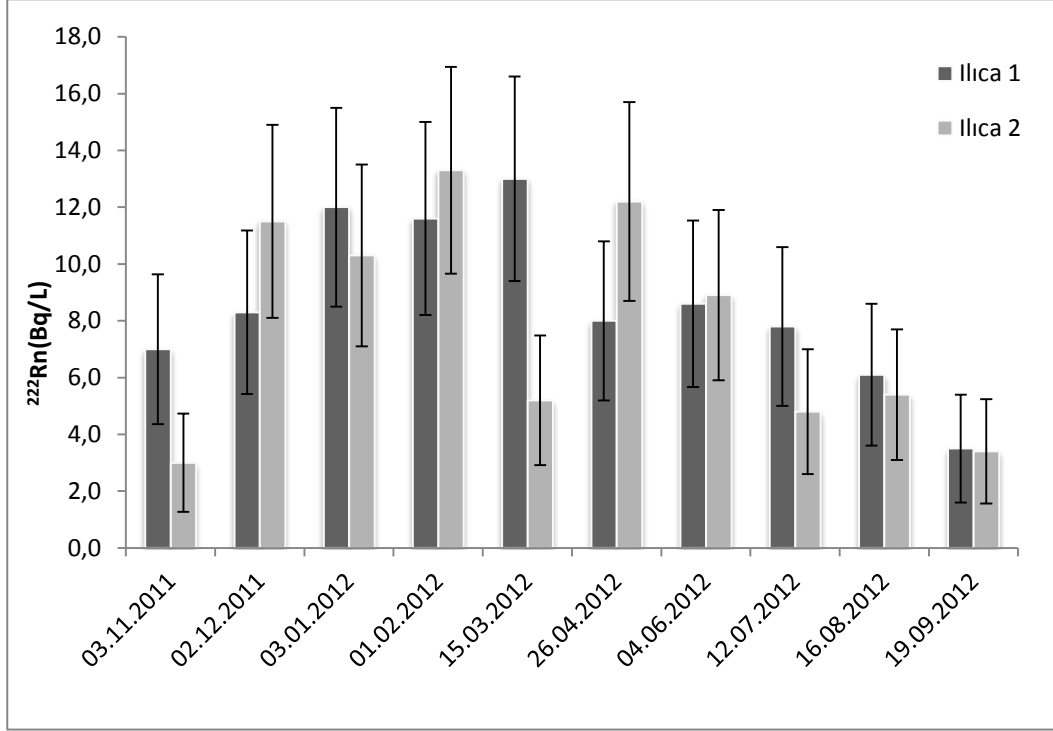


Şekil 5.6 Ilıca 1 ve Ilıca 2’deki jeotermal su sıcaklık değişimleri

5.4 Jeotermal Sularda Radon Konsantrasyon Değişimi

Örnekleme yapılan Ilıca 1 ve Ilıca 2'den alınan jeotermal sulardaki radon konsantrasyonunun 3 Bq/L-13,3 Bq/L arasında değiştiği görülmüştür.

Elde edilen veriler yardımı ile Ilıca 1 ve Ilıca 2 istasyonları için radon konsantrasyon değişimleri aşağıda grafik halinde verilmiştir (Şekil 5.7).

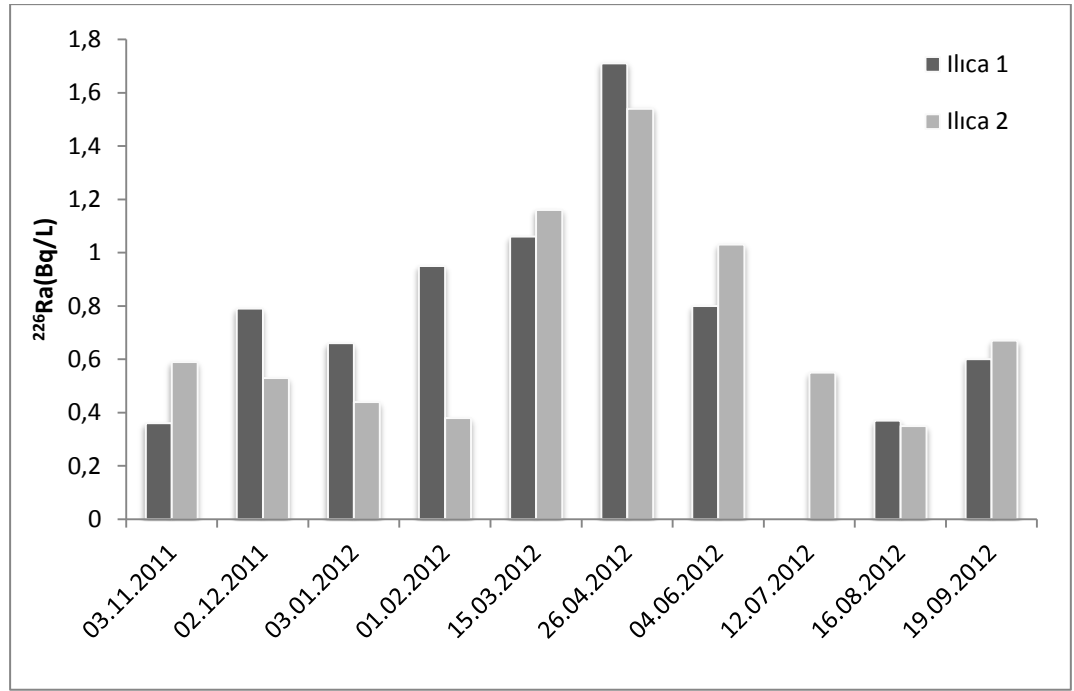


Şekil 5.7 Ilıca 1 ve Ilıca 2 istasyonlarında jeotermal su radon konsantrasyon değişimleri

5.5 Jeotermal Sularda Radyum Konsantrasyon Değişimi

Örnekleme yapılan Ilıca 1 ve Ilıca 2'den alınan jeotermal sulardaki radyum konsantrasyonunun 0,35 Bq/L-1,71 Bq/L arasında değiştiğini göstermektedir.

Elde edilen veriler yardımı ile Ilıca 1 ve Ilıca 2 istasyonları için radyum konsantrasyon değişimleri aşağıda grafik halinde verilmiştir (Şekil 5.8).



Şekil 5.8 Ilıca 1 ve Ilıca 2 istasyonlarında jeotermal su radyum konsantrasyon değişimleri

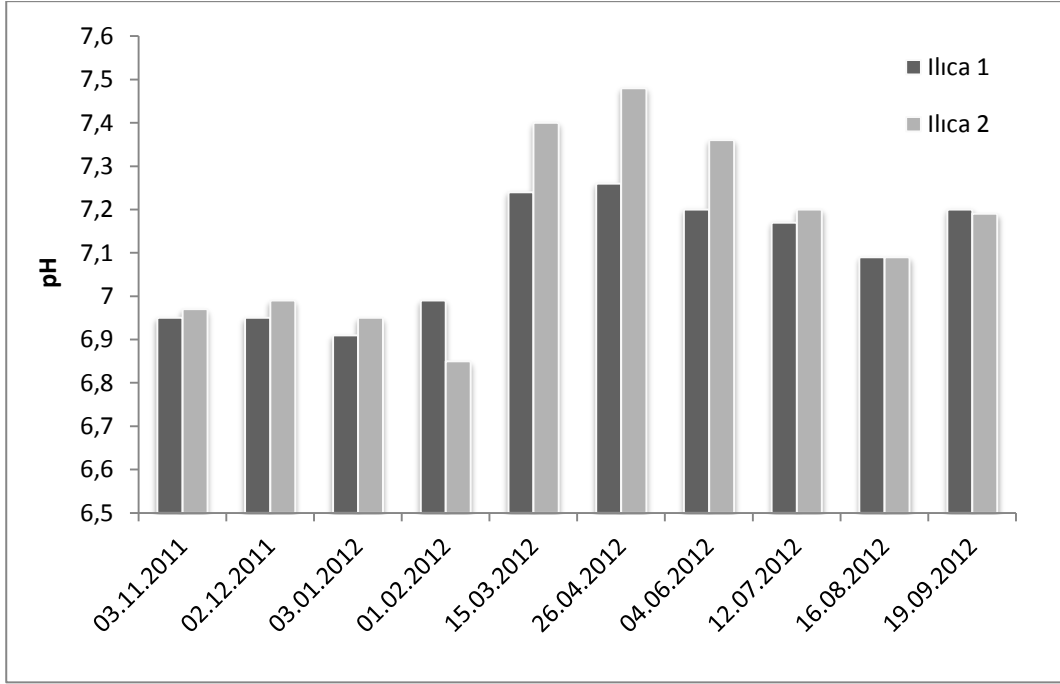
Çizelge 5.4 Bayındır Ilıcalarında ^{222}Rn - ^{226}Ra değerleri ve $^{222}\text{Rn}/^{226}\text{Ra}$ oranı

Jeotermal Suların Örnekleme Tarihi	^{222}Rn (Bq/L)	^{226}Ra (Bq/L)	$^{222}\text{Rn}/^{226}\text{Ra}$ Oranı
Ilıca 1			
03.11.2011	7,0	0,59	11,86
02.12.2011	8,3	0,53	15,66
03.01.2012	12,0	0,44	27,27
01.02.2012	11,6	0,38	30,53
15.03.2012	13,0	1,16	11,21
26.04.2012	8,0	1,54	5,20
04.06.2012	8,6	1,03	8,35
12.07.2012	7,8	0,55	14,18
16.08.2012	6,1	0,35	17,43
19.09.2012	3,5	0,67	5,22
Ilıca 2			
03.11.2011	3,0	0,36	8,33
02.12.2011	11,5	0,79	14,56
03.01.2012	10,3	0,66	15,61
01.02.2012	13,3	0,95	14,00
15.03.2012	5,2	1,06	4,91
26.04.2012	12,2	1,71	7,13
04.06.2012	8,9	0,80	11,13
12.07.2012	4,8	-	-
16.08.2012	5,4	0,37	14,60
19.09.2012	3,4	0,60	5,67

5.6 pH Ölçüm Sonuçları

Ilıca 1 ve Ilıca 2'den alınan jeotermal su numunelerine ait pH ölçümleri WTW marka pH meter PH 526 ile ölçülmüştür. Ölçüm sonuçlarına göre istasyon sularının pH değerleri 6,85–7,48 arasında değişmektedir.

Elde edilen veriler yardımı ile ölçüm periyodu boyunca jeotermal suların pH değerlerinde meydana gelen değişimler grafik halinde verilmiştir (Şekil 5.9).

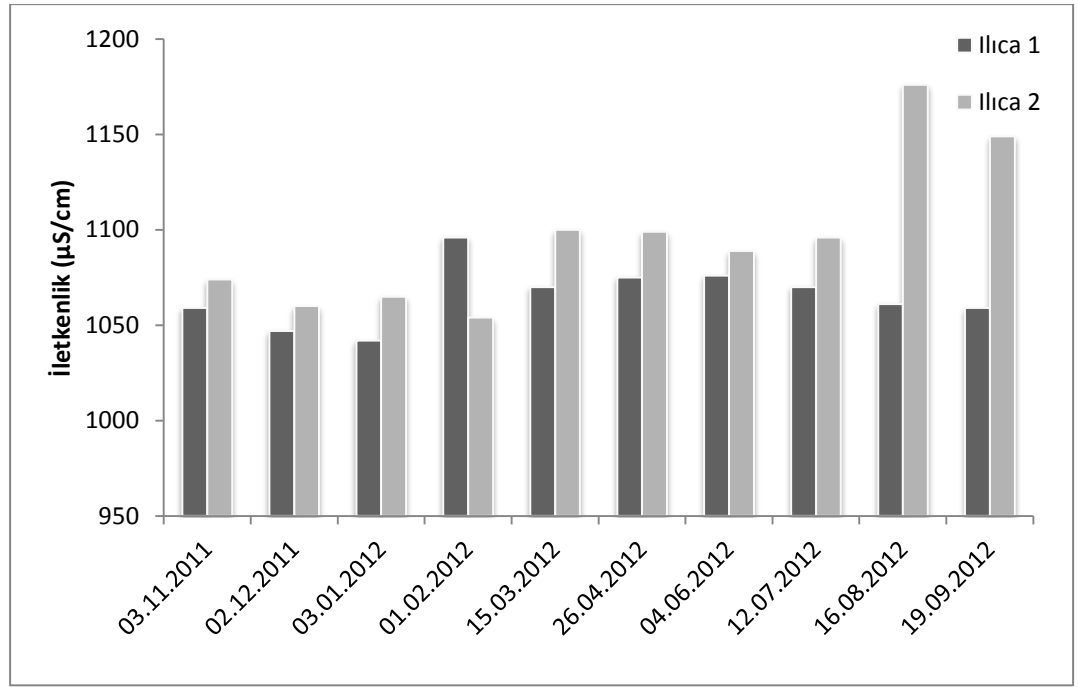


Şekil 5.9 Ilıca 1 ve Ilıca 2 istasyonlarında pH değişimleri

5.7 İletkenlik Ölçüm Sonuçları

Örnekleme yapılan Ilıca 1 ve Ilıca 2'den alınan jeotermal su numunelerine ait iletkenlik ölçümleri WTW Cond 720 ile yapılmıştır. Ölçüm sonuçları istasyonların iletkenlik değerlerinin 1042 ile 1176 $\mu\text{S}/\text{cm}$ aralığında değiştiği görülmüştür.

Elde edilen veriler yardımı ile ölçüm periyodu boyunca jeotermal suların geçirgenliğinde meydana gelen değişimler grafik halinde verilmiştir (Şekil 5.10).



Şekil 5.10 Ilıca 1 ve Ilıca 2 istasyonlarında iletkenlik değişimleri

5.8 Jeotermal Suların Kimyasal Analizleri

Jeotermal sularda çözülmüş kimyasal madde miktarı yüksektir. Elementlerin miktarları, sıcaklığa ve bulunduğu ortamın karakteristik özelliklerine göre değişmektedir. Su kimyası verileri jeotermal suların sıcaklık, beslenme ve boşalma bölgeleri diğer sularla karışım oranlarını açıklamakta kullanılabilir (Eroğlu ve Aksoy, 2003).

Çizelge 5.5 İlçea 1’den alınan su örneklerinin kimyasal analiz sonuçları

Örneklerin Alındığı Tarih	EC (µS/cm)	TDS (mg/L)	Cl ⁻ (meq/L)	CO ₃ ⁻ (meq/L)	HCO ₃ ⁻ (meq/L)	SO ₄ ⁻² (meq/L)	Ca ⁺² +Mg ⁺² (meq/L)	Na ⁺ (meq/L)	K ⁺ (meq/L)	Su Tipi
03-11-2011	1059	825	0.99	ND	10.25	0.71	2.3	9.5	0.15	Na-HCO ₃
02-12-2011	1047	874	0.74	ND	11.25	0.04	2.2	9.7	0.13	Na-HCO ₃
03-01-2012	1042	908	0.99	ND	11.00	0.59	2.8	9.7	0.13	Na-HCO ₃
01-02-2012	1096	911	0.74	ND	9.50	3.16	2.8	10.5	0.15	Na-HCO ₃
15-03-2012	1070	908	1.74	3.5	4.25	0.01	2.2	7.1	0.20	Na-HCO ₃
26-04-2012	1075	902	1.24	ND	10.00	ND	2.5	7.1	0.20	Na-HCO ₃
04-06-2012	1076	904	1.74	ND	10.00	ND	2.0	7.1	0.25	Na-HCO ₃
12-07-2012	1070	790	1.49	ND	9.25	ND	2.0	6.9	0.20	Na-HCO ₃
16-08-2012	1061	881	1.24	ND	12.25	ND	2.3	6.8	0.20	Na-HCO ₃
19-09-2012	1059	890	1.49	ND	11.25	ND	2.3	6.8	0.20	Na-HCO ₃
* ND: Non detectable										

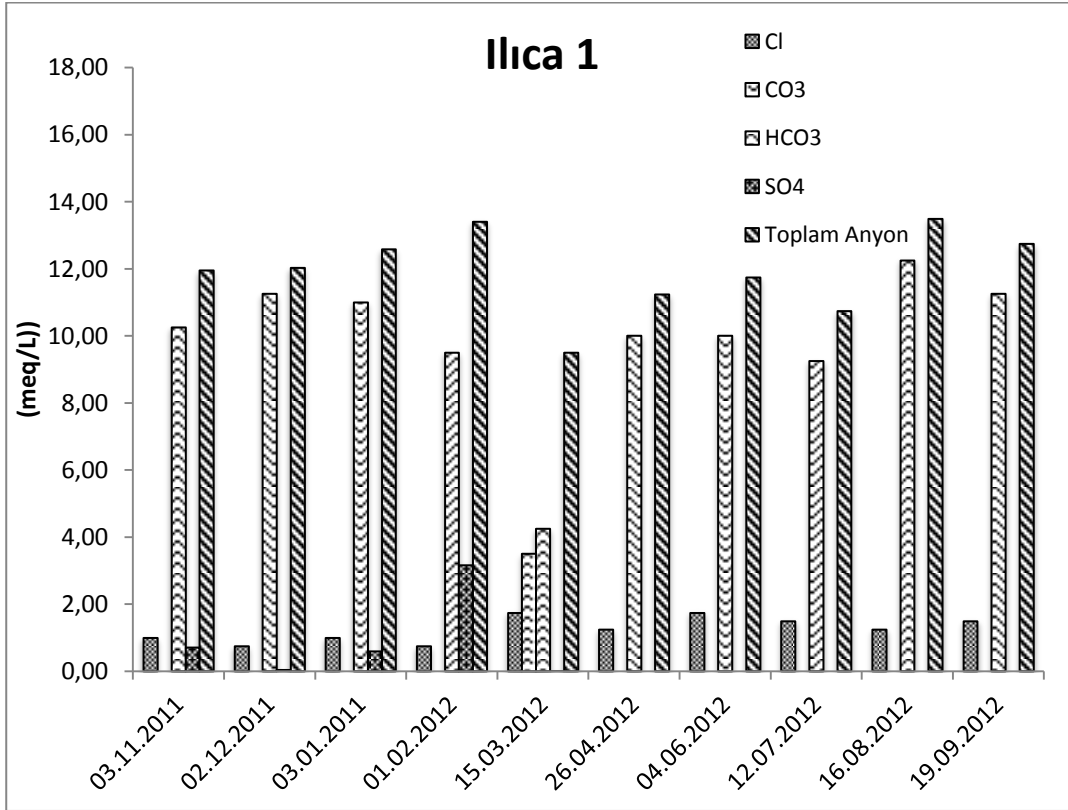
Çizelge 5.6 Ilıca 2’den alınan su örneklerinin kimyasal analiz sonuçları

Örneklerin Alındığı Tarih	EC (µS/cm)	TDS (mg/L)	Cl⁻ (meq/L)	CO₃⁻ (meq/L)	HCO₃⁻ (meq/L)	SO₄⁻² (meq/L)	Ca⁺²+Mg⁺² (meq/L)	Na⁺ (meq/L)	K⁺ (meq/L)	Su Tipi
03-11-2011	1074	801	0.99	ND	9.75	1.81	2.5	9.9	0.15	Na-HCO ₃
02-12-2011	1060	715	0.25	6.0	0.25	5.85	2.3	9.9	0.15	Na-SO ₄
03-01-2012	1065	857	0.99	ND	10.25	1.81	3.0	9.9	0.15	Na-HCO ₃
01-02-2012	1054	930	0.74	ND	12.00	0.01	2.9	9.7	0.15	Na-HCO ₃
15-03-2012	1100	929	1.49	ND	9.75	ND	2.0	7.1	0.20	Na-HCO ₃
26-04-2012	1099	925	1.74	ND	10.25	ND	2.2	7.1	0.20	Na-HCO ₃
04-06-2012	1089	910	1.49	4.5	2.75	0.76	2.2	7.1	0.20	Na-CO ₃
12-07-2012	1096	920	1.49	ND	10.50	ND	2.0	7.5	0.22	Na-HCO ₃
16-08-2012	1176	784	1.49	ND	12.25	ND	2.4	8.4	0.22	Na-HCO ₃
19-09-2012	1149	973	1.24	ND	12.00	ND	3.0	7.5	0.30	Na-HCO ₃

Ilıca 1 için, jeotermal sularda EC değeri 1059-1096 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında, Cl değeri 0,74-1,74 meq/L arasında değişim göstermiştir. CO_3 değeri yalnızca Mart ayında 3,5 meq/L olarak ölçülmüş, diğer aylarda ise dedekte edilememiştir. HCO_3 değeri 4,25-12,25 meq/L arasında, SO_4 ise Kasım, Aralık, Ocak, Şubat, Mart ayları arasında 0,01-3,16 meq/L olarak bulunmuştur. Diğer aylarda ise dedekte edilememiştir. Ca+Mg değeri 2-2,8 meq/L arasında, Na değeri 6,8-10,5 meq/L arasında, K değerinin ise 0,13-0,25 meq/L arasında değişim göstermiştir.

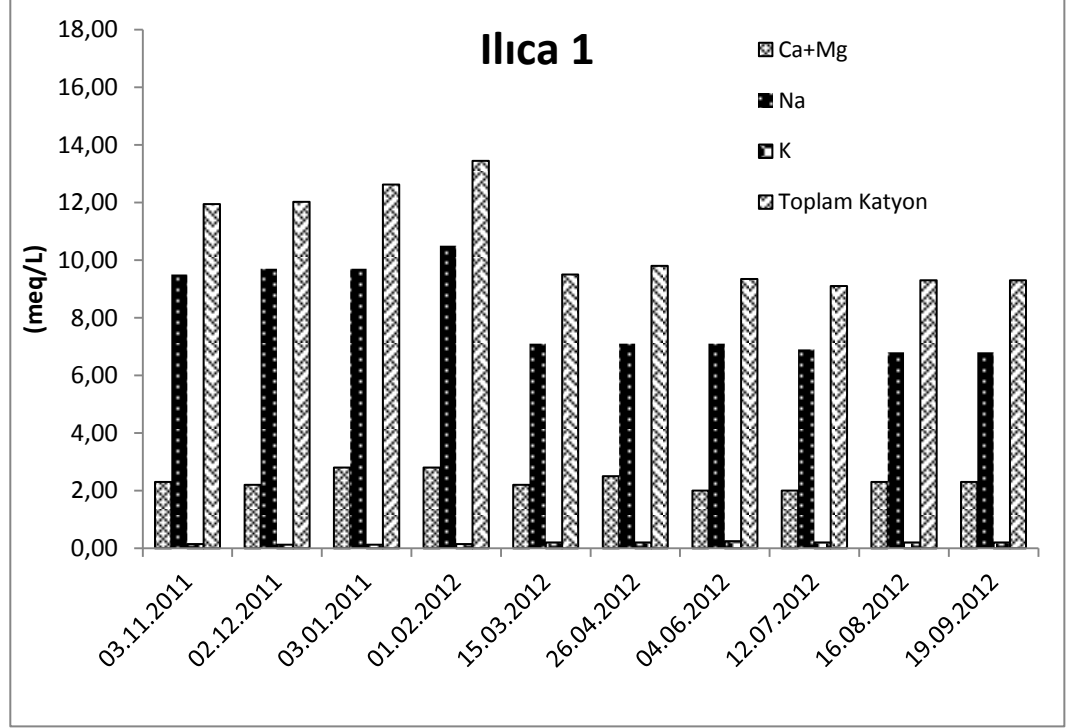
Ilıca 2 için, jeotermal sularda EC değeri 1054-1149 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında, Cl değeri 0,25-1,74 meq/L arasında, HCO_3 değeri 0,25-12,25 meq/L arasında, SO_4 değeri Mart, Nisan, Temmuz, Ağustos, Eylül aylarında dedekte edilememiş ancak bu aylar dışında 0,01-5,85 meq/L arasında değişmiştir. Ca+Mg değerinin 2-3 meq/L arasında değiştiği, suların Aralık ve Haziran ayları dışında karbonat (CO_3) barındırmadığı görülmüştür. Na değeri bir yıl boyunca 7,1-9,9 meq/L, K değeri ise 0,15-0,30 meq/L arasında değişim göstermiştir.

Elde edilen veriler yardımı ile Ilıca 1 ve Ilıca 2 istasyonları için jeotermal suların kimyasal içeriklerinin anyon ve katyon değişimleri grafikler halinde verilmiştir (Şekil 5.11, Şekil 5.12, Şekil 5.13, Şekil 5.14).



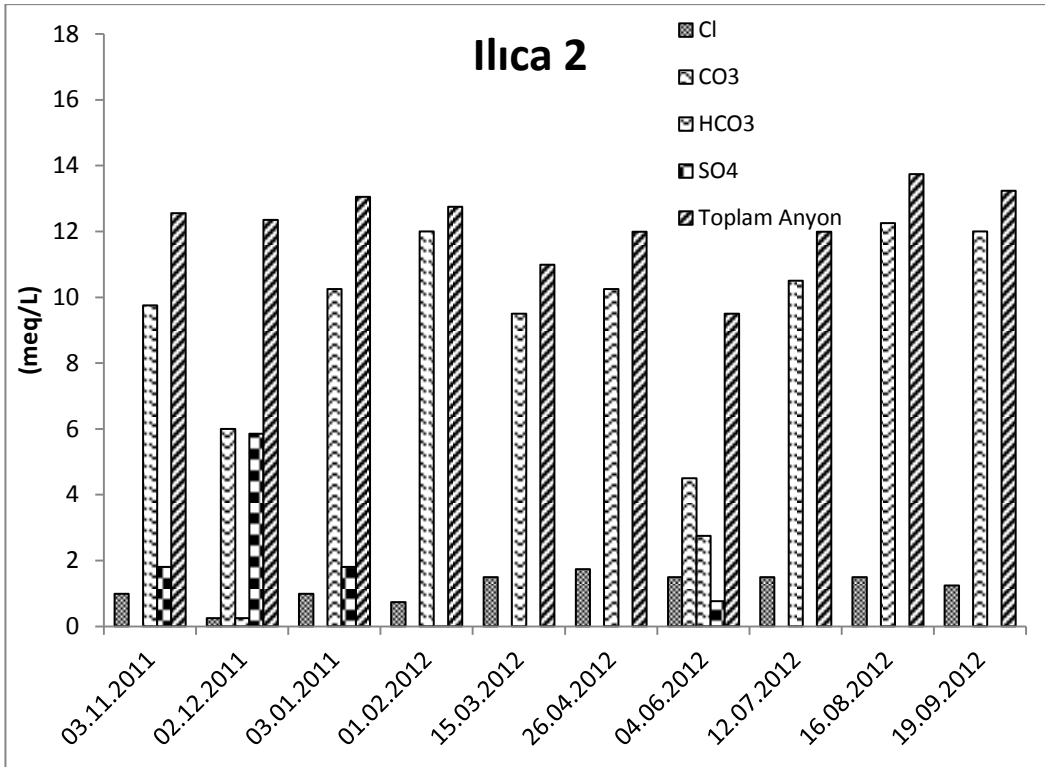
Şekil 5.11 Ilıca 1 istasyonunda Cl, CO_3 , HCO_3 , SO_4 ve Toplam Anyon değişimleri

Ilıca 1'den alınan su örneklerinde Cl'de en düşük değer Aralık, en yüksek değer Nisan ayında, CO_3 'de en düşük değer Haziran, en yüksek değer ise Aralık ayında ölçülmüştür. HCO_3 değeri en düşük Aralık, en yüksek Ağustos ayında, SO_4 ise en düşük Şubat, en yüksek Aralık ayında gözlemlenmiştir.



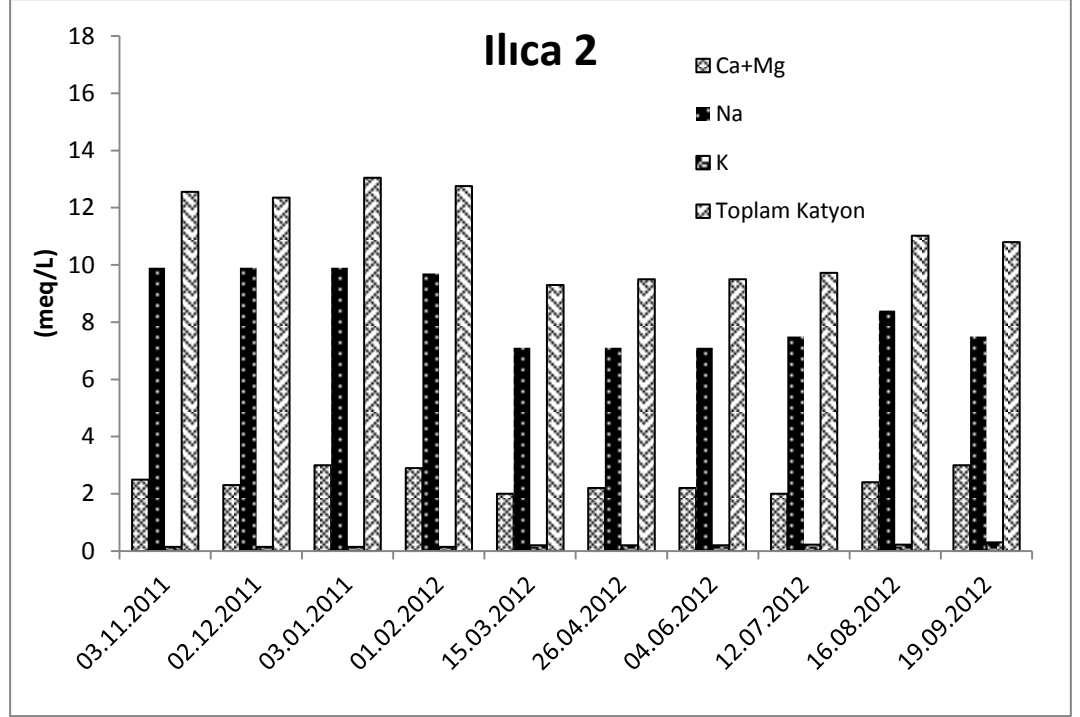
Şekil 5.12 Ilıca 1 istasyonunda Ca+Mg, Na, K ve Toplam Katyon değişimleri

Ilıca 1 için, en düşük Ca+Mg değeri Mart ayında, en yüksek ise Ocak ayında, en düşük Na değeri Mart, Nisan, Mayıs aylarında, en yüksek değeri ise Kasım, Aralık, Ocak aylarında ölçülmüştür. K değeri ise en düşük Kasım, Aralık, Ocak, Şubat aylarında, en yüksek ise Eylül ayında görülmüştür.



Şekil 5.13 İlca 2 istasyonunda Cl, CO₃, HCO₃, SO₄ ve Toplam Anyon değişimleri

İlca 2'den alınan su örnekleri için, Cl'de en düşük değer Aralık ayında, en yüksek değer ise Nisan'da, CO₃ için en düşük değer Haziran'da, en yüksek değer ise Aralık'ta, HCO₃ için en düşük değer Aralık'ta, en yüksek değer ise Ağustos'ta, SO₄ için en düşük değer Şubat'ta, en yüksek değer ise Aralık'ta ölçülmüştür.



Şekil 5.14 İlca 1 istasyonunda Ca+Mg, Na, K ve Toplam Katyon değişimleri

İlca 2'den alınan su örneklerinde Ca+Mg değeri en düşük Mart ile Temmuz aylarında, en yüksek Ocak ile Eylül aylarında ölçülmüştür. En düşük Na değeri Mart, Nisan, Haziran aylarında, en yüksek ise Kasım, Aralık, Ocak aylarında ölçülmüştür. En düşük K değeri Kasım, Aralık, Ocak, Şubat aylarında, en yüksek ise Eylül ayında gözlemlenmiştir.

Kalsiyumun en önemli kaynağı organojen kaya kütleleridir. Sular, bu kalsiyum kaynaklarını çözerek karbonat ve bikarbonat şeklinde sulu ortamlara taşırlar. Volkanik kayalardan bazaltlar Ca ve Mg iyonunun bir kaynağını teşkil eder (Aydingöz,2005).

Çizelge 5.7 Jeotermal suların kimyasal özelliklerine bağlı korelasyon matrisi(*p< 0.5, **p< 0.01)

	pH	Sıcaklık	EC	TDS	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻²	Ca ⁺² +Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	Rn	Ra
pH	1											
Sıcaklık (°C)	0.201	1										
EC (µS/cm)	0.382	0.329	1									
TDS (mg/L)	0.372	0.025	0.096	1								
Cl⁻ (meq/L)	0.775**	0.094	0.363	0.394	1							
HCO₃⁻ (meq/L)	-0.181	0.134	0.173	0.354	0.157	1						
SO₄⁻² (meq/L)	-0.375	-0.157	-0.161	-0.567**	-0.714**	-0.609**	1					
Ca⁺²+Mg⁺² (meq/L)	-0.545*	0.051	0.056	0.190	-0.496*	0.270	0.215	1				
Na⁺ (meq/L)	-0.835**	-0.144	-0.243	-0.344	-0.836**	-0.014	0.606**	0.562**	1			
K⁺ (meq/L)	0.628**	0.261	0.659**	0.371	0.664**	0.136	-0.439	-0.194	-0.745**	1		
Rn (Bq/L)	-0.174	-0.299	-0.383	0.054	-0.243	-0.375	0.282	0.204	0.318	-0.451*	1	
Ra (Bq/L)	0.643**	0.130	-0.066	0.258	0.294	-0.216	-0.147	-0.118	-0.352	0.136	0.421	1

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Türkiye dünyanın en büyük jeotermal kuşaklarından biri olarak kabul edilen Alp-Himalaya kuşağında yer almaktadır. Jeotermal sular dünyada ve Türkiye’de elektrik enerjisi üretilmesi, seraların ve konutların ısıtılması ve tedavi amaçlı olarak kullanılmaktadır. Jeotermal sular içme suyuna oranla içme suyundan daha fazla radyonüklid ve ağır metal içerir.

Radon dünyada akciğer kanserinin en önemli sebepleri arasında sayılmasına rağmen bazı ülkelerde tedavi amaçlı da kullanılmaktadır. Radonun hangi hastalıklara iyi geldiği konusunda çalışmalar hala sürmektedir.

Türkiyede, özellikle Ege Bölgesi’nde tarımda sulama amaçlı olarak yeraltı sularından yararlanılmasından dolayı, bu suların içeriklerinin bilinmesi sağlık açısından önemlidir (Camgöz, 2010).

Bayındır jeotermal sistemi sıg dolaşımli düşük entalpili bir sistemdir. Sistemin rezervuar kayaçlarını çatlaklı kalkışist ve mermerler oluşturur. Teorik hesaplamalar hazne kaya sıcaklığının 55-118 °C olabileceğini göstermektedir. Çalışma alanındaki sıcak sular Na-HCO₃ su tipini yansıtır. İzotopik veriler sıcak suların meteorik kökenli olduğunu ve genç yağışlardan etkilendiğini işaret etmektedir. Sıcak sularda önemli bir sorun olan bor kirliliği Bayındır çevresindeki sıcak sularda görülmemektedir (Bulut ve Filiz, 2005).

İzmir iline bağlı Bayındır ilçesi Ergenli-Dereköy mevkiinde yapmış olduğumuz bu çalışmada iki farklı jeotermal tesisteki sularda ve jeotermal tesislerin içindeki odalarda, jeotermal tesislerin yakınındaki iki ev ve bir binada bina içi radon konsantrasyon değişimleri incelenerek bu bölgedeki kapalı yaşam alanlarındaki riskler belirlenmeye çalışılmıştır. Elde ettiğimiz verilerde de görüldüğü gibi Dereköy mevkiinde bina içi ve jeotermal sulardaki radon konsantrasyonlarının uluslararası kuruluşlarca verilen limit değerlerle yakın seviyelerde olduğu, hem jeotermal tesisleri kullanan hem de bu köyde yaşayan halk için bir tehlike yaratmadığı anlaşılmıştır.

Bayındır ilçesi Dereköy mevkiindeki Ilıca 1 ve Ilıca 2’deki odalarda bina içi radon konsantrasyonları incelendiğinde en yüksek konsantrasyonun 247,5 Bqm⁻³ ile Ocak ayında Ilıca 2’de 122 No’lu odada, en düşük konsantrasyonun ise 39,3

Bqm⁻³ ile Şubat ayı Ilıca 2'deki 123 No'lu oda ve yine 39,3 Bqm⁻³ ile Eylül ayı Ilıca 1'de 7 No'lu odada olduğu belirlenmiştir.

Ilıca 1'de 6 No'lu odadaki en yüksek bina içi radon konsantrasyonu 110 Bqm⁻³ ile Temmuz ayında, Ilıca 1 7 No'lu odadaki en yüksek radon konsantrasyonu 211,3 Bqm⁻³ ile Ocak ayında, Ilıca 1 9 No'lu odadaki en yüksek radon konsantrasyonu 138,8 Bqm⁻³ ile yine Ocak ayında, Ilıca 1'de su kaynağının bulunduğu tesisin alt katındaki odada en yüksek radon konsantrasyonu 124,3 Bqm⁻³ ile Temmuz ayında gözlemlenmiştir.

Ilıca 2'de 121 No'lu odadaki en yüksek bina içi radon konsantrasyonu 235,4 Bqm⁻³ ile Kasım ayında, Ilıca 2 122 No'lu odadaki en yüksek radon konsantrasyonu 247,5 Bqm⁻³ ile Ocak ayında, Ilıca 2 123 No'lu odadaki en yüksek radon konsantrasyonu 205,3 Bqm⁻³ ile Kasım ayında, Ilıca 2'de ortak kullanılan banyodaki en yüksek radon konsantrasyonu 187 Bqm⁻³ ile Kasım ayında, Ilıca 2'de su kaynağının bulunduğu odadaki en yüksek radon konsantrasyonu 357 Bqm⁻³ ile Ocak ayında gözlenmiştir.

Ilıca 1 ve Ilıca 2'de bina içi radon konsantrasyonları incelendiğinde aylara göre düzenli bir artış ya da azalış gösterdiğini söylemek zordur. Ancak, odaların müşteriler tarafından kullanıldığı aylarda bina içi radon seviyeleri azalmış, odaların kullanılmadığı aylarda ise radon seviyeleri artmıştır. Bunun sebebi, jeotermal sular kükürt içermesinden dolayı kötü kokmaktadır ve bu koku jeotermal tesisleri kullanan müşterileri rahatsız etmektedir. Bu nedenle, odalar sık sık havalandırılmaktadır. Odalar kullanılmadığı zamanlarda ise çalışanlar tarafından havalandırılmamaktadır. Buna bağlı olarak radon seviyelerindeki artışın bundan kaynaklandığını söyleyebiliriz.

Ev 1 olarak adlandırdığımız ev Ev 3'ün hemen yanındaki bir köy evidir ve zemini ince bir betonla kaplanmıştır. Sahipleri tarafından sadece mahsül toplama zamanlarında kullanılmaktadır. Ev 2 olarak adlandırdığımız ev ise bir bahçe evidir ve bahçede çalışan işçiler tarafından kullanılmaktadır. Zemini topraktır ve ev kapısı açık bırakıldığı için sürekli havalanmaktadır. Ev 1 ve Ev 2 arasındaki mesafe yaklaşık 100 m kadardır. Bina içi radon ölçüm sonuçları incelendiğinde en yüksek radon konsantrasyonunun 173 Bqm⁻³ ile Şubat-Mart ayları arasında Ev 1'e ait olduğu görülür. En düşük bina içi radon konsantrasyonu ise 41,2 Bqm⁻³ ile yine Ev 1'e aittir. Bina içi radon konsantrasyonunun en yüksek olduğu Şubat-Mart ayları arasında Ev 1 ve Ev 2 kullanılmamıştır. Ancak bahçe evinin yani Ev 2'nin

kapısı açık bırakıldığı halde bina içi radon konsantrasyonunun 165 Bqm^{-3} olması bina temelinin yalıtımının ne kadar önemli olduğunu göstermektedir.

Ev 3’de bina içi radon konsantrasyonlarına baktığımızda, en yüksek radon konsantrasyonu $405,6 \text{ Bqm}^{-3}$ ile Ocak ayında Oda 5’dedir. En düşük radon konsantrasyonu ise $39,3 \text{ Bqm}^{-3}$ ile Mart-Nisan tarihleri arasında Oda 4’de gözlemlenmiştir. Aralık ve Ocak aylarında Oda 5’de gözlenen yüksek konsantrasyonların nedeni, odayı kullanan kişinin rahatsızlığı nedeniyle Oda 5’de olmamasına bağlı olarak bu iki ay boyunca odanın kapalı kalmasıdır. Oda 6 ve Oda 1 sürekli havalandırıldığı ve beton zemine sahip olduğu için bina içi radon konsantrasyonları düşük çıkmıştır. Fakat bina içi radon konsantrasyonları havalandırmaya bağlı olarak diğer odalar ve Oda 2’de değişkenlik göstermiştir. Oda 2’de radon konsantrasyonu Aralık, Ocak, Şubat ve Mart aylarında yetersiz havalandırmadan dolayı diğer aylara göre yüksek çıkmıştır. Oda 3 ve Oda 4’de de durum bu şekildedir. Ev 3’ün kapalı olduğu Temmuz-Ağustos aylarında ve kış aylarında yetersiz havalandırmadan dolayı Oda 3 ve Oda 4’de radon konsantrasyonları diğer aylara göre yüksek çıkmıştır.

Bina içi radon konsantrasyonu frekans dağılımına bakıldığında radon konsantrasyonları daha çok düşük seviyelerde ölçülmüştür. Yüksek seviyelerde ölçülen bina içi radon konsantrasyonlarının sıklığı ise %1 oranındadır (Şekil 5.5).

Çin’in Guangdong bölgesinde dört farklı kaplıcada yapılan bir çalışmada bina içi radon ölçümü yapılmış ve radon konsantrasyonu $17,2-190,9 \text{ Bq/m}^3$ olarak bulunmuştur (Song, 2005). Burada ölçülen en yüksek değer, Bayındır İlçesi’ndeki termal tesislerde ölçülen en yüksek değerden oldukça düşüktür.

Ayrıca, Yunanistan’ın Lesvos Adası’nda 1999 yılının yazından başlayıp 2002 yılının yazına kadar beş termal tesiste ölçülen bina içi radon konsantrasyonları $224-1100 \text{ Bq/m}^3$ olarak bulmuştur (Vogiannis, 2004). Bu değerler Bayındır ılıcalarında ölçülen değerlerden oldukça yüksektir ve uluslararası kuruluşlarca verilen limit değerlerin üstündedir.

Manic ve arkadaşları, Sırbistan’da NiskaBanja’da yaptığı çalışmada içinde bir okul ve termal tesisin olduğu toplam 201 odada Mart-Haziran 2000 tarihleri arasında bina içi radon konsantrasyonunu ölçmüşlerdir. Radon konsantrasyonu okuldaki sınıflarda ortalama 45 Bq/m^3 , diğer çalışma alanlarında radon konsantrasyonu 800 Bq/m^3 , termal tesislerde ise radon konsantrasyonun $200-1320$

Bq/m³ arasında değiştiği görülmüştür (Manic, 2006). Bu  alışma, Bayındır ılıcaları ve ertafında ölçüm alınan binalardaki bina içi radon konsantrasyonu değerleri ile karşılaştırıldığında, bu değerlerin bizim elde ettiğimiz değerlerden çok yüksek olduğu görülmektedir.

Uluslararası Radyasyondan Korunması Komitesi (ICRP), radona maruz kalma konusunu sınırlandırılarak, limit değerler tavsiye etmiş ve yıllık etkin doz için bir eylem seviyesi tespit etmiştir. Eylem seviyesinin, 3-10 mSv arasında sınırlandırılması tavsiye edilmiştir. Bu doz değerlerine karşılık gelen radon konsantrasyonu evler için 200-600 Bqm⁻³ (evde geçirilecek süre yılda 7000 saat ve denge faktörü 0.4 alınarak), iç yerlerinde ise 500-1500 Bqm⁻³ arasında bir değer tespit edilmesi önerilmiştir. Hırvatistan'da termal tesiste yapılan bir çalışmada termal tesiste çalışan personel tarafından alınan yıllık etkin dozun 0,27 mSv/y olarak bulunmuştur (Radolic, 2005).

Jeotermal su radon konsantrasyonu değişimlerine baktığımızda en düşük radon konsantrasyonu Kasım ayında Ilıca 2'de 3 Bq/L, en yüksek radon konsantrasyonu 13,3 Bq/L ile yine Ilıca 2'de gözlemlenmiştir. Jeotermal sularda radon konsantrasyonları yaz aylarına doğru düşüş göstermiştir (Bkz. şekil 5.7).

Jeotermal sularda radyum konsantrasyonlarına bakıldığında en düşük radyum konsantrasyonu 0,35 Bq/L ile Ağustos ayında Ilıca 2'de, en yüksek radyum konsantrasyonu ise Nisan ayında Ilıca 1'de 1,71 Bq/L olarak ölçülmüştür.

Ilıca 1 ve Ilıca 2'den alınan jeotermal sularda radon konsantrasyonları radyum konsantrasyonlarından daha yüksek çıkmıştır. Bunun sebebi, radyum suda eriyerek yeraltı sularına karışmadan toprak tarafından emilir. Radon ise toprak ve kayalar yardımıyla suya karışır.

Hırvatistan'da termal ve maden sularında radyum konsantrasyonu ölçülmüş ve değerler 0,07-4,40 Bq/L arasında bulunmuştur. Bu sular hem termal tedavi amaçlı hemde içme suyu olarak kullanılmaktadır (Marovic, 1996). Bu değerler Bayındır ılıcaları ile kıyaslandığında, Bayındır'daki ılıcalardaki radyum konsantrasyonlarının oldukça düşük olduğu görülmektedir.

Ereeş ve arkadaşlarının (2006) jeotermal olarak Türkiye'nin en zengin kaynaklarına sahip olan Batı Anadolu'da yaptıkları çalışmada jeotermal sularda periyodik olarak aylık radon konsantrasyonunu 0,14-5,77 Bq/L, radyum

konsantrasyonunu 0,12-0,7Bq/L olarak bulmuşlardır. Yine Batı Anadolu’da yer alan Bayındır İlçesi’nde yapılan bu çalışmada ise radon konsantrasyonu 3-13,3 Bq/L, radyum konsantrasyonları ise 0,35-1,71 Bq/L arasında bulunmuştur.

Ilıca 1 ve Ilıca 2 jeotermal suların sıcaklık değişiminde bakıldığında, Ilıca 1’de Şubat ve Mart aylarında diğer aylara göre 3-4 derecelik bir düşüş gözlenirken Ilıca 2’de sıcaklık diğer aylarla kıyaslandığında en fazla bir derece değişim göstermiştir.

Sularda pH ve iletkenlik ölçümleri bazen jeolojik yapının belirlenmesi için kullanılabilir bir parametredir. Yer altı kayaç tabakalarının ortaya çıkmasında ve bu kayaçlarının tipinin belirlenmesinde önemli parametrelerdir. İletkenlik, sularda çözünmüş katıların konsantrasyonundaki değişimi ifade etmektedir. Suda iletkenliğin artışı, aynı zamanda suyun kirliliğinin bir ölçüsüdür. Ilıca 1 ve Ilıca 2’den alınan jeotermal su örneklerinin kimyasal özelliklerine baktığımızda, jeotermal suların iletkenlik, Cl, CO₃, toplam anyon, Ca+Mg değerleri ile bu jeotermal suların sıcaklıkları arasında bir korelasyon bulunamamıştır. Aynı şekilde, jeotermal suların kimyasal özellikleriyle bu suların içerdiği radon ve radyum konsantrasyonları arasında da bir ilişki bulunamamıştır. Fakat, yapılan bir çalışmada jeotermal suların kimyasal özelliklerinin sürekli ölçümünün, radon ölçümlerini destekleyici nitelikte olabileceği belirtilmiştir (Tabar, 2010).

Korelasyon tablosuna göre, pH ile Cl⁻ (r=0.775) ve K⁺ (r=0.628) arasında pozitif bir korelasyon görülmektedir. pH ve Na⁺ arasında ise (r=-0.835) negatif bir korelasyon bulunmuştur. EC ile K⁺ arasında pozitif bir korelasyon elde edilmiştir (r=0.639). TDS ve SO₄ arasında negatif korelasyon bulunmuştur (r=-0.567). Cl⁻ ile SO₄, Na, Ca+Mg arasında negatif ilişki elde edilmiştir. Yine Cl⁻ ile K⁺ arasında pozitif ilişki bulunmuştur (r=0.664). SO₄ ile HCO₃ arasında negatif korelasyon elde edilmiştir (r=-0.609). SO₄ ile Na⁺ ve Ca⁺+Mg⁺’nin pozitif olarak değiştiği görülmektedir. Na⁺ ve K⁻ negatif olarak değişmektedir. Yine K⁻ ve Rn ters orantılı olarak değişmektedir (Çizelge 5.7).

Radon sularda kolayca çözünebilmesinden dolayı az miktarlarda radyum içeren toprak ve kayaçlarda bile radonla karşılaşmamız olasıdır. Radon sularda çözülebildiğinden dolayı evlerimizde su kullanılan yerlerde küçükte olsa radyasyona maruz kalırız. Sularda bulunan çözünmüş radon kapalı ortamlara

transfer olduğuunda ve bu ortamlar sık sık havalandırılmadığında bu yerlerdeki ^{222}Rn konsantrasyonu artmaktadır. Termal suların kullanıldığı yerlerde radon konsantrasyonu daha yüksektir ve bu alanlarda havalandırma az olduğundan ^{222}Rn konsantrasyonun yüksektir. Radonun bozunma ürünleri havadaki toz ve diğer parçacıklara tutunarak solunum yoluyla kolayca alınabilir ve akciğer dokusunda önemli hasarlara neden olabilir.

İzmir ili Bayındır İlçesi'nde yapılan bu çalışma, bu bölgede yapılan ilk çalışma olması nedeniyle önem taşımaktadır. Termal suların yüksek konsantrasyonlarda radon içermesi nedeniyle termal tesislerde etrafındaki binalarda, sularda ve bina içi radon ölçümleri yapılması, bu tesisleri kullanan ve o bölgede yaşayan insanlar için önemlidir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Arias, H., Palacios D., Sajó-Bohus, L. and Vilorio, T.,** 2005, Alternative procedure for LR 115 chemical etching and alpha tracks counting, *Radiation Measurements*, Pages 357-362 pp.
- Aydınöz, M.,** 2005, Afyonkarahisar Bölgesinde Bulunan Kaplıca Sularının Mevsimsel Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 93s.
- Barretto, P.M.C.,** 1973, Emanation characteristics of rocks, soils, and Rn-222 loss effect on the U-Pb system discordance, Ph. D. Thesis, Rice University.
- Borrelli, R. A.,** 1999, Characterization Of Radioactivity In The Environment, The Faculty of The Worcester Polytechnic Institute, 72p.
- Bolca, M., Kılınç, R., Altınbaş, Ü., Saç, M.M., Kumru, M.N., Çolak Esetlili, B., Esetlili, T. ve Özen, F.,** 2010, Alangüllü(Aydın) Bölgesindeki Jeotermal Kaynakların Kimyasal Özelliklerinin Ve İçerdikleri Radyoaktif Maddelerin Su Kaynakları, Tarım Toprakları Ve Kültür Bitkilerine Etkilerinin Multidisipliner Yaklaşımla Saptanması Üzerine Araştırmalar, 1070085, TÜBİTAK Projesi, 395s.
- Bozkurt, E.,** 1996, Metamorphism of Paleozoic schists in the Southern Menderes Massif: field, petrographic, textural and microstructural evidence. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 5,105-121 pp.
- Bulut, M. ve Filiz, Ş.,** 2005, Bayındır Jeotermal Sahasının Hidrojeolojisi, Hidrokimyası Ve İzotopik Özellikleri, İzmir, Batı Anadolu, Türkiye, *MTA Dergisi*, 131, 63-78s.
- Camgöz, B., Saç, M. M., Bolca, M., Özen, F., Oruç, Ö. E. ve Demirel, N.,** 2010, Termal Suların Radyoaktivite ve Kimyasal içeriklerinin incelenmesi; İzmir, Seferihisar Bölgesi Örneği, *Ekoloji*, 19, 76, 78-87 doi: 10.5053/ekoloji.2010.769.
- Campero, M.A., Fleischer, R.L. and Likes, R.S.,** 1980, Changes in subsurface radon concentration associated with earthquakes, *J. Geophys. Res.*, 85:3053–3057 pp.
- Ciolini, R. and Mazed, D.,** 2010, Indoor radon concentration in geothermal areas of central Italy, *Journal of Environmental Radioactivity*, Volume 101, Issue 9, September 2010, Pages 712-716 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

- Cothorn, R.C. and Smith J.E.**, 1987, Environmental Radon, Environmental Science Research, Plenum Press, New York and London, 188p.
- Değerlier, M.**, 2007, Adana İli ve Çevresinin Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Saptanması Ve Doğal Radyasyonların Yıllık Etkin Doz Eşdeğerinin Bulunması, Doktora Tezi, ÇÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 175s.
- Dora, O., Ö., Kun, N. ve Candan, O.**, 1992, Menderes masifinin metamorfik tarihçesi ve jeotektonik konumu. Türkiye Jeoloji Bülteni, 35, 1-14s.
- Erdoğan, B. ve Güngör, T.**, 1992, Menderes Masifinin kuzey kanadının stratigrafisi ve tektonik evrimi. TPJD Bülteni, 4/1, 9-34.
- Erees, F.S. , Yener, G., Salk, M. and Özbal, Ö.**, 2006, *Radiation Measurements*, Pages 354-361 pp.
- Erees, F.S., Aytaş, Ş., Saç, M.M., Yener, G. and Şalk, M.**, 2007, Radon concentrations in thermal waters related to seismic events along faults in the Denizli Basin, Western Turkey, *Radiation Measurements*, 42, 80–86 pp.
- Eroğlu, A., Aksoy, N.**, 2003, Jeotermal Suların Kimyasal Analizi, Jeotermal Enerji Semineri, Ankara
- Florou, H., Kehagia, K., Savidou, A. and Trabıdou G.**, 2006, The Radiological Evaluation of Uranium, Radium and Radon in Metallic and Thermo-Metallic Springs in Ikaria Island, The Eastern Aegean Sea, Greece, *Radioactivity in the Environment*, 235-242 pp.
- Güloğlu, A.**, 2007, Çeşme bölgesi aktif fay hatlarındaki kaplıçalarda radon anomalileri ile sismik aktiviteler arasındaki ilişkilerin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü, 61s.
- Horvath, A., Bohus, L.O., Urbani, F., Marx, G., Piroth, A. and Greaves E.D.**, 2000, Radon Concentrations in Hot Spring Waters in Northern Venezuela, *Journal of Enviromental Radioactivity*, 47, 127-133 pp.
- Ilgar, R.**, 2005, Ekolojik Bakışla Jeotermal Kaynaklara Dualist Yaklaşım, *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, Cilt 4, Sayı 13, 88-98
- İçhedef, M.**, 2011, Radon Difüzyon Hızının Farklı Büyük Toprak Gruplarına Göre Değişiminin İncelenmesi, Doktora tezi, EÜ Nükleer Bilimler Enstitüsü, 123s

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

- İzdar, K. E.**,1975, Batı Anadolu'nun jeoteknik gelişimi ve Ege Denizi çevresine ait üniteler ile karşılaştırılması. EÜ Mühendislik Bilimleri Fakültesi yayını, 58-59s.
- Jelle, B.P.**, 2012, Development of a model for radon concentration in indoor air *Science of The Total Environment*, 343-350 pp.
- Kalıncı, Y.**, 2006, Dikili’de Jeotermal Bölgesel Isıtma Sisteminin Araştırılması, (Yüksek Lisans Tezi), D.E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Karakuş, H. and Şimşek, S.**, 2008, Hydrogeological and geochemical studies of the Efteni and Derdin geothermal areas, Turkey, *Geothermics*, 37, 510–524 pp.
- Kumru, M.N.**, 1992, Determination of Radium–226 in Environmental Samples by the Collector Chamber Method., *Appl. Radiat. Isot.* 43 (8):1031–1034 pp.
- Kumru, M.N. and Öznur, Ö.**,1994, Investigations of some parameters of the collector chamber method for the determination of Radium-226, *Appl. radiat. Isot.*, 45 (11):1113-1114p.
- Külekçi, Ö. C.**, 2009, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Arasında Jeotermal Enerjinin Yeri ve Türkiye Açısından Önemi, *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi, Cilt: 1 Sayı: 2 Sayfa: 083-091*.
- Manic, G., Petrovic, S., Manic, V., Popovic, D. and Todorovic, D.**, 2006, Radon concentration in a spa in Serbia, *Environment International*, 533-537pp.
- Marovic, G., Sencar, J., Franic, Z. and Lokobaue, N.**, 1996, Radium-226 in thermal and mineral springs of Croatia and associated health risks, *Journal of Environmental Radioactivity*, 309-317 pp.
- MTA**, 1980, Türkiye Sıcak ve Mineralli Sular Envanteri, Ankara, 78s.
- MTA**, 2005, İzmir Yakın Çevresinin Diri Fayları Ve Deprem Potansiyelleri, Rapor No: 10754.
- Nazaroff, W. and Nero, V.**, 1988, Radon and its decay products in indoor air, A wiley- interscience publication.
- Nazaroff, W.W.**,1992, Radon Transport from Soil to Air, *Reviews of Geophysics*, 30:137-160 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

- Nikolopoulos, D., Vogianis, E., Petraki, E., Zisos, A. and Louizi, A.,** 2010, Investigation of the exposure to radon and progeny in the thermal spas of Loutraki (Attica-Greece): Results from measurements and modelling, *Science of The Total Environment*, 495-504 pp.
- Özgür, N. ve Pekdeğer, A.,**1995, Active geothermal systems in the rift zones of the Menderes Massif, western Anatolia, Turkey. In: Kharaka, Y. K. and Chudaev, O.V. (eds):Proc. Intenat. 8th Symposium on Water-Rock Interaction, Vladivostok/Russia, 529-532 pp.
- Öznur, Ö.,** 1993, Kolektör Yönteminin Geliştirilmesi ve Optimum Koşullarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü, 61s.
- Papastefanou, C.,** 2007, Measuring radon in soil gas and ground waters: a review, *Annals of geophysics*, 50:569-578.
- Radolic, V., Vukovic, B., Smit, G., Stanic, D. and Planinic, J.,** 2005, Radon in the spas of Croatia, *Journal of Environmental Radioactivity*, 191-198 pp.
- Saç, M.M.,**1994, İzmir İli İçme ve Kullanım Sularında Radyoaktivite ve Veriler Arasında Korelasyon Analizleri, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü, 64s.
- Schumann, R.R.,** 1993, the radon emanation coefficient: an important tool for geologic radon potential estimations, The 1993 International Radon Conference.
- Serpen, U., Aksoy, N., Öngür, T. and Korkmaz, E. D.,** 2009, Geothermal energy in Turkey: 2008 update, *Geothermics*, 38, 227–237
- Song, G., Zhang, B., Wang, X., Gong, J., Chan, D., Bernett, J. and Lee, S.C.,** 2005, *Science of The Total Environment*, Volume 339, China, 63-70 pp.
- Şimşek, Ş.,** 2002, Research on Isotope Techniques for Exploitation of Geothermal Reservoirs in Western Turkey. IAEATEC-DOC Publication, Vienna.
- Tabar, E.,** 2010, Dikili Ve Bergama Bölgelerindeki Tektonik Aktivitenin Jeotermal Sularda Radon Ölçümleri İle Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans tezi, EÜ Nükleer Bilimler Enstitüsü, 86s.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

- Tanner, A.B.**, 1980, Radon Migration in the Ground: A Supplementary Review, In the Natural Radiation Environment III, University of Chicago Press, Chicago, 5–56 pp.
- Tarcan, G.**, 2005, Mineral saturation and scaling tendencies of waters discharged from wells (N150 8C) in geothermal areas of Turkey, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 142, 263–283pp.
- UNSCEAR**, 2000, Sources of ionizing radiation. Report to the General Assembly, United Nations, New York. ISBN 90-441-1195-7.
- Vengosh, A., Helvacı, C. and Karamenderesi, İ. H.**, 2002, Geochemical constraints for the origin of thermal waters from western Turkey, *Applied Geochemistry*, 17, 163–183 pp.
- Vogiannis, E., Nikolopoulos, D., Louizi, A. and Halvadakis, C.P.**, 2004, Radon variations during treatment in thermal spas of Lesbos Island (Greece) *Journal of Environmental Radioactivity*, 159-170 pp.
- Wiegand, J. and Bleile, D.**, 2005, Checking the “10 point system” for an evaluation of the soil radon potential, *Radioactivity in the Environment*, 833-841 pp.
- Yamaoka, K., Mifune, T., Kojima, S., Mori, S., Shibuya, K., Tanizaki, Y. and Sugita, K.**, 2002, Basic study on the radon effects and the thermal effects in radon therapy International Congress Series, 75-79 pp.
- Yamaoka, K., Mitsunobu, F., Hanamoto, K., Mori, S., Tanizaki, Y. and Sugita, K.**, 2004, Study on biologic effects of radon and thermal therapy on osteoarthritis, *The Journal of Pain*, 20-25 pp.
- Yaprak, G.**, 2003, Aktif Gediz grabeninde yer alan Alaşehir/Manisa yöresinde tektonik aktiviteye dayalı radon anomalilerinin incelenmesi, TÜBİTAK projesi, E.Ü. Nükleer Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- Yarar, Y., Günaydı, T. and Kam E.**, 2005, A radon survey in some regions of Turkey, International Congress Series, 1276, 385–386 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

Yılmaz, Y. ,2000, Ege bölgesinin aktif tektoniği. Batı Anadolu'nun Depremselliği Sempozyumu, 24-27 Mayıs 2000, İzmir, 3-12s.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Zeynep Yarar

Doğum Yeri : İzmir

Doğum Yılı : 28.10.1985

Öğrenim Durumu:

Lisans : 2004-2009 Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen-Edebiyat
Fakültesi Fizik Bölümü

Yüksek Lisans : 2010-2013 Ege Üniversitesi, Nükleer Bilimler Enstitüsü,
Nükleer Bilimler Anabilim Dalı

Mesleki Durumu:

2013- : AKKUYU Nükleer Güç Santrali Elektrik Üretim A.Ş. -Toplum
Bilgilendirme Merkezi Uzmanı