

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

**İZMİR SEFERİHİSAR VE BALÇOVA JEOTERMAL
BÖLGELERDEKİ BİNALARDA RADON
DÜZEYLERİNİN BELİRLENMESİ**

Aylin ARIKPINAR

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Müslim Murat SAÇ

Nükleer Bilimler Anabilim Dalı

Bilim Dalı Kodu: 622.01.01

Sunuş Tarihi: 01/09/ 2010

**Bornova-İZMİR
2010**

Aylin ARIKPINAR tarafından YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak sunulan “İzmir Seferihisar ve Balçova Jeotermal Bölgelerdeki Binalarda Radon Düzeylerinin Belirlenmesi” başlıklı bu çalışma E. Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim yönetmeliği ile E. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile E. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi’nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 01/09/2010 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybiligi/ oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri

İmza

Jüri Başkanı	:		
Raportör Üye	:		
Üye	:		

ÖZET**İZMİR SEFERİHİSAR VE BALÇOVA JEOTERMAL
BÖLGELERDEKİ BİNALARDA RADON DÜZEYLERİNİN
BELİRLENMESİ****ARIKPINAR, Aylin****Yüksek Lisans Tezi, Nükleer Bilimler Enstitüsü****Tez Yöneticisi: Doç. Dr. M. Murat SAÇ****Eylül 2010, 49 Sayfa**

Radyoaktif bir gaz olan radonun solunum yoluyla alınması insan sağlığı açısından önemli bir risk oluşturmaktadır. İnsanlar zamanlarının büyük bir kısmını kapalı mekanlarda geçirdikleri için radona maruz kalmaları önemli bir problem olarak ortaya çıkmaktadır. Bu tez çalışmasının amacı, jeotermal alanlarda bulunan binalarda bina içi radon konsantrasyonlarının belirlenmesi ve bulunan sonuçların standart değerler ile karşılaştırılmasıdır. Çalışma bölgesi olarak İzmir Seferihisar ve Balçova bölgesinde bulunan jeotermal alanlarda yer alan binalar seçilmiştir. Ölçümler, Haziran 2009-Mayıs 2010 olmak üzere aylık olarak yapılmıştır. Radon ölçümlerinde katıhal nükleer iz kazıma detektörleri (LR115 tip 2) kullanılmıştır. Bu yöntemde, LR115 film detektör bir difüzyon kabı içine yerleştirilerek radon etkisine maruz bırakılmıştır. Radonun radyoaktif bozunumu sonucu alfa taneciğinin film detektör üzerinde bıraktığı izler kimyasal bir yöntemle açılarak mikroskop altında görüntülendikten sonra sayılmaktadır. Yapılan ölçümlerin sonuçlarına göre Seferihisar bölgesinde bina içi radon konsantrasyonu 169 Bq/m^3 ile 958 Bq/m^3 arasında iken, Balçova bölgesinde bu aralık 302 Bq/m^3 ile 706 Bq/m^3 olarak saptanmıştır. Sonuçlar literatürdeki limit değerler ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bina içi radon, akciğer kanseri, jeotermal alan, LR-115 nükleer iz kazıma detektörü.

ABSTRACT**DETERMINATION OF THE LEVELS OF THE RADON
CONCENTRATION AT THE BUILDING NEAR THE
GEOTHERMAL AREAS IN SEFERIHISAR AND BALCOVA IN
IZMIR****ARIKPINAR, Aylin****Master's Degree Thesis, Nuclear Sciences Institution****Thesis Supervisor: Associate Professor M. Murat SAÇ****September 2010, 49 pages**

It is a significant risk for human health to inhale the radon gas which is radioactive. Depending on how houses are constructed and ventilated, for most people, the highest exposure to radon comes from the home. The aim of the thesis is to determine indoor radon concentration at the buildings in the vicinity of the geothermal areas in Seferihisar and Balçova, and to compare them with the literature. The measurements were done monthly at several locations between June 2009 and May 2010. The measurements of indoor radon were performed with solid state nuclear track detector (LR-115 type 2 film). In the present study, a number of closed tubes are placed in the several buildings. In each closed tubes contain some piece of plastic film (LR-115). The tube is left in place for a month. After the exposition time the piece of films are removed and submitted the chemical etching. The films are read to determine the number of alpha track records via microscope. The results are found between 169 Bq/m³ and 958 Bq/m³ in Seferihisar, 302 Bq/m³ and 706 Bq/m³ in Balçova. The results were compared with literature limit values.

Keywords: indoor radon, lung cancer, LR-115 nuclear track detector, geothermal water.

TEŞEKKÜR

Çalışmam boyunca bana yol gösteren ve hiçbir konuda benden desteğini esirgemeyen tez danışmanım Doç. Dr. Müslim Murat SAÇ' a teşekkürü bir borç bilirim. Çalışmam süresince laboratuvar ve enstitü imkanlarını sağlayan Nükleer Bilimler Enstitüsü Müdürü Sayın Prof. Dr. Perihan ÜNAK'a ve Enstitü çalışanlarına teşekkür ederim.

Yedi yıl boyunca birlikte çalışmaktan büyük mutluluk duyduğum sevgili çalışma arkadaşlarım Emre TABAR, Deniz GÖKER, Mustafa REVAN, Sercan AYDEMİR ve Can RAHMAN' a, her zaman yanımda olduğunu bildiğim sevgili arkadaşım Burçin ÖNAL' a, tüm hayatım boyunca olduğu gibi bu çalışmam süresince de sevgileriyle ve güvenleriyle bana en büyük desteği veren sevgili aileme sonsuz teşekkürler.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	v
ABSTRACT	vii
TEŞEKKÜR	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	2
2.1. Uranyum	2
2.2. Radyum	3
2.3. Radon	4
2.4. Radon İzotopları	4
2.5. Atmosferde Radon	5
2.6. Bina içi Radon	7
2.7. Radon Ölçüm Yöntemleri	12
2.8. Literatür Çalışmaları	13
2.9. Jeotermal Su Uygulamaları	17
2.10. Radonun Sağlık Etkileri	18
3. MATERYAL VE YÖNTEM	22
3.1. Çalışma Bölgesinin Jeolojik Yapısı	22
3.2. Radon Ölçümünde Kullanılan Yöntem	26
3.2.1. Kullanılan nükleer iz kazıma detektörleri	26
3.2.2. Katı hal iz kazıma detektörleri ile havadaki radon konsantrasyonunun tayin edilmesi	27
3.2.3. Nükleer iz kazıma detektörlerinin yıkanma işlemi	28

İÇİNDEKİLER (devam)**Sayfa**

3.2.4. Alfa izlerinin sayımı.....	29
3.2.5. Kalibrasyon	30
4. ARAZİ ve ETÜT ÇALIŞMASI	31
5. DENEYSEL SONUÇLAR	36
6. TARTIŞMA	40
KAYNAKLAR DİZİNİ	43
ÖZGEÇMİŞ	49

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa No</u>
2.1. Uranyum bozunma zinciri	3
2.2 Topraktan bina içine radon gazının geçişi	8
2.3. Bina içi radon konsantrasyonunda değişikliğe neden olan faktörlerin birbiri ile ilişkisi.....	9
2.4. Sıcaklık ve rüzgara bağlı olarak radonun bina içine girişi	10
2.5. Tümörün akciğerde gösterimi	19
3.1. Bölgedeki fay mekanizmaları ve denizdeki uzantıları.....	22
3.2. Ege Bölgesi aktif fay hatlarının karasal uzanımları ve kırmızı ok ile gösterilen Seferihisar fay hattı	23
3.3. Seferihisar jeotermal alanda seçilen istasyonların üzerinde bulunduğu fay hattı	24
3.4. Seferihisar jeotermal alanı jeoloji ve tektonik haritaları	26
3.5. Filmleri okumada kullandığımız banyo düzeneği	28
3.6. İz sayısını okumada kullandığımız mikroskop	29
3.7. Filmlerin üzerindeki izlerin mikroskop yardımıyla görünümü	30
4.1. İstasyonların konumu	31
4.2. Balçova bölgesindeki istasyonların konumu	32
4.3. Doğanbey termal alanı	33
4.4. Cumalı termal alanı	33
4.5. Karakoç termal alanı	34
4.6. Balçova 1 nolu Okul	34
4.7. Balçova 2 nolu Okul	35
4.8. Balçova 3 nolu Okul	35

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil	Sayfa
5.1. Doğanbey jeotermal alanında binaîçi radon konsantrasyonunun mevsimsel olarak değişimi.....	36
5.2. Karakoç jeotermal alanına ait binaîçi radon konsantrasyonunun mevsimsel olarak değişimi.....	36
5.3. Cumalı* jeotermal alanına ait binaîçi radon konsantrasyonunun mevsimsel olarak değişimi.....	37
5.4. Cumalı** jeotermal alanına ait binaîçi radon konsantrasyonunun mevsimsel olarak değişimi.....	37
5.5. Balçova 1 nolu okulda elde edilen binaîçi radon konsantrasyonunun aylara bağlı değişimi.	38
5.6. Balçova 2 nolu okulda elde edilen binaîçi radon konsantrasyonunun aylara bağlı değişimi.	38
5.7. Balçova 3 nolu okulda yapılan binaîçi radon konsantrasyonu ölçümlerinin zamana bağlı değişimi.	39

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa No</u>
2.1. Uranyumun doğal izotopları	2
2.2. Radyumun doğal izotopları	3
2.3. Radonun aktivite özellikleri.....	5
2.4. Çeşitli ülkeler ve uluslararası kuruluşlar tarafından benimsenen müsaade edilebilir radon konsantrasyonları	11
2.5. Değişik ülkelerdeki radon ölçüm değerleri	14
2.6. Radon ile ilgili olarak hesaplanan risk	20

1. GİRİŞ

İnsanlar hayatları boyunca çeşitli doğal kaynaklara bağlı olarak ortaya çıkan iyonlaştırıcı radyasyondan etkilenmektedir. Doğal kaynaklara bağlı olarak maruz kalınan radyasyon dozlarının belirlenmesi için birçok çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda alınan doza en büyük katkının atmosferik ortamda bulunan doğal radyonüklidlerden geldiği görülmektedir. Bu radyonüklidler arasında ise en fazla payı radon ve kısa ömürlü ürünleri almaktadır.

Atmosferik ortamda yer alan radyonüklidler karasal orijinli olup konsantrasyonu göz önüne alınan ortamın jeolojik yapı ve özelliklerine oldukça bağlıdır. Bir ortamın jeofiziksel yapı ve karakteristik özelliklerini yeryüzüne yansıtarak bilgi veren en önemli kaynaklardan birisi de termal sulardır. Termal sular fay ve çatlakların bulunduğu bölgede magma ile beslenen sıcak ortamlarda ısınıp yüksek sıcaklıkta yeryüzüne çıkar. Bu sıcaklığın etkisi ile mineralli bölgeleri daha iyi yıkadığından daha yüksek radyoaktif element taşınması beklenir(Kınacı, 1988). Sıcaklığı yüksek olan sulara daha fazla radyum çözünmesi ve buna bağlı olarak da daha fazla radon yoğunluğu oluşur.

Normal içme sularında radon aktivite konsantrasyonu 1–10 pCi/L arasında değişirken yer altı sularında bu değer 100 pCi/L ye kadar çıkabilmektedir (Cothorn, 1991). Dolayısıyla jeotermal alanlarda bulunan binalarda solunan hava ile radon ve ürünlerinden alınan doz miktarı da artmaktadır.

Atmosferde bulunan radon ve bozunum ürünleri solunum yolu ile akciğere girer. Trankea, bronkia ve alveollere yerleşip akciğer doku ve hücrelerine içten sürekli olarak radyasyona maruz bırakır (Blaauboer, 1989; LI,1990).

Yapılan çalışmalarda jeotermal alanlarda radon düzeylerinin normal değerlerin üstünde olduğu bulunmuştur (Özbal 1999; Şen 2009).

Bu çalışmada, jeotermal bölgelerde yerleşmiş olan binalarda radon konsantrasyonları belirlenmiştir. Çalışma alanları olarak Seferihisar ve Balçova bölgesinde bulunan jeotermal alanlardaki binalar seçilmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1.Uranyum

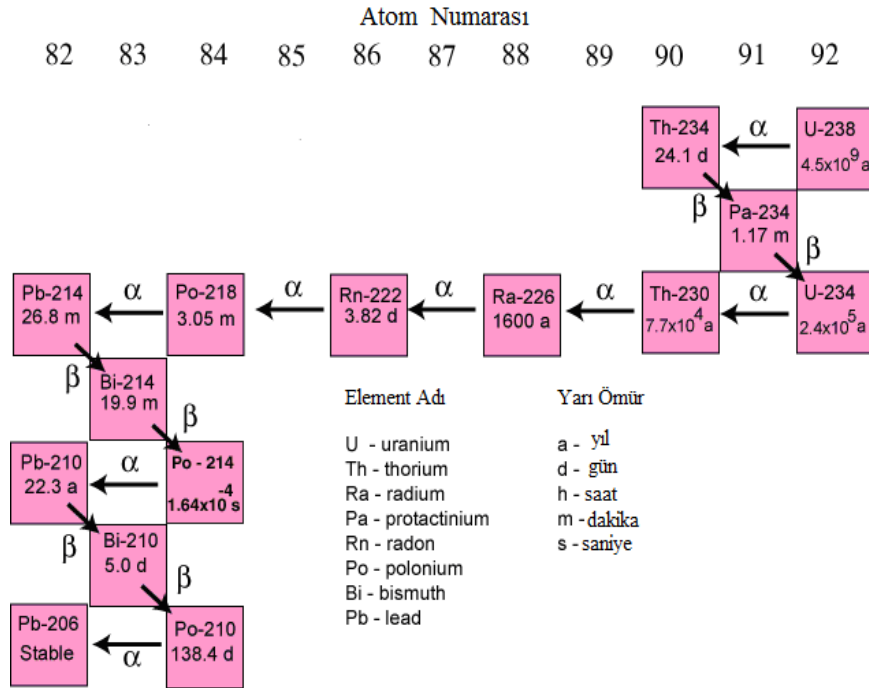
Uranyum 238,03 atom ağırlığı ile doğal elementlerin en ağırlı olup çekirdeğinde 92 proton, 146 nötron ve 92 elektron bulunmaktadır. IIIB grubunda yer alan uranyum radyoaktif kimyasal bir elementtir ve atom yarıçapı $1.43\text{\AA}$ 'dur. Ağır bir metal olan uranyumun yoğunluğu $19,1\text{ gr/cm}^3$, erime noktası 1132°C ve kaynama noktası ise 3818°C ' dir. Uranyum allotropik bir metal olduğu için değişik sıcaklıklarda farklı özellikler gösterir. Doğada bulunan radyonüklidlerin birçoğu ^{238}U 'in bozunma zincirinde yer almaktadır. Doğal uranyumun %99.28 gibi tamamına yakını ^{238}U oluşturmaktadır. Çizelge 2.1'de uranyumun doğal izotoplarının özellikleri verilmiştir.

Çizelge 2.1. Uranyumun doğal izotopları

İzotop	Doğal Çokluk(%)	Yarı Ömür(yıl)
^{238}U	99.28	4.5×10^9
^{235}U	0.72	0.7×10^9
^{234}U	0.005	2.4×10^5

Ortalama olarak uranyum aktivitesi toprakta 0.3–0.8 pCi/g, suda ise 0.03 pCi/L düzeyindedir (Kınacı, 1984).

U-238 BOZUNMA ZİNCİRİ



Şekil 2.1. Uranyum bozunma zinciri

2.2. Radyum

Periyodik tablonun IIA grubunda yer alır ve bir toprak alkali elementidir. Radyumun atom numarası 88, kütle numarası 213' den 230'a kadar, yarı ömrü ise 10⁻³' den 1620 yıla kadar değişen yapay ve doğal toplam 14 tane radyoizotopu olduğu bilinmektedir. Radyumun doğal izotopları ²²⁸Ra, ²²⁶Ra, ²²⁴Ra ve ²²³Ra olup özellikleri Çizelge 2.2' de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Radyumun doğal izotopları

İzotop	Bozunma Serisi	Ana Element	Ürün Element	Yarı Ömür	Bozunma Türü
²²⁸ Ra	²³² Th	²³² Th	²²⁸ Ac	5.8 yıl	β, γ
²²⁶ Ra	²³⁸ U	²³⁰ Th	²²² Rn	1620 yıl	γ, α
²²⁴ Ra	²³² Th	²²⁸ Th	²²⁰ Rn	3.66 gün	γ, α
²²³ Ra	²³⁵ U	²²⁷ Th	²¹⁹ Rn	11.4 gün	γ, α

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

2.3.Radon

Radyoaktivite, Marie Curie' nin Radium üzerindeki çalışmalarıyla bulunduktan sonra, doğal radyoaktivite ile ilgili olarak önemli boyutlarda bilimsel çalışma yapılmıştır. 1900 yılında fizikçi F. Ernst Born radium tuzlarının radyoaktif radon gazı çıkardığını buldu.

Radon atmosferde bulunan radyoaktif bir gazdır. ^{238}U serisinden bir izotopdur. ^{226}Ra ' nın radyoaktif bozunumu sonucu oluşmaktadır. Parçalanmasıyla diğer radyoaktif elementlere ve daha sonra ise radyoaktif olmayan kurşuna dönmektedir. Biyosferde bol bulunur. Kimyasal açıdan neon, kripton, ksenon gibi nadir elementlerden birisidir (Harley vd., 1990).

Atom numarası 86 olan Radon soygaz olarak doğada saf halde bulunmaktadır. Renksiz, kokusuz bir elementtir. Radon diğer kimyasal elementlerle reaksiyona girmez. Bilinen en ağır gazdır. Yoğunluğu 0°C derecede 9. 72 g/l dir. Havadan sekiz kat daha ağırdır. Bütün dünyada yalnız 100 ton, toprakta ise ortalama olarak 1 pCi/L civarında bulunmaktadır (Nakoman, 1979; Saç ve Camgöz, 2005).

Radon soğuk suda çözünebilir, çözünürlüğü sıcaklıkla ters orantılı olarak değişim göstermektedir. Radonun bu özelliği sonucunda suyun; giysilerin ve bulaşıkların yıkanmasında, genel temizlikte ve duş sırasında kullanılmasıyla ev ortamında gazın yayılımı gerçekleşmiş olur (Cothorn and Smith, 1987).

2.4.Radon İzotopları

Radonun ^{222}Rn , ^{220}Rn ve ^{219}Rn olmak üzere 3 doğal izotopu vardır.

Aktinon, atom numarası 219 ve yarı ömrü 3.935sn' dir. Aktinon, ^{235}U ' in radyoaktif parçalanma ürünüdür. ^{235}U doğada ^{238}U ile birlikte bulunur ve saf uranyum içindeki bolluğu % 0,7' dir. ^{235}U deki az bolluğu ve kısa ömrü nedeniyle aktinonun bozunmadan önce toprağın dışına çıktı az olur. Bu yüzden doğal radyoaktif çevrede az bulunmaktadır.

Toron, ^{232}Th 'nin radyoaktif parçalanma ürünüdür. ^{232}Th 'nin önemli miktarda bulunuşu ^{220}Rn 'nin yoğunluğunun oluşumuna sebep olur. Toronun yarı ömrü aktinona göre daha uzun olduğundan aktinona kıyasla toprak gazında ve yer atmosferinde daha fazla bir yoğunluk oluşturur. Radyoaktif parçalanma ürünü olan ^{222}Rn , ^{238}U 'in doğada fazla miktarda bulunması nedeniyle atmosferdeki yoğunluğu yüksektir.

Radon, atom numarası 222 olup, radon elementinin üç izotopu arasında 3.82 gün ile en uzun yarı ömre sahip olanıdır. Seri başı elementi ^{238}U 'in doğada bol ve yaygın dağılımı nedeniyle toprak gazında ve atmosferde önemli bir yoğunluk oluşturur. Radon, ^{226}Ra 'nın bozunumu sonucu oluşur.

Havadaki toz taneciklerine kolayca yapıştığı için radon ürünleri, radondan daha tehlikeli sayılmaktadır. Bütün doğal kaynaklardan, insan akciğerinin maruz kaldığı radyasyon dozunun %57 oranındaki bölümünü radon ve ürünlerinin yayımladığı α radyasyonu oluşturmaktadır (Türkman, 1993).

Çizelge 2.3. Radonun aktivite özellikleri

Seri başı	Ana element	Ürün elementi	Bilinen adı	Yarı ömür	Bozunma türü
U^{238}	Ra^{226}	Rn^{222}	Radon	3.82 gün	γ, α
Th^{232}	Ra^{224}	Rn^{220}	Toron	54.5s	γ, α
U^{235}	Ra^{223}	Rn^{219}	Aktinon	3.98s	γ, α

2.5. Atmosferde Radon

Toprakta büyük oranda doğal radyoaktif radon bulunmaktadır. Porlardan ve çatlaklardan sızabilmekte, çözünme özelliği nedeniyle suyla taşınabilmektedir. Radon atomlarının akımı topraktan havaya doğrudur. Topraktan havaya radon akımını etkileyen faktörler ise;

1. Radiumun toprak ve kayalarındaki konsantrasyonu
2. Toprağın permeabilitesi (dansite, porozite, granülometrik özellikleri)

3. Meteorolojik koşullar (toprak ve hava sıcaklığı, hava basıncı, rüzgar hızı, rüzgarın yönü)
4. Materyallerden kaçan radonun emanasyon gücü
5. Toprağın suya doyma derecesi
6. Bölgenin yüksekliği

Ayrıca;

1. Yer altı suları
2. Doğal gazlar
3. Kömür
4. Okyanuslar sınırlı da olsa radon salınımı yapabilmektedir.

Atmosferik basıncın düşmesi aynı zamanda toprak havasında da basıncın düşmesine neden olur. Bu durum derinden gelen radon migrasyonunu artırır. Yağışlı havalarda yüzey toprakları nemlenir ve toprak gözenekleri kapanır. Radon toprağın üst gözenğinde tuzaklandığı için aşağıdan yukarıya difüzyon yolu ile geçişi zorlaşır. Sıcaklığın artması ise toprağın kuruması ve gözeneklerin artmasına neden olur. Böylelikle radonun topraktan kaçışı kolaylaşır. Radon topraktan havaya geçtiği zaman rüzgarların etkisi ile atmosfere karışır. (Gözübüyük, 1995)

Radon konsantrasyonunun günlük ve mevsimsel değişimleri birçok araştırmaya konu olmuştur ve benzer sonuçlar elde edilmiştir. Radon konsantrasyonları genelde okyanuslar üzerindeki hava tabakasında 0.02 – 0.28 kBq/ m³ aralığında ve havalandırılmayan uranyum yataklarında 37 – 3700 kBq/ m³ aralığındadır (NCRP, 1988).

Radon konsantrasyonunun deniz seviyesinden yüksekliğe göre de mevsimsel değişikliğe bağlı olarak farklılıklar gösterdiği gözlemlenmiştir. Dağlık bölgelerde radon konsantrasyonu sıcaklık ve rüzgar etkisi ile dalgalanma göstermektedir. 1991 yılında Yamanishi' nin dağlık bölgelerde ve deniz kıyısında yaptığı bir çalışma sonucunda dağlık bölgelerdeki radon konsantrasyonunun deniz kıyısından daha yüksek olduğu saptanmıştır.

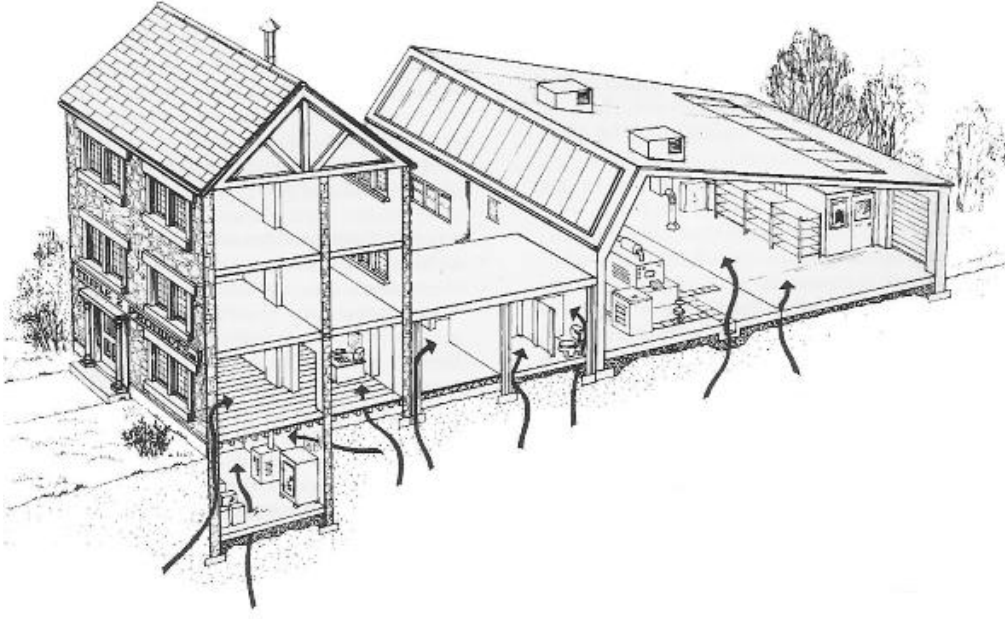
Enstitümüzde de bina dışı radon ölçümleri ile ilgili çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda bir yıl boyunca mevsimsel değişim incelenmiş ve şubat ayında minimum (4,5 Bq/m³) , Kasım ayında maksimum radon konsantrasyonu (8.28 Bq/m³) elde edilmiştir (Farzad, 1994; Ereeş,1995).

2.6.Binaîçi Radon

İnsanlar zamanlarının çok büyük bir kısmını kapalı ortamlarda geçirmektedir. Binalar dışarıdan gelen radyasyonu kısmen durdurmasına rağmen esas olarak bina materyallerindeki ve binanın bulunduğu zemindeki radyonüklid konsantrasyonundan dolayı binaîçi radyasyon düzeyi daha yüksek olabilir. Binalardaki radon düzeylerini yükselten ve değişiminde etkili olan birçok faktör bulunmaktadır.

Kapalı bir ortamda radon konsantrasyonuna etkide bulunan kaynaklar şunlardır (TAEK, 2009);

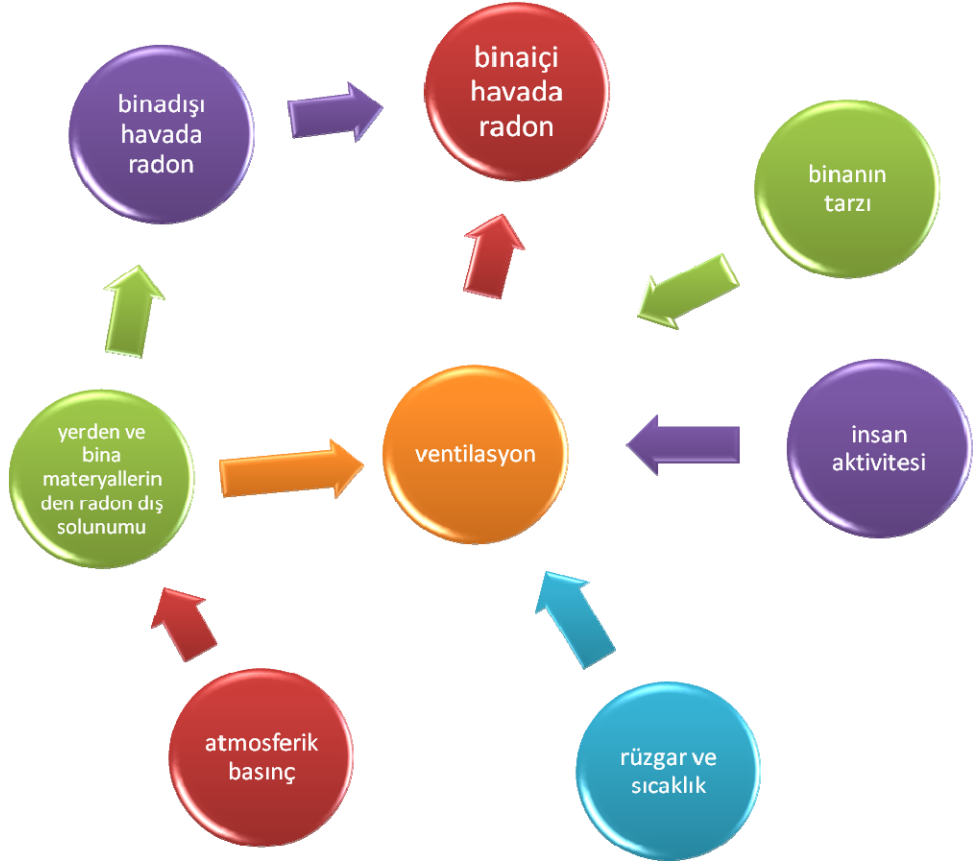
1. Topraktaki ve yapı malzemelerindeki ²²⁶ Ra miktarı,
2. Toprak ve yapı malzemelerinin nem oranı,
3. Toprak ve yapı malzemelerinin difüzyon potansiyeli,
4. Toprakla temasta olan yapının yüzey alanı ve izolasyon niteliği,
5. Binadaki havalandırma kapasitesi,
6. İklim koşulları,
7. Mutfakta ve ısınma amaçlı doğal gazın veya jeotermal enerjinin kullanımı,
8. İç- dış hava sıcaklık ve basınç farkı,
9. Bina içi aktiviteler sebebiyle sulardan bina içi atmosfere radon karışmasıdır.



Şekil 2.2 Topraktan binaiçi radon gazının geçişi

Binaïçi havada radon konsantrasyonunun deęiřimini etkileyen faktörleri de dört ana grupta toplayabiliriz;

1. Yapı malzemelerinin radyum içerikleri, maddenin gözenekliliği ve yoğunluğu
2. Binanın mimari yapısına bağlı olarak kapalı yerin hava değişimi, vantilasyonu
3. Atmosferik basınç, rüzgar, nem ve sıcaklık gibi meteorolojik koşullar
4. Kapalı yerin kullanımında insan aktiviteleri (odanın kullanımı, suyun kullanımı vb.)



Şekil 2.3. Bina içi radon konsantrasyonunda değişikliğe neden olan faktörlerin birbiri ile ilişkisi

Bina içi radon değişimlerinde yukarıda bahsi geçen faktörlerin yanında meteorolojik, jeolojik ve yükseklikle ilgili parametreler de kaçınılmaz olarak rol oynamaktadır (Stranden and Bertetg, 1980)

Radon gazı atmosfere girdiğinde havada dağılır, bu sebeple bina dışındaki konsantrasyonu düşüktür. Gaz, zeminden geçerek bina içine girdiğinde kapalı hacimdeki aktivite konsantrasyonu artar. Binalar iyi havalandırılırsa radon birikimi önemsenmeyecektir. Ancak birçok ülkede binalar, ısı kaybının ve hava akımının önlenmesi için inşa edilmektedir. Bu sebeple binalar düşük seviyede havalandırılır ve bina içindeki radon konsantrasyonu bina dışındakinden çok daha yüksek olabilir. Binalardaki radon konsantrasyonu, yerel jeolojik yapıya oldukça bağlıdır ve ülkenin değişik bölgelerinde, hatta aynı alanda binadan binaya farklılıklar gösterebilir (TAEK, 2009).

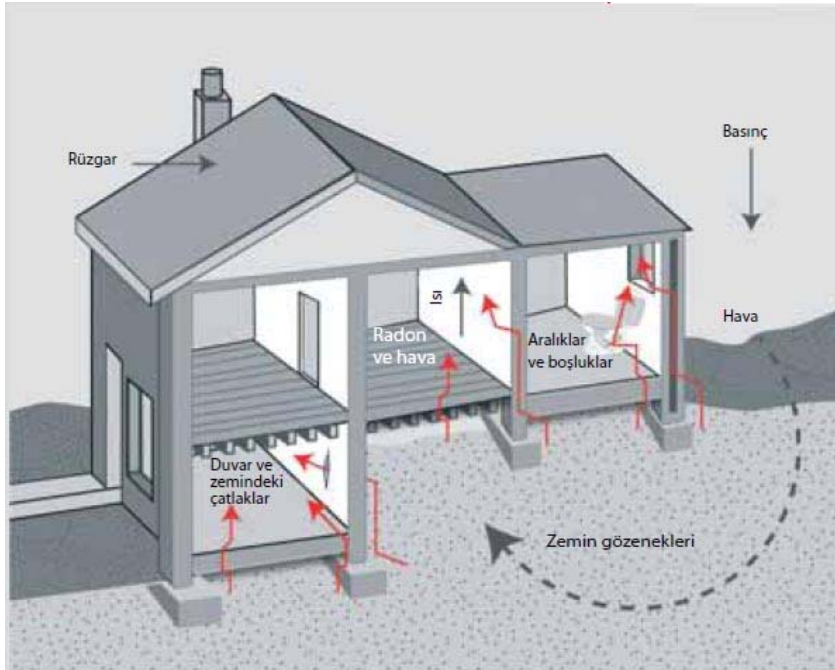
Bina içinde, bina içi ve bina dışı sıcaklık farklarına göre havalandırma hızı ve radon konsantrasyonunu değerlendiren birçok çalışma yapılmıştır. İzmir’de

yıllık ortalama bina içi ve bina dışı radon konsantrasyonları sırasıyla 40.79 Bq/m³ ve 5.12 Bq/m³ olarak bulunmuştur. Yıllık bina içi radondan gelen ortalama doz, bina dışındaki ortalama dozun yaklaşık 8 katıdır. Bu sonuç havalandırmanın önemini vurgulamaktadır (Farzad, 1993).

Bina içinde, bina içi ve bina dışı sıcaklık farkları arttıkça havalandırma artmakta ve radon konsantrasyonu düşmektedir. Havalandırması olmayan ve suni olarak havalandırılan odalarda atmosferik basıncın etkisine dayanan deneylerden de hava basıncı düştüğünde radon konsantrasyonunun arttığı, hava basıncı yükseldiğinde konsantrasyonun düştüğü gözlemlenmektedir (UNSCEAR, 1982).

Genellikle binaların bodrum katlarında yüksek radon konsantrasyonları tespit edilmiştir. Zemin katlardan üst katlara çıkıldıkça bina içi radon konsantrasyonu azalış göstermektedir. Hindistan’da yapılan bir çalışmada yıllık ortalama radon seviyeleri tüm mevsimler boyunca zemin katta daha yüksek çıkmıştır. Zemin katta 41 Bq/m³’ e kadar olan konsantrasyonlar bulunurken, 19. katta 15 Bq/m³’ e varan seviyeler bulunmuştur. (Shaikh et al, 2002).

Soğuk havalarda evlerin ısıtılması sonucu evdeki basınç az, dışarıdaki basınç ise fazla olur ve bu durum içerideki radon konsantrasyonu oranını yükseltir. Aynı durum rüzgarlı havalar için de geçerlidir.



Şekil 2.4. Sıcaklık ve rüzgara bağlı olarak radonun bina içine girişi (Şen, 2009)

Yaz aylarında ise iyi havalandırılmış kapalı mekanlarda dış ortam ile basınç farkı olmayacağı için ortamdaki radon konsantrasyonu seviyesi azalır. Bina içinde kış aylarına ait ortalama radon konsantrasyonu 170 Bq/m^3 bulunurken, yaz aylarında ortalama değer 48 Bq/m^3 olarak tespit edilmiştir (Borak et al, 1989).

Kapalı ortamlarda radon gazı konsantrasyonunun kontrolü amacıyla ülkeler ve uluslar arası kuruluşlar tarafından limit değerler belirlenmiştir. Bu limit değerlerin aşılması halinde, radon konsantrasyonunu azaltıcı önlemlerin alınması tavsiye edilmektedir. Uluslararası Atom Enerji Ajansı Temel Güvenlik Standartları (IAEA-BSS) çerçevesinde, radon için tavsiye edilen düzeyler 200–600 Bq/m^3 olarak belirlenmiştir. Türkiye’de müsaade edilebilir radon konsantrasyonu ise 400 Bq/m^3 ’tür (TAEK, 2000).

Çizelge 2.4. Çeşitli ülkeler ve uluslararası kuruluşlar tarafından benimsenen müsaade edilebilir radon konsantrasyonları (Yücel ve Arıkan, 1992)

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

*Avrupa Birliği, **Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi, ***Dünya Sağlık Örgütü

Bina içi radon konsantrasyonunun azaltılması amacıyla alınabilecek önlemler şunlardır (TAEK, 2009);

1. Kapı ve pencerelere yalıtım yapılmışsa havalandırma süresini uzatmak gerekir.

- 2.Yapı malzemelerinin radyoaktivite analizleri ve doz değerlendirmeleri yapılmalı, değerlendirme sonuçları tavsiye edilen radyoaktivite düzeylerinin üzerinde olan malzemeler bina yapımında kullanılmamalıdır.
3. Binaların özellikle bodrum katlarının toprakla izolasyonu iyi yapılmalıdır.
4. Yerden ve duvarlardan bina içine sızan radon gazı bina dışına çıkmazsa bina içindeki konsantrasyon artacaktır. Bu nedenle kapalı ortamların havalandırılmasına özen gösterilmelidir.
5. Radon düzeyi yüksek olabileceğinden, 20 yıldan eski olan evlerde çatlakların kapatılmalı ve izolasyon ile bakımı sürekli yapılmalıdır.
6. Hava akımının bina içerisinden toprağa doğru olması sağlanmalıdır.
7. Bina içinde kullanılan suyun radon içeriği azaltılmalıdır (suyun havalandırılması, karbon filtrelerden geçirilmesi).

2.7.Radon Ölçüm Yöntemleri

Radon ölçümleri için kullanılan sistemlerin tümü ^{222}Rn ve ürünlerinin yaydığı alfa, beta ve gama radyasyonunun deteksiyonuna dayanır. Havada radon ve ürünlerini ölçmek için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin bir kısmı aşağıda verilmektedir.

Lucas Hücresi: Silindir biçimindeki bu hücrelerin bir ucu düz ve açık, diğer ucu yarım küre olarak metal veya camdan yapılmıştır. Radon ve ürünlerinin yayımladıkları alfa radyasyonu hücrenin duvarlarına çarparak sintilasyon oluşturur. Bu olayda çıkan fotonlar fotomultiplikatör tüpüne geçer ve böylece özel elektronik sistemle sayım yapılır (Farzad, 1993; Gözübüyük, 1995).

Kollektör Yöntemi: Bir kap içerisinde örneklenen toprak gazındaki, radonun bozunumuyla oluşan radon ürünleri; kollektör ve kap arasına uygulanan potansiyel yardımıyla kollektör yüzeyinde toplanır ve biriken ürünlerin toplam aktivitesi sayılır (Ereeş, 1988).

İyonizasyon Odası: İyonizasyon odaları paslanmaz çelikten silindir şeklinde yapılmaktadır. Merkez ekseninde silindirden yapılmış bir elektrod bulunur.

Odanın duvarları ile elektrod arasına bir potansiyel farkı uygulandığında oluşan iyonizasyon akımı ölçülmektedir (Yaprak, 1988).

Aktif Kömürle Radon Adsorpsiyonu ve Gama Spektroskopisi: İstenilen radon konsantrasyonunu sağlamak amacıyla hava girişi ve çıkışı 2 vana ile sağlanan çelik bir tank kullanılır. Tank içerisinde radon ve ürünleri bulunduğu için ve aktif kömür içine yalnızca radon adsorblanmak istendiği için hava çekilecek uca filtre yerleştirilerek radon ürünlerinin tutulması sağlanır. Geriye kalan radonlu hava aktif kömür içinden geçirilerek yalnızca radonun adsorplanması sağlanır. Sintilasyon dedektörü ve bilgisayar programlı analizörden oluşan sistemde spektrumlar alınır (Ereeş, 1994; Şen 2009).

Katıhal Nükleer İz Kazıma Yöntemi: Radyonüklidlerin yayımladıkları alfa parçacıkları katıhal materyallerde(LR-115 ve CR-39) izler oluşturur. Bu izler NaOH solüsyonda elektrokimyasal veya kimyasal kazıma ile mikroskopta görünür hale getirilir. İz yoğunluğu saptanır (Farzad, 1993).

2.8.Literatür Çalışmaları

Evlerde radon ölçümü ilk kez 1956 yılında İsveç'te yapıldı. Bazı evlerde çok yüksek konsantrasyonda radon bulunmasına rağmen fazla üzerinde durulmadı. Bunda sorunun söz konusu ölçüm bölgesine özel istisnai bir durum olduğunun düşünülmesiydi (Güler ve Çobanoğlu, 1997). Ancak 20 yıl kadar sonra tüm dünyada değişik ülkelerde geniş ölçekli sistematik çalışmalar başlatıldı.

Değişik ülkelerde radon ölçüm değerleri Çizelge 2.5 de verilmiştir (Bard et al., 1997).

Çizelge 2.5. Değişik ülkelerdeki radon ölçüm değerleri

Ülke	Örnek hane sayısı	Ortalama (Bq/m ³)	200Bq/m ³ 'ün üzerindeki hane sayısı	400Bq/m ³ 'ün üzerindeki hane sayısı
Avusturya	3499	75	19	7,4
Belçika	300	48	1,7	0,3
Bulgaristan	841	28	2, 4	0
Çek Cumhuriyeti	75000	140	32	11. 3
Danimarka	495	47	2, 2	0. 4 den az
Almanya	7500	50	1, 5–2, 5	0. 5–1, 0
Finlandiya	50 000	123	12, 3	3. 6
Fransa	6878	68	5, 8	1, 8
Yunanistan	571	92	3. 3	1, 4
Macaristan	1000	55	17	4
İrlanda	6211	60	17, 5	7, 7
İsrail	17000	-	5 ten az	-
İtalya	4800	77	5	1
Litvanya	120	37	4	1. 7
Lüksemburg	2500	-	-	-
Norveç	7525	51–60	7	2, 5
Hollanda	1	29	0. 1	0. 01
Polonya	5 ten az	0	-	-
Portekiz	4200	SI	8. 6	2. 6
Romanya	-	-	0.9	0.4
İspanya	239	-	6,46	2,84
İsveç	350 000	108	25	4–5
İsviçre	9000	70	15	7
İngiltere	270000	20	8	2. 5

İçel’de değişik semtlerde yaz ve kış aylarında 100 evde yatak odası ve oturma odasında radon gazı radyoaktivite konsantrasyonları ölçülmüştür. Analiz

sonuçlarına göre, İçel evlerinde radon konsantrasyonları yaz aylarında 22–159 Bq/m³, kış aylarında 13–59 Bq/m³ arasında değişim göstermiştir. Ortalama konsantrasyonlar ise 23 Bq/m³ ve 44 Bq/m³ bulunmuştur (Kumbur, 1997). Uluslararası Radyolojik Korunma Komisyonu (ICRP), evlerdeki radon konsantrasyonlarına sınırlama getirmiştir. ICRP eski evlerde yaşayanlar için 20 mSv 'den fazla, yeni yapılacak evlerde yaşayanlar için ise yılda 10 mSv' den fazla doz alınmamasını tavsiye etmektedir. Bu değerler sırasıyla 400 Bq/m³ ve 200 Bq/m³ radon konsantrasyonlarına karşılıktır. Bu değerlere göre İçel'de evlerde ölçülen ortalama 35 Bq/m³ lük konsantrasyon, yılda 1, 75 mSv etkin doz eş değerine karşılık gelmektedir (Kumbur ve Köksal, 1997).

İzmir' de 250 ev ve ofiste kış mevsimi için radon seviyeleri araştırması yapılmıştır. Sonuçlar 35–80 Bq/m³ değerleri arasında bulunmuştur. En yüksek konsantrasyonlar eski ve yere doğrudan temas eden betondan yapılmış binalarda gözlenmiştir (Yaprak ve Kınacı, 1993).

YTÜ Şevket Sabancı Kütüphanesinde yıllık ortalama radon konsantrasyonları belirlenmiştir. Yaz dönemi için (23.07.1999–30.09.1999): Radon konsantrasyon yoğunluğu 40–50 Bq/ m³ aralığında bulunmuştur. I. Sömestr (30.09.1999–28.01.2000): Radon konsantrasyon yoğunluğu 60–70 Bq/ m³ aralığında bulunmuştur. II. Sömestr (28.01.2000–05.06.2000): Radon konsantrasyon yoğunluğu 50–60 Bq/ m³ aralığında bulunmuştur. Sabancı Kütüphanesi yıllık aritmetik ortalama radon konsantrasyon değeri 65 Bq/m³ olarak bulunmuştur (Çelebi vd., 2003).

Avusturya'da radon ve ürünlerinin bina içi ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler radon için 22 Bq/m³, radon ürünleri için 12 Bq/m³ olarak bulunmuştur. Maksimum radon konsantrasyonu ortalamanın 10 katıdır (UNSCEAR, 1982).

Ezine (Çanakkale)'de kırsal kesim evlerinde yaz mevsiminde yapılan radon ölçümlerinde; konsantrasyonlar 9–300 Bq/m³ arasında çıkmıştır. Ortalama değer ise 67.9 Bq/m³ olarak bulunmuştur (Örgün vd., 2008).

İzmir Bornova bölgesinde farklı alanlardaki binalarda radon konsantrasyonu ölçümleri yapılmıştır. Seçilen odalar 15, 25 ve 150 yıllık binalardadır. 150 yıllık binada bodrum katındaki havalandırılmış ve havalandırılmamış odalardaki aktivite

konsantrasyonları; iz kazıma dedektörü yöntemi ile 416–1000 Bq/m³, Lucas hücresi yöntemi ile 416–1164 Bq/m³ olarak bulunmuştur. Havalandırılmamış ve penceresi olmayan bir odada yüksek konsantrasyon tespit edilmiştir. 15 yıllık binanın bodrum katında ortalama radon konsantrasyonları her iki yöntemle de 90–120 Bq/m³ olarak bulunmuştur. 15, 25 ve 150 yıllık binaların; kullanılan ve 1. kattaki odalarında ortalama radon konsantrasyonları sırasıyla 53 Bq/m³, 69 Bq/m³ ve 86 Bq/m³ olarak tespit edilmiştir (Ereeş ve Yener, 1999). En düşük radon konsantrasyonuna 15 yıllık binada, en yüksek radon konsantrasyonuna ise 150 yıllık binada rastlanmaktadır. Dolayısıyla binanın yaşı radon konsantrasyonun değerlendirilmesinde önemli bir faktördür.

Manisa ilinde toplam 23 binada yapılan çalışmada radon konsantrasyonları 47–154 Bq/m³ arasında değişmektedir. Bu 23 binanın 9'u işyeri, 14'ü ise evdir(apartman dairesi). Bunların ev ve işyeri olarak radon konsantrasyonu değişimleri incelendiğinde, 9 işyerinin radon konsantrasyonu 56–146 Bq/m³ arasında değişirken, evlerde bina içi radon konsantrasyonu 47–154 Bq/m³ arasında değişmekte olduğu görülmektedir (Gültekin vd., 2006).

Zonguldak Karaelmas Üniversitesi'nde 2008 yılında, Merkez Kütüphanesi'nde yapılan bir çalışmada, kütüphanenin 12 ayrı noktasına pasif nükleer iz detektörleri yerleştirilerek yaz mevsimine ait bina içi radon konsantrasyonu ölçümü yapılmıştır. Kütüphanede ortalama radon konsantrasyonu 67,1 Bq/m³ olarak belirlenmiştir. Kütüphanenin zemin kat odalarında TAEK'in belirledi 400Bq/m³ lük alt sınır değerinden daha yüksek konsantrasyon olduğu saptanmıştır (Kürkçüoğlu vd., 2009).

İsveç'te 1956 yılında yapılan bir çalışmada ortalama radon konsantrasyonu 58 Bq/m³ olarak bulunmuştur. Maksimum değer bunun 5 katı daha yüksek olarak tespit edilmiştir. Radon ürünleri konsantrasyonu bina materyallerinde aktivite konsantrasyonundan daha yüksektir. Radon ürünleri konsantrasyonunun bina materyallerindeki aktivite konsantrasyonundan çok havalandırmaya bağlı olduğu bulunmuştur (UNSCEAR, 1982).

İngiltere’ de, ortalama radon konsantrasyonu 20–1500 Bq/m³ bulunmuştur. Radyum konsantrasyonu 900 Bq/kg olan evlerde radon konsantrasyonu yaklaşık 7 Bq/m³ bulunmuştur (UNSCEAR, 1982).

İstanbul’ da 400 evde radon monitörü ile yapılan oda içi havada radon konsantrasyonu 10–260 Bq/m³ arasında bulunmuştur. Ortalama değer ise 50 Bq/m³’tür (Köksal vd., 1993).

Bork 1989’daki çalışmasında, kış aylarına ait bina içi ortalama radon konsantrasyonu 170 Bq/ m³ olarak tespit edilirken yaz aylarında ise ortalama 48 Bq/ m³ olarak belirlenmiştir.

Başka bir çalışmada ise; açık ve kapalı kapı ve pencereler ile yapılan ölçümlerden elde edilen sonuçlardan, kapının ve pencerenin açılması ile radon konsantrasyonunun düştüğü, kapatıldığında ise yükseldiği gözlenmiştir (Radiation Atlas). Bu da havalandırmanın ne kadar önemli ve etkili olduğunu göstermektedir.

2.9.Jeotermal Su Uygulamaları

Jeotermal enerji yenilenebilen bir yer altı zenginliğidir. Jeotermal enerji yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş ısının oluşturduğu sıcaklıkları sürekli olarak bölgesel atmosferik ortalama sıcaklığın üzerinde olan ve çevresindeki normal yer altı ve yer üstü sularına göre daha fazla erimiş mineral, çeşitli tuzlar ve gazlar içerebilen basınç altındaki sıcak su ve buhar olarak tanımlanmıştır (ORME, 1997).

Türkiye’nin jeotermal kaynak zenginliğinde Dünya’da 7. sırada yer alması, ülkemizin Jeotermal Enerji yönünden şanslı ülkeler arasında yer aldığını göstermektedir. Aktif faylarla sınırlı grabenler ve yaygın genç volkanizmaya bağlı olarak doğal buharın, hidrotermal alterasyonların ve sıcaklığı yer yer 100 °C’ ye ulaşan 600’den fazla sıcak su kaynağının bulunuşu Türkiye’nin önemli jeotermal potansiyele sahip olduğunun bir kanıtıdır (Ültanır, 1998).

Dünya’da jeotermal ısınmalar 1800’lü yılların sonunda Amerika’da başlamış, hızla gelişmiş ve jeotermal ısıtma konut sayısı 5 milyon konut eşdeğerini geçmiştir (Eren, 2008). Bu konutların çoğunluğu Fransa, Amerika, Çin, İzlanda, İtalya ve Türkiye’de bulunmaktadır.

Dünya jeotermal değerlendirmelerinin hız kazanması petrol krizi ile başlamıştır. Türkiye jeotermal kaynakları değerlendirme yönünden şanslı bir ülkedir. Çünkü kaynaklar çok derinlerde bulunmaz. Örneğin; Fransa'da Paris Havzası'nda 2500m derinliğinde kuyu açılıp 60-70°C jeotermal su üretilip şehir ısıtılırken, Balçova 'da 40m derinlikten 124°C sıcaklıkta su çıkarılmaktadır (Özbal, 1999)

Jeotermal suyun toplam 4 kullanım alanı bulunmaktadır;

1. Isıtma;

- Merkezi konut ısıtması: 80°C jeotermal akışkanı değerlendirilerek şehir ısıtması.
- Sera ısıtması: Aynı suyun enerjisi ile sera ısıtması ve tarımda değerlendirilmesi.

2. Soğutma;

Soğutmada (air conditioning) diğer bir deyişle evleri elektrikle soğutma yerine jeotermal soğutma

3. Proses ısı;

Jeotermal suyun enerjisi ile sanayiye ve tabakhanelere proses sıcak su verilmesi, sanayide değerlendirilmesi

4. Sağlık turizmi;

Jeotermal kullanımdan çıkan, özelliği bozulmamış, ancak kullanım sıcaklığı düşürülmüş 40°C jeotermal suyun kaplıcalara ve sağlık turizmine verilmesi

5. Elektrik enerjisi üretimi

6. Kimyasal madde üretimi

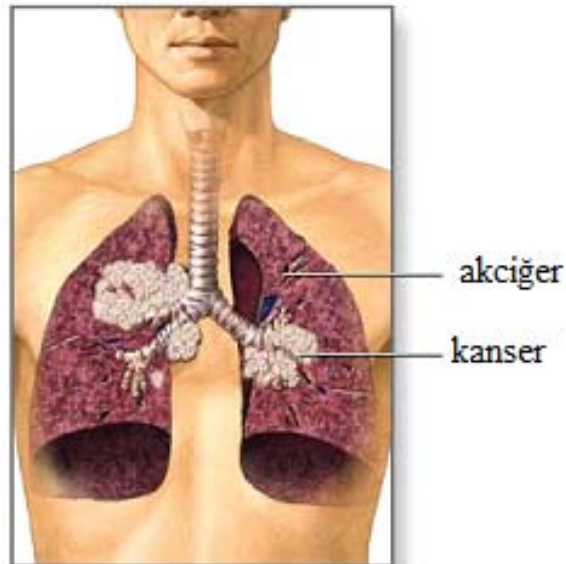
2.10. Radonun Sağlık Etkileri

Radon (^{222}Rn), uranyum (^{238}U) ailesinden olup, radyumun (^{226}Ra) radyoaktif bozulması sonucu meydana gelir. Toprakta ve dolayısıyla yapı malzemeleri içinde bulunan radyumdan oluşan bu gazın bir kısmı atmosfer içinde difüze olur.

Radonun reaktivitesi zayıftır ve dokulardaki çözünürlüğü de düşüktür. Akciğerlere alınan radonun bir kısmı solunum ile dışarı atılabilir. (Değerlier, 2007).Böyle olmakla birlikte, radon ve bozunma ürünleri havadaki toz parçacıklarına yapışarak solunum yolu ile akciğere girer, ıslanılırlar. Akciğer dokusunun ıslanması ile akciğer kanserinin olduğu epidemiyolojik çalışmalar sonucu görülmüştür.

Solunum sistemindeki radyasyon dozu; solunmuş havadaki radon ve bozunma ürünleri konsantrasyonuna, toz içerisindeki parçacıkların büyüklüğüne ve fizyolojik parametrelere bağlıdır. Solunum sisteminde radon bozunma ürünlerinin alfa bozunması ile alınan radyasyon dozu, yalnızca radonun bozunmasıyla meydana gelen dozdan 100 kat daha fazladır. Aynı şekilde, solunmuş toron bozunma ürünlerinden kaynaklanan doz, yalnızca toron bozunumundan kaynaklanan dozun 500 katıdır (ICRP, 1986).

Radon ve ürünleri halk sağlığını tehdit eden bir kaynaktır. Solunan radon ürünlerinin bir kısmı akciğer ortamında çözülür ve buradan vücudun diğer taraflarına taşınır. Bu nedenle radon tehlikesinin denetlenmesi bakımından kapalı yerlerde, özellikle evlerde radon konsantrasyonlarının ölçülmesi önem taşır (Kumbur vd., 1997).



Şekil 2.5.Tümörün akciğerde gösterimi

Günümüze kadar yapılan hayvan deneyleri ve epidemiyolojik değerlendirmeler radonla akciğer kanseri arasında doğrudan ilişki kurulmasını sağlamıştır. Radon hızlı bozunur. Sonuçta meydana gelen ürünler kendisini havadaki parçacıklara bağlar. Bu parçacıklar solunum sistemiyle alındığında bronşiyal ağacın değişik kademelerine kadar ilerler. Radyoaktif parçalanma süreci burada sürdüğünden, alfa parçacıkları yaymayı sürdürürler. Alfa parçacıklarının penetrasyon güçlerinin az olmasına rağmen bronş ve bronşioillerin yüzeysel hücrelerine penetre olabilecek yeterlidir (Güler, 1997).

ABD de bütün kanser ölümlerinin %10–12 sinin evsel radon etkilenimine bağlı olduğu belirtilmektedir (Lubin, 1995). Radon etkilenimine bağlı olarak ABD de her yıl 20 000 akciğer kanseri olduğu hesaplanmaktadır (Environmental Protection Agency, 1989). Ancak yapılan bir değerlendirmede sigara ve radon etkileniminin bir arada yaptığı etkinin belirlenmesi aditif(katkı) ve çoğaltıcı bir ilişkinin bulunduğu sonucunu vermektedir (Harley et al., 1990). Sigara ve radonun birlikte etkilemesi tek tek yaptıklarından en az on kat daha fazla oranda akciğer kanserine neden olmaktadır (Botkin et al., 1988). Radon ile ilgili olarak hesaplanan risk (risk 70 yıl süre ile, zamanının %75'ini evde geçiren kişiler esas alınarak hesaplanmıştır.) Çizelge 2.5' de verilmiştir (Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi No:44;32)..

Çizelge 2.6. Radon ile ilgili olarak hesaplanan risk

Düzye (pCi/L)	Akciğer kanseri ölümleri(binde)	Karşılaştırılmalı diğer etkilenim değerleri	Karşılaştırmalı risk
200	400-70	Dış ortamın bin katı Sigara içmeyenlerin 60 katı Günde 4 paket sigara içen kişi	
100	270-630	Ortalama iç ortam seviyesinin 100 katı	Yıllık 20000 akciğer grafisi
40	120-380		Günde 2 paket sigara içilmesi
20	60-210	Ortalama dış ortam seviyesinin 100 katı	Günde 1 paket sigara içilmesi
10	30-120	Ortalama iç ortam seviyesinin 10 katı	Sigara içmeyen bir kişinin 5 katı
4	13-50	Ortalama dış ortam seviyesinin 10 katı	Yılda 200 akciğer filmi
2	7-30		Sigara içmeyenlerin akciğer kanserinden ölüm riski
1	3-13	Ortalama iç ortam seviyesi	Yılda 20 akciğer filmi
0,2	1-3	Ortalama dış ortam seviyesi	

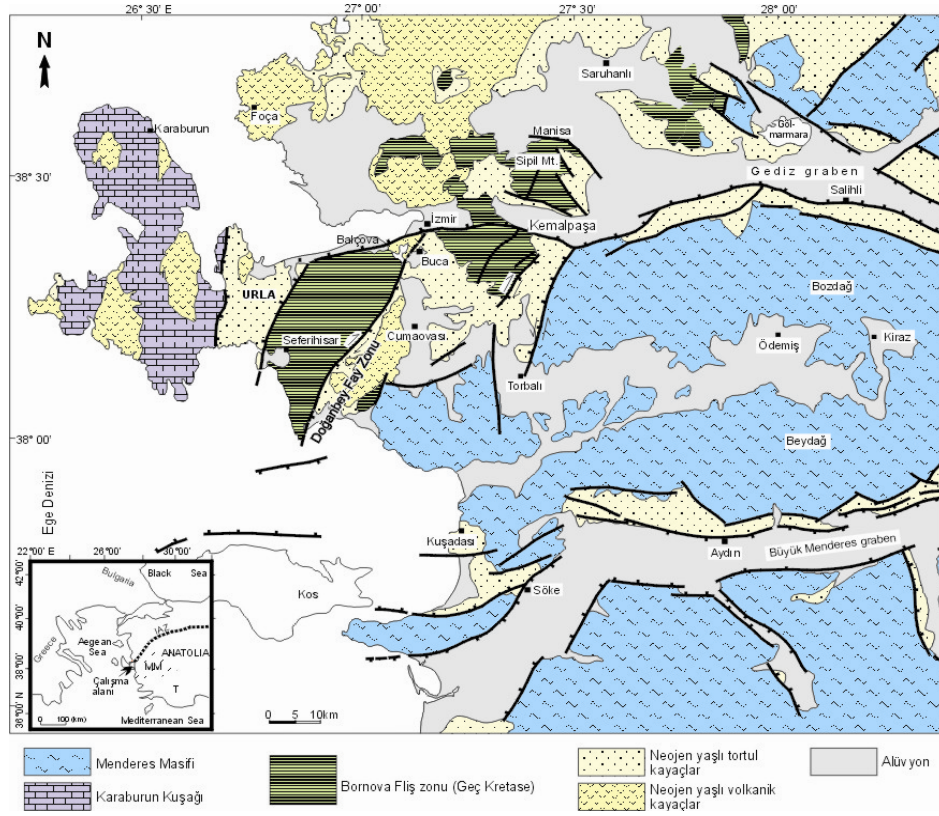
Evsel radon etkilenimiyle akciğer kanseri arasında azalan istatistiksel olarak önemsiz bir risk artımı olduğunu ileri süren yayınlar da olmakla birlikte ilişkinin (Alavanja et al., 1995) yasal düzenlemelerle gerekli önlemlerin alınmasını gerektirecek kadar kuvvetli olduğunu gösteren kanıtlar daha güçlüdür.

Radona bağlı olarak meydana gelen risk dozla artar. Etkilenimin şiddetine ve etkilenim süresine bağlıdır. Bu parametreler miktarı belirler. Bu parametreler bronşiyal hücreleri etkileyen alfa parçacık miktarını belirlemektedir(Gönüllü, 1995). Radonun akciğer kanseri etkisi doğrudan radonun kendisine değil bozunum ürünlerine bağlıdır (Güler, 1997).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1.Çalışma Bölgesinin Jeolojik Yapısı

Batı Anadolu ve Ege Denizi dünyanın en etkin olan deprem bölgelerinden ve sismolojik, sismotektonik olarak en çok çalışılan yerlerinden biridir. Son 30 yılda kıtasal kabuğun deformasyonun anlaşılmasında ve kaçma (escape veya extrusion) mekanizması ile dalma-batma ilişkilerinin anlaşılmasında son derece önemli rol oynamasına rağmen hem kinematik ve hem de dinamik açıdan çok karmaşık yapıdadır. Ancak, günümüzde hala bu bölgenin yerbilimsel gelişimi ile ilgili kesin bir sonuca varılamamıştır. Bu konuların başında bölgede bulunan aktif fayların deniz içerisindeki uzanımları gelmektedir.(Baykal, 2006)

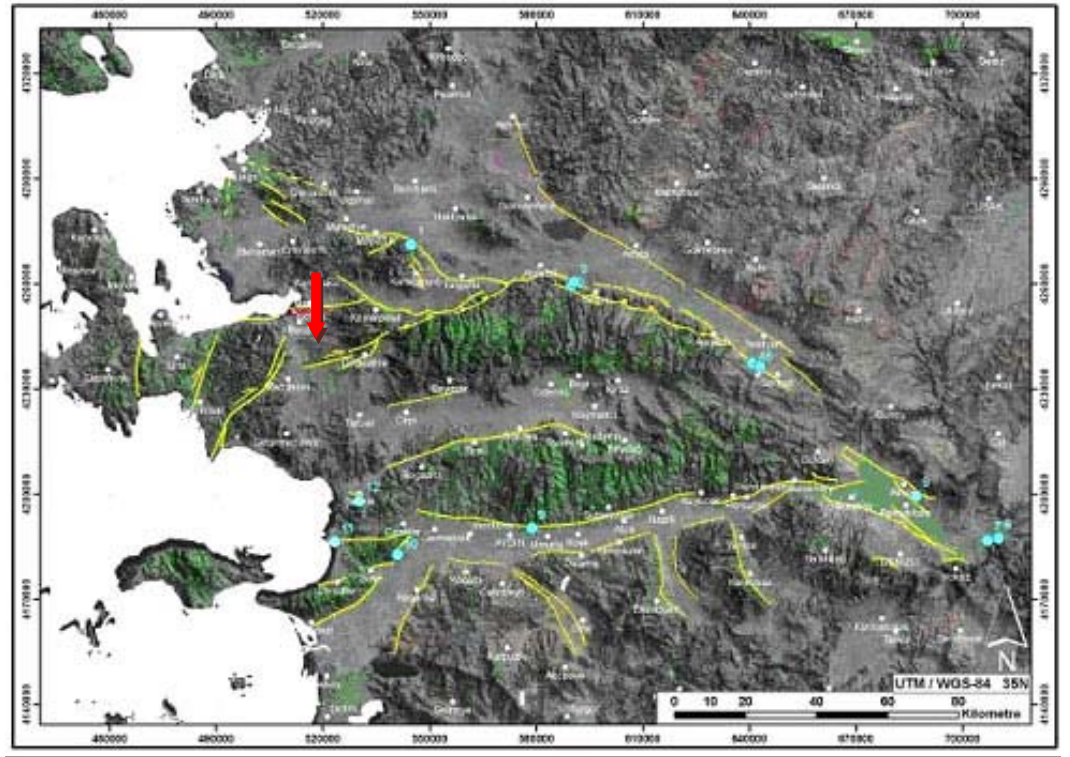


Şekil 3.1. Bölgedeki fay mekanizmaları ve denizdeki uzantıları

İzmir ili, Gediz Alaşehir Graben Sistemi'nin batı ucunda yer almaktadır. Neotektonik yapılar üç ana doğrultuda yoğunlaşmaktadır. Morfolojik olarak en belirgin yapılar D-B doğrultuludur. Normal fay karakteri gösteren bu yapılar Gediz Grabeni'nin batı ucunda ve İzmir Körfezi'nde yer alırlar. (Baykal, 2006)

Ayrıca, KD-GB ve KB-GD doğrultulu faylar özellikle İzmir civarında önemli rol oynamaktadır ve bu fayların kinematik özellikleri İzmir'in kuzeyi ve güneyinde farklılaşmaktadır. Normal faylarla sınırlı grabenler İzmir Körfezi'nin doğusunda yer alırlar. Buna karşılık Gediz Graben Sistemi dışında kalan neotektonik dönem yapıları doğrultu atımlı faylardan oluşmaktadır. (Baykal, 2006) Bölgede hala aktivitesini yoğun bir şekilde sürdüren faylar Seferihisar Fayı, Tuzla Fayı, Karaburun Fayı olmak üzere üç tanedir.

Bu çalışmada seçilen istasyonlar Şekil 2.2 de kırmızı ok ile gösterilen Seferihisar Fayı üzerinde seçilmiştir.

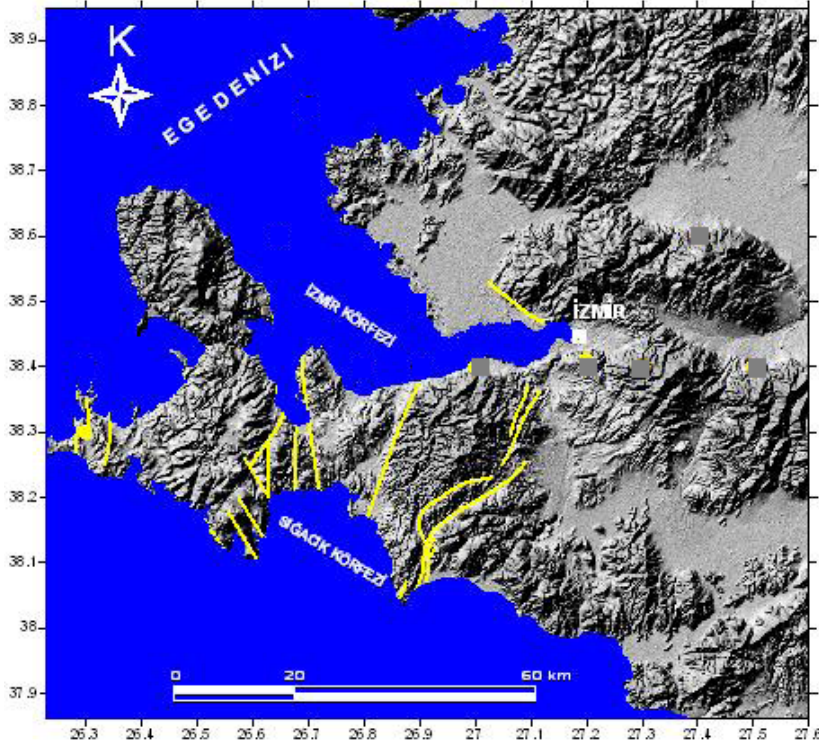


Şekil 3.2. Ege Bölgesi aktif fay hatlarının karasal uzanımları ve kırmızı ok ile gösterilen Seferihisar fay hattı.

İzmir'in güneybatısında Seferihisar yöresindeki Sığacık Körfezi ile Güzelbahçe arasında uzanır. Yapılan sualtı çalışmalarında fayın güneye doğru Ege Denizi tabanında devamlılık gösterdiği saptanmıştır (Oçakoğlu vd., 2004- 2005). Aynı çalışmada bu fayın yakın batısında Urla Fayı adıyla ikinci bir aktif fayın varlığı ileri sürülmüştür. Ancak MTA raporlarında Seferihisar Fayı dışındaki faylar değerlendirmeye alınmamıştır. Seferihisar Fayı'nın Sığacık Körfezi ile Gülbahçe arasında karasal uzunluğu 23 km olup, sualtında uzanan bölümüyle birlikte toplam 30km'lik uzunluğa ulaştığı sanılmaktadır. K20°D genel doğrultulu

olan fay, güney yarısında Bornova flišine ait kaya toplulukları içerisinde ve alüvyon düzlüklerinde izlenir. Çamlıköy-Güzelbahçe arasındaki kuzey bölümü ana doğrultudan saparak İzmir Fayı'ndan ayrılan bir kola uyumlu bir gidiş kazanır.

Jeomorfolojik veriler Seferihisar Fayı'nın Holosen'de aktif bir fay olduğunu gösterir. Güney ucundaki sualtı verileri de deniz tabanında fayın en genç çökelleri etkilediğini göstermektedir (Ocakoğlu vd., 2004–2005). Nitekim 10 Nisan 2003 tarihinde bölgede meydana gelen 5,7 şiddetindeki depremin odak merkezi ve artçı deprem dağılımı fayın Seferihisar yakınlarındaki bölümüne rastlar. Bu depremle ilgili fay düzlemi çözümlerinde elde edilen kayma düzlemine göre KD-GB doğrultulu olan Seferihisar Fayı'nın haritalanan uzanımına uygun olup, depremin sağ yönlü kırılma sonucu oluştuğunu göstermektedir (Tan ve Taymaz, 2003). Yapılan araştırmalar, bölgesel kinematik içerisinde Seferihisar Fayı'nın D-B uzanımlı İzmir Fayı'yla bağlantılı bir yapı olduğunu gösterir. Dolayısıyla bu fay Tuzla Fayı gibi Gediz Grabeni batısındaki transfer fay demeti içerisinde değerlendirilir. Belirtilen jeolojik özelliklere sahip Seferihisar Fayı üzerinde altı tane bölge belirlenmiştir. Bunlar; Cumalı, Karakoç ve Doğanbey jeotermal alanları ile Balçova'da iki ilköğretim okulu, bir lisedir.



Şekil 3.3. Seferihisar jeotermal alanda seçilen istasyonların üzerinde bulunduğu fay hattı

Jeotermal sular genelde fay kırıklarından ya da yerdeki boşluklardan çıkarlar. Bunlar yağmur sularından farklı olarak yerin derinliklerinden gelir ve oluşum süreleri oldukça farklıdır. Çalışma alanı olarak seçilen Seferihisar jeotermal alanı, İzmir ilinin yaklaşık 40 km. güneybatısında yer almaktadır. Seferihisar jeotermal alanının temelini, Menderes masifine ait Paleozoik yaşlı metamorfikler oluşturur. Bu birim mikaşist, kalkışist ve mermerden oluşmuştur (Eşder ve Şimşek, 1975). Üst kesimlerinde mermerlerin kalınlığı 150 metreyi bulmaktadır.

Bu birim üzerinde ise, pelitik şist, kumtaşı ve altere kireçtaşıdan oluşan Kretase yaşlı İzmir flişi uzanır. Bu birimin alt seviyelerindeki Ultrabazik kayalar, üst seviyelere doğru itilerek, KD-GB doğrultusunda yüzeylenirler (Eşder ve Şimşek, 1977). Birimin üst seviyeleri ise fliş, Permiyenden Kretaseye doğru yaşlardaki kireçtaşları ve serpantinitle içlerir.

İzmir flişi, bölgenin kuzeybatı ve güneydoğusunda yer alırken, bölgenin orta kesimlerinde, geniş bir bölümü miyosen yaşlı tortullarla örtülü olan ve KD-GB uzanımlı Çubukludağ çöküntüsü bulunmaktadır. Bu çöküntüyü örten tortullar Yeniköy Formasyonu olarak bilinir. Bu tortullar İzmir flişi ile açışal uyumsuzluk gösterir (Eşder ve Şimşek, 1977).

Yeniköy formasyonu üzerinde pliyosen-pleyistosen yaşlı Cumaovası volkanikleri yer alır. Bu birimin alt seviyeleri, tüf, tüfit, aglomera ve perlitlerden oluşur. Riyolit ve riyodasitlerden oluşan üst seviyeler ise yüzeyde mostra veren Yeniköy formasyonunu kesmektedir.

Seferihisar jeotermal sistemi, tersiyer ve kuvaterner volkanizmanın yer aldığı bir bölgede oluşmuştur. Genelde riyolit ve riyodasitler atmosfere gaz kaçışını engeller ve derindeki ısı birikimine katkıda bulunur. Ayrıca derindeki asit volkanikler ısıyı biriktirerek jeotermal gradyentin artmasına neden olurlar. Bu nedenle riyolit ve riyodasit lav domlarının bulunduğu bölgelerin jeotermal özellik taşıma olasılığı yüksektir. Seferihisar jeotermal sistemindeki riyolit ve riyodasit lav domlarının dizilimi de volkanizma yayılımına ve tektonizmaya uygun olarak GBKD uzanımlıdır.

Seferihisar jeotermal alanının güneydoğusunu, bölgenin en yüksek kesimi olan Dereboğazı yükselimi sınırlar. İkinci geniş ve önemli yükselimi ise KD-GB doğrultulu Seferihisar yükselimidir. Çubukludağ çöküntüsünü ve Seferihisar

hale getirilmektedir. Elektrokimyasal işlemler büyük çaplı izler meydana getirdiği ve iz sayımlarını kolaylaştırdığı için daha sıklıkla tercih edilmektedir. İzlerin yoğunluğu, otomatik veya el ile optik tarama sistemleri ile saptanmaktadır (NCRP, 1988).

İz kazıma filmleri üzerinde oluşan iz çaplarının büyüklüğü ışınlayıcı taneciğin enerjisine bağlıdır. Alfa taneciği organik materyalde enerji kaybına uğrarken, 50- 100⁰A arasında submikroskobik silindirik oyuk oluşturur. Bu izler ancak elektron mikroskobu altında görülebilir. Organik materyal bir kazıma çözeltisine yerleştirildiğinde mikroskobik izin etrafındaki hacim ortaya çıkar. Böylece nükleer partikülün izi normal mikroskop altında bir silindir veya koni şeklinde görülebilir.

Bu metotta, detektör beta ve gama radyasyonuna duyarlı değildir. Normal çevre şartları altında 3 aydan 1 yıla kadar maruz kalma periyotları için kullanılır. 3 aylık ortalama maruz kalma için en düşük deteksiyon limiti, 2- 8 Bq/ m³’ dür.

Bu çalışmada LR-115 katı hal iz kazıma detektörleri kullanılmıştır. Filmler belirlenen istasyonlardaki binalarda 1 aylık periyotlar halinde tutulmuştur.

3.2.2. Katı hal iz kazıma detektörleri ile havadaki radon konsantrasyonunun tayin edilmesi

Radyoaktif atomlardan yayımlanan enerjili tanecikler bir yüzeye rastladıklarında enerjilerini tamamen veya kısmen yüzeyi oluşturan maddeye transfer ederler. Bu olay sonunda yüzey maddesinin yapısında bir değişiklik olup olmaması gelen taneciğin türüne, enerjisine ve yüzeyin yapısal karakterine bağlıdır. Radyasyonun madde ile bu tür etkileşimlerinde yararlanılarak iz kazıma detektörleri geliştirilmiştir (Kolbaşı, 1997).

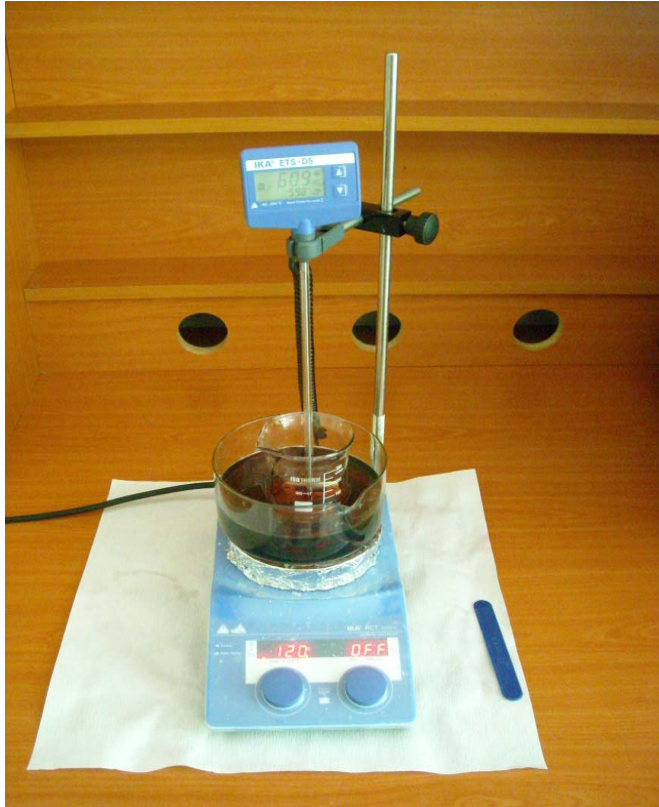
Alfa iz kazıma detektörleri genel olarak organik ya da dielektrik maddelerden yapılır. Ölçüm yapılacak ortamda uzun süre bırakılır. Ortam atmosferinde bulunan radon ve ürünlerinin yayımladığı alfa radyasyonu bu filmlerin üzerinde mikroskobik izler bırakırlar. Bu izler kimyasal işlemlerle optik mikroskopla görülebilecek büyüklüğe getirilirler. Film üzerindeki sınırlı bir alandaki iz sayısı ortamdaki alfa yayımlayıcı radyonüklidlerin sayısı ile orantılıdır.

Çalışmada kullanılan Kodak LR-115 tip 2 filmler, küçük kareler şeklinde 1.5X1.5 cm boyutunda kesilerek plastik kaplar içerisinde seçilen binalarda uygun görülen yerlerde, yerden yaklaşık 1.5–2 m yükseğe yerleştirildi. Uzun süreli ortalama radon konsantrasyonu için gösterge olan bu filmler 3–4 haftalık süre sonunda toplanarak laboratuara getirilmiştir.

3.2.3. Nükleer iz kazıma detektörlerinin yıkanma işlemi

Katı hal iz kazıma detektörleri üzerinde oluşan radon ve radon ürünlerince yayınlanmış olan alfa izlerini mikroskop altında görebilmek için laboratuara getirilmiş olan filmler üzerinde bazı işlemler uygulanmıştır (Ereeş, 1994).

Arazi çalışması sonucu laboratuara getirilen filmler, sıcaklığı 60 °C' de sabit tutulan %10'luk NaOH çözeltisinde 120 dakika bekletilerek banyo edildi, banyo işleminde sıcaklığın sabit tutulması oldukça önemlidir. Bu nedenle banyo; $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ duyarlılığa sahip dijital termostatl ısıtıcı kullanılarak yapıldı. Bu işlem sonunda filmler 15–20 dakika süresince saf su içinde bekletilerek durulandı (Özbal, 1999).



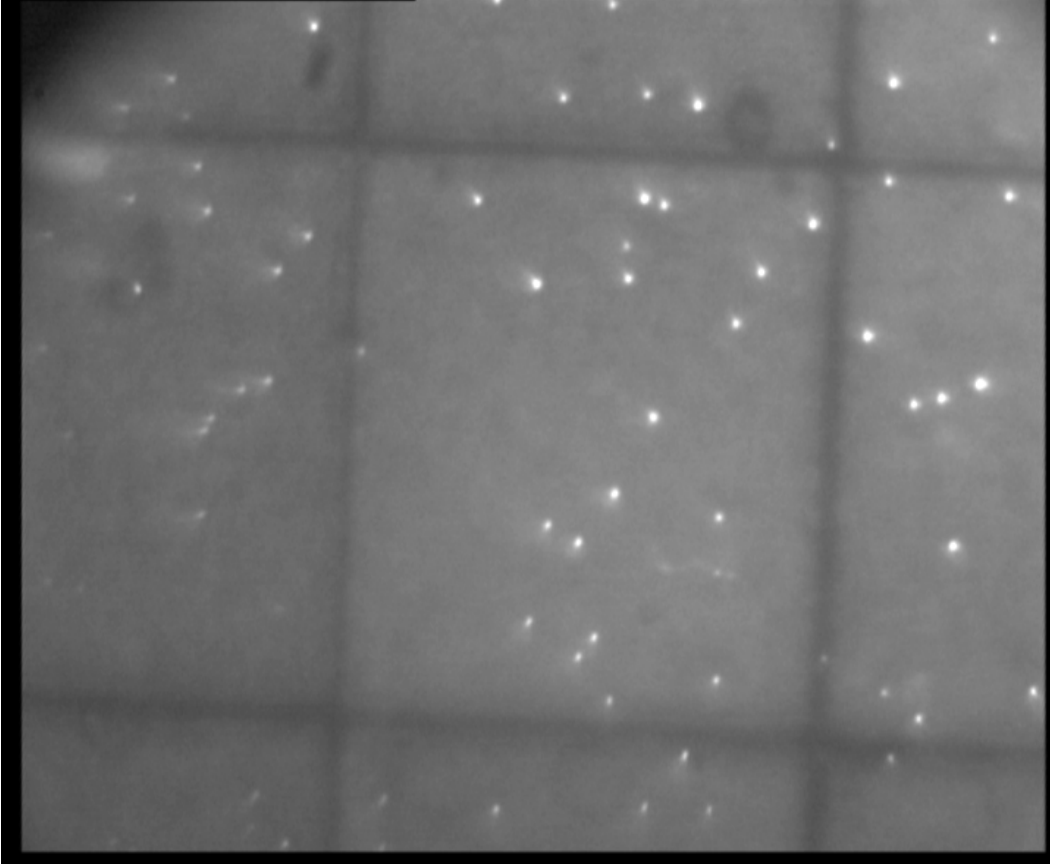
Şekil 3.5. Filmleri okumada kullandığımız banyo düzeneği

3.2.4. Alfa izlerinin sayımı

Belirlenen istasyonlardaki binalara yerleştirilen film detektörler kimyasal iz kazıma işleminden sonra mikroskop altında incelenmiştir. Bunun için mikroskop ekranı 1mm^2 'lik bölümlere ayrılmıştır. Her film için bu 1mm^2 'lik bölümlerden 10 adet okunmuştur. Daha sonra her film için okunan ortalama iz sayısı bulunur. Bu ortalama iz sayısını iz/mm^2 ya da mm^2 yi cm^2 ye çevirdikten sonra iz/cm^2 olarak ifade edebiliriz (Gözübüyük, 1995).



şekil 3.6. İz sayısını okumada kullandığımız mikroskop



Şekil 3.7. Filmlerin üzerindeki izlerin mikroskop yardımıyla görünümü

3.2.5. Kalibrasyon

Kullandığımız detektörlerin kalibrasyonu Türkiye Atom Enerji Kurumu'nda (TAEK) yapılmıştır. TAEK' in kullandığı Radyum standardının aktivitesi 3 kBq/m³'tür. Detektörlerimiz 48 saat, 72 saat, 96 saat ve 120 saat aktiviteye maruz bırakılmıştır. Daha sonra detektörümüzün üzerinde oluşan izler okunup iz/ cm²'ye çevrilmiştir. Bulduğumuz bu sonuçlardan Background çıkarılıp, aktiviteye maruz kaldıkları saate bölünmüştür. Bu bize saatteki cm²' de ölçülen iz sayısını vermiştir (Revan, 2010).

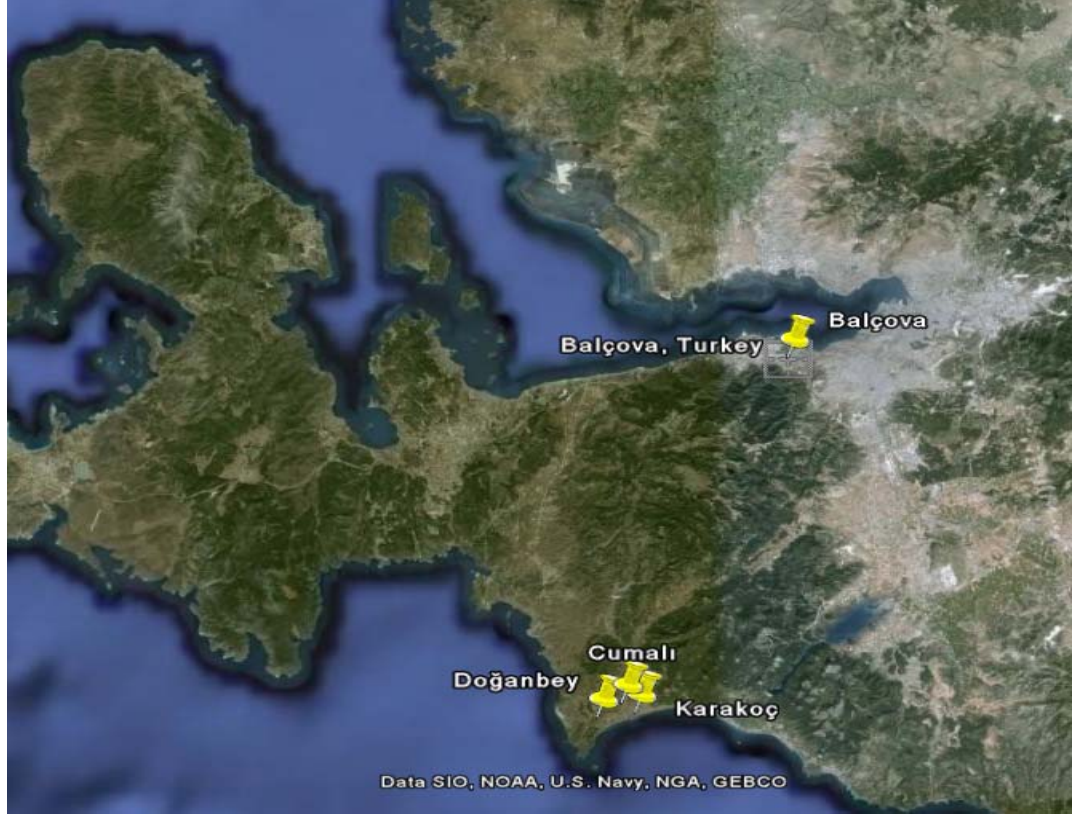
Kalibrasyon Faktörü= 3 kBq h/m³/ortalama saatteki iz sayısı

(iz sayısı/ maruz kalma süresi)* KF= Radon Konsantrasyonu

sonucuna ulaşılmıştır.

4. ARAZİ ve ETÜT ÇALIŞMASI

Arazi ve etüt çalışmaları sonucunda Doğanbey, Karakoç, Cumalı ve Balçova örneklem istasyonları olarak seçilmiştir.



Şekil 4.1. İstasyonların konumu



Şekil 4.2. Balçova bölgesindeki istasyonların konumu



Şekil 4.3.Doğanbey termal alanı



Şekil 4.4. Cumalı termal alanı



Şekil 4.5. Karakoç termal alanı



Şekil 4.6. Balçova 1 nolu Okul



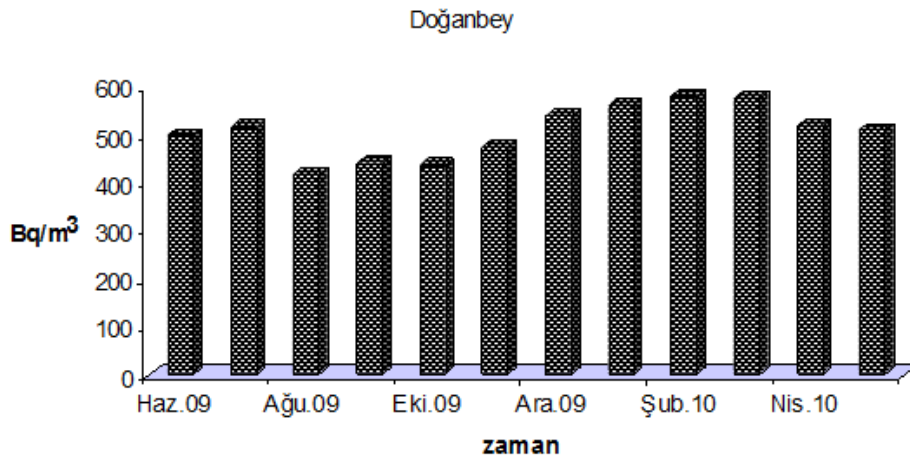
Şekil 4.7. Balçova 2 nolu Okul



Şekil 4.8. Balçova 3 nolu Okul

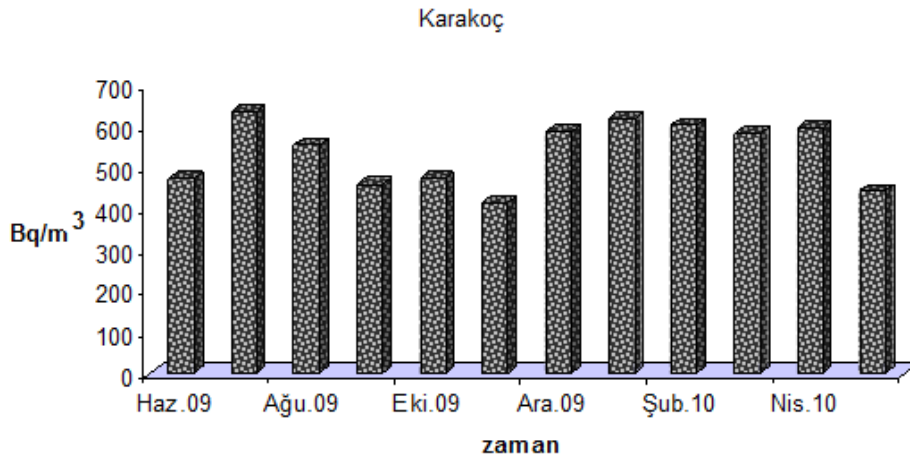
5. DENEYSEL SONUÇLAR

Doğanbey jeotermal alanında bina içi radon konsantrasyonu verileri Bq/m^3 biriminde Şekil 5.1'den de görüldüğü üzere Doğanbey jeotermal alanında elde edilen bina içi radon konsantrasyonu için en yüksek değer 580 Bq/m^3 iken; en düşük değer ise 417 Bq/m^3 olarak tespit edilmiştir.



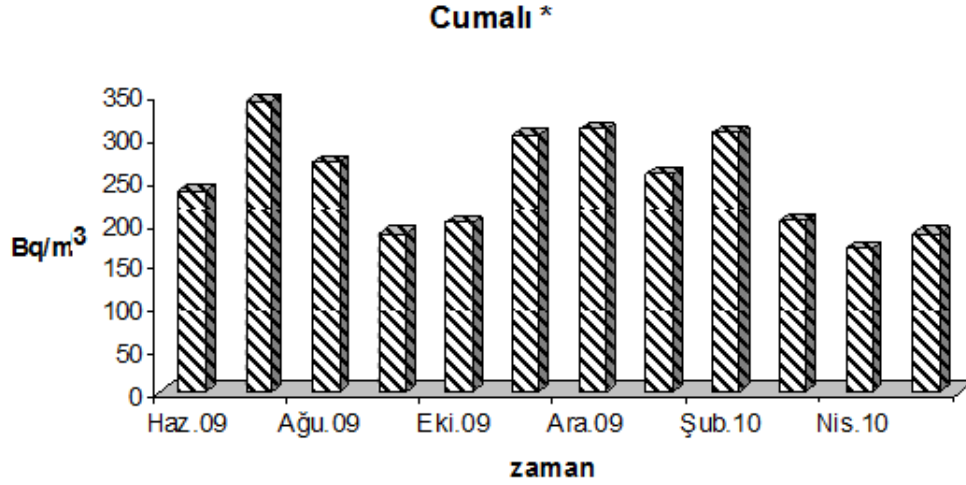
Şekil 5.1. Doğanbey jeotermal alanında bina içi radon konsantrasyonunun mevsimsel olarak değişimi

Karakoç jeotermal alanında bina içi radon konsantrasyonu değerleri Şekil 5.2'de verilmektedir. Elde edilen en yüksek radon konsantrasyonu değeri 638 Bq/m^3 iken; en düşük radon konsantrasyonu ise 417 Bq/m^3 olarak belirlenmiştir.



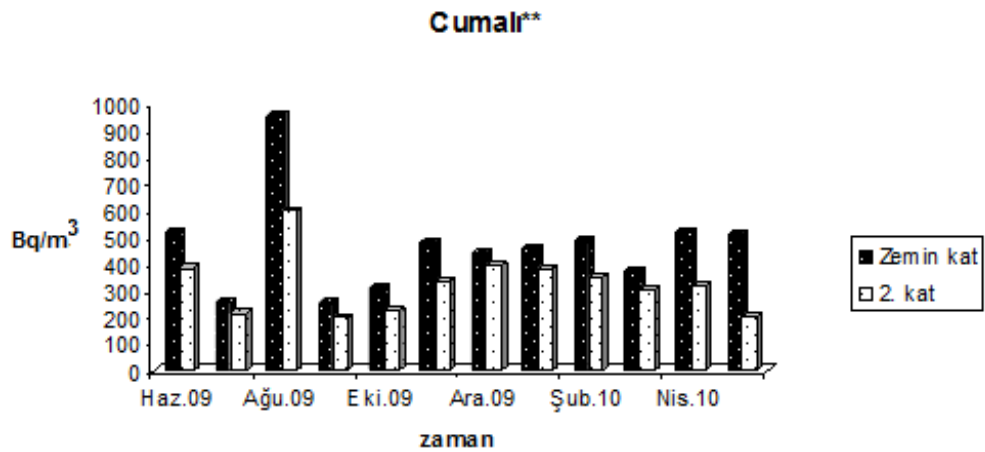
Şekil 5.2. Karakoç jeotermal alanına ait bina içi radon konsantrasyonunun mevsimsel olarak değişimi

Cumalı jeotermal alanında farklı 2 bölge seçilmiştir. Cumalı* bölgesinde zemin kattan oluşan yapılar temel alınmıştır. Bu bölgedeki bina içi radon konsantrasyonu Şekil 5.3’de belirtildiği gibidir. En yüksek bina içi radon konsantrasyonu değeri 343Bq/m^3 olup en düşük radon konsantrasyonu ise 169Bq/m^3 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 5.3. Cumalı* jeotermal alanına ait bina içi radon konsantrasyonunun mevsimsel olarak değişimi

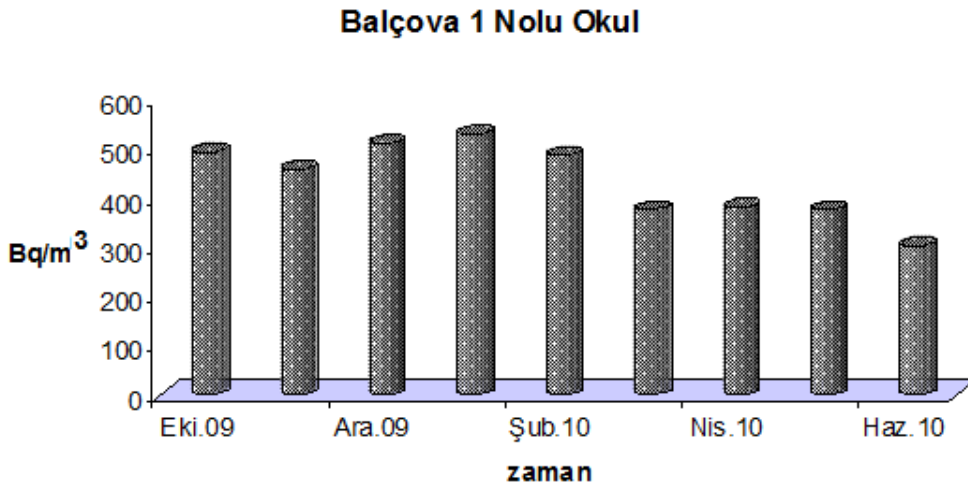
Cumalı** jeotermal alanında seçilen diğer bölgedeki yapılar 2 katlı olup elde edilen bina içi radon konsantrasyonlarına göre en yüksek değer zemin kat için 958Bq/m^3 ; 2. kat için 601Bq/m^3 iken; en düşük bina içi radon konsantrasyon değeri ise zemin kat için 253Bq/m^3 ; 2. kat için 186Bq/m^3 olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.4. Cumalı** jeotermal alanına ait bina içi radon konsantrasyonunun mevsimsel olarak değişimi

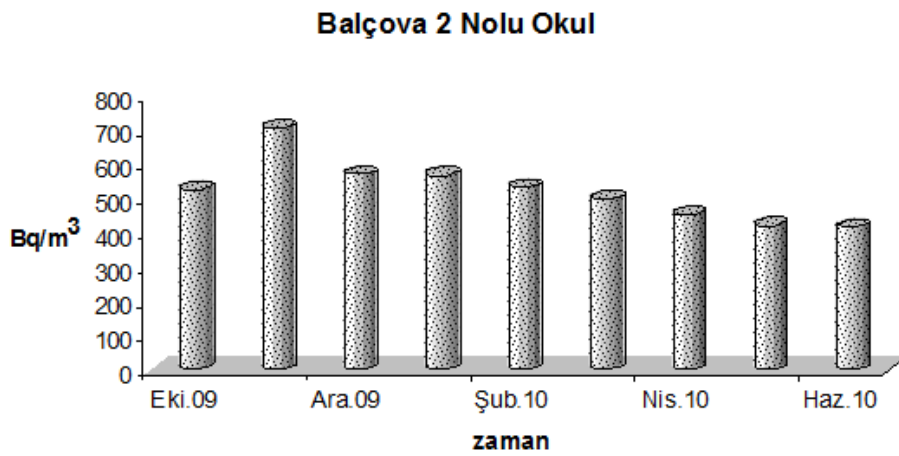
İzmir ilinde bulunan mevcut jeotermal alanlardan biri de Balçova ilçesidir. Bölgede yapılan arazi çalışması sonucu bina içi radon konsantrasyonu için belirlenen 3 okul bulunmaktadır. Bu okullar 9 ay süren eğitim öğretim döneminde incelenmiştir.

Balçova'daki 1 nolu okuldaki bina içi radon konsantrasyonu Şekil 5.5'de verilmiştir. Buna göre en yüksek radon konsantrasyonu 529 Bq/m^3 olup en düşük radon konsantrasyonu ise 302 Bq/m^3 olarak belirlenmiştir.



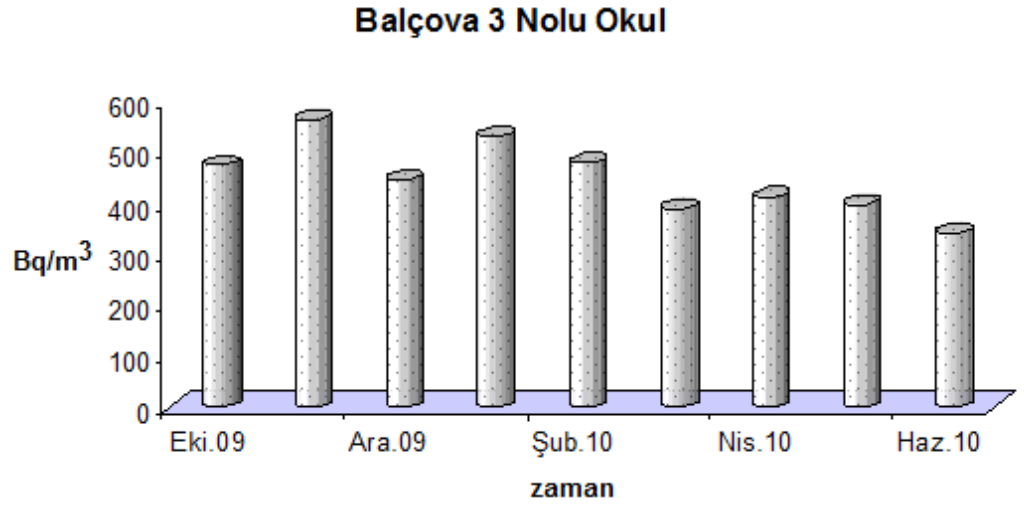
Şekil 5.5. Balçova 1 nolu okulda elde edilen bina içi radon konsantrasyonunun aylara bağlı değişimi.

Balçova 2 nolu okulda yapılan 9 aylık çalışma sonucu, bina içi radon konsantrasyon değerlerinde en yüksek 706 Bq/m^3 iken en düşük radon konsantrasyonu değeri ise 416 Bq/m^3 tür.



Şekil 5.6. Balçova 2 nolu okulda elde edilen bina içi radon konsantrasyonunun aylara bağlı değişimi.

Balçova 3 nolu okulda bina içi radon konsantrasyonunun en yüksek değeri 564 Bq/m^3 iken en düşük radon konsantrasyonu değeri ise 343 Bq/m^3 tür.



Şekil 5.7. Balçova 3 nolu okulda yapılan bina içi radon konsantrasyonu ölçümlerinin zamana bağlı değişimi.

6. TARTIŞMA

İnsanlar zamanlarının büyük bir kısmını kapalı alanlarda geçirdiği düşünüldüğünde, maruz kalınan radon seviyesinin bilinmesi oldukça önemlidir. Ülkemizde kapalı ortamlarda radon ölçümlerinin yapıldığı ve insanların kapalı ortamlarda maruz kaldığı radyasyonun belirlendiği çalışmalar Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) tarafından 1984 yılından beri yürütülmektedir (TAEK 2008).

Yapılan bu çalışmada İzmir ilinde bulunan jeotermal alanlardaki binalarda bina içi radon konsantrasyonu tespit edilmiştir ve elde edilen sonuçlar literatür ile karşılaştırılmıştır. Çalışma bölgesi Seferihisar jeotermal alanındaki Cumalı, Karakoç ve Doğanbey ılıcalarını kapsamaktadır. Ayrıca jeotermal bir alan olan Balçova ilçesindeki bazı ilk ve orta dereceli okullar da çalışma alanı olarak seçilmiştir. Yöntem olarak ‘Katıhal Nükleer İz Kazıma Detektörleri’ (LR115 tip 2) kullanılmıştır. LR115 filmlerin üzerinde, radon ve ürünlerinin bozunumu sonucu ortaya çıkan alfa parçacıklarının bıraktığı izler sayılarak bina içi radon konsantrasyonları belirlenmiştir. Çalışma, mevsimsel olarak kış ve yaz olmak üzere iki dönem halinde yapılmıştır.

Seferihisar bölgesi Doğanbey, Karakoç ve Cumalı olmak üzere üç ayrı alanda incelenmiştir. Jeotermal kaynaklara yakın binalar çalışma alanı olarak seçilmiştir. Yapılan ölçümlerde, Doğanbey jeotermal alanında bina içi radon konsantrasyon değerleri 417 Bq/m^3 ile 580 Bq/m^3 olarak belirlenmiştir. Karakoç jeotermal alanında elde edilen bina içi radon konsantrasyonu 417 Bq/m^3 ’ten 638 Bq/m^3 ’e kadar değişim göstermektedir. Cumalı jeotermal alanında yapılan çalışmada binalar tek ve çift katlı olmak üzere gruplandırılmıştır. Cumalı* bölgesindeki tek katlı yapılarda bina içi radon konsantrasyonu 302 Bq/m^3 - 529 Bq/m^3 aralığındadır. Cumalı** bölgesindeki çift katlı binalarda bina içi radon konsantrasyonu 186 Bq/m^3 ’den 958 Bq/m^3 ’e kadar geniş bir değişim aralığı göstermektedir. Literatürde bina içi radon konsantrasyonu zemin ya da bodrum katlarda üst katlara nazaran daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Elde edilen sonuçlar, TAEK tarafından kabul edilebilir değerleri üzerinde olduğu görülmüştür. Genel olarak belirlenen yerleşim bölgelerindeki bina içi radon

konsantrasyonu kış mevsiminde bina içi havalandırmanın ve meteorolojik koşulların etkisi ile daha fazla olması beklenmektedir. Ancak çalışmada elde edilen sonuçlar yaz aylarında bazı alanlarda radon konsantrasyonunun beklenmedik bir şekilde arttığını göstermektedir. Bu artışın, çalışma bölgesinde o dönemlerde meydana gelen sismik hareketlerden kaynaklanan topraktaki radon çıkışlarından ve/veya çalışma alanı olarak tespit edilen binaların yaz mevsiminde gün içi kullanılmaması nedeniyle bina içi havalandırmanın yapılmamasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Balçova ilçesinde bina içi radon konsantrasyonu için üç okul baz alınmıştır. Bu okullarda yapılan çalışmalar 9 aylık eğitim-öğretim dönemini kapsamaktadır. Çalışmamızda insan sağlığı üzerine etkilerinin araştırabilmesi için okul içi sınıfların ve odaların kullanılır durumda olmasına dikkat edilmiştir. Bu okullar, Türkiye’ de ilk jeotermal enerji kuyusunun açıldığı yer olan Balçova’da bulunmakta ve jeotermal enerjiyi hem ısınma hem de sıcak su tüketimi açısından kullanmaktadırlar. Yapılan 9 aylık çalışma sonucuna göre Balçova 1 nolu okulda bina içi radon konsantrasyon değeri 302 Bq/m^3 ile 510 Bq/m^3 arasındadır. Balçova 2 nolu okulda bina içi radon konsantrasyon değeri en yüksek 706 Bq/m^3 iken en düşük radon konsantrasyon değeri ise 416 Bq/m^3 olarak tespit edilmiştir. Balçova 3 nolu okulda bina içi radon konsantrasyonunun değer aralığı 343 Bq/m^3 ile 564 Bq/m^3 olarak belirlenmiştir. Bu bölgede elde edilen sonuçlar literatür ile kıyaslandığında özellikle kış mevsiminde limit değerinin üzerinde olduğu görülmektedir. LR-115 tip 2 filmler seçilen okulların zemin katlarına kapalı tüp içerisinde bırakılmıştır. Özellikle ana sınıflarda değerlerin yüksek olduğu görülmüştür. Ana sınıflarda ölçülen değerlerin yüksek olması bu sınıfların az havalandırması ile ilişkili olabileceği düşünülmektedir. Bununla birlikte, kış mevsiminde soğuk havalarda jeotermal enerji kaynaklı sıcak su tüketiminin artması da diğer önemli bir etkidir.

Elde edilen bina içi radon konsantrasyon değerlerinin her iki ilçe için de, en yüksek olduğu zaman diliminin kış aylarına denk geldiği görülmektedir. Kış aylarında bina içi ve bina dışı arasındaki sıcaklık farkı çok yüksektir. Çünkü bina içi değişik şekillerde ısıtılır. Böylece radon konsantrasyonunu etkilediği gibi kış aylarında az yapılan havalandırma da radon birikimine neden olur. Ayrıca belirlenen binaların bazı bölümlerinin dönemsel olarak kullanımda olması aylık

değerlerde ani artışın ya da azalmanın oluşmasında nedendir. Bu sebeple yapılan bina içi radon konsantrasyon ölçümleri 12 aylık bir periyottan oluşmaktadır. Böylece çalışma yaz ve kış olmak üzere mevsime dayalı iki dönemden oluşmuştur.

Uluslararası Atom Enerji Ajansı Temel Güvenlik Standartları (IAEA-BSS) tarafından, meskenlerde radon için belirlenen düzeyler $200\text{--}600\text{ Bq/m}^3$ olarak bildirilmiştir. Bu değerler, Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi (ICRP) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından da kabul edilmektedir. Avrupa Birliği ise, 800 Bq/m^3 'lük bir limiti benimsemiştir (Durrani ve Ilıc, 1997). Türkiye'deki kapalı ortamlarda radon konsantrasyonunun sınır değeri ise (TAEK Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği'nde 2004 yılında yapılan değişiklik ile) 400 Bq/m^3 olarak belirlenmiştir. İş yerleri için saptanan radon müdahale seviyeleri ise genelde daha yüksektir (ICRP $500\text{--}1500\text{ Bq/m}^3$ seviyelerini ve TAEK ise 1000 Bq/m^3 limit değerini baz almaktadır).

Literatürde İçel ili bina içi radon konsantrasyonu çalışmasında; 400 Bq/m^3 radon konsantrasyonunun insanlarda %6 oranında akciğer kanserine yol açabileceği belirtilmektedir. Buna göre ortalama 35 Bq/m^3 konsantrasyonunda radona maruz kalınması, %0,53 oranında akciğer kanseri riskini getirmektedir. Aslında bu çalışmadan yola çıkarak, Seferihisar ve Balçova bölgelerindeki bina içi radon konsantrasyonu ölçümlerinin yapıldığı binalarda insanların akciğer kanserine yakalanma risklerinin diğer insanlara göre yüksek olduğu söylenebilir. Olası sağlık risklerini azaltmak için bina sakinlerinin evlerini daha iyi havalandırılmaları gerekmektedir.

Ölçülen radon gazı konsantrasyon seviyelerinin belirlenmiş limit değerlerini aşması durumunda, radon gazının bina içine giriş mekanizmalarının ortaya çıkarılarak uygun koruyucu önlemlerin alınması tavsiye edilmektedir. Jeotermal enerjiyi ısıtma ve sıcak su tüketimi olarak evlerinde kullanan insanların ev içi ventilasyon konusunda bilinçlendirilmesi insan sağlığı açısından oldukça önemlidir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Alavanja MC, Brownson RC, Benichou J, Swanson C and Boice JD Jr**, 1995, Attributable Risk of Lung Cancer in Lifetime Nonsmokers and Longterra Ex-smokers . Cancer Causes Control. May. 6(3)., 209–16pp.
- Bard, D. and Tirmarche, D.**, 1996, Radon, WHO, Regional Office for Europe, March.
- Borak T.B., Woodruff B. and Toohey, R.E.**, 1989, A Survey Of Winter, Summer And Annual Average Rn-222 Concentrations İn Family Dwellings, Health Physics, 57(3): 465-470pp.
- Botkin, D. and Keller. E.**, 1988, Environmental Science, John Willey Sons.
- Cothorn, C.R and Smith J.E.Jr.**, 1987, Environmental Radon, Plenum Press, New York, 363p.
- Cothorn C.R. and Robers P.A**, 1991, Radon, Radium And Uranium İn Drinking Water, Lewis Publishers, Inc. Michigan.
- Çelebi, N., Taşdelen, M., Özçınar, B. ve Kopuz, G.**, 2003, YTÜ Şevket Sabancı Kütüphanesi Radon Konsantrasyonlarının Belirlenmesi, 8. Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi Bildiri Kitabı.
- Değerlier M**, 2007, Adana ili ve çevresinin çevresel doğal radyoaktivitesinin saptanması ve doğal radyasyonların yıllık etkin doz eşdeğerinin bulunması, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, 39-40s.
- Eren E.**, 2008, Türkiye Kalkınma Bankası A.Ş. Jeotermal Enerji Teknoloji İzleme Ve Araştırma Müdürlüğü TR-2008/3 Şubat 2008 – Ankara, s2-3,Jeotermal Enerji.
- Esder ,T. and Simsek, S.**, 1975, Geology of Izmir-Seferihisar geothermal area, Western Anatolia of Turkey; Determination of reservoir by means of gradient drilling. 2. U.N. symposium on the development and use of geothermal recources, San Francisco, 349-361pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

- Esder,T. and Simsek, S.**, 1977, The relationship between the temperature gradient distribution and geological structure in the Izmir – Seferihisar geothermal area, Turkey. CENTO Scientific programme symposium on geothermal energy, 93-112pp.
- Ereeş, F.S**, 1988, Havada Radon Ürünleri Konsantrasyonunun Çok Kanallı Alfa Spektroskopisi Yöntemi İle Ölçülmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ereeş, F.S. and Yener, G.**, 1999, Radon levels in new and old buildings, 65-68s, Fundamentals for the Assesment of Risks from Environmental Radiation.
- Farzad S.**, 1993, Binaİçi Ve Bina Dışı Radon Konsantrasyonlarının Aylara Göre Değişiminin Deneysel Olarak İncelenmesi, EÜ Nükleer Bilimler Enstitüsü, Y.L. Tezi.
- Farzad S., Ereeş FS. and Yener G.**, 1994, Outdoor Radon Measurements, 2.İnternational Conference On Chemistry İn İndustry, 710-717pp.
- Güler Ç. and Çobanoğlu Z.**, 1997, Radon Kirliliği, Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi No:44, T.C. Sağlık Bakanlığı Sağlık Projesi Genel Koordinatörlüğü,Ankara, 26-33s.
- Gültekin, Y., Çam S. and Ereeş, F.S.**, 2006, Assesment Of Dose Rates Around Manisa (Turkey), Radiation Measurement, 41:598-601pp.
- Gültekin Y, Çam S and Ereeş FS**, 2003, Manisa ili bina içi radon konsantrasyonu tayinleri, VII. Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi, 15-17s. Ekim 2003, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, bildiri tam metni
http://88.255.58.195/internet_tarama/dosyalar/cd/4115/pdf/222.pdf
 (Erişim tarihi: 19.01.2010)
- Gönüllü U.**, 1995, Akciğer Kanserinin Epidemiyolojisi ve Etiyolojisi, T Klin Tıp Bilimleri, 363s.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

- Gözübüyük, S.**, 1995, İzmir’deki Hastane Binalarında Radon Konsantrasyonları Tayinleri Ve Doz Hesaplamaları, Y.L. Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Harley, N. H. and Harley, J. H.**, 1990, Potential Lung Cancer Risk From Indoor Radon Exporsure, Ca, A Cancer Journal for Clinician, sept/oct, 40, 265-275pp.
- The International Commission on Radiological Protection Publication (ICRP)**, 1986; lung cancer risk from indoor exposures to radon daughters.
- Kınacı R.S.**,1984, Ege Bölgesindeki Termal Suların Ve Travertenlerin Radyoaktif Elementler Analizi Ve Radyoaktif Minerallerin Saptanması, EÜ Rektörlüğü, Araştırma Fonu Projesi, No:001/1984.
- Kınacı R. S.**, 1988, Ege Bölgesi Termal Suların Ve Travertenlerin Radyoaktif Elementler Analizi Ve Radyoaktif Minerallerin Saptanması, E.Ü. Nükleer Bilimler Enstitüsü Rapor No:08.
- Kinsara AA, Loyalka SK, Tompson RV, Miller WH and Holub RF**, 1995, Deposition Patterns of Moiecular Phase Radon Progenv (218Po) in Lung Bifurcations. Health Phys. Mar. 68(3). P 371–82pp.
- Kolbaşı, A.**, 1997, Nükleer iz kazıma detektörleri ile İzmir fay hattında deprem tayinine yönelik radon ölçümleri, Ege Üniversitesi, Nükleer Bilimler Enstitüsü, Proje No: 95 NBE 002.
- Kumbur, H., Zeren, O., Koksall, M. ve Özçınar, B.**, 1997, İçel’de evlerde radon düzeylerinin araştırılması, Çevkor Dergisi.
- Kürkçüoğlu E.M., Haner B., Yılmaz A. ve Toroğlu İ.**, 2009, Karaelmas Yerleşkesi Merkez Kütüphanesi Radon Ölçümleri, SDÜ Fen Dergisi(E-Dergi) 4(2), 177-188s. (Erişim Tarihi: 6 Mart 2010).

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

- LI,C.S.**,1990, Field Evaluation And Healtassessment Of Air Cleaness İn Removing Radon Decay Products İn Domestic Environments, PhD. Tezi.
- Lubin JH and Steindorf K**, 1995, Cigarette Use and The Estimation of Lung Cancer Attributable to Radon in The United States. Radiat Res. Jan. 141(1). 79–85pp.
- Nakoman E.**,1979, Radyoaktif Hammaddeler Jeolojisi,Ankara.
- National Council On Radition Protection and Measurement (NCRP) report**, 1988; Measurements Of Radon And Radon Daughters İn Air, No: 97,40-46pp.
- ORME**, 1997, ORME Jeotermal Mühendislik, Sanayi ve Ticaret A.Ş. yayını Aralık ayı.
- Örgün, Y., Altınsoy, N., Şahin S.Y, Ataksor, B. and Çelebi N.**, 2008, A Study Of Indoor Radon Levels İn Rural Dwellings Of Ezine (Çanakkale, Turkey) Using Solid-State Nuclear Track Dedectors, Radiation Protection Dosimetry, 131(3):379–384pp.
- Özbal Ö**, 1999, İzmir-Balçova’da Termal Su Kullanılan Binalarda Radon Konsantrasyonu Ve Sudaki Radonla Korelasyonu.
- Revan M.**, 2010, Kuzey Ege Termal Sularının Radyoaktivite Düzeylerinin Belirlenmesi, EÜ Nükleer Bilimler Enstitüsü, Y.L. Tezi.
- Saç M.M. and Camgöz B**, 2005, İzmir’de Sismik Aktiviteler ile Radon Konsantrasyonları Arasındaki Korelasyonun İncelenmesi, DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 7 (3), 47–54s.
- Samet. J.M. et al.** Review of Radon and Lung Cancer Risk,Risk Analysis, 10:65–75, 1990pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

- Shaikh, A.N., Ramachandran, T.V. and Vinod Kumar, A.**, 2003, Monitoring And Modelling Of Indoor Radon Concentrations In A Multi-Storey Building At Mumbai, India, Journal Of Environmental Radioactivity, 67(1):15-26(12)pp.
- Sındırgı P. ve Timur E.**, 2010, Cumalı (Seferihisar/İzmir) Jeotermal Alanında Yapılan SP, Manyetik ve Elektromanyetik Çalışmalar; Dünya Enerji Kongresi Türk Milli Komitesi, Türkiye 10. Enerji kongresi.
- Starnden E. and Bertetg T.**, 1980, Radon In Dwelling And Influencing Factors, Health Physics, Vol. 39, 431–438pp.
- Şen G.**, 2009, İzmir İlinde Doğal Gaz Kullanılan Bazı Binalarda Radon Konsantrasyonlarının Belirlenmesi, Y.L. Tezi, E.Ü. Nükleer Bilimler Enstitüsü.
- Türkiye Atom Enerjisi Kurumu**, 2009. “Radyasyon, İnsan Ve Çevre”; www.taek.gov.tr/haber_uyuru/2009/radyasyoninsanvecevre240609.pdf f (Erişim tarihi: 16.03.2009)
- Türkiye Atom Enerjisi Kurumu**, 2009.“Doğal Radyasyon Kaynakları”, www.taek.gov.tr/bilgi/bilgi_maddeler/dogalrad.html (Erişim tarihi:16.03.2009)
- Türkiye Atom Enerjisi Kurumu**, 2000, Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği, Resmi Gazete, 23999(37), 43s.
- Türkiye Jeotermal Derneği**, 2010, <http://www.jeotermaldernegi.org.tr/> (Erişim tarihi: 04.04.2010)
- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation**, 1982, “Ionizing Radiation: Sources and Biological Effects”, www.unscear.org/docs/reports/1982/1982-A_unscear.pdf (Erişim tarihi: 21.05.2009).

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation,** 1982, “Ionizing Radiation: Sources and Biological Effects”, www.unscear.org/docs/reports/1982/1982-A_unscear.pdf (Erişim tarihi:12.04.2009)
- USA, Environmental Protection Agency,** 1989, Radon Measurement in Schools, EPA 520/1 89-010Office of Radiation Programs, Washington, D. C.
- Yamanishi H., Haja T.,Iida T.,Abe S. and İkebe T,** 1991 , Measurements Of Regional Distribution Of Radon-222 Concentration , Journal Of Nuclear Sciences And Technology, Vol.28, No.4,331-340pp.
- Yaprak, G.,**1988, Uranyum Keşfi İçin Katıhal İz Kazıma Dedektörleri İle Toprak Gazı Radon Ölçümü ve Fiziksel Parametrelerin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yaprak, G. ve Kınacı, S.,** 1993, Measurements of Rn-222 Concentrations İn Dwellings İn A City With High Population, Nuclear Tracks Radiation Measurement.

ÖZGEÇMİŞ

1983 yılında İzmir’de doğdu. 2001’de Salih Dede Lisesi’nden mezun olmuştur. 2007 yılında Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü’nü bitirdi. 2008 yılında E.Ü. Nükleer Bilimler Enstitüsü’nde Nükleer A.B.D.’da yüksek lisansına başlamıştır. Halen öğrenimini burada sürdürmektedir.