

**T.C.
KİLİS 7 ARALIK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KİLİS İLİNDEKİ EVLERDE RADON GAZI ÖLÇÜMÜ

Bayram CAN

FİZİK ANABİLİM DALI

Danışman:Yrd.Doç.Dr. Cumhur CANBAZOĞLU

**KİLİS
2011**

**T.C.
KİLİS 7 ARALIK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KİLİS İLİNDEKİ EVLERDE RADON GAZI ÖLÇÜMÜ

Bayram CAN

FİZİK ANABİLİM DALI

Danışman: Yrd.Doç.Dr. Cumhuri CANBAZOĞLU

**KİLİS
2011**

Her Hakkı Saklıdır.

TEZ ONAY

Yrd. Doç. Dr. Cumhuri CANBAZOĞLU danışmanlığında, Bayram CAN tarafından hazırlanan “**Kilis İlindeki Evlerde Radon Gazı Ölçümü**” adlı tez çalışması 01/06/2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Kilis 7 Aralık Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Fizik Anabilim Dalı**’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir

Jüri Üyeleri	Unvanı, Adı Soyadı (Kurumu)	İmza
Başkan	Prof. Dr. Zihni ÖZTÜRK (Gaziantep Üniv. Mühendislik Fak. Fizik ABD)	
Üye	Yrd. Doç. Dr. Cumhuri CANBAZOĞLU (Kilis 7 Aralık Üniv. Fen-Edeb. Fak. Fizik ABD)	
Üye	Yrd. Doç. Dr. Abdurrahman ÇETİN (Kilis 7 Aralık Üniv. Fen-Edeb. Fak. Fizik ABD)	

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun/...../2011 tarih ve/..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Tez No:

Prof. Dr. Ahmet ÇAKIR
Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KİLİS İLİNDEKİ EVLERDE RADON GAZI ÖLÇÜMÜ

Bayram CAN

Kilis 7 Aralık Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Yrd.Doç.Dr. Cumhuri CANBAZOĞLU

Yıl: 2011

Sayfa:63

Bu çalışmada; bina içi radon aktivite seviyesi ve radon efektif doz hızı katıhal nükleer iz detektör tekniği kullanılarak Kilis bölgesindeki evlerde belirlendi. Evlerdeki ortalama radon konsantrasyonu 47 Bq/m^3 (standart sapması: 40 Bq/m^3) olarak bulundu. Çalışılan evlerdeki radon efektif doz hızının $0,0756$ ile $4,3 \text{ mSvy}^{-1}$ arasında değiştiği görüldü. Sonuçlar ulusal ve uluslar arası standartlarla karşılaştırıldı.

Anahtar Kelimeler: Radon, Kilis, Efektif Doz, CR-39.

ABSTRACT

MSc. Thesis

MEASUREMENTS OF RADON GAS IN HOMES IN THE PROVINCE OF KİLİS

Bayram CAN

Kilis 7 Aralık University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Physics

Supervisor: Asist. Prof. Dr. Cumhuri CANBAZOĞLU

Year: 2011

Page: 63

In this study, the indoor radon activity level and radon effective dose rate were determined in the dwellings of Kilis district using solid state nuclear track detectors technique. Average radon concentration in dwellings was found to be 47 Bq/m^3 (standard deviation: 40 Bq/m^3). Radon effective dose rate in the studied dwellings ranges from 0.0756 to 4.3 mSvy^{-1} . Results were compared with national and international standards.

Key Words: Radon, Kilis, Effective Dose, CR-39.

TEŞEKKÜR

“Kilis İlindeki Evlerde Radon Gazı Ölçümü” adlı bu tezin, Cr-39 detektörlerinin temini ve sayım işlemi Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezinde gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmanın hazırlanmasında danışmanlığımı üstlenen, Cr-39 detektörlerini ÇANEM laboratuvarından almamızı sağlayan ve araştırmanın her safhasında büyük bir özveriyle tecrübesini ve emeğini ortaya koyan değerli hocam Yrd.Doç.Dr. Cumhuri CANBAZOĞLU’na sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Ayrıca detektörleri bize gönderen ve ÇANEM Sağlık Fiziği Bölümü’nde detektörlerin iz sayımını yapan Dr. Nilgün elebi ve Sağlık Fiziği Birimi Radyasyon Korunma Uzmanı Nesli ALBAYRAK’a teşekkür ederim.

Saha alışması sırasında bana yardım eden değerli arkadaşlarım Ramazan ORAL, Ercan SÜRMEĞİ, Ahmet TOSYALI ve şahin KIN’a teşekkür ederim.

Öğrenim hayatım boyunca benden desteğini esirgemeyen ve bizden erken ayrılan babama; değerli anneme sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Bayram CAN

Kilis, Haziran 2011

İÇİNDEKİLER

ÖZET	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR	III
KISALTMALAR DİZİNİ	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ	VII
TABLolar DİZİNİ	IX
1.GİRİŞ	1
1.2 Doğal Radyasyon Kaynakları.....	2
1.2.1 Doğal Radyasyon Kaynakları ve İnsanda Oluşturduğu Doz Değerleri.....	2
1.2.2 Yeryüzü Kaynaklı Doğal Radyasyon.....	5
1.2.3 Vücuttaki Radyoaktivite	6
1.2.4 Sindirim Yolu ile İç Işınlama	7
1.2.5 Solunum Yolu ile İç Işınlama	7
1.2.6 Radon.....	7
1.2.7 Radon Gazının Sağlık Etkileri.....	9
1.2.8 Radon Gazının Binaya Giriş Yolları	11
1.3 Nükleer İz detektörleri.....	12
1.3.1 İz Formasyon Mekanizmaları	12
1.3.2 Polimerlerdeki Yüklü Parçacık İzleri	13
1.3.3 Polimerlerdeki İzlerin Kazıma Karakteristikleri.....	15
1.4 Kazıma Yöntemleri ve Metodolojisi.....	15
1.4.1 Kimyasal Kazıma	16
1.4.2 Elektrokimyasal Kazıma	17
1.4.3 Kıvılcım Sayımı.....	18
1.4.4 Sintilatör Dolgulu Kazıma Çukuru Sayımı.....	19
1.5 İz Sayım Metotları ve İstatistikleri.....	19
1.6 Bina İçi Radon Gazı ve Kaynakları	23
1.6.1 Bina İçi Radon Seviyeleri.....	23
1.6.2 Yapı Malzemelerinden Kaynaklanan Bina İçi Radon	25
1.6.3 Kaya ve Topraktan Gelen Bina İçi Radon Gazı.....	27
1.6.4 Suların Bina İçi Radon Konsantrasyonuna Katkısı	28

1.6.5 Apartman Dairelerinde ve Tek Katlı Evlerdeki Radon Seviyeleri.....	28
1.6.6 Bir Evdeki Radon Dağılımları.....	29
1.6.7 Bina İçi Radon Seviyelerinin Kısa Süreli Değişimleri.....	29
1.6.8 Bina İçi Radon Seviyelerinin Mevsimsel Değişimleri.....	31
2. MATERYAL VE YÖNTEM..	34
2.1 Bölgenin Tanıtılması.....	34
2.2 Materyal	35
2.3 Yöntem.....	36
2.3.1 Kimyasal kazıma.....	37
2.4 Radosys Değerlendirme Ünitesi.....	39
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	40
3.1 İl Genelinde Radon Gazı Konsantrasyonunun Ev Sayısına Göre Dağılımı.....	44
3.2 İl Genelinde Radon Gazı Konsantrasyonunun Ev Yaşına Göre Dağılımı.....	45
3.3 Kullanılan Yapı Malzemesine Göre Ortalama Radon Gazı Konsantrasyonu.....	46
3.4 Bina içi Radon Konsantrasyonunu Etkileyen Faktörlere Göre Radon Gazı Dağılım.....	47
3.5 Radon Kaynaklı Kanser Riski Hesaplanması.....	48
3.6 Kilis İli İçin Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri.....	50
4. SONUÇ	51
5. KAYNAKLAR	52
EK.1 Kilis il merkezine dağıtılan detektörlerin radon konsantrasyonları	56
EK.2 Polateli İlçe Merkezine Dağıtılan Detektörlerin Radon Konsantrasyonları	60
EK.3 Musabeyli İlçe Merkezindeki Ortalama Bina İçi Radon Gazı Konsantrasyonu... ..	60
EK.4 Elbeyli İlçe Merkezindeki Ortalama Bina İçi Radon Gazı Konsantrasyonu	61
EK.5 Bilgi Formu.....	62
ÖZGEÇMİŞ	63

KISALTMALAR

BEIR	Biological Effects of Ionizing Radiation
CE	Chemical Etching
ÇANEM	Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi
EPA	United States Environmental Protection Agency
ECE	Elektrochemical Etching
ICRP	International Commission on Radiological Protection
NCRP	National Council on Radiation Protection and Measurements
NRPB	National Radiation Protection Board
SSNTD	Solid-State Nuclear Track Detector
TAEK	Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
UNSCEAR	United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
YEDE	Yılık Etkin Biyolojik Doz Değeri

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozlarının oransal değerleri.....	2
Şekil 1.2. Radyoaktif ^{238}U çekirdeğinin bozunma serisi	8
Şekil 1.3. ^{218}Po 'in akciğerlerde birikimi sonucu meydana gelen alfa parçacıkları bir veya iki DNA sarmalını koparmakta ve bu mutasyon başlamış olan kanserojen etkilerin hızlanmasına veya yeni bir sürecin başlamasına neden olmaktadır.....	10
Şekil 1.4. Bina içi radon girişleri.....	12
Şekil 1.5. Yüklü ağır parçacıkların yolları boyunca polimerde meydana getirdiği deformasyonun şematik diyagramı.....	14
Şekli 1.6. Kazıma kritik açısı	16
Şekil 1.7. Radon ve onun kısa ömürlü kızlarının bozunması sonucu yayılan α Parçacıkları tarafından meydana getirilen tipik elektrokimyasal kazıma işlemine tabi tutulmuş iz noktaları.....	18
Şekil 1.8. Optik bir mikroskop ile izlerin sistematik taranması.....	21
Şekil 1.9. Farklı hava değişim hızları için F faktörü	25
Şekil 1.10. Almanya da yapı malzemelerinin farklı türleri için radon seviyesi 100 Bqm^{-3} aşan evlerin bağıl sayısı	26
Şekil 1.11. Kendinden havalandırılmalı bir evdeki bina içi radon seviyelerinin dış rüzgar hızından etkilenmesi	30
Şekil 1.12. Kendinden havalandırılmalı bir evdeki bina içi radon konsantrasyonunun hızlı değişimi	31
Şekil 1.13. Almanya'da bina içi radon konsantrasyonunun yıllık değişimi	32
Şekil 1.14. Hindistan'daki bina içi radon konsantrasyonunun yıllık değişimi	32
Şekil 2.1. Türkiye haritasında ok işaretiyle gösterilen yer Kilis.....	34
Şekil 2.2. Kilis merkez ve ilçeleri.....	35
Şekil 2.3. CR-39 detektörünün içinde bulunduğu radosys ışınlama kutusu.....	36

Şekil 2.4. Radoslide detektör tutucu ünitesi.....	38
Şekil 2.5. Radobat ünitesi.....	38
Şekil 2.6. Radosys değerlendirme ünitesi.....	39
Şekil 3.1. Ortalama radon gazı konsantrasyonunun mahalle sayısına göre dağılımı.....	41
Şekil 3.2. Ortalama radon gazı konsantrasyonunun ev sayısına göre dağılımı.....	44
Şekil 3.3. Ortalama radon gazı konsantrasyonunun ev yaşına göre dağılımı.....	45
Şekil 3.4. Evlerde kullanılan yapı malzemesine göre ortalama radon gazı konsantrasyonu dağılımı.....	46
Şekil 3.5. Bina içi radon konsantrasyonlarına bağlı olarak radon gazından kaynaklı ömür boyu akciğer kanseri hastalığına yakalanma risk yüzdesi.....	49

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1.1. Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan ortalama radyasyon doz değerleri.....	3
Tablo 1.2. Toprakta bulunan doğal radyonüklit konsantrasyonları	6
Tablo 1.3. Bazı ülkelerde kabul edilen radon sınır değerleri.....	11
Tablo 1.4. İsveç'teki bazı kayalarda uranyum ve toryum konsantrasyonları	27
Tablo 1.5. Tek katlı evler ve apartman dairelerindeki bina içi radon seviyelerinin karşılaştırılması	29
Tablo 2.1. CR-39 detektörünün teknik özellikleri.....	36
Tablo 3.1. Kilis il geneli için ortalama radon gazı konsantrasyonları (Bq/m ³).....	40
Tablo 3.2. Mahallelerdeki ortalama radon gazı konsantrasyonu ve yüzdelik dilimi.....	42
Tablo 3.3. Bina içi radon konsantrasyonunu etkileyen faktörlere göre radon gazı dağılımı.....	47
Tablo 3.4. Kilis il ve ilçelerinde yaşayan insanların ömür boyu (70 yıl) radon gazından kaynaklanan akciğer kanserine yakalanma riski yüzdesi.....	49
Tablo 3.5. Kilis ili için hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri.....	50

1. GİRİŞ

Bina içi radon ölçümleri oldukça önemlidir çünkü radon ve bozunum ürünlerinin solunması ile insanların maruz kaldığı radyasyon dozu, doğal kaynaklardan alınan toplam radyasyon dozunun %50'sinden daha fazladır (UNSCEAR, 1993). Uluslar arası Radyolojik Koruma Komisyonu tarafından evlerdeki radon konsantrasyonu için tavsiye edilmiş olan değer yılda 200-600 Bq/m³'dür. Bu komisyon tarafından evlerdeki radon konsantrasyonları için belirlenmiş olan sınırlar; halkın yaşadığı eski evlerde 400 Bq/m³, yeni evlerde 200 Bq/m³, radyasyon ve maden bölgelerinde ise 1500 Bq/m³'dür. 400 Bq/m³ lük sınır değerinde akciğer kanseri meydana gelme riski %6'dır. Bu risk sigara kullanımı ile 10-20 kat kadar artabilmektedir (ICRP, 1987; ICRP, 1993).

Bu çalışmanın amacı Kilis ili ve ilçelerindeki bina içi radon gazı konsantrasyonunu belirlemek ve insanların yıllık radon gazından aldıkları ortalama eşdeğer dozu hesaplamaktır. Bunun için Kilis il ve ilçelerine Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (ÇANEM) sağlık fiziği bölümünden temin edilen CR-39 pasif nükleer iz detektörleri dağıtıldı. Dağıtım işleminde sonuçların sağlıklı olması için bölgenin homojen olarak taranmasına özen gösterildi. Bilindiği gibi bina içi radon konsantrasyonlarını etkileyen birçok faktör vardır. Bu faktörler göz önünde bulundurularak Kilis ilindeki evler 8 kritere göre seçilmiştir. Bu kriterler; bina yapısı, bina yapı malzemesi (Duvarı; taş, briket, tuğla olan evler vs.), bodrumu olan evler, bodrumu olmayan evler, bina yaşı, binanın kullandığı su kaynağı (şebeke suyu, kuyu suyu, kuyu ve şebeke suyu kullanan evler vs.), binanın ısıtma sistemi, ev halkının sigara kullanma alışkanlığıdır. Binalar belirlendikten sonra CR-39 detektörleri bu binaların oturma odasına bırakıldı. İki ay boyunca radon ve bozunum ürünlerine maruz kaldıktan sonra detektörler alüminyum folyolara sarılarak toplandı ve analizleri için Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (ÇANEM) Sağlık Fiziği Bölümü'ne gönderildi. Detektörlerin kimyasal kazıma ve iz sayımı bu bölümde yapıldı ve Kilis için ortalama radon gazı konsantrasyonu hesaplandı.

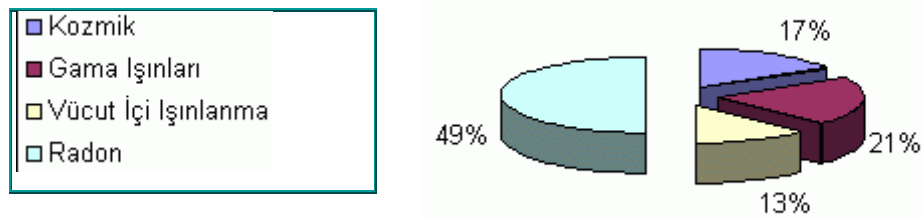
1.2 Doğal Radyasyon Kaynakları

İnsanoğlu ve diğer canlılar, milyonlarca yıldan beri evrenden gelen kozmik ışınlar ve yerkürede bulunan doğal radyoaktif maddelerden yayılan radyasyonla ışınlanmakta olup; tüm canlıların varoluşlarından bu yana sürekli olarak doğal radyasyonla iç içe yaşamaktadırlar. Şekil 1.1’de dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozlarının oransal değerleri verilmiştir.

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

1.2.1 Doğal Radyasyon Kaynakları ve İnsanda Oluşturduğu Doz Değerleri

Doğal radyasyondan kaynaklanan ışınlanma; uzaydan dünya atmosferine gelen yüksek enerjili kozmik ışınlara ait paracıklardan ve yer kabuğunda (toprak, hava, su, bitkiler ve diğer canlılar) bulunan doğal radyoaktif izotoplardan olmak üzere iki ana nedenden kaynaklanır. Doğal radyasyon yolu ile alınan ortalama yıllık etkin doz 2,4 mSv civarındadır. Bununla birlikte, bazı ülkelerde bu miktar 10 mSv’in üzerindedir. Tablo 1.1’de dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan ortalama radyasyon doz değerleri verilmiştir (TAEK).



Şekil 1.1: Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozlarının oransal değerleri (TAEK)

Tablo 1.1: Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan ortalama radyasyon doz değerleri.

İşınlanma Kaynağı	Yıllık Etkin Doz Değeri (mSv)	
Ortalama		Değişim Aralığı
Kozmik Radyasyon		
• Foton bileşeni	0,28	0,3 – 1,0 (a)
• Nötron bileşeni	0,10	
Kozmojenik Radyaizotoplar	0,01	
Toplam	0,39	
Yeryüzü Kaynaklı Dış		
İşınlanma	0,07	0,3 – 0,6 (b)
• Bina dışı	0,41	
• Bina içi	0,48	
Toplam		
Solunum Yolu İle İşınlanma		
• Uranyum ve Toryum serileri	0,006	0,2 – 10 (c)
• Radon (Rn -222)	1,15	
• Toron (Rn -220)	0,10	
Toplam	1,26	
Beslenme Yolu İle İşınlanma		
• K-40	0,17	0,2 – 0,8 (d)
• Uranyum ve Toryum serileri	0,12	
Toplam	0,29	
Genel Toplam	2,4	1 – 10

(a) Deniz seviyesinden yüksekliğe bağlı

(b) Toprak ve yapı malzemelerinin karışımlarına bağlı

(c) Radon gazı konsantrasyonuna bağlı

(d) Yiyecek ve içme sularındaki radyoizotopların konsantrasyonlarına bağlı

Dünyamız uzaydan gelen yüksek enerjili parçacıklarla sürekli olarak bombardıman edilmektedir. Yüksek enerjili parçacıkların büyük bir çoğunluğu atmosfere ulaşan protonlardır. Güneşin aktif durumuna (güneş patlamalarına), yerin manyetik alanına ve yerküreden yüksekliğe bağlı olarak kozmik ışınların yoğunluğu değişir. Protonlar elektrik yüklü parçacıklar olduklarından atmosfere ulaştıklarında dünyanın manyetik alanının etkisine girerler. Bu nedenle kozmik ışın yoğunluğu ekvatoran kutuplara gidildikçe artar. Böylece, İnsanların aldığı radyasyon enlem arttıkça artar. Bu ışınların büyük bir kısmı dünya atmosferinden geçmeye çalışırken tutulurlar. Yani atmosferimiz kısmi olarak radyasyonu zırhlar. Bu nedenle, deniz seviyesine yaklaştıkça kozmik ışınların yoğunluğu dolayısıyla doz miktarı da azalır. UNSCEAR tarafından yapılan hesaplamalara göre, kozmik ışınlardan kaynaklanan yer seviyesindeki yıllık etkin doz enlem ve yükseklikle değişse de 0,4 mSv civarındadır (TAEK).

İnsanların büyük çoğunluğu rakımı düşük bölgelerde yaşadıkları için kozmik radyasyon nedeni ile maruz kaldıkları dozlarda fazla farklılıklar gözlenmez. Bununla birlikte dünyada önemli sayılabilecek yoğunlukta nüfus barındıran yerleşim bölgelerinde yaşayan insanların aldıkları yıllık dozlar deniz seviyesinde yaşayan insanlara oranla birkaç kat daha fazla olabilir. Örneğin La Paz'da bu rakam küresel ortalamanın 5 katıdır. Uçuş yüksekliğindeki kozmik ışın yoğunluğu yer seviyesine oranla daha fazla olduğundan, uçakla yapılan seyahatlerde yer seviyelerine göre daha fazla kozmik ışına maruz kalınır. Uçuşlarda alınan radyasyon dozu uçuş süresine, uçuş rotasına ve irtifaya bağlı olarak değişmekle birlikte, yıllık dozun üzerine 0,01 mSv'lik ek doz alınmasına sebep olur ancak, dünya ortalaması olan 0,4 mSv değerini etkilemez.

Yüksek enerjili kozmik ışınlara ait nötronlar ve protonlar atmosferin alt tabakalarına kadar uzanarak bu bölgelerde de atmosferde bulunan elementlerle etkileşerek çeşitli radyoizotoplar (trityum, karbon-14, berilyum-7, sodyum-22) oluşturabilmektedir. Atmosferik şartlara bağlı olarak yeryüzüne inen bu radyoizotoplar, gerek solunum gerekse de besinler yolu ile iç ışınlanmaya neden olurlar. Bu radyoizotoplardan kaynaklanan yıllık tahmini ortalama etkin doz değerleri trityum için 0,01 μ Sv, berilyum-7 için 0,03 μ Sv, karbon-14 için 12 μ Sv ve sodyum-22 için 0,15 μ Sv'dir (TAEK).

1.2.2 Yeryüzü Kaynaklı Doğal Radyasyon

Dünyanın oluşumundan itibaren yerkabuğunda doğal olarak bulunan radyoizotoplar, vücudumuzu iki şekilde ışınlanmaya maruz bırakırlar. Bunlar dış ışınlanma ve iç ışınlanmadır. İnsan vücudunun dış kaynaklı ışınlanmaya maruz kalmasının temel nedeni doğal olarak bulunan ^{238}U ve ^{232}Th serilerinden ve ^{40}K radyoizotoplarından kaynaklanan gama ışınlarıdır. Bu radyoizotoplar, insan vücudu içerisinde ayrıca bulunmakta ve gama ışınlarında olduğu gibi, alfa ve beta parçacıkları ile çeşitli organlarda iç ışınlanmaya neden olmaktadır.

Dış ışınlanma: Yeryüzündeki radyoizotopların yaydığı gama ışınları nedeniyle tüm vücudumuz dış kaynaklı radyasyona maruz kalır. Özellikle granit gibi volkanik kayalarda, fosfat kayalarda ve tortul kayalarda yüksek radyoaktivite bulunabilmektedir. Yapı malzemeleri taş ve topraktan üretildikleri için düşük oranda da olsa radyoaktivite içerebilirler. Böylece insanlar konutları dışında olduğu gibi, bina içinde de radyasyona maruz kalırlar. Yaşanılan bölgenin jeolojik özellikleri yanında, binada kullanılan yapı malzemeleri alınan radyasyon dozunu etkilemektedir.

Gama yayınlayan ^{238}U ve ^{232}Th serileri ile ^{40}K dış kaynaklı radyasyonun belirlenebilen üç önemli bileşenidir. Uranyum, kaya ve toprak katmanları boyunca düşük konsantrasyonlarda dağılmıştır. ^{238}U birçok elementin uzun radyoizotop bozunma serisinin başlangıç kaynağı olup, kararlı ^{206}Pb haline gelinceye kadar bozunur. Oluşan ilk ürünler arasında yer alan ve radyoaktif gaz olan radon radyoizotopu (^{222}Rn) atmosfere dağılır ve bozunmaya devam eder. Toryum da benzer şekilde yeryüzüne dağılmıştır ve ^{232}Th başka bir radyoaktif serinin başlangıç kaynağıdır. Yerkabuğunun ağırlık olarak % 2,4'ünü oluşturan ^{40}K 'ın aktivite konsantrasyonu genelde, ^{238}U ve ^{232}Th 'den büyüktür. Tablo 1.2'de toprakta bulunan doğal radyonüklit konsantrasyonları verilmiştir.

Tablo 1.2: Toprakta bulunan doğal radyonüklit konsantrasyonları (UNSCEAR, 2000).

Radyonüklit Konsantrasyonu (Bq/kg)				
	⁴⁰ K	²³⁸ U	²²⁶ Ra	²³² Th
Değişim Aralığı	140-850	16-110	17-60	11-64
Ortalama	400	35	35	45

Taş ve topraktan üretilen yapı malzemeleri düşük oranda radyoaktivite içerebilirler. Böylece insanlar yaşam alanları dışında olduğu gibi bina içinde de radyasyona maruz kalırlar. Alınan radyasyon dozu yaşanan bölgenin jeolojik özelliklerine, binada kullanılan yapı malzemelerine bağlı olarak değişmektedir. Betonarme binalardaki radyasyon dozu, ahşap yapılara oranla daha fazladır.

Doğal gama radyasyonu nedeniyle alınan yıllık toplam etkin doz değeri yaklaşık 0,48 mSv'dir. Bazı insanların aldıkları doz bu ortalamanın altında, bazılarının ise üstünde olabilir. Doğal toprak yapısı yüksek radyoizotop konsantrasyonu içeren yerler az da olsa vardır. Örneğin Hindistan'ın Kerala bölgesinde, Fransa ve Brezilya'nın bazı bölgelerinde alınan doz dünya ortalamasının 20 katına kadar ulaşabilmektedir (TAEK).

İç Işınlanma: İç ışınlama, yeryüzü kaynaklı doğal olarak bulunan radyoizotopların solunum ve sindirim yolu ile alınmasından kaynaklanır. Havada bulunan ²³⁸U ve ²³²Th bozunum zincirlerindeki radyoizotoplardan oluşan toz parçacıkları solunum yolu ile vücuda alınmaktadır. Solunum yolu ile iç ışınlamanın en önemli bileşenini radon ürünleri oluşturmaktadır. Yiyecek ve içeceklerde bulunan ⁴⁰K, ²³⁸U ve ²³²Th serileri, sindirim yolu ile alınan dozun temel nedenini oluşturmaktadır.

1.2.3 Vücuttaki Radyoaktivite

Vücudumuzda bulunan radyoaktif elementlerden (özellikle Potasyum-40 radyoaktif elementinden) dolayı da belli bir radyasyon dozuna maruz kalırız. İnsan vücudundaki potasyum miktarının biyolojik proseslerle kontrol edildiği bilinmesine rağmen toplam

değerin kişiden kişiye nasıl değiştiği hakkında çok az bilgi bulunmaktadır. Çok yüksek miktarda radyoaktivite içeren yiyeceklerin yenmemesi dışında iç ışınlanmayı önleyecek herhangi bir yol bulunmamaktadır (TAEK).

1.2.4 Sindirim Yolu ile İç Işınlama

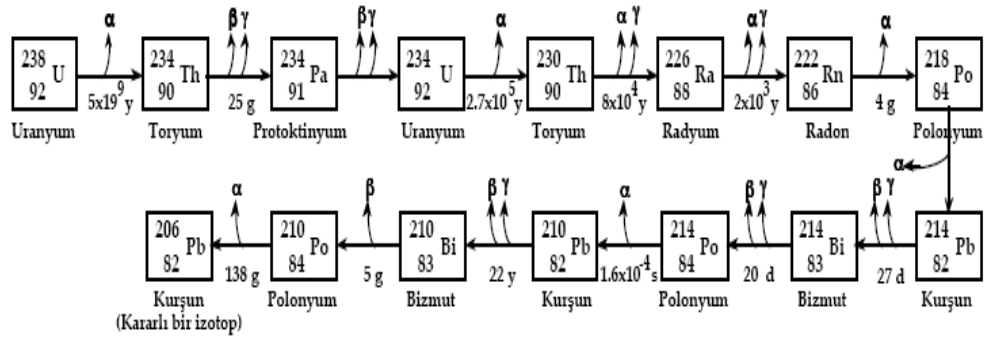
Doğal radyoizotopların sindirim yolu ile vücuda alınması yiyecek ve içeceklerin tüketim hızına ve radyoizotop konsantrasyonuna bağlı olarak değişir. Besin maddelerinde doğal olarak bulunan radyoizotop konsantrasyonu bölgenin doğal fon seviyelerine, iklimine ve tarım uygulamalarına bağlı olarak değişir. Aynı şekilde beslenme alışkanlıkları da bölgeden bölgeye, ülkeden ülkeye farklılıklar göstermektedir. Uranyum ve toryum serilerinin diğer radyonüklitleri, özellikle ^{210}Pb ve ^{210}Po hava, su ve gıdalarda bulunur ve iç ışınlanmaya sebep olur. ^{40}K 'da normal beslenme yoluyla vücuda giren radyonüklitlerden birisidir. Bu iç ışınlanma kaynaklarından alınan yıllık ortalama etkin doz miktarının 0,3 mSv olduğu ve bunun yarısının ^{40}K 'dan kaynaklandığı tahmin edilmektedir (TAEK).

1.2.5 Solunum Yolu ile İç Işınlama

Radon haricinde doğal radyoizotopların solunum yolu ile vücuda alınmasından kaynaklı iç ışınlamaya katkısı oldukça azdır. Genelde toprak içerisindeki ^{238}U ve ^{232}Th konsantrasyonunun hava içerisinde yol açacağı aktivite değeri 1– 2 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ 'tür. Toprak haricinde özellikle sanayi bölgelerinde ve kış aylarında havada bulunan kül parçacıkları içerisinde uranyum konsantrasyonu yüksek olabilmektedir (TAEK).

1.2.6 Radon

Doğal olarak üç izotopu bulunan (^{219}Rn , ^{220}Rn ve ^{222}Rn) renksiz, kokusuz ve tatsız bir soy gaz olan radon üzerinde son yıllarda önemli araştırmalar yapılmaktadır. Deniz seviyesindeki atmosferde radyoaktivitenin çoğu; ^{220}Rn , ^{222}Rn ve bozunum ürünlerinin katkılarındanır. ^{220}Rn toron olarak bilinir ve toryum serisinin bir üyesidir. Bununla beraber ^{222}Rn (radon), ^{226}Ra 'nın torunudur ve böylece uranyum serisine aittir. Şekil 1.2'de radyoaktif ^{238}U çekirdeğinin bozunma serisi verilmiştir.



Şekil 1.2: Radyoaktif ^{238}U çekirdeğinin bozunma serisi (Kulalı, 2009).

Radon izotopları topraktan atmosfere bir takım kısa ömürlü bozunma ürünleri üreterek difüz ederler. Havadaki iki radon izotopunun (^{220}Rn ve ^{222}Rn) konsantrasyonu oldukça değişkendir ve büyük oranda topraktaki ^{232}Th ve ^{226}Ra konsantrasyonları ile belirlenir. Düşük yükseklikteki atmosferik konsantrasyonların radyum ve toryum bakımından zengin olan toprak bölgeleri üzerinde oldukça yüksek olmaları beklenir. Radon ve bozunum ürünlerinin konsantrasyonları genellikle okyanuslar ve büyük su kütleleri üzerinde, toprak kütleleri üzerinden çok daha düşük değerdedir. Bunun sebebi sudaki radon, toryum (^{232}Th) ve radyum (^{226}Ra) konsantrasyonlarının düşük olmasındandır. Havadaki radon konsantrasyonları; toprak örtüsü, zemin üzerindeki yükseklik, toprak gözenekliliği ve tane boyutu, sıcaklık, atmosferik basınç, toprak nemi, yağış miktarı ve kar örtüsü, atmosferik şartlar ve mevsim gibi faktörler ile belirlenir.

Atmosferik radon konsantrasyonlarındaki mevsimsel ve günlük değişimler ortaya çıkarılabilir ve belirli bir coğrafik mevki ile değişkendir. Küresel olarak toprak seviye konsantrasyonları kış başlangıcı ve son bahar süresince maksimum, ilkbahar süresince minimum olarak kabul edilir (UNSCEAR, 1977). Günlük olarak radon konsantrasyonları sabahın erken saatleri boyunca en büyük değerde olma eğilimindedir. Güneş doğduktan sonra ısı sıcaklığın yükselmesine sebebiyet verir. Sıcaklığın artması ile ortamda bulunan radon gazı yükselir ve daha büyük hacimleri kaplar. Böylece havadaki radon konsantrasyonu azalır. Öğleden sonra hızlanan rüzgar, karışımı daha çok artırır ve atmosferik konsantrasyonları düşürür. Radon konsantrasyonları öğleden sonra kararsız olan şartlardan (rüzgarlı havalardan) dolayı en az olacaktır. Güneş

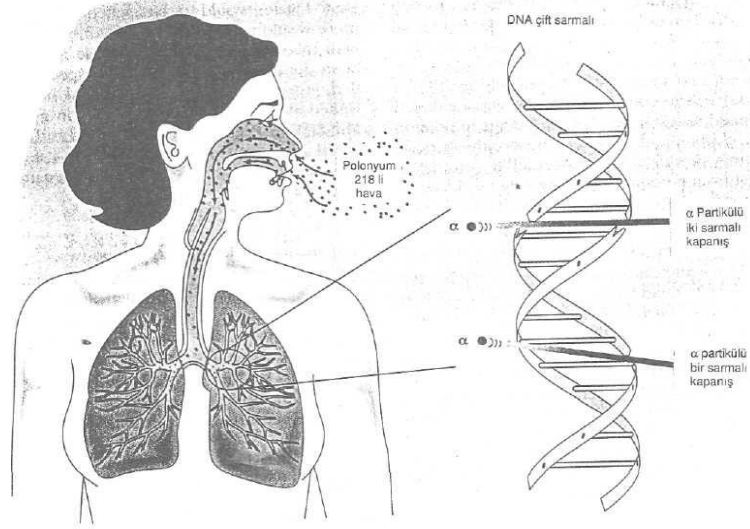
batımına doğru, konsantrasyonlar toprak soğuduğu ve atmosferik kararlılıklar arttığı için karakteristik olarak artar.

²²²Rn ve bozunum ürünlerinin dünya yüzeyine yakın ayrı bölgelerdeki atmosferik konsantrasyonları oldukça değişkendir ve literatürdeki rapor edilmiş değerler bu değişimin bir kaç kat büyüklükte olabileceğini göstermiştir. Yaklaşık olarak ortalama radon konsantrasyonu (Antartika hariç olmak üzere) 7 Bq/m³'dür (NCRP, 1987). ²²⁰Rn bozunum ürünlerinin konsantrasyonları tipik olarak ²²²Rn izotopunun konsantrasyonundan 3–10 kat daha düşüktür.

Soluk alıp verme ile vücut içerisine alınan radon ve bozunum ürünleri akciğerdeki bronşlar boyunca uzanan epitel hücrelerine bir radyasyon dozu verir. Solunmuş radon ve torunlarından dolayı bronş epitelleri için yıllık eş değer doz 24 mSv (2,4 rem)'dir. Diğer dokular için eş değer dozlar çok daha düşüktür. Ortalama yıllık yumuşak doku dozu 7 µSv (0,7 mrem) iken kemik yüzeyleri ve kemik iliği için yıllık doz miktarı 14µSv (1,4 m rem)'dir.

1.2.7 Radon Gazının Sağlık Etkileri

Radon topraktan moleküler difüzyon veya konveksiyonla sızarak yerden havaya doğru hareket edip atmosfere ulaşmaktadır. Bununla birlikte radonun bir kısmı yüzey altında kalıp, suda çözünerek yeraltı sularına karışır. Radon bir seri bozunma ile yine radyoaktif olan kısa ömürlü bozunma ürünleri üretir. Bu radyoaktif maddeler polonyum, bizmut ve kurşun elementlerinin radyoizotoplarıdır. Bu ürünlerin radondan farkı, gaz halinde olmamalarıdır. Bu izotoplar havadaki tozlara ve su damlacıklarına tutunarak radyoaktif aerosoller oluşturmakta ve solunum yoluyla akciğere alınmaktadır. Bu durum Şekil 1.3'de görülmektedir. Radon gazının teneffüs edilmesi, solunum yetmezliği, baş ağrısı, öksürük gibi akut etkilere neden olmaz. Radyoaktif bozunmaya uğrayan radon gazı, teneffüs edildiğinde akciğerler tarafından tutulabilecek parçacıklara dönüşür ve bu parçacıkların bozunması devam ettiğinde ortaya çıkan enerji, akciğer dokusunda hasara, dolayısıyla zaman içerisinde kansere sebep olur.



Şekil 1.3: ^{218}Po 'in akciğerlerde birikimi sonucu meydana gelen alfa parçacıkları bir veya iki DNA sarmalını koparmakta ve bu mutasyon başlamış olan kanserojen etkilerin hızlanmasına veya yeni bir sürecin başlamasına neden olmaktadır (Botkin ve Keller, 1988; Çağatay ve Çobanoğlu, 1997).

Solunum sisteminde ortaya çıkan bozunma sonucunda, bronşsal epiteldeki radyasyon dozu artmakta, bozunma ürünleri kararlı hale gelinceye kadar bozunma devam etmekte ve bu sürecin her aşamasında radyasyona maruz kalınmaktadır. Bu ise, zaman içerisinde akciğer kanserine sebep olabilmektedir. Solunum sistemindeki radyasyon dozu, solunmuş havadaki radon ve bozunma ürünleri yoğunluğuna, toz içerisindeki parçacıkların büyüklüğüne ve fizyolojik parametrelere bağlıdır (TAEK).

İngiltere Milli Radyasyon Korunma Komitesi (NRPB), İngiltere'deki yıllık toplam 41,000 akciğer kanserinden en az 2,500'ünü, ABD Halk Sağlığı Servisi yıllık akciğer kanseri vakalarının sigara içmeyenlerden 5000, sigara içenlerden ise 15,000'ini, Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi (ICRP) ise toplam akciğer kanserlerinin %10'unun sebebini radona bağlamaktadırlar. Ancak bu durum yüksek dozda radona maruz kalmış herkesin akciğer kanserine yakalanacağı anlamına gelmez. Sigara, kanser riskini artırır. Hem sigara içip hem de yüksek dozda radona maruz kalmış kişilerde kansere yakalanma riski oldukça yüksektir. Radonun sağlık açısından tehlikeli oluşu ve sürekli olarak maruz kalınması nedeniyle radon değerlerinin denetim altında tutulması gerekmektedir. Bunun için de her bölgede radon sınır değerleri belirlenmelidir.

Belirlenen bu sınır değerleri her bölge ve her ülke için farklılık göstermektedir. Tablo 1.3'de çeşitli ülkeler ve uluslar arası kuruluşlar tarafından benimsenen kapalı ortamlar için müsaade edilebilir radon konsantrasyonları Bq/m³ birimi cinsinden verilmektedir.

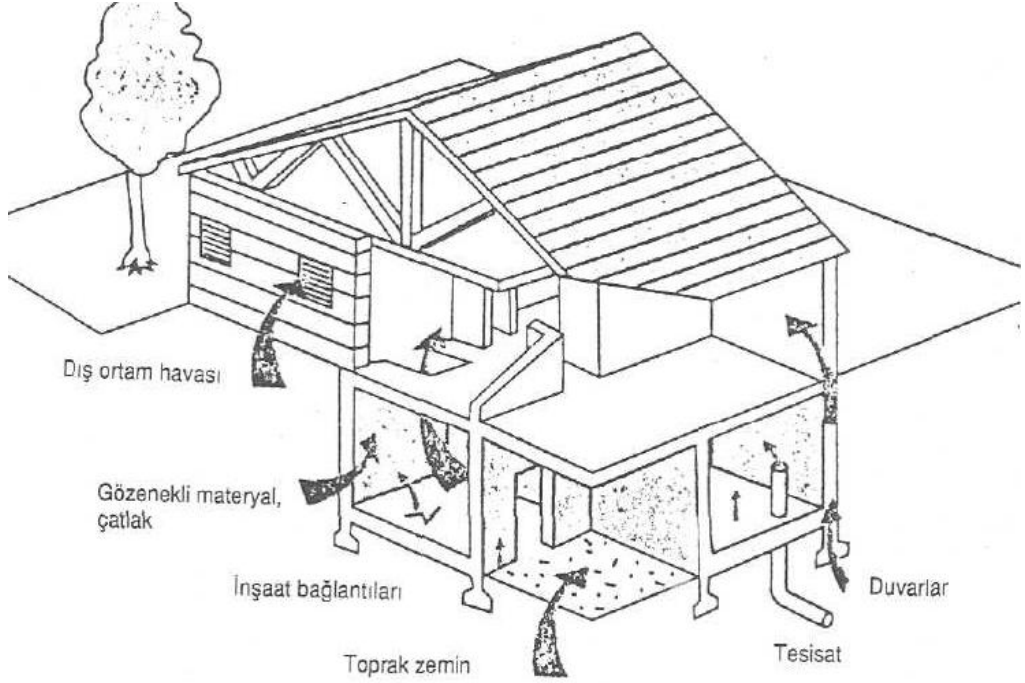
1.2.8 Radon Gazının Binaya Giriş Yolları

Genelde insanlar zamanlarının büyük bir kısmını kapalı mekanlarda geçirdikleri için radona maruz kalmaları önemli bir problem olarak ortaya çıkmaktadır. Binalara radon; zemindeki çatlaklar, yapı bağlantı noktaları, duvar çatlakları, asma kat boşlukları, tesisat boşlukları, duvar arası boşluklarından girmekte, ayrıca yapı malzemeleri, mutfakta veya ısınma amaçlı kullanılan doğal gaz ve içme sularında bulunan radon da bina içi konsantrasyonu artırmaktadır. Binalardaki radon kaynağının büyük bir kısmı, binanın temelindeki toprak ve kayalardır. Radon gazı, toprak boyunca yükselerek, binanın altında hapsolmakta ve basınç oluşturmaktadır. Binanın altındaki bu yüksek basınç nedeniyle gazlar yerden ve duvarlardan, özellikle çatlak ve boşluklardan, bina ilerine sızarlar (şekil 1.4).

Topraktaki ve yapı malzemelerindeki ²²⁶Ra miktarı, toprak ve yapı malzemelerinin nem oranı, difüzyon potansiyeli, toprakla temasta olan yapının yüzey alanı ve izolasyon niteliği, bina zemini, binadaki havalandırma kapasitesi, iklim koşulları, iç-dış hava sıcaklık ve basınç farkı binalardaki radon konsantrasyonunu etkileyen temel unsurlardır

Tablo 1.3: Bazı ülkelerde kabul edilen radon sınır değerleri (Çelebi,1995).

lke	Radon Sınırı (Bq/m ³)	lke	Radon Sınırı (Bq/m ³)	lke	Radon Sınırı (Bq/m ³)
Almanya	250	İngiltere	200	Rusya	200
Avustralya	200	İrlanda	200	Türkiye	400
in	200	İsveç	200	AB*	400
Danimarka	400	Kanada	800	ICRP**	400
Fransa	400	Lüksenburg	250	WHO***	100



Şekil 1.4: Bina içi radon girişleri (Çağatay ve Çobanoğlu, 1997).

1.3 Nükleer İz detektörleri

Bütün dünyadaki radon ölçümleri genellikle plastik iz detektörü kullanılarak gerçekleştirilir. Bu yaygın kullanımın sebepleri çok basittir. Bu detektörler küçük (tipik olarak 1cm x 1cm, $\approx 100\text{--}500 \mu\text{m}$ kalınlıkta), kullanımı kolay (her hangi bir elektronik devre gerektirmez), masrafı az, okunması basittir. Sabit sıcaklıklı kimyasal kazıma banyosu, basit kimyasal ayraçlar ve bir optiksel mikroskop bu ölçümlerin yapılabilmesi için minimum gerekli olan gereçlerdir.

1.3.1 İz Formasyon Mekanizmaları

Dielektrik ortamdaki iz formasyon mekanizmasının ana karakteristikleri aşağıda özetlenmiştir:

1. Yüklü ağır parçacıklar (beta parçacıkları ve γ ışınları hariç) normal sıcaklıklarda dielektrik ortamda nispeten uzun ömürlü gizli hasar izleri bırakabilirler. Fakat pek çok metalde ya da yarı iletkenlerde böyle bir durum söz konusu değildir. Bu gizli izler iyonizasyon yoğunluğu ve ortama bağlı olarak yüksek sıcaklıklarda

ortaya çıkabilir: Daha sonra daha yüksek sıcaklıklarda daha kararlı izler belirir. Bu gizli izler sadece Geçişli Elektron Mikroskobu (TEM) ile görülebilir.

2. Gizli izler uygun bir dağlama çözeltisinin yardımı ile kazanabilir. Böylelikle izler sadece kalıcı hale gelmez aynı zamanda bir optik mikroskop altında görünür olabilmek için yeterince büyür.
3. Farklı dielektrik ortamlar farklı kayıt eşik değerine (treshold) sahiptirler. Ağır parçacıklar; durdurma gücü, birincil iyonizasyon hızı (J) ve eşik değere bağlı olarak verilen bir dielektrik ortamda kayıt edilir. Böyle polimerler lineer kristal ve camlardan çok daha zayıf kayıt eşik değerine sahiptirler ve böylelikle alfa parçacıkları gibi zayıf atom numaralı iyonların izlerini kayıt edebilirler.

Geniş bir şekilde kullanılan CR-39 polimerleri; (polyallyl diglycol carbonate) proton izlerini dahi kayıt edebilirler. Kristal ortamlar (mineraller) sadece yüksek atom numaralı iyonları kaydedebilirler ($Z > 10$ olan iyonlar). Bu özellik karışmış radyasyon alanları durumunda kullanışlıdır (Durrani ve Bull, 1987).

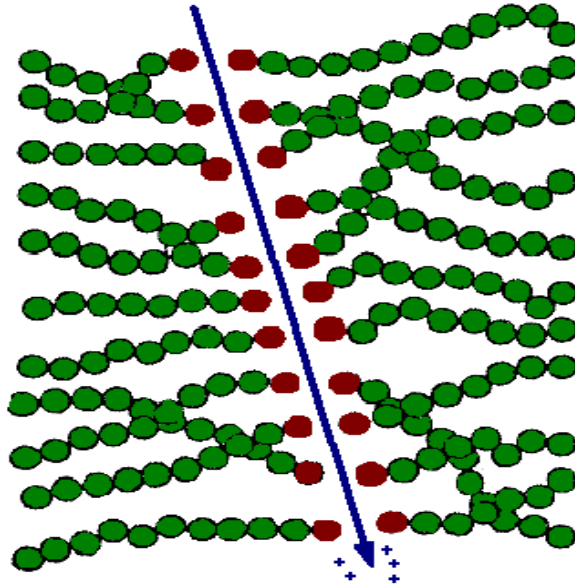
1.3.2 Polimerlerdeki Yüklü Parçacık İzleri

Polimerik plastikler bütün alanlarda (radon çalışmalarında, nükleer fizikte, hızlandırıcılarda, nötron izlenmesinde ve uzay araştırmaları vb.) çok geniş bir şekilde nükleer iz detektörleri olarak kullanılırlar. Bu polimerlerin; basitliği, küçük boyutlu olmalarından kaynaklanan iyi geometrisi ve uzun periyotlar süresince cevap verme kabiliyetleri, onları popüler kılan sebepler arasındadır.

Plastikler gerçekte bütün bilinen nükleer iz detektörlerinin en hassasıdır. Bu plastiklerin bazıları zayıf yüklü parçacıkları (çok zayıf enerjili protonları) kaydedebilirler. Bu durum CR-39 detektörleri ve hatta pek çok selüloz nitratlar için doğrudur. Çünkü selüloz nitratlar kazıma şartlarına bağlı olarak kesin bir enerji aralığı ile alfa parçacıklarını kaydedebilirler. Lexan, Makrofol gibi polikarbonat plastikler ise normal olarak $Z=6$ civarında bir pratik yük eşik değerine sahiptir. Bu durumda α parçacıkları özel teknikler (ultraviyole ışına maruz bırakma, kimyasal kazıma solüsyonuna etil alkol ilave edilmesi ya da enerji azaltıcı folyolar kullanımı gibi) kullanılarak

kaydedilebilirler. Bilinen polimerlerin hiç birisi β parçacıklarını algılamaz. CR-39 plastikleri (n,p) ve (n, α) reaksiyonu sonucu oluşan izlerin kaydedilmesi ile hızlı nötronları algılayabilir. Böyle izler iç izlerdir çünkü yüklü parçacık detektör içerisinde meydana gelir. Detektör dışında elde edilen yüklü parçacıklardan elde edilen izler ise dış izlerdir.

Polimerlerdeki iz formasyon mekanizmaları karmaşık olmasına rağmen kabaca genel kabul, yüklü parçacığın polimerik zinciri geçtiği yol boyunca kırmasıdır (Şekil 1.5). Plastik daha sonra uygun bir kimyasal kazıma çözeltisi ile işleminden geçirildiği zaman kırılan bölge çözülür ve ortaya çıkan boşluk 10^2 – 10^3 faktörü ile büyüyebilir. Böylece hasar patikaları sürekli olarak kalıcı hale gelen izler olur. Kazınmış izler büyümüş durumdadır ve uygun bir mikroskop altında sayılabilir. Hasarın miktarı yüklü parçacığın Lineer Enerji Transfer (LET) hızına bağlıdır. Ortamdaki parçacığın toplam enerji kaybı, verilen her hangi bir kazıma şartı altında detektördeki kazıma çukurunun hacmini belirlemede rol oynar.



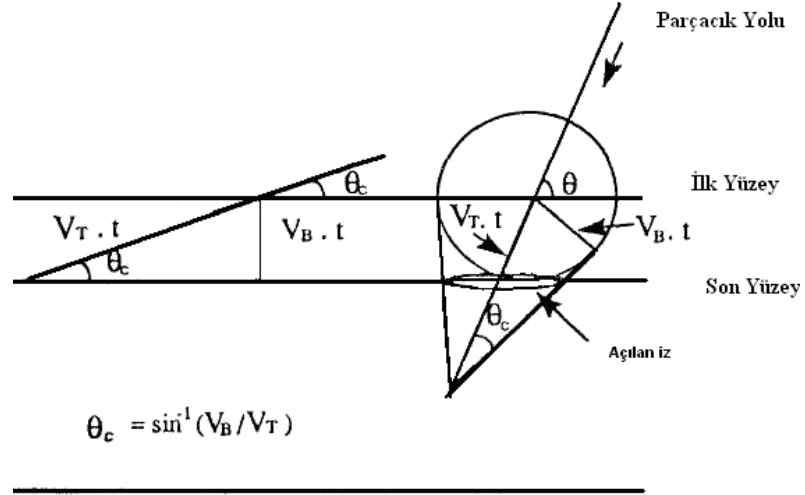
Şekil 1.5: Yüklü ağır parçacıkların yolları boyunca polimerde meydana getirdiği deformasyonun şematik diyagramı (Durani and Bull, 1987)

1.3.3 Polimerlerdeki İzlerin Kazıma Karakteristikleri

Kazıma izinin şekli ve çapı temel olarak V_B ve V_T olarak ifade edilen iki parametreye bağlıdır. V_T/V_B oranı oldukça önemlidir. Bu oran dielektrik ortamda (hem kristal hem de polimerik) yüklü parçacıkların kayıt özelliklerini belirlemede çok kullanışlıdır. Ayrıca kimyasal verimlilik ve kazıma kritik açısı (θ_c) gibi parametreleri de bize verir. Kazıma kritik açısı Şekil 1.6 ile açıklanabilir. Detektör üzerinde yüklü parçacıkların meydana getirdiği izlerin gözlenme ihtimaliyeti $\cos^2\theta_c$ ile verilir. Burada verilen bir detektör için $\theta_c = \sin^{-1}(V_B/V_T)$ 'dir. Ortamdaki iz-kazıma hızı V_T 'nin değeri, yüklü parçacığın enerjisi ve türünün bir fonksiyonudur. Yüksek Z'li parçacıklar için V_T , ortamdaki dağlamanın genel hızı V_B 'den birkaç kez büyük olabilir. Böyle bir durumda iz; uzun, tığ gibi ve silindirik şekle sahiptir. Kazıma çukuru iz uzunluğu ile karşılaştığında çok küçük kalır. Kazıma çukuru çapı D , yaklaşık olarak $2V_B.t$ 'dir ve iz uzunluğu ise yaklaşık olarak $V_T.t$ 'dir. Bu özellikle kristal ortamlardaki durumdur. Bu durum aynı zamanda fisyon olayı sonucu oluşan yüklü parçacıklar ve hızlandırıcılardan açığa çıkan ağır iyonların plastik üzerine gelmesi durumunda da geçerlidir. Bununla birlikte α parçacıkları için V_T/V_B oranı çok yüksek değildir. Örneğin CR-39 plastiklerinde bu oran değeri sadece 2 ya da 3 olabilir. Bir plastikteki V_B 'yi ölçmek oldukça kolaydır. Örneğin kimyasal dağlama ile plastik yüzeyinden kazınan tabakanın kalınlığı olan $h = V_B.t$ dir. Burada t dağlama zamanı ya da kazıma zamanıdır. Fakat α gibi düşük hızlı parçacıklar için V_T 'nin ölçümü bu kadar basit değildir. Böyle bir durumda; $V_T/V_B = [(1 + x^2) / (1 - x^2)]$ 'dir (Durrani ve Bull, 1987). Burada x verilen her hangi bir dağlama zamanında fisyon olayı sonucu meydana gelen ağır yüklü parçacıklar ve alfa parçacıkları için kazıma çukuru çapının oranıdır. V_B 'nin bilinmesi ile α parçacıkları için V_T bulunabilir. Gerçekte yüksek bir yaklaşım ile $D = 2V_B t$ 'dir. Burada D fisyon olayı sonucu meydana gelen ağır yüklü parçacıkların kazıma çukuru çapıdır ve V_B 'nin belirlenmesini sağlar. Burada V_B parçacık türünden bağımsızdır.

1.4 Kazıma Yöntemleri ve Metodolojisi

Optiksel mikroskop ile iz sayımında kullanılan kazıma metotları (a) Kimyasal kazıma ve (b) Elektrokimyasal kazımadır. Mikroskobik olmayan metotlara örnek olarak ise kıvılcım sayımı ve sintilatör dolgulu kazıma çukuru sayımı metodu verilebilir.



Şekli 1.6: Kazıma kritik açısı (Durrani and Bull, 1987).

1.4.1 Kimyasal Kazıma

Bu Katı Hal Nükleer İz Detektörlerinde (SSNTD) en temel metottur. Kimyasal kazıma genellikle sıcaklığı kontrol edilen (sıcaklığı 40 °C ile 70 °C arasında değişebilir) bir film banyosunda uygulanır ve en yaygın olan dağlama çözeltisi molaritesi 2-6 M arasında değişen NaOH'ın (ya da KOH) sulu çözeltisidir.

Tipik olarak kazıma zamanı 2 saat ile 6 saat arasında değişir. Dağlama çözeltisinin molaritesi, kazıma zamanı ve kimyasal kazıma sıcaklığı artırıldıkça, filmler üzerindeki izlerin büyüklükleri artar. Belirli uygulamalarda, etil alkol belirli oranda çözeltiliye eklenebilir. Alkol bazı plastiklerin (polikarbonatlar) kayıt hassaslığını artırır. Bununla birlikte diğer plastiklerin (CR-39) kayıt hassaslığını daha düşürür. Plastik detektörler uygun düzenekler ile aralarında belirli bir mesafe olacak şekilde sıralanır. Detektörler arasında belirli mesafeler bırakılır ve her bir detektörün birbirine değmemesine özen gösterilir. Bu şekilde dağlama çözeltisinin detektörlerin bütün yüzeyleri ile etkileşmesi uygun bir düzenleme ile yapılmış olur. Detektörler sabit sıcaklıktaki su banyosuna yerleştirilmiş beherler içerisindeki kazıma (etching) çözeltisine daldırılırlar. Bu işlem, beher içerisindeki çözelti karıştırılarak ya da karıştırılmaksızın gerçekleştirilebilir. Detektörün çözelti içerisine daldırılması esnasında dikkat edilecek hususlardan bir tanesi de detektörlerin kazıma çözelti seviyesi altında kalmasıdır. Kazıma işlemi sonunda detektör çözeltiliden alınır, akıcı su ile yıkanır ve tercihen detektör, üzerindeki

kazıma kalıntılarında kurtulmak için birkaç dakika kadar küçük bir ultrasonik banyoda (distillenmiş su kullanılan) bırakılır. Kurutma işleminden sonra, detektörler bir optik mikroskop altında okunmaya hazır hale gelir. Kimyasal yöntem kullanılarak kazınmış detektör üzerindeki iz çapları tipik olarak 1 mm civarındadır.

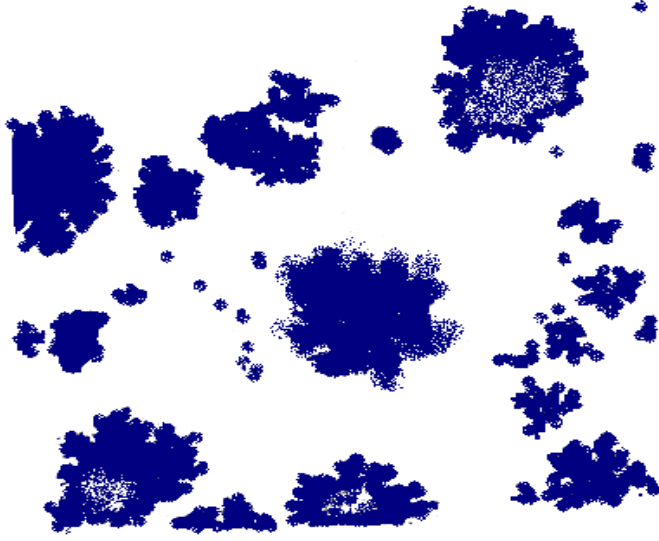
1.4.2 Elektrokimyasal Kazıma

Burada elektrokimyasal kazımanın (ECE) amacı 10^2 faktörü kadar kazıma çukurlarını büyük hale getirmektedir. Öyle ki bu kazıma çukurları zayıf büyütme cihazları ile sayılabilir. ECE izleri gerçekte çıplak gözle görülebilir (Şekil 1.7).

Temel mekanizma plastik detektörün bir tarafından diğer tarafına yüksek bir elektrik alan (AC) uygulamaktır. Uygulanan bu elektrik alan bir elektrolitin iki kısmı arasında bir engel vazifesi yapar. Elektrolitin her bölümü elektrik alanının bir kutbunu içerir. Tipik bir elektrik alan 2 kHz'de 50 kV.cm^{-1} 'dir. $200 \mu\text{m}$ kalınlıklı bir plastik detektör üzerinde 50 kVcm^{-1} 'lik alan oluşturabilmek için sadece 1000 voltluk bir voltaj uygulamak gerekir. Böyle bir alan dielektrik ortamdaki (örneğin plastik gibi) kazınmış izlerin bitiş noktasında kıvılcımların meydana gelmesine sebebiyet verir. Bu olay yüksek bir elektrik alan uygulandığı zaman bir yalıtkanda gömülmüş bir iletkenin ucunda elektrik stresinden kaynaklanan 'Lichtenberg' şekillerine benzer (Şekil 1.7).

Elektrokimyasal kazıma genellikle 2 ya da 3 ardışık adımdan oluşur:

- i)** Kimyasal kazıma (CE) periyodu: bu süreçte konik küre içerisinde iz gelişimleri olur.
- ii)** Elektrokimyasal kazıma periyodu: ağaçlanmanın ya da kıvılcımlanmanın meydana geldiği periyot.
- iii)** Destek elektrokimyasal kazıma adımı: bu adımda kazıma noktaları net bir şekilde büyür. Bir ECE kazıma noktasının en son boyutu $100\text{-}200 \mu\text{m}$ civarında olabilir. Eğer iz yoğunluğu çok yüksek ise (10^3 cm^{-2} 'den daha büyük ise) kazıma noktalarının ortalama boyutu elektrik yüklerinin karşılıklı geri tepkisinden dolayı küçük olur (Durrani ve Bull, 1987).



Şekil 1.7: Radon ve onun kısa ömürlü kızlarının bozunması sonucu yayılan α parçacıkları tarafından meydana getirilen tipik elektrokimyasal kazıma işlemine tabi tutulmuş iz noktaları.

1.4.3 Kıvılcım Sayımı

Bu bir yarı-otomatik sayım tekniğidir. Fakat sadece nispeten küçük iz yoğunluklarının ($\leq 10^3 \text{ cm}^{-2}$) sayımında kullanılabilir. Bu teknik Cross ve Tommasino tarafından icat edilmiştir (Durrani ve Bull, 1987). α parçacıklarına (ya da ağır iyonlar/ fisyon ürünlerine) maruz bırakılan çok ince ($\approx 20 \mu\text{m}$) bir plastik detektör, ilk olarak yüklü parçacık izleri boyunca meydana gelen boşlukları açığa çıkartmak için dağlanır. Bir ön-kıvılcım adımı ile detektör kalınlığına karşılık olarak, bir elektrik alanın uygulanması ile böyle boşlukların daha net oluşması sağlanabilir. Sonuçta boşluklar kıvılcım sayım cihazları ile sayılır. Bu işlem, detektör folyosunun kalınlığına yüksek bir elektrik alan uygulanması ($20\mu\text{m}$ kalınlığa 500 volt uygulanması ile 250 kV cm^{-1} lik bir alan elde edilir) ve kazınmış detektör folyosunun üzerine alüminyumlu bir mylar plastik film yerleştirilerek yapılır. Alüminyumlu tabaka (metal yüzey detektör folyosu ile kontak halindedir) bir iletim patikası ve kısa devre alanı sağlar. Bu alüminyumlu tabaka bir kapasitans da içerir. Elektrik akımı boşluğun yukarısındaki alüminyumu direk olarak yakar. Bunun sonucu olarak, kıvılcım boşluklar boyunca ilerleyemez. Böylece kıvılcım gelişi güzel bir düzen içerisinde bir boşluktan diğerine sıçrama yapar. Meydana gelen bu kıvılcımlar, otomatik olarak uygun devreler ile sayılır. Bu metot ile boşluk sayım

verimi, optiksel sayıma benzer olarak genellikle $\approx \%95 \pm \%5$ 'dir (Durrani ve Bull, 1987).

1.4.4 Sintilatör Dolgulu Kazıma Çukuru Sayımı

Bu işlenmiş kazıma çukurları sayımlarının çok hızlı şekilde yapılmasına olanak sağlayan bir yarı-otomatik metottur. Harvey ve Weeks tarafından 1982'de ortaya koyulmuştur (Durrani ve Bull, 1987). Radyasyona maruz kalmış plastik detektör ilk olarak orta derecede boyuta sahip kazıma çukurlarının (CE veya CE+ ECE ile $\approx 10-100$ μm çaplı kazıma çukurları) üretilmesi için dağlanır. Sintilatör materyalinin çabuk kuruyan bir pastası (örneğin ZnS), ilk olarak detektörün kazınmış üst yüzeyine boydan boya sürülür. Sintilatör pastası kazıma çukurlarının içerisine dolar ve fazla materyal detektörün yüzeyinden silinir. Kazıma çukurları daha sonra dağlanmış yüzeyin en üstüne detektör yerleştirilmesi ile sayılır. Güçlü bir α parçacığı kaynağı ($\approx 100\mu\text{Ci}$) daha sonra detektörün yukarısına yerleştirilir. Detektör dağlanmış film yüzeyine yakın olmalı ve bu yüzeyi görmelidir. Pasta ile dolmuş kazıma çukurları üzerine düşen α parçacıkları tarafından üretilen parıldamalar detektör folyosu boyunca ilerler ve dedekte edilir. Algılanan bu parıldamalar önce yükseltilir ve daha sonra otomatik olarak foto çoğaltıcı tüpler tarafından sayılır. Kazıma çukurları sayısına karşı sintilasyon sayım hızının kalibrasyonu, foto çoğaltıcı tüpün lineerliğinin tespit edilmesi ve kalibrasyon faktörünün belirlenmesi, ek deneyler yapılmasını gerekli kılar.

1.5 İz Sayım Metotları ve İstatistikleri

Radon çalışmaları için temel gereksinim istatistiksel olarak güvenilir değerler elde etmek için detektör üzerindeki kazınmış izlerin sayılmasıdır. Mutlak değerlerden ziyade sadece relatif değerler normal olarak gereklidir ve iz yoğunlukları izlerin üst üste binmesini sağlayacak şekilde nadiren çok yüksektir. Kazıma çukurlarının boyutları ve şekli değişmekle birlikte, çoğunluğu eliptik geometriye sahiptir. Bununla birlikte detektör yüzeyine dik olarak gelen α parçacıkları dairesel şekilli kazıma çukurları meydana getirebilirler. Bu α parçacığının detektöre geliş açısıyla alakalıdır. Çukur açısı detektörün yüzeyi ile ilgili olarak iz açısıdır. Bu açı θ_C açısının kritik değerine kadar inebilir. Bununla birlikte α parçacıklarının havadaki menzili 0-4 cm arasında değiştiğinden α parçacıklarının detektör yüzeyinde meydana getirdiği kazıma

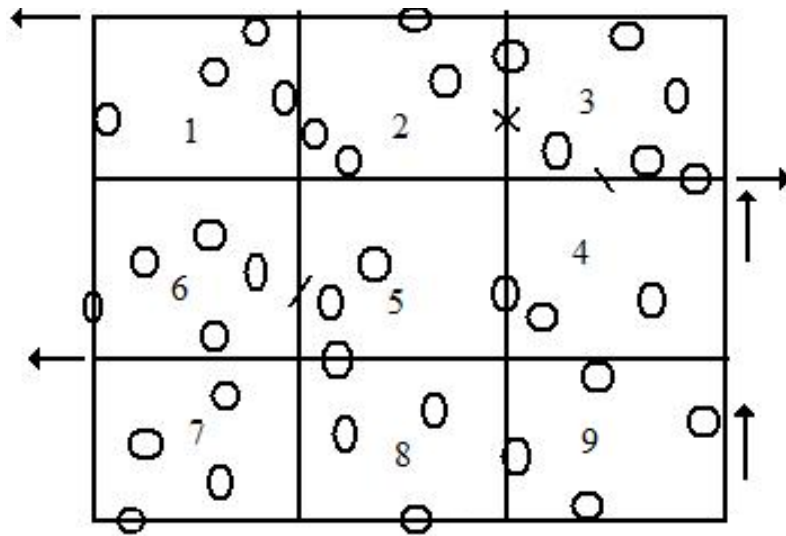
çukurlarının en son halinin boyutu (çapı), kazıma şartlarına bağlı olarak sıfırdan birkaç µm'ye kadar değişebilir. Genelde gözlemciler için makul boyut limitleri seçilir ve daha sonra daha küçük kazıma çukurları ihmal edilebilir. Bununla birlikte ağır yüklü parçacıklardan kaynaklanan iz kazıma çukurları ve background kusurları ayırt etmek de gereklidir. Öyle ki bunlar plastik detektör yüzeyinin üzerinde her zaman var olurlar ve kazıma işlemi ile büyürler. Ardı ardına sıralanmış incileri andıran izler sayılmazlar. Gerçek iz kazıma çukurları (CE'de) mikroskobun focus düğmesi yukarı aşağı yavaşça ayarlanarak belirlenebilir ve kazıma çukuru konisinin dip ucundan yansıyan ışığın meydana getirdiği parlak nokta aranır. Kimyasal kazıma işlemi sonucunda elde edilen gerçek bir çukurun çok düzgün bir geometrik şekle (detektör yüzeyinde eliptik ya da dairesel açık bir ağza sahip olan) sahip olması gerekir. Elektrokimyasal kazıma oluşan şekillerin biçimi karanfil çiçeğinin taç yaprağına benzer (Şekil 1.7). Daha önce de varsayıldığı gibi kusurların büyük bir çoğunluğu ağaçlanmayı meydana getirmede başarılı olamaz ve bu durum nokta şeklindeki karakteristik çukurlar ile sonuçlanır. Sayım yapan kişi nokta boyutu için keyfi daha zayıf bir limit seçebilir ve daha sonra bütün iz sayımları için bu kıstası kullanabilir. Her hangi bir detektör yüzeyi üzerindeki gerçek iz çukurlarının, her zaman bir background'u vardır.

Bu background, ya plastikteki her hangi bir radyoaktif safsızlıktan ya da kozmik ışıklardan, hızlı nötronlardan ve radyoaktif tozlardan kaynaklanır. Bu sebepten dolayı detektörü bu etkiden korumak için plastik koruyucular kullanılır. Örnek olarak CR-39 tabakaları, bu tür etkilerden korunması için dikkatlice plastik kapak içerisine koyulur ve bütün paket ince bir alüminyum folyo ve siyah bir plastikte kaplanır. Bu tabaka havada bulunan radon ve diğer α yayıcı safsızlıkların detektör yüzeyine ulaşmasını engeller ve detektör üzerinde istenmeyen bir background üretimini durdurur. Bu paketlenmiş detektörlerin istenmeyen yaşlanma etkilerini minimize etmek için bir buzdolabı içerisinde ya da bir dondurucuda saklanması tavsiye edilir. Ayrıca detektörlerin oksijen ve ışığa maruz kalmaları da istenmeyen bir durumdur.

İyi bir istatistik elde edebilmek için, radyasyona maruz kalmamış fakat kazıma işlemine tabi tutulmuş detektörler üzerindeki background izlerinin de sayılması gereklidir. Ortalama olarak background iz yoğunluğu 1 cm^2 başına $10-40$ 'dır. Eğer gerçek iz

yoğunluğu 1000 iz / cm² ise o zaman background izleri ihmal edilebilir bir hata katkısı verir. Örneğin background iz yoğunluğu 40 ve gerçek iz yoğunluğu 1000 kabul edilirse; $1000 \pm \sqrt{1000} - 40 \pm \sqrt{40} = 960 \pm \sqrt{1040}$ bu durumda toplam hata %3.36, Background izlerindeki hata %16 ve toplam izlerdeki hata %3.16'dır. Eğer gerçek iz yoğunluğu background iz yoğunluğu ile karşılaştırılabilecek seviyede ise o zaman elbette background izlerinin sayılmasına çok dikkat edilmesi gerekir. Bu durumda iyi bir istatistik elde edilebilir.

İz sayımlarında detektörün her bölgesini göreceğ uygun bir mikroskop kullanılmalıdır. Mikroskobun okuma alanı sabit olmalıdır. Radyasyona maruz kalmış ve kazıma işlemine tabi tutulmuş detektördeki izler, detektör belirli okuma alanlarına bölünerek sayılır. Her bir okuma alanının sayımı gerçekleştirildikten sonra diğer okuma alanına geçilir ve oradaki sayımlar yapılır. Bu işlem detektörün hem x hem de y eksenini boyunca yapılır (Şekil 1.8). İz sayımlarına poisson istatistiğinin uygulanması gerekir. Bu istatistikte hata gerçek sayım izlerinin karekökü ile verilir. Temel, fakat oldukça önemli faktör burada hatadır ve gerçek sayımlar ile verilir fakat herhangi bir hesaplanmış frekans ile verilmez. Örneğin eğer sayım sayısı 400 iz ise, standart sapmanın hatası %5'tir. Eğer $A=10^{-3}$ cm² alanlı bir bölgedeki sayılmış izlerin sayısı 400 (N=400) ise, o zaman iz yoğunluğu ρ (iz x cm⁻²) Denklem 1.1'deki gibi verilir:



Şekil 1.8: Optik bir mikroskop ile izlerin sistematik taranması.

$$\rho = \frac{N \pm \sqrt{N}}{A} = \frac{400 \pm 20}{10^{-3}} = 4 \times 10^5 \pm \%5 \text{ (iz x cm}^2\text{)} \quad (1.1)$$

İzlerin aşırı derecede üst üste binmesinden kaçınmak için radyasyona maruz kalan detektördeki iz yoğunluğunun 10^4 cm^{-2} değerinden birkaç kez büyük olmasına izin verilmemelidir. Normal kazıma şartları altında 10^6 cm^{-2} iz yoğunluğuna sahip bir detektördeki izleri saymak hemen hemen imkansızdır. Çok düşük iz yoğunluğu, sayımlarda iki can sıkıcı durumu ortaya çıkarır. Bunlardan birincisi iyi sayım istatistiği elde edebilmek için daha fazla sayıda detektör bölgesinin incelenmesinin gerekliliği, ikincisi gerçek iz yoğunluğunun background iz yoğunluğuna yaklaşmasıdır.

Elektrokimyasal kazıma durumunda akılda tutulması gereken bir önemli nokta şudur: eğer kazıma çukuru $\approx 10^3 \text{ cm}^{-2}$ değerini aşarsa birbirine yakın kıvılcımların aralarında gölgelenmeler meydana gelir. Bu durumda, nihai çukurlar normalden daha küçük olmakla kalmaz, aynı zamanda her bir çukurun gerçek sayısı da azalır. Böylece yüksek yoğunluklu radyasyona maruz kalma sonucu oluşan iz yoğunlukları sayısının değeri, zayıf yoğunluklu radyasyona maruz kalma sonucu oluşacak iz yoğunluğu sayısından daha küçük olarak ortaya çıkar.

Alfa yayılımının farklı kaynakları ve onların torunları arasındaki diskriminasyonu (ayırımı) sağlamanın ana ilkesi onların yarı ömürleridir. Radonun (^{222}Rn) yarı ömrü (3,825 gün) toronun yarı ömründen (55,6 s) çok daha uzundur. Böylece; eğer iki gaz havada difüzyon ile aynı noktadan yayılırsa, deteksiyon noktasına gaz ulaştığı zaman (detektör ve kaynak arasındaki mesafe yeterli derecede uzun ise) toronların çoğu bozunacaktır. Bu yaklaşım toprakta radon ölçümlerinde kullanılır. Bu nedenle CR-39 detektörlerini içeren toplama kaplarının ağızlarını kapatmak için filtreler kullanılır. Yine bu yaklaşım bina içi radon ölçümlerinde de kullanılır. Bunun için detektörler yerden ya da topraktan $\approx 25 \text{ cm}$ 'den daha yukarı bir yüksekliğe yerleştirilirler. Bütün radon izotopları için havadaki difüzyon katsayısı D yaklaşık olarak $0,1 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ 'dir. Difüzyon uzunluğu $L = [D\tau]^{1/2}$ 'dir. Burada τ saniye birimi cinsinden ortalama ömürdür. ^{222}Rn için $\approx 218 \text{ cm}$ ve ^{220}Rn için ise $2,8 \text{ cm}$ olarak hesaplanır. Farklı enerjilerdeki α parçacıklarını ayırmak için farklı kaydetme özelliklerine sahip SSNTD'ler kullanılır. Örneğin; selüloz

nitrat plastik detektörler (ticari ismi CN 85 ve LR 115 gibi) kazıma şartlarına bağlı olarak kabaca 4 ile 6 MeV enerjilerdeki α parçacıklarının kayıtları için bir üst limite sahiptir. Bununla birlikte CR-39 detektörleri bütün pratik uygulamalarda böyle bir üst limite sahip değildir. Böylece eğer CR-39 detektörleri ^{222}Rn ve onun kısa ömürlü bozunum ürünlerine maruz kalır ise, detektör üç α parçacığının hepsini (^{222}Rn 'den 5,49 MeV; ^{218}Po 'dan 6,00 MeV ve ^{214}Po 'den 7,69 MeV) kayıt edecektir. Hassas tabakası 12 μm olan LR 115 (tip II) ya da CN 85 (eğer kısa bir kazıma zamanına tabi tutulursa) sadece ^{222}Rn 'den kaynaklanan α 'ları kaydedecek, fakat radonun bozunum ürünleri olan ^{218}Po ve ^{214}Po 'den gelen α enerjilerini kaydetmede başarısız olacaktır.

Radon dozimetresinde, havadaki radon aktivite konsantrasyonu Bqm^{-3} birimi cinsinden hesaplanır. Eğer doz tahmini gerekli ise, bir dönüşüm faktörü kullanılabilir. Bu dönüşüm faktörü genellikle ICRP tarafından verilir. Örneğin ICRP'nin 1993 yılına ait 65 numaralı yayınında; 200 Bqm^{-3} 'lük ortalama radon konsantrasyonuna sahip evler için, yıllık efektif doz 3 mSv olarak kabul etmiştir. Pek çok dozimetre cihazı basitçe etrafındaki havanın difüzyon yolu ile küçük bir yarı küresel oda içerisine girmesine izin verir. Bir kağıt filtre boyunca yavaş difüzyon radon ve toronun katı bozunma ürünlerinin oda içerisine girmesini engeller. Oda içindeki radon, torunlarına bozunur ve odanın duvarlarını ya da detektörün yüzeyini hızlıca kaplar. Bu dozimetreler genellikle mutlak radon konsantrasyonu bilinen bir radon kalibrasyon odasının yardımı ile kalibre edilirler. Böylece deneysel dozimetre (CR-39 detektörü gibi) üzerinde gözlenen iz yoğunlukları; radona maruz kalma süresi bilindiğinden Bqm^{-3} birimi cinsinden havadaki radon (^{222}Rn) aktivite konsantrasyonuna dönüştürülebilir.

1.6 Bina İçi Radon Gazı ve Kaynakları

1.6.1 Bina İçi Radon Seviyeleri

Radon (^{222}Rn) doğal olarak meydana gelen bir bozunma serisine aittir. ^{238}U 'nun bozunma zincirinin bir üyesi olan radon atomu, sırasıyla değişik radon bozunma ürünlerine dönüşür. Eğer hava değiş-tokuşu sıfır olursa gaz bozunma ürünleri ile dengeye gelir.

Belli bir hava değiş tokuş derecesine sahip (havalandırmanın normal olarak oluştuğu) iç mekanlarda, bozunma serisine ait atomların iç mekandan dışarıya çıkması muhtemeldir. ²²⁶Ra bozunumundan oluşan radon atomu, ²²⁶Ra'yı hemen takip eden serideki en uzun ömürlü radyonüklittir. Radon bozunma ürünleri radona göre daha kısa ömürlüdür. Ölçüm metotları üç ana sınıfa ayrılabilir:

- 1) Radon gazı ölçümleri
- 2) Radon bozunma ürünlerinin ölçümleri
- 3) Hem radon gazı hem de radon bozunma ürünlerinin ölçümleri

Pek çok ölçüm metodu sadece radon konsantrasyonu belirlemesine rağmen insanlardaki akciğer ve diğer kanser riski değerlendirmeleri için modeller, vücutta radon azalma ürünlerinin birikimi hakkındaki bilgileri temel alır (ICRP, 1987; WHO, 1988). 1. ve 3. tip ölçümlerde pasif detektör olarak kullanılan plastik filmler oldukça uygundur.

Eğer denge faktörü F biliniyorsa, radon gazı seviyesinden denge eşdeğer radon konsantrasyonundaki (EER) radon bozunma ürünü seviyesini hesaplamak mümkündür (Swedjemark, 1983). Bq/m³ birimindeki EER değeri 1.2 denklemi ile verilir.

$$EER = 0,104 A_1 + 0,514 A_2 + 0,382 A_3 \quad (1.2)$$

Burada, A₁, A₂ ve A₃ sırası ile ²¹⁸Po, ²¹⁴Pb ve ²¹⁴Bi'nin Bqm⁻³ birimindeki aktivite konsantrasyonlarıdır. ²¹⁴Po'nın katkısı ihmal edilebilir. F faktörü ise Denklem 1.3 gibi tanımlanır.

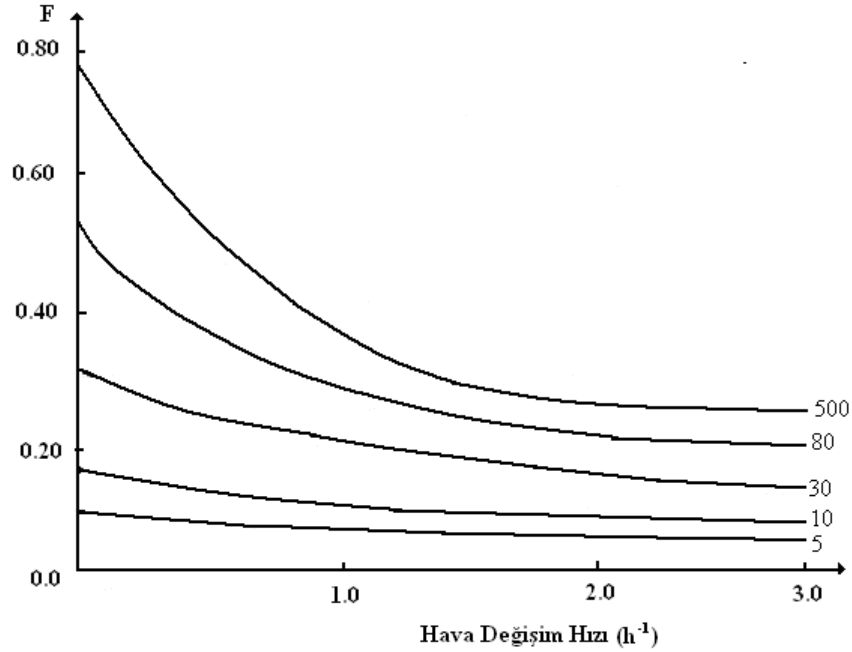
$$F = EER / A_{Rn} \quad (1.3)$$

Burada, A_{Rn} Bqm⁻³ birimindeki ²²²Rn konsantrasyonudur (Swedjemark, 1983). Kapalı mekanlardaki F faktörünün havadaki aerosol konsantrasyonuna ve hava değişim hızına bağlı olarak 0,3 – 0,7 olması beklenir.

Eğer radon bozunum ürünleri seviyesi 200 Bqm^{-3} olursa, $F = 0,5$ olduğu zaman radon gazı seviyesi $A_{Rn} = 400 \text{ Bqm}^{-3}$, $F = 0,4$ olduğu zaman ise $A_{Rn} = 500 \text{ Bqm}^{-3}$ olur. Şekil 1.9 F faktörünün hava değişim hızına nasıl bağlı olduğunu göstermektedir. F faktörü tipik havalandırma hızı, hacmi ve evlerin yapısı gibi etkenlerden dolayı bir ülkeden diğerine değişir.

1.6.2 Yapı Malzemelerinden Kaynaklanan Bina İçi Radon

Bina içi radonun kaynaklarından birisi yapı malzemesidir. Bütün malzemeler ^{238}U içerir ve potansiyel radon yayıcılarıdır. Bununla birlikte, bazı malzemeler ^{226}Ra ve ^{238}U 'nun daha yüksek konsantrasyonlarına sahiptirler. Bu hem doğal hem de suni materyaller için geçerlidir. Tipik uranyum taşıyan doğal materyaller hiç kuşkusuz granitlerdir; fakat bina materyali olarak kullanılan farklı türden ana kayalarda da her zaman uranyum bulunabilmesi muhtemeldir. Yapı malzemesi olarak kullanılan topraklar (örneğin bazı killer) yüksek uranyum içeriğine sahip olabilir. Suni (yapay) malzemeler arasında farklı tür betonlar ve düşük ağırlıklı beton uranyum kaynağıdır. Şekil 1.10 farklı yapı malzemeleri için radon seviyeleri 100 Bqm^{-3} 'ü aşan Alman evlerinin bağıl sayısını göstermektedir.

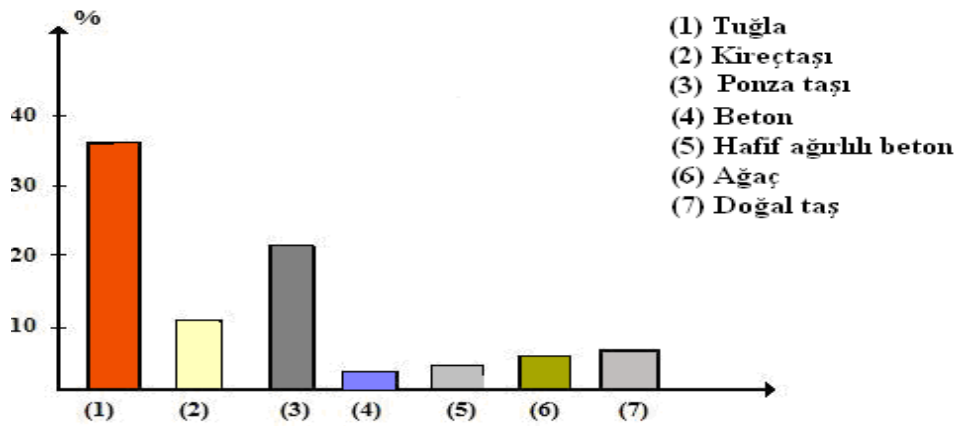


Şekil 1.9: Farklı hava değişim hızları için F faktörü (Swedjemark, 1983; Durani and Bull, 1987).

Duvardaki gama ışını ölçümü, bir evdeki önemli potansiyel radon yayıcıları duvarlar olduğu için, duvarların kimliklendirilmesinde izlenecek kolay bir yoldur. Gama ışını detektörünün enerji penceresininin 50 keV ve 3 MeV arasında olması gerekir. Eğer gama ışını yoğunluğu bir duvar için $0.25 \mu\text{Sv.h}^{-1}$ değerini aşıyor ise ilgili duvar önemli bir radon kaynağıdır. Bununla birlikte bu gerçek, bina içi radon konsantrasyonunun önemli miktarda olduğu anlamına gelmez çünkü hava değiş-tokuş hızının konsantrasyon üzerinde büyük bir etkisi vardır. Toplam kütleleri çok küçük olan ince tabakalı bazı materyaller etkili bir radon kaynağı olamazlar. Alçı taşının bazı türleri gama detektörü tarafından algılanabilen yüksek miktarda radyuma sahiptir. Eğer uranyumca zengin bir materyal ezilir ve kat ya da duvarlarda yalıtım malzemesi olarak kullanılırsa, malzemeden kaynaklanan gama ışını yoğunluğu oldukça zayıf olabilir. Ezilmiş uranyumca zengin kayalardan ya da uranyumca zengin düşük ağırlıklı betonlardan (içinde kül vs olan betonlar) yapılmış olan izolasyon tabakalar bina içi radon seviyesine oldukça önemli bir katkı sağlayabilirler. Tanelerden radon çıkışı tanelerin hacmine bağlıdır. Bu durum Denklem 1.4'deki gibi ifade edilmektedir.

$$E = c.D^{-x} \quad (1.4)$$

Burada; E radon çıkış hızı, c bir sabit ve D tanelerin ortalama çapı, x ise tane yoğunluğuna bağlı olarak 0,5 ve 1 arasında bir değerdir (Tanner, 1964). Teoriksel hesaplamalardaki D, tane hacminin istatistiksel dağılımı olarak anlaşılmalıdır.



Şekil 1.10: Almanyada yapı malzemelerinin farklı türleri için radon seviyesi 100 Bqm^{-3} aşan evlerin bağlı sayısı (Heller and Poulheim, 1992; Durani and Bull, 1987).

1.6.3 Kaya ve Topraktan Gelen Bina İçi Radon Gazı

Bina altındaki kaya ve toprak genelde bina içi radonun ana kaynağıdır. Uranyum içeren pek çok kaya türü vardır fakat bu kayaların önemli bir radon kaynağı olabilmesi için 100 m'den daha derinde bulunmaları ve içerdikleri uranyum konsantrasyonunun 50 ppm'in yukarısında olması gerekir. Radon gazı kayanın farklı tabakaları boyunca kaya yapısında, çatlaklar boyunca ve çatlak bölgelerinde akar. Toprak, büyük nehirlerdeki su akışı ile meydana gelen birikmeler ya da buz hareketleri ile oluşan erozyondan dolayı kayaların bir ürünüdür. Eğer materyal uranyumca zengin ise, toprak doğal bir radon kaynağıdır. Tablo 1.4 bazı İsveç kaya türlerindeki uranyum ve toryum konsantrasyonunu göstermektedir.

Eğer toprak geçirgen ise, kayanın alt tabakasında meydana gelmiş radon gazı toprak boyunca yukarıya doğru kolayca taşınabilir. Yeraltı suyu tabakalarının varlığı, nemli kil ya da diğer geçirgen olmayan topraklar radon gazının yukarıya doğru akışını belirli derecede engellerler. Eğer toprakta çatlak bölgeler var ise radon gazı bu bölgelerde çatlaklar vasıtası ile yukarılara etkili bir şekilde taşınır. Büyük kırıklar genellikle deprem bölgelerinde bulunur. Böyle kırık bölgelerde bulunan evlerin radon konsantrasyonu oldukça yüksektir.

Tablo 1.4: İsveç'teki bazı kayalarda uranyum ve toryum konsantrasyonları (Swedish Radon Commission, 1983).

Kayaç Türü	Uranyum Konsantrasyonu (g/10³kg)	Toryum Konsantrasyonu (g/10³kg)
Normal Granit	2–10	5–20
Radyoaktif Granit	8–40	10–90
Kum	0.5–5	1–10
Kireçtaşı	0.5–2	1–2
Killi Yapraktaşı	1–10	2–15

1.6.4 Suların Bina İçi Radon Konsantrasyonuna Katkısı

Radon gazı suda çözünebilir ve bu özelliğinden dolayı su içerisinde evlere taşınır. Sudaki gazın çözünürlük kesri 15 °C'lik bir sıcaklıkta $2,3 \times 10^{-4}$ 'tür. Bu değer yaklaşık olarak oksijen gazının sudaki çözünürlük kesrinden 10 kat daha büyüktür (Lide, 1993). Çevredeki kaya ve toprak radon gazını üretir ve üretilen gaz suya akar. ^{226}Ra suda çözüldüğü için, toprak ve kayalardaki ^{226}Ra içeriği radon konsantrasyonu için önemli bir rol oynar. Bu nedenle, ^{238}U ve ^{226}Ra radyoaktif izotoplarınca zengin topraklarda sondaj ile açılmış olan kuyulardan çıkan suların radon içermesi beklenir. Radon gazı evlerdeki musluklar açıldığı zaman suyun akması ile açığa çıkar. Sudaki 1000 Bq/L'lik radon konsantrasyonu yaklaşık olarak bina içi radon konsantrasyonuna 100 Bq m^{-3} 'lük bir katkı sağlar (Kulich et al., 1988). Sondaj ile açılmış kuyulardan çıkan sular, kazılmış kuyulardan çıkan sulara göre çok daha fazla radon içerir (Akerblom, 1994). Kazılmış bir kuyu esasen yüzey suyu içerir ve bu kuyular o kadar çok derin değildir.

Şehir şebeke suları normalde çok küçük radon seviyelerine sahiptirler. Bunun sebebi suların kısmen işlemlerden geçirilmesidir. Özellikle şehir şebeke suları havalandırılarak içerdikleri radon gazının havaya karışması sağlanır. Bunun bir sonucu olarak suların içerdiği radon konsantrasyonu mümkün mertebe düşürülür. Evlere ait kişisel su kaynakları genellikle sondaj kuyusundan bina içerisindeki musluk noktasına kadar kapalı bir sistem ile getirilir. Bu tür suların içerdiği radon konsantrasyonu çok yüksek olabilir. Bu, temelde toprağın içerdiği radyonüklit miktarına bağlıdır. Filtre edilmiş yüzey ya da göl suları genellikle halka ait ana su kaynağıdır. Bu durumda halka ait suların içerdiği radon konsantrasyonu ya çok zayıf ya da yok denecek kadar azdır.

1.6.5 Apartman Dairelerinde ve Tek Katlı Evlerdeki Radon Seviyeleri

Yapılan ölçüm sonuçlarına dayanarak yüksek bina içi radon seviyelerinin tek katlı evlerde bulunduğu söylenebilir. Apartman dairelerine nazaran tek katlı evlerde daha yüksek radon konsantrasyonunun olmasının ana sebepleri, ikinci derece bir havalandırma sistemi ve toprak zemin ile temastır. Bu ifade Tablo 1.5 ile desteklenmektedir. Buna göre İsveç'te, detektörlerin yaklaşık olarak % 37'si tek katlı evlerde 200 Bq m^{-3} 'ü aşan radon seviyeleri kaydetmiştir. Apartman daireleri ile karşılaştırıldığı zaman bu oran yaklaşık olarak %11'dir. Heller and Poulheim, 1992

tarafından yapılan bir araştırmada tek katlı evler ve apartman dairelerindeki bina içi radon değerlerinin ortalamaları verilmiştir. Ortalama değerler sırası ile 43 Bqm⁻³ ve 34 Bqm⁻³'tir.

1.6.6 Bir Evdeki Radon Dağılımları

Radon gazı evin bir bölümünde ya da bir odasında genellikle konsantre olmasına rağmen, havalandırmadan dolayı evin diğer bölümleri içerisine taşınır. Tek bir kapının sürekli kapalı ya da açık tutulması evin içerisindeki radon taşınmasını etkilemek için yeterlidir. Gaz çok küçük hava değişimiyle ya da bu hava değişimi olmadan boşluk içerisine doğru hareket eder. Kendi kendine havalandırılmış evlerde gaz konveksiyon etkisi ile evin aşağı kısımlarından üst kısımlarına hava akımı sayesinde akış gösterir. Bununla birlikte ev içerisindeki sıcaklık ev dışındaki sıcaklıktan daha düşük ya da yaklaşık olarak aynı ise konveksiyon etkisi görülmez. Kilerler normal olarak en düşük hava değişimine sahiptir ve aynı zamanda toprağa da çok yakındır. Toprak en güçlü radon kaynağıdır. Diğer taraftan, mutfak normalde en iyi havalandırmaya sahiptir ve yemek pişirmek için kullanılan doğal gaz olmadıkça en düşük radon seviyesine sahip olması gerekir.

1.6.7 Bina İçi Radon Seviyelerinin Kısa Süreli Değişimleri

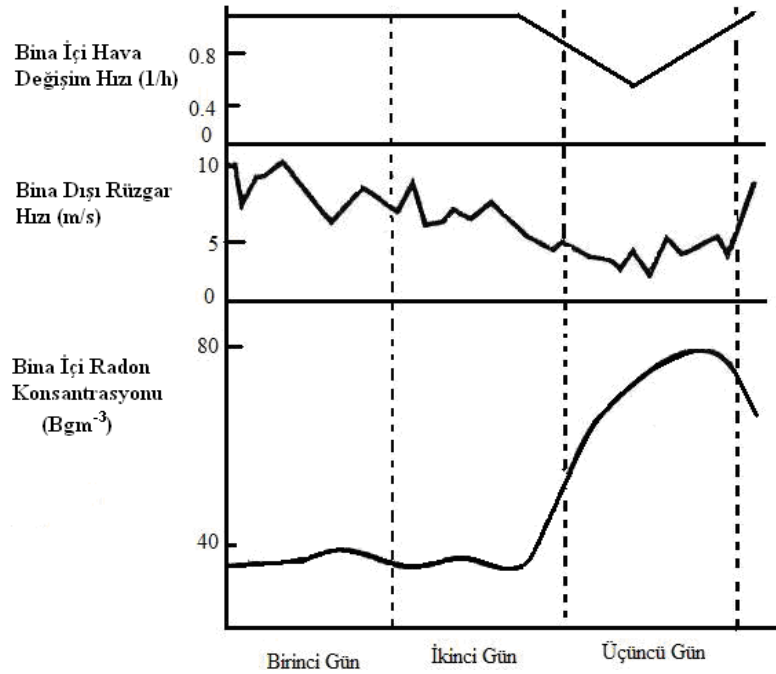
Radon bir gaz olduğu için, bir evdeki havalandırma bina içi radon seviyesine etki edecek önemli bir faktördür. Kendinden havalandırılmalı evlerde, dışarıdaki hava şartları içerdeki havalandırma hızını değişken kılar. Negatif bir basınç ya da bir basınç gradienti evin bir bölümünde ortaya çıkabilir. Dışarıdaki rüzgar hızı, hava değiş-tokuş hızı ve içerdeki radon seviyesi arasındaki bağlantı şekil 1.11'de verilmiştir.

Tablo 1.5: Tek katlı evler ve apartman dairelerindeki bina içi radon seviyelerinin karşılaştırılması (Jönsson, 1988).

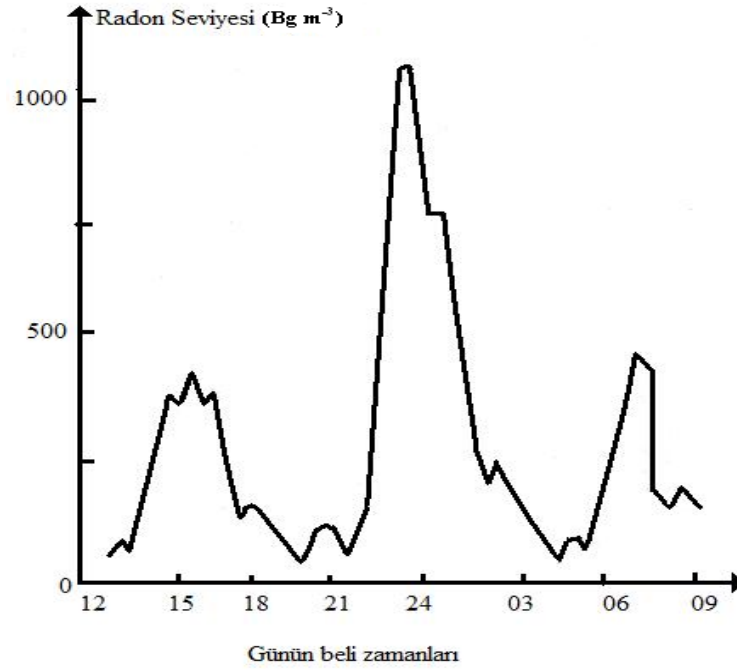
Radon Konsantrasyonu (Bqm⁻³)	0–100	100–200	200–300	300–400	>400
Tek Katlı Evler (%)	27,5	35,8	20,1	9,2	7,3
Apartment Daireleri (%)	48,7	38,0	10,6	0,02	0,01

Şekil 1.11’de kendinden havalandırmalı bir evde 3 gün içinde üç parametre çalışılmıştır. Üçüncü gün başladığında, rüzgar hızı çok zayıftır. Rüzgar hızının zayıf olması hava değiş-tokuşunu düşürür ve radon seviyesini artırır (Durrani ve Bull, 1987).

Topraktaki radondan dolayı meydana gelen yüksek bina içi radon seviyeleri, evde yaşayan insanların nasıl davrandığına (kapıların açık ya da kapalı tutulmasına, mutfak fanının çalışıp çalışmamasına, pencerelerin açık olup olmamasına ve daha birçok şeye) bağlıdır. Yağ yakıcı sistemlerdeki serbest ateş ya da petrol türevi gaz yanmaları taze havaya gereksinim duyar. Bu durum normalde evdeki basıncın düşmesine sebebiyet verir. Eğer toprağın havası bu basınç düşmesinin bir sonucu olarak bina içerisindeki havaya katılırsa (ya da karışırsa), radon seviyesi muhtemelen bina içerisinde artacaktır. Bir gün boyunca meydana gelen kısa süreli değişimler aşırı olabilir. Şekil 1.12 kendinden havalandırmalı bir evdeki bina içi radon konsantrasyonunun nasıl hızlı değiştiğini göstermektedir. Evin altındaki toprak esas radon kaynağıdır ve konvektif hava hareketleri bu değişim için esas sebeptir.



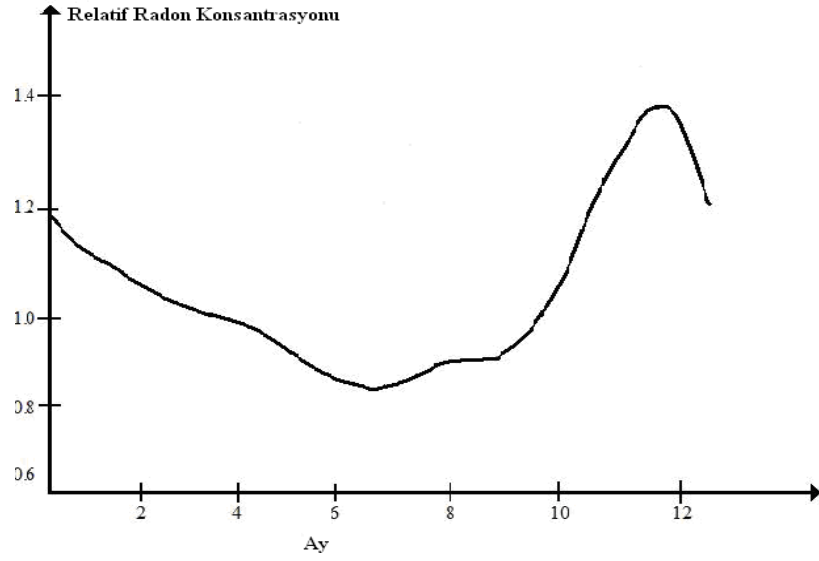
Şekil 1.11: Kendinden havalandırmalı bir evdeki bina içi radon seviyelerinin dış rüzgar hızından etkilenmesi (Jönsson, 1992; Durani and Bull, 1987).



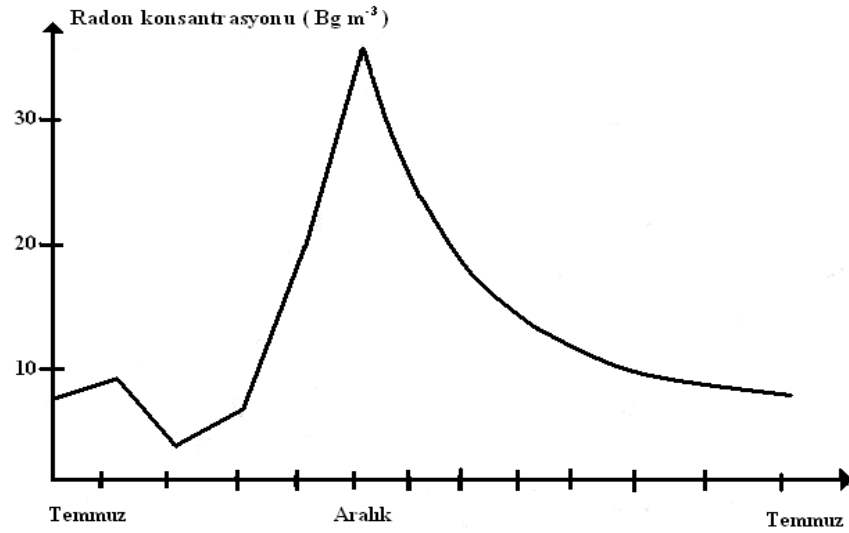
Şekil 1.12: Kendinden havalandırılmalı bir evdeki bina içi radon konsantrasyonunun hızlı değişimi (Jönsson, 1992; Durani and Bull, 1987).

1.6.8 Bina İçi Radon Seviyelerinin Mevsimsel Değişimleri

Özellikle doğal havalandırılmalı evlerde bina içi radon seviyeleri mevsimsel bir değişim gösterir. Yaz aylarında ev dışı sıcaklık ev içi sıcaklıktan daha yüksek ya da en az onun kadar yüksek olduğu zaman, bina içerisindeki konvektif hareketler önemsizdir. Eğer sıcaklık 10°C 'den daha yüksek ya da içerde daha fazla ise konvektif kuvvetler harekete geçer ve bina içinde küçük bir basınç azalması olur. Bu basınç azalması 10 Pa olabilir. Eğer toprak başlıca radon kaynağı ise bu durum düşük basınçlı bina içerisi için bir dezavantaj olabilir. Eğer yapı malzemeleri ve eve ait su radon kaynakları ise bu düşük basınç bir avantajdır. Şekil 1.13 ve Şekil 1.14 Almanya ve Hindistan'da yapılan araştırmadan elde edilen sonuçları içerir ve bir yıl süresince radon konsantrasyonunun değişimini gösterir. Ağustos ayında radon seviyesi bir artış ve ilkbaharda bir düşüş gösterir. Yaz aylarında ise en az değerine düşer. Yaz aylarında çok fazla sayıda açık pencere olması gayet normal bir durumdur. Bunun bir sonucu olarak bina içerisinde daha düşük bir radon seviyesi ölçmek mantıklıdır. Bununla birlikte kış aylarında toprağı donan ülkelerde doğal havalandırılmalı evlerdeki baca etkisi, topraktaki radonun bina içerisindeki havaya akış miktarını arttırabilir.



Şekil 1.13: Almanya'da bina içi radon konsantrasyonunun yıllık değişimi (Heller and Poulheim, 1992; Durani and Bull, 1987).



Şekil 1.14: Hindistan'daki bina içi radon konsantrasyonunun yıllık değişimi (Ramachandran et al., 1990; Durani and Bull, 1987).

Radon bozunum ürünleri ile ilgili olarak, bina içindeki relatif nem aerosol yoğunluğuna katkı sağlar ve bina içerisindeki havada radon bozunum ürünlerini tutar. Nem bir sezondan diğerine değişir. Yapı malzemeleri içerisinde çıkan radon gazı, yapı malzemesinin ortalama sıcaklığı kış aylarındaki sıcaklıktan daha yüksek olduğu zaman yaz aylarında artar (Stranden et al., 1984).

Bina içi radon seviyelerinin mevsimsel değişimi; ev türü, radon kaynağı, ev sakinlerin yaşama alışkanlıkları, evin havalandırma sistemi, evin ısıtılması ve dışarıdaki iklim gibi parametrelere bağlıdır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Bölgenin Tanıtılması

Kilis ili, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde, Hatay-Maraş oluğu ile Fırat ırmağı arasında uzanan Gaziantep Platosu'nun güneybatı kısmında, Türkiye-Suriye sınırı boylarında 36° K enlemi ve 32° D boylamı değerleri arasındadır. Bu konumuyla saha, Akdeniz ve Güneydoğu bölgeleri arasındaki geçiş kuşağı üzerinde bulunur (Şekil 2.1).

1995 yılında il statüsüne kavuşan Kilis'in sınırları, güneyden Türkiye-Suriye sınırı, batı ve kuzey batıdan İslahiye, kuzey ve kuzeydoğudan Gaziantep merkez ve doğudan Oğuzeli ilçeleriyle çevrilidir. İl alanı 1521 km² kadardır (Şekil 2.2).

İlin iklimi genel karakterleri itibariyle Akdeniz iklimi içerisinde kalır. Akdeniz iklim bölgesi, Akdeniz havzasının genel atmosfer dolaşımı içerisindeki yeri gereği yazın çoğunlukla tropikal, kışın ise kutupsal hava kütleleri gibi birbirinden farklı özellikler gösteren hava kütlelerinin tesirinde kalır. Yıllık ortalama sıcaklık Kilis'te 16.8 °C'dir. Kış mevsimi ortalama sıcaklıkları 3.6 °C ile 6.5 °C arasında değişir. Yaz mevsimi sıcaklık ortalaması 25 derecenin üzerindedir. Geçiş mevsimlerinden yazı takip eden sonbahar, kışı takip eden ilkbahardan daha sıcaktır. En soğuk ay ocak ayı olup sıcaklık temmuz ve ağustos aylarında en yüksek değerlerine ulaşır. Bu aylardan itibaren ocak ayına kadar ise sıcaklıklar yavaş yavaş azalır. Kilis'te ortalama sıcaklığı sıfır derecenin altında olan ay bulunmaz. İlde kış ayları serin; mart, nisan, ekim ve kasım aylarından oluşan dört ay ılık, mayıstan ekime kadar olan beş ay da sıcak geçer (URL1).



Şekil 2.1: Türkiye haritasında ok işaretiyle gösterilen yer Kilis.



Şekil 2.2: Kilis merkez ve ilçeleri.

2.2 Materyal

Bina içi radon gazı ölçümlerinde CR-39 katı hal iz detektörleri kullanıldı. Bu detektörlerin kimyasal adı polyallyl diglycol karbonat (PADC) ve kimyasal sembolü $C_{12}H_{18}O_7$ 'dir. Şekil 2.3 CR-39 detektörünün içerisinde bulunduğu radosys ışılama kutusunu ve Tablo 2.1 ise CR-39 detektörünün teknik özelliklerini göstermektedir. CR-39 detektörleri camın optik özellikleri ile mekanik ve fiziksel özellikleri birleştirilerek yapılmış ve ısı altında sertleştirilmiş bir tür plastiktir. Detektörler aşağıdaki karakteristik özelliklere sahiptir:

- Camla kıyaslanabilecek optik özelliklere sahip olup yüzeyi cam gibi parlak ve pürüzsüzdür.
- Sahip olduğu üstün optik özellikleri sayesinde her türlü şartlarda kullanılabilir. Çözücülerle temas edildiğinde veya uzun süre çözücü içinde bekletildiğinde iç ve dış yüzeyinde çatlamlar ve kırılmalar olmaz.
- Aşınma direnci akrilik plastiklerden 30-40 kat daha fazladır. Kimyasal maddelere, aseton ve benzin içeren çözücülere karşı dayanıklıdır.
- 100 milyon röntgen şiddetindeki gama ışınlarına maruz bırakıldığında saydamlığından %5 oranında kayıp verir. Bu kayıp akrilik materyallerde %45 civarındadır (Canbazoğlu, 2004).



Şekil 2.3: CR-39 detektörünün içinde bulunduğu radosys ışınlama kutusu.

Tablo 2.1: CR-39 detektörünün teknik özellikleri.

Çeşidi	Vidalı kapak ile kapalı
Detektör Konumu	Kapak altında tutturulmuş bir adet çip
Materyal	Polypropylene
Filtre	Hava boşluğu
Boyutlar	Silindirik, 35mm x 55mm
Gönderiliş Şekli	Kimlik kodu ve bilgi etiketli 3 katlı alüminyum içerisinde paketlenmiş
Uygulamalar	Ev içi dozimetre olarak kullanım

2.3 Yöntem

Bu çalışmadaki detektörler Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (ÇNAEM) Sağlık Fiziği Bölümü'nden temin edilmiştir. Detektörler Kilis merkez ve ilçelerinde daha önceden belirlenmiş olan evlere bina yapısı, binanın yapıldığı malzeme, bina yaşı, binanın kullandığı su kaynağı vs. gibi kriterler göz önünde bulundurularak dağıtıldı. Detektörler alüminyum folyolarından çıkartılarak evlerin oturma odasına, çocukların ulaşamayacağı uygun yerlere bırakıldı. CR-39 detektörleri 2 ay boyunca radon gazına maruz kaldıktan sonra alüminyum folyolara sarılarak analiz için çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (ÇANEM) Sağlık Fiziği Bölümü'ne gönderildi. CR-39 detektörlerinin kimyasal kazıma işlemi ve iz sayımları burada yapıldı.

2.3.1 Kimyasal kazıma

Kimyasal kazıma tabi tutulacak olan CR-39 detektörleri ışınlama kutusundan el değmeden pamuklu bir eldiven ve penset yardımı ile çıkarıldı ve radoslide olarak adlandırılan detektör tutucu ünitesine (Şekil 2.4) detektörlerin ID kodları üstte, alfanümerik kodları altta kalacak şekilde yerleştirildi.

Radoslide detektör tutucu ünitesinde 12 tane detektör çipini alabilecek yuva vardır. Yuvalara doğru yerleştirilen cipler yumuşak bir klik sesi verirler ve sıkıştırılırlar. Analiz software, doğru pozisyonda yerleşmiş ID kodunu otomatik olarak okuyan bir sistemdir. Bu nedenle alfanümerik kod sol tarafta ve nokta kod alt tarafta olarak cipler hazırlanmıştır. Radoslide detektör tutucuları hazır hale getirildikten sonra kimyasal kazıma solüsyonu radobath ünitesinde hazırlanır. Şekil 2.5’de radobath ünitesi gösterilmektedir.

Radobath ünitesi suyun sıcaklığını aşamalı olarak yükselten bir çalışma sistemine sahiptir. Bu yüzden suyun sıcaklığı termometreyle ölçülmüş ve 60 °C’de sabit tutulup NaOH granülleri azar azar eklenerek solüsyon karıştırılmıştır. Bunun sebebi solüsyonun altında katı NaOH granülleri kalmasını önlemek içindir. 4 M NaOH çözeltisi oluşturduktan sonra Radobath Ünitesine detektör tutucusu konulmuş ve tekrar ısıtıcı çalıştırılmıştır. 4 saat boyunca iz kazıma işlemine tabi tutulan detektörler solüsyondan alınmış ve detektör üzerindeki NaOH kalıntılarından kurtulmak için nötralizasyon işlemine tabi tutulmuştur (Değerlier, 2007). Nötralizasyon işlemi için 4 litrelik suya %15-20’lik 200 mL seyreltik sirkeli solüsyon eklenmiş, bir iki dakika karıştırdıktan sonra bu nötrale sıvı bir kaba boşaltılmış ve detektörler bu sıvıda bir süre bekletilmiştir. Detektörler bu sıvıdan alındıktan sonra saf su ile yıkandı. Bu işlemlerden geçen detektörler kuruması için masa üzerinde daha önceden hazırlanmış olan kurutma kağıtları üzerine bırakıldı. Bir saat süren kurutma işleminden sonra detektörler radometer iz değerlendirme ünitesinde okunmaya hazır hale gelmiştir.



Şekil 2.4: Radoslide detektör tutucu ünitesi.



Şekil 2.5: Radobat ünitesi.

2.4 Radosys Değerlendirme Ünitesi

Şekil 2.6'da radosys değerlendirme ünitesi görülmektedir. Radosys değerlendirme ünitesi LINUX işletim sistemiyle çalışmaktadır. İz sayımı yapılacak olan detektörler otomatik mikroskop bölümüne konular ve iz sayımına başlanmadan önce detektörlerin evlere konuluş ve alınış tarihleri doldurulup sayıma başlanır. Radosys değerlendirme ünitesinde sayılan izlerin radon aktivite konsantrasyonları Denklem (2.1)'e göre (Bq/m^3) olarak hesaplanmıştır (Kapdan, 2009).

$$\text{RAC} = [\text{D}-\text{Df}] / [\text{S} \times \text{T}] \quad (2.1)$$

Denklem (2.1)'de, RAC; Radon aktivite konsantrasyonunu, D; kullanılmış detektörlerin iz yoğunluğunu (iz sayısı. cm^{-2}), Df; detektörlerin background iz yoğunluğunu (iz sayısı. cm^{-2}), S; kalibrasyon faktörünü (iz sayısı. $\text{cm}^{-2}.\text{Bq.h}^{-1}.\text{m}^3$) ve T; binalarda detektörlerin kalış süresini (saat) ifade etmektedir.



Şekil 2.6: Radosys değerlendirme ünitesi.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada Kilis ili ve ilçelerinde bina içi radon gazı konsantrasyonlarını belirlemek amacıyla evlere CR-39 nükleer iz detektörleri bırakılmıştır. Kilis'in yerleşim alanı göz önünde bulundurularak detektörler 66 eve, bölgeyi homojen olarak tarayacak şekilde dağıtılmıştır. İki ay süre ile bekletilen detektörler toplanıp analizleri için Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi'ne (ÇANEM) gönderilmiştir. ÇANEM Sağlık Fiziği Bölümü'nde Radosys Değerlendirme Ünitesi kullanılarak detektörlerin analizleri yapılmış ve her bir detektör için radon gazı konsantrasyonu hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler radon konsantrasyonunu etkileyen parametreler dikkate alınarak yorumlanmıştır.

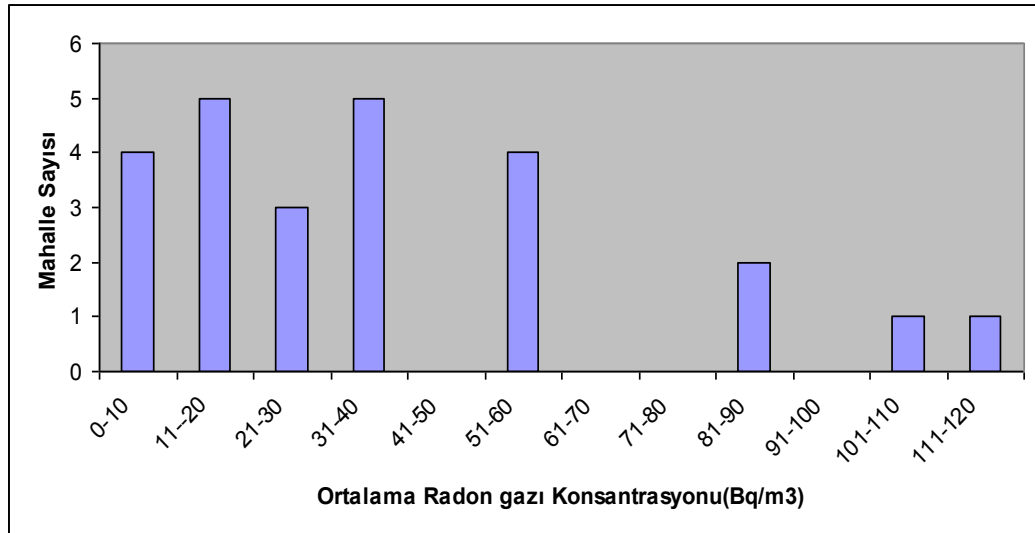
Bina içi radon konsantrasyonlarını etkileyen birçok faktör vardır. Bu faktörler göz önünde bulundurularak Kilis ilindeki evler 8 kritere göre seçilmiştir. Bu kriterler; bina yapısı, bina yapı malzemesi (Duvarı; taş, briket, tuğla olan evler), bodrumu olan evler, bodrumu olmayan evler, bina yaşı, binanın kullandığı su kaynağı (şebeke suyu, kuyu suyu, kuyu ve şebeke suyu kullanan evler vb.), binanın ısıtma sistemi, ev halkının sigara kullanma alışkanlığıdır. Dağıtım işlemi sırasında CR-39 detektörleri bu kriterler dikkate alınarak binalara bırakılmıştır. Kilis il geneli için ortalama radon gazı konsantrasyonları Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1: Kilis il geneli için ortalama radon gazı konsantrasyonları (Bq/m³).

Bölge Adı	Konut Sayısı	Ortalama Radon Gazı Konsantrasyonu (Bq/m ³)			
		Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
Merkez	44	3	171	43	39
Polateli	6	1	159	61	55
Musabeyli	7	3	118	61	48
Elbeyli	9	1	99	50	38
İl Geneli	66	1	171	47	40

Tablo 3.1’de görüldüğü gibi il merkezinde ortalama radon gazı konsantrasyonu 43 Bq/m³ (Standart Sapması: 39), Polateli ve Musabeyli ilçeleri için ise 61 Bq/m³ olarak hesaplanmıştır. Elbeyli ilçesi için ise ortalama konsantrasyon 50 Bq/m³’tür. İl geneli için radon konsantrasyonu 47 Bq/m³ (Standart Sapması: 40) ve değişim aralığı 1 ile 171 Bq/m³ olarak hesaplanmıştır.

İl merkezindeki evlere dağıtılan Cr-39 detektörlerinin radon konsantrasyonları ve ev özellikleri EK.1’de verilmiştir. Uluslar arası Radyolojik Koruma Komisyonu (ICRP) tarafından evlerdeki radon gazı konsantrasyonu için tavsiye edilmiş olan değer yılda 200–600 Bq/m³’tür. Bu komisyon tarafından evlerdeki ²²²Rn konsantrasyonları için belirlenmiş olan sınırlar; halkın yaşadığı eski evlerde 400 Bq/m³, yeni evlerde ise 200 Bq/m³’tür (ICRP, 1987; ICRP, 1993). Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK), Türkiye’de müsaade edilebilir radon konsantrasyonunu evlerde 400 Bq/m³, iş yerlerinde ise 1000 Bq/m³ olarak belirlemiştir (TAEK, 2000). EK.1’de verilen bina içi radon gazı konsantrasyonlarının hiç biri ICRP ve TAEK tarafından belirlenen değerleri aşmamaktadır. Şekil 3.1’de ortalama radon gazı konsantrasyonunun il merkezindeki mahalle sayısına göre dağılımı verilmiştir. Mahallelerin %68’inin 0-40 Bq/m³, % 16’sının 41-60 Bq/m³ ve yine %16’sının 81-120 Bq/m³ arasında ortalama radon gazı konsantrasyonuna sahip olduğu görülür.



Şekil 3.1: Ortalama radon gazı konsantrasyonunun mahalle sayısına göre dağılımı.

Tablo 3.2’de bu mahallelerin isimleri ve yüzdeler dilimleri verilmiştir. İl merkezindeki binaların genel özellikleri irdelendiğinde; kuyu suyu kullanan evlerin şebeke suyu kullanan evlere göre daha düşük radon gazı konsantrasyonuna sahip olduğu görülür. Yapılan araştırmalarda kuyu suyu kullanan evlerin şebeke suyu kullanan evlere göre daha yüksek radon gazı konsantrasyonuna sahip olduğu tespit edilmiştir (Akerblom, 1994). Kuyu suyu kullanan evlerin literatürle uyuşmamasının nedeni, evlerin bahçesinde açılan kuyuların belediye sondaj kuyularına nazaran çok derin olmaması ve bu suların kullanılmadan önce şebeke suyuna göre daha fazla havalandırılmasındandır.

Çalışmanın kapsamı dahilinde olan Polateli ilçesi Kilis ilinin kuzeyinde ve il merkezine 20 km uzaklıkta yer almaktadır. İlçe merkezinde 5 mahalle bulunmaktadır. İlçe merkezinin nüfusu 980’dir. Bu bölgede bina içi radon gazı konsantrasyonunun belirlenmesi için ilçe merkezinde seçilmiş olan evlere detektörler dağıtılmıştır. Bu detektörlerden alınan ölçüm sonuçları EK.2’de verilmiştir. İlçede ortalama radon gazı konsantrasyonu 61 Bq/m^3 olarak hesaplanmıştır. Radon konsantrasyonu ölçümü yapılan evlerin ortak özelliği duvar yapı malzemesinin briket, su kaynağının ise şebeke suyu olmasıdır.

Tablo 3.2: Mahallelerdeki ortalama radon gazı konsantrasyonu ve yüzdeler dilimi.

Radon Gazı Konsantrasyonu (Bq/m^3)	Mahalle İsimleri	Yüzdeler Dilim (%)
0-10	Şehit Sakıp Mh., Doğan Güreş Paşa Mh., Tırlıklı Mh., Tekke Mh.	16
10-20	Hürriyet Mh., Müslüman Bey Mh., İslam Bey Mh., Mehmet Sanlı Mh., Atatürk Mh.	20
20-30	Naçar Oğlu Mh., Bölük Mh., Aslan Mh.	12
30-40	Ekrem Çetin Mh., Vaiz Mh., Yedi Aralık Mh., Demirciler Mh., Hakverdi Mh.	20
50-60	Yavuz Sultan Selim Mh., Okçular Mh., Şih Abdullah Mh., Beş Yüz Evler Mh.	16
80-90	Kazım Karabekir Mh., Albay İ. Karaoğlanoğlu Mh.	8
100-110	Kara Ali Mh.	4
110-120	Cumhuriyet Mh.	4

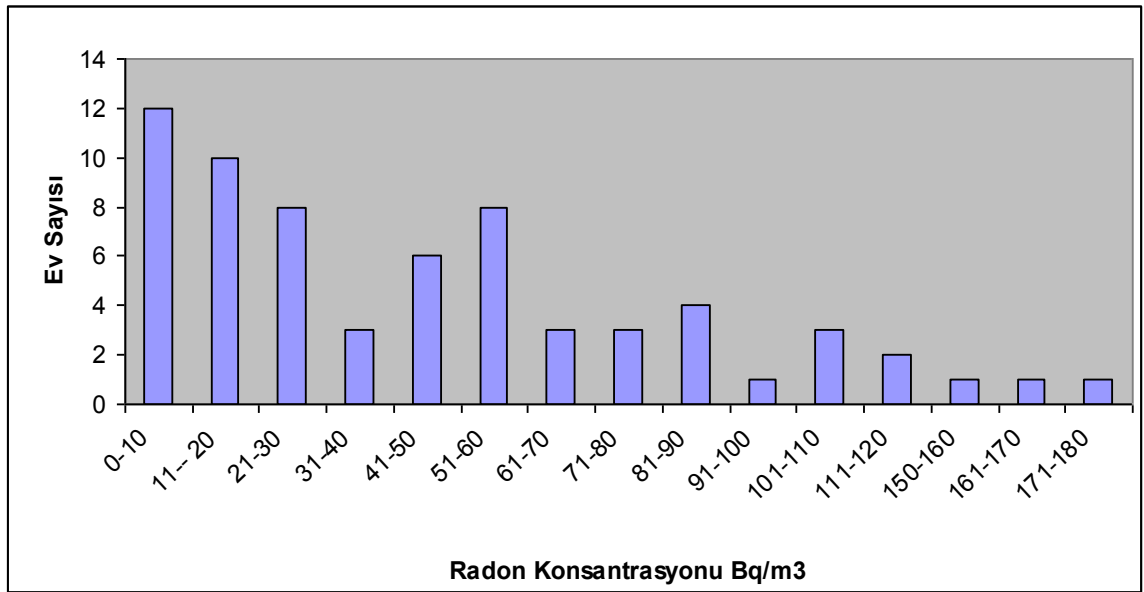
Polateli ilçesinde radon konsantrasyonunun il merkezine göre yüksek çıkmasının sebebi evlerin hepsinin şebeke suyu kullanıyor olması ve yapı malzemesi olarak da briket kullanılmasından kaynaklanabilir. Ana radon kaynağının toprak ve kullanılan suyun yer altı orijinli olmasından dolayı daha net bir yorum yapabilmek için ilçenin toprak yapısının radyoaktif açıdan analiz edilmesi gerekmektedir. Çünkü radon gazının asıl kaynağı toprakta bulunan uranyum ve toryumdur. Eğer bölgede bulunan toprak yapısı uranyum ve toryum bakımından zengin ise bu bölgedeki ölçümlerin merkeze göre yüksek çıkması oldukça doğal bir sonuç olacaktır.

Kilis ilinin kuzeyinde bulunan Musabeyli ilçesinin nüfusu 1600'dür. İlçe merkezi üç mahalleden oluşmaktadır. Merkeze dağıtılan Cr-39 detektörlerinden alınan sonuçlar EK.3'te verilmiştir. İlçede en düşük radon gazı konsantrasyonu 3 Bq/m³ ve en yüksek radon gazı konsantrasyonu 111 Bq/m³ olarak ölçülmüştür. İlçe merkezinin ortalama radon gazı konsantrasyonu 61 Bq/m³'dür. Bu değer ICRP'nin belirlediği 200 Bq/m³ sınırının çok altındadır.

Kilisin doğusunda yer alan Elbeyli ilçesinin il merkezinden uzaklığı 35 km'dir. İlçe merkezi dört mahalleden oluşmakta olup nüfusu 7950'dir. EK.4'de ilçeye dağıtılan Cr-39 detektörlerinden alınan radon gazı konsantrasyonları verilmiştir. Yapılan ölçümler sonucu ilçe merkezinde ortalama radon gazı konsantrasyonu 50 Bq/m³ olarak hesaplanmıştır. İlçe merkezindeki evlerin özelliklerine bakıldığında evlerin hepsinin müstakil olduğu, şebeke suyu kullandıkları ve yapı malzemesi olarak da taş ve topraktan yapılmış oldukları görülür. Diğer iki ilçenin bina yapılarına bakıldığında ise yapı malzemesi olarak briket ve tuğla kullanıldığı su kaynağı olarak ise şebeke suyu kullanıldığı görülür. Normalde Elbeyli ilçesindeki yapılarda bina içi radon gazı konsantrasyonunun literatüre göre yüksek çıkması beklenir. Fakat Polateli ve Musabeyli ilçelerindeki ortalama radon gazı konsantrasyonu Elbeyli ilçesine göre daha yüksek çıkmıştır. Böyle bir sonucun çıkması, havalandırma parametresi ihmal edilir ve ana radon kaynağı toprak olduğu değerlendirilirse, Musabeyli ve Polateli ilçelerindeki toprak ve kaya yapısında uranyum miktarının, Elbeyli ilçesine göre daha yüksek olduğu kanısını güçlendirir. Kesin bir yargı için ilçe topraklarını radyoaktif açıdan analiz edilmesi gerekmektedir.

3.1 İl Genelinde Radon Gazı Konsantrasyonunun Ev Sayısına Göre Dağılımı

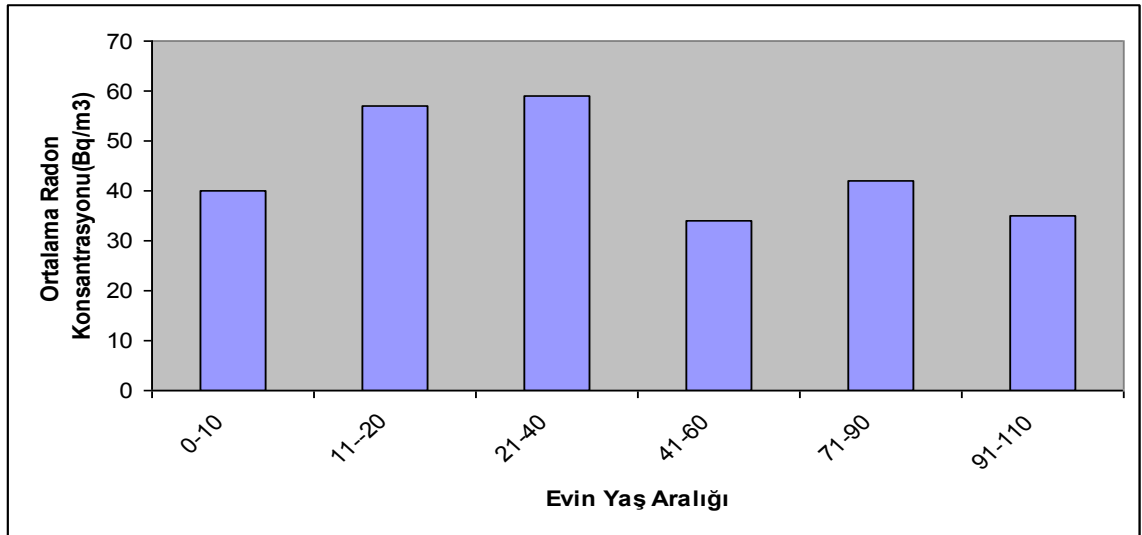
Kilis ili radon gazı konsantrasyonunun ev sayısına göre dağılımı Şekil 3.2’de görülmektedir. Şekil 3.2 irdelendiğinde; Kilis ilindeki evlerin %50’si 0-40 Bq/m³ arasında, %37.8’i 41-100 Bq/m³, %12.2’si 101-180 Bq/m³ arasında radon gazı konsantrasyonuna sahiptir. 0-40 Bq/m³ arasındaki evlerin özelliklerine bakıldığında genelinin müstakil evlerden oluştuğu ve kuyu suyu kullandıkları görülür. Literatüre göre radon konsantrasyonunun müstakil ve kuyu suyu kullanan evlerde daha yüksek çıkması beklenirken, Kilis ilinde tam tersi bir durum söz konusudur (Jönsson, 1988). Müstakil evlerde radon gazı konsantrasyonunun düşük çıkmasının nedeni çalışmanın ilkbahar döneminde yapılması bağlanabilir. Çünkü bu iklim döneminde radon konsantrasyonunu en çok etkileyen parametre olan havalandırma yüksektir. 41-100 Bq/m³ arasındaki evlerin ortak özelliğinin şebeke ve kuyu suyunu birlikte kullanması, 101-180 arasındaki evlerin ortak özelliği ise duvar yapı malzemesi olarak briket kullanılmış olmasıdır. Bu tespite göre; duvar yapı malzemesi briketin, evlerin kullandığı su kaynaklarına göre, bina içi radon konsantrasyonuna daha fazla katkı sağladığını söylemek mümkündür. Bu sonuç literatür ile uyum içerisindedir (Lowndes, 1990).



Şekil 3.2: Ortalama radon gazı konsantrasyonunun ev sayısına göre dağılımı.

3.2 İl Genelinde Radon Gazı Konsantrasyonunun Ev Yaşına Göre Dağılımı

Ortalama radon gazı konsantrasyonunun ev yaşına göre dağılımı Şekil 3.3'de verilmiştir. Şekil 3.3 incelendiğinde; 21-40 yaş aralığında bulunan evler en yüksek radon gazı konsantrasyonuna, 41-60 yaş aralığında bulunan evler en düşük radon gazı konsantrasyonuna sahiptir. Grafiğin 0-40 yıl yaş aralığı kısmında ev yaşı ile radon konsantrasyonunun arttığı görülmektedir. Bu yaş aralığındaki evlerin genel özelliği duvarlarının tuğla ve briketten yapılmış betonarme yapılar olmasıdır. Bu durum literatür ile uyum içerisindedir. Çünkü ev yaşının artması ile bina yapı malzemelerindeki çatlaklar artmakta ve bu çatlaklardan radon gazı çıkışı daha fazla olmaktadır. Sonuç olarak radon gazı konsantrasyonu artış eğilimi göstermektedir (Othman et al., 1997; Asikainen and Kahols, 1980). Grafiğin 40-110 yaş aralığı incelendiğinde ise radon konsantrasyonunun artış ya da azalış gösterdiğini söylemek oldukça zordur. Bu yaş aralığındaki evlerin özellikleri göz önüne alındığında ise evlerin tamamına yakınının duvarları taş olan eski yapılar olduğu dikkati çeker. Duvarı taş olan bu eski yapıların, 0-40 yaş aralığındaki betonarme evlere göre radon konsantrasyonu düşüktür. Bu sonuç literatür ile örtüşür. Literatürde yapı malzemesi doğal taş olan evlerin radon konsantrasyonlarının, yapı malzemesi tuğla ve briket olan evlere nazaran daha düşük olduğu not edilmiştir (Sannapa et al., 2002; Heller and Poulheim, 1992).

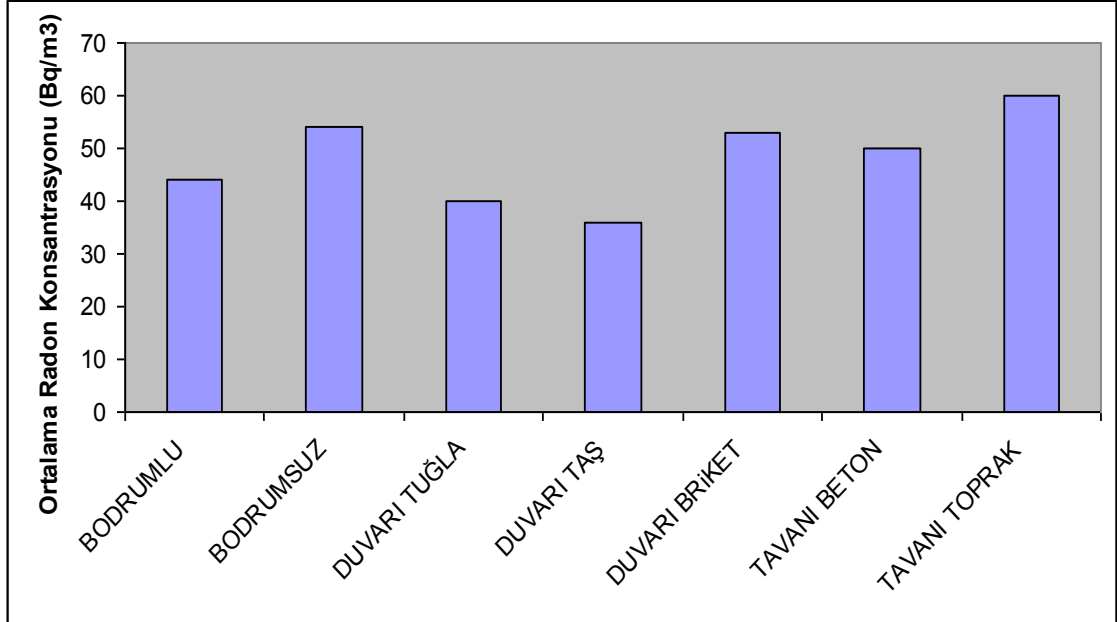


Şekil 3.3: Ortalama radon gazı konsantrasyonunun ev yaşına göre dağılımı.

3.3 Kullanılan Yapı Malzemesine Göre Ortalama Radon Gazı Konsantrasyonu

Evlerde kullanılan yapı malzemesine göre ortalama radon gazı konsantrasyonunun dağılımı Şekil 3.4'de verilmiştir. Grafikten, bodrumsuz olan evlerin (54 Bq/m^3) bodrumu olan evlere göre (44 Bq/m^3) daha yüksek radon konsantrasyonuna sahip olduğu görülmektedir. Bunun sebebi bodrumsuz olan evlerin zemin kat seviyesinde, bodrumlu olan evlerin ise 1. kat seviyesinde olmasına bağlanabilir. Çünkü radon gazı havadan daha ağırdır ve ana radon kaynağı topraktır. Eğer havalandırma şartları müsait ise; topraktan atmosfere yayılan radon, bulunduğu ortamın zemininde birikme eğilimi gösterir. Yapılan araştırmalarda kat sayısı ile radon konsantrasyonunun ters orantılı bir değişim gösterdiği tespit edilmiştir (Heler and Poulheim, 1992).

Duvar yapı malzemesi olarak briket kullanılan evlerin, duvarı taş ve tuğla olan evlere göre daha yüksek radon konsantrasyonuna sahip olduğu görülür. Tavanı toprak olan evler ise tavanı beton olan evlere göre daha yüksek radon konsantrasyonuna sahiptir. Bu durum toprak tavanın beton tavana göre bina içi radon gazı konsantrasyonuna daha fazla katkı yaptığını göstermektedir. Özetle elde edilen bütün bulgular literatürle uyum içerisindedir (Sannappa et al., 2002).



Şekil 3.4: Evlerde kullanılan yapı malzemesine göre ortalama radon gazı konsantrasyonu dağılımı.

3.4 Bina İçi Radon Konsantrasyonunu Etkileyen Faktörlere Göre Radon Gazı Dağılımı

Tablo 3.3’de bina içi radon gazı konsantrasyonunu etkileyen kriterlere göre radon gazı konsantrasyonu dağılımı verilmektedir. Tablo 3.3 irdelendiğinde; apartman dairelerindeki radon gazı konsantrasyonu (63 Bq/m^3) müstakil evlerdekine (47 Bq/m^3) göre daha yüksektir. Ancak bu sonuç literatürle uyuşmamaktadır. Literatür irdelendiğinde müstakil evlerin apartman dairelerine göre daha yüksek radon gazı konsantrasyonuna sahip olduğu görülür (Arafa and el-karadawi, 1997; Jönsson, 1988). Yapılan araştırmalarda; bina içi radon seviyelerinin sonbaharda artma, ilkbaharda azalma eğilimi gösterdiği, yaz aylarında ise minimum değerini aldığı tespit edilmiştir (Heller and Poulheim, 1992).

Tablo 3.3: Bina içi radon konsantrasyonunu etkileyen faktörlere göre radon gazı dağılımı.

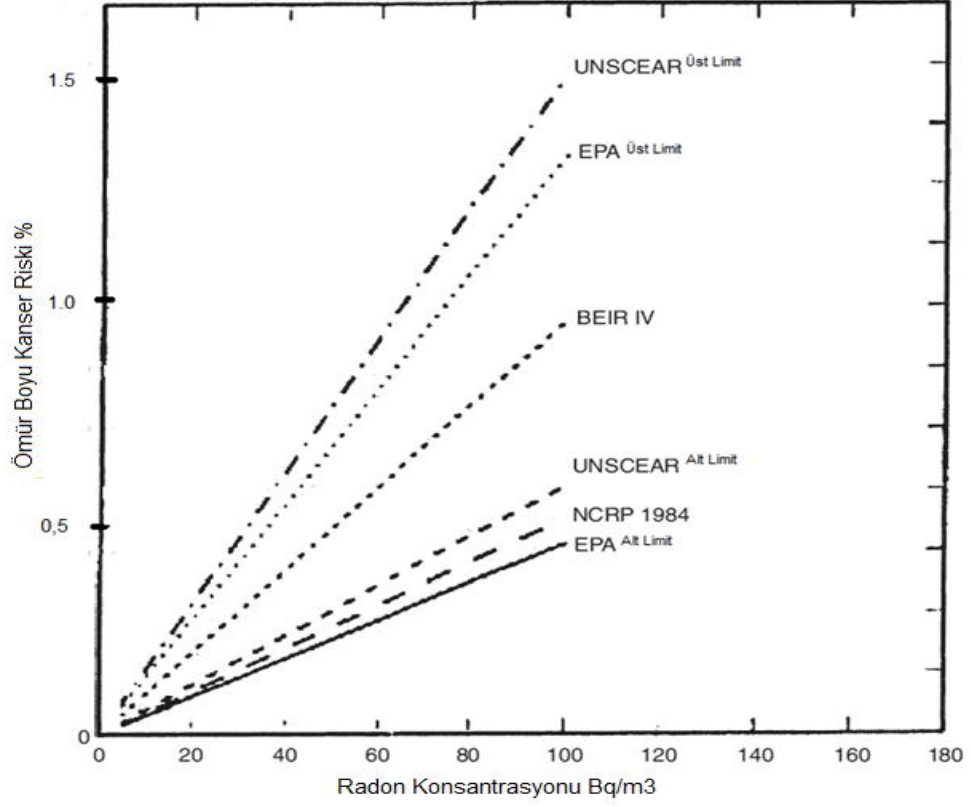
Bina İçi Radon Gazı Konsantrasyonu Etkileyen Faktörler	Ortalama Radon Gazı Konsantrasyonu (Bq/m^3)
Müstakil evler	47
Apartman daireleri	63
Bodrumsuz evler	54
Bodrumlu evler	44
Duvarı tuğla olan evler	40
Duvarı taş olan evler	36
Duvarı briket olan evler	53
Tavanı toprak olan evler	60
Tavanı beton olan evler	50
Şebeke suyu kullanan evler	56
Kuyu suyu kullanan evler	36
Kuyu ve şebeke suyu kullanan evler	44
Sigara içilen evler	55
Sigara içilmeyen evler	45

İlkbahar döneminde Kilis il genelinde sıcak havaların baskın olması, yaşayış tarzı itibarı ile müstakil evlerin apartman dairelerine göre daha fazla havalandırılmasına sebep olmuş ve sonuçta müstakil evlerde daha düşük bir radon konsantrasyonu tespit edilmiştir.

Tablo 3.3 su kaynakları bakımından değerlendirildiğinde; şebeke suyu kullanan evlerin ortalama radon gazı konsantrasyonu 56 Bq/m^3 , kuyu ve şebeke suyunu birlikte kullanan evlerin ortalama radon gazı konsantrasyonu 44 Bq/m^3 , kuyu suyu kullanan evlerin ortalaması ise 36 Bq/m^3 olarak hesaplanmıştır. Tabloda kuyu suyu kullanımının artması ile bina içi radon gazı konsantrasyonunun düşme eğilimi gösterdiği görülmektedir. Yapılan araştırmalarda yer altı orijinli suların bina içi radon gazına katkısının yüzey sularına göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir (Akremblom,1994). Kilis ilindeki evlerde kullanılan suların yer altı orijinli olmaları bina içi radon gazı konsantrasyonuna, yüzey sularına göre daha fazla oranda katkı sağladığı anlamına gelir. Kuyu sularının, şebeke sularına göre (her ikisi de yer altı orijinli olmalarına rağmen) daha az katkı sağlamanın sebebi, şebeke sularının kapalı sistemle evlere kadar ulaştırılması ile radon gazı kaybının minimum olması, kuyu sularının ise radon gazı kaybına sebep olacak şekilde havalandırmaya müsait küçük depolarda dinlendirildikten sonra kullanılmasına bağlanabilir. Bodrumsuz evlerdeki radon gazı konsantrasyonu (54 Bq/m^3) bodrumlu evlerdeki radon gazı konsantrasyonundan (44 Bq/m^3) daha yüksek çıkmıştır. Ayrıca sigara içilen evlerde (55 Bq/m^3) sigara içilmeyen evlere göre (45 Bq/m^3) radon gazı konsantrasyonu daha büyüktür. Binaların duvar yapısına göre ise; duvarı briket olan evler 53 Bq/m^3 , duvarı tuğla olan evler 40 Bq/m^3 ve duvarı taş olan evler 36 Bq/m^3 ortalama radon konsantrasyonuna sahiptir.

3.5 Radon Kaynaklı Kanser Riski Hesaplanması

Bina içi radondan kaynaklanan kanser riski ile ilgili olarak uluslar arası ajanslar tarafından geliştirilen farklı modeller bulunmaktadır. Şekil 3.5 bu modelleri göstermektedir (Kapdan, 2009). Şekil 3.5'den hareketle Kilis ili için tüm bu modeller göz önünde bulundurularak bu ilde yaşanan bir insanın ömür boyu (70 yıl) radon gazından kaynaklanan kansere yakalanma riski hesaplanmıştır. Tablo 3.4'de Kilis il ve ilçeleri için ömür boyu radon kaynaklı akciğer kanser riskleri (%) verilmiştir.



Şekil 3.5: Bina içi radon konsantrasyonlarına bağlı olarak radon gazından kaynaklı ömür boyu akciğer kanseri hastalığına yakalanma risk yüzdesi.

Tablo 3.4: Kilis il ve ilçelerinde yaşayan insanların ömür boyu (70 yıl) radon gazından kaynaklanan akciğer kanserine yakalanma riski yüzdesi.

Bölge Adı	Ortalama Radon Konsantrasyonu (Bq/m ³)	Radondan Kaynaklı Kanser Riski (%)			
		EPA	NCRP	UNSCEAR	BEIR
İl Geneli	47	0.23-0.62	0.20	0.27-7.30	0.453
Merkez	43	0.21-0.56	0.18	0.248-6.68	0.414
Polateli	61	0.299-0.80	0.267	0.353-9.48	0.588
Elbeyli	50	0.245-0.65	0.219	0.289-7.77	0.482
Musabeyli	61	0.299-0.80	0.267	0.353-9.48	0.588

3.6 Kilis İli İçin Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri

Radon ve bozunum ürünlerinin yıllık etkin doz eşdeğeri (YEDE) Denklem 3.1 ile hesaplanır (Oufni et al., 2005):

$$\text{YEDE (mSv/y)} = A (^{222}\text{Rn}) \times \text{DDF} \times \text{MF} \times F \times 24 \text{ h} \times 365 \times 10^{-6} \quad (3.1)$$

Denklemde, A (^{222}Rn); Bq/m^3 birimi cinsinden radon aktivite konsantrasyonu, DDF; doz dönüşüm faktörüdür ve $9 \text{ (nSv.h}^{-1}) / (\text{Bq/m}^3)$ 'dür, MF; Meşguliyet faktörüdür ve değeri 0,8'dir, F; denge faktörüdür ve ev içi ışınlamalar için 0,4 olarak kullanılır (UNSCEAR, 2000).

Denklem (3.1) kullanılarak Kilis ilinde yaşayan bir insanın radon gazından dolayı aldığı radyasyon dozu yıllık 1,19 mSv olarak hesaplanmıştır. Bu değer radon gazından dolayı dünya genelinde maruz kalınan ortalama doz değeri olan 1,3 mSv/y'ın 0,92 katıdır (TAEK). Kilis ili için radon gazından dolayı maruz kalınan en düşük radyasyon dozu 0,0756 mSv, en yüksek radyasyon dozu ise 4,3 mSv'dir. Tablo 3.5'de Kilis ili için hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğeri değerleri verilmiştir.

Tablo 3.5: Kilis ili için hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri.

Bölge adı	Ortalama Radon Gazı Konsantrasyonu (Bq/m^3)	Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri (YEDE)
Merkez	43	1,09 mSv
Polateli	61	1,54 mSv
Musabeyli	61	1,54 mSv
Elbeyli	50	1,26 mSv
İl Geneli	47	1,19 mSv

4. SONUÇ

Kilis il genelinde ortalama radon gazı konsantrasyonu 47 Bq/m³ olarak hesaplandı. İl merkezinde 43 Bq/m³, Polateli, Musabeyli ve Elbeyli İlçelerinde ise sırasıyla 61, 61, 50 Bq/m³ olarak hesaplanmıştır.

Yıllık etkin doz eşdeğeri değerleri ise il genelinde 1,19 mSv, il merkezinde 1,09 mSv, Polateli ve Musabeyli ilçelerinde 1,54 mSv, Elbeyli ilçesinde ise 1,26 mSv olarak hesaplanmıştır.

İlde yaşayan insanların radon gazından dolayı akciğer kanserine yakalanma riski ise NCRP'ye göre il genelinde % 0.20, il merkezinde % 0.18, Polateli ve Musabeyli ilçesinde % 0.267, Elbeyli ilçesinde ise % 0.219 olarak hesaplanmıştır.

En yüksek radon konsantrasyonları; yapı malzemelerine göre duvarı briket olan evlerde, su kaynağına göre ise şebeke suyu kullanan evlerde görülmüştür. En düşük radon konsantrasyonları ise; yapı malzemelerine göre duvarı taş olan evlerde, su kaynağına göre ise kuyu suyu kullanan evlerde görülmüştür. Bunların yanı sıra sigara kullanımının olduğu evlerdeki radon gazı konsantrasyonu, sigara kullanmayanlara göre daha yüksek değerdedir. İl genelinde radon gazı konsantrasyonları apartman dairelerinde daha yüksek çıkmıştır. Bodrumsuz evler bodrumlu evlere nazaran daha yüksek radon konsantrasyonuna sahiptir.

5. KAYNAKLAR

- Asikainen, M. and Kahols, H., 1980. Natural radioactivity of drinking water in finland. Health Physics, 39, 77-83.
- Akerblom, G., 1994. Radon in Water. Environment and Health, 3, 30-35.
- Arafa, W. and El-Karadawi, E., 1997. Radon concentration determination in some dwellings of doha city of qatar. Radiation Measrument, 28, 595-598.
- Botkin, D., Keller, E., 1988. Environmental Science. John Willey Sons.
- Canbazoğlu, C., 2004. Elazığ Yöresinde Doğal Radyoaktivite Tayini. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Çelebi, N., 1995. Çevresel Örneklerde Uranyum, Radyum ve Radon Ölçüm Tekniklerinin Geliştirilmesi. Doktora tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çağatay, G., ve Çobanoğlu, Z., 1997. Radon Kirliliği. Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi, No: 44 Ankara, Türkiye.
- Durrani, S.A. and Bull R.K., 1987. Solid State Nuclear Track Detection: Principles, Method and Applications. Pergamon Press, Oxford.
- Değerliler, M., 2007. Adana İli ve Çevresinin Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Saptanması ve Doğal Radyasyonların Yıllık Etkin Doz Eşdeğerinin Bulunması. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Harvey, J.R. and Weeks A.A., 1982. A simple system for rapid assessment of etch pits. Nucl. Tracks, 6, 201-206.

Heller, H. and Poulheim K.F., 1992. Die Exposition durch Radon und seine Zerfallsprodukte in Wohnungen in der Bundesrepublik Deutschland und deren Bewertung. Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 19, Gustav Fischer verlag, Stuttgart.

ICRP Publication 50, 1987. Lung cancer risk from indoor exposure to radon daughters. Annals of the ICRP 17, 1-60.

ICRP Publication 65, 1993. Protection Against Rn-222 at Home and at Work. Annals of the ICRP 23, No.2.

ICRP 65, 1993. Protection against ²²²Rn at home and at work, International Commission on Radiological Protection (ICRP), Annals of ICRP, Publication No. 65, Oxford: Pergamon Press.

Jönsson, G., 1988. Indoor Rn measurements in Sweden with the solid-state nuclear track detector technique. Health Phys, 54, 271-281.

Jönsson, G., 1992. About Radon- Where, when and how? Studentlitteratur Publ. Comp., Lund, 1-112, in Swedish.

Khan, A.H., Tufail, M., Qureshi, A.A., 1990. Radon Signals for Earthquake Prediction and Geological Prospection. Journal of Islamic Academy of Sciences, 3, 229-231.

Kapdan, E., 2009. Adapazarı Merkezi Kış Dönemi Radon Ölçüm ve Analizleri. İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, İstanbul.

Kulich, J., Möre H. and Swedjemark, G.A., 1988. Radon and Radium in Household Water. Swedish Radiation Protection Institute, SSI-Report 88-11, in Swedish.

- Kulalı, F., 2009. Topraktaki Radon Konsantrasyonu Ölçümü ve Deprem İlişkisinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Lowndes, I. and Şensöğüt, C., 1990. Computer simulation of radon contamination levels around controlled district recirculation circuits. *Mining Science and Technology*, 10, 177-189.
- Lide, D.R., 1993. *Handbook of Chemistry and Physics*. 74th edition, 6.3-6.4 CRC Press, Florida.
- Othman, I., Raja, G., Hushari, M., Sawaf, A., 1997. Variation of radon concentration in different sites in syrian typical houses. *Radiation Measurements*, 28, 721-724.
- Oufni, L., Misdaq, M.A., Amrane, M., 2005. Radon level and radon effective dose rate determination in Moroccan dwellings using SSNTDs. *Radiation Measurements*, 40, 118-123.
- Ramachandran, T.V. and Subba Ramu M.C., 1994. Variation of equilibrium factor F between radon and its short-lived decay products in an indoor atmosphere. *Nucl. Geophys*, 8, 499-503.
- Swedish radon commission: Radon in Dwellings. SOU 1983:6, in Swedish.
- Swedjemark, G.A., 1983. The equilibrium factor F. *Health phys*, 45, 453-462.
- Stranden E., Kolstad A.K. and Lind B., 1984. Radon exhalation: Moisture and temperature dependence. *Health Phys*, 47, 480-484.
- Sannappa, J., Chandrashekara, M.S., Sathish, L.A., Paramesh, L., Venkataramaiah, P., 2003. Study of background radiation dose in Mysore city, Karnataka State, India. *Radiation Measurements*, 37, 55-65.

TAEK, 2000. Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği, 24.03.2000, Sayı: 23999, Madde 37.

Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) Web Sitesi, <http://www.taek.gov.tr>

Taner, A.B., 1964. Radon mitigation in the ground, a riview. In Natural Radiation Environment. University of Chicago Press,161-190.

Tidjani, A., 1990. Effect of UV light on the efficiency of alpha-particle detection of CR-39, LR-115 type II and CN-85. Nucl. Tracks Radiat. Meas., 17, 491-495.

URL.1.http://www.kilis.pol.tr/index.php?option=com_content&view=article&id=25&Itemid=123.

UNSCEAR, 1977. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: Sources, Effects, and Risks of Ionizing Radiation. United Nations sales publication No.E.77.IX.1. New York.

UNSCEAR, 1993. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Sources, Effects, and Risks of Ionizing Radiation. United Nations sales publication No.E. 94.IX.2. New York.

UNSCEAR, 2000 Sources,Effects of Ionizing Radiation. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation Report to the General Assembly, with scientific annexes. United Nations, New York.

WHO, 1988. Man-made mineral fibers and radon. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, 43, 173-259.

Zamani, M., Manopoulou, M. and Charalambous, S., 1986. Etching properties of CN-85 plastic track detectors. Nucl. Tracks Radiat. Meas., 11, 39-43.

Mahalle	Ev Tipi	Bodrum	Duvar	Evin Yaşı	Sigara Kullanan Sayısı	Su Kaynağı	Detektör seri Numarası	Radon Konsantrasyonu (Bq/m ³)
Beş Yüz Evler	Müstakil	Yok	Tuğla	8	2	Şebeke	I36780	56
Vaiz	Müstakil	Yok	Taş	110	2	Kuyu	I35246	32
Aslan	Müstakil	Yok	Taş	110	0	Kuyu+Şebeke	I35600	23
Cumhuriyet	Apartman	Var	Tuğla	13	1	Kuyu	I35248	165
Şehit Sakıp	Apartman	Var	Tuğla	8	0	Şebeke	I35263	10
Doğan Güneş Paşa	Apartman	Yok	Tuğla	8	0	Kuyu	I36938	5
Kazım Karabekir	Apartman	Var	Tuğla	12	0	Kuyu	I35719	83
Ekrem Çetin	Apartman	Var	Tuğla	8	0	Şebeke	I35280	49
Vaiz	Müstakil	Yok	Taş	60	0	Kuyu	I35301	5
Yedi aralık	Müstakil	Yok	Taş	80	2	Şebeke	I35972	60
Bölük	Müstakil	Yok	Briket	28	1	Şebeke	I36005	26
Albay İ.Karaoğlu oğlu	Müstakil	Var	Tuğla	25	0	Şebeke	I35310	41
Yedi aralık	Apartman	Var	Tuğla	13	1	Kuyu+Şebeke	I35552	3
Şih Abdullah	Müstakil	Yok	Briket	8	0	Şebeke	I35321	78
Ekrem Çetin	Müstakil	Var	Tuğla	8	1	Şebeke	I35941	11
Albay İ. Karaoğlu oğlu	Müstakil	Var	Briket	25	0	Şebeke	I35507	56

EK.1: Kilis il merkezine dağıtılan detektörlerin radon konsantrasyonları.

Mahalle	Ev Tipi	Bodrum	Duvar	Evin Yaşı	Sigara Kullanan Sayısı	Su Kaynağı	Detektör seri Numarası	Radon Konsantrasyonu (Bq/m ³)
Vaiz	Müstakil	Yok	Taş	110	1	Kuyu+Şebeke	I35957	52
Okçular	Müstakil	Yok	Briket	50	0	Şebeke	I35348	17
Şih Abdullah	Müstakil	Yok	Briket	48	0	Şebeke	I35352	12
Demirciler	Müstakil	Yok	Taş	80	1	Kuyu	I35718	11
Yavuz Sultan Selim	Müstakil	Var	Briket	33	0	Şebeke	I35724	59
İslam Bey	Müstakil	Yok	Briket	8	2	Kuyu	I35355	14
Ekrem Çetin	Müstakil	Var	Tuğla	2	1	Şebeke	I35413	80
Okçular	Apartman	Yok	Briket	13	0	Şebeke	I35708	103
Ekrem Çetin	Müstakil	Yok	Tuğla	13	1	Şebeke	I35427	28
Hürriyet	Apartman	Var	Briket	25	1	Şebeke	I35316	20
Ekrem Çetin	Müstakil	Yok	Tuğla	13	1	Şebeke	I35427	28
Albay İ.Karaoğlu oğlu	Apartman	Yok	Briket	25	1	Şebeke	I35436	65
Şehit Sakıp	Müstakil	Yok	Briket	13	0	Şebeke	I35637	8
Ekrem Çetin	Müstakil	Yok	Briket	13	1	Kuyu+Şebeke	I35638	42
Demirciler	Müstakil	Yok	Briket	80	0	Kuyu+Şebeke	I35450	80
İslam Bey	Müstakil	Yok	Taş	80	1	Kuyu	I35456	14

EK.1(Devamı): Kilis il merkezine dağıtılan detektörlerin radon konsantrasyonları.

Mahalle	Ev Tipi	Bodrum	Duvar	Evin Yaşı	Sigara Kullanan Sayısı	Su Kaynağı	Detektör seri Numarası	Radon Konsantrasyonu (Bq/m ³)
Beş Yüz Evler	Müstakil	Yok	Tuğla	8	2	Şebeke	I36780	56
Vaiz	Müstakil	Yok	Taş	110	2	Kuyu	I35246	32
Aslan	Müstakil	Yok	Taş	110	0	Kuyu+Şebeke	I35600	23
Cumhuriyet	Apartman	Var	Tuğla	13	1	Kuyu	I35248	165
Şehit Sakıp	Apartman	Var	Tuğla	8	0	Şebeke	I35263	10
Doğan Güneş Paşa	Apartman	Yok	Tuğla	8	0	Kuyu	I36938	5
Kazım Karabekir	Apartman	Var	Tuğla	12	0	Kuyu	I35719	83
Ekrem Çetin	Apartman	Var	Tuğla	8	0	Şebeke	I35280	49
Vaiz	Müstakil	Yok	Taş	60	0	Kuyu	I35301	5
Yedi aralık	Müstakil	Yok	Taş	80	2	Şebeke	I35972	60
Bölük	Müstakil	Yok	Briket	28	1	Şebeke	I36005	26
Albay İ.Karaoğlu oğlu	Müstakil	Var	Tuğla	25	0	Şebeke	I35310	41
Yedi aralık	Apartman	Var	Tuğla	13	1	Kuyu+Şebeke	I35552	3
Şih Abdullah	Müstakil	Yok	Briket	8	0	Şebeke	I35321	78
Ekrem Çetin	Müstakil	Var	Tuğla	8	1	Şebeke	I35941	11
Şih Abdullah	Müstakil	Yok	Briket	13	0	Kuyu+Şebeke	I35472	63

EK.1(Devamı): Kilis il merkezine dağıtılan detektörlerin radon konsantrasyonları.

Mahalle	Ev Tipi	Bodrum	Duvar	Evin Yaşı	Sigara Kullanan Sayısı	Su Kaynağı	Detektör seri Numarası	Radon Konsantrasyonu (Bq/m³)
Ekrem Çetin	Müstakil	Yok	Tuğla	13	0	Şebeke	I35521	10
Kara Ali	Müstakil	Yok	Briket	13	2	Kuyu+Şebeke	I35467	102
Mehmet Sanlı	Apartman	Var	Tuğla	8	0	Kuyu	I35603	14
Atatürk	Apartman	Yok	Briket	13	1	Kuyu	I35606	13
Albay İ. Karaoğlu oğlu	Apartman	Yok	Briket	25	2	Şebeke	I35478	171
Naçar Oğlu	Müstakil	Yok	Taş	110	1	Kuyu+Şebeke	I35584	26
Tırıklı	Müstakil	Yok	Taş	88	2	Kuyu+Şebeke	I35595	6
Vaiz	Müstakil	Var	Taş	110	1	Kuyu+Şebeke	I35499	44
Hak verdi	Müstakil	Yok	Briket	33	1	Şebeke	I35505	35
Demirciler	Müstakil	Yok	Briket	13	0	Kuyu	I35482	29
Ortalama Radon Konsantrasyonu (Bq/m³)								43

EK.1(Devamı): Kilis il merkezine dağıtılan detektörlerin radon konsantrasyonları.

Mahalle	Ev Tipi	Bodrum	Duvar	Evin Yaşı	Sigara Kullanan Sayısı	Su Kaynağı	Detektör seri Numarası	Radon Konsantrasyonu (Bq/m ³)
Cumhuriyet	Apartman	Var	Briket	12	0	Şebeke	I35528	21
Atatürk	Müstakil	Var	Taş	48	0	Şebeke	I35949	59
Cumhuriyet	Müstakil	Yok	Briket	12	1	Şebeke	I35530	159
Cumhuriyet	Müstakil	Yok	Briket	8	1	Şebeke	I35581	69
Atatürk	Müstakil	Yok	Briket	8	0	Şebeke	I35616	57
Cumhuriyet	Müstakil	Var	Briket	8	1	Şebeke	I35760	1
Ortalama Radon Konsantrasyonu (Bq/m³)								61

EK.2: Polateli İlçe Merkezine Dağıtılan Detektörlerin Radon Konsantrasyonları.

Mahalle	Ev Tipi	Bodrum	Duvar	Evin Yaşı	Sigara Kullanan Sayısı	Su Kaynağı	Detektör seri Numarası	Radon Konsantrasyonu (Bq/m ³)
Murat Höyüğü	Müstakil	Var	Toprak+Taş	---	0	Şebeke	I35516	25
Cumhuriyet	Müstakil	Yok	Tuğla	15	1	Şebeke	I35527	43
Cumhuriyet	Müstakil	Yok	Briket	6	2	Şebeke	I35613	101
Cumhuriyet	Apartman	Var	Tuğla	6	1	Şebeke	I35647	118
Cumhuriyet	Müstakil	Var	Tuğla	6	1	Şebeke	I35929	3
Cumhuriyet	Müstakil	Var	Tuğla	6	0	Şebeke	I35984	23
Murat Höyüğü	Müstakil	Yok	Taş	55	0	Şebeke	I36003	111
Ortalama Radon Konsantrasyonu (Bq/m³)								61

EK.3: Musabeyli İlçe Merkezindeki Ortalama Bina İçi Radon Gazı Konsantrasyonu.

Mahalle	Ev Tipi	Bodrum	Duvar	Evin Yaşı	Sigara Kullanan Sayısı	Su Kaynağı	Detektör seri Numarası	Radon Konsantrasyonu (Bq/m³)
Hürriyet	Müstakil	Yok	Briket	8	1	Şebeke	I35636	8
Hürriyet	Müstakil	Yok	Taş+Toprak	14	2	Şebeke	I35249	99
İnönü	Müstakil	Yok	Taş+Toprak	90	0	Şebeke	I35278	82
İnönü	Müstakil	Yok	Kerpiç	13	1	Şebeke	I35285	85
Hürriyet	Müstakil	Yok	Kerpiç	24	0	Şebeke	I35319	33
Hürriyet	Müstakil	Yok	Taş+Toprak	24	1	Şebeke	I35782	81
İnönü	Müstakil	Yok	Briket+Toprak	14	1	Şebeke	I35945	1
Hürriyet	Müstakil	Var	Tuğla	8	1	Şebeke	I35946	15
Hürriyet	Müstakil	Yok	Briket	24	0	Şebeke	I35969	43
Ortalama Radon Konsantrasyonu Bq/m³								50

EK.4: Elbeyli İlçe Merkezindeki Ortalama Bina İçi Radon Gazı Konsantrasyonu.

**EVLERDE RADON ARAŞTIRMASI
BİLGİ FORMU**

Araştırma yapılan detektör no:.....
Görüşmenin yapıldığı tarih :.....
Görüşme yapılan kişinin adı soyadı:.....
Görüşme yapılan kişinin adresi, tel no:.....
.....
Radon detektörünün eve konuş tarihi:.....Alınış tarihi:.....

Lütfen bina ve binanın yapısı hakkında uygun olanlarını işaretleyerek yanıtlayınız.

1. Evin tipi:

- 1.Apartman bodrumlu 2.Apartman bodrumsuz
3.Müstakil bodrumlu 4. Müstakil bodrumsuz

2. Evin yapıldığı yıl:

- 1.1900'dan önce 2. 1900 -1945 3. 1950 -1969 4. 1970 -1979
5.1980 -1989 6. 1990 -2000 7. 2000'den sonra

3.Evin duvar, tavan ve tabanının yapı malzemesi:

- Taban : 1.Toprak 2. Beton 3. Ahşap
Tavan : 1.Beton 2. Ahşap 3. Diğer
Duvarlar : 1.Beton 2. Tuğla 3. Ahşap 4. Taş 5.Diğer

4. Pencerelerin durumu:

1. Pencereler tek camlı ısı yalıtımı iyi 2. Pencereler tek camlı ısı yalıtımı zayıf
3. Pencereler çift camlı ısı yalıtımı iyi 4. Pencereler çift camlı ısı yalıtımı zayıf

5.Havalandırma sistemi: 1. Doğal havalandırma 2. Cihaz ile havalandırma

6. Havalandırma durumu: 1. İyi havalanıyor 2. Az havalanıyor 3. Hiç havalanmıyor

7. Kışın ısıtma sistemi: 1. Kalorifer 2.Kömür sobası 3.Doğal gaz 4.Diğer.....

8.Aşağıdaki boşlukları doldurunuz.

a. Evin kullanım alanım² b. Oda sayısıadet. c. Oturma salonunun alanı.....m²

9.Kaç yıldır bu evde yaşıyorsunuz?

1. 10 yıldan az 2. 10-20 yıl 3. 20-30 yıl
4. 30-40 yıl 5. 40-50 yıl 6. 50 yıldan fazla

10.Evde yaşayanların yaşı, cinsiyet, mesleği ve sigara içme alışkanlıkları:

Yaş	Cinsiyet	Meslek	Sigara içme alışkanlığı var (+) yok(-)

11. Bu evde yaşayanlardan hiç akciğer kanseri olan veya bu hastalıktan ölen oldu mu?

Eğer ölen veya hasta olan varsa yaşı, cinsiyeti ve yılını belirtiniz.

	Yaşı	Cinsiyeti (K) (E)	Yıl
<input type="checkbox"/> Öldü	(.....)	(.....)	(.....)
<input type="checkbox"/> Hasta	(.....)	(.....)	(.....)

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Bayram CAN
Doğum Yeri : Şanlıurfa/Birecik
Doğum Tarihi : 14.02.1985
E Posta : can-bayram@hotmail.com
Yabancı Dil : İngilizce
Eğitim Durumu (Okul, mezuniyet yılı, şehir)
Orta Öğretim : Yahya Altınbaş Lisesi, 2003, Gaziantep/Nizip
Lisans : Gaziantep Üniversitesi, 2008, Kilis
Yüksek Lisans : Kilis 7 Aralık Üniversitesi

