

Eskişehir İlçelerinde Radon Konsantrasyonlarının Mevsimsel Değişimi

Nihan Akkurt

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fizik Anabilim Dalı

Haziran 2014

Seasonal Variation of Radon Concentrations in Eskişehir Districts

Nihan Akkurt

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Physics

June 2014

Eskişehir İlçelerinde Radon Konsantrasyonlarının Mevsimsel Değişimi

Nihan Akkurt

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Fizik Anabilim Dalı
Nükleer Fizik Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Prof. Dr. Emel ALĞIN

Haziran 2014

ONAY

Fizik Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Nihan AKKURT'un YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “Eskişehir İlçelerinde Radon Konsantrasyonlarının Mevsimsel Değişimi” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Emel ALĞIN

İkinci Danışman : -

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye : Prof. Dr. Emel ALĞIN

Üye : Prof. Dr. M. Celalettin BAYKUL

Üye : Doç. Dr. İlknur DAĞ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Derya PEKER

Üye : Yrd. Doç. Dr. Hacı SOĞUKPINAR

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Nimetullah BURNAK

Enstitü Müdürü

ÖZET

Bu çalışma, Eskişehir ili ilçelerinde (12 ilçe ve Kırka beldesi) 2012 ile 2013 yılları arasında, evlerde radon gazı yoğunluklarını ölçmek ve mevsimsel değişimini incelemek amacıyla yapılmıştır. Dört mevsim (kış, ilkbahar, yaz, sonbahar) için 3 aylık periyotlar şeklinde toplamda 122 evde LR-115 tipi detektörler kullanılarak radon gazı ölçümleri yapılmıştır. Detektörler, bir adet yatak odası, bir adet oturma odası ve bunların yedekleriyle birlikte evlere yerleştirilmiştir. Ölçümlere ilk olarak kış mevsiminde başlanmıştır. Yapılan ölçüm sonuçlarına göre radon yoğunluğu en fazla kış ve sonbahar mevsimlerinde, en düşük olarak yaz ve ilkbahar mevsimlerinde gözlemlenmiştir. Yapılan analizlere göre ev içi radon yoğunluğu 10 Bq/m^3 ve 565 Bq/m^3 aralığında değişmektedir. Ölçüm yapılan evlerde yaşayan bireylere detaylı bir anket uygulanarak bilgiler toplanmıştır. Bu anketler doğrultusunda dört dönemlik mevsimsel verilere göre Eskişehir ilçeleri için ev içi radon yoğunluğunun katlara, bina yaşına ve yapı malzemelerine göre analizi yapılmıştır. Ayrıca ilçelerin mevsimlere göre kendi aralarında karşılaştırılması yapılmıştır. Elde edilen radon yoğunluğu verilerinden faydalanılarak, mevsim ve kat sonuçlarını karşılaştırmak için t testi analizi yapılmıştır.

Eskişehir merkez ilçelerinde 2010-2012 yılları arasında yapılan radon yoğunluğu ölçümü çalışması ile bu çalışma kapsamında elde edilen veriler birleştirilmiştir. Pinel metodu yardımı ile tüm Eskişehir'i kapsayacak şekilde bina içi radon gazı yoğunlukları için mevsimsel düzeltme faktörleri hesaplanmıştır. Yarı deneysel ölçüm sonuçlarına göre mevsimsel düzeltme faktörleri 0,43 ile 1,57 arasında değişmektedir.

Anahtar kelime: Radon, Radyoaktivite, Mevsimsel Düzeltme Faktörü, LR-115, t testi

SUMMARY

This study is conducted in districts of Eskişehir (12 districts and Kırka town) between 2012-2013 in order to measure indoor radon concentrations and to examine seasonal variations. Indoor radon measurements were conducted in a total of 122 dwellings via LR-115 type detectors, for four seasons (winter, spring, summer, and autumn) in three month periods. Detectors were placed into dwellings with their backups, as one into the bedroom, and one into the living room. Measurements were initiated in winter. According to the results of the measurements conducted, highest radon concentrations were observed during winter and autumn; while, lowest concentrations were observed during summer and spring. According to the analysis performed, indoor radon measurements vary in the range between 10 Bq/m³ and 565 Bq/m³. Information was gathered by conducting a detailed survey to the residents of the dwellings. In the direction of these surveys, indoor radon concentrations were analyzed according to the seasonal data for districts of Eskişehir, with respect to floor level, age of the dwelling and construction material. In addition, districts were compared between each other with respect to the seasons. T- test analysis was conducted on the radon concentration data obtained for different seasons and for different floors.

Data obtained by radon concentration measurement study conducted in central districts of Eskişehir between 2012 and 2013, and data obtained by this study were combined. Seasonal correction factors for indoor radon concentrations were calculated as to comprise Eskişehir entirely, with the help of Pinel method. According to the semi-empirical results, seasonal correction factors vary between 0,43 and 1,57.

Keywords: Radon, Radioactivity, Seasonal Correction Factors, LR-115, t test

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimi süresi boyunca, gerek derslerimde ve gerekse tez çalışmalarında bana danışmanlık ederek, beni yönlendiren ve her türlü olanağı sağlayan danışman hocam sayın Prof. Dr. Emel ALĞIN'a teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen Yard. Doç. Dr. Hacı SOĞUKPINAR'a, deneysel çalışmalarım ve tez çalışmalarımda yardımlarını esirgemeyen Araş. Gör. Celal AŞICI'ya, tez çalışmalarımda yardımlarını esirgemeyen Kürşad Osman AY'a desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalarım sırasında radon gazı ölçümleri için bana evlerini açan Eskişehir ilçelerinde yaşayan tüm bireylere teşekkür ederim.

Tüm eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen ve bu çalışmayı oluşturan verileri toplama esnasında beni yalnız bırakmayan anneme sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
 1. GİRİŞ	 1
 2. RADYASYON ve RADYOAKTİVİTE	 4
2.1. Radyasyon Ve Türleri.....	4
2.1.1. İyonlaştırıcı radyasyon.....	4
2.1.2. İyonlaştırıcı olmayan radyasyon	7
2.2. Radyasyon Kaynakları	7
2.2.1. Doğal radyasyon kaynakları	9
2.2.2. Yapay radyasyon kaynakları.....	11
2.3. Radyoaktivite	11
2.4. Radyonüklitler Ve Türleri.....	12
2.4.1. Dünyanın oluşumundan önce var olan radyonüklitler	13
2.4.2. Kozmik ışın etkileşimleri sonucu oluşan radyonüklitler	15
2.4.3. İnsan üretimi radyonüklitler.....	16
 3. RADON.....	 18
3.1. Fiziksel Ve Kimyasal Özellikleri.....	18
3.2. Kaya Ve Topraktaki Radonun Bina İçi Radon Konsantrasyonuna Katkısı.....	20
3.3. Yapı Malzemelerindeki Radonun Bina İçi Radon Yoğunluğuna Katkısı.....	20
3.4. Sudaki Radonun Bina İçi Radon Konsantrasyonuna Katkısı	22
3.5. Ev İçinde Radon Gazı Dağılımı	23

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3.6. Evlerde Radon Seviyelerinin Kısa Süreli Değişimleri	25
3.7. Ev İçi Radon Yoğunluklarının Mevsimsel Değişimleri	27
3.8. Radonun Sağlık Üzerine Etkileri	29
 4. RADON GAZI ÖLÇÜMÜ	 31
4.1. Ölçüm Teknikleri	31
4.2. Katı Hal İz Detektörleri	32
4.3. İz Detektörlerinin Tasarlanması.....	33
4.4. Detektör Üzerinde İz Oluşumu	35
4.5. Kimyasal İz Kazıma.....	37
4.6. İz Sayma Metodu Ve İstatistiksel İncelenmesi.....	38
 5. ESKİŞEHİR İLİ İLÇELERİNDEKİ EVLERDE RADON GAZI ÖLÇÜMÜ VE MEVSİMSEL DÜZELTME FAKTÖRÜNÜN HESAPLANMASI	 42
5.1. Eskişehir İlçelerinin İklim Ve Jeolojik Yapısı.....	42
5.2. Önceki Çalışmalar.....	48
5.3. Evlerde Radon Gazı Ölçümünde Kullanılacak Malzeme Ve Yöntemler	52
5.4. İlçelerde Radon Gazı Ölçüm Sonuçları	58
5.4.1. Radon gazı yoğunluğunun ilçelere göre dağılımı	60
5.4.2. İlçelerde ev içi radon gazı yoğunluğunun katlara göre dağılımı	63
5.4.3. İlçelerde radon gazı yoğunluğunun bina yaşına göre dağılımı	66
5.4.4. İlçelerde radon gazı yoğunluğunun yapı malzemesine göre dağılımı	67
5.4.5. Mevsimsel radon yoğunluğunun sinüs fonksiyonu ile fit edilmesi	68
5.5. Mevsimsel Düzeltme Faktörü	70
5.6. Eskişehir İl Merkezi ve İlçelerindeki Toplam Veriler İle Mevsimsel Düzeltme Faktörü Hesabı	76
5.7. Eskişehir’de Radon Gazı Ölçümlerinin t Testi İle Analizi	79

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
SONUÇ, TARTIŞMA ve ÖNERİLER	82
KAYNAKLAR DİZİNİ	85
EKLER	
A. İyonlaştırıcı Radyasyon Doz Birimleri	

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Radyasyon türleri.	4
2.2. Alfa, beta, nötron, gama ve X ışınlarının madde ortamındaki girişkenlikleri.	7
2.3. Elektromanyetik tayf.	8
2.4. Dünya genelinde insanların maruz aldığı doğal ve yapay radyasyon kaynaklarının etki oranları	8
2.5. Doğal radyasyon kaynakları.....	10
2.6. Yapay radyasyon kaynakları.....	11
2.7. ^{238}U 'nun radyoaktif bozunum serisi.....	14
2.8. ^{232}Th 'nin radyoaktif bozunum serisi.	14
2.9. ^{235}U 'nun radyoaktif bozunum serisi.....	15
3.1. Almanya'da yapı malzemelerinin farklı türleri için radon seviyesi 100 Bq m^{-3} aşan evlerin bağıl sayısı	22
3.2. Ev içi radon yoğunluğunun havalandırmaya bağlı değişimi.....	26
3.3. Kendinden havalandırılmalı bir evdeki bina içi radon yoğunluğunun hızlı değişimi	26
3.4. Almanya'da bina içi radon yoğunluğunun yıllık değişimi.....	28
3.5. Hindistan'daki bina içi radon konsantrasyonunun yıllık değişimi.....	28
4.1. Kimyasal işlemler yardımı ile iz oluşumu	35
4.2. Kazıma kritik açısı.	37
4.3. Optik bir mikroskop ile izlerin sistematik taranması	40

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.1. Türkiye haritasında Eskişehir'in gösterimi.	42
5.2. Eskişehir ve ilçelerinin gösterimi.	47
5.3. Filmlerin behere yerleştirilmesi.	54
5.4. Filmlerin kimyasal işleme tutulduğu banyo havuzu.	55
5.5. Filmlerin durulanması için kullanılan magnetik karıştırıcılar.	56
5.6. Kurutulan filmlerin son hali.	56
5.7. Filmlerin lam içindeki durumu.	57
5.8. Filmlerin optik mikroskop üzerine yerleştirilmesi (a) ve optik mikroskop altında izlerin görünüşü (b).	58
5.9. Mevsimlere göre ortalama radon yoğunlukları.	60
5.10. Radon gazı yoğunluğunun ilçelere göre dağılımı.	61
5.11. Eskişehir ilçelerinde radon yoğunluğu ölçümünün katlara göre analizi.	64
5.12. Eskişehir ilçelerinde radon yoğunluğu ölçümünün bina yaşına göre analizi.	66
5.13. Eskişehir ilçelerinde radon yoğunluğu ölçümünün kullanılan yapı malzemesine göre analizi.	68
5.14. Mevsimsel radon yoğunluğu verilerinin sinüs fonksiyonu ile fit grafiği.	70
5.15. Eskişehir ve il merkezi için hesaplanan mevsimsel düzeltme faktörünün karşılaştırılması.	77
5.16. Tüm Eskişehir için radon gazı ölçümleri ile hesaplanan mevsimsel düzeltme faktörleri ile İngiltere ve İrlanda'nın mevsimsel düzeltme faktörlerinin karşılaştırılması.	79

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan ortalama radyasyon doz değerleri	10
2.2. Bazı başlangıç radyonüklitleri	13
2.3. Bazı önemli kozmojenik nüklitler	16
2.4. İnsan üretimi radyonüklitler	17
2.5. Tabiatte tek başına bulunabilen radyonüklitler	17
3.1. Radon atomunun genel özellikleri.	18
3.2. Radon atomunun fiziksel özellikleri	19
3.3. Alman evlerinde farklı katlardaki radon miktarları	24
5.1. Evlerdeki radon yoğunluğunun mevsimsel bazda istatistikleri.....	59
5.2. Eskişehir ilçelerinde radon gazı yoğunluğu ortalamalarının gösterimi.	61
5.3. Eskişehir ilçelerinin mevsimlere göre sıcaklık değişimleri.	62
5.4. Eskişehir ilçelerinin mevsimlere göre kaydedilen barometrik basınç değerleri.	63
5.5. Eskişehirdeki tüm ilçeler için kaydedilen günlük hava durumu hadiseleri.	63
5.6. Binaların 1. katlarında ölçülen radon yoğunluğunun mevsimsel ölçümler için istatistiksel analizi.	65
5.7. Binaların birinci ve üzeri katlarında (zemin kat hariç) ölçülen radon yoğunluğunun mevsimsel ölçümler için istatistiksel analizi.....	65
5.8. Bazı maddelerin potasyum, radyum ve toryum cinsinden radon yoğunlukları ..	67
5.9. Binalarda farklı yapı malzemelerinin kullanıldığı ev sayıları.....	68

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
5.10. Eskişehir’de mevsimsel düzeltme faktörlerinin karşılaştırılması.	76
5.11. Eskişehir’in tüm verileri için hesaplanan mevsimsel d değerleri, m değerleri, f değerleri ile İngiltere ve İrlanda’nın f değerleri.....	78
5.12. Mevsimlerin karşılaştırılması için yapılan eşleştirilmiş iki grup arasındaki farkların t testi sonucu.....	80
5.13. Bağımsız iki örneklem t testine göre kat analizi sonuçları.	80

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
Bq	Becquerel
c	Işık hızı
cm	Santimetre
Ci	Curie
CR-35	Pollyallyl Di-Glycol karbonat detektörü
°C	Santigrat
d	Dönemlik radon yoğunluğunun geometrik ortalaması
DNA	Deoksiribonükleik asit
e	Elektron
eV	Elektron Volt
E	Enerji
EC	Elektron yakalama
γ	Gama yayınlanma olasılığı
f	Mevsimsel düzeltme faktörü
°F	Fahrenayt
g	Gram
Gy	Gray
K	Potasyum
°K	Kelvin

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
lt	Litre
LR-115	Selüloz nitrat detektörü
m	Kütle
MeV	Mega elektron volt
m	Metre
ml	Mililitre
m	Aylık radon yoğunluğunun geometrik ortalaması
mSv	Milisievert
Pa	Paskal
Ppm	Milyonda bir birim
Q	Enerji
QF	Kalite faktörü
Ra	Radyum
Rad	Maruz kalınan radyasyon dozu
Rn	Radon
SI	Uluslar arası birim sistemi
Sv	Sievert
T	Tesla
U	Uranyum

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
ν	Nötrino
$\bar{\nu}$	Anti nötrino
WL	Çalışma seviyesi
WLM	Aylık çalışma seviyesi
α	Alfa
β^-	Beta – bozunumu
β^+	Beta + bozunumu
γ	Gama
$\varepsilon\gamma$	Detektör verimi

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Kısaltma</u>	<u>Açıklama</u>
ADC	Analogtan Dijitale Dönüştürücü
BEIR	İyonlaştırıcı Radyasyonun Biyolojik Etkisi Komitesi
ÇKA	Çok Kanallı Analizör
ÇNAEM	Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi
EEC	Eş Denge Yoğunluğu
IRPB	Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi
ICRP	Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi
IAEA	Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu
IARC	Uluslararası Kanser Araştırma Örgütü
MCA	Çok Kanallı Analizör
NRPB	İngiltere Milli Radyasyondan Korunma Komitesi
OECD	Ekonomik İşbirliği Ve Kalkınma Örgütü
TAEK	Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
UNSCEAR	Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyon Komitesi
WHO	Dünya Sağlık Örgütü

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Radon, 1899 yılında Rutherford ve Owens tarafından radyoaktif maddelerin ışınımlarla birlikte birde gaz yaydığını fark etmeleri sonucu bulunmuştur. Bu gaz radyoaktif toryum serisinde bulunduğu için gaza toryum ışınımı ismi verilmiştir. Daha sonra bu isim toron olarak değiştirilmiştir. 1900 yılında Dorn bu gazın radyum ışınımını, kısa bir süre sonra da Giesel ve Debiern aktinyum ışınımını keşfetmiştir. Radium ışınımına radon, aktinyum ışınımına da aktinon ismi verilmiştir. Bu üç gazın da atom numaraları 86 olup hepsi birbirinin izotopudur. Toron ve aktinonun yarı ömürlerinin saniyeler mertebesinde olması ve doğada bulunma oranlarının çok düşük olması nedeniyle asıl elemente radon denilmektedir (Durrani, 1997).

Radon; kokusuz, renksiz, tatsız, hislerle algılanamayan ve kimyasal olarak tepkimeye girmeyen asal bir gazdır. Havadan yaklaşık sekiz kat ağır olan radon gazı soy gazların en ağırları olarak bilinmektedir. Üç adet doğal izotopu (^{222}Rn , ^{220}Rn ve ^{219}Rn) vardır. Radon terimi genel olarak ^{222}Rn izotopu için kullanılır. Bu üç izotop arasında yarı ömrü en uzun olan ^{222}Rn 'dir ve bu süre de yaklaşık 3.82 gündür. ^{238}U 'nun bozunma zincirine ait olan ^{222}Rn , ^{226}Ra 'nın alfa parçacıkları yayımlaması sonucu oluşur (1602 yıl). Aynı şekilde alfa parçacıkları yayımlayarak polonyumun izotopu olan ^{218}Po 'ya bozunur (Durrani, 1997).

Radon atomlarının radyoaktif olması ve gaz olması sebebiyle solunum yoluyla vücuda alınması insan sağlığı üzerine olumsuz etkiler yapmaktadır. Radon sigaradan sonra akciğer kanserine sebep olduğu bilinen en önemli ikinci etmendir. Ancak radon gazı doğrudan akciğer kanserine sebep olmaz. Bozunma sonucu oluşan ürün çekirdeklerin akciğer kanserine yol açtığı bilinmektedir. 1980 yılından itibaren ev içi radon yoğunluğunun akciğer kanseri üzerine etkisi farklı bilimsel çalışmalar için araştırılmıştır. Avrupa, Kuzey Amerika ve Çin'de yapılan bilimsel çalışmalar bir araya getirilerek analizler yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda radon gazının akciğer kanserine yol açtığına dair kesin deliller oluşmuştur (Lubin, et al., Krewski, et al.,

2005). Radon ve bozunum ürünlerinin solunması ile insanların maruz kaldığı radyasyon dozu, doğal kaynaklardan alınan toplam radyasyon dozunun %50'sinden daha fazladır (UNSCEAR, 1993). Bu sebeple bina içi radon ölçümleri büyük önem taşımaktadır.

Avrupa'da 13 farklı bölgede ve Kuzey Amerika'da yedi farklı bölgede yapılan olay kontrollü çalışmalar birbiriyle kıyaslanmıştır. Yapılacak araştırma için belirli sayıda kansere yakalanmış birey ve belirli sayıda kansere yakalanmamış bireyler seçilmiştir. Bu bireylerin sigara alışkanlıklarının bilinmesi ve her bir birey için en az 15 yıllık maruz kalınan ortalama radon yoğunluğunun bilinmesi oluşturulacak veri tabanı için gereklidir. Avrupa'da yapılan araştırmalara göre evlerindeki ortalama radon yoğunluğu 100 ile 199 Bq/m³ aralığında değişen bireylerin, evlerindeki radon yoğunluğu 100 Bq/m³'den az olan bireylere göre akciğer kanserine yakalanma riskinin %20 daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Kuzey Amerika'da da Avrupa ile benzer olarak olay kontrollü çalışma yapılarak, yedi farklı bölgeden alınan sonuçlar birleştirilerek bir çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmaya göre radon yoğunluğunda her 100 Bq/m³'lük artışta kansere yakalanma riski %11 artmaktadır. Bu risk radon yoğunluğunun fazla olduğu bölgelerde daha fazladır (WHO, 2009).

Avrupa'da radon yoğunlukları ile ilgili yapılan çalışmalar genellikle tüm ülke çapında yapılmakta olup, evlerde yaşayan bireyler radonun zararları konusunda yeterince bilgi sahibidirler. Ülkemizde yapılan çalışmalar genellikle aylık, üç aylık veya altı aylık bazda yapılmaktadır ve bu sebeple tam bir veri seti oluşturulamamaktadır. Yapılan çalışmalar genellikle tek bir şehri kapsamaktadır ve bildiğimiz kadarıyla ulusal bazda aynı standartlarda ortak bir çalışma yapılmamıştır.

2012 ile 2013 yılları arasında Eskişehir'in kırsal kesiminde bulunan 12 ilçesinde ve ayrıca bor madenlerince zengin olmasından dolayı Seyitgazi ilçesinin Kırka beldesinde radon yoğunluklarını tespit etmek amacıyla bir çalışma yapılmıştır. Radon gazı ölçüm detektörleri ilk olarak Aralık ayında dağıtılacak şekilde, toplamda dört mevsimden oluşmak üzere bir yılı kapsayacak bir çalışma yapılmıştır. Elde edilen verilerle Eskişehir ilçeleri için radon yoğunluğu ortalamaları hesaplanmıştır. Eskişehir ilçeleri için hesaplanan radon yoğunluğu ortalamaları ile 2010 ile 2012 yılları arasında Eskişehir merkez ilçelerinde yapılan çalışma sonucu hesaplanan radon yoğunluğu

ortalamaları birleştirilerek tüm Eskişehir için bir veri seti elde edilmiştir (Soğukpınar, 2013). Bu verilere göre, tüm Eskişehir için mevsimsel düzeltme faktörleri hesaplanmıştır. Elde edilen verilere göre kat, bina yaşı, yapı malzemesi analizleri yapılmıştır. Ayrıca ilçelerin mevsimlere göre kendi aralarında ortalama radon yoğunluğu karşılaştırılmaları yapılmıştır.

Eskişehir, İç Anadolu bölgesinde bulunmaktadır ve bitki örtüsü bozkırdır. Ancak Sarıcakaya ve Mihalgazi ilçelerinin bitki örtüsü makidir ve Akdeniz iklimine sahiptirler. Yapılan analiz ve hesaplamalar sonucu bu ilçelerde sıcaklığın diğer ilçelerden yüksek olmasından dolayı, radon yoğunluklarının da diğer ilçelere kıyasla düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Hazırlanan tez çalışmasının ikinci bölümünde, radyasyonun tanımı, türleri ve kaynakları anlatılmıştır. Üçüncü bölümde, radon elementinin fiziksel ve kimyasal özelliklerinden bahsedilmiştir ve radonun binaya giriş yolları tanıtılmıştır. Dördüncü bölümde, radon gazı için ölçüm teknikleri anlatılmış ve katı hal iz detektörleri hakkında geniş bilgi verilmiştir. Beşinci bölümde, yapılan deneysel çalışmadan bahsedilmiş ve hesaplanan ortalama radon yoğunluğu verilerine göre yapılan farklı analizlerden detaylı bir şekilde bahsedilmiştir. Son bölümde ise yapılan deneysel ve teorik çalışmaları kapsayan bir sonuç kısmı hazırlanmıştır.

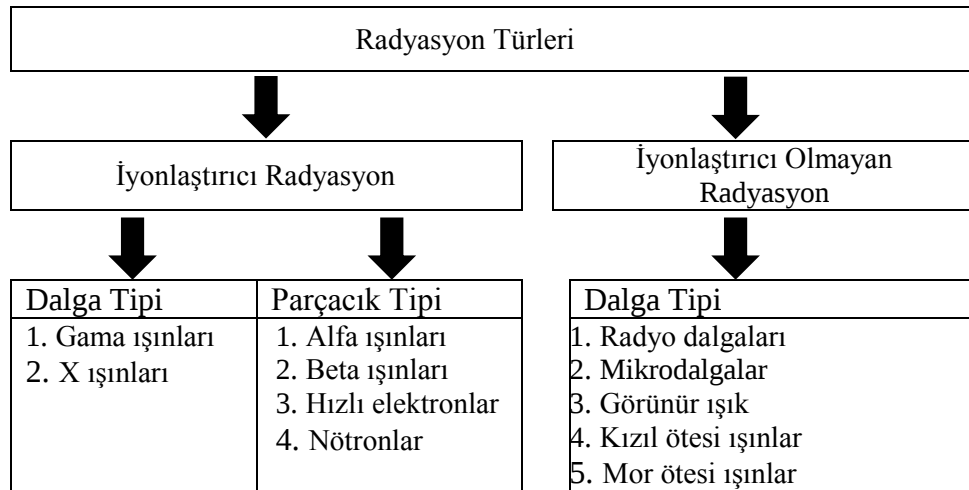
BÖLÜM 2

RADYASYON ve RADYOAKTİVİTE

2.1. Radyasyon Ve Türleri

Radyasyon, elektromanyetik dalgalar ve parçacıklar biçimindeki enerji emisyonu veya aktarımıdır. Maddenin temel yapısını meydana getiren atomlar, proton ve nötronlardan oluşan bir çekirdek ve çekirdeğin etrafında dönen elektronlardan oluşur. Çekirdekteki nötron sayısı, proton sayısına göre oldukça fazla ise bu maddeler kararsız bir yapı göstermekte ve çekirdek β^- bozunumu yapar. Protonlar, nötronlara göre oldukça fazla ise çekirdek β^+ bozunumu yapar. Güneşten gelen ısı ve ışık bir radyasyon türüdür. Günlük yaşamımızda sıklıkla kullandığımız telefon, televizyon, mikrodalga fırınlar da radyasyon yayan örnekler olarak verilebilir.

Radyasyonu temel olarak iki ana grupta inceleyebiliriz. Bu gruplar iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyonlardır. Şekil 2.1’de radyasyon ve türleri detaylı olarak incelenmiştir.



Şekil 2.1. Radyasyon türleri.

2.1.1. İyonlaştırıcı radyasyon

İyonlaştırıcı radyasyon, çarptığı maddede yüklü parçacıklar (iyonlar) oluşturabilen radyasyon demektir. Yüksek enerjili parçacıkların, atom yakınından

geçerken oluşturdıkları elektron yörüngesindeki değişimler ya da elektronun yörüngesinden çıkması, iyonlaştırıcı radyasyonun etkileridir.

A. Dalga tipi iyonlaştırıcı radyasyon

Gama ışınları, atom çekirdeğinin enerji seviyelerindeki farklılıklardan meydana gelmektedirler. Çekirdeğin bir alfa veya bir beta parçacığı fırlattıktan sonra kararlı durumda olmaması sebebiyle, fazla kalan çekirdek enerjisi bir elektromanyetik ışınım şeklinde yayınlanır. Bu ışınım gama ışınımı, yüksek enerjili elektromanyetik ışınlar da gama ışını denir.

Aşağıdaki formül gama ışınımına bir örnek olarak verilmiştir.



X ışınları, dalga tipi radyasyona örnek olarak verilebilir. Bir atoma dışarıdan gelen yüksek enerjili elektronlar, o atomun ilk halkalarından elektron koparırlar. Atomdan kopan bu elektronun yerine daha yüksek enerji seviyelerinden elektronlar geçerek kopan elektronun boşluğunu doldururlar. Bu durumda ortaya çıkan enerji fazlalığı ortama X ışını olarak salınır. Özel olarak yapılmış cihazlarda, hızlandırılmış elektronların bir metal hedefe çarptırılması ile elde edilirler. Tıpta teşhis ve tedavide birçok alanda kullanılmaktadırlar.

B. Parçacık tipi iyonlaştırıcı radyasyon

Parçacık tipi iyonlaştırıcı radyasyona örnek olarak alfa ışınları, beta ışınları ve nötron ışınımını verebiliriz.

Alfa parçacığı; iki proton ve iki nötrondan oluşmuş bir helyum (^4_2He) çekirdeğidir ve pozitif yüklüdür. Çekirdeğin alfa çıkararak parçalanması olayı atom numarası büyük izotoplarda görülür ve genellikle doğal radyoaktif atomlarda rastlanır. Alfa parçacıklarını çok küçük kalınlıklardaki maddelerle durdurmak mümkündür. Bunun sebebi, diğer radyasyon çeşitlerine göre sahip oldukları büyük elektrik yükleridir. Sahip oldukları bu elektrik yükü, alfa parçacıklarının herhangi bir madde içerisinden geçerken yolları üzerinde yoğun bir iyonlaşma meydana getirmelerine ve bu yüzden de enerjilerini çabucak kaybetmelerine yol açar. Enerjilerini bu şekilde çabucak

kaybeden alfa parçacıklarının erişme uzaklıkları da dolayısıyla çok kısadır. Bu yüzden de normal olarak dış radyasyon tehlikesi yaratmazlar.

^{238}U 'nun ^{234}Th 'ye bozunumunu gösteren bir formül alfa ışınımı ile olur:



Beta parçacığı; çekirdekteki enerji fazlalığı çekirdek civarında bir kütle oluşturduğunda, bu kütlenin çekirdekteki fazla yükü alıp ve dışarıya bir parçacık olarak çıkması durumudur. Bunlar pozitif veya negatif yüklü elektronlardır. Çekirdekteki enerji fazlalığı proton fazlalığından meydana geliyorsa β^+ , nötron fazlalığından meydana geliyorsa β^- çıkar. Beta parçacıkları, alfa parçacıklarına göre 100 kat daha giricidirler. Bu parçacıklardan korunmak için ince bir alüminyum zırh yeterlidir.

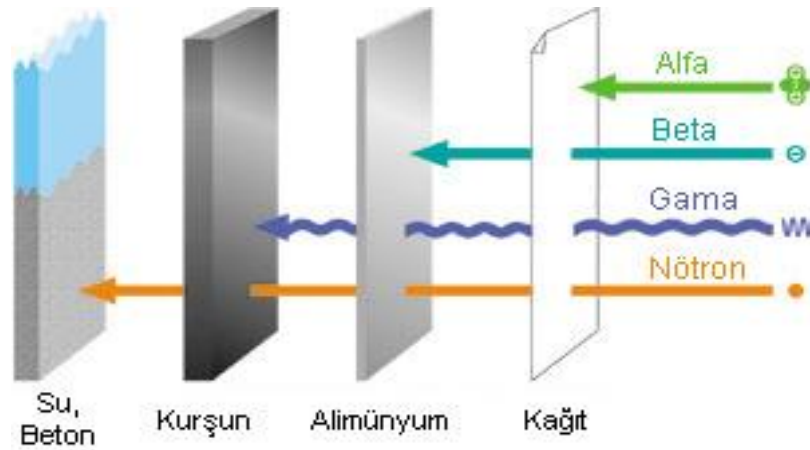
β^+ parçalanmasında çekirdekten bir pozitron ayrılır. Bu pozitron bir protonun bir nötrona dönüşmesinden oluşur:



β^- ışınları oluşması için çekirdeğin içinde bir nötron, bir proton ve bir elektrona dönüşür:



Nötronlar; yüksüz parçacıklardır. Bu özelliklerinden dolayı herhangi bir madde içerisine kolaylıkla nüfuz edebilirler. Doğrudan bir iyonlaşmaya sebep olmazlar. Ancak atomlarla etkileşimleri, iyonlaşmaya neden olan alfa, beta, gama veya x ışınlarının ortaya çıkmasına neden olabilir. Nötronlar sadece kalın beton, su veya parafin kütleleriyle durdurulabilirler. İyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon tiplerinin giricilik özellikleri Şekil 2.2'deki gibidir.



Şekil 2.2. Alfa, beta, nötron, gama ve X ışınlarının madde ortamındaki girişkenlikleri.

2.1.2. İyonlaştırıcı olmayan radyasyon

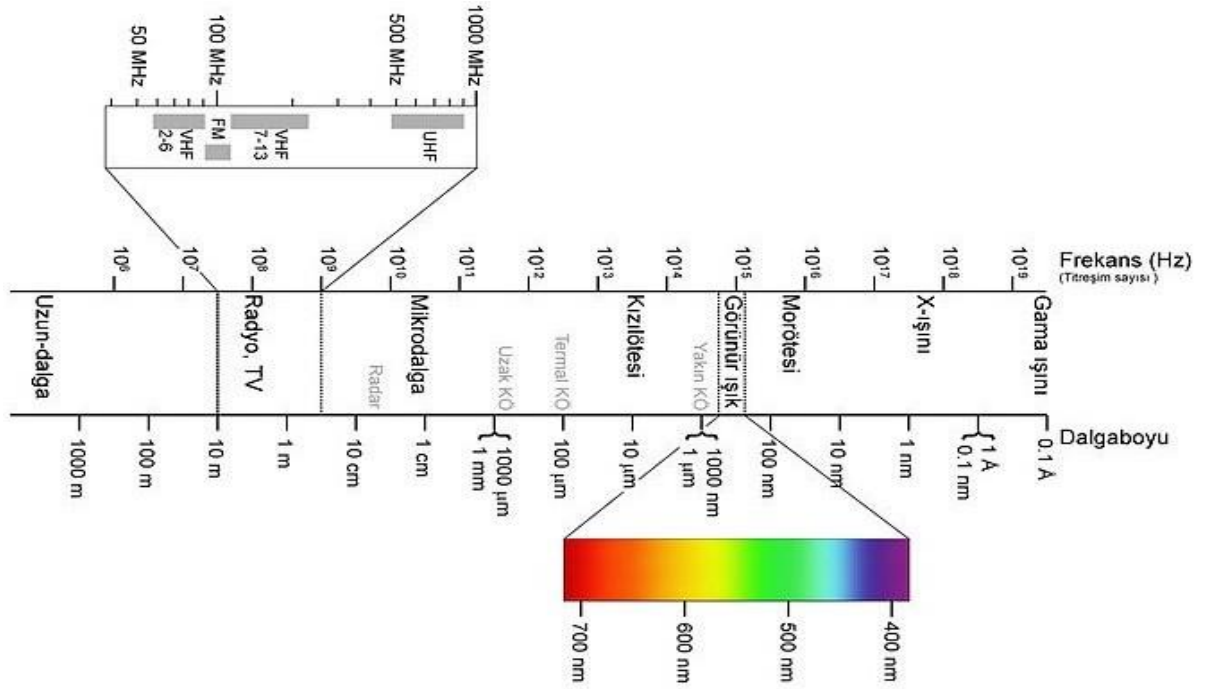
Atomla etkileşime girebilecek kadar güçlü olmayan enerji seviyelerindeki elektromanyetik dalgaların, atomların yörüngesinde sebep olduğu değişim organizma üzerinde büyük bir hasara neden olmaz. Bunlar iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olarak adlandırılır. Radyasyonu elektromanyetik dalga enerjisi olarak düşündüğümüzde radyo ve televizyon dalgalarından X – ışınları, gama ışınları ve kozmik ışınlar kadar geniş bir spektrumda ele alabiliriz. Şekil 2.3’te elektromanyetik spektrum gösterilmiştir. Ultraviyole ışınlar, kızılötesi ışınlar, radyo dalgaları, mikrodalgalar, görünür ışık iyonlaştırıcı olmayan radyasyon örneklerindendir.

2.2. Radyasyon Kaynakları

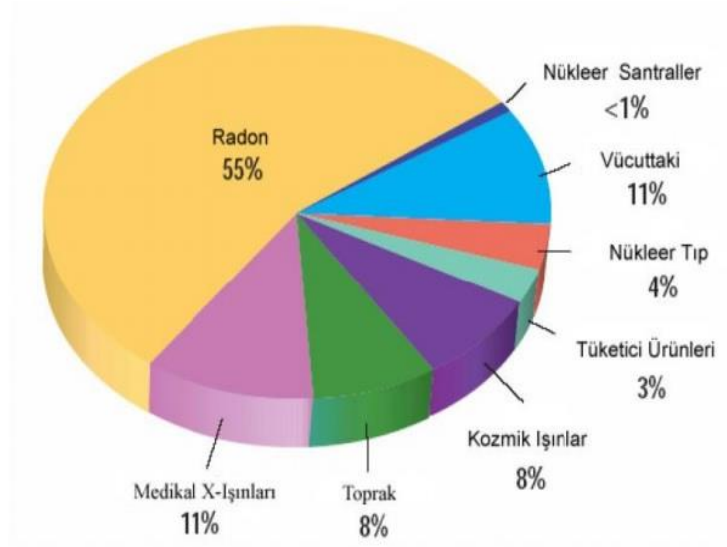
Radyasyon bir enerji olup, soluduğumuz havadan, yediğimiz yiyeceklere, evlerimizin yapı malzemelerinden tıbbi alandaki teknolojik aletlere kadar birçok yerden radyasyona maruz kalırız.

Genel olarak radyasyon kaynaklarını doğal ve yapay kaynaklar olarak iki gruba ayırabiliriz. Yeryüzündeki tüm canlılar ve cansızlar havada, suda, toprakta, hatta kendi vücutları içerisindeki doğal radyasyon kaynakları ve bunlara ek olarak insanlar tarafından üretilen yapay radyasyon kaynaklarının her gün ışınlamaya maruz

kalmaktadırlar. Şekil 2.4'te dünya genelinde insanların maruz kaldığı doğal ve yapay radyasyon kaynaklarının etki oranları gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Elektromanyetik tayf.



Şekil 2.4. Dünya genelinde insanların maruz aldığı doğal ve yapay radyasyon kaynaklarının etki oranları (NCRP'den, 1988).

2.2.1. Doğal radyasyon kaynakları

Dünya nüfusunun maruz kaldığı radyasyon dozunun yaklaşık % 88'ini doğal radyasyonun vermesi nedeni ile insanların doğal kaynaklardan aldığı radyasyon miktarı büyük bir öneme sahiptir.

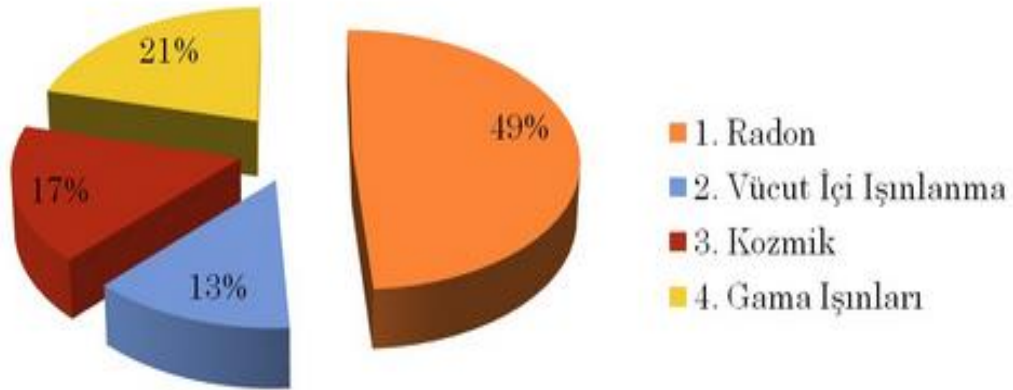
Doğal radyasyon düzeyini arttıran en önemli sebeplerden biri, yer kabuğunda yaygın bir şekilde bulunan radyoaktif radyum elementinin (^{226}Ra) bozunumu sırasında salınan radon gazıdır. Radon atomlarının bozunması ile oluşan metal atomları (ürün çekirdekler) olumsuz sağlık etkilerine yol açmaktadır.

Radondan sonraki en büyük katkıyı gama ışınları sağlamaktadır. İnsan vücudunun dış kaynaklı ışınlamaya maruz kalmasının temel nedeni ^{238}U ve ^{232}Th 'nin doğal olarak bulunan 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 ışınlamaya neden olmaktadır. Yeryüzündeki radyoizotopların yaydığı gama ışınları nedeniyle tüm vücudumuz dış kaynaklı radyasyona maruz kalır. Özellikle granit gibi volkanik kayalarda, fosfat kayalarda, tortularda 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 (URL-3).

Kozmik ışınlar doğal radyasyon kaynakları için üçüncü en büyük etmendir. Kozmik ışınların kaynağı tartışma konusudur.

Uranyum ve toryumun bozunma serisindeki kararsız atomlar beslenme ve solunum yoluyla vücuda taşınır ve bu atomlar zamanla çeşitli organlarda birikir. Bu yolla iç radyasyon doğal radyasyon düzeyine yaklaşık %13'lük katkı sağlamaktadır.

Şekil 2.5'te doğal radyasyon kaynakları verilmiştir.



Şekil 2.5. Doğal radyasyon kaynakları (URL-3).

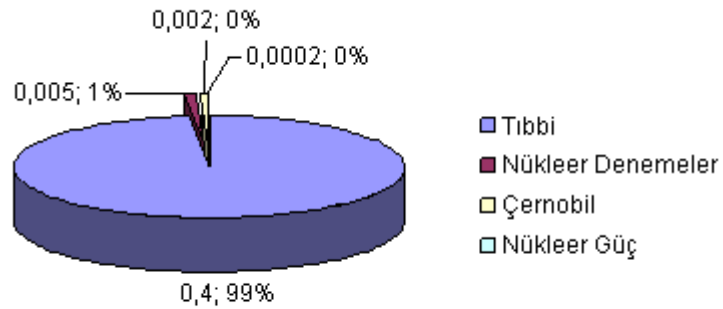
Çizelge 2.1. Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan ortalama radyasyon doz değerleri (URL-3).

Işınlama 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 Radyoizotoplar	0,01	
Toplam	0,39	
Yeryüzü Kaynaklı Dış Işınlama		
• Bina dışı	0,07	0,3-0,6 (b)
• Bina içi	0,41	
Toplam	0,48	
Solunum Yolu İle Işınlama		
• Uranyum ve Toryum serileri	0,006	0,2-10 (c)
• Radon (^{222}Rn)	1,15	
• Toron (^{220}Rn)	0,10	
Toplam	1,26	
Beslenme Yolu İle Işınlama		
• ^{40}K	0,17	0,2-0,8 (d)
• Uranyum ve Toryum serileri	0,12	
Toplam	0,29	

Çizelge 2.1’de (a); deniz seviyesinden yüksekliğe, (b); toprak ve yapı malzemelerinin karışımlarına, (c); radon gazı yoğunluğuna, (d); yiyecek ve içme sularındaki radyoizotopların yoğunluğuna bağlı doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan ortalama radyasyon doz değerleridir.

2.2.2. Yapay radyasyon kaynakları

Yapay radyasyon kaynakları, tıbbi, zirai ve endüstriyel amaçla kullanılan X – ışınları ve yapay radyoaktif maddeler, nükleer bomba denemeleri sonucu meydana gelen nükleer serpintiler, nükleer güç üretiminden salınan radyoaktif maddeler ve bazı tüketici ürünlerinde kullanılan radyoaktif maddelerden oluşmaktadır. Şekil 2.6’da yapay radyasyon kaynaklarının yüzdeleri gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Yapay radyasyon kaynakları (URL-3)

2.3. Radyoaktivite

Periyodik cetvelde ^1H dışındaki tüm çekirdekler proton ve nötronlardan oluşmaktadır. Nötronların protonlara oranı hafif çekirdeklerde bir iken periyodik cetvelin sonlarına doğru gidildikçe bu oran artmaktadır. En ağır kararlı izotop $^{207}_{83}\text{Bi}$ olup, daha ağır izotoplar dışarıya verecek fazla enerjileri olduğundan kararsızdır ve kararlı hale gelene dek enerji fazlalıklarını birtakım ışınlar yayınlarak giderirler. Bu olaya radyoaktivite denir.

Radyasyon ve radyoaktivite terimi hayatımıza 1895 yılında Wilhelm Conrad Röntgen 'in X – ışınlarını keşfi ile girmiştir. 1896 yılında Becquerel, uranyum tozları üzerine yaptığı deneyleri havanın yağmurlu olması sebebiyle siyah kağıda sarılı film içinde çekmeceye koymuş, birkaç gün sonra bu filmleri banyo etmiştir. Uranyum kristalinin güneşe maruz kalmadığı halde film üzerinde izler bıraktığını tespit etmiş ve bunun X – ışınları gibi görünmez bir ışın olduğunu düşünmüştür. 1898 yılına kadar Becquerel ışınları olarak bilinen bu ışınlar Marie Curie tarafından radyoaktivite ismini almıştır. 1902 yılında Pierre ve Marie Curie tarafından radyumun keşfinden sonra radyoaktivite birçok alanda hayatımıza girmiştir.

Uranyum ve toryumun doğal bozunma serisinde oluşan kararsız atomlar hava, su ve toprağa karışır. Yediğimiz besinlerde, içtiğimiz suda, soluduğumuz havada bu çekirdekler farklı oranlarda bulunur. Radyoaktif olan bu atomlar beslenme ve solunumla vücuda taşınır. Vücudumuzda bulunan radyoaktif elementlerden (özellikle ^{40}K radyoaktif elementinden) dolayı belli bir radyasyon dozuna maruz kalırız. İnsan vücudundaki potasyum miktarının biyolojik süreçlerle kontrol edildiği bilinmesine rağmen toplam değerın kişiden kişiye nasıl değiştiği hakkında çok az bilgi bulunmaktadır. Genç insanlar yaşlılara göre daha kaslı olduğu için potasyum miktarı genç insanlarda yaşlılara göre daha fazladır, dolaylı olarak iç radyasyon miktarının genç insanlarda daha yüksek olduğu bir gerçektir (NRPB, 1998). Çok yüksek miktarda radyoaktivite içeren yiyeceklerin yenmemesi dışında iç ışınlanmayı önleyecek herhangi bir yol bulunmamaktadır (URL-3).

2.4. Radyonüklitler Ve Türleri

Radyoaktif elementler, radyoaktif izotoplar veya radyonüklitler olarak adlandırılırlar. 1500'ün üzerinde radyoaktif nüklit vardır. Bu radyonüklitleri,

- 1- Dünyanın oluşumundan önce var olan radyonüklitler
- 2- Kozmik ışın etkileşimleri sonucu oluşan radyonüklitler
- 3- İnsan üretimi ile oluşan radyonüklitler

olmak üzere 3 genel grupta incelenebilir.

2.4.1. Dünyanın oluşumundan önce var olan radyonüklitler

Yarı ömürleri çok uzun olan bu nüklitler evrenin yaratıldığı zamandan kalmışlardır. Başlangıç (primordial) radyonüklitler, ^{235}U , ^{238}U ve ^{232}Th serilerine ait olanları ve radyasyonun önemli bir miktarını oluşturan ^{40}K ve ^{87}Rb gibi diğer bazı nüklitleri içerir. Çizelge 2.2’de bazı başlangıç radyonüklitleri verilmiştir.

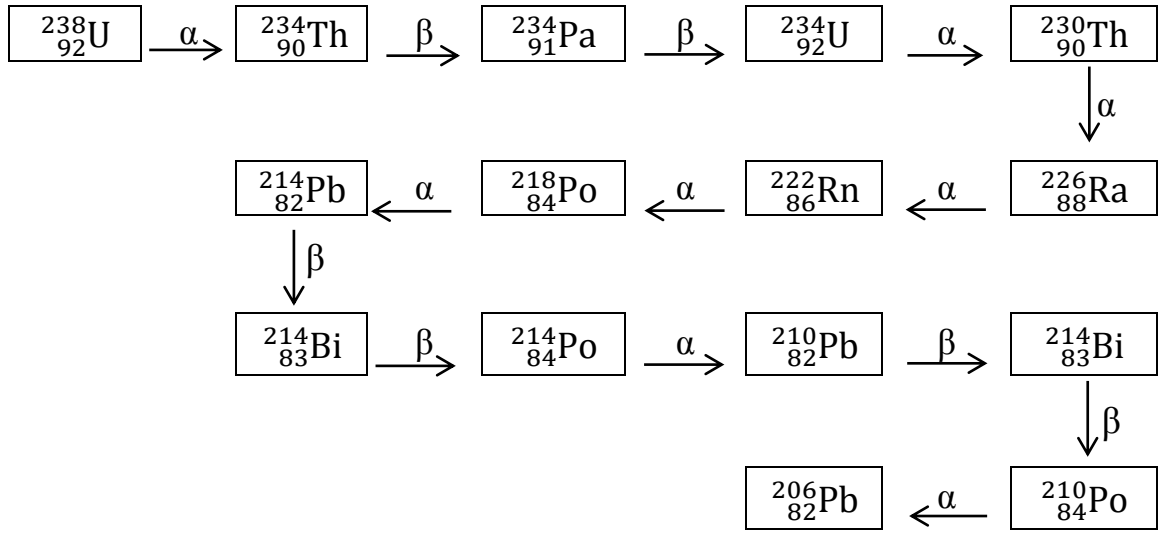
Çizelge 2.2. Bazı başlangıç radyonüklitleri (URL-4).

Başlangıç (primordial) Nüklitler		
Nüklit	Sembol	Yarı Ömür
Uranyum-235	^{235}U	$7,04 \times 10^8$ yıl
Uranyum-238	^{238}U	$4,47 \times 10^9$ yıl
Toryum-232	^{232}Th	$1,41 \times 10^{10}$ yıl
Radyum-226	^{226}Ra	$1,60 \times 10^3$ yıl
Radon-222	^{222}Rn	3,82 gün
Potasyum-40	^{40}K	$1,28 \times 10^9$ yıl

Doğada yaklaşık 40 tane doğal radyoizotop vardır. Atom numaraları 81 ile 92 arasında değişir. Ağır elementlerden oluşan bu izotoplar 3 seri altında toplanırlar. Bunlar; ^{238}U kaynaklı uranyum serisi, ^{232}Th kaynaklı toryum serisi, ^{235}U kaynaklı aktinyum serisidir.

2.4.1.1. ^{238}U kaynaklı uranyum serisi

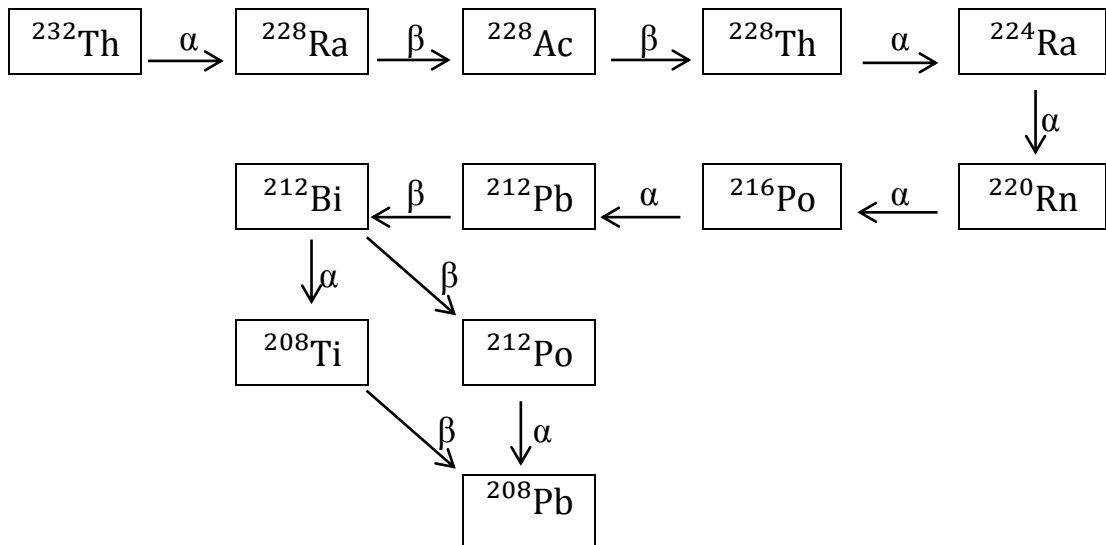
Atomik kütlesi 238 olan doğal uranyum izotopudur. Doğal uranyumdaki ^{238}U ’in miktarı $\sim 99,28\%$, yarı ömrü: $4,5 \times 10^9$ yıldır. ^{238}U 14 adet çekirdeğe bozunur. Bozunma serisinin son ürünü kararlı ^{206}Pb izotopudur. ^{238}U hızlı nötronlarla nükleer zincirleme reaksiyona girer ve atom bombası ve santrallarda kullanılan daha değerli olan plütonyum elde etmekte kullanılabilir. Şekil 2.7’de ^{238}U ’nun radyoaktif bozunma zinciri verilmiştir.



Şekil 2.7. ^{238}U 'nun radyoaktif bozunum serisi.

2.4.1.2. ^{232}Th kaynaklı toryum serisi

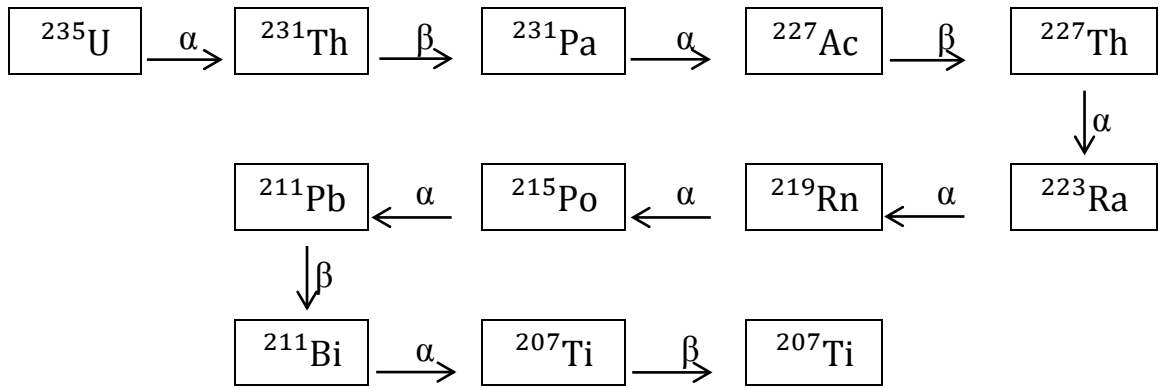
Toryum da uranyum gibi süpernova patlamaları sonucu oluşan radyoaktifliği zayıf olan bir elementtir. Toryum yerkabuğunda düşük oranda bulunur ancak bulunma oranı uranyumdan 4 kat daha fazladır. Suda kolayca çözünebilir. ^{232}Th 12 nükleonlu bir serinin başıdır. ^{238}U bozunma serisi ile arasındaki temel fark, ^{232}Th 'nin zincirdeki çok uzun ömre sahip tek radyonükleit olmasıdır. Şekil 2.8'de ^{232}Th 'nin radyoaktif bozunma zinciri verilmiştir.



Şekil 2.8. ^{232}Th 'nin radyoaktif bozunum serisi.

2.4.1.3. ^{235}U kaynaklı aktinyum serisi

Uranyumun tabiatta bulunan bir doğal izotopu ^{235}U 'dur. Bağıl bolluğu % 0.711'dir. Proton ve elektron sayıları ^{238}U ile eşit (92) olduğundan kimyasal özellikleri tümüyle aynıdır, ama nötron sayısı farklı olduğundan yoğunlukları çok az farklılık göstermektedir. ^{235}U , 11 adet çekirdeğe bozunur ve serinin sonu ^{207}Pb çekirdeğidir. Şekil 2.9'da ^{235}U 'nun radyoaktif bozunum serisi verilmiştir.



Şekil 2.9. ^{235}U 'in radyoaktif bozunum serisi.

2.4.2. Kozmik ışın etkileşimleri sonucu oluşan radyonüklitler

Kozmik radyasyon uzaydan gelen ve yüksek enerjili ağır parçacıklar ile yüksek enerjili foton ve müonlara kadar olan çeşitli parçacıklardan meydana gelir. Daha alt atmosfer, kozmik radyasyonla etkileşir ve radyoaktif nüklitler üretilir. Bunlar uzun yarı ömürlüdür fakat başlangıç nüklitlerine kıyasla ömürleri daha kısadır. Çizelge 2.3'de önemli bazı kozmojenik nüklitler verilmiştir.

Diğer kozmojenik radyonüklitlerden bazıları; ^{10}Be , ^{26}Al , ^{36}Cl , ^{80}Kr , ^{14}Cl , ^{32}Si , ^{39}Ar , ^{22}Na , ^{35}S , ^{37}Ar , ^{33}P , ^{32}P , ^{38}Mg , ^{24}Na , ^{38}S , ^{31}Si , ^{18}F , ^{39}Cl , ^{38}Cl ve $^{34\text{m}}\text{Cl}$ 'dir.

Çizelge 2.3. Bazı önemli kozmojenik nüklitler (URL-4).

Kozmojenik Nüklidler				
Nüklid	Sembol	Yarı Ömür	Kaynak	Doğal Aktivite
Karbon-14	^{14}C	5730 yıl	^{14}N (n, p) ^{14}C arasındaki kozmik ışın etkileşimleri	Organik materyallerde 6 pCi/g (0,22 Bq/g)
Tritiyum-3	^3H	12,3 yıl	N ve O arasındaki kozmik ışın etkileşimleri; ^6Li (n, α) ^3H , kozmetik ışınlardan parçalanma	0,032 pCi/kg ($1,2 \times 10^{-3}$ Bq/kg)
Berilyum-7	^7Be	53,28 gün	N ve O arasındaki kozmik ışın etkileşimleri	0,27 pCi/kg (0,01 Bq/kg)

2.4.3. İnsan üretimi radyonüklitler

İnsanlar uzun yıllardır reaktörlerde, tıpta ve savaş silahlarında radyoaktif maddeler kullanmıştır. Miktarları doğal miktarlara göre küçüktür ve nüklitlerin çoğu kısa yarı ömürlüdür. Nükleer silahların test edilmesinin durdurulmasıyla bu nüklitlerin miktarında belirgin bir azalma görülmüştür. Çizelge 2.4'te insan üretimi olan bazı radyonüklitler verilmiştir.

Bu radyoaktif ağır element serilerinden farklı olarak tabiatta tek başına bulunabilen ve kendilerine has özelliklere sahip olan bazı doğal radyonüklitler de vardır. Bu nüklitlerin temel doğal radyasyon seviyesine katkısı oldukça fazladır. Çizelge 2.5'te bu radyonüklitlerden bazıları gösterilmiştir.

Çizelge 2.4. İnsan üretimi radyonüklitler (URL-4).

İnsan Üretimi Nüklidler			
Nüklid	Sembol	Yarı Ömür	Kaynak
Tritiyum-3	^3H	12,3 yıl	Savaş silahı, fisyon reaktörlerinde kullanılmaktadır.
İyot-131	^{131}I	8,04 gün	Savaş silahı test materyali, fisyon reaktörleri, tiroid hastalıklarının teşhis ve tedavisinde kullanılmaktadır.
İyot-129	^{129}I	$1,57 \times 10^7$ yıl	Savaş silahı, fisyon reaktörlerinde kullanılmaktadır.
Sezyum-137	^{137}Cs	30,17 yıl	Savaş silahı, fisyon reaktörlerinde kullanılmaktadır.
Stronsiyum-90	^{90}Sr	28,78 yıl	Savaş silahı, fisyon reaktörlerinde kullanılmaktadır.
Teknetyum-99	^{99}Tc	$2,11 \times 10^5$ yıl	^{99}Mo ürünüdür. Medikal teşhislerde önemli bir radyoaktif materyaldir.
Plutonyum-239	^{239}Pu	$2,41 \times 10^4$ yıl	^{238}U 'in nötron bombardımanında üretilmektedir.

Çizelge 2.5. Tabiatta tek başına bulunabilen radyonüklitler (Lowder and Sobon, 1956)

İzotop	Yarı Ömür	Yayınlanan Radyasyon	E (keV)	Bağıl Bolluk (%)
^3H	12,4 yıl	β^-	180,0	100
^{14}C	5400 yıl	β^-	155,0	100
^{40}K	$1,3 \times 10^9$ yıl	β^-, γ	1300, 1460,8	90, 10
^{87}Rb	$6,1 \times 10^{10}$ yıl	β^-	250	100
^{115}In	10^{14} yıl	β^-	630	100
^{138}La	7×10^{10} yıl	β^-, γ	1210, 1390	7, 93
^{147}Sm	$6,7 \times 10^{11}$ yıl	α	2180	
^{176}Lu	$6,7 \times 10^{10}$ yıl	β^-	425	
^{209}Bi	$2,7 \times 10^{17}$ yıl	α	3150	

BÖLÜM 3

RADON

3.1. Fiziksel Ve Kimyasal Özellikleri

1900’de Alman kimyacı Friedrich Ernest Dorn, uranyum, radyum, toryum ve polonyumdan sonra 5. radyoaktif element olarak radonu keşfetmiştir. 1903 yılında ise Fransız kimyacı Andre Louis Debierne Aktinyum bozunma serisinde radyoaktif bir gazın üretildiğini gözlemlenmesinden sonra bu gaza aktinon ismi verilmiştir.

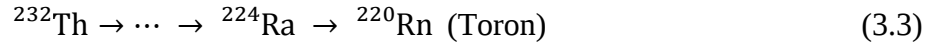
Radon, 86 atom numarası ile periyodik cetvelin soy gazlar sınıfında yer alan, renksiz, kokusuz, tatsız, gözle görülemeyen radyoaktif bir gazdır. Periyodik tablonun 8A grubunda yer alır. Kimyasal olarak tepkimeye girmez, radyoaktif ışıma yapar. Çizelge 3.1’de radonun genel özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.1. Radon atomunun genel özellikleri (Durrani, 1997).

Genel Özellikler	
İsim, Sembol, Atom Numarası	Radon, Rn, 86
Element Sınıfı	Soy gaz
Grup, Periyot, Kabuk	8, 6, p
Görünüm	Renksiz
Standart atom ağırlığı	(222) g.mol ⁻¹
Elektron dağılımı	[Xe] 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ⁶
Yörüngelerdeki elektron sayısı	2, 8, 18, 32, 18, 8

Radon kaya, toprak ve sudaki doğal uranyum ve toryumun bozunması sonucunda oluşur. Bu yüzden radon, tüm yüzey kaya ve toprak parçalarından ve yapı malzemelerinden ortama salınır. Ortalama olarak yılda yaklaşık 200 mrem olarak evlerden ve diğer binalardan soluma yoluyla vücuda alınır. Solunduğunda akciğerlerde kısmen bir değişime uğrar ve akciğerde radyoaktif kalıntılar bırakır.

Aşağıda verilen bozunumlarda da görüldüğü gibi radonun; radon, toron ve aktinon olmak üzere üç adet izotopu vardır.



Bu radyoizotoplardan radonun yarılanma ömrü 3,82 gün, toronun yarılanma ömrü 55,6 saniye ve aktinonun yarılanma ömrü ise 3,96 saniyedir. Toron ve aktinonun yarı ömürlerinin saniyeler mertebesinde olması ve doğada bulunma oranlarının çok düşük olması sebebiyle radon gazı ölçümlerinde genellikle ^{222}Rn izotopu kastedilir.

Radonun donma sıcaklığı $-71\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($202\text{ }^{\circ}\text{K}$), kaynama sıcaklığı $-61,85\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($211,3\text{ }^{\circ}\text{K}$)'dir. Radon donma sıcaklığına kadar ($-71\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-96\text{ }^{\circ}\text{F}$) soğutulursa parlak fosfor rengini alır, sıcaklık daha da azaltılırsa sarımsı renge dönüşür. Havanın sıvılaştığı ($-180\text{ }^{\circ}\text{C}$; $-292,3\text{ }^{\circ}\text{F}$) sıcaklıkta turuncu-kırmızı renk alır. Sıcaklığın azalmasına rağmen kendi iç radyoaktivitesinden dolayı parlar (Durrani, 1997). Çizelge 3.2'de radonun fiziksel özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.2. Radon atomunun fiziksel özellikleri (Durrani, 1997).

Fiziksel Özellikleri	
Fiziksel Hali	Gaz
Erime noktası	$202\text{ }^{\circ}\text{K}$ ($-71,15\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-96\text{ }^{\circ}\text{F}$)
Kaynama sıcaklığı	$211,3\text{ }^{\circ}\text{K}$ ($-61,85\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-79,1\text{ }^{\circ}\text{F}$)
Kritik nokta	$377\text{ }^{\circ}\text{K}$, $6,28\text{ MPa}$
Erime ısısı	$3,247\text{ kJ. mol}^{-1}$
Buharlaştırma ısısı	$18,10\text{ kJ. mol}^{-1}$
Özgül ısı değeri	($25\text{ }^{\circ}\text{C}$) $20,786\text{ J. mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$

Genelde insanlar zamanlarının büyük bir kısmını kapalı mekânlarda geçirdikleri için radona maruz kalmaları önemli bir problem olarak ortaya çıkmaktadır. Açık havada (bina dışında) radon oldukça düşük yoğunluklara kadar seyrelmiş olmakla birlikte kapalı ortamlarda radon yoğunluğu daha yüksektir. Radon yoğunluğu uzun süreli maruz kalındığında insan sağlığını etkileyebilecek seviyelere ulaşabilir.

3.2. Kaya Ve Topraktaki Radonun Bina İçi Radon Konsantrasyonuna Katkısı

Topraktaki radon yoğunluğu; topraktaki radyumun radyoaktivite kütle yoğunluğuna, yayılma gücüne, toprağın gözenekliliğine, geçirgenliğine ve nem içeriğine bağlıdır.

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 yoğunluğunun 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. 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 engeller. Eğer toprakta çatlak bölgeler var ise radon gazı bu bölgelerde çatlaklar vasıtası ile yukarılara doğru etkili bir şekilde taşınır. Büyük kırıklar genellikle deprem bölgelerinde bulunur. Böyle kırık bölgelerde bulunan evlerin radon yoğunluğu oldukça yüksektir.

3.3. Yapı Malzemelerindeki Radonun Bina İçi Radon Yoğunluğuna Katkısı

Bina içi radonun başlıca kaynaklarından biri yapı malzemeleridir. Bütün yapı malzemeleri ^{238}U içerir ve potansiyel radon yayıcılarıdır. Bununla birlikte, bazı malzemeler ^{226}Ra ve ^{238}U 'nun daha yüksek yoğunluklarına sahiptirler. Bu hem doğal

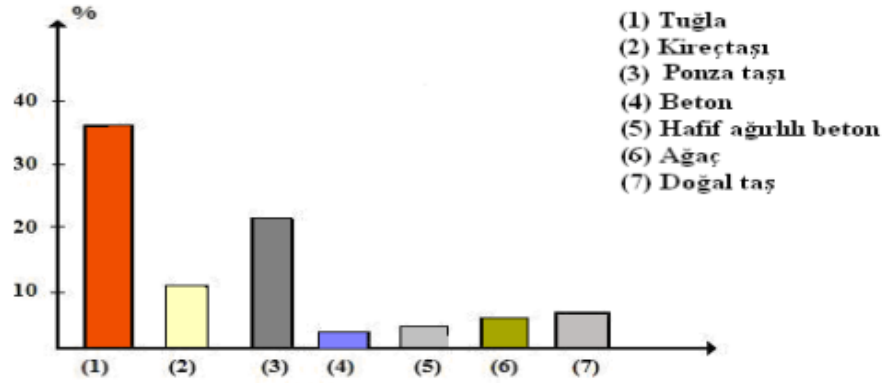
hem de suni materyaller için geçerlidir. Tipik uranyum taşıyan doğal materyaller hiç kuşkusuz granitlerdir; fakat bina materyali olarak kullanılan farklı türden ana kayalarda da her zaman uranyum bulunabilmesi muhtemeldir. İnşaat yapı malzemesi olarak kullanılan bazı yatak taşları da yüksek oranda uranyum içerebilir. Bazı toprak çeşitleri özellikle kil, yüksek oranda uranyum içerebilir. Yapay olarak üretilen beton içinde de yüksek oranda uranyum bulunduran toprak çeşitleri bulunabilir.

Duvardaki gama ışını ölçümü, bir evdeki önemli potansiyel radon yayıcıları duvarlar olduğu için, duvarların kimliklendirilmesinde izlenecek kolay bir yoldur. Işın spektrometreleri, duvardaki radon emisyon miktarını ve yerini kolayca tespit edebilir. Gama ışını detektörünün enerji penceresinin 50 keV ve 3 MeV arasında olması gerekir. Eğer gama ışını yoğunluğu bir duvar için $0,25 \mu\text{Sv.s}^{-1}$ değerini aşıyor ise ilgili duvar önemli bir radon kaynağıdır. Bununla birlikte bu gerçek, bina içi radon yoğunluğunun önemli miktarda olduğu anlamına gelmez çünkü hava değiş-tokuş hızının radon yoğunluğu üzerinde büyük bir etkisi vardır. Bazı alçı türleri yüksek oranda radyum içerir, dolayısı ile yüksek oranda radon yoğunluğu oluşturur. Radyum miktarı da gama ışın spektrometresi ile kolayca tespit edilebilir. Eğer uranyum bakımından zengin madde ufalanarak yüzey ve duvarlarda ince yalıtım malzemesi olarak kullanılmış ise gama ışın spektrometresi radyasyon kaynağının yerini tam tespit edemeyebilir. Uranyum bakımından zengin taşlar kullanılarak yapılan yalıtım malzemeleri evler için önemli bir radon kaynağı oluşturur. Duvarlardaki küçük kanalcıklardan dışarı radon emisyon miktarı, kılcalların büyüklüğüne bağlı olarak değişir. Duvar yüzeyinde bulunan kılcallardan dışarı yönde oluşan radon emisyonu, Denklem 3.4 yardımı ile ifade edilir:

$$E = c. D^{-x} \quad (3.4)$$

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

Şekil 3.1’de Almanya’da yapı malzemelerinin çeşitli türleri için, evlerdeki radon yoğunluğunun 100 Bq/m^3 ’ü aştığı ev sayısına ilişkin bir grafik verilmiştir. Yapılan analizlere göre en çok yapı malzemesi tuğla olan evlerde radon yoğunluğunun 100 Bq/m^3 ’ü aştığı görülmüştür.



Şekil 3.1. Almanya’da yapı malzemelerinin farklı türleri için radon seviyesi 100 Bqm^{-3} aşan evlerin bağlı sayısı (Heller and Poulheim, 1992).

3.4. Sudaki Radonun Bina İçi Radon Konsantrasyonuna Katkısı

Radon suda kolayca çözünen bir gazdır. Bir atmosfer basıncı altında 0°C ’de radonun sudaki çözünürlüğü $510 \text{ cm}^3/\text{kg}$ ’dır. Sıcaklık arttıkça çözünme miktarı azalır. Çözünme miktarı 20°C ’de $230 \text{ cm}^3/\text{kg}$ iken 30°C ’de bu değer $169 \text{ cm}^3/\text{kg}$ ’a düşer (UNSCEAR, 1982).

Suda çözünebilme özelliğinden dolayı radon, su içerisinde kolaylıkla evlere taşınabilir. 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).

Yer altı suyu ile yüzey suları kayalık ve toprak ile karışmış durumdadır. 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 yoğunluğu mümkün mertebe düşürülür. Yerleşim yerinin şebeke suyu yüzey sularından karşılanıyorsa sudaki radon yoğunluğu ortalama 40 Bq/m^3 'den daha azdır. Eğer şebeke suyu yer altı sularından karşılanıyorsa sudaki ortalama radon yoğunluğu $4 - 40 \text{ kBq/m}^3$ arasında değişebilir. Evlere ait kişisel su kaynakları genellikle sondaj kuyusundan bina içerisindeki musluk noktasına kadar kapalı bir sistem ile getirilir. Bu tür suların içerdiği radon yoğunluğu çok yüksek olabilir. Bu, temelde toprağın içerdiği radyonüklit miktarına bağlıdır. Örneğin; içerisinde 400 kBq/m^3 radon yoğunluğu bulunduran bir şebeke suyu musluk ve duşlardan evlere fazladan 40 Bq/m^3 radon salınımına sebep olmaktadır.

Filtre edilmiş yüzey ya da göl suları genellikle halka ait ana su kaynağıdır. Bu durumda halka ait suların içerdiği radon yoğunluğu ya çok zayıf ya da yok denecek kadar azdır.

Su içinde ölçülen yüksek radon yoğunluğu, o bölgede yüksek uranyum miktarı bulunduğu anlamına gelmediği gibi, düşük ölçülen radon yoğunluğu da çevredeki uranyum miktarının az olduğunu göstermez. Radon, gaz olduğu için difüzyon ve diğer yollarla (su, toprak gazı, basınç farkı vs.) taşınarak gittiği yerlerde birikip yüksek yoğunluğa sebep olacağı gibi oluştuğu yerlerde düşük yoğunlukta da bulunabilir.

3.5. Ev İçinde Radon Gazı Dağılımı

Binalara radon; zemindeki çatlaklar, yapı bağlantı noktaları, duvar çatlakları, asma kat boşlukları, tesisat boşlukları ve duvar arası boşluklarından girmekte, ayrıca yapı malzemeleri, mutfakta veya ısınma amaçlı kullanılan doğal gaz ve içme sularında bulunan radon da bina içi radon yoğunluğunu 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 içlerine sızarlar. Topraktaki ve yapı malzemelerindeki ^{226}Ra miktarı, toprak ve yapı malzemelerinin nem oranı, difüzyon potansiyeli, toprakla temasta olan yapının yüzey alanı ve yalıtım niteliği, bina zemini, binadaki havalandırma kapasitesi, iklim koşulları, iç-dış hava sıcaklık ve basınç farkı ve ev halkının yaşam alışkanlıkları binalardaki radon yoğunluğunu etkileyen temel unsurlardır.

Radon gazı genellikle evin bir bölümünde ya da bir odasında yoğunlaşmış olmasına rağmen, havalandırmadan dolayı evin diğer bölümleri içerisine kolaylıkla taşınır. Tek bir kapının sürekli kapalı ya da açık tutulması evin içerisindeki radon taşınmasını iyi veya kötü yönde etkilemek için yeterlidir. Gaz çok küçük hava değişimiyle ya da bu hava değişimi olmadan bile boşluk içerisine doğru hareket eder. Kendi kendine havalandırılmış evlerde gaz konveksiyon etkisi ile evin aşağı kısımlarından üst kısımlarına doğru hava akımı sayesinde akış gösterir. Bununla birlikte ev içerisindeki sıcaklık ev dışındaki sıcaklıktan daha düşük ya da yaklaşık olarak aynı ise konveksiyon etkisi görülmez.

Apartman dairelerinde; bodrum kattaki daire toprağa en yakın ve havalandırması en az olan yerleşim alanı olması sebebiyle, radon yoğunluğu açısından en yüksek değerin bu dairede gözlenmesi gerekir. Toprakta bulunan radon gazı binadaki kırık ve çatlaklardan kolaylıkla bodrum katlarına geçebilir ve havadan daha yoğun olduğu için bodrum katlarında daha çok birikir. Apartman tipi evlerde normal şartlar altında kat sayısı arttıkça radon yoğunluğunun azalması beklenmektedir. Çizelge 3.3'te Almanya'daki bir apartmanda ölçülen radon yoğunluğunun katlara göre değişimi verilmiştir.

Çizelge 3.3. Alman evlerinde farklı katlardaki radon miktarları (Heller and Poulheim'den,1992).

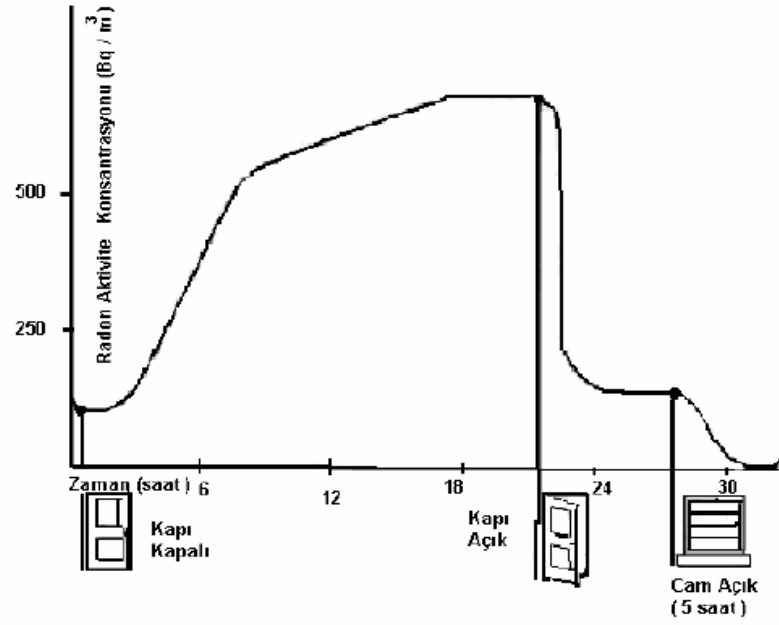
Kat	Bodrum Kat	Zemin Kat	1. Kat	2. Kat	Açık Hava
Ortalama Radon Seviyesi (Bq/m ³)	52	43	38	33	14

Kilerler toprağa çok yakın olması ve en düşük hava değişimine sahip yerler olması sebebiyle bu odacıklarda radon yoğunluğunun en yüksek seviyede gözlenmesi beklenmektedir. Diğer taraftan, mutfak normalde en iyi havalandırmaya sahiptir ve yemek pişirmek için kullanılan doğal gaz olmadıkça en düşük radon seviyesine sahip olması beklenmektedir.

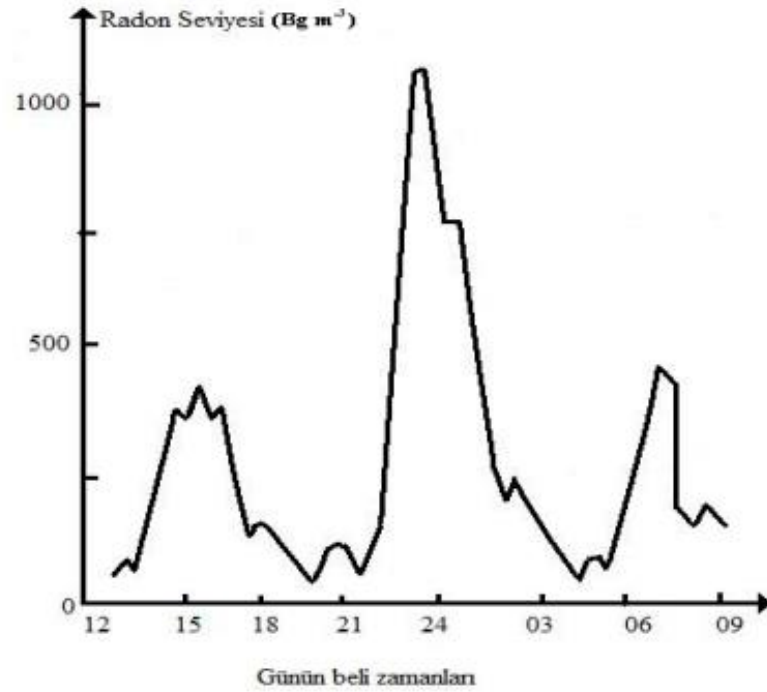
3.6. Evlerde Radon Seviyelerinin Kısa Süreli Değişimleri

Güneşin doğuşu ile birlikte gündüz yeryüzünü ısıtır, güneşin batışı ile gün batımında yeryüzü tekrar soğumaya başlar. Gece yüzeyde oluşan serin hava yüzeyde radon gazının birikmesini sağlar. Gündüz ısınan hava yükselirken radon gazını da birlikte yukarı taşır. Yapılan araştırmalarda açık havadaki radon yoğunluğu güneş doğduktan kısa bir süre sonra en yüksek değerine çıkmaktadır. Tam aksine güneş batmadan kısa süre önce açık hava radon yoğunluğu en düşük değerindedir.

Havalandırma evlerdeki radon yoğunluğunu belirleyen en önemli faktörlerden biridir. Sadece doğal olarak havalandırılan evlerde hava durumu evdeki radon yoğunluğunu etkiler. Hava durumuna göre oluşan basınç farklılıkları hava akımının yönünü belirler. Rüzgârlı havalarda hava akımı fazla olduğundan evlerdeki radon oranı azalır. Rüzgarsız havalarda zayıf hava akımı oluşur, ev içi radon yoğunluğu artar. Evlerdeki yüksek radon yoğunluğunun ana kaynağı topraktan gelen radon gazıdır. Evlerdeki radon miktarı evdeki bireylerin yaşam stillerine göre de değişir. Evin düzenli olarak havalandırılması ve mutfak fanlarının çalışması, evdeki radon miktarını azaltacak yönde belirli bir etki yapar. Evde yakıt doğrudan yakılarak ev ısıtılmıyorsa eve düzenli olarak taze hava girmesi gerekir, bu vesile ile radon yoğunluğu da dengelenmiş olur. Kışın evin içi sıcak, dışarısı soğuk olduğundan ve evin yeterince havalandırılmamasından dolayı ev içinde oluşan alçak basınç radon yoğunluğunu artırır. Kısa süreli yapılan havalandırma ile evdeki radon yoğunluğu azalır, ancak radon yoğunluğu hızlıca tekrar artar. Şekil 3.2'ye göre havalandırma yolları kapandığında ev içi radon yoğunluğu artmakta kapı ve pencerenin açılması ile radon yoğunluğu hızlıca azalmaktadır (Durrani, 1997). Şekil 3.2'te kendinden havalandırılmalı bir evdeki bina içi radon yoğunluğunun hızlı değişimi gösterilmektedir.



Şekil 3.3. Ev içi radon yoğunluğunun havalandırmaya bağlı değişimi (URL-3).

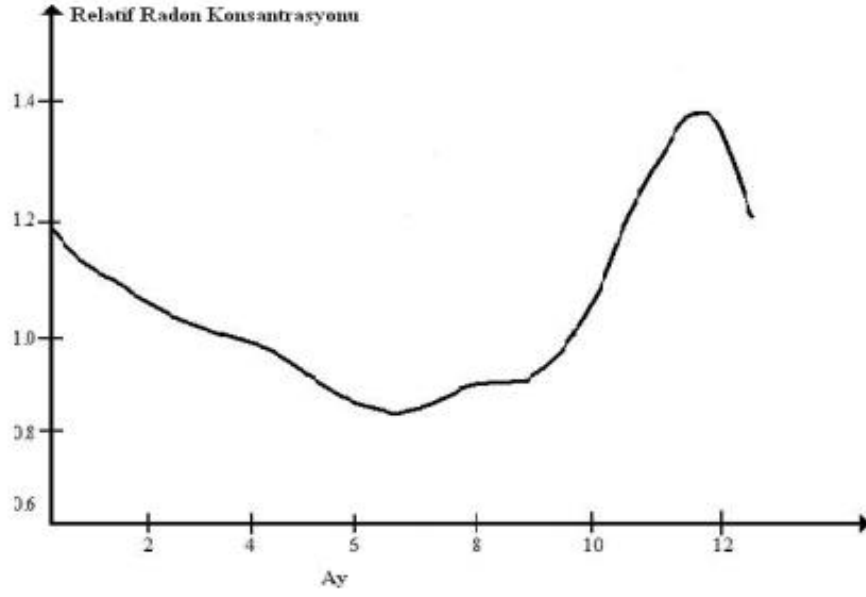


Şekil 3.4. Kendinden havalandırmalı bir evdeki bina içi radon yoğunluğunun hızlı değişimi (Jönsson, 1992; Durani and Bull, 1987).

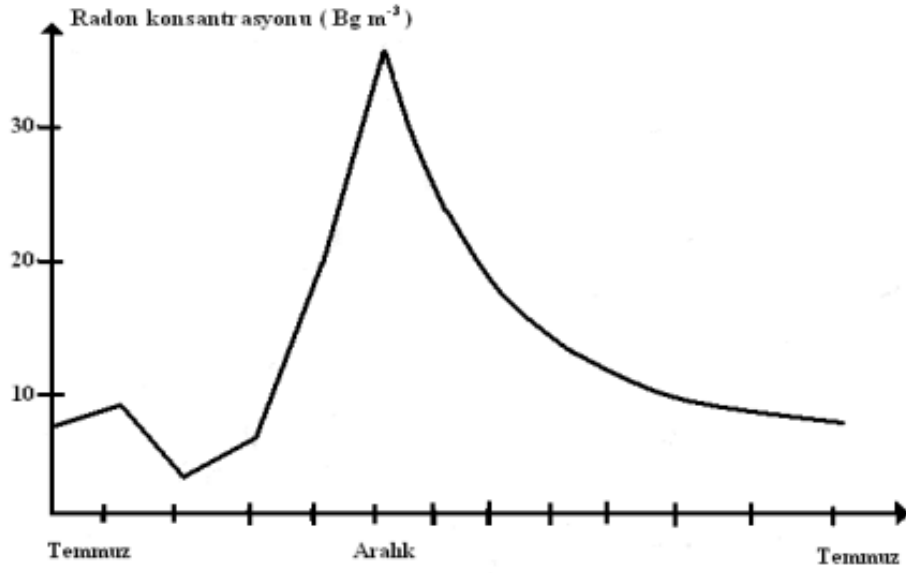
3.7. Ev İçi Radon Yoğunluklarının Mevsimsel Değişimleri

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. Radon bir gaz olduğu için, bir evdeki havalandırma bina içi radon seviyesine etki edecek önemli bir faktördür. Kendinden havalandırmalı evlerde, dışarıdaki hava şartları içerideki havalandırma hızını değişken kılar. Evin bir bölümünde negatif bir basınç ya da bir basınç gradienti ortaya çıkabilir. Özellikle doğal havalandırmalı evlerde bina içi radon seviyeleri mevsimsel bir değişim gösterir. Yaz aylarında, açık havadaki 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 ev içinde 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 3.4 ve Şekil 3.5, Almanya ve Hindistan'da yapılan araştırmadan elde edilen sonuçları içermektedir ve bir yıl süresince radon yoğunluğunun değişimini gösterir. Ağustos ayının sonlarında 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 beklenen bir durumdur. Bununla birlikte kış aylarında toprağı donan ülkelerde doğal havalandırmalı evlerdeki baca etkisi, topraktaki radonun bina içerisindeki havaya akış miktarını arttırabilir. Toprak radon yoğunluğu için en önemli etken olduğu için ve kış aylarında evlerin yeterince havalandırılmaması sebebiyle kış aylarında radon yoğunluğunun en yüksek değerde gözlenmesi normaldir.



Şekil 3.5. Almanya’da bina içi radon yoğunluğunun yıllık değişimi (Heller and Poulheim, 1992; Durani and Bull, 1987).



Şekil 3.6. Hindistan’daki bina içi radon konsantrasyonunun yıllık değişimi (Ramachandran et al., 1990; Durani and Bull, 1987).

3.8. Radonun Sağlık Üzerine Etkileri

Radon topraktan moleküler difüzyon veya konveksiyonla sızarak yerden havaya doğru hareket etmekte ve atmosfere ulaşmaktadır. Ancak bir kısmı yüzey altında kalıp, suda çözünerek yeraltı sularına karışmaktadır. Havadaki radonun dağılımı meteorolojik şartlara bağlı olmakla birlikte radon yoğunluğu yükseklik parametresiyle birlikte azalmaktadır. Radon bir seri bozunma ile yine radyoaktif olan kısa ömürlü bozunma ürünleri üretir. Bu radyoaktif maddeler Po, Bi ve Pb elementlerinin radyoizotoplarıdır. Bu ürünlerin radondan farkı gaz halinde olmamalarıdır. Bu izotoplar havadaki tozlara ve su damlacıklarına tutunarak radyoaktif aerosoller oluşturmakta ve solunum yoluyla akciğerlere alınmaktadır. Bozunma ürünleri kararlı hale gelinceye kadar bozunma devam eder; bozunma sürecinin her aşamasında radyasyon salımı olur. Solunum borusunda olan bozunma sonucunda, bronşal epiteldeki radyasyon dozu artar. Bozunma ürünlerinin bazılarının alfa yayıcısı olmaları nedeniyle, alfa radyoaktivitesinin biyolojik etkileri önem kazanmaktadır.

Radonun reaktivitesi zayıftır. Bu nedenle teneffüs edildiğinde dokulara kimyasal olarak bağlanmaz. Ayrıca, dokulardaki çözünürlüğü çok düşük olduğundan solunmuş radonun radyotoksitesi gaz olmayan radyoizotoplara göre (radon bozunma ürünleri) daha düşüktür. Ancak, radon ve bozunma ürünlerinin solunması önemli bir sağlık riski oluşturmaktadır. Solunum sisteminde ortaya çıkan bozunma sonucunda, bronşal epiteldeki radyasyon dozu artmakta, bozunma ürünleri kararlı hale gelinceye kadar bozunma devam etmekte ve bu sürecin her aşamasında radyasyona maruz kalınmaktadır. Bu ise, akciğer dokusunda hasara, dolayısıyla, zaman içerisinde kansere sebep olabilmektedir. Solunum sistemindeki radyasyon dozu; solunmuş havadaki radon ve bozunma ürünlerinin yoğunluğuna, toz içerisindeki parçacıkların büyüklüğüne ve fizyolojik parametrelere bağlıdır. Solunum sisteminde radon bozunma ürünlerinin alfa bozunması ile alınan radyasyon dozu, yalnızca radonun bozunmasıyla meydana gelen dozdan 100 kat daha fazladır. Aynı şekilde, solunmuş toron bozunma ürünlerinden kaynaklanan doz, yalnızca toron bozunumundan kaynaklanan dozun 500 katıdır. Epidemiyolojik çalışmalar, yüksek seviyede radon ve bozunma ürünleri dolayısıyla radyasyona maruz kalmış bireylerde akciğer kanseri oranlarının yüksek olduğunu göstermiştir. İngiltere Milli Radyasyondan Korunma Komitesi (NRPB), İngiltere'deki yıllık toplam 41.000 akciğer kanserinden en az 2.500'ünü, ABD Halk Sağlığı Servisi ise

yıllık akciğer kanseri vakalarının, sigara içmeyenlerden 5.000, sigara içenlerden ise 15.000'ini, Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi (ICRP) ise toplam akciğer kanserlerinin %10'unu radona bağlamaktadırlar. Ancak bu durum yüksek dozda radona maruz kalmış herkesin akciğer kanserine yakalanacağı anlamına gelmemekte ve maruz kalınma ile hastalığın oluşması arasında geçen zaman yıllarca sürebilmektedir.

Sigara, kanser riskini arttırmaktadır. Hem sigara içip hem de yüksek dozda radona maruz kalmış kişilerde kansere yakalanma riski oldukça yüksektir. Sigaranın bırakılıp, maruz kalınan radon seviyesinin düşürülmesiyle kanser riski azaltılacaktır.

BÖLÜM 4

RADON GAZI ÖLÇÜMÜ

Doğal radyoaktif gaz olan radon renksiz, kokusuz, tatsız olması sebebiyle sadece bu amaç için tasarlanmış özel cihazlarla ölçülebilir. Radon yoğunluğunun ölçümüyle ilgili birçok araç, gereç ve yöntem vardır Radon gazı ve radon gazının bozunması ile oluşan ürün çekirdekler çoğunlukla alfa aktiftir. Bu sebeple radon ve ürünlerinin ölçümünde genellikle alfa sayımı tercih edilmektedir. Radon atomlarından bozunma ile oluşan bazı ürün çekirdekler (^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{210}Pb , ^{210}Bi) alfa ışımasının yanında beta ve gama ışıması da yapar. O halde radon gazı ölçümleri, bozunma ile oluşan α , β ve γ ışımalarının tespitine dayanır.

Radon gazı ölçümleri iki ana bilimsel alanda yoğunlaşmaktadır. Bu alanlar sağlık fiziği ve yerbilimlerinden oluşmaktadır. Sağlık fiziği alanında yapılan araştırmalar radon gazının insanlar üzerinde sebep olabileceği farklı kanser türleri üzerinde yoğunlaşmıştır. Radon gazının sağlık etkileri üzerine yapılan bilimsel araştırmalar her geçen gün logaritmik olarak artmaktadır. İkinci kısımda yapılan araştırmalar ise daha çok depremler, yer altı uranyum rezervleri, hidrokarbon yatakları ve volkanik faaliyetler ile ilgilidir (Durrani, 1997).

4.1. Ölçüm Teknikleri

Radon ve ürünlerinin aktiviteleri belirlenirken yaydıkları alfa radyasyonunun dedekte edilmesi gerekmektedir. Bu yöntemlerin bir kısmı doğrudan arazide bir kısmı da araziden getirilen numunelerin değerlendirilmesi ile uygulanmıştır.

Radon ve radon bozunma ürünleri ölçüm yöntemleri, örnekleme sürelerine göre aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

- Grab örnekleme: Günün farklı saatlerinde, yılın farklı mevsimlerinde yapılan bina içi radon ve ürünleri ölçümlerinde kullanılır. Örnekler kısa bir zaman periyodunda (10 dk. gibi) toplanır ve 4 saat içinde analiz edilir.
- Entegre örnekleme: Günlük, haftalık, aylık, yıllık periyotlarla radon ve ürünlerinin ölçümleri için kullanılır. Ölçüm periyodu süresince alınan ortalama yoğunluğu gösterir.
- Sürekli örnekleme: Radon ve bozunma ürünleri için sürekli sayım metodunda örnekleme ve analiz aynı zamanda yapılır. Bu yöntem radon yoğunluğunun hızla değişebildiği ve önemli olduğu yerlerde yararlıdır. Ancak bu sistemler karmaşık ve pahalıdır.

Yukarıda belirtilen örnekleme esas alan cihaz ve sistemler geliştirilmiştir. Radon ölçümünde kullanılan sistemler:

- Akım ve hızlı puls tipi iyonizasyon odaları,
- ZnS(Ag) gibi sintilasyon detektörleri,
- Silikon yarı iletken detektörler ile alfa spektroskopisi,
- NaI(Tl) sintilasyonu veya GeLi yarı iletken spektrometreleri ile gama spektroskopisi,
- Nükleer iz kazıma detektörleri ile alfa sayımı,
- Kristal veya seramik termoluminesans maddelerle radyasyonun etkisinin izlenmesi (URL-3).

4.2. Katı Hal İz Detektörleri

Katı hal iz kazıma detektörleri ile alfa sayımı, kapalı ortamlarda radon yoğunluğunun belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan en ucuz yöntemdir. Tespit edilebilir her alfa parçacığı detektör üzerinde bir iz bırakır. Kimyasal işlemler yardımı ile bu izler büyütülür ve optik mikroskop altında gözlemlenir. Katı hal iz detektörleri bozunma sonucu oluşan alfa parçacıklarına duyarlıdır. Film üzerindeki iz sayısı, ortamdaki alfa yayımlayıcı radyonüklidlerin sayısı ile doğru orantılıdır. Böylece uygun kalibrasyon ve hesaplama tekniği ile iz sayısından ortam radon yoğunluğunu bulmak mümkün olmaktadır. Radon gazı ölçümlerinde kullanılan detektörler genellikle Selüloz

Ester (Nitrat ve Asetat), Polikarbonat ve CR-39'dur. Katı hal iz detektörleri beta ve gama ışınlarına karşı duyarlı değildir. Bu ışınlar katı hal iz detektörleri üzerinde kazınabilir iz oluşturmaz.

Kapalı ortamlara yerleştirilen pasif radon detektörlerinin analizi ve değerlendirilmesi sonucu binalarda radon azaltıcı önlemlerin alınması mümkün olur. Riskin genel değerlendirilmesini sağlayan oldukça düşük maliyetli bu yöntemle radon ölçüm detektörleri özellikle oturma ve yatak odaları olmak üzere kişilerin uzun süreli olarak kullandıkları yerlere yerleştirilir. Pasif radon detektörlerinin nadiren kullanılan yerlere konulmaması gerekir. Çünkü bu alanlarda yapılan ölçümler gerçek sonuçları yansıtmaz.

Katı hal iz detektörlerinin en büyük eksikliği zamana bağlı anlık sonuçlar vermemeleridir. Meteorolojik değişimlerin topraktaki radon gazı seviyelerindeki etkisinin yanı sıra, hava koşullarına bağlı olarak ve havalandırma alışkanlıklarındaki değişimler sonucu alınacak en iyi ölçümler, kısa dönemli ölçümler yerine birkaç aylık dönemi kapsayacak ölçümlerdir.

4.3. İz Detektörlerinin Tasarlanması

Bütün dünyadaki radon ölçümleri genellikle plastik iz detektörü kullanılarak gerçekleştirilir. Bu yaygın kullanımın sebepleri çok basittir. Bu detektörler küçük (tipik olarak 1cm x 1cm, ~ 100–500 µm 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.

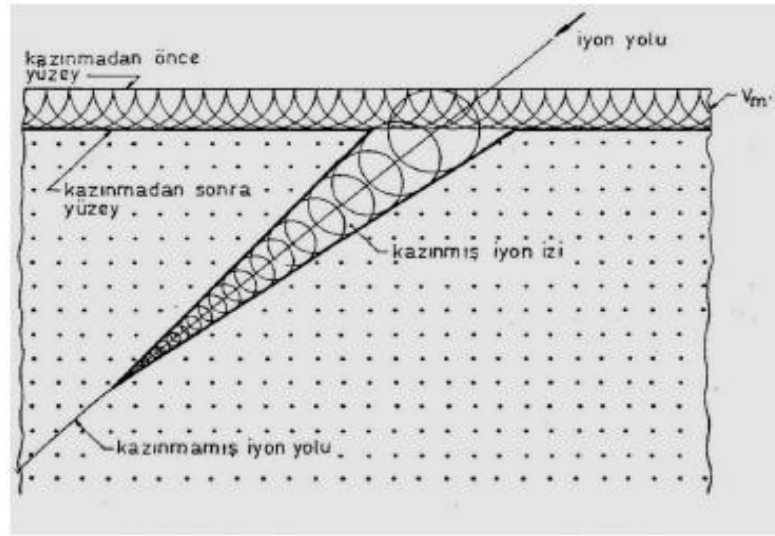
Pasif detektörler, kapalı ve açık olmak üzere iki şekilde kullanılır. Kapalı detektör sistemlerinde radon atomlarının detektör içine girmesine müsaade edilirken radon ürün çekirdeklerinin içeri girmesi engellenir. Kapalı kap içinde bozunan radon atomları detektör üzerinde yoğunlukla doğru orantılı izler oluşturur. Bu tip detektörlerin kalite kontrolleri kolayca yapılabilir. Detektör maddesi ışıktan ve çevresel kirlilerden uzak tutulur. Farklı kapalı detektör tasarımları bulunmaktadır. Tasarım, radon

atomlarının detektör yüzeyine ulaşması ve istenmeyen parçacıkların ise engellenmesi mantığına dayanır. Yapılan çalışmalara göre kapalı detektörler içindeki yüklü parçacıklar detektörlerin verimliliğini etkilemektedir (Urban, 1986). Radon atomları bozunduğunda yüklü alfa parçacıkları oluşur ve bu parçacıklar ortamdaki diğer yüklerden etkilenir. Ortamda bulunan elektrik yükleri alfa parçacıklarının detektörle etkileşme noktalarını etkileyebilmektedir. Kapalı kap içinde bulunan farklı yük miktarları aynı ortamda farklı sayıda iz yoğunluğu oluşturmaktadır. Detektör kabında istenmeyen yük miktarlarını azaltmak için iletken plastikler veya metal kaplar kullanılabilir. Yük birikmesini önlemek için detektör yüzeyinin iletken olması gerekir veya detektörler iletken bir solüsyona daldırılabilir. % 0,2'lik deterjanlı su bu işlem için yeterlidir.

Açık detektörler kapalı detektörlere göre radon ve ürün çekirdeklerine daha duyarlıdır. Duyarlılık, aynı zamanda detektör maddesine de bağlıdır. CR-39 olarak bilinen radon dedektörünün kimyasal adı polyallyl diglycol karbonat (PADC) ve kimyasal sembolü ise $C_{12}H_{18}O_7$ dir. CR-39 detektörleri havada bulunan tüm alfa parçacıklarından iz oluşturabilir. CR-39'un duyarlılığı atmosferik durumlara bağlıdır. CR-39'un açık olarak kullanılması tavsiye edilmez. LR-115 açık olarak kullanılan bir detektördür. LR-115 1,7-4,1 MeV enerji aralığındaki alfa parçacıklarına karşı duyarlıdır (Jönsson, 1981). Radon atomlarının bozunması sonucu oluşan ürün çekirdekler film üzerine yapıştıktan sonra bozunursa kazınabilir iz oluşturmaz. LR-115 üzerinde, yüzeyden belirli uzaklıkta bozunarak oluşan alfa parçacıklarından iz oluşur. Verilen enerji aralığının dışındaki alfalar kazınabilir iz oluşturmaz. Bu tip detektörler atmosferik koşullardan bağımsız olarak ortamdaki radon yoğunluğu ile doğru orantılı iz oluşturur. LR-115 açık olarak uygulandığından çevresel faktörlerden daha fazla etkilenir ve deformasyona uğrama olasılığı daha yüksektir. LR-115'in uzun süreli güneş ışığına direk maruz bırakılmaması gerekir. Güneş ışınları detektör yapısını bozmaktadır (Durrani, 1997).

4.4. Detektör Üzerinde İz Oluşumu

Yüklü taneciklerin oluşturduğu izlerin kimyasal işlemler sonucunda sahip oldukları şekil ve oluşan çukurun yarıçapı iki parametreye bağlıdır. Birinci parametre, detektörün yapıldığı maddenin karakteristik özelliğine, kullanılan kimyasalların molaritesi ve sıcaklığına bağlıdır. İkinci parametre ise yüklü parçacığın karakteristik (yüklü parçacığın cinsi, enerjisi, yörüngesi, yük miktarı) özelliklerine bağlıdır. Şekil 4.1’de detektörde iz oluşumunun kimyasal işlemleri gösterilmiştir.



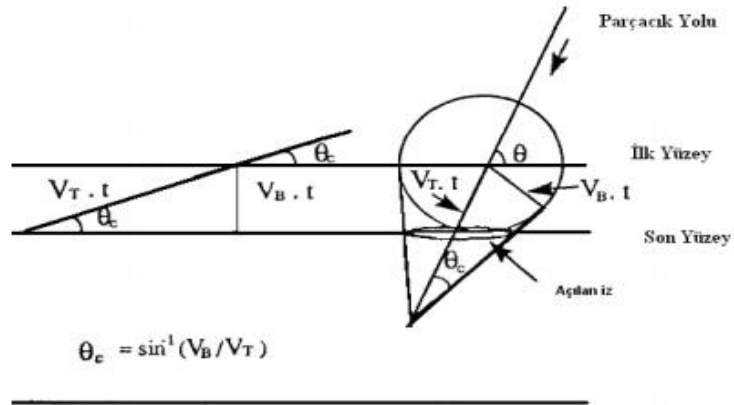
Şekil 4.1. Kimyasal işlemler yardımı ile iz oluşumu (Durrani and Bull, 1997).

Kimyasal kazıma sürecinde iki farklı hız tanımlanır. Bunlardan birincisi V_B (bulk etching velocity), detektör materyalinin yapısına bağlı olarak değişen, kimyasal maddenin kazıma hızıdır. İkincisi ise V_T (track etching velocity), yüklü parçacığın karakteristik yapısına bağlı olarak detektör materyalinde iz kazıma hızıdır. 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 4.2 ile daha kolay açıklanabilir.

Detektör üzerinde yüklü parçacıkların meydana getirdiği izlerin gözlenme ihtimali $\cos^2 \theta_c$ bağıntısı ile verilir. θ_c iz oluşumu için yüklü parçacığın detektör yüzeyi ile yaptığı en küçük açı değeri olarak tanımlanır. Ortamdaki iz kazıma hızı V_T 'nin değeri, yüklü parçacığın enerjisi ve türünün bir fonksiyonudur. Kazıma sürecinde kimyasal madde detektör yüzeyinde dikey olarak $V_B.t$ yolunu almıştır. Bu süreçte yüklü parçacığın yörüngesine bağlı V_T hızı menzilin sonuna gelmiştir. 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;

$$\frac{V_T}{V_B} = \frac{1+x^2}{1-x^2} \quad (4.1)$$

oranı denklemdeki gibidir (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 $D = 2 V_B.t$ '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.



Şekil 4.2. Kazıma kritik açısı (Durrani and Bull, 1987).

4.5. Kimyasal İz Kazıma

Tarihte ilk defa iz kazıma yöntemi 1958 yılında Young tarafından kullanılmıştır. Yapılan çalışma bilim çevresi tarafından 1962 yılına kadar fark edilememiştir. Price ve Wolker 1962 yılında kimyasal solüsyonlar kullanılarak alfa parçacıklarının oluşturduğu izin genişletilip optik mikroskop altında görülebileceğini göstermiştir. İşte bu süreçte iz kazıma yönteminin daha önce Young tarafından yapıldığı fark edilmiştir.

Organik detektörlerin yapıldığı maddeler, selüloz nitrat (LR-115, CN 85), Bisphenol-A, Polcarbonate (Lexan, Makrofol), Pollyallyl Di-Glycol Carbonate (PADC) maddelerinden oluşmaktadır. PADC, aynı zamanda CR-39 olarak bilinir. CR-39 çok geniş enerji aralığındaki alfa parçacıklarına karşı duyarlıdır.

Katı hal nükleer iz detektörlerinde (SSNTD) kimyasal kazıma ve elektrokimyasal kazıma olarak bilinen metotlar vardır. Kimyasal kazıma en yaygın olarak kullanılan ve en temel metottur. Alfa parçacıkları plastik film üzerinde gizli iz (hasar) bırakır. Bırakılan bu izler normal sıcaklıklarda uzun ömürlüdür. Alfa parçacıklarının film üzerinde oluşturduğu hasarlar 0 °C'nin altında ve yüksek sıcaklıklarda uzun süreli kalıcıdır. Alfa parçacığı film ile etkileşmeye başladıktan sonra enerjisini yavaş yavaş kaybeder ve kaybettiği enerjiyi ortama aktarır. Alfa parçacığının

yörüngesinin sonuna doğru Bragg piki oluşur. İzler birtakım kimyasal işlemler sonucu sayılmaya hazır hale gelir.

Kimyasal kazıma genellikle sıcaklığı kontrol edilen (sıcaklığı 40 °C ile 70 °C arasında değişebilir) termostatlı bir film banyosunda uygulanır ve en yaygın olan dağlama çözeltisi molaritesi (derişimi) 2-6 M arasında değişen NaOH'un (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 çözeltiye 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 birbirlerine 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 çözeltiden alınır, akıcı su ile yıkanır ve tercihen detektör, üzerindeki kazıma kalıntılarından kurtulmak için birkaç dakika kadar küçük bir ultrasonik banyoda (distillenmiş su kullanılan) çalkalanır. Yaklaşık yarım saatlik kurutma işleminden sonra, detektörler bir optik mikroskop altında okunmaya hazır hale gelir. Kimyasal yöntem kullanılarak kazınmış detektör üzerindeki iz çapları mikroskopta büyütülerek bilgisayara yansıtıldığında, ekrandaki görüntü yaklaşık olarak 1 mm civarındadır.

4.6. İz Sayma Metodu Ve İstatistiksel İncelenmesi

Radon çalışmaları için istatistiksel olarak güvenilir değerler elde etmek için detektör üzerindeki kazınmış izlerin sayılması çok önemli bir gereksinimdir. Mutlak değerlerden ziyade sadece rölatif değerler normal olarak gereklidir. İzlerin üst üste

binmesinin meydana gelme olasılığı yok denecek kadar azdır. Kazıma çukurlarının boyutları ve şekli alfa parçacığının detektöre geliş açısına bağlı olarak değişmekle birlikte, çoğunluğu eliptik geometriye sahiptir. Bununla birlikte detektör yüzeyine dik olarak gelen alfa parçacıkları dairesel şekilli kazıma çukurları meydana getirebilirler. Çukur açısı detektörün yüzeyi ile ilgili olarak iz açısıdır. Bu açı θ_c açısının kritik değerine kadar inebilir. Bununla birlikte alfa parçacıklarının havadaki menzili 0-4 cm arasında değiştiğinden alfa parçacıklarının detektör yüzeyinde meydana getirdiği kazıma çukurlarının en son halinin boyutu (çapı), kazıma şartlarına bağlı olarak sıfırdan birkaç μm 'ye kadar değişebilir. 0 cm uzaklıktan gelen alfa parçacığının oluşturduğu iz kimyasal işleminden sonra 0,3 μm civarındadır. Bu değer optik mikroskop için görülebilir sınır değeridir. Daha küçük izler optik mikroskopta gözlemlenemez. Ölçüm yapılırken çok küçük kazıma çukurları ihmal edilebilir. Bununla birlikte ağır yüklü parçacıklardan kaynaklanan iz kazıma çukurları ve background kusurları ayırt etmek de gereklidir. Bu kusurlar ve çukurlar plastik detektör yüzeyinin üzerinde her zaman vardır ve kazıma işlemi ile büyürler. Ardı ardına sıralanmış incileri andıran izler de iz sayımına tabii değildirler. Sayım işini yapan gözlemcilerin gerçek iz ile film kusurlarını ayırt edebilmesi gerekir. Gerçek izler daha parlak, yuvarlak ya da eliptik noktacıklar şeklinde olurken film kusurları daha soluk, lekeli ve irili ufaklı noktacıklar olabilir. Gerçek iz kazıma çukurları mikroskobun odaklanma 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. Gerçek izlerle film kusurları parlaklık ve düzgün geometri yönü ile kolayca ayırt edilebilir. Gerçek izler bir iğne batması şeklinde olurken film kusurlarının özel bir şekli olmaz. (Can, 2011; Soğukpınar, 2013)

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/cm^2 ise o zaman background izleri ihmal edilebilir bir hata katkısı verir. Örneğin background iz yoğunluğu 40 ve gerçek iz yoğunluğu 1000 kabul edilirse;

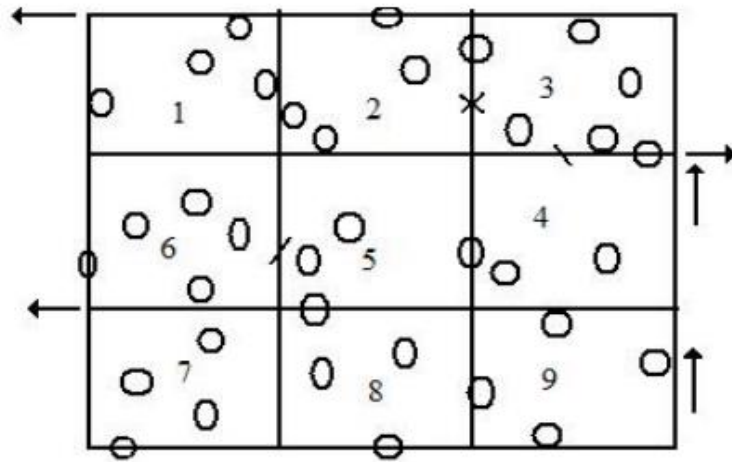
$$(1000 \pm \sqrt{1000}) - (40 \pm \sqrt{40}) = 960 \pm \sqrt{1040} \quad (4.2)$$

bağıntısı ile verilir. 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 görecekt uygun bir mikroskop kullanılmalıdır. Mikroskobun okuma alanı sabit olmalıdır. Radyasyona maruz kalmış ve kazıma işlemine tabi tutulmuş detektördeki izler, detektörü 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 4.3). 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. Örneğin eğer sayım sayısı 400 iz ise, standart sapmanın hatası % 5'tir. Eğer $A=10^{-3} \text{ cm}^2$ alanlı bir bölgedeki sayılmış izlerin sayısı 400 ($N=400$) ise, o zaman iz yoğunluğu,

$$\rho = \frac{N \pm \sqrt{N}}{A} = \frac{400 \pm 20}{10^{-3}} = 4 \times 10^5 \pm \%5 (\text{iz} \times \text{cm}^{-2}) \quad (4.3)$$

ile verilir.



Şekil 4.3. Optik bir mikroskop ile izlerin sistematik taranması (Durrani, 1987).

Şekil 4.3'te film üzerindeki izler kareler içinde gösterilmiştir. İz sayımı yapacak gözlemcilerin önce mikroskobun optik kısmını ayarlayarak 1 numaralı kareye getirmesi gerekir. Buradan hareketli sahneyi yavaşça ok yönünde (sol tarafa) hareket ettirerek 2 ve 3 numaralı karedeki izler sayılır. Sonra kendi belirlediğimiz referans noktalarına göre sahneyi y ekseninde (yukarı) hareket ettirip ardından sahneyi sağa hareket ettirerek sırasıyla 6, 5 ve 4 numaralı kareleri saydıktan sonra sahneyi tekrar y yönünde (yukarı) hareket ettirip önce 7 daha sonra 8 ve 9 numaralı kareleri sayarak iz sayım işlemi tamamlanır. İzlerin sayımı esnasında netlik bozulabilir, izleri sayan kişinin her sahne değişiminde netlik ayarı yapması gerekebilir. Eğer izler çok fazla ise her yüz izi kayıt altına alarak sayma işlemine devam edilebilir. İzlerin fazla olması durumunda izlenecek bir diğer yol ise, belirli sayıda sırayı sayıp diğer sıralar için ortalama almaktır (Durrani, 1987).

BÖLÜM 5

ESKİŞEHİR İLİ İLÇELERİNDEKİ EVLERDE RADON GAZI ÖLÇÜMÜ VE MEVSİMSSEL DÜZELTME FAKTÖRÜNÜN HESAPLANMASI

5.1. Eskişehir İlçelerinin İklim Ve Jeolojik Yapısı

Eskişehir, 30° 31' doğu boylamı ile 39° 47' kuzey enlemi arasında, İç Anadolu Bölgesi'nin kuzeybatısında yer almaktadır. Kuzeyde Karadeniz, kuzeybatıda Marmara, batı ve güneybatıda Ege Bölgesi ile komşudur. Eskişehir ili, güneyden Afyonkarahisar'ın Emirdağ ve İnsaniye, güneydoğudan Konya'nın Yunak, doğudan Ankara'nın Polatlı, Nallıhan ve Beypazarı, kuzeybatıdan Bolu'nun Göyök, batıdan Bilecik'in Gölpaazarı, Söğüt, Bozüyük ilçeleri ve Kütahya ile çevrelenmiş durumdadır.

Eskişehir, merkezi nüfusu 631.905, merkez yüz ölçümü 2.678 km², toplam yüzölçümü 13.653 km², deniz seviyesinden yüksekliği ise 788 m'dir. Yaklaşık % 22'sini dağların oluşturduğu ilin, yeryüzü şekilleri içinde ovaların payı % 26 dolayındadır. Şekil 5.1'de Eskişehir'in Türkiye haritasında gösterimi verilmiştir.



Şekil 5.1. Türkiye haritasında Eskişehir'in gösterimi.

Eskişehir’de sırasıyla Alpu, Beylikova, Çifteler, Günyüzü, Han, İnönü, Mahmudiye, Mihalgazi, Mihalıççık, Sarıcakaya, Seyitgazi, Sivrihisar olmak üzere toplam 12 adet ilçe bulunmaktadır.

Alpu İlçesi; doğuda Beylikova, batıda merkez ilçe, kuzey batıda Sarıcakaya, güneyinde Mahmudiye, kuzeyde ise Ankara ile çevrilidir. Eskişehir’e uzaklığı yaklaşık 41 km’dir. Belediye teşkilatının kuruluşu 1955’tir. 1987 yılında ilçe olmuştur. Yüzölçümü yaklaşık 936 km², deniz seviyesinden yüksekliği 765 m’dir. Nüfusu 2013 yılı sayımına göre 12.070 olup nüfusun 7.954’ü (% 65,9) köylerde, 4.116’sı (% 34,1) ilçe merkezinde yaşamaktadır. İlçe halkının geçim kaynağı ağırlıklı olarak tarım, orman ve hayvancılıktır. Toprakların büyük bölümünde şeker pancarı ekilidir. Dereköy mevkinde ocaklardan lületaşı çıkarılmaktadır. Karasal iklime sahiptir.

İlçe, ilk çağlardan itibaren Hititliler ve Friglerin yerleşimine sahne olmuştur. 1071’deki Malazgirt Savaşı’ndan sonra, Selçuklu Uç Beylerinden Bozhan, halen ismi Bozan olan kasabanın bulunduğu yere bir han yaptırır ve altı haneyi buraya yerleştirir. Altı-Altı-Alpu olarak değişime uğrayarak bugünkü adını almıştır.

Beylikova ilçesi; doğuda ve kuzeyde Mihalıççık, güneyde Sivrihisar ve Mahmudiye, batıda Alpu ilçeleri ile çevrilidir. Eskişehir’e 77 km uzaklıktadır. Yüzölçümü yaklaşık 570 km², deniz seviyesinden yüksekliği 761 m’dir. Nüfusu 2013 yılı sayımına göre 6.387 olup nüfusun 3.079’u (%48,2) köylerde, 3.308’i (%51,8) ilçe merkezinde yaşamaktadır. İlçe halkının en önemli geçim kaynağı, tarım ve hayvancılıktır. Toprakların büyük bölümünde şeker pancarı ekilidir. Porsuk Nehri kıyısında yer alan ilçenin içinden Eskişehir-Ankara demiryolu hattı geçmektedir. Karasal iklime sahiptir.

İlk Çağda Frig ve Roma egemenliğindeki ilçe, Selçuklular döneminde büyük bir at yetiştirme merkezi olduğu için Beylikahır olarak adlandırılmış, 1985 yılında ismi Beylikova olarak değiştirilmiştir.

Çifteler ilçesi; doğuda Sivrihisar, batıda Seyitgazi, güneybatıda Han, kuzeyde Mahmudiye, güneyde Afyon ile çevrilidir. Eskişehir’e 66 km uzaklıktadır. 1951 yılında ilçe olmuştur. Yüzölçümü yaklaşık 820 km², deniz seviyesinden yüksekliği 865 m’dir.

Nüfusu 2013 yılı sayımına göre 15.651 olup 5.619'u (%35,9) köylerde, 10.032'si (%64,1) ilçe merkezinde yaşamaktadır. İlçe halkının en önemli geçim kaynağı tarım ve hayvancılıktır. Yazları kurak ve sıcak, kışları soğuk ve kurak, ilkbahar ve sonbahar serin ve yağışlı geçer.

İlçeye yerleşim antik çağlarda Frig ve Roma uygarlıklarına kadar uzanır. 1795 yılında düzenli yerleşim ile Çifteli adı Çiftlik-ü Humayun olur. 19. yüzyılın başlarında Çifteevler olarak değişen isim zamanla Çifteler olur.

Günyüzü ilçesi; doğuda Ankara, batıda Sivrihisar, güneyde ise Konya ile çevrilidir. Konya İlinin Yunak ve Çeltik İlçelerine giden yol güzergâhı üzerindedir. Eskişehir'e 135 km uzaklıktadır. Belediye teşkilatı 1972 yılında kurulmuş, 1990 yılında ilçe olmuştur. Nüfusu 2013 yılı sayımına göre 6.372'dir. Nüfusun 4.550'si (%71,4) köylerde, 1.822'si (%29,6) ilçe merkezinde yaşamaktadır. En önemli geçim kaynağı, tarım ve hayvancılıktır. Kara iklimi etkisi altındadır.

İlçedeki Arayit Dağı eteklerindeki küçük vadilerde Frig yerleşmeleri ve kaya anıtları bulunmuştur. Daha sonra ilçe Roma-Bizans yerleşimine sahne olmuştur. 1071 yılındaki Malazgirt Savaşı'ndan sonra 1150 yıllarında ayrı bir yerleşim merkezi olarak (Kozagacı) adı ile anılmaktadır.

Han ilçesi; doğuda Çifteler, kuzey ve batıda Seyitgazi, güneyde Afyon ile çevrilidir. Belediye teşkilatı 1967'de kurulmuş, 1990 yılında ilçe olmuştur. Eskişehir'e 84 km uzaklıktadır. Yüzölçümü yaklaşık 335 km²'dir. Nüfusu 2013 yılı sayımına göre 2.276 olup nüfusun 1.003'ü (%44,1) köylerde, 1.274'ü (%55,9) merkezde yaşamaktadır. En önemli geçim kaynağı tarım ve hayvancılıktır. Karasal iklime sahiptir.

İlçe yoğun bir tarihi yerleşime sahne olmuştur. Yazılıkaya-Midas Kenti dahil birçok Frig eserine, Roma-Bizans, Osmanlı Uygarlıklarına ait yerleşim yeri ve kültür varlıklarına sahiptir. IV.Murat döneminde, Vezir-i Azam Hüsrev Paşa Bağdat Seferi'ne giderken bölgenin önemini kavramış ve buraya bir kervansaray, cami, hamam ve çeşmeler yaptırılmasını istemiştir. Han-i Hüsrevpaşa olarak adlandırılan ilçe adını buradan almıştır.

İnönü ilçesi; doğuda merkez ilçe, güneyde Kütahya, güneybatı, batı ve kuzeyde Bilecik iliyle çevrilidir. Eskişehir'e 36 km uzaklıktadır. Belediye teşkilatının kuruluşu 1884 yılına uzanır. 1987 yılında ilçe olmuştur. Yüzölçümü yaklaşık 358 km², deniz seviyesinden yüksekliği 840 m'dir. Nüfusu 2013 yılı sayımına göre 7.260 olup nüfusun 3.231'i (%44,5) köylerde, 4.029'u (%55,5) ilçe merkezinde yaşamaktadır. İlçe halkının en önemli geçim kaynağı tarım ve hayvancılıktır. Karasal iklim etkisi altındadır.

Mahmudiye ilçesi; kuzeyde merkez ilçe, Alpu, kuzeydoğuda Beylikova, doğuda Sivrihisar, güneyde Çifteler, batıda Seyitgazi ile çevrilidir. Eskişehir'e 52 km uzaklıktadır. 1940 yılında Belediye Teşkilatı kurulmuş, 1954 yılında ilçe olmuştur. Yüzölçümü yaklaşık 643 km², deniz seviyesinden yüksekliği 885 m'dir. Nüfusu 2013 yılı sayımına göre 8.466 olup nüfusun 4.174'ü (%49,3) köylerde, 4.292'si (%50,7) ilçe merkezinde yaşamaktadır. İlçe halkının en önemli geçim kaynağı tarım ve hayvancılıktır. Karasal iklim etkisi altındadır.

Eski çağlarda Hitit ve Frig uygarlıklarının yerleşimine sahne olan ilçede Roma-Bizans dönemlerine ilişkin kalıntılar bulunmuştur. İlçe Osmanlı döneminde önem kazanmış, orduya at yetiştiren haranın kurulması ile daha da gelişmiştir. 1815 yılında II.Mahmud'un emri ile kurulan Çiftlik-i Hümayun'da tarımsal faaliyetler, at ve koyun yetiştiriciliği ağırlık kazanmıştır. Bu nedenle ilçeye Mahmudiye adı verilmiştir.

Mihalgazi ilçesi; doğuda Sarıcakaya, batı ve kuzeyinde Bilecik, güneyinde merkez ilçe ile çevrilidir. Belediye teşkilatı 1967 yılında kurulmuş, 1991 yılında ilçe olmuştur. Eskişehir'e 40 km uzaklıktadır. Yüzölçümü yaklaşık 118 km², deniz seviyesinden yüksekliği 209 m'dir. Nüfusu 2013 yılı sayımlarına göre 3.483 olup nüfusun 1.595'i (%45,8) köylerde, 1.888'i (%54,2) ilçe merkezinde yaşamaktadır. İlçe halkının en önemli geçim kaynağı meyve ve sebze üreticiliğidir. Coğrafi konumu açısından ilçe yazlık ve kışlık sebze yetiştiriciliğinde ve seracılıkta gelişme kaydetmiştir. İlçe coğrafi olarak Karadeniz Bölgesi'ndedir. Bitki örtüsü makidir. Akdeniz iklimine sahiptir.

Mihalıççık İlçesi; kuzeyde ve doğuda Ankara, batıda Beylikova ve Alpu, güneyde ise Sivrihisar ile çevrilidir. 1925 yılında Eskişehir'e bağlanmıştır. Eskişehir'e 92 km uzaklıktadır. Yüzölçümü yaklaşık 1.670 km²'dir. Nüfusu 2012 yılı sayımına

göre 3.505 olup nüfusun 2.622'si (%74,8) köylerde, 883'ü (%25,2) ilçe merkezinde yaşamaktadır. İlçe halkının en önemli geçim kaynağı tarım ve hayvancılıktır. Karasal iklim etkisi altındadır.

İlk Çağlardaki Frig yerleşiminin izleri olmasına karşın ikincil derecedeki yollar üzerinde bulunması nedeniyle ancak Osmanlı döneminde önem kazanmış, Osman Bey tarafından Köse Mihal'in yönetimine verilen ilçe, torunu Gazi Mihal dolayısıyla Mihaliçcik adı ile anılmaya başlandı.

Sarıcakaya ilçesi; doğuda Ankara, batıda Mihalgazi, kuzeyde Bolu, kuzey batıda Bilecik, güneyde ise merkez ilçe ile çevrilidir. 1958 yılında ilçe olmuştur ve 1990'da Mihalgazi'nin ayrılmasıyla bugünkü sınırlarına ulaşmıştır. Eskişehir'e uzaklığı 47 km'dir. Yüzölçümü yaklaşık 375 km², deniz seviyesinden yüksekliği 220 m'dir. Nüfusu 2013 yılı sayımına göre 5.112 olup nüfusun 2.684'ü (%52,5) köylerde, 2.428'i (%47,5) ilçe merkezinde yaşamaktadır. İlçe halkının en önemli geçim kaynağı sebze ve meyve üretimidir. Seracılık ve ipek böceği yetiştiriciliği de yaygındır. İlçe merkezinin 13 km doğusundaki Laçın Köyü'nde maden suyu kaynakları bulunmaktadır. İlçe, İç Anadolu bölgesinden farklı olarak "mikro klima" iklim sistemine sahiptir ve Karadeniz Bölgesi'nde kalır. Bu açıdan Akdeniz iklim özelliklerini andırır. İlçe arazisinin %50'si ormanlarla kaplıdır.

Sakarya Nehri boyunca düzenli yerleşim 1460 yıllarına kadar uzanır. İlçe merkezindeki bu günkü Sarıkaya ve Camikebir mahallelerinin birleşmesiyle bugünkü Sarıacakaya ilçesi oluşmuştur.

Seyitgazi İlçesi; kuzeyde merkez ilçe, kuzeydoğuda Mahmudiye, batıda Kütahya, güneyde Afyon, doğuda Çifteler ve Han ile çevrilidir. 1922 yılında ilçe olmuştur. Eskişehir'e uzaklığı 42 km'dir. Yüzölçümü yaklaşık 1.558 km², deniz seviyesinden yüksekliği 1.000 m'dir. Nüfusu 2013 yılı sayımına göre 15.023 olup, nüfusun 12.739'u (%84,8) köylerde ve beldelerde, 2.284'ü (%15,2) ilçe merkezinde yaşamaktadır. En önemli geçim kaynağı tarım ve hayvancılıktır. Karasal iklim etkisi altındadır.

Sivrihisar ilçesi; doğuda Günyüzü ve Ankara, batıda Çifteler ve Mahmudiye, kuzeyde Beylikova ve Mihalıççık, güneyde ise Konya ve Afyon ile çevrilidir. Eskişehir'e 90 km uzaklıktadır. 1926'dan önce Ankara'nın ilçesi olan Sivrihisar daha sonradan Eskişehir'e dahil olmuştur. Yüzölçümü yaklaşık 4.103 km², deniz seviyesinden yüksekliği 1.100 m'dir. Nüfusu 2013 yılı sayımına göre 22.258 olup, 14.846'sı (%66,7) köylerde, 7.412'si (%33,3) ilçe merkezinde yaşamaktadır. İlçe halkının en önemli geçim kaynağı tarım ve hayvancılıktır. Karasal iklim etkisi altındadır, bitki örtüsü bozkırdır.

Sivrihisar ilçesinde yerleşim Hititler zamanına kadar iner. O dönemde adı Sallopa olan ilçede Milattan önce 700'lerde Frigler yerleşmeye başlamıştır. Sivrihisar, Bizans İmparatoru Justinianos (M.S.527-565) tarafından onarılmış ve Justinianopolis adını almıştır. 1074 yılında Selçukluların eline geçen ilçe Karahisar adını almıştır. 1289 yılında Osmanlıların eline geçen Sivrihisar'da 1684 yılında kaza teşkilatı kurulmuş, 1912'de Eskişehir iline bağlanmıştır (URL-2). Şekil 5.2'de Eskişehir tüm ilçeleriyle birlikte gösterilmektedir.



Şekil 5.2. Eskişehir ve ilçelerinin gösterimi.

5.2. Önceki Çalışmalar

Bu bölümde, Türkiye'nin farklı yerlerinde ve yurtdışında farklı bölgelerde binalarda daha önce yapılan radon gazı araştırmalarından bahsedilecektir.

Büyük Britanya genelinde Pinel ve arkadaşlarının (1995) yaptığı bir çalışma ile, radon gazı ölçümü yapılmıştır. Çalışmada 1989-1992 yılları arasında güneybatı İngiltere'de toplam 2057 evde 6 ay süreli toplamda 12 dönemlik radon gazı ölçümü yapılmıştır. Yapılan çalışma doğrultusunda İngiltere için mevsimsel düzeltme faktörü hesaplanmıştır. Analiz sonucuna göre mevsimsel düzeltme faktörü 0,74 ile 1,56 arasında değişim göstermektedir.

Ankara il merkezinde Songül Vaizoglu ve arkadaşları (1996-1997) tarafından binalarda radon gazı ölçümleri yapılmıştır. Yapılan çalışma ile CR-39 detektörleri kış döneminde üç aylık bir dönem için toplamda 200 binaya yerleştirilmiştir. Yapılan ölçüm sonuçlarına göre bina içi radon yoğunluğu 2 ile 408 Bq/m³ arasında değişmektedir.

Isparta il merkezi ve bazı ilçelerinde Asiye Uluğ ve arkadaşları (2003) tarafından binalarda radon gazı ölçümü yapılmıştır. Bu çalışmada CR-39 detektörleri ile üç ay süreli tek dönemlik 280 ölçüm yapılmıştır, Üç farklı bölge için ortalama radon yoğunluğu 78 Bq/m³ ile 279 Bq/m³ arasında değişmektedir.

Fransa genelinde yaklaşık 1400 evde H. Baysson ve arkadaşları (2003) tarafından radon gazı ölçümü yapılmıştır. Ülke genelinde ölçümler 1982 yılından itibaren yapılmaya başlanmıştır. Ölçümler, LR-115 detektörleri ile 2 ay ve 6 ay süreli olarak toplamda 12 dönemlik yapılmıştır. Yapılan ölçümlere göre Fransa için mevsimsel düzeltme faktörü hesaplanmıştır. 6 aylık analizlere göre mevsimsel düzeltme faktörü 0,87 ile 1,17 arasında değişmektedir.

Manisa ilinde F.S. Ereş ve arkadaşları (2004) tarafından binalarda radon gazı ölçümü yapılmıştır. Yapılan çalışmada CR-39 detektörleri ile 22 farklı binada 1 ay süreli tek dönem radon gazı ölçümü yapılmıştır. Ölçüm sonuçlarına göre bina içi radon yoğunluğu 47 ile 146 Bq/m³ arasında değişmektedir.

Isparta ilinde Hakan Akyıldırım (2005) tarafından yapılan bir çalışmada bina içi radon yoğunluğu ölçülmüştür. Yapılan çalışmada ölçümler için ALPHAGUARD cihazı kullanılmıştır. Yapılan ölçüm sonuçlarına göre, ortalama radon yoğunluğu Süleyman Demirel Üniversitesi yerleşkesinde 372 Bq/m³, Isparta il merkezinde 118 Bq/m³, Yedişehitler Mahallesiinde 134 Bq/m³, Muzaffer Türkeş Mahallesiinde 196 Bq/m³, Batıkent mahallesiinde 172 Bq/m³, Yalvaç ilçesinde 92 Bq/m³, Davraz Mahallesiinde 359 Bq/m³, Halıkent Mahallesiinde 44 Bq/m³, Piri Mehmet Mahallesiinde 190 Bq/m³, Gökçay Mesireliğinde 27 Bq/m³ olarak ölçülmüştür.

Dikili jeotermal bölgesinde bulunan binalarda Y. Yazar ve arkadaşları (2005) tarafından radon gazı ölçümü yapılmıştır. Bu çalışmada CR-39 detektörleri ile 62 farklı evde 3 ay süreli tek dönem radon gazı ölçümleri yapılmıştır. Yapılan ölçüm sonuçlarına göre bina içi radon yoğunluğu 31 ile 280 Bq/m³ arasında değişmektedir.

Edirne ilinde Ahmet Bozkurt ve arkadaşları (2006) tarafından binalarda radon gazı ölçümleri yapılmıştır. Bu çalışmada CR-39 detektörleri ile 88 adet ölçüm 3 ay süreli olarak bir dönem yapılmıştır. Yapılan ölçüm sonuçlarına göre bina içi ortalama radon yoğunluğu 49 Bq/m³ olarak hesaplanmıştır.

Trabzon ilinde A. Kurnaz ve arkadaşları (2006) tarafından binalarda radon gazı ölçümü yapılmıştır. Çalışmada CR-39 detektörleri ile 97 farklı binada 3 ay süreli 4 dönem (kış, ilkbahar, yaz, sonbahar) için ölçüm yapılmıştır. Yapılan ölçüm sonucuna göre bina içi radon yoğunluğu 8 ile 583 Bq/m³ arasında değişmektedir.

Adana ili çevresinde Meltem Değerlier (2007) tarafından yapılan bir çalışmada binalarda radon gazı ölçümleri yapılmıştır. Yapılan çalışmada il içinde seçilen 52 eve CR-39 detektörleri 60 gün süreli 2 dönem (ocak-şubat ve haziran-temmuz) yerleştirilmiştir. Yapılan ölçüm sonuçlarına göre kış dönemi radon yoğunluğu 15 ile 64 Bq/m³, yaz dönemi ise 5 ile 64 Bq/m³ arasında değişmektedir.

Çanakkale ili Ezine ilçesinde Yasemin Örgün ve arkadaşları (2007) tarafından bina içi radon yoğunluğu incelenmiştir. Yapılan çalışmada yaz döneminde 58 binada CR-39 detektörleri ile 3 aylık tek seferlik ölçüm yapılarak sonuçlar analiz edilmiştir.

Yapılan ölçüm sonuçlarına göre bina içi radon yoğunluğu 9 ile 996 Bq/m³ arasında değişmekte olup, ortalama radon yoğunluğu 116 Bq/m³ olarak hesaplanmıştır.

Kars ilinde Nedim Çelik ve arkadaşları (2007) tarafından binalarda radon gazı ölçümleri yapılmıştır. Yapılan çalışmada makrafol katıhal iz detektörleri ile, seçilen 87 evde 3 ay süreli bir defa ölçüm yapılmıştır. Yapılan ölçümlere göre bina içi radon yoğunluğu 20 ile 600 Bq/m³ arasında değişmektedir, bina içi ortalama radon yoğunluğu 114 Bq/m³ hesaplanmıştır.

Dumlupınar Üniversitesi Yerleşkesinde Hatice Davutoğlu (2008) tarafından yapılan bir çalışmada, Fen-Edebiyat Fakültesi, Mühendislik Fakültesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Eğitim Fakültesi ve Rektörlük binasına yerleştirilen LR-115 detektörleri ile binalarda radon yoğunluğu ölçülmüştür. Bu çalışmada toplam 22 adet film yukarıda isimleri söylenen bölümlerde ofislere 1 ay süreli tek dönem olarak yerleştirilmiştir. Bu çalışmada sigara kullanma alışkanlığı, odanın havalandırılması, oda boyutlarının radon yoğunluğuna etkisi araştırılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda bina içi ortalama radon yoğunluğu 487 Bq/m³ olup 123 ile 874 Bq/m³ arasında değişim göstermektedir.

Niğde ilinde bulunan bazı tarihi mekânlarda Vakkas Bozkurt (2008) tarafından yapılan bir çalışmada radon gazı ölçümleri yapılmıştır. Yapılan çalışmada CR-39 detektörleri kullanılarak 63 gün süreli tek seferlik ölçüm yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucuna göre radon yoğunlukları Sungur Bey Camii 31 Bq/m³, Alâeddin Camii 52 Bq/m³, Dışarı Camii 47 Bq/m³ ve Ak Medrese için 32 Bq/m³ ölçülmüştür.

Tekirdağ ilinde Erol Kam ve arkadaşları (2009) binalarda radon gazı ölçümleri yapmıştır. Yapılan çalışmada CR-39 detektörleri ile 92 farklı binada 3 ay süreli tek dönemlik ölçüm yapılmıştır. Yapılan ölçüm sonuçlarına göre bina içi radon yoğunluğu 11 ile 247 Bq/m³ arasında değişmekte olup ortalama radon yoğunluğu 86 Bq/m³ hesaplanmıştır.

Sakarya iline bağlı Adapazarı merkez ilçesinde Enis Kapdan (2009) tarafından yapılan bir çalışmada binalarda radon yoğunluğu ölçülmüştür. Bu çalışmada toplam 136 adet CR-39 detektörü bazı bina, okul ve fabrikalara yerleştirilmiştir. Çalışma kış

mevsiminde 70 gün süreli tek dönemlik yapılmıştır. Yapılan çalışma sonuçlarına göre Adapazarı Merkezi Organize Sanayi Bölgesinde bulunan fabrika ve iş yerlerinde radon yoğunluğu ortalama 51 Bq/m^3 , okullarda 65 Bq/m^3 ve evlerde 59 Bq/m^3 olarak hesaplanmıştır.

Sivas ilinde Metin Mıhçı ve arkadaşları (2009) tarafından yapılan çalışmada binalarda radon gazı ölçümleri yapılmıştır. Bu çalışmada CR-39 detektörleri 3 ay süreli 2 dönem (kış için 33 ev, yaz için 66 ev) binalara yerleştirilerek ölçümler yapılmıştır. Yapılan ölçüm sonuçlarına göre bina içi radon yoğunluğu kış dönemi için ortalama olarak 89 Bq/m^3 , yaz dönemi için 98 Bq/m^3 hesaplanmıştır.

Bayburt ilinde B. Küçükömeroğlu ve arkadaşları (2009) tarafından binalarda radon gazı ölçümü yapılmıştır. Yapılan çalışmada CR-39 detektörleri ile 44 farklı binada 3 ay süreli tek dönem radon gazı yoğunluğu ölçülmüştür. Ölçüm sonuçlarına göre bina içi radon yoğunluğu 17 ile 125 Bq/m^3 arasında değişmektedir. Binalar için hesaplanan ortalama radon yoğunluğu 56 Bq/m^3 'dir.

İrlanda genelinde Orlaith Burke ve arkadaşları (2010) tarafından radon gazı ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler ülke genelinde 1980 yılından itibaren yapılmaktadır. Ölçümler CR-39 detektörleri ile 3 ay süreli 12 dönemlik yapılmıştır. 2010 yılına kadar ülke genelinde toplan 5640 evde radon gazı ölçümü yapılmıştır. Yapılan ölçümlerde İrlanda için mevsimsel düzeltme faktörü hesaplanmıştır. Yapılan hesaplara göre mevsimsel düzeltme faktörü $0,86$ ile $1,14$ arasında değişmektedir.

İzmir'in Dikili ilçesinde Özlem Karadeniz ve arkadaşları (2011) tarafından binalarda radon gazı ölçümleri yapılmıştır. Yapılan çalışmada 22 evde LR-115 detektörleri ile 2 aylık periyotlarla toplamda 4 defa (aralık-temmuz) ölçüm yapılmıştır. Yapılan ölçüm sonuçlarına göre ev içi radon yoğunluğu 11 ile 727 Bq/m^3 arasında değişmekte olup binalardaki radon yoğunluğunun geometrik ortalaması 63 Bq/m^3 olarak hesaplanmıştır.

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Meşelik Yerleşkesinde Melekşah Altınsöz (2012) tarafından yapılan bir çalışmada Fen-Edebiyat Fakültesi, Mühendislik Fakültesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Eğitim Fakültesi ve Merkez Kütüphane binalarında

radon gazı ölçümü yapılmıştır. Yapılan çalışmada LR-115 detektörleri kullanılarak 3 ay süreli 4 dönemde (ilkbahar, yaz, sonbahar, kış) toplamda 391 ölçüm yapılmıştır. Yapılan ölçümlere göre bina içi ortalama radon yoğunluğu 102 Bq/m^3 olarak hesaplanmıştır.

2010-2011 yılları arasında Eskişehir ve merkez ilçelerinde Hacı Soğukpınar (2010-2012) tarafından yapılan bir çalışmada binalarda radon gazı ölçümü yapılmıştır. Yapılan çalışmada 220 evde LR-115 detektörleri ile 3 aylık dönemlerle toplamda 4 dönemlik ve yine aynı evlerde olmak üzere yıllık (12 ay) bir ölçüm yapılmıştır. Yapılan ölçüm sonuçlarına göre ev içi radon yoğunluğu 19 Bq/m^3 ile 531 Bq/m^3 arasında değişmektedir. 2011-2012 arasında tekrardan 3 aylık dönemlerle toplamda 4 dönemlik veriler alınmıştır. Dört dönemlik veriler ile yapılan ölçüm sonuçlarına göre mevsimsel düzeltme faktörü 0,64 ve 1,35 arasında değişmektedir. 12 dönemlik veriler ile yapılan ölçümlere göre mevsimsel düzeltme faktörü 0,55 ve 1,45 arasında değişim göstermektedir.

5.3. Evlerde Radon Gazı Ölçümünde Kullanılacak Malzeme Ve Yöntemler

01 Ekim 2012 tarihinden itibaren “Eskişehir İlçelerinde Mevsimsel Radon Yoğunluğu Ölçümü ve Mevsimsel Düzeltme Faktörü Hesabı” projesi kapsamında Eskişehir ilinde bulunan toplam 12 adet ilçe ve madeni açıdan önemli bir belde olması sebebiyle Kırka Beldesi’nde olmak üzere, toplam 13 bölgede bir çalışma başlatılmasına karar verilmiştir. Proje kapsamında detektörler evlere dağıtılmadan önce ilçelerin yüzölçümleri ve nüfusu güncel (2013) nüfus sayımına göre araştırılmıştır. Yapılacak bu çalışma için yaklaşık iki aylık bir süreçte ölçüm için kullanılacak evler belirlenmiştir. Yapılan araştırmalara göre ilçelere yüzölçümleri ve nüfus baz alınarak, en fazla 20, en az beş adet olmak üzere detektörler yerleştirilmiştir. Ölçüm yapılacak evlerin olabildiğince farklı mahallelerde olmasına dikkat edilmiştir. Evlerin belirlenmesinin ardından yapılacak ilk ölçüm için dağıtıma gidildiğinde evde yaşayan bireylere bu çalışmayı neden yaptığımız yazılı ve sözlü halde anlatılmıştır. Bu konuşmalarda özellikle radon gazının sağlık üzerine etkileri vurgulanmıştır. Daha önce üniversitemizde hazırlanan broşürler her eve dağıtım esnasında bırakılmıştır. Filmlerin

dağıtımı üç aylık süreçlerle evlerde bulunacak şekilde toplamda dört dönem için yapılmıştır. Dağıtımların üç ay sonunda yine aynı tarihlerde toplanıp yeni filmlerin dağıtılmasına özen gösterilmiştir. Filmler son kez toplanmaya gidildiğinde, proje için seçilen evler için gerekli bilgileri içeren anketler evlerde yaşayan bireylere uygulanmıştır. Bu anketlerden alınan bilgilere göre ilçelerde yaşayan bireylerin evleri çoğunlukla müstakildir. Evlerde kullanılan yapı malzemeleri ilçelere göre değişmekte ve ölçüm yaptığımız evlerde beton ile toprak evler hemen hemen eşit seviyededir. Evlerin çoğunluğunda ısı yalıtımı bulunmamaktadır, fakat camların pek çoğu PVC penceredir. Kışın ısıtma sistemi olarak ise genellikle kömür sobası kullanılmaktadır.

Deney için 13 bölgede toplamda 122 ev belirlenmiştir. Bu sayı her ölçüm döneminde sayısal olarak azalmıştır. Bu azalışın sebebi bireylerin yaz mevsimlerinde ilçelerde yaşamaması, filmlerin kaybolması ve zamanla deneysel çalışmaya karşı gösterilen isteksizliktir.

Eskişehir ili ilçelerinde yapılan bu çalışmada 1 Aralık 2012 tarihinde başlamak üzere toplamda dört mevsimlik bir çalışma başlatılmıştır. Dağıtım ilçelerin uzaklığı sebebiyle yaklaşık üç gün sürmekte ve bir sonraki dönem için filmlerin toplanıp yeni filmlerin dağıtılmasının yine aynı tarihlerde yapılmasına özen gösterilmiştir. Dört dönemlik süreç sonunda evlerde yapılan radon gazı ölçümleri için mevsimsel düzeltme faktörleri hesaplanmıştır. Bu hesaplama için kullanılan Matlab programı, önceki dönemde laboratuvarında yapılan çalışmalar için hazırlanmış olup, program üç aylık ölçümler için yazılmış olduğu için, yine aynı programdan yararlanılmıştır (Soğukpınar, 2013)

LR-115 filmleri, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Nükleer Fizik Laboratuvarında aşağıdaki adımlar izlenerek hazırlanmıştır.

- Filmler 1,5 cm x 1,5 cm uzunluğunda el değmeden pamuklu eldiven yardımıyla kesilir.
- Ön (çukur) yüzü dışa gelecek şekilde plastik bardakların tabanına yapışkan yardımıyla tutturulur.
- Hazırlanan bardakların üzerine karışmamaları amacıyla numara ve bırakıldığı dönemin tarihi yazılır.

- Bardakların numaralandırma işlemi bittikten sonra alüminyum folyo ve streç filmle sarılır.

Deney bardakları her ev için, yedekleriyle birlikte iki adet oturma odasına iki adet yatak odasına olmak üzere toplamda dört adet olacak şekilde hazırlanmıştır. Filmler evlere yerleştirilirken güneşten ve havalandırma kaynaklarından uzak, yerden yaklaşık bir m yükseklikte ve duvardan yaklaşık on cm uzaklıkta bir yere konulur. üç ay sonra bardakların toplanma zamanı geldiğinde bardaklar tekrar alüminyum folyo ve streç filme sarılarak analiz için laboratuvara getirilir.

Analiz için kimyasal işlemlerden önce aşağıdaki sıra uygulanır:

- Filmler pamuklu eldiven yardımıyla el değmeden, ön yüzü dışa bakacak şekilde bardaktan çıkarılır.
- İğneye bir renkli ip geçirilir ve filmin bir ucuna delik açılarak o yüzeye ip tutturulur.
- Filmlere geçirilen iplerin rengi bardakların numarasıyla birlikte bir deftere not alınarak filmlerin karışmaması sağlanır. Şekil 5.3'te filmlerin beher içindeki duruşu gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Filmlerin behere yerleştirilmesi.

Kimyasal işlemler sırasında aşağıdaki sıra uygulanır:

- Beher içinde %10'luk NaOH çözeltisi hazırlanır. Her film için 25 mL distile su kullanılır. Genellikle her beher için sekiz film dikildiği için 20 gr'lık 200 mL çözelti hazırlanır.
- Filmler beherin çeperlerine, tabanına ve birbirlerine değmeyecek şekilde çözeltiye batırılır.
- Hazırlanan beherler daha önce 60 (± 1) °C'ye kadar ısıtılan banyoya yerleştirilir. Filmlerin banyoda kalacağı süre boyunca sıcaklık sabit kalmalı ve beherler herhangi bir sarsılmaya maruz bırakılmamalıdır. Şekil 5.4'te filmlerin kimyasal işleme tutulduğu banyo havuzu gösterilmiştir.



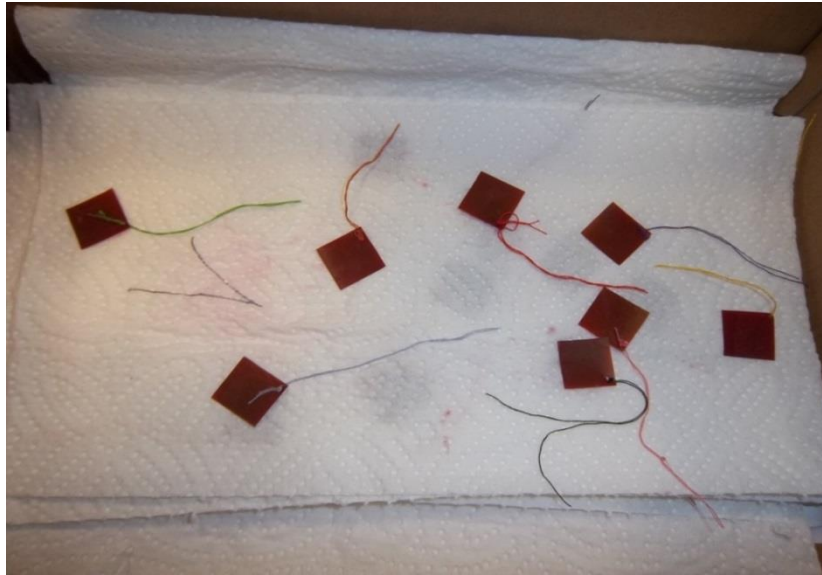
Şekil 5.4. Filmlerin kimyasal işleme tutulduğu banyo havuzu.

- Filmler banyo havuzunda 95 dakika tutulur.
- 95 dakikalık süreç sonucunda filmler beherden çıkarılır ve oda sıcaklığında magnetik karıştırıcıda saf su içinde yaklaşık 20 dakika karıştırılarak durulanır. Filmlerin durulanacağı magnetik karıştırıcı Şekil 5.5'te gösterilmiştir.



Şekil 5.5. Filmlerin durulanması için kullanılan magnetik karıştırıcılar.

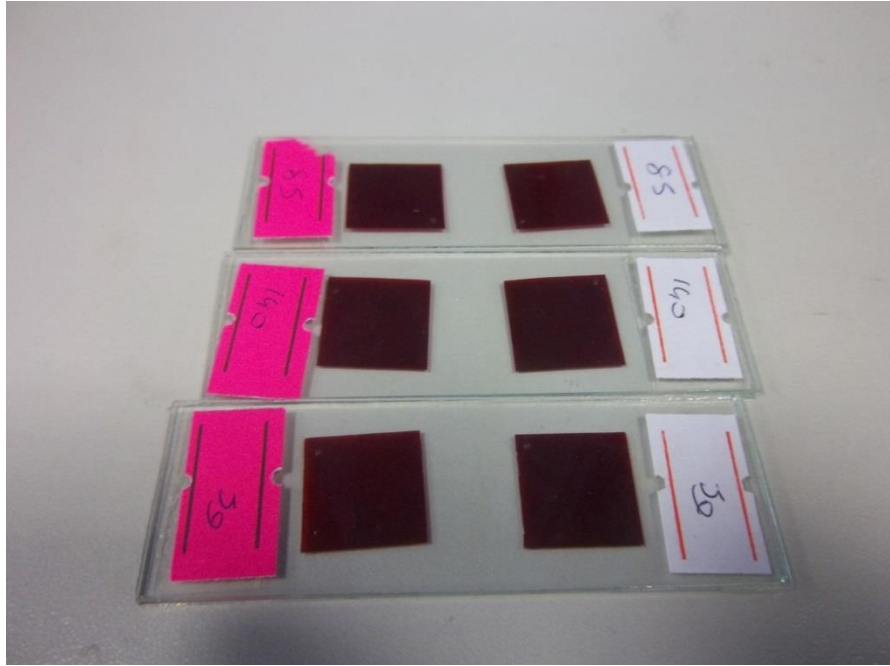
- Durulanan filmler, film yüzeyindeki kristalleşmeyi engellemek amacıyla $40 (\pm 1) ^\circ\text{C}$ sıcaklıktaki fırında 20-30 dakika kurutulur.



Şekil 5.6. Kurutulan filmlerin son hali.

- Kurutma işleminden sonra filmler lam içerisine konulur. Şekil 5.6'da kurutulan filmlerin son hali gösterilmiştir.
- Lamaların sağ ve sol uçları, filmlerin karışmaması için numaralandırılır.

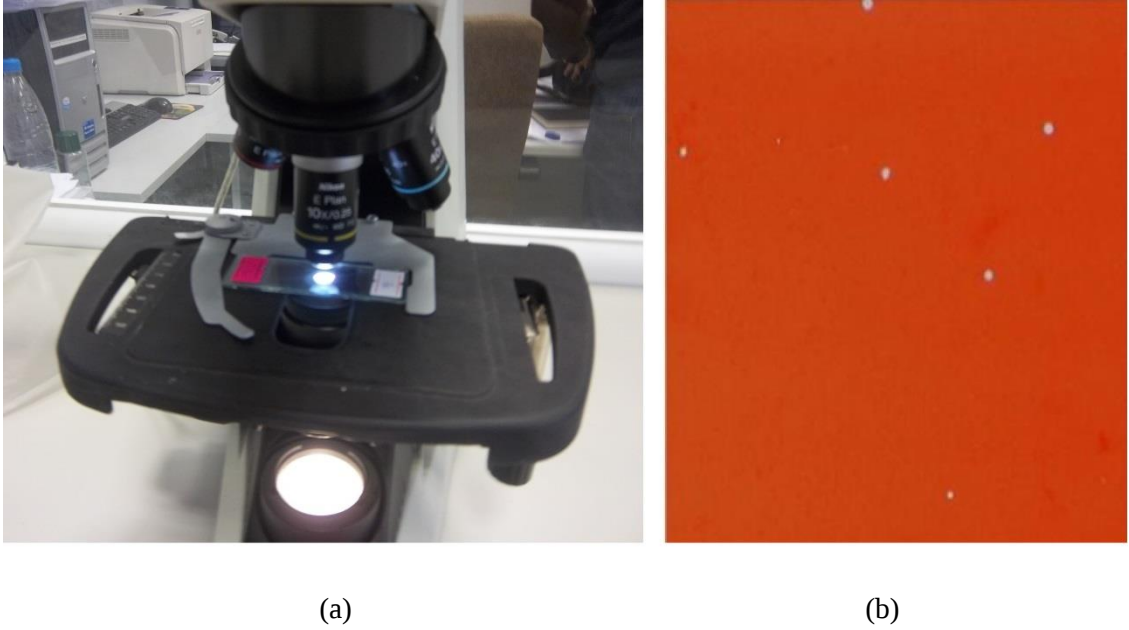
- Lamaların sağ ve sol uçları, filmlerin kaymaması ve düşmemesi için bantlandıktan sonra mikroskopta incelenmeye hazır hale gelmiştir. Şekil 5.7’de lam içerisine yerleştirilmiş filmlerin son hali gösterilmiştir. Fotoğrafta pembe renkli etiketler oturma odasında bulunan filmleri, beyaz renkli etiketler yatak odasında bulunan filmleri temsil etmektedir.



Şekil 5.7. Filmlerin lam içindeki durumu.

- Mikroskopta iz sayımı aşamasında, izlenebilecek iki yöntem vardır. İz sayısı gözle sayılabilecek kadar az ise izlenebilecek en doğru yol mikroskop üzerinden gözle sayım yapmaktır. Eğer iz sayısı çok fazla ise bilgisayar üzerinden ilk dört veya beş film satırı sayılır, filmler genelde 20 satırdan oluşur ve toplamda bu satırlar için bir ortalama alınır.
- İz sayım işi bittiğinde değerler bilgisayar ortamına aktarılarak kalibrasyon sabiti ile çarpılıp ortamın radon yoğunluğu Bq/m^3 biriminde bulunur.

Şekil 5.8’de optik mikroskop altında filmlerin duruşu (a) ve izlerin beyaz noktalar halinde görünüşünün bir kesiti (b) verilmiştir.



Şekil 5.8. Filmlerin optik mikroskop üzerine yerleştirilmesi (a) ve optik mikroskop altında izlerin görünüşü (b).

5.4. İlçelerde Radon Gazı Ölçüm Sonuçları

Eskişehir merkez ilçeleri (Odunpazarı, Tepebaşı) haricinde, şehir merkezinin dışındaki 12 ilçede 01-03 Aralık 2012 tarihleri arasında, toplamda dört mevsimden oluşacak bir çalışma başlatılmıştır. Kış mevsiminden başlamak üzere 01-03 Aralık 2012, 01-03 Mart 2013, 01-03 Haziran 2013 ve 01-03 Eylül 2013 tarihleri arasında dağıtım yapılmış ve son olarak 01-03 Aralık 2013 tarihleri arasında Sonbahar mevsimi numuneleri toplanarak ölçüm işlemine son verilmiştir. Dağıtım ve toplama sırasında tüm numunelerin alüminyum folyo ve streç filmle sarılmasına özen gösterilmiştir. Kış ayında toplamda 122 adet eve film yerleştirilmiştir ancak 11 evden üç aylık süreç sonunda filmler geri alınamadığı için 111 adet numune toplanılmıştır. İlkbahar mevsimi için 105, yaz mevsimi için 91 ve sonbahar mevsimi için 95 adet numune toplanmıştır. Film sayılarındaki azalışın sebebi büyük oranda bireylerin zamanla deneye olan ilgisini kaybetmesidir. Bununla beraber evlerden taşınmaları, filmlerin kaybolması ve evlerde yaşayan yaşça küçük bireylerin filmlere zarar vermesi de önemli birer etkidir. Yaz

mevsimindeki tutarsızlığın sebebi ise evlerde yaşayan bireylerin, yaz mevsiminde ilçelerde yaşamadığı için numune almayı kabul etmemelerinden kaynaklanmaktadır.

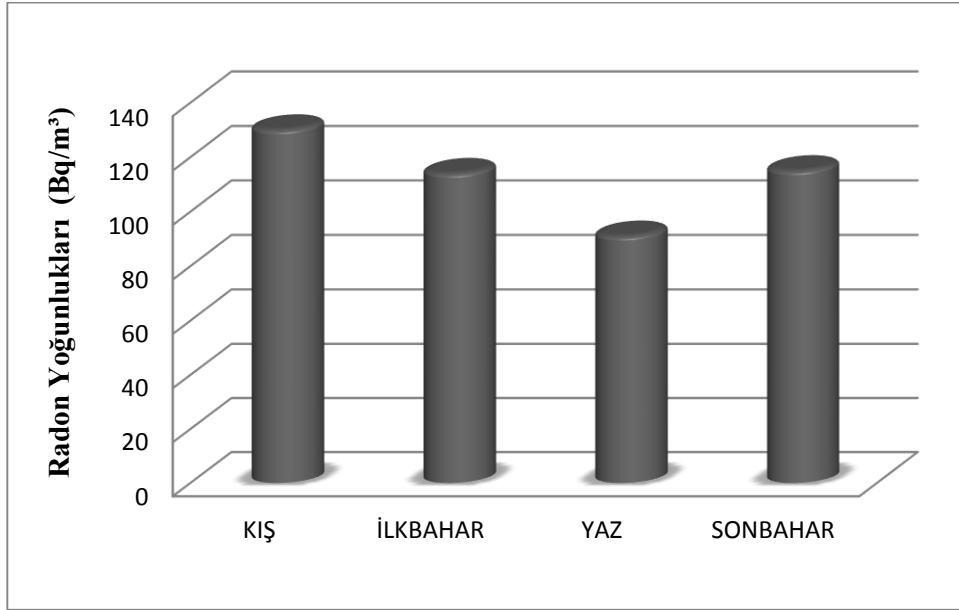
Çizelge 5.1’de dört mevsim radon yoğunluğu için evlere bıraktığımız filmlerin ölçümleri ile alakalı bazı istatistikler yer almaktadır.

Çizelge 5.1. Evlerdeki radon yoğunluğunun mevsimsel bazda istatistikleri.

	Kış Mevsimi	İlkbahar Mevsimi	Yaz Mevsimi	Sonbahar Mevsimi
Ölçüm Sayısı	111	105	91	95
Aritmetik Ortalama (Bq/m ³)	130	114	94	115
Aritmetik Ortalama Standart Hatası (Bq/m ³)	10,51	11,13	9,12	10,42
Standart Sapma (Bq/m ³)	111	114	87	102
En Küçük Değer (Bq/m ³)	24	12	10	24
En Büyük Değer (Bq/m ³)	511	565	445	462
Geometrik Ortalama (Bq/m ³)	96	84	68	87
Geometrik Standart Sapma (Bq/m ³)	2,17	2,11	2,15	2,04

Yapılan ölçümlere göre ortalama radon yoğunluğu kış mevsiminde 130 Bq/m³, ilkbahar mevsiminde 114 Bq/m³, yaz mevsiminde 94 Bq/m³ ve sonbahar mevsiminde 115 Bq/m³ olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlar mevsimsel farklılıklara uymaktadır. En yüksek radon yoğunlukları ortalaması kış ve sonbahar mevsiminde, en düşük radon yoğunlukları ortalaması ise ilkbahar ve yaz mevsiminde ölçülmüştür. İlçeler için ortanca değerler sırasıyla; kış mevsimi için 99 Bq/m³, ilkbahar mevsimi için 74 Bq/m³, yaz mevsimi için 60 Bq/m³ ve sonbahar mevsimi için 76 Bq/m³ olarak ölçülmüştür.

Şekil 5.9’da Eskişehir ilçelerinin mevsimlere göre ortalama radon yoğunlukları verilmiştir. Grafiğe göre en yüksek ortalama radon yoğunluğu kış mevsiminde, en düşük ortalama radon yoğunluğu ise yaz mevsimindedir.



Şekil 5.9. Mevsimlere göre ortalama radon yoğunlukları.

5.4.1. Radon gazı yoğunluğunun ilçelere göre dağılımı

Eskişehir ilçelerinde ve Seyitgazi ilçesinin beldesi olan Kırka'da toplamda dört mevsimden oluşacak şekilde bir çalışma başlatılmıştır. Kırka beldesinin bor madenlerine sahip olması ve gözlem yapılacak evlerin bor madenleri ve baz istasyonlarının arasında olması nedeniyle Seyitgazi ilçesi için hem ilçe merkezinde hem de Kırka beldesinde ölçüm yapılmıştır. Ölçümler kış mevsiminde başlatılıp sırasıyla ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimlerinde ölçüm yapılarak deneysel çalışmaya son verilmiştir.

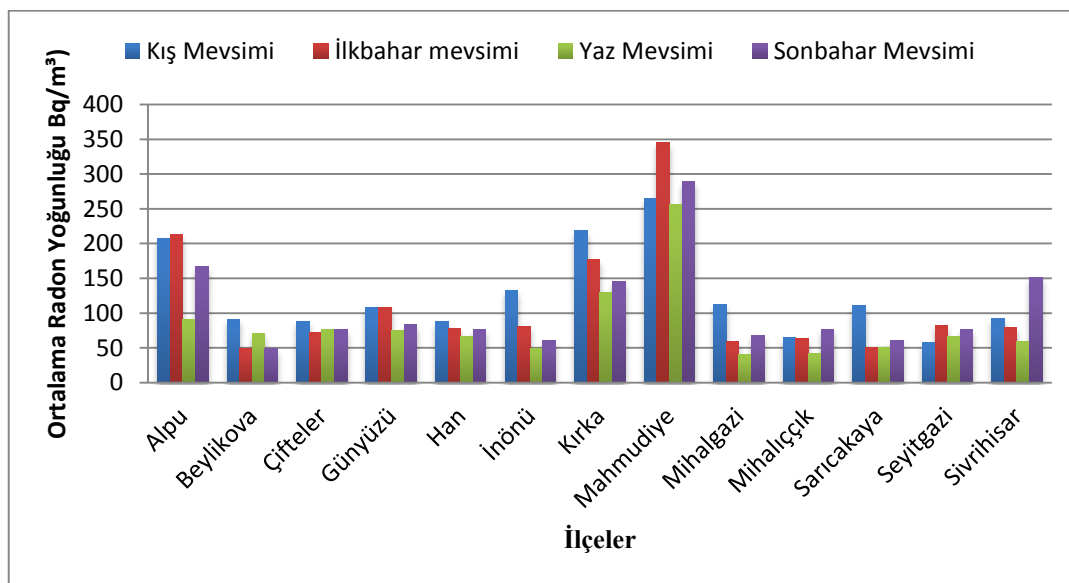
Ölçüm yapılan evlerde yaşayan bireylerden aldığımız bilgilerle oluşturduğumuz anketler sonucu Mahmudiye ilçesinde bulunan taş öğütme fabrikasından dolayı evlerin pencere yoluyla hiç havalandırılmadığı öğrenilmiştir. Evler sadece dış kapı aracılığıyla havalandırılmaktadır. Ayrıca evlerin neredeyse hepsi kerpiçten yapılmıştır ve yapılarında çatlaklar gözlemlenmiştir. Isınma aracı olarak evlerde kömür sobası kullanılmaktadır ve bazı evlerde yakıt olarak kurutulmuş hayvan dışkısı (tezek) kullanıldığı öğrenilmiştir. Alpu ilçesinde ölçüm yapılan evlerin tamamı müstakil olup,

evlerin kışın fazla havalandırılmadığı öğrenilmiştir. Ayrıca evlerde ısınma aracı olarak kömür sobası kullanılmaktadır. Evlerin yapılarında çatlaklar olduğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 5.2 ve Şekil 5.10'da Eskişehir ilçelerinde mevsimsel ortalama radon yoğunlukları verilmiştir.

Çizelge 5.2. Eskişehir ilçelerinde radon gazı yoğunluğu ortalamalarının gösterimi.

İlçeler	Radon Yoğunlukları (Bq/m ³)				
	Kış Mevsimi	İlkbahar Mevsimi	Yaz Mevsimi	Sonbahar Mevsimi	Yıllık
Alpu	207	213	91	168	170
Beylikova	91	49	71	49	65
Çifteler	88	72	76	77	78
Günyüzü	108	108	75	83	94
Han	88	78	67	76	77
İnönü	132	81	50	61	81
Kırka	219	177	130	146	168
Mahmudiye	265	346	256	289	289
Mihalgazi	113	60	40	67	70
Mihalıççık	65	64	41	76	62
Sarıcakaya	111	50	51	60	68
Seyitgazi	57	83	66	77	70
Sivrihisar	93	79	59	152	96



Şekil 5.10. Radon gazı yoğunluğunun Eskişehir ilçeleri için mevsimsel dağılımı.

Ölçümlerin yapılmaya başlandığı Aralık ayından itibaren her güne ait sıcaklık, basınç, nem oranı, günlük hava hadisesi ve rüzgarın şiddeti ve yönü kaydedilmiştir. Kaydedilen veriler doğrultusunda Akdeniz iklimine sahip olan Sarıcakaya ilçesinde sıcaklık değerlerinin diğer ilçelere göre yüksek olduğu görülmüştür. Çizelge 5.3'te tüm ilçelerin mevsimlere göre sıcaklıklarını gösteren bir tablo verilmiştir.

Çizelge 5.3. Eskişehir ilçelerinin mevsimlere göre sıcaklık değişimleri.

	Kış Mevsimi (°C)	İlkbahar Mevsimi (°C)	Yaz Mevsimi (°C)	Sonbahar Mevsimi (°C)
Alpu	7	18	29	20
Beylikova	8	18	29	20
Çifteler	7	19	30	20
Günyüzü	8	18	29	20
Han	8	18	29	20
İnönü	7	17	28	19
Kırka	8	18	29	20
Mahmudiye	7	18	29	20
Mihalgazi	8	18	29	20
Mihaliççık	6	16	27	19
Sarıcakaya	8	20	32	22
Seyitgazi	7	17	29	19
Sivrihisar	7	17	29	19
Ortalama Sıcaklık	7	18	29	20

Tüm ilçeler için ölçüm yapılan zamana paralel olarak kaydedilen barometrik basınç ve günlük hava hadiseleri sırasıyla Çizelge 5.4 ve Çizelge 5.5'te verilmiştir. 2012-2013 yılları arasında kaydedilen bilgiler doğrultusunda, Eskişehir'de ölçüm yapılan zaman içerisinde ortalama 92 gün yağmur yağışı, 20 gün kar yağışı, 222 gün açık hava gözlemlenmiştir. Ortalama atmosferik basınç değerleri kış mevsimi için 1017 hPa, ilkbahar mevsimi için 1013 hPa, yaz mevsimi için 1014 hPa, sonbahar mevsimi için 1017 hPa olarak kaydedilmiştir (URL-1).

Çizelge 5.4. Eskişehir ilçelerinin mevsimlere göre kaydedilen barometrik basınç değerleri.

	Kış Mevsimi (hPa)	İlkbahar Mevsimi (hPa)	Yaz Mevsimi (hPa)	Sonbahar Mevsimi (hPa)
Tüm ilçeler	1017	1013	1014	1017

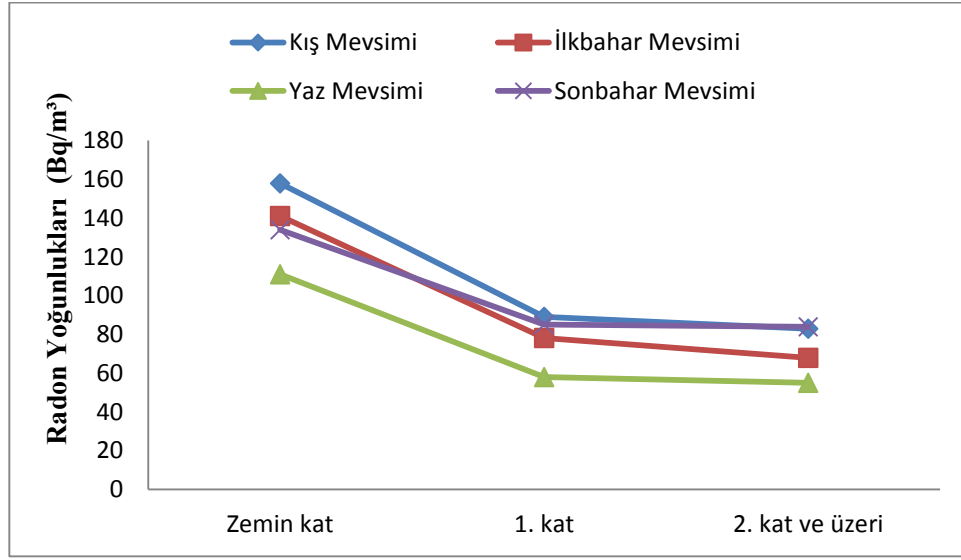
Çizelge 5.5. Eskişehir’deki tüm ilçeler için kaydedilen günlük hava durumu hadiseleri.

	Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	Ortalama Kar Yağışlı Gün Sayısı	Ortalama Bulutlu/Açık Gün Sayısı
Tüm ilçeler	92	20	222

5.4.2. İlçelerde ev içi radon gazı yoğunluğunun katlara göre dağılımı

Evlere radon; zemin 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 ev içi radon gazı yoğunluğunu artırmaktadır. Binalardaki radon kaynağının büyük kısmı (~%90), binanın temelindeki toprak ve kayalardır. Radon gazı, toprak ve taşın yapısında bulunan uranyum ve türevlerinin bozunması sonucu oluşur. Bu sebeple evlerde radon gazının, toprak yüzeyine en yakın katlarda yüksek olması beklenir. Kat sayısı arttıkça radon gazı yoğunluğunun azalması gerekir. Üst katlarda bulunan evlerde sigara içilmesi, evlerin yeterince havalandırılmaması, ısınma sisteminde kömür, gübre vb. ürünler kullanılması gibi farklı durumlar olmaması halinde bir bina içerisinde zemin kattaki radon yoğunluğunun diğer katlara göre yüksek olması muhtemeldir.

Şekil 5.11’de Eskişehir ilçelerinde yapılan ev içi radon yoğunluğu ölçümlerinin katlara göre değişimi verilmiştir.



Şekil 5.11. Eskişehir ilçelerinde radon yoğunluğu ölçümünün katlara göre analizi.

Ölçüm yapılan binaların zemin katları ile diğer bütün üst katların istatistiksel analizi sırasıyla Çizelge 5.6 ve Çizelge 5.7’de verilmiştir. Yapılan anketler sonucunda kış mevsimi için zemin katlarda 67, ilkbahar mevsimi için 64, yaz mevsimi için 58, sonbahar mevsimi için 58 ölçüm yapıldığı tespit edilmiştir. Binaların zemin katlarında kış mevsimi için ortalama radon yoğunluğu 158 Bq/m³, ilkbahar mevsimi için 141 Bq/m³, yaz mevsimi için 111 Bq/m³, sonbahar mevsimi için 134 Bq/m³ olarak ölçülmüştür. Mevsimler bazında yapılan ölçümler doğrultusunda, kış mevsimi için ölçülen en büyük değer 511 Bq/m³, ilkbahar mevsimi için 565 Bq/m³, yaz mevsimi için 445 Bq/m³, sonbahar mevsimi için 462 Bq/m³ olarak tespit edilmiştir. Ortanca değerler ise sırasıyla 126 Bq/m³, 82 Bq/m³, 72 Bq/m³, 79 Bq/m³’dür.

Eskişehir’de merkez dışında bulunan ilçelerde binalar için en fazla 5 kata kadar imar izni verilmektedir. Yaptığımız anketlerden alınan sonuçlara göre, radon yoğunluğu ölçümü için evlere bıraktığımız filmler maksimum 4. kattaki evlere yerleştirilmiştir. Anketler sonucunda zemin kat haricinde üst katlarda kış mevsimi için 44, ilkbahar mevsimi için 41, yaz mevsimi için 33, sonbahar mevsimi için 37 ölçüm yapıldığı tespit edilmiştir. Binaların üst katlarında kış mevsimi için ortalama radon yoğunluğu 88 Bq/m³, ilkbahar mevsimi için 75 Bq/m³, yaz mevsimi için 57 Bq/m³, sonbahar mevsimi için 85 Bq/m³ olarak ölçülmüştür. Ortanca değerler ise sırasıyla 65 Bq/m³,

60 Bq/m³, 49 Bq/m³, 69 Bq/m³'dür. Üst katlar için hesaplanan ortalama radon yoğunluğunun zemin kata göre çok daha az olduğu görülmüştür.

Çizelge 5.6. Binaların 1. katlarında ölçülen radon yoğunluğunun mevsimsel ölçümler için istatistiksel analizi.

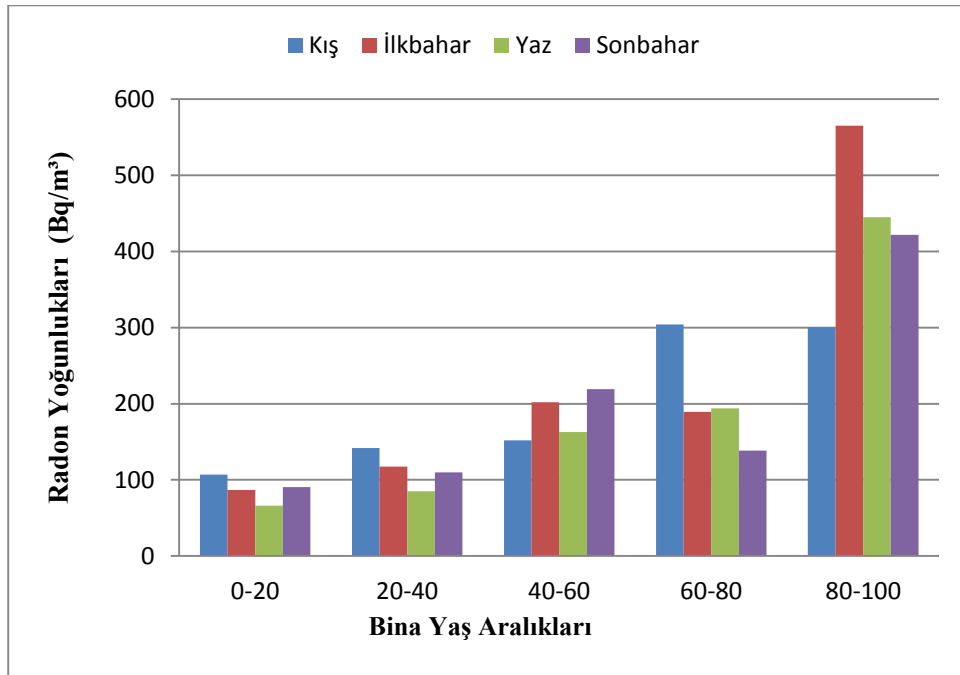
	Kış Mevsimi	İlkbahar Mevsimi	Yaz Mevsimi	Sonbahar Mevsimi
Ölçüm Sayısı	67	64	58	58
Aritmetik Ortalama (Bq/m ³)	158	141	111	134
Aritmetik Ortalama Standart Hatası (Bq/m ³)	14,50	17,00	13,06	15,40
Standart Sapma (Bq/m ³)	119	136	99	117
En Küçük Değer (Bq/m ³)	24	12	10	28
En Büyük Değer (Bq/m ³)	511	565	445	462
Geometrik Ortalama (Bq/m ³)	121	98	79	96
Geometrik Standart Sapma (Bq/m ³)	2,13	2,33	2,40	2,31
Medyan (Bq/m ³)	126	82	72	79

Çizelge 5.7. Binaların birinci ve üzeri katlarında (zemin kat hariç) ölçülen radon yoğunluğunun mevsimsel ölçümler için istatistiksel analizi.

	Kış Mevsimi	İlkbahar Mevsimi	Yaz Mevsimi	Sonbahar Mevsimi
Ölçüm Sayısı	44	41	33	37
Aritmetik Ortalama (Bq/m ³)	88	75	57	85
Aritmetik Ortalama Standart Hatası (Bq/m ³)	10,09	7,00	5,40	9,91
Standart Sapma (Bq/m ³)	67	45	31	60
En Küçük Değer (Bq/m ³)	27	29	18	24
En Büyük Değer (Bq/m ³)	318	250	181	384
Geometrik Ortalama (Bq/m ³)	71	66	50	73
Geometrik Standart Sapma (Bq/m ³)	1,87	1,65	1,62	1,67
Medyan (Bq/m ³)	65	60	49	69

5.4.3. İlçelerde radon gazı yoğunluğunun bina yaşına göre dağılımı

Ortalama radon gazı yoğunluğunun ev yaşına göre dağılımı Şekil 5.12’de verilmiştir. Şekil incelendiğinde binaların yaşı arttıkça, radon gazı yoğunluğunun da (Bq/m^3) hemen hemen arttığı gözlenmektedir. Çünkü bina yaşı arttıkça yapı malzemelerindeki çatlaklar artmakta ve bu çatlaklardan radon gazı çıkışı daha fazla olmaktadır. Sonuç olarak radon gazı yoğunluğu artış eğilimi göstermektedir. Evlerde yaşayan bireylerden edindiğimiz bilgiler sonucunda oluşturduğumuz anketlere göre 0-20 yaş arası 62, 20-40 yaş arası 46, 40-60 yaş arası 10 ve 80-100 yaş arası 1 ev bulunmaktadır. 0-20 yaş arası binalar genellikle apartmanlardan oluşmaktadır ve hepsinin taban yapı malzemesi betondur. 80 yaş üstü evin yapı malzemesi kerpiçten oluşmakta, ısı yalıtımı bulunmamakta ve ev pencereler vasıtasıyla neredeyse hiç havalandırılmamaktadır. Ayrıca kış mevsiminde evde yakacak olarak gübre kullanıldığı bilinmektedir. Çizelge 5.8’de bazı maddeler ve ^{40}K , ^{226}Ra ve ^{232}Th cinsinden içerdikleri aktivite yoğunlukları verilmiştir.



Şekil 5.12. Eskişehir ilçelerinde radon yoğunluğu ölçümünün bina yaşına göre analizi.

Çizelge 5.8. Bazı maddelerin potasyum, radyum ve toryum cinsinden radon yoğunlukları (URL-3).

Madde	Aktivite Yoğunlukları (Bq/kg)		
	K-40	Ra-226	Th-232
Gübreler	40-8000	20-1000	20-30
Granit	600-4000	30-500	40-70
Kerpiç	300-2000	20-90	32-200
Kayağantaş	500-1000	30-70	40-70
Kumtaşı	<40-1000	<20-70	<20-70
Mermer	<40-200	<20-30	<20
Feldspar	2000-4000	40-100	70-200
Monazit	40-70	30-1000	50-3000
Beton	150-500	<20	<20

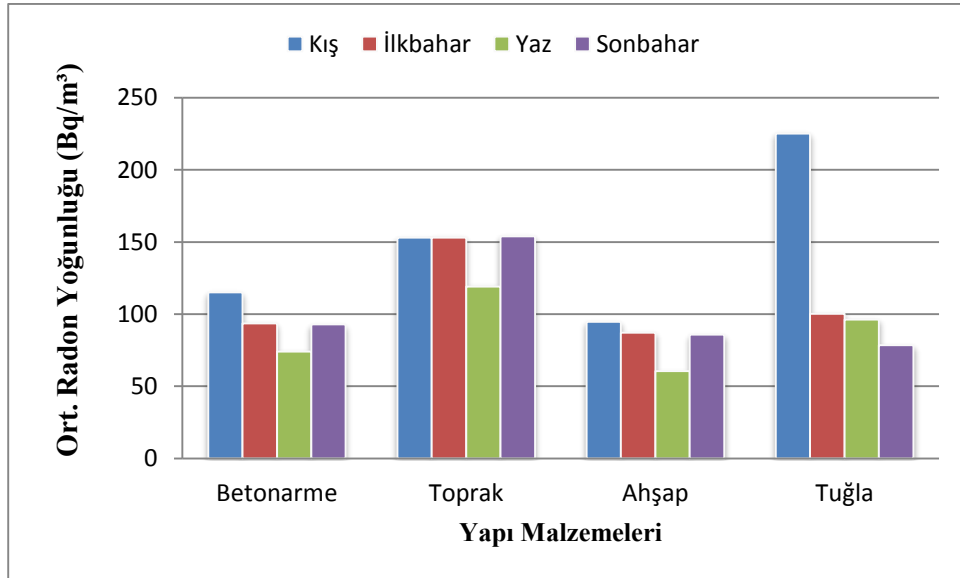
5.4.4. İlçelerde radon gazı yoğunluğunun yapı malzemesine göre dağılımı

Eskişehir ilçelerinde yaptığımız radon gazı yoğunluğu ölçümü çalışması için evlerde yaşayan bireylerden edindiğimiz bilgiler doğrultusunda yapı malzemesi olarak 60 evde beton, 14 evde ahşap, 45 evde toprak ve 3 evde tuğla malzemesi kullanıldığı saptanmıştır. Çizelge 5.9’da farklı yapı malzemelerinin kullanıldığı ev sayıları verilmiştir. Dört mevsim sonunda hesaplanan sonuçlara göre evlerde kullanılan yapı malzemesine göre ortalama radon gazı yoğunluğunun dağılımı Şekil 5.13’de verilmiştir. Yaptığımız anketler sonucu evlerde yaşayan bireylerden aldığımız bilgilere göre; duvarları kerpiçten yapılmış olan evlerde radon yoğunluğu diğer yapı malzemelerinden yapılmış evlere göre çok daha fazladır. Duvarları kerpiçten yapılmış olan evler genel olarak Mahmudiye ilçesindedir ve bu evlerde genellikle yakıt olarak kömür ve gübre kullanılmaktadır. Ayrıca ilçe girişinde bulunan bir taş fabrikasından dolayı evlerin pencere vasıtasıyla neredeyse hiç havalandırılmadığı öğrenilmiştir. Yapı malzemesi olarak kerpiç kullanılan evler dışında beton, ahşap ve topraktan yapılmış evler literatürlere uygun bir şekilde kış ve sonbahar mevsimlerinde yüksek yaz ve ilkbahar mevsimlerinde düşük radon yoğunluklarına sahiptir. Duvarlarında kullanılan yapı

malzemesi tuğla olan evlerde radon gazı yoğunluğu ölçümlerinin literatürlere uymaması sonucu evlerde yaşayan bireyler telefon vasıtasıyla aranmış ve ilkbahar mevsiminin ortasından itibaren sonbahar mevsimine kadar bireylerin evlerde yaşamadığı ve bu süre içinde evlerin hiç havalandırılmadığı öğrenilmiştir.

Çizelge 5.9. Binalarda farklı yapı malzemelerinin kullanıldığı ev sayıları.

Yapı Malzemesi	Beton	Toprak	Ahşap	Tuğla
Ev Sayısı	60	45	14	3



Şekil 5.13. Eskişehir ilçelerinde radon yoğunluğu ölçümünün kullanılan yapı malzemesine göre analizi.

5.4.5. Mevsimsel radon yoğunluğunun sinüs fonksiyonu ile fit edilmesi

Mevsimsel radon gazı yoğunluğu sinüs fonksiyonu ile yaklaşık olarak Denklem 5.1'deki gibi ifade edilebilir (Stojanovska, *et al.*, 2011).

$$\ln(C_{Rn}) = y_0 + a \sin[2\pi(x - \varphi)] \quad (5.1)$$

Burada, C_{Rn} , bina içi radon yoğunluğu, x , kış için 0,0, ilkbahar için 0,25, diğer mevsimler için 0,25 artan değerleri alarak devam eder. y_0 , mevsimsel ölçümler için radon yoğunluğunun geometrik ortalaması veya serbest parametre olarak alınabilir. φ ise faz farkını ifade eder. Bilgisayar ortamına (Gnuplot) mevsimsel radon yoğunluğunun geometrik ortalamasının logaritması veri olarak girilmiştir (Bq/m^3). Bilgisayar ortamına girilen deneysel veriler sırasıyla kış mevsimi için 4,56, ilkbahar mevsimi için 4,43, yaz mevsimi için 4,22 ve sonbahar mevsimi için 4,46'dır.

Gnuplot yardımı ile parametreler aşağıdaki gibi tahmin edilmiştir.

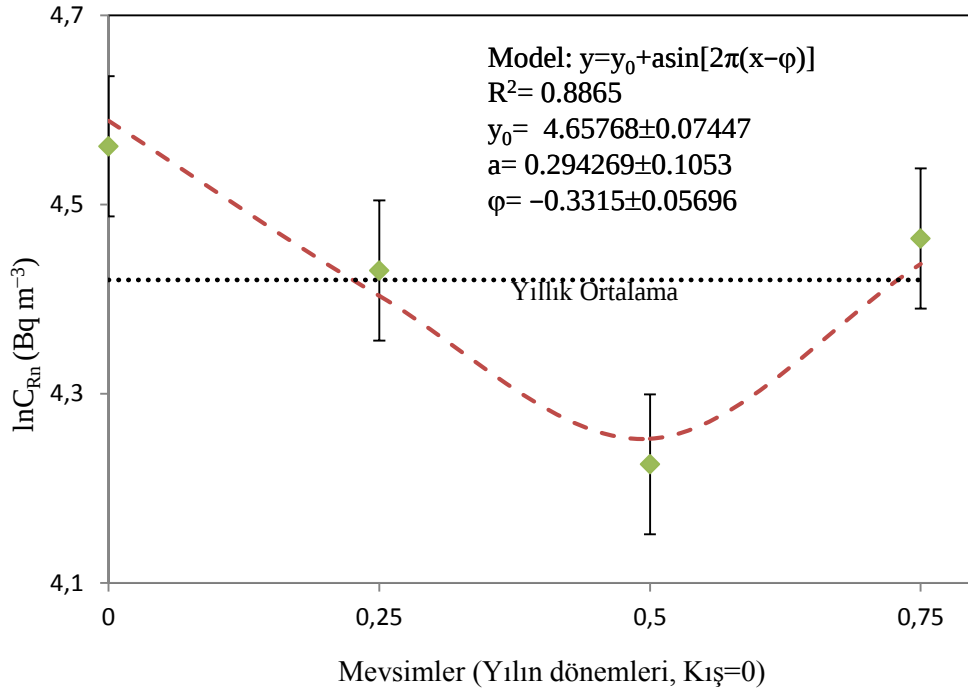
y_0 serbest parametre olarak alındığında:

$$a=4,41708\pm0,03025$$

$$b=-0,1622\pm0,04277$$

$$c=0,7333865\pm0,04197$$

Şekil 5.14'te kırmızı renkli eğri (- - -) mevsimsel radon verileri ile Denklem 5.1'in fit sonucunu verir. Şekil 5.11'de siyah renkli düz eğri (...) ise mevsimsel ölçümlere bağlı yıllık radon yoğunluğunun geometrik ortalamasının logaritmik değeridir. Şekil 5.14'te deneysel değerler ($\diamond$), verilerin doğal logaritmasının aritmetik ortalamasının standart hatası ile birlikte gösterilmiştir. Şekil 5.14'te x eksenini mevsimleri temsil etmektedir ve kış için 0,0 ilkbahar için 0,25 diğer mevsimler için 0,25 artarak devam etmektedir.



Şekil 5.14. Mevsimsel radon yoğunluğu verilerinin sinüs fonksiyonu ile fit grafiği.

5.5. Mevsimsel Düzeltme Faktörü

Evlerde radon yoğunluğu hesabı yapmak ve analizlerin sonucunu doğru bir şekilde hesaplayabilmek için en az bir yıllık bir süre için ölçüm yapmak gerekir. Yapılacak ortalama radon yoğunluğu hesaplamaları için her ay ölçüm yapmak en iyi sonucu verecektir. Ancak ölçüm yapılacak bölgelerin uzaklığı ve insanların ölçümlere olan ilgisizliği gibi sebepler nedeniyle genelde üç aylık dönemlerden oluşacak şekilde mevsimsel çalışma yapılır. Bir dönem (mevsim) için yapılan ölçümler bir düzeltme katsayısı ile çarpılarak ölçüm sonucu uzun süreli ölçümlerle uyumlu hale getirilebilir. Sonuçların uyumlu hale getirilebilmesi için bir düzeltme katsayısına ihtiyaç vardır. Bu düzeltme katsayılarına mevsimsel düzeltme faktörü denir. Bu yolla dönemlik veriler kullanılarak yıllık ortalama radon yoğunluğu yaklaşık bulunur. Mevsimsel düzeltme faktörü ilk defa Pinel tarafından geliştirilmiş ve İngiltere’de uygulanmıştır (Pinel, 1995). Mevsimsel düzeltme faktörü ile ilgili bazı farklı görüşler vardır (Denman, et al., 2008).

Kapalı ortam radon yoğunluğu seviyesi ev içerisinde herhangi bir aktivite olmaması sebebiyle genellikle geceleri gündüzden daha yüksektir ve genellikle kış mevsiminde yaz mevsimine göre radon yoğunluğu fazladır. Yaz mevsiminde artan iç/dış sıcaklık farkı daha büyük atmosferik basınç farkı ve yığın etkisi aracılığıyla radon yoğunluğunun artması ile sonuçlanır (Eaton et al., 1984).

Farklı ev tipleri, rüzgârın yönü ve hızı evlerdeki radon yoğunluğunu dış sıcaklıklardan daha fazla etkiler. Bazı ev tiplerinde (İngiltere için evlerin % 10-20'si) mevsimsel farklılıklar oluşmamaktadır ancak normal ev tiplerinde yapılan ölçümlerde mevsimsel farklılık görülmektedir. Normal ev tiplerinde yıllık ortalama radon yoğunluğunun hesaplanmasında mevsimsel düzeltme faktörü daha sağlıklı bilgiler elde etmemizi sağlamıştır (Miles, 2001).

Radon yoğunluğu hava durumundan, barometrik basınçtan ve rüzgar yönelimlerinden etkilenir (Karpinska, et al., 2005).

Radon yoğunluğu seviyesini yağış miktarları da etkiler (Mose, et al., 1991).

Sismik olaylar, okyanus gelgit yüklenmeleri ve toprak gelgitleri dahil gelgit etkileri radon yoğunluğundaki farklılıkları etkiler. Tortul kayalıkların olduğu yerlerde evlerdeki radon yoğunluğu mevsimsel olarak değişir. Volkanik kayalıkların olduğu yerlerde evlerdeki radon yoğunluğu mevsimsel olarak sabit kalmaktadır (Groves-Kirkby, et al., 2009).

Pek çok araştırmaya göre tek bir mevsimsel düzeltme faktörü geniş bir coğrafyaya uygulanamaz (Pinel, et al., 1995).

Mevsimsel düzeltme faktörünün hesaplanmasında 1995 yılında Pinel tarafından geliştirilen istatistiksel metot kullanılır. Bu metot ev içi radon yoğunluğundan arka fon değerinin çıkarılmasını gerektirir. Mevsimsel düzeltme faktörünün hesaplanmasında Fourier ayrıştırma analizi kullanılır. Fourier parametreleri en küçük kareler yöntemi kullanılarak tahmin edilir. Evlerdeki düzeltilmiş (arka fon radyasyon değeri çıkarılmış) radon yoğunluğunun logaritmik değeri normal dağılım gösterir (Nero, et al., 1986). Kullanılan farklı karşılaştırma yöntemleri ve modeller evlerdeki radon yoğunluğunun log-normal dağılım gösterdiğini doğrulamaktadır (Murphy and Organo,

2008). Ev içi düzeltilmiş radon yoğunluğunun logaritması normal dağılım gösterir ve Denklem 3.4 ile ifade edilir (Burke, et al., 2010).

$$\text{Log}(Y_j - Y_b) \sim \text{normal} \quad (5.2)$$

Burada, Y_j , j evinde ölçülen ortalama radon yoğunluğu; Y_b , arka fon radon yoğunluğu değeridir. İstatistiksel değerlendirmelere göre İrlanda Ulusal Radon Araştırma Merkezi arka fon radyasyonunu 6 Bq/m³ olarak almıştır. Yapılan analizlere göre alınan bu değer kullanılan model ile uyumlu sonuçlar göstermektedir. Eskişehir ilçelerinde yaptığımız deneysel çalışmamız için, bölgesel karşılaştırmalar yapılarak Eskişehir için en uyumlu arka fon radyasyon değerinin 4 Bq/m³ olduğu tespit edilmiştir. İrlanda Radyasyondan Korunma Enstitüsü (RPII) mevsimsel düzeltme faktörünün hesaplamasında 3 aylık ölçümleri önermektedir. Bu tez çalışmasında İrlanda için kullanılmış olan metotlar aynen kullanılmıştır (Burke, *et al.*, 2010). Yapılan ölçümlerde log-normal dağılımdan çok fazla uzaklaşan sonuçlar işleme alınmamıştır. Üç aylık ölçümler sonucunda, her bir ölçüm periyodunda elde edilen değerler belirli aylara tahsis edilir. Pinel'in (2005) yaptığı çalışmaya göre, örneğin aralık ayının ortasında başlayıp mart ayının ortasında son bulan bir ölçüm sonucu şubat ayına tahsis edilmiştir. Kendi ölçümlerimizde de bu metottan yararlanılmıştır.

Arkafonu düzeltilmiş j evinde ölçülen radon yoğunluğunun ortalaması Denklem 5.3 yardımı ile gösterilir.

$$Y_j - Y_b = \frac{1}{t_{2,j} - t_{1,j}} \int_{t_{1,j}}^{t_{2,j}} h_j p(t) dt \quad (5.3)$$

Burada, h_j , bina içi radon yoğunluğu ile j evinde ölçülen radon yoğunluğunun arasındaki farkı temsil eden bir çarpım faktördür. $p(t)$, t zamanında bir evde bulunan radon düzeyini açıklar. $p(t)dt$ ise t zamanında belirli bir evde radon yoğunluğunu temsil eden bir fonksiyondur. Ölçüm döneminin başlangıç ve bitiş zamanları sırası ile t_1 ve t_2 ile gösterilmektedir. Denklem 5.3'teki integral j evindeki radon yoğunluğunun ortalamasını hesaplar. Bizim verilerimizde, ölçümler aylık dilimler üzerinden alınır. Bu da bize Denklem 5.3'te verilen 3 aylık bir süre için farklı bir toplam yapmak üzere integral dönüşümüne izin verir. İntegral dönüşümü Denklem 5.4 yardımı ile ifade edilir.

$$Y_j - Y_b = \frac{1}{3} h_j \sum_{k=i-1}^{i+1} m_k \quad (5.4)$$

Burada, ölçüm süresi $(t_{2,j} - t_{1,j})$ yaklaşık üç ay, m_k ise $p(t)$ integralinin verilen üç aylık süre boyunca farklı bir uygulamasını gösteren bilinmeyen periyodik bir fonksiyondur. Denklem 5.4'ün logaritmik dönüşümü yapılırsa her bir ölçüm dönemi için, evlerdeki radon yoğunluğunun logaritmasının aritmetik ortalaması, Denklem 5.5 ile hesaplanır.

$$x_i = \frac{1}{N_i} \sum_{j \in T_i} \log(Y_j - Y_b) = \frac{1}{N_i} \sum_{j \in T_i} \log\left(\frac{1}{3} \sum_{k=i-1}^{i+1} m_k\right) + \frac{1}{N_i} \sum_{j \in T_i} \log(h_j) \quad (5.5)$$

Burada, $j \in T_i$ i ayındaki ölçümlerin yapıldığı evlerin grubunu, N_i ise bu gruptaki evlerin sayısını göstermektedir. Denklem 5.5'in sol tarafındaki x_i terimleri normal dağılım göstermektedir, böylece $d_i = \exp(x_i)$ eşitliği log-normal veri olarak doğru modellenmiştir. Bu eşitliğin lineer hale getirilmesi için bir hata teriminin (ε_i) eklenmesi gerekir. Yeni hata terimleri yaklaşık olarak normal dağılım göstermektedir.

$$d_i = \exp(x_i) = \prod_{j \in T_i} (Y_j - Y_b)^{\frac{1}{N_i}} = \frac{1}{3} h_j \sum_{k=i-1}^{i+1} m_k + \varepsilon_i \quad (5.6)$$

Burada, x_i , her bir ölçüm periyodundaki radon yoğunluklarının logaritmasının ortalamasına eşittir ve ölçüm sonuçlarından kolayca hesaplanır. m_i henüz tespit edilememiş bilinmeyen aylık değerlerdir.

$$m_i = \beta_0 + \sum_{r=1}^6 \left[\alpha_r \sin\left(\frac{2\pi r i}{12}\right) + \beta_r \cos\left(\frac{2\pi r i}{12}\right) \right] + \beta_0 \cos(\pi r) \quad (5.7)$$

α_1 ve β_1 henüz bulunamamış Fourier parametreleridir. Denklem 5.7 çok kapsamlı periyodiklik için geçerli olup bu çalışma için sadece 12 aylık periyodiklik yeterli olmaktadır. Denklem 5.7, 12 aylık periyodiklik için basitleştirilerek Denklem 5.8'deki gibi gösterilir.

$$m_i = \beta_0 + \alpha_1 \sin\left(\frac{2\pi i}{12}\right) + \beta_1 \cos\left(\frac{2\pi i}{12}\right) \quad (5.8)$$

Denklem 5.8, Denklem 5.6'da yerine konulursa aradaki ilişki Denklem 5.9'da bir matris biçiminde yeniden ifade edilir.

$$d = XF\theta + \varepsilon \quad (5.9)$$

Burada, d , dönemlik radon yoğunluğunun geometrik ortalamasıdır. Her 3 aylık ölçüm dönemi için $d_i = \exp(x_i)$ formülü ile hesaplanır. Evlerde yapılan ölçümler üç aylık süreçlerden oluşmak üzere toplam 12 defa ölçüm yapılır. Her bir ölçüm sonucu ölçüm periyodunun ortasına gelen aya tahsis edilir. Ölçüm sürecinin sonunda Denklem 5.10'daki gibi her bir aya tahsis edilmiş 12 adet d değeri elde edilmiş olur.

$$d = (d_1, d_2, d_3, \dots, d_{12})^t \quad (5.10)$$

Burada t , transpozu ifade eder.

Burada, $\Theta = \beta_0, \alpha_1, \beta_1$ t değerlerini alırken, $\varepsilon = (\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3 \dots \varepsilon_{12})^t$ değerlerini alır. X matrisi, m_i üzerinden ortalamayı gösterir. F matrisi, Fourier ayrıştırma analizi öğelerini barındırır ve Fourier parametreleri vektörü tahmin edilir. ε 'nin yaklaşık normalliği nedeni ile en küçük kareler yaklaşımı bilinmeyen parametreleri tahmin etmek için kullanılır. ε , hata terimidir burada yaklaşık sıfır alınır. Denklem 5.7 yerine Denklem 5.8 kullanıldığı için OLS içindeki matrislerin hepsi tam ranktır dolayısı ile tersi alınabilir. Böylece OLS metodu bize tüm $(\beta_0, \alpha_1, \beta_1)$ parametrelerin tahminini sağlar. OLS dönüşümü m_i gerçek değerlerinin tahminini üretir. Denklem 5.11'deki Matris çarpımı yapılırsa Denklem 5.12'deki gibi 12 tane eşitlik elde edilir.

$$X = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} F = \begin{bmatrix} 1 & \sin(\frac{2\pi}{12}) & (\frac{2\pi}{12}) \\ 1 & (\frac{4\pi}{12}) & (\frac{4\pi}{12}) \\ 1 & (\frac{6\pi}{12}) & (\frac{6\pi}{12}) \\ 1 & (\frac{8\pi}{12}) & (\frac{8\pi}{12}) \\ 1 & (\frac{10\pi}{12}) & (\frac{10\pi}{12}) \\ 1 & (\frac{12\pi}{12}) & (\frac{12\pi}{12}) \\ 1 & (\frac{14\pi}{12}) & (\frac{14\pi}{12}) \\ 1 & (\frac{16\pi}{12}) & (\frac{16\pi}{12}) \\ 1 & (\frac{18\pi}{12}) & (\frac{18\pi}{12}) \\ 1 & (\frac{20\pi}{12}) & (\frac{20\pi}{12}) \\ 1 & (\frac{22\pi}{12}) & (\frac{22\pi}{12}) \\ 1 & (\frac{24\pi}{12}) & (\frac{24\pi}{12}) \end{bmatrix} \quad (5.11)$$

$$d_i = A_i\beta_0 + B_i\alpha_1 + C_i\beta_1 \quad (5.12)$$

Denklem 5.12'deki değişkenler Denklem 5.13 ve 5.14'teki aralıklarda değerler alır.

$$d = (d_1, d_2, d_3, \dots, d_{12}), A = (A_1, A_2, A_3, \dots, A_{12}) \quad (5.13)$$

$$B = (B_1, B_2, B_3, \dots, B_{12}), C = (C_1, C_2, C_3, \dots, C_{12}) \quad (5.14)$$

Elde edilen 12 adet denklem en küçük kareler yöntemi ile çözülür β_0 , α_1 ve β_1 katsayıları tahmin edilir. Denklem 5.15 ile mevsimsel m_i terimleri hesaplanır.

$$m_i = \beta_0 + \alpha_1 \sin\left(\frac{2\pi i}{12}\right) + \beta_1 \cos\left(\frac{2\pi i}{12}\right) \quad (5.15)$$

Üç aylık ölçümler için, radon yoğunluğu ile aylık m_i değeri arasındaki ilişki Denklem 5.16'daki gibi yazılır.

$$Y_j - Y_b = \frac{1}{3} h_j \sum_{k=i-1}^{i+1} m_k \quad (5.16)$$

Bir yıllık ölçümler için, radon yoğunluğu ile aylık m_i değeri arasındaki ilişki Denklem 5.17'deki gibi yazılır.

$$Y_j^{12} - Y_b = \frac{1}{12} h_j \sum_{k=1}^{12} m_k \quad (5.17)$$

Bir yıllık ve üç aylık ölçümler için yazılan Denklem 5.16 ve Denklem 5.17 denklemleri birleştirilirse,

$$Y_j^{12} - Y_b = f_i(Y_j - Y_b) \quad (5.18)$$

elde edilir. Burada f_i , mevsimsel düzeltme faktörüdür, f_i ifadesi çekilirse,

$$f_i = \frac{3 \sum_{k=1}^{12} m_k}{12 \sum_{k=i-1}^{i+1} m_k} \quad (5.19)$$

elde edilir. Denklem 5.19 ile üç aylık ölçümler için mevsimsel düzeltme faktörü hesaplanır. Buradan her bir ay için toplamda 12 adet düzeltme faktörü değeri elde edilir (Burke, et al., 2010).

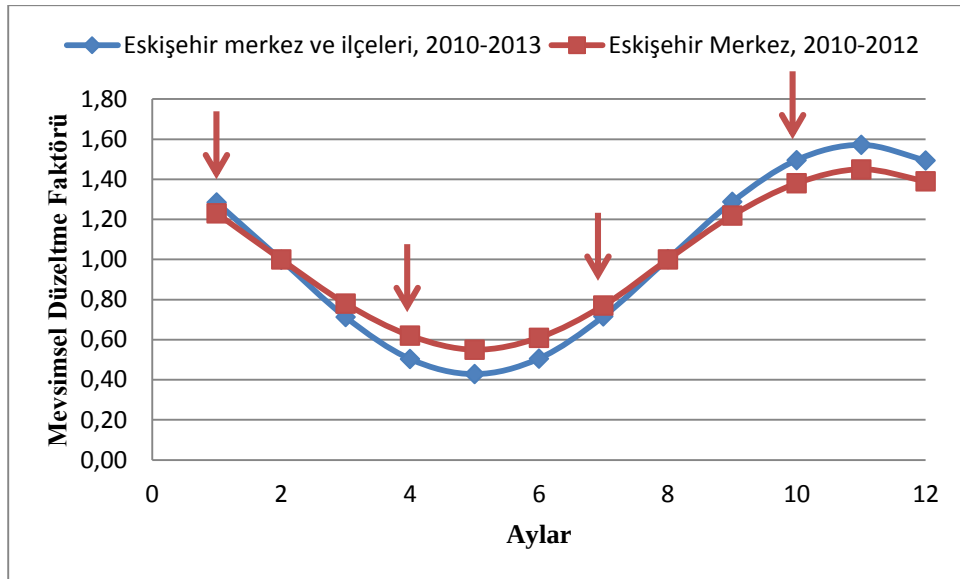
5.6. Eskişehir İl Merkezi ve İlçelerindeki Toplam Veriler İle Mevsimsel Düzeltme Faktörü Hesabı

Eskişehir ilçelerinde elde ettiğimiz dört dönemlik veriler üç ayın ortalaması alınarak, ortanca aya denk gelecek şekilde yazılmıştır. Bu şekilde 12 dönemlik veri elde edilir. Örneğin Aralık, Ocak, Şubat aylarında yapılan ölçümler Ocak ayına tahsis edilmiştir. Eskişehir ilinde 2010-2012 yılları arası Eskişehir merkezde Hacı Soğukpınar tarafından yapılan ‘radon gazı ölçümü’ çalışması ile Eskişehir ilçelerinde 2012-2013 yılları arası bu tez kapsamında yapılan çalışma birleştirilerek Eskişehir’i tamamen kapsayacak bir veri oluşturulmuştur. Tüm veriler hesaba katılarak Matlab programında tüm Eskişehir ilini kapsayacak şekilde mevsimsel düzeltme faktörleri elde edilmiştir. Elde edilen değerler 0,43 ve 1,57 aralığında değişim göstermektedir. Elde edilen yeni sonuçlar ve Eskişehir il merkezi için elde edilen mevsimsel düzeltme faktörlerinin karşılaştırılması Çizelge 5.10 ve Şekil 5.15’te verilmiştir.

Çizelge 5.10. Eskişehir’de mevsimsel düzeltme faktörlerinin karşılaştırılması.

	Eskişehir (2010-2013)			Eskişehir Merkez (2010-2012)
Aylar	d	m	f	f
Ocak	100,48	38,84	1,28	1,23
Şubat	138,81	29,54	1,00	1,00
Mart	129,41	20,26	0,71	0,78
Nisan	95,18	13,48	0,50	0,62
Mayıs	74,05	11,02	0,43	0,55
Haziran	52,62	13,54	0,51	0,61
Temmuz	65,22	20,36	0,72	0,77
Ağustos	55,51	29,66	1,00	1,00
Eylül	72,18	38,95	1,29	1,22
Ekim	93,36	45,73	1,50	1,38
Kasım	128,59	48,19	1,57	1,45
Aralık	140,91	45,67	1,49	1,39

Şekil 5.15’de Eskişehir merkezinde 2010-2012 yılları arasında yapılan radon yoğunluğu çalışması ile 2012-2013 yılları arasında Eskişehir ilçelerinde yapılan radon yoğunluğu ölçümlerinin karşılaştırılması gösterilmiştir. Şekilde kırmızı renk Eskişehir merkezi, mavi renk Eskişehir ilçelerini temsil etmektedir. Yapılan analizlere göre Eskişehir ilçelerinde Nisan, Mayıs ve Haziran aylarında radon yoğunluğunun Eskişehir merkez ilçelerine göre daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Dolayısıyla mevsimsel düzeltme faktörü de bu mevsimlerde daha düşüktür. Bazı ilçelerde akdeniz ikliminin etki göstermesi üzerine, bu ilçeler radon yoğunluğu ortalamasını düşürmektedir. Ekim, Kasım ve Aralık aylarında ise radon yoğunluğu Eskişehir merkezi için hesaplanan mevsimsel düzeltme faktörlerinden daha yüksektir. Yapılan anketlere göre Mahmutiye ilçesinde evlerin pencere vasıtasıyla hiç havalandırılmadığı ve dolayısıyla radon yoğunluğunun çok yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Yapı malzemesi olarak kerpiç ve tuğla kullanan evlerin fazla olması da radon yoğunluğunun yüksek olmasının diğer sebebidir.

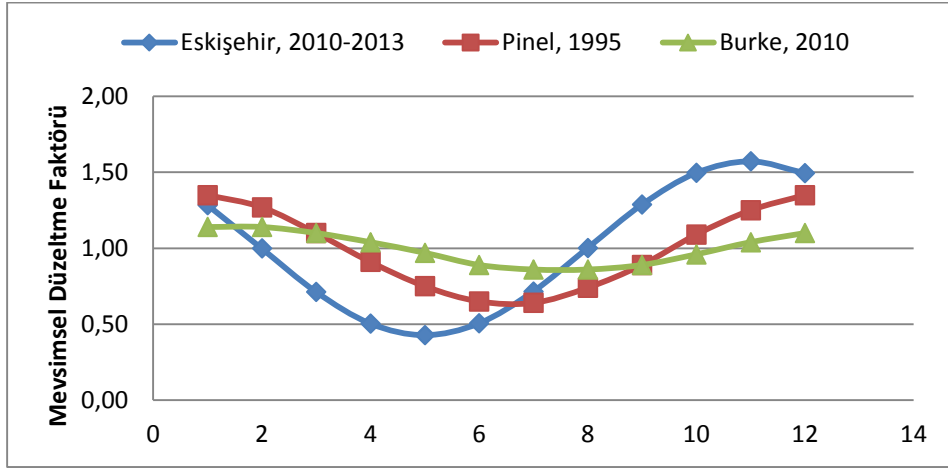


Şekil 5.15. Eskişehir ve il merkezi için hesaplanan mevsimsel düzeltme faktörünün karşılaştırılması.

Çizelge 5.11. Eskişehir'in tüm verileri için hesaplanan mevsimsel d değerleri, m değerleri, f değerleri ile İngiltere ve İrlanda'nın f değerleri.

	Eskişehir (2010-2013)	İngiltere (Pinel, <i>et al.</i> , 1995)	İrlanda (Burke, <i>et al.</i> , 2010)
Aylar	f	f	f
1	1,28	1,35	1,14
2	1,00	1,27	1,14
3	0,71	1,10	1,10
4	0,50	0,91	1,04
5	0,43	0,75	0,97
6	0,51	0,65	0,89
7	0,72	0,64	0,86
8	1,00	0,74	0,86
9	1,29	0,89	0,89
10	1,50	1,09	0,96
11	1,57	1,25	1,04
12	1,49	1,35	1,10

Eskişehir ilinde Hacı Soğukpınar (2010-2012) tarafından yapılan çalışma ile kendi deneysel verilerimizi birleştirerek elde ettiğimiz radon yoğunluğu ölçümlerine göre hesapladığımız mevsimsel düzeltme faktörleri, daha önceden Pinel (2005) tarafından İngiltere'de yapılan analizler ve Burke ve arkadaşları (2010) tarafından İrlanda'da yapılan mevsimsel düzeltme faktörü hesaplamaları karşılaştırılmıştır. Yapılan kıyaslamaya göre Eskişehir ilçelerinde mevsimsel düzeltme faktörünün en az bulunduğu ay Mayıs ayıdır. İngiltere için hesaplanan mevsimsel düzeltme faktörlerinde Haziran değeri en düşük, İrlanda için hesaplanan faktörlerden Temmuz ve Ağustos değerleri en düşüktür. Bu farklılıklar iklimsel değişikliklerden kaynaklanmaktadır. Ayrıca mevsimsel düzeltme faktörlerinin bölgeden bölgeye değişebileceği, bu nedenle geniş bir coğrafyaya uygulanamayacağı sonucuna varılır. Elde edilen veriler Çizelge 5.11 ve Şekil 5.16'da verilmiştir.



Şekil 5.16. Tüm Eskişehir için radon gazı ölçümleri ile hesaplanan mevsimsel düzeltme faktörleri ile İngiltere ve İrlanda'nın mevsimsel düzeltme faktörlerinin karşılaştırılması.

5.7. Eskişehir'de Radon Gazı Ölçümlerinin t Testi İle Analizi

Eskişehir ilinde merkez ilçeler dışındaki tüm ilçelerde, 2012-2013 yılları arasında mevsimsel radon gazı ölçümleri yapılmıştır. Aynı evlerden alınan veriler ile bir veri kümesi oluşturularak dönemsel radon yoğunluklarının, katlara ve mevsimlere göre t testi ile kıyaslanması yapılmıştır. Mevsimsel yapılan çalışmada aynı evlerden bir mevsimden fazla sonuç alınamamışsa veya herhangi bir mevsim için veri alınamamışsa, bu evler teste dahil edilmemiştir.

Eskişehir ilçelerinde aynı evlerde yapılan 4 mevsimlik ölçümlerden kış mevsimi ve ilkbahar mevsimi, ilkbahar mevsimi ve yaz mevsimi, yaz mevsimi ve sonbahar mevsimi, kış mevsimi ve sonbahar mevsimi arasında eşleştirilmiş iki grup arasındaki farkların testi (paired sample t test) hesaplanmıştır. Eşleştirilmiş iki grup arasındaki farkların testi, aynı deneklerin farklı durumlarda nasıl davrandıklarını belirlemek için kullanılır. Bu test için mevsimler bazında radon yoğunluklarının aritmetik ortalamaları alınmış ve aynı evlerde, karşılaştırma yapılacak mevsimler için her iki mevsimde de veri alınmışsa bu evler t testine dahil edilmiştir. Bu çalışmaya göre hesaplanan test sonuçları Çizelge 5.12'de verilmiştir. Kış-yaz karşılaştırması için 86, kış-sonbahar karşılaştırması için 89, yaz-sonbahar karşılaştırması için 89, yaz-ilkbahar karşılaştırması için 84 ev kullanılmıştır.

Çizelge 5.12. Mevsimlerin karşılaştırılması için yapılan eşleştirilmiş iki grup arasındaki farkların t testi sonucu.

Karşılaştırma	Serbestlik Derecesi	p-değeri
Kış-Yaz	85	0,001
Kış-Sonbahar	88	0,412
Yaz-Sonbahar	88	0,001
Yaz-İlkbahar	83	0,001

Çizelge 5.12'ye göre p değerleri kış-sonbahar karşılaştırması haricinde 0,05 değerinden küçüktür. Bu durumda üç mevsimsel karşılaştırma için, mevsimler arası radon yoğunluğu ortalamaları arasında ciddi anlam farklılıkları vardır. Kış ve sonbahar mevsimleri karşılaştırması için hesaplanan p değeri 0,05'ten büyük olduğu için bu iki mevsim için hesaplanan radon yoğunluğu ortalamaları arasında anlam farkı yoktur.

Eskişehir ilçelerinde radon yoğunluğu ölçümü yapılan evlerin katlarına göre t testi analizi yapabilmek için varyans homojenlik testi yapılmalıdır. Yapılan varyans homojenlik testine göre, katlar arası karşılaştırmada varyanslar birbirine eşit olmadığı için, varyansları eşit olmayan bağımsız iki örneklem t testi kullanılmıştır. Çizelge 5.13'te kat analizi için yapılan t testinin sonuçları verilmiştir.

Çizelge 5.13. Bağımsız iki örneklem t testine göre kat analizi sonuçları.

	Zemin kat	1. kat	2. kat ve üzeri
Hane Sayısı (n)	75	35	13
Varyans (s ²)	10102,44	2296,01	560,89
	1. ve 2. katlar		2. ve üzeri katlar
	Varyans homojenlik testi		
p-değeri	0,000		0,021
	Bağımsız iki örneklem t testi		
p-değeri	0,000		0,351

Bağımsız iki örneklem t testine göre zemin ve 1. katlar arası p değeri 0.05'ten küçüktür. Bu durumda 1. kat ve 2. katlar arasında, radon yoğunlukları açısından ciddi farklılıklar olduğu söylenebilir. 2. katlardaki evler ve 3 ve üzeri katlardaki evlerden alınan ölçümler sonucu hesaplanıp karşılaştırılan radon yoğunlukları ortalamalarına göre bulunan p değeri 0,3512'dir. Bu değer 0,05'ten büyüktür. Bu sebeple 2. ve 3. katlar arası anlam farkı yoktur.

BÖLÜM 6

SONUÇ, TARTIŞMA ve ÖNERİLER

1898 yılında Rutherford ve Owens'ın radyoaktif maddelerin ışınlımlarla birlikte bir gaz yaydığının farkına varmaları sonucu bu gaza ışınlım ve daha sonra toron adını verdiler. 1900'de Dorn radyum ışınlımının radon olduğunu keşfetti. Radon, ^{238}U 'in radyoaktif bozunum serisinde bulunan 1600 yıl yarı ömürlü ^{226}Ra 'nın bozunumu sonucu oluşur. Renksiz, kokusuz, tatsız, gözle görülemeyen doğal radyoaktif asal bir gazdır. Havadan yaklaşık 8 kat ağır olan radon, binaların zemininde bulunan çatlaklardan hareket edip bina içinde birikerek ev içi radon yoğunluğunu oluşturur. Ev içi radon yoğunluğu oluşturmada toprak birinci sırayı, bina yapı malzemeleri ve şebeke suyu önem sırasına göre ikinci ve üçüncü sırayı oluşturur. Özellikle soğuk havalarda evlerin ısıtılması sonucu evdeki basınç az ve dışarıdaki basınç fazla olur. Evlerin soğuk havalarda yeterince havalandırılmamasından da dolayı ev içerisindeki radon oranı yükselir. Aynı durum rüzgarlı havalar için de geçerlidir. Yaz aylarında ise evlerde havalandırma olacağı için ve herhangi bir ısıtma sistemine ihtiyaç duyulmayacağı için evlerde dışarı ile basınç farkı olmaz. Bu durumda radon yoğunluğunun yaz aylarında düşük olması muhtemeldir.

Eskişehir il merkezinde bulunan 2 ilçe (Odunpazarı, Tepebaşı) haricinde şehir merkezi dışında bulunan 12 ilçe ve Kırka beldesinde toplamda 4 dönemden oluşmak üzere 1 yıllık ölçüm yapılmıştır. Yapılan ölçüm sonuçlarına göre kış mevsiminde ev içi radon yoğunlukları 24 Bq/m^3 - 511 Bq/m^3 , ilkbahar mevsiminde 12 Bq/m^3 - 565 Bq/m^3 , yaz mevsiminde 10 Bq/m^3 - 445 Bq/m^3 , sonbahar mevsiminde 24 Bq/m^3 - 462 Bq/m^3 arasında değişmektedir. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) evler için üst limit değerlerini 400 Bq/m^3 olarak belirlemiştir ancak WHO'nun yaptığı son çalışmalarda sağlık risklerinin azaltılması için 100 Bq/m^3 'ü üst limit değer olarak belirlemiştir. Eğer bu limit oluşturulamıyorsa radon yoğunluğunun 300 Bq/m^3 'ü aşmaması tavsiye edilmektedir. Eskişehir ili ilçelerinde yapılan ölçüm ve hesaplamalara göre ortalama radon yoğunluğu 114 Bq/m^3 'tür. Bu değer Türkiye için hesaplanan 52 Bq/m^3 radon

yoğunluğunun iki katından fazla, TAEK üst limit değerinden (300 Bq/m^3) çok daha azdır. Dünya genelindeki tahmini radon yoğunluğundan (39 Bq/m^3) ise çok daha düşüktür. Eskişehir’de bulunan 12 adet ilçeden 2’si (Sarıcakaya ve Mihalgazi) Akdeniz iklimine sahiptir ve bu ilçeler radon yoğunluğu ortalamasını düşürmektedir. Diğer 10 ilçede karasal iklim baş göstermektedir ve Eskişehir İç Anadolu Bölgesi’nde bulunan soğuk illerden biri olduğu için Eskişehir ilçelerinde hesaplanan radon yoğunlukları dünya genelinde hesaplanan sonuçlardan yaklaşık 4 kat, Türkiye için hesaplanan ortalama değerden yaklaşık 2 kat yüksektir.

Radon binalara zemin çatlakları, asma kat boşlukları, tesisat boşlukları, duvar arası boşluklarından girmektedir. Ev içindeki radon yoğunluğu binada kullanılan yapı malzemesine havalandırma alışkanlıklarına, evlerin ısı yalıtımlarına göre değişiklik göstermektedir. Radon yoğunluğunun, toprağa yakın olması sebebiyle zemin katlarda yüksek, üst katlara çıkıldıkça düşük olması beklenir. Yapılan kat analizi sonuçları bunu doğrular niteliktedir.

Evlerde yaşayan bireylerden aldığımız bilgiler sonucu doldurulan anketlere göre kış mevsiminde 111, ilkbahar mevsiminde 105, yaz mevsiminde 91, sonbahar mevsiminde 95 veri toplanmıştır. Dağıtım yapılan evlerden 60 tanesi beton, 33 tanesi toprak, 14 tanesi ahşap, 12 tanesi kerpiç, 3 tanesi tuğladır. 67 tane zemin kat 33 tane birinci kat, 9 tane ikinci kat ve 2 tane üçüncü katta oturan bireylere dağıtım yapılmıştır. Evlerin yaklaşık % 75’inde çift cam bulunmakta fakat evlerin % 75’inde ısı yalıtımı iyi değildir. Anketlere göre yapılan hesaplamalarda evlerin % 60’ının iyi havalandırıldığı tespit edilmiştir.

Dört mevsimden oluşan verilere göre fit grafiği çizilmiştir. Aylık verilerin fit grafiği çizildiğinde bu grafikte sinüs dağılımına uyum göstermektedir. Hacı Soğukpınar (2010-2012) tarafından Eskişehir’i merkez ilçelerinde elde edilen radon yoğunluğu verileri ile Eskişehir ilçelerinde (2012-2013) elde edilen radon yoğunluğu verileri birleştirilerek tüm Eskişehir’i kapsayacak bir veri seti oluşturulmuştur. Bu verilere göre, her aya tahsis edilmek üzere üç aylık ölçümler bir yıl boyunca yapılır. Matlab programı yardımı ile mevsimsel düzeltme faktörü hesaplanmıştır (Soğukpınar, 2013). Matlab’da

daha önceden yazılan programda elde edilen verilere göre tüm Eskişehir için mevsimsel düzeltme faktörü 0,43 ile 1,57 arasında değişmektedir.

Radonun sağlık üzerine olumsuz etkileri çok büyüktür. Ancak Eskişehir ilçelerinde yapılan araştırmaya göre, ilçe halkının radyasyon ve radon konusunda çok fazla bilinçli olmadığı anlaşılmıştır. Dağıtım yapılan evlerde radonun, sigaradan sonra akciğer kanserinin en büyük sebebi olduğu anlatılmış ancak verilen bilgiler sadece evde yaşayan bireylerle sınırlı kalmıştır. Yeni yapılan evlerde pencereler PVC, duvarların ısı yalıtımlı yapılmasına dikkat edilmektedir. Ancak Türkiye’de yeni bir bina yapılırken radonla ilgili herhangi bir test yapılmamaktadır. Amerika ve Avrupa ülkelerinde evlerde radon yoğunlukları düzenli olarak ölçülmekte ve halk bilinçlendirilmektedir. Türkiye’de de radon ile ilgili binalarda çalışmalar yapılmalı, halk zemin çatlakları, tesisat sorunları vb. konularda bilgilendirilmeli, evlerinde yeterli havalandırma yapmaları konusunda bilinçlendirilmelidir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Akyıldırım, H., 2005, Isparta ilinde radon yoğunluğunun ölçülmesi ve haritalandırılması, Süleyman Demirel Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.
- Altınsöz, M., 2012, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Meşelik Kampüsü radon yoğunluğu ölçümü, Osmangazi Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.
- Aşıcı, C., 2013, Radon gazı yoğunluğu ölçümlerinin detaylı istatistiksel analizi, Osmangazi Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.
- Baysson, H., Billon, S., Laurier, D., Rogel, A., and Tirmarche, M., 2003, Seasonal correction factors for estimating radon exposure in dwellings in France, Radiation Protection Dosimetry.
- Biological Effects of Ionizing Radiation VI Report, 1999, Health effects of exposure to indoor radon BEIR, National Academy Press, Washington D. C.
- Bostancı, S., 2011, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Kurupelit Kampüsü ve Samsun il merkezinin doğal radyoaktivite seviyesinin belirlenmesi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.
- Burke, Ó., Long, S., Murphy, P., Organo, C., Fenton, D., and Colgan, P. A., 2010, Estimation of seasonal correction factors through fourier decomposition analysis - A new model for indoor radon levels in Irish homes, Journal Of Radiological Protection., 30, 433-443.
- Can, B., 2011, Kilis ilindeki evlerde radon gazı ölçümü, Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.
- Davutoğlu, H., 2008, Radon gazını ölçme metotları, Dumlupınar Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.
- Değerlier, M., 2007, Adana ili ve çevresinin çevresel doğal radyoaktivitesinin saptanması ve doğal radyasyonların yıllık etkin doz eşdeğerinin bulunması, Çukurova Üniversitesi, Doktora Tezi.
- Durrani, S. A., and Bull R. K., 1987, Solid state nuclear track detection: principles, method and applications. Pergamon Press, Oxford.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Durrani, S. A., and Ilic, R., 1997, Radon measurements by etched track detectors: applications to radiation protection, Earth Sciences and the Environment, World Scientific.
- Eaton, R. S., and Scott, A. G., 1984, Understanding radon transport into houses, Rad. Prot. Dosim. 7, 251.
- Groves-Kirkby, C. J., et al., 2006, Identification of tidal and climatic influences within domestic radon time-series from Northamptonshire, UK. Sci. Tot. Environ. 367, 191.
- Heler, 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, Studdgart (In German).
- Jönsson, G., 1981, The angular sensitivitiy of Kodak LR-Film to alpha particle, Nucl. Instr. Meth., 407-414.
- Jönsson, G., 1992. About radon- where, when and how? Student Litteratur Publ. Comp., Lund, 1-112, (in Swedish).
- Karpinska, M. et al., 2005, Time changeability in radon concentration in one-family dwelling houses in the northeastern region of Poland, Rad. Protect. Dosim. 113, 300.
- Krane, K. S., 1987, Introductory nuclear physics, Wiley, New York, 160-236.
- Krewski, D., 2005, Residential radon and risk of lung cancer: A combined analysis of 7 North American case-control studies, Epidemiology, 16:137-145.
- 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).
- Lide, D. R., 1993, Handbook of chemistry and physics, 74th edition, 6.3-6.4 CRC Press, Florida.
- Lowder W. M., and Sobon L. R., 1956, Background radiation, rep. NYO-4712, USAEC, D.C., Washington.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Lubin, J. H., 2004, Risk of lung cancer and residential radon in China: Pooled results of two studies, *Int. J. Cancer*, 109 pp. 132-137.
- Miles, J. C. H., 2001, Temporal variation of radon levels in houses and implications for radon measurement strategies, *Rad. Protect. Dosim.* 93, 369.
- Mose, D. G., Mushrush, G. W., and Crosniak, C. E., 1991, Seasonal indoor radon variations related to precipitation, *J. Environmental and Molecular Mutagenesis*, 17, 223.
- Nero, A. V., Schwehr, M. B., Nazaroff, W. W., and Revzan, K. L., 1986, Distribution of airborne Radon-222 concentrations in US homes, *Science*, 234 992–7.
- NCRP 78, 1984, Evaluation of occupational and environmental exposures to radon and radon daughters in the United States, National Council on Radiation Protection and Measurements.
- NCRP 97, 1988, National council on radiation protection and measurements; measurements of radon and radon daughters in air, NCRP Report No. 97.
- NRPB, 1998, Living with radiation, Fifth Edition, ISBN 085951-419-6.
- Örgün, Y., Altınsoy, N., Şahin, S. Y., Ataksor, B., and Çelebi, N., 2008, A study of indoor radon levels in rural dwellings of Ezine (Çanakkale, Turkey) using solid-state nuclear track detectors, *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 131, No. 3, 379–384.
- Pinel, J., Fearn, T., Darby, S. C., and Miles, J. C. H., 1995, Seasonal correction factors for indoor radon measurements in the United Kingdom, *Radiat. Protec. Dosim.* 58, 127-132.
- 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.
- Soğukpınar, H., 2013, Eskişehir ilinde kapalı ortam radon yoğunlukları için mevsimsel düzeltme faktörlerinin belirlenmesi, Doktora Tezi.
- Tanner, A. B., 1964, Radon mitigation in the ground, a riview. in natural radiation environment, University of Chicago Press, 161-190.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

UNSCEAR, 1982, United nations scientific committee on the effects of atomic radiation, Ionizing radiation, sources and biological effects (United Nations, 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, United nations scientific committee on the effects of atomic radiation sources and biological effects of ionizing radiation, 2000 Report, United Nations.

Urban, M., 1986, Passive one element track etch detector for simultaneous measurement of radon, thoron, and decay products in air, Nucl. Tracks 12, 685-688.

URL-1. <http://www.mgm.gov.tr>.

URL-2. <http://www.tr.wikipedia.org/wiki/Eskisehir>.

URL-3. <http://www.taek.gov.tr>.

URL-4. <http://www.nukeworker.com>.

WHO, 2009, Handbook on indoor radon is a key product of the WHO International Radon Project, which as launched in 2005, ISBN 978 92 4 154767 3.

Vakkas, B., 2008, Niğde ilinde bulunan tarihi mekanlardaki radon gazı ölçümleri, Niğde Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.

EKLER

EK-A

İyonlaştırıcı Radyasyon Doz Birimleri

İyonlaştırıcı radyasyonların etkileri ortama aktardıkları enerji miktarına bağlıdır. İyonlaştırıcı radyasyon ortamda atom ve molekülleri iyonlaştırarak enerjisini aktarır. İyonlaştırıcı radyasyonların etkilerinin araştırılabilmesi için öncelikle radyasyon birimlerinin tanımlanması gerekir. Uluslararası Radyasyon Birimleri Komisyonu (ICRU) 1925 yılından bu yana yaptığı çalışmalar neticesinde aktivite, ışınlama dozu, soğrulma dozu ve doz eşdeğeri için özel birimler tanımlamıştır. Komisyonun yaptığı çalışmalar neticesinde soğrulan doz için Rad, ışınlama dozu için Röntgen, aktivite birim için Curie, doz eşdeğeri için birim olarak Rem'i tanımlamıştır. MKS birim sistemini esas alan Uluslar Arası Birimler Sisteminin (SI) kabul edilmesi ile ICRU 1971 yılında SI radyasyon birimlerini yeniden tanımlamıştır. SI birim sistemine göre aktivite için Becquerel (Bq), ışınlama dozu için Coulomb/kg, soğrulan doz için Gray (Gy), doz eşdeğeri için ise Sievert (Sv) tanımlanmıştır.

Aktivite birimi

Radyoaktif maddenin belirli bir zaman aralığındaki bozunma miktarıdır. Aktivite SI birim sisteminde Becquerel (Bq) geleneksel birim sisteminde Curie (Ci)'dir. 1 Becquerel bir saniyedeki bozunma sayısına eşittir.

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ bozunma.s}^{-1} \quad (\text{B-1})$$

Aktivite birimi ilk başta radyumun aktifliğinden yararlanılarak ifade edilmiştir. Buna göre 1 gram radyumun bozunma hızı birim olarak tanımlanmıştır, daha sonra 1 gram radyumla dengede olan radon gazı miktarında 1 saniyedeki bozunma hızı olarak değiştirilmiştir. O süreçte radyumun atom ağırlığının ve bozunma sabitinin çok hassas tayinleri yapılamamış olduğundan aktivite tarifinin radyumdan bağımsız olarak yapılma fikri oluşmuştur. Uluslararası Standart ve Radyoaktivite Birimleri Komisyonu tanımı

genişleterek bütün radyonüklitler için 1 Curie (Ci)'yi bir saniyede $3,7 \times 10^{10}$ parçalanma olarak tanımlamıştır. Buna göre:

$$1 \text{ Bq} = 2,703 \times 10^{-11} \text{ Ci veya } 1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq} \quad (\text{B-2})$$

olarak verilir.

Işınlama birimi

X ve gama ışınlarının havada iyonlaştırdıkları yük miktarının bir ölçüsüdür. Burada geleneksel birim Röntgen (R)'dir. 1R normal şartlarda (0 °C sıcaklık, 76 cm Hg hava basıncı) 1 kg havada $2,58 \times 10^{-4}$ C'luk yük (+ ve -) oluşturan X ve γ ışın miktarıdır. SI birim sisteminde ışınlama birimi olarak Coulomb/kg (C/kg) kullanılır. 1 C/kg normal şartlarda (0 °C sıcaklık, 76 cmHg hava basıncı) 1 kg havada 1 C yük (+ ve -) iyonlaştıran X ve γ ışın miktarına eşittir.

$$1 \text{ R} = 2,58 \times 10^{-4} \text{ C ve } 1 \text{ C/kg} = 3,876 \times 10^3 \text{ R.} \quad (\text{B-3})$$

Soğrulan doz birimi

İyonlaştırıcı radyasyona maruz kalan maddelerin enerji soğurma hızları birbirinden farklıdır. Buna göre farklı maddelerin radyasyon kaynaklarından soğurdukları enerji miktarının tanımlanmasında bir standardın olması gerekir. Bu niceliğe soğrulan doz denir. Soğrulan doz birim kütlede maddeye verilen enerji miktarıdır. Soğrulan dozun geleneksel birimi Rad'dır. 1 Rad 1 gram madde tarafından soğrulan 100 erg'lik enerji miktarına eşittir. Bu doz birimi sadece soğrulan enerji miktarını gösteren hem parçacık hem de foton özellikli radyasyonlara uygulanabilen birimdir. SI birim sisteminde soğrulan doz birimi gray (Gy)'dir. 1 Gy 1 kg madde tarafından soğrulan 1 joule enerjiye eşittir. 1 Gy 100 rad'a eşittir.

Doz eşdeğeri

Bazı radyasyon tipleri enerjilerini uzun bir yol boyunca ortama aktarırken bazıları çok kısa bir mesafede aktarır. Örneğin alfa (α) parçacığı enerjisini çok kısa bir mesafede ortama aktarırken beta (β) ve gama (γ) ışınları daha uzun bir yol boyunca aktarır. Hücrelerin 1 rad'lık α radyasyonundan hasar görme miktarı 1 rad'lık γ radyasyonuna göre daha fazladır. Farklı radyasyon tiplerinden (α , β , γ) gelen eşit

enerjili miktarlarının hücre üzerindeki farklı biyolojik etkilerinin tanımlanması gerekir. Bu farklılıkların nicel olarak belirlenebilmesi için belirli bir radyasyon dozunun aynı biyolojik etkiyi yapan X ışın dozuna oranı olarak bağıl biyolojik etki (RBE) kavramı tanımlanır. Alfa radyasyonu için RBE 1’den 20’ye kadar değer alır. RBE’nin ölçülmesi zor olduğu için onun yerine birim mesafede aktarılan enerjiye bağlı kalite faktörü (QF) tanımlanır. Birim mesafede az enerji aktaran β ve γ ışınları için kalite faktörü yaklaşık 1’e eşittir. Birim uzunluk başına çok enerji aktaran α ’lar için kalite faktörü 1’den 20’ye kadar değişir. Çizelge B-1’de soğrulan bazı radyasyon tipleri için kalite faktörleri verilmiştir.

Çizelge B-1 Farklı radyasyon türleri için kalite faktörleri.

Radyasyon	Kalite Faktörü (QF)
X ışınları, β , γ	1
Düşük enerji p, n (~keV)	2-5
Yüksek enerjili p,n (~MeV)	5-10
α	20

Belirli bir radyasyonun türünün biyolojik sistemler üzerindeki etkisi soğrulan doz (D) ve kalite faktörüne (QF) bağlıdır. Doz eĞdeğeri (DE) bu iki niceliğin çarpılması sonucu bulunur.

$$DE=D.QF \quad (B-4)$$

Doz radyan biriminde ölçülürse doz eĞdeğeri rem biriminde ifade edilir. Soğrulan doz için gray kullanılırsa doz eşdeğeri sievert (Sv) biriminde ifade edilir.

$$1 \text{ Sv}=100 \text{ rem.} \quad (B-5)$$