

**CR-39 NÜKLEER İZ DEDEKTÖRLERİ İLE İĞDIR
İLİNDE KAPALI ORTAMLARDA ²²²Rn AKTİVİTE
KONSANTRASYONU TAYİNİ ve ÖLÇÜMLERİN
İSTATİSTİKSEL DEĞERLENDİRİLMESİ**

Bekir DOĞAN

**Y.Lisans Tezi
Fizik Anabilim Dalı
Prof. Dr. Neslihan EKİNCİ
2011
Her Hakkı Saklıdır**

ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

CR-39 NÜKLEER İZ DEDEKTÖRLERİ İLE İĞDIR İLİNDE
KAPALI ORTAMLARDA ^{222}Rn AKTİVİTE KONSANTRASYONU
TAYİNİ ve ÖLÇÜMLERİN İSTATİSTİKSEL
DEĞERLENDİRİLMESİ

Bekir DOĞAN

FİZİK ANABİLİM DALI

ERZURUM

2011

Her hakkı saklıdır



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

CR-39 Nükleer İz Kazıma Dedektörleri İle Iğdır İlinde Kapalı Ortamlarda ^{222}Rn Aktivite Konsantrasyonu Tayini ve Ölçümlerin İstatistiksel Değerlendirilmesi

Prof. Dr. Neslihan EKİNCİ danışmanlığında, Bekir DOĞAN tarafından hazırlanan bu çalışma 09/09/2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından, Fizik Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak **oybirliği** ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Neslihan EKİNCİ

İmza : 

Üye : Prof. Dr. Gökhan BUDAK

İmza : 

Üye : Doç. Dr. Cavit KAZAZ

İmza : 

(imza)

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum

Enstitü Müdürü

Prof. Dr. Ömer AKBULUT

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

CR-39 NÜKLEER İZ DEDEKTÖRLERİ İLE İĞDIR İLİNDE KAPALI ORTAMLARDA ^{222}Rn AKTİVİTE KONSANTRASYONU TAYİNİ ve ÖLÇÜMLERİN İSTATİSTİKSEL DEĞERLENDİRİLMESİ

Bekir DOĞAN

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Neslihan EKİNCİ

Radyasyonun zararlı etkileri hakkında artan bilinçlilik, radyasyon kaynaklarının tümünün kontrol altına alınmasını gerektirir. Normalde aldığımız radyasyonun çoğu; (a) Kozmik ışınlar, (b) Gama Işınları ve (c) Radon gazından oluşur. Yer kabuğundaki başlıca radyoaktif elementler ^{40}K , ^{238}U , ^{232}Th serileridir. Günlük hayatta sürekli maruz kaldığımız radyasyonun yaklaşık %50 sinin Rn izotoplarından, özellikle ^{222}Rn den kaynaklandığı gözlenmiştir. Kayaçlardaki ^{238}U 'in bozunması sonucu oluşan radon gazı difüzyon yoluyla toprağa, oradan da atmosfere veya ortama yayılmaktadır. Gazın birikmesiyle, Rn yoğunluğu kapalı mekânlarda veya iyi havalandırılmayan yerlerde kritik değerlere ulaşabilmektedir. Bu nedenle radon ve radon ürünlerine maruz kalmak potansiyel bir halk sağlığı problemidir. Ülkemizde radon aktivite ölçümleri 1984 yılında Türkiye Atom Enerjisi Kurumu tarafından başlatılmış ve birçok şehirde radon aktivite ölçümleri tamamlanmıştır. Fakat Iğdır ve diğer birkaç şehirde radon aktivitesi ölçümleri yapılmamıştır. Bu tez çalışmasının amacı, Iğdır ilinde kamu binaları ve evlerde radon aktivite konsantrasyonunu belirlemektir. Ölçümlerde CR-39 nükleer iz dedektörleri kullanılmıştır. Analiz sonuçlarına göre radon aktivite konsantrasyonları kış aylarında 23-202 Bq/m³ arasında değişim göstermiştir. Ortalama değer ise 87 Bq/m³ bulunmuştur.

2011, 65 sayfa

Anahtar Kelimeler: Radon, radyasyon, CR-39 nükleer iz dedektör.

ABSTRACT

MS Thesis

DETERMINATION OF ^{222}Rn ACTIVITY CONCENTRATION OF INDOOR ENVIRONMENTS IN İĞDIR PROVINCE WITH CR-39 NUCLEAR TRACE DETECTORS AND STATISTICAL EVALUATION OF MEASUREMENTS

Bekir DOĞAN

Atatürk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Physics

Supervisor: Prof. Dr. Neslihan EKİNCİ

The increasing conscious about the harmful effects of radiation demands that all the sources of radiation must be monitored. Most radiation we normally receive is composed of (a) cosmic rays, (b) gamma rays and (c) radon gas. The main radioactive elements in the earth's crust are ^{40}K , ^{238}U , ^{232}Th series etc. It had been observed that nearly %50 of the radiation we are exposed in daily life is coming from Rn isotopes, especially from ^{222}Rn . The Radon gas produced by the decay of ^{238}U in rocks diffuses into soil and into atmosphere or environment. When accumulates in closed localities or in unventilated places Rn concentrations may reach to critical values. Therefore exposure of radon and radon daughters is a potential public health problem. Radon activity measurements in the most cities of our country have been initiated in 1984 by Turkish Atomic Energy Agency and have been completed up to now. But radon activity measurements in İğdir region have not been carried out. The main goal of this thesis is to determine ^{222}Rn activity concentration in public buildings and houses for İğdir region. CR-39 nuclear trace detectors were used in this measurements. According to the results of investigations, it was understood that radon activity concentration is 23-202 Bq/m³ in winter. Mean value has been found as 87 Bq/m³.

2011, 65 pages

Keywords: Radon, radiation, CR-39 nuclear trace detector

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışma, TAEK'e bağlı Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi Sağlık Fiziği ve Radyasyon Güvenliği Birimi Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Tez hazırlama sürecinde engin görüşlerinden istifade ettiğim ve bilimsel alanda hiçbir zaman desteğini esirgemeyen çok kıymetli hocam Sayın Prof. Dr. Neslihan EKİNCİ'ye teşekkürlerimi arz ederim.

Laboratuar çalışmalarım sırasında CR-39 dedektörlerinin analiz işlemlerinde desteklerini esirgemeyen Sayın Dr. Nesli ALBAYRAK'a, Sayın Dr. Berna ATAKSOY'a ve Sayın Dr. Erol KAM olmak üzere diğer Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi Sağlık Fiziği ve Radyasyon Güvenliği Birimi çalışanlarına elemanlarına çok teşekkür ederim.

Ayrıca Iğdır ilinde radon gazı ölçümlerinde desteklerini esirgemeyen Iğdır İl Valisi Sayın Amir ÇİÇEK'e, Vali Yardımcısı Sayın Hacı UZKUŞ'a, Iğdır İl Çevre ve Orman Müdürü Sayın Taner TAZEGÜN'e ve diğer İl Çevre Mühendislerine teşekkür ederim.

Her zaman için beni destekleyen ve güvenen aileme ve arkadaşım Sayın Arş. Gör. Yavuz GÜNEY'e sonsuz minnettarım.

Bekir DOĞAN

Eylül-2011

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	5
2.1. Radyoaktivite ve Radyoaktivitenin Tarihçesi.....	5
2.2. Radyoaktif Bozunmayla İlgili Temel Kavramlar.....	6
2.2.1. Radyoaktif bozunma.....	6
2.2.2. Bozunma sabiti.....	6
2.2.3. Bozunma faktörü.....	7
2.2.4. Yarı ömür.....	7
2.2.5. Ortalama yaşam süresi.....	8
2.2.6. Bağlı bozunma sabiti.....	8
2.2.7. Biyolojik yarı ömür.....	9
2.2.8. Aktivite.....	9
2.3. Radyoaktif Bozunma Çeşitleri.....	10
2.3.1. Alfa bozunması.....	10
2.3.2. Beta bozunması.....	11
2.3.3. Gama bozunması.....	14
2.4. Radyasyon.....	15
2.5. Radyasyon Kaynakları.....	16
2.5.1. Doğal radyasyon kaynakları.....	17
2.5.2. Yapay radyasyon kaynakları.....	20
2.6. Radyasyon Birimleri.....	21
2.7. Radon ve Özellikleri.....	23
2.7.1. Radon'un meydana gelişi ve bozunumu.....	24
2.7.2. Kapalı ortamlardaki radon kaynakları.....	26

2.7.3. Radon konsantrasyon limitleri.....	28
2.7.4. Radon'un insanla etkileşimi	29
2.7.5. Radon riski için alınabilecek önlemler	31
2.8. Radon Aktivite Konsantrasyonu Ölçüm Yöntemleri	33
2.8.1. Aktif ölçüm yöntemi	33
2.8.2. Pasif ölçüm yöntemi	34
2.9. Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri.	35
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	36
3.1. CR-39 Dedektörünün Yapısı ve Çalışması İlkesi.....	36
3.2. Radon Aktivite Konsantrasyonu Ölçümleri	39
3.3. İz Kazıma İşlemi için Kazıma Ünitesinin hazırlanması	40
3.4. İzlerin Sayımı ve Değerlendirme İşlemleri	43
3.5. Radon Aktivite Konsantrasyonunun Hesaplanması	45
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	47
4.1. CR-39 Nükleer İz Dedektörleri ile Alınan Ölçümler	47
4.2. Denge Faktörü ve Çalışma Düzeyi (Working Level).....	53
4.3. Kapalı Ortamlardaki Radon Solunumu ile Alınan Yıllık Etkin Doz Eşdeğerinin Hesaplanması	55
4.4. Ölçümlerin İstatistiksel Değerleri	56
5. TARTIŞMA ve SONUÇ.....	62
KAYNAKLAR	64
ÖZGEÇMİŞ	66

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

α	Alfa parçacığı
A	Aktiflik
Bq	Becquerel, radyoaktivite birimi
β	Beta parçacığı
Ci	Curie, radyoaktivite birimi
D	İz Yoğunluğu
Df	Doz Dönüşüm Faktörü
E	Enerji (KeV, MeV)
F	Denge Faktörü
Gy	Gray, absorblanmış doz birimi
γ	Gama parçacığı
kf	Kalibrasyon Faktörü
λ	Bozunma sabiti
μ	Mikro, alt birim (10^{-6})
n	Nano, alt birim (10^{-9})
N	Radyoaktif çekirdek Sayısı
p	Piko, alt birim (10^{-12})
Rn	Radon
Ra	Radyum
R	Röntgen, radyasyon şiddet birimi
Sv	Sievert, eşdeğer doz birimi
$T_{1/2}$	Yarılanma süresi
τ	Ortalama Yaşam Süresi
Th	Toryum
$\bar{\nu}$	Antinötrino
ν	Nötrino
U	Uranyum
ÇNAEM	Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi
EPA	A.B.D Çevre Koruma Ajansı

EEC	Denge Eşdeğer Konsantrasyonu
IAEA	Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu
IAEA-BSS	Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu Temel Güvenlik Standartları
ICRP	Uluslararası Radyolojik Korunma Komisyonu
NRPB	Birleşik Krallık Ulusal Radyolojik Korunma Kurulu
ppm	Milyonda bir birime verilen isim
R.A.C	Radon Aktivite Konsantrasyonu
TAEK	Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
UNSCEAR	Uluslararası Atomik Radyasyon Etkileri Bilimsel Komitesi
Y.E.D.E.	Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri
WHO	Dünya Sağlık Teşkilatı
WL	Çalışma Düzeyi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Alfa bozunmasına örnek şematik gösterimi	11
Şekil 2.2. β^- bozunmasına örnek gösterim	12
Şekil 2.3. β^+ bozunmasına şematik gösterim.....	13
Şekil 2.4. Elektron yakalama olayına örnek gösterim	13
Şekil 2.5. Gama bozunması olayına örnek gösterim.....	14
Şekil 2.6. Radyasyonun tipine göre şematik gösterimi.....	15
Şekil 2.7. Radyasyon kaynaklarının şematik gösterimi	17
Şekil 2.8. Doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyonun doz değerlerinin oranı	19
Şekil 2.9. ^{238}U serisinin ^{222}Rn 'ye kadar olan bozunum şeması	25
Şekil 2.10. Kapalı ortamlara radon giriş yolları.....	28
Şekil 2.11. Radon gazını atmosfere aktarma sistemi	32
Şekil 3.1. RSKS tipi CR-39 radon dedektörünün difüzyon kabı	37
Şekil 3.2. Radoslide dedektör tutucusu.....	40
Şekil 3.3. Radobath kimyasal iz kazıma ünitesi	41
Şekil 3.4. Mikroskop ile CR-39 dedektörleri üzerindeki alfa izlerini görüntüleme	43
Şekil 3.5. CR-39 filmi üzerinde oluşan alfa izleri	45
Şekil 4.1. Kapalı ortam sayısına göre radon aktivite konsantrasyonu gruplandırması	50
Şekil 4.2. Radon aktivite konsantrasyonu dağılımının histogram grafiği.....	61

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Radyasyon dozunun radyasyon kaynaklarına göre dağılımı.....	21
Çizelge 2.2. Radyasyon birimleri ve dönüşüm katsayıları	22
Çizelge 2.3. ²³⁸ U'in bozunma zinciri.....	25
Çizelge 2.4. Bazı ülkelerde ve kuruluşlarca kabul edilen radon gazı sınır değerleri	29
Çizelge 2.5. Bazı ülkelerde radona bağlı akciğer kanseri dağılımına ilişkin öngörü	30
Çizelge 2.6. Radon gazı ölçüm cihazları ve özellikleri.....	35
Çizelge 3.1. CR-39 dedektörünün teknik özellikleri.....	37
Çizelge 3.2. Radobath kimyasal iz kazıma ünitesinin teknik özellikleri.....	42
Çizelge 3.3. RadoMeter ünitesinin teknik ve operasyonel özellikleri.....	44
Çizelge 4.1. Iğdır ilinde kapalı ortam radon konsantrasyonu değerleri	48
Çizelge 4.2. Kapalı ortam türüne karşılık radon konsantrasyonu değerleri	51
Çizelge 4.3. ICRP tarafından önerilen katsayılar	55
Çizelge 4.4. Model özeti.....	57
Çizelge 4.5. Anova değerleri	57
Çizelge 4.6. Katsayı değerleri	58
Çizelge 4.7. Tanımlama (Descriptives) değerleri.....	59
Çizelge 4.8. Anova-2 değerleri.....	60
Çizelge 4.9. Multiple Comparisons katsayı değerleri	60

1. GİRİŞ

İnsanoğlu ve diğer canlilar, milyonlarca yıldan beri evrenden gelen kozmik ışınlar ve yer kürede bulunan doğal radyoaktif maddelerden yayılan radyasyonla ışınlanmakta olup, tüm canliların varoluşlarından bu yana sürekli olarak doğal radyasyonla iç içe yaşamaktadırlar. Vücudumuza solunum ve sindirim yollarıyla, hava, su, tüm bitkisel ve hayvansal besinlerden az da olsa bulunan radyoaktif maddeler alınmakta ve bunlarda zamanla çeşitli organlarda birikmektedir. Buna ek olarak kozmik ışıklardan ve yer kürede bulunan doğal radyoaktif maddelerden etkilendiğimiz de düşünöldüğünde, insan vücudu hem iç hem de dış radyasyon ışınlanmasına doğal olarak maruz kalmaktadır. Canlilar, doğal kaynaklardan aldıkları radyasyonun üçte ikisine eşdeğer olan miktarı soludukları hava, yedikleri yiyecek ve içtikleri sulardan almaktadırlar.

Günümüzde insanlar daha fazla kapalı ortamlarda bulunmaktadır. İnsanların en fazla zaman geçirdiği kapalı ortamlardan biri de temel yaşam alanı olan konutlar ve çalışma ortamlarıdır. İnsan doğası yapısı bulunduğu ortamın ve soluduğu havanın temiz ve sağlıklı olmasını ister. Fakat günümüzde kapalı ortamları ve havasını kirleten birçok kaynak mevcuttur. Kapalı ortamlarda insan sağlığı üzerinde etkili olan ve sağlık açısından en önemli ve en çok tehlikeli olan kaynak radon gazıdır. İnsan vücudunun radon gazına maruz kalmasında en etkin ve bilinen yol solunum vasıtasıyla alınmasıdır.

Radon gazının kapalı bir mekâna giriş mekanizmaları arasında; bina yapımında kullanılan malzemeler ve toprak içerisindeki radon gazının binanın civarında birikerek, basınç ve sıcaklık farklılıkları nedeniyle temeldeki boşluklardan ve çatlaklardan geçiş yaparak kapalı ortamlarda birikmektedir.

Radonun reaktivitesi zayıftır. Bu nedenle teneffüs edildiğinde dokulara kimyasal olarak bağlanmaz. Ayrıca, dokulardaki çözünürlüğü çok düşüktür. Ancak, radon'un bozunma ürünleri, toz ve diğer parçacıklara tutunarak radyoaktif aerosoller oluştururlar. Bu nedenle, taşınarak solunum yoluyla alınabilirler. Bozunma ürünleri kararlı hale

gelinceye kadar bozunma devam eder; bozunma sürecinin her aşamasında radyasyon salımı olur. Solunum borusunda olan bozunma sonucunda, bronşsal epiteldeki radyasyon dozu artar. Bozunma ürünlerinin bazılarının alfa yayıcı olmaları nedeniyle alfa radyoaktivitesinin biyolojik etkileri önem kazanmaktadır.

Radon gazı solunduğunda radonun kısa ömürlü bozunma ürünleri tarafından emilen iyonlaştırıcı alfa partikülleri akciğerlerde bulunan biyolojik doku ile etkileşme geçirerek DNA'nın bozulmasına yol açabiliyor (Zeeb and Shannoun 2009). Tek bir alfa partikülünün bile hücrelerde büyük genetik zarara yol açtığı göz önünde bulundurulduğunda, radon ile ilişkili DNA bozulmalarının maruziyetin herhangi bir seviyesinde gerçekleşmesinin olası olduğu görülebilir. Bu nedenle, radonun potansiyel akciğer kanserine yol açmayacağı bir konsantrasyon seviyesi ve onun alt seviyelerinden limit değer olarak söz etmek mümkün değildir. Radyasyon kaynaklı akciğer kanseri vakaları üzerine son yıllarda yapılan çalışmalar daha çok iç mekân havası radon konsantrasyonu ile akciğer kanserinin ilişkilendirilmesi üzerinedir ve bu çalışmalar söz konusu şüphenin doğruluğunu kanıtlamıştır. 1980'li yılların ortalarından itibaren radonun her yerde bulunduğu bilgisinin yayılması, radyasyon konusuna yeni bir bakış açısı getirmiştir ve bu tarihten itibaren özellikle de kapalı ortamlarda radon yoğunluğunun ölçülmesine yönelik araştırmalar hız kazanmıştır.

Kapalı mekânlardaki radon yoğunluğunun kontrolü amacıyla ülkeler ve uluslararası yetkili kuruluşlar, bu ortamlarda bulunmasına izin verilebilecek en yüksek radon düzeyleri için çeşitli sınırlamalar getirmişlerdir. Bu sınırların aşıldığı binalarda, bina içi radon konsantrasyonunu düşürücü önlemlerin alınması tavsiye edilmekte veya zorunlu kılınmaktadır.

ICRP'nin "Ev ve İşyerlerinde ²²²Rn'ye Karşı Korunma" hakkında yayınladığı 65 nolu raporunda radon ve radon ürünlerinin solunmasının insan sağlığı üzerine etkileri incelenmiş ve radon kaynaklı alınacak yıllık etkin doz için müdahale limitleri 3-10 mSv olarak belirlenmiştir (ICRP 1993).

Ülkemiz için geçerli olan ve TAEK tarafından bildirilen limitler; evler için 400 Bq/m^3 ve iş yerleri için 1000 Bq/m^3 olarak verilmiştir (Resmi Gazete 2004). Avrupa Birliği konutlar için, eski binalarda 400 Bq/m^3 ve yeni binalarda 200 Bq/m^3 'lük sınır değerleri baz almaktadır (TAEK 2008).

ICRP ise, meskenlerdeki müdahale seviyelerini $200\text{-}600 \text{ Bq/m}^3$ ve iş yerleri için bu sınırları $500\text{-}1500 \text{ Bq/m}^3$ olarak bildirmiş olmasına rağmen, en son bilimsel değerlendirmeler çerçevesinde WHO, radon gazına maruz kalma nedeniyle oluşabilecek sağlık problemlerinin en aza indirilebilmesi için evlerde 100 Bq/m^3 'lük referans seviyesinin uygulanmasını önermektedir (Zeeb and Shannoun 2009). Ülkelerin özel durumları nedeniyle bu düzeyin uygulanamayacağı durumlar için ise en azından 300 Bq/m^3 değerindeki limiti aşmayacak bir bina içi referans seviyesinin belirlenmesinin gerekliliği vurgulanmaktadır.

Birleşik Krallık Ulusal Radyolojik Korunma Kurulu, NRPB evlerdeki radon ölçümlerinin %1'inin 200 Bq/m^3 düzeyini aştığı yerleri radon'dan etkilenmiş bölge (Radon affected area) olarak değerlendirmektedir (Denman *et al.* 1998).

Avrupa ülkelerinden alınan verileri kapsayan 2006 yılı çalışmasının sonuçlarına göre, evlerde normal yollarla maruz kalınan ortalama radon konsantrasyonlarında ki her 100 Bq/m^3 'lük artışın, akciğer kanseri riskini %16 oranında artırdığı bildirilmiştir (Darby *et al.* 2006).

Radolic *et al.* (2005), Hırvatistan'da yapmış olduğu çalışmada kaplıcalardaki jeotermal sulara ve havadaki radon konsantrasyonunu ölçmüştür. Havuz ve kaynak suları arasında büyük farklar olduğunu belirlemiştir. Kaplıca sularında ve havadaki ölçümlerde aktif ölçüm yöntemi kullanılmıştır. Kapalı ortamlarda ise uzun dönem ölçüm yöntemi olan pasif yöntem kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar diğer Avrupa ülkeleri ile karşılaştırılmış ve Hırvatistan'daki kapalı ortamlardaki radon seviyeleri daha düşük çıkmıştır.

Vişne *et al.* (2004), CR-39 nükleer iz dedektörü kullanarak Zonguldak taş kömürü havzasında doğal radyasyon kaynaklarının oluşturduğu ışınımlar sonucu alınan doza en büyük katkısı olan radon gazı yayılımını incelemiştir. Çalışma sonucunda işçilerin maruz kaldığı etkin doz eşdeğerini hesaplamıştır.

Adana ilinde yapılan bir başka çalışmada ise, konutlarda insanların maruz kaldığı radon konsantrasyonunu tayin etmek için CR-39 nükleer iz kazıma dedektörleri kullanılmıştır. Bu çalışmada özellikle yaz ve kış dönemleri dikkate alınarak ortamların radon aktivite konsantrasyon değerleri belirlenmiştir. Yaz dönemine ait radon aktivite konsantrasyonu değerleri kış dönemine göre daha düşük çıkmıştır (Değerlier 2007).

Akyıldırım (2005), yüksek lisans tez çalışmasında Isparta ilinde belirli noktalarda radon aktivite konsantrasyonu ölçümleri yaparak bu ilin radon haritasını oluşturmuştur. Bu çalışmada aktif ölçüm yöntemi tercih edilmiş AlphaGuart radon dedektörü kullanılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen radon aktivite konsantrasyonu ile ölçüm yapılan konutların kat seviyeleri karşılaştırılmış ve zemin katlardaki değerler diğer katlara göre daha yüksek çıkmıştır.

Ülkemizde kapalı ortamlarda radon ölçümlerinin yapıldığı ve insanların bu tür kapalı ortamlarda maruz kaldığı radyasyonun belirlendiği çalışmalar Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) tarafından 1984 yılından beri yürütülmektedir. Ancak ülkemizin henüz radyasyon haritası tamamlanmamıştır. Dolayısıyla ülkemizin radyasyon haritasının tamamlanmasına katkıda bulunmak üzere, bu tez çalışmasında Iğdır ilinin ortalama radon aktivite konsantrasyonu belirlenmiştir. Iğdır ilinin 2011 yılı kış mevsimine ait ortalama radon aktivite konsantrasyonunun belirlendiği bu çalışmada, radon ve maruz kalınan dozların sınır değerleri hakkında geniş bilgi verildikten sonra CR-39 detektörleri ile radon aktivite konsantrasyonunun ölçüm tekniği tanıtılmakta ve kapalı ortamlardaki radon aktivite konsantrasyonlarına ait elde edilen ölçüm sonuçları verilmiştir. Çalışmanın yapıldığı bölgedeki insanların maruz kaldığı dozlar açısından sonuçlar tartışılarak alınabilecek koruyucu önlemler değerlendirilmiş ve sonuçlar istatistiksel olarak irdelenmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Radyoaktivite ve Radyoaktivitenin Tarihçesi

1986'da Fransız fizikçisi Antonie Henri Becquerel uranyum tuzlarının fotoğraf filmlerinin kararttığını keşfetti; filmler ışık geçirmeyen kağıtla örtülü olduğu halde etkileniyorlardı. Buna göre, tıpkı görünür ışık gibi, fotoğraf filmi üzerindeki atomları iyonlaştırabilen bir ışın türü olmalıydı; ancak bu ışın, görünür ışığın tersine kâğıda da geçebiliyordu. Bu tür ışımaya radyoaktivite adı verildi ve iki yıl içinde Fransız fizikçiler Marie ve Pierre Curie üç radyoaktif elementin daha (toryum, polonyum ve radyum) bulunduğunu ortaya koydular. Günümüzde radyoaktivitenin atom çekirdeklerinden kaynaklandığını biliyoruz. Becquerel'in çekirdek yapısının anlaşılmasından 15 yıl önceki keşfi beklide çekirdek fiziğinin başlangıcı olmuştur (Taylor and Zafaritos 1991).

1911 yılında da Rutherford atomla ilgili radyasyon ve özelliklerini inceleyerek, radyasyonun yapısının daha iyi anlaşılmasını sağlayarak, atom çekirdeğinin varlığını önerdi. Böylece atom çekirdeğinin kabul edilmesiyle (Geiger ve Marsden'in düzenli deneyler yapmasıyla), temel seviyede maddenin incelenmesini sağlayan nükleer fizik adında yeni bir bilim alanı ortaya çıktı. Çekirdek özellikleri ile ilgili araştırmalar, Rutherford'un zamanından günümüze kadar devam etmektedir. 1940'lı ve 1950'li yıllarda, çekirdekten daha ileri ve temel düzeyde başka bir yapının olduğu keşfedilmiştir. Bu yapıya katkıda bulunan parçacıklar ile ilgili çalışmalar, bugün temel parçacık (veya yüksek enerji) fiziğinin alanında gerçekleştirilmektedir.

Becquerel'in radyoaktifliği keşfetmesi ve Rutherford'un çekirdeğin varlığını ileri sürdüğü hipotez ile başlayan nükleer fizikteki deneysel ve teorik çalışmalar, 20.yüzyıl fiziğinin gelişmesinde önemli rol oynamıştır. Çekirdeğin yapısını düzenleyen kurallar ve nükleer özellikler ile ilgili çalışmalar, doğal olarak fiziksel araştırmaların etkin ve üretken bir alanı olmaktadır (Sarer 2001).

2.1. Radyoaktif Bozunmayla İlgili Temel Kavramlar

2.1.1. Radyoaktif bozunma

Radyoaktif bozunma her an gerçekleşebilecek bir süreçtir. Fazla enerjisi bulunan bir çekirdeğin elementer veya elektromanyetik parçacıklar yayma yoluyla değişime uğramasıdır. Ne zaman daha stabil bir nükleide dönüşeceği kesin olarak bilinmez ve bu süreç olasılık hesapları ve ortalama bozunma hızları ile saptanılır. Yani çekirdekleri kararsız olmayan izotopların alfa (α), beta (β) ve gama (γ) ışınması yaparak daha kararlı çekirdeklere dönüşmesine radyoaktif bozunma denir. Radyoaktiflik ile ilgili bazı özellikler aşağıda verilmiştir.

- Radyoaktiflik atomun çekirdeğinden kaynaklandığından atomun kimyasal durumuna ve fiziksel haline (katı, sıvı ve gaz) olmasına bağlı değildir.
- Sıcaklık ve basınçtan etkilenmez.
- Bir atomun bazı izotopları radyoaktifken bazı izotopları ise radyoaktif olmayabilir.
- Radyoaktif özellik çekirdeğin kararlılığına bağlıdır.

2.1.2. Bozunma sabiti

Belirli bir t anında N radyoaktif çekirdek varsa, dt süresi içinde dN tane çekirdek bozunur. Bozunan çekirdek sayısı N ile orantılıdır. Rutherford ve Soddy buradan yola çıkarak λ bozunma veya parçalanma sabitini tanımlamışlardır. Bir atomun birim zaman başına parçalanma olasılığına λ bozunma (parçalanma) sabiti denir. İçinde N kadar radyoaktif atom bulunan bir örnekte t zamanı boyunca ortalama bozunma hızı ise $-\lambda N$ 'dir.

$$dN/dt = -\lambda N \quad (2.1)$$

Her radyonüklid için bozunma hızı sabittir, yani ona özgüdür. Isı, basınç ve kimyasal olaylardan etkilenmez. Radyoaktif bozunmaya uğrayan atomların belirli bir fraksiyonunun birim zaman boyunca bozunma miktarını gösterir. λ 'nın birimi zaman⁻¹ dir. Yani $\lambda = 0,01$ saniye ise ortalama olarak 1 saniyede atomların %1'i bozunmaya uğruyor demektir. Eşitlikteki eksi işareti atom sayısının zamana karşı azaldığını belirtmek içindir.

2.2.3. Bozunma faktörü (Decay factor)

Zaman geçtikçe N sayıdaki radyoaktif atomlar azalmaya devam eder. Örneğin 1000 atomu bulunan bir radyonüklid'in bozunma sabiti 0,1 ise 1 s sonra 900 atom, 1 s daha sonra 810 atom kalır. Böylece sıfıra doğru yaklaşırlar, ancak hiçbir zaman tam sıfır olmazlar. Bu durum matematiksel olarak (2.2) bağıntısı ile hesaplanır:

$$N_t = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2.2)$$

Burada N_t ; t zaman sonunki atom sayısını, N_0 ; başlangıçtaki atom sayısını ve $e^{-\lambda t}$ ise t zaman sonunda kalan radyoaktif atom fraksiyonudur.

2.2.4. Yarı ömür

Daha önce de belirtildiği gibi radyoaktif bozunma, bir örnekteki radyoaktivitenin belirli bir zamanda sabit bir fraksiyonunun kaybolmasıdır. Fiziksel yarı ömür ise radyonüklidin başlangıçtaki atom sayısının ya da aktivite düzeyinin %50'sine inmesi için geçen süredir. Yarı ömür ile bozunma sabiti arasındaki ilişki ise denklem (2.3) verilmiştir.

$$t_{1/2} = 0,693 / \lambda \quad \text{veya} \quad \lambda = 0,693 / t_{1/2} \quad (2.3)$$

2.2.5. Ortalama yaşam süresi

Radyoaktif bozunma kanunundaki üstel ifade atomların bozunmasının sonsuz zaman gerektirdiğini göstermektedir. Bir radyoaktif atomun bozununcaya kadar geçirdiği süre ortalama olarak verilir. Bu süreye ortalama yaşam süresi veya ortalama ömür denir. Ortalama yaşam süresi, bütün çekirdeklerin ömürleri toplanıp toplam çekirdek sayısına bölünerek hesaplanır.

Radyoaktif atomların bozunma hızları birbirinden çok farklıdır. Bazı atomlar çok hızlı bozunma gösterirken, bazıları ise çok uzun sürede bozunur. Bir nükleoidin ortalama yaşam süresi (τ) kendine özgü olup, bozunma sabiti (λ) ile ilişkilidir. Ortalama yaşam süresi denklem (2.4) ile hesaplanır.

$$\tau = 1/\lambda \text{ veya } \tau = 1,44 \times t_{1/2} \quad (2.4)$$

2.2.6. Bağlı bozunma sabiti

Bir radyoaktif numune farklı bozunumlar yaparak bozunuyorsa, her bozunum türü için λ bozunma sabitleri tanımlanır. Her bozunma türünün meydana gelme olasılığı farklıdır. Herhangi bir bozunma türünün meydana gelme olasılığına λ_i dersek, toplam bozunma olasılığı (2.5) bağıntısı ile hesaplanılır.

$$\lambda_t = \sum_i \lambda_i \quad (2.5)$$

Herhangi bir radyoaktif çekirdek birden fazla bozunma türü gerçekleştirir. Her bir bozunmanın kendine özgü bozunma sabiti vardır. Fakat gözlenen toplam bozunma sabitidir. Kısmi bozunma olasılıkları üstel formülde kullanılamaz. Çünkü bir bozunumun üstel olarak değişimi incelenirken, diğer bir durum kesilemez. Kısmi

bozunma sabitlerinden yararlanarak bağıl bozunma sabitleri tanımlanır. Herhangi üç bozunma türüne a,b,c dersek bağıl bozunma sabitleri;

$$\frac{\lambda_a}{\lambda_t}, \frac{\lambda_b}{\lambda_t}, \frac{\lambda_c}{\lambda_t} \quad (2.6)$$

şeklinde yazılır. Bağıl bozunma sabitleri, her bir bozunma türünün meydana gelme olasılığını göstermektedir. Bu durumda toplam bozunma sabiti;

$$\lambda_t = \lambda_a + \lambda_b + \lambda_c \quad (2.7)$$

şeklinde ifade edilir (Sarer 2001).

2.2.7. Biyolojik yarı ömür

Bir maddenin yarısının, normal eliminasyon yollarıyla vücuttan atılması için geçen süreye biyolojik yarı ömür denir. Bu durum, bir maddenin stabil ve radyoaktif hali için aynıdır, değişmez ve t_b ile gösterilir.

2.2.8. Aktivite

Radyoaktif bir maddenin aktivitesi birim zaman başına bozunma sayısı olarak tanımlanır. SI sisteminde aktifliğin birimi Becquerel'dir. Becquerel saniyede bir parçalanmaya eşittir. Diğer bir aktiflik birimi ise Curie'dir. Bir Curie saniyede 3.7×10^{10} bozunmaya karşılık gelir. Aktivite atom sayısındaki azalmayı gösterdiğinden bozunma formülü;

$$A_t = A_0 \times e^{-\lambda t} \quad (2.8)$$

ile ifade edilir. Burada $A_0 = \lambda N_0$ 'a eşittir ve $t=0$ anındaki aktiviteyi göstermektedir.

Deneysel olarak herhangi bir numunedeki aktiflik, belli zaman aralıkları içinde bozunma sayıları art arda alarak zamana göre çizilebilir. Bu grafik eğimi $-\lambda$ olan bir doğrudur. Böylece radyoaktif bozunmanın yarı ömrü tespit edilebilir. Bu ölçme yöntemi çok kısa ve uzun yarı ömürlü numuneler için verimli sonuçlar vermez. Bunun nedeni, eğer yarı ömür çok uzun olursa, belirlenen zaman aralıkları da çok uzun olmalıdır. Aksi halde kısa süreler içinde bozunmalar fark edilemez. Eğer yarı ömür çok kısa olursa, yine bu zaman aralıkları içinde bozunma değişimi gözlenmeden numunenin aktifliği biter (Sarer 2001).

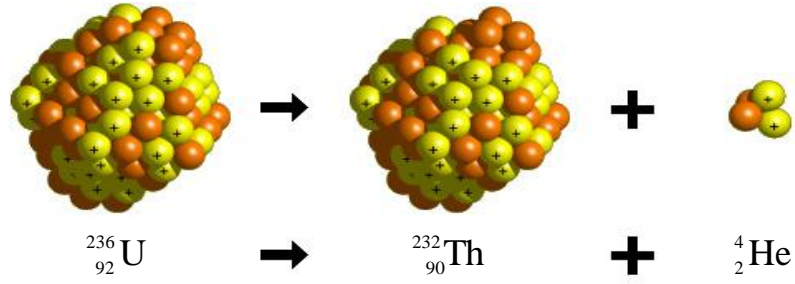
2.3. Radyoaktif Bozunma Çeşitleri

Radyoaktif çekirdekler kendiliğinden bozunuma uğrarlar. Bu bozunmalar üç şekilde gerçekleşir. Alfa ve beta bozunmalarında, kararsız çekirdekler alfa veya beta parçacıkları yayarak daha kararlı bir çekirdeğe dönüşmeye çalışırken, gama bozunumunda ise çekirdeklerin cinsi değişmeden uyarılmış durumdan taban durumuna bozunması şeklinde olur.

2.3.1. Alfa bozunması

Alfa bozunması, kararsız bir atom çekirdeğinin iki proton ve iki nötrondan oluşan α parçacığının salınmasıyla oluşan bozunumdur. Radyoaktif çekirdeğin kararsızlığı hem proton hem de nötron fazlalığından ileri geliyorsa, çekirdek iki proton ve iki nötrondan oluşan bir alfa parçacığı yayımlayarak bozunur.

Bozunma sonucunda oluşan ürün çekirdek ana çekirdekten iki birim daha küçük bir atom numarasına ve dört birim daha küçük bir kütle numarasına sahiptir. Alfa bozunmasının şematik gösterimi Şekil 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1. Alfa bozunmasına örnek şematik gösterimi

Alfa parçacıklarının giricilikleri çok küçük olup kâğıt, ince metal foil veya birkaç cm'lik hava ile durdurulabilirler. Alfa parçacıklarının enerjileri yaklaşık olarak 4 ile 9 MeV arasındadır.

Kuramsal açıdan alfa bozunmasının kütle numarası 150'den büyük olan çekirdekler için geçerli olması gerekirken alfa parçacığı yayıcı çekirdeklerin çoğunun kütle numarası 200'den büyüktür. Birkaç istisna dışında, daha hafif çekirdeklerin alfa bozunması yarı ömürlerinin bu bozunma sürecini mümkün kılmayacak kadar uzun olduğu düşünülmektedir. Bir alfa parçacığı, hepsi $S_{1/2}$ kabuğundaki iki proton ve iki nötrondan oluşan, sıfır toplam spine ve pariteye (değer eşitliğine) sahip iki kat sihirli bir parçacıktır. Alfa parçacığı sıra dışı bir kararlılığa sahiptir ve bundan dolayı birçok durumda tıpkı proton ve nötron gibi tek bir parçacık gibi davranır.

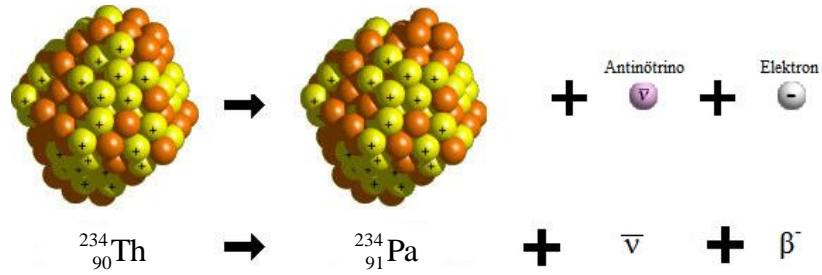
2.3.2. Beta bozunması

Çekirdekteki enerji fazlalığı çekirdek civarında, $E = mc^2$ eşitliğiyle açıklanabilen, bir kütle oluşturur. Bu kütle çekirdekteki fazla yükü alır ve dışarıya bir beta ışını olarak çıkar. Beta bozunmasının üç farklı çeşidi vardır. Bunlar β^- bozunması, β^+ bozunması ve elektron yakalama olayıdır. Beta parçacıkları da alfa parçacıkları gibi belli bir yük ve kütleyle sahip olduklarından madde içerisinden geçerken yolları üzerinde iyonlaşmaya sebep olurlar. Ancak bu iyonlaşma, alfa parçacıklarının oluşturduğu iyonlaşmadan daha azdır.

β^- bozunması; çekirdekdeki nötron fazlalığından ortaya çıkan bir bozunmadır ve bu bozunmada elektronlarla aynı olan negatif beta parçacığı yayınlanır. Negatif beta parçacıkları ışık hızına yakın çok yüksek hızlarla kararsız olan atom çekirdeğinden fırlatılırlar. Bu β^- 'lar, atom çekirdeğindeki fazla nötronlardan birisi protona dönüşürken meydana gelirler. Bu bozunma atomun kütlesi üzerine etki etmez, çünkü β^- 'ların kütlesi ihmal edilecek kadar küçüktür.



Bu yüksek hızlı elektrona beta parçacığı (negatron) adı verilir. Bu şekilde beta emisyonu yapan radyonüklidin atom numarası da bir artarak kendinden bir sonraki elementin izobar atomuna dönüşür.

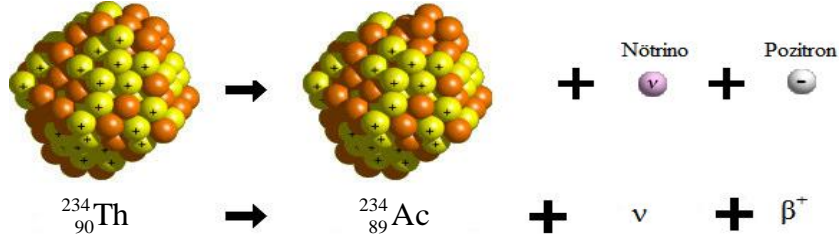


Şekil 2.2. β^- bozunmasına örnek gösterim

β^+ bozunması ise; atomun kararsızlığı nötron azlığından veya proton fazlalığından ileri geliyorsa protonlardan biri nötrona ve pozitrona dönüşür.

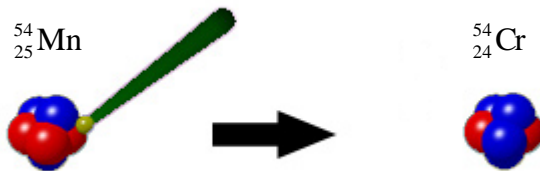


Nötron çekirdekte kalır, pozitron dışarı fırlatılır. Böylece pozitron yayımlayan radyonüklidin proton sayısı bir eksilerek kendinden bir önceki elementin (izobar) atomuna dönüşür, fakat kütle numarası değişmez.



Şekil 2.3. β^+ bozunmasına şematik gösterim

Beta bozunmasının üçüncü türü ise elektron yakalaması olarak adlandırılan süreçtir. Çekirdek proton fazlalığından dolayı kararsız ise atomun çekirdeğe yakın K ve L yörüngelerine yakın elektronlarından biri çekirdek tarafından yakalanır. Bu bozunumda çekirdekten parçacık salınımı olmaz fakat proton sayısı bir eksilir. Kütle numarası ise aynı kalır ve boşalan elektron yörüngesine üst yörüngelerdeki başka bir elektron geçerek boşalan yörüngeyi doldurur.



Şekil 2.4. Elektron yakalama olayına örnek gösterim

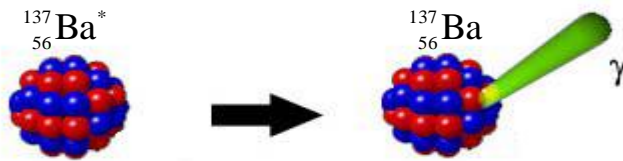
Bu üç bozunmanın hepsinde nötrino ve antinötrino adı verilen parçacıklar yayınlanmaktadır. Parçacık yükün korunumu kanununa uyum açısından yüksüz ve

toplam kütle esasen gözlenen parçacıklara ait olduğu için çok küçük bir kütleyle sahip olmalıdır. Bu iki nedenden dolayı bu yeni parçacık Enrico Fermi tarafından önerilen ve küçük nötron anlamına gelen nötrino olarak adlandırılmıştır. Nötrinolar ν sembolüyle temsil edilmişlerdir.

2.3.3. Gama bozunması

Gama bozunması hiçbir zaman tek başına meydana gelmez. Mutlaka alfa veya beta bozunmasından sonra meydana gelen ışımadır. Bazı atomlar bozunmalar sırasında enerjisini dışarıya veremez, enerji atomun çekirdeğinde birikir ve yüksek enerjili durumda kalırlar. Biriken enerji atom çekirdeğini kararsız yapar, bu enerjiden kurtulmak için gama ışıması yapıp kararlı duruma geçer. Taban duruma geçiş kısa bir süre sonra bir veya daha fazla foton salınmasıyla mümkün olur ki bu geçiş de gamma ışımasını oluşturur. Bozunma sonunda oluşan gamma (γ) ışınları, tüm ışık türleri gibi elektromanyetik radyasyon sınıfına girer ve enerjileri tipik olarak 0,1 MeV ile 10 MeV arasındadır. Gama ışıması sırasında atomun atom ve kütle numarasında bir değişiklik olmaz, yeni bir atom meydana gelmez.

Radyoaktif gamma yayınlaması, optik veya x-ışını geçişleri gibi atomik radyasyon yayınlamasına benzer. Uyarılmış bir durum daha düşük bir uyarılmış duruma veya taban duruma iki durum arasındaki fark kadar bir enerjiye sahip bir gama ışını (fotonu) yayınlamaya geçer. Yani dışarı salınan çekirdeğin geri tepme enerjisi kadar bir enerji farkıyla. Gama yayınlaması uyarılmış bağlı durumları olan kütle numarası 5'den büyük tüm çekirdeklerde gözlenir.



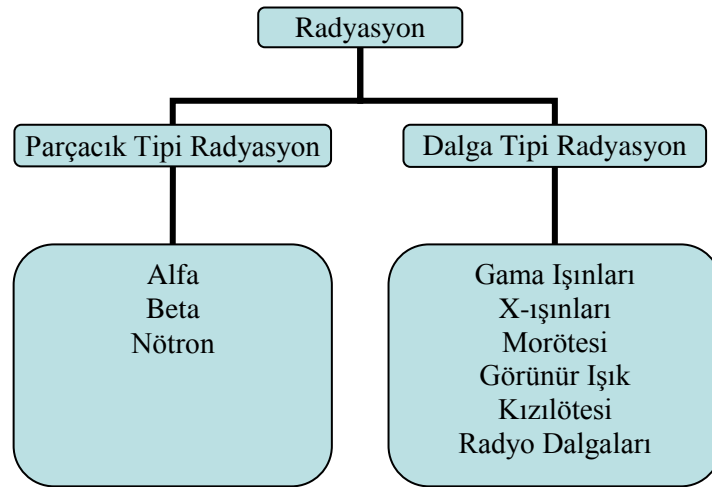
Şekil 2.5. Gama bozunması olayına örnek gösterim

Gama yayınlanmasının yarı ömrü çok kısadır, genellikle bir nano saniyeden (10^{-9} s) daha küçüktür. Ancak saat, hatta gün mertebesinde yarı ömürlü gamma yayınlanmaları da vardır. Bu geçişlere izomerik geçişler ve uzun ömürlü uyarılmış durumlara izomerik durumlar veya izomerler (metastable) denir.

2.4. Radyasyon

Radyasyonu, elektromanyetik dalgaların ya da belli hızları olan atom altı taneciklerin bir yerden çıkarak bir ortam içinde yayılması olarak tanımlamak mümkündür ve bu kapsamda doğal ya da yapay radyoaktif çekirdeklerin kararlı yapıya geçebilmek için dışarıya saldıkları hızlı parçacıklar veya elektromanyetik dalga şeklinde taşınan enerjileri de radyasyon olarak adlandırılır. Radyasyonun ses, ısı, ışık etkileri yoktur, gözle görülemezler, duyulamazlar, hissedilemezler yani hiçbir duyu organımızla algılayamayacağımız bir tehlikedir.

Radyasyon esas olarak iki kısımda incelenebilir; “parçacık” ve “dalga” tipi radyasyondur. Parçacık radyasyonu; belli bir kütle ve enerjiye sahip çok hızlı hareket eden parçacıkları ifade eder. Dalga tipi radyasyon; belli bir enerjiye sahip ancak kütsüz radyasyondur.



Şekil 2.6. Radyasyonun tipine göre şematik gösterimi

Radyasyon, madde üzerinde meydana getirdiği etkilere göre iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olarak ikiye ayrılır. Madde atomları ile etkileşime girebilecek kadar güçlü enerji seviyesine sahip olan; gama ışınları, alfa, beta radyasyonları ayrıca X-ışınları, kozmik radyasyon ve nötron radyasyonunun meydana getirdikleri etki iyonlaştırma (iyonizasyon) olarak adlandırılmaktadır.

Yüksek enerjili parçacıkların, atom yakınından geçerken oluşturdukları elektron yörüngesindeki değişimler ya da elektronun yörüngesinden çıkması iyonlaştırıcı radyasyonun etkileridir. Bu nedenle iyonlaştırıcı radyasyon; yüksek enerjileri, nüfuz etme kapasiteleri ve iyonlaştırma özelliklerinden dolayı kolaylıkla canlı organizmalara nüfuz edip, organizmaları oluşturan hücrelere zarar verebilirler.

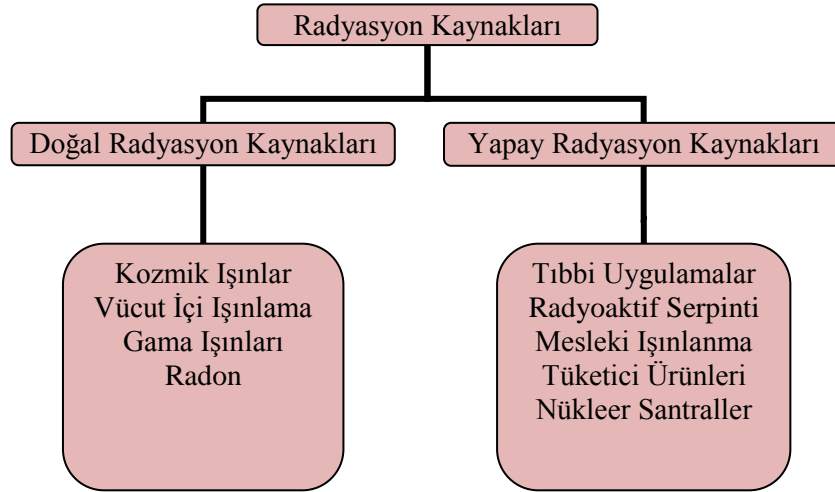
Madde atomları ile etkileşime girebilecek kadar güçlü olmayan ve enerji seviyelerindeki elektromanyetik dalgaların atomların yörüngesinde sebep olduğu değişim organizma üzerinde büyük bir hasara neden olmaz. Sadece etkileştiği materyal içindeki atomları uyarmakla yetinirler. Bunlar iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olarak adlandırılır. Bu tür radyasyona mikrodalgalar, görünür ışık, kızılötesi, morötesi ışık, radyo ve televizyon dalgaları örnek olarak verilebilir.

2.5. Radyasyon Kaynakları

İnsanoğlu var olduğundan bu yana sürekli olarak radyasyonla iç içe yaşamak zorunda kalmıştır. Dünyanın oluşumuyla birlikte tabiatta yerini alan çok uzun ömürlü radyoaktif elementler yaşadığımız çevrede normal ve kaçınılmaz olarak kabul edilen doğal bir radyasyon düzeyi oluşturmuşlardır. Son 5 yüzyılda bu doğal düzey, nükleer bomba denemeleri ve bazı teknolojik ürünlerin kullanımı ile bir hayli artış göstermiştir. Maruz kalınan doğal radyasyon düzeylerinin büyüklüğünü belirleyen birçok neden vardır. Yaşanılan yer; bu yerin toprak yapısı, barınılan binalarda kullanılan malzemeler, mevsimler, kutuplara olan uzaklık ve hava şartları bu nedenlerden bazılarıdır. Yağmur,

kar, alçak basınç, yüksek basınç ve rüzgâr yönü gibi etkenler de doğal radyasyon düzeylerinin büyüklüğünü belirler.

Radyasyon, doğal radyasyon kaynakları ve yapay radyasyon kaynakları olmak üzere ikiye ayrılır. 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 ışınımına maruz kalmaktadırlar.



Şekil 2.7. Radyasyon kaynaklarının şematik gösterimi

Dünya genelinde doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından alınan dozların oranları dikkate alındığında; doğal radyasyon kaynaklarının %88'lik bir orana karşılık geldiği bilinmektedir, geriye kalan %12'lik oran ise yapay radyasyon kaynakları tarafından oluşmaktadır.

2.5.1. Doğal radyasyon kaynakları

Doğal radyasyondan kaynaklanan ışınlanma, uzaydan dünya atmosferine gelen yüksek enerjili kozmik ışınlarla ait paracıklardan ve yer kabuğunda (toprak, hava, su, bitkiler ve

diğer canlılar) bulunan doğal radyoaktif izotoplardan olmak üzere iki ana nedenden kaynaklanır. Doğal radyasyon yolu ile alınan ortalama yıllık etkin doz 2,4 mSv civarındadır. Bununla birlikte, bazı ülkelerde bu miktar 10 mSv'in üzerindedir. Toprak, su ve bitkilerde biriken radyoaktif maddeler yerel ve bölgesel radyoaktiviteyi önemli oranda değiştirmektedir. Çevresel ışımalara maruz kalma bölgeden bölgeye değişmekte, hatta birbirlerine yakın yerler arasında bile farklılıklar gözlenebilmektedir (UNSCEAR 1993).

Doğal radyasyonun bir kısmını uzaydan gelen kozmik ısımlar oluşturur. Kozmik radyasyonlar kökenlerine göre hapsolmuş parçacık radyasyonlar ve solar radyasyonlar olarak sınıflandırılırlar. Parçacık radyasyonlar elektronlar ve protonlardır. Bu radyasyonlar manyetik alan etkisiyle dünya etrafında bulunan radyasyon kuşaklarında tutulurlar. Solar radyasyonlar ise süper novalardan, galaktik çekirdeklerden ve yıldızlar arası ortamlardan gelirler. Parçacık radyasyonlara göre daha düşük enerjiye sahiptirler (Çavaş 2006).

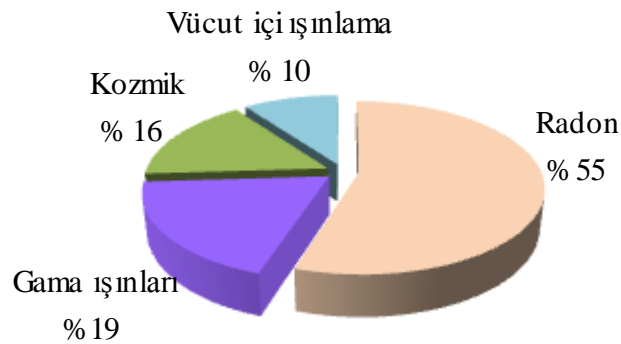
Uzaydan dünya atmosferine giren yüksek enerjili radyasyon, birincil kozmik ısımlar olarak bilinir. Birincil radyasyonun %87'sini protonlar, %11'ini alfa parçacıkları, %l'ini atom sayısı 4 ile 26 arasında olan çekirdekler ve %l'ini yüksek enerjili elektronlar oluşturur. Ortalama enerjileri 10 eV ve maksimum enerjileri 1019 eV'dur (Çelebi 1995).

Fosil yakıtlar da doğal ve uzun ömürlü radyoaktif elementler içerirler. Bu tür elementler yakıt içinde iken bir radyasyon tehlikesi yaratmazlar. Ancak fosil yakıtlar yakıldıklarında bu elementler atmosfere yayılır ve daha sonra toprağa dönerek doğal radyasyon düzeyinde az da olsa bir artışa neden olur. Doğada mevcut kısa ömürlü radyoaktif elementlerin yaydığı gama gama ışınlarının da katkısıyla topraktan maruz kaldığımız radyasyon dozunun dünya ortalaması 0.46 mSv/yıl'dır (IAEA 1996).

İnsanlar ve diğer tüm canlılar bu radyasyonlara, dış ışınlamalarla maruz kaldığı gibi solunum ve sindirim yoluyla vücutlarına alarak iç ışınlamalarla da maruz kalmaktadırlar. Bu radyasyonlara dışarıdan maruz kalınmışsa buna dış ışınlama, içerden maruz kalınmışsa, buna da iç ışınlama denir. Gama ve betalar dış ışınlamalarla, alfalar ise iç ışınlamalarla daha çok zarar verirler.

Radyoaktif maddeler doğada her yerde bulunduğu gibi yiyecek ve içeceklerimizde de bulunmaktadır. Yiyecek ve içeceklerden alınan dozun dünya ortalaması 0,23 mSv'tir. Vücudumuzda bulunan radyoaktif elementlerden (özellikle ^{40}K radyoaktif elementinden) dolayı da belli bir radyasyon dozuna maruz kalırız. Yiyecek, içecek ve teneffüs ettiğimiz havadan aldığımız radyoaktivite nedeni ile vücudumuz doğal olarak radyasyona maruz kalmaktadır. ^{40}K 'ın vücuttaki miktarı, vücuttaki kas miktarı ile değişir. Bazı yiyecekler diğerlerine nazaran daha fazla doğal radyoaktivite içerirler. Bu durum onların yenmesindeki çekinmemizi gerektirmez. Minimum radyoaktivite içeren besinlerle beslenmeye nazaran yetersiz veya uygunsuz beslenme daha risklidir (Yaşar 1999).

Doğal radyasyon kaynaklarından bir diğeri radon ise 4,5 milyar yıl yarı ömre sahip ^{238}U ailesinin bir elemanı olup, yarı ömrü 3,8 gün olan bu serideki tek radyoaktif gazdır. Radon, yarı ömrü 1600 yıl olan ve bir alfa yayınlayıcısı olan ^{226}Ra 'nın radyoaktif bozunumu sonucunda ortaya çıkmaktadır (Çelebi *et al.* 2003).



Şekil 2.8. Doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyonun doz değerlerinin oranı (Akkurt 2006).

Doğal kaynaklardan alınan radyasyon dozunun en önemli bileşeni, radon gazı ve onun kısa yarı ömürlü bozunma ürünleridir. Radon gazından dolayı maruz kalınan yaklaşık yıllık doz 1,3 mSv'dir. Radon; uranyum'un mevcut olduğu tüm kayalardan, topraklardan gelmekte ve gaz olması nedeniyle bulunduğu ortamın boşluklarından ilerleyerek atmosfere kaçma eğilimi gösterir (TAEK 2008).

2.5.2. Yapay radyasyon kaynakları

Yapay radyasyon insanlar tarafından çeşitli amaçlarla üretilmiş radyoaktif izotopların kullanımından kaynaklanmaktadır. Bu radyasyon kaynakları tedavi amaçlı olarak radyoterapide, teşhis amaçlı olarak ise röntgen, tomografi ve sintigrafi çekimlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca endüstride kalite kontrol, gıda sektöründe ürünlerin raf ömrünü uzatmak için sterilizasyonda ve nükleer reaktörlerde enerji üretiminde radyoaktif maddelerden faydalanılmaktadır (Tüysüz *et al.* 2004).

Tıbbi, zirai ve endüstriyel amaçla kullanılan x-ışınları ve yapay radyoaktif maddeler, nükleer bomba denemeleri sonucu meydana gelen nükleer serpintiler, çok az da olsa nükleer güç üretiminden salınan radyoaktif maddeler ile bazı tüketici ürünlerinde kullanılan radyoaktif maddeler bilinen başlıca yapay radyasyon kaynaklarıdır (Togay 2002).

Yapay radyasyon kaynakları da tıpkı doğal radyasyon kaynakları gibi belli miktarlarda radyasyon dozuna maruz kalınmasına neden olurlar. Ancak bu doz miktarı, talebe bağlı olarak artsa da, doğal kaynaklardan alınan doza göre çok daha düşüktür. Doğal radyasyon kaynaklarının aksine tamamen kontrol altında olmaları da maruz kalınacak doz miktarı açısından önemli bir özelliktir.

Doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozunun dünya ortalaması 2,7 mSv/yıl'dır. Bu dozun, radyasyon kaynaklarına göre dağılımı Çizelge 2.1'de gösterilmiştir (TAEK 2008).

Çizelge 2.1. Radyasyon dozunun radyasyon kaynaklarına göre dağılımı

Radyasyon Kaynakları	Radyasyon Dozu (mSv)
Kozmik Işınlr	0,390
Gama Işınları	0,460
Vücut İçi Işınlama	0,230
Radon	1,300
Tıbbi Uygulamalar	0,300
Radyoaktif Serpinti	0,007
Mesleki Işınlama	0,002
Atıklar	0,001
Toplam	2,690

2.6. Radyasyon Birimleri

Radyasyon miktarını ölçmede çeşitli birimler kullanılır. Bu birimler özellikle, radyasyonun biyolojik etkilerini inceleyen radyolojide önemlidir. Birçok hastalığın tedavisinde kullanılan radyasyon özellikle kanserin tedavisinde kullanılmakta, biyolojik süreçlerin incelenmesi de radyoaktif izotoplar ile önemli bilgiler elde edilmektedir. Fakat aşırı radyasyon ciddi hastalık ve hatta ölümlere yol açabilir. Bu nedenle radyolojistler ve ışınlanan hastalar için güvenlik önlemleri alınması gereklidir. Bu önlemlerin belirlenmesinde kullanılan birimler hem radyasyon miktarını ve hem de biyolojik etkilerini ölçebilmelidir (Gür 2006).

Uluslararası Radyasyon Birimleri Komitesi (ICRU) radyasyon çalışmalarında kullanılan kavramlar olan aktivite, ışınlama, soğurulma dozu ve eşdeğer doz için özel birimler tanımlamıştır. Bunlar sırasıyla; Curie (Ci), Röntgen (R), rad ve rem'dir. Bu özel birimler, 1986 yılından itibaren terk edilmeye başlanmış ve yerine tüm dünyada kullanılan birimlerin aynı olması düşüncesi ile M.K.S. sistemini esas alan "Uluslararası

Birimler Sistemi (SI)" kullanılmaktadır. Aynı kavramlar için SI birimleri sırasıyla Becquerel (Bq), Coulomb/Kilogram, Gray (Gy), ve Sievert (Sv) olarak seçilmiştir. Çizelge 2.2'de radyasyon terimleri ve doz hesaplamalarında kullanılan özel birimler ile SI birimleri arasındaki ilişki topluca verilmiştir.

Çizelge 2.2. Radyasyon birimleri ve dönüşüm katsayıları (Akkurt 2006).

Terim	Birimi		Dönüşüm
	Eski	Yeni	
Aktivite	Curie (Ci)	Becquerel (Bq)	1 Ci = $3,7 \times 10^{10}$ Bq
Işınlama	Röntgen	Coulomb/Kilogram (C/kg)	1 C/kg = 3876R
Soğurulma Dozu	rad	Gray (Gy)	1 Gy = 100rad
Eşdeğer Doz	rem	Sievert (Sv)	1 Sv = 100rem

Aktivite birimi Becquerel olup saniyede bir bozunma meydana getiren herhangi bir radyoaktif madde miktarı olarak tanımlanmaktadır. Eskiden kullanılan aktivite birimi Curie'dir. Herhangi bir radyoaktif madde miktarı eğer saniyede $3,7 \times 10^{10}$ bozunma hızına sahipse aktivitesi 1 Curie olarak tanımlanmaktadır. Ancak Curie çok büyük bir birimdir. Bu nedenle alt birimleri kullanılmaktadır. Curie'nin yaygın olarak kullanılan alt birimleri microcurie ve picocurie'dir.

Işınlama, X-ışınları ve gama ışınlarının havayı iyonlaştırmalarının bir ölçüsüdür. Işınlama birimi ise Coulomb/kg'dır ve normal hava şartlarında (0°C ve 760 mm Hg basınçta) havanın 1 kg'ında $2,58 \times 10^{-4}$ C'luk elektrik yükü değerinde pozitif ve negatif iyonlar oluşturan X-ışını ve gama ışını miktarıdır.

Soğurulan doz ise; radyasyonla ışınlanan bir maddenin birim miktarındaki soğurulan radyasyon enerjisidir. SI birim sisteminde soğurulan doz birimi Gray (Gy) olup, Gray, 1 kg'lık bir maddeye 1 Joule (J)'luk enerji veren herhangi bir iyonlaştırıcı radyasyonun

dozudur. Eski özel birimi rad (radiation absorbed dose) olup, 1 rad, herhangi bir maddenin gramı başına 100 erg'lik enerji soğurmasına eşdeğerdir.

$$\begin{aligned}
 1 \text{ Gy} &= 1 \text{ J.kg}^{-1} \\
 1 \text{ rad} &= 10^{-2} \text{ J.kg}^{-1} \\
 1 \text{ Gy} &= 100 \text{ rad}
 \end{aligned}
 \tag{2.12}$$

Eşdeğer doz; soğurulan dozun, yani bir dokuya aktarılan enerjinin dokuda oluşturduğu zararlı biyolojik etkilerin bir ölçüsüdür. Bu kavram radyasyon tipine, oluşturduğu iyonizasyon yoğunluğuna bağlı olan bazı faktörleri içine almalıdır. Bu amaçla eşdeğer doz birimi kavramı geliştirilmiştir: Eşdeğer doz birimi SI sisteminde Sievert (Sv)'dir. Sievert (Sv); 1 Gray'lik X-ışını veya gama ışını ile aynı biyolojik etkiyi meydana getiren herhangi bir radyasyon miktarıdır.

$$\begin{aligned}
 1 \text{ Sv} &= 1 \text{ J.kg}^{-1} \\
 1 \text{ Sv} &= 100 \text{ rem}
 \end{aligned}
 \tag{2.13}$$

2.7. Radon ve Özellikleri

1900 yılında Alman Kimyacı Friedrich Ernst Dorn tarafından ilk kez bulunduğu kabul edilen radon aslında ilk kez 1898 yılında ünlü Fizikçi Ernst Rutherford tarafından keşfedilmiştir. Friedrich Ernst Dorn bugünkü adıyla radona niton (parıldayan) adını vermiştir. 1923 yılına kadar bu adla anılan elemente radyum'dan sonra keşfedildiği için radon denilmiştir. Radon; periyodik tabloda asal gazlar grubunda yani 8A grubunda ve 6. periyotta bulunmaktadır ve son keşfedilen asal gazdır. Radon olağan şartlar altında, yani normal sıcaklık ve atmosfer basıncında renksiz, gözle görülemeyen, tatsız ve kokusuz bir gazdır.

Radon'un erime sıcaklığı 202°K ve kaynama sıcaklığı 211°K'dir. Radon donma sıcaklığının altındaki sıcaklıklara kadar soğutulursa, sıcaklık düşüşüyle orantılı bir şekilde sarılığı artan parlak bir fosforesans görünümünü alır. Radon gazı elektrik iletkenliği hiç olmayan ve ısı iletkenliği de 0,0000364 W/cmK gibi çok düşük bir değere sahip olan bir asal gazdır. Radonun atomik yarıçapı $1,34 \times 10^{-10}$ m ve atomik kesitinin alanı $0,72 \times 10^{-24}$ cm²'dir. Havadan 9 kat yoğundur ve tek atomlu şekilde bulunur. Bu yüzden kâğıt, deri, plastik, boya ve bina malzemeleri gibi materyallere kolayca nüfuz eder. Elektron ilgisinin az olması ve iyonlaşma enerjisinin yüksek olması Rn'nin diğer elementlerle kolayca bağ yapmasını engeller. Ancak elektron ilgisi yüksek olan bazı atomlarla etkileşim kararlı bileşikler yapabilir ve suda ve organik çözücülerde iyi çözünür.

2.7.1. Radon'un meydana gelişi ve bozunumu

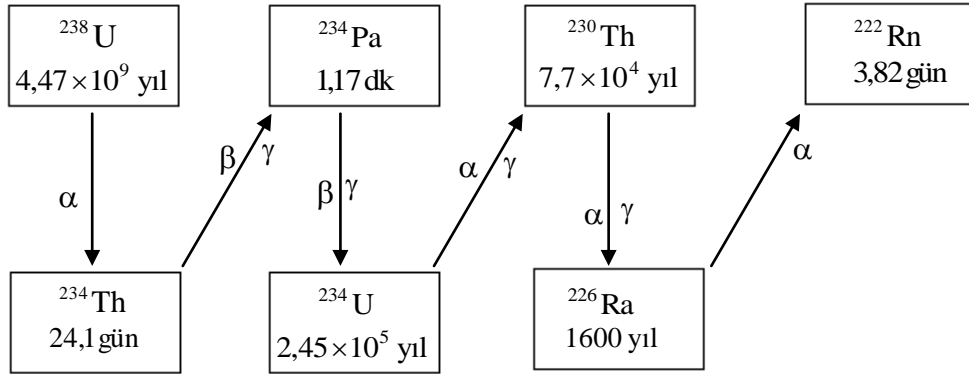
Radon, insan aktivitelerinden değil doğal süreçlerin sonucunda insana zarar verebilen çevresel etmenlerden birisidir. Doğal radyoaktif elementler, yer kürenin oluşumundan beri bulunurlar. Yani radon, yerkürede bulunan uranyum ve radyum gibi doğal radyoizotopların radyoaktif bozunması sonucunda meydana çıkar. ²³⁸U bozunma zincirinde yer alan radon ve diğer bozunma ürünlerinin özellikleri Çizelge 2.3'de verilmiştir. Bu çizelgede yer alan ²²²Radon'nin yarılanma ömrü 3.82 gündür. Radon, ilk oluştuğu anda bütün bozunma ürünlerinden yoksundur.

Radon elementi çok çeşitli yarı ömürlere sahip 33 tane izotopu vardır. En uzun ömürlü üç izotopu ²²²Rn, ²²⁰Rn ve ²¹⁹Rn'dir. ²²²Rn, radon gazının doğada en çok rastlanan ve 3,8 gün ile en uzun yarı ömürlü izotopudur. En ağır doğal radyoaktif element olan ²³⁸U'nin bozunma zinciri içerisinde yer almaktadır. Diğer iki izotop sırasıyla 55,1 saniye ve 3,96 saniye yarı ömürlüdürler ve yine sırasıyla ²³²Th ve ²³⁵U serisinden ortaya çıkarlar.

Çizelge 2.3. ^{238}U 'in bozunma zinciri

Bozunma Zincirinin Ara Ürünleri	Yayınlanan Radyasyon Çeşidi	Yarılanma Süresi
^{234}U	α	45000 yıl
^{230}Th	α	80000 yıl
^{226}Ra	α	1602 yıl
^{222}Rn	α	3,823 gün
^{218}Po	α	3,05 dakika
^{214}Pb	β	26,8 dakika
^{214}Bi	β	19,7 dakika

^{220}Rn ve ^{219}Rn 'nin yarılanma süreleri çok kısa olduğundan çabucak yok olacağından doğadaki radon radyasyonunun hemen hemen tamamı ilk izotop olan ^{222}Rn izotopu kaynaklıdır. Bu nedenle Radon denilince akla ^{222}Rn izotopu gelmektedir.

**Şekil 2.9.** ^{238}U serisinin ^{222}Rn 'ye kadar olan bozunum şeması

Şekil 2.9'da gösterildiği gibi ^{222}Rn , Uranyumun doğada en çok bulunan izotopu olan ^{238}U 'in bir ürünüdür. ^{238}U ile Radon arasındaki bozunma zinciri öncelikle Uranyumun bir alfa yayınlarken ^{234}Th 'e bozunmasıyla başlar, ^{234}Th beta ve gama yayınlarken ^{234}Pa 'e (Protaktinyum) dönüşür. Protaktinyumda yine beta ve gama yayınlarken ^{234}U 'e bozunur. Daha sonra ^{234}U alfa ve gama bozunmasıyla ^{230}Th 'a bozunur. ^{230}Th ise gama

ve alfa yayınlıyarak ^{226}Ra 'ya bozunur. Son olarak ^{226}Ra yine alfa ve gama yayınlıyarak radon gazı olarak adlandırdığımız ^{222}Rn açığa çıkar.

2.7.2. Kapalı ortamlardaki radon kaynakları

Günümüzde kapalı ortam terimiyle konut içerisindeki kapalı ortam iklimi ve kirlenmesi, biyolojik etkilenmeler söz konusudur. Konut, işyerleri ve kamuya açık yerlerin kapalı alanlarının radon gazı değerlendirmeleri önemlidir. Kapalı ortamda birçok kirleticinin oranının, dış ortamdakinin çok üzerine çıktığı belirlenmiştir.

Kapalı ortamlardaki radon gazı yoğunlaşması kapalı ortamın yapımına ve altındaki toprağa bağlıdır. Bununla birlikte iklim faktörü ve insan alışkanlıkları radon seviyelerini saat, gün, mevsim ve yıl içinde değiştirebilmektedir (Hubbard *et al.* 1991).

Radon binaların yapı malzemesinde, yer altı suyunda ve doğal gazda bulunur. Yine de yer kabuğu asıl radon kaynağıdır. Evlerdeki düşük hava basıncı, mahzen ve zemindeki çatlaklar yoluyla radonca zengin toprağın hava akışıyla girişi basıncı artırır. Belirli kaya ve topraklar, granit, kireçtaşları, volkanik topraklar ve tortul şistler gibi uranyum içeriği açısından diğerlerinden daha zengindir. Bununla birlikte orta seviyede uranyum veya radyum içeren topraklar ev içinde yüksek radon konsantrasyonu verebilir. Radonun içeriye akışı, geniş miktarda binanın yapı malzemesine ve toprağın geçirgenliğine bağlıdır.

Bina yapı malzemeleri eser miktarda da olsa uranyum ve radyum içeren toprak, kil tuğla, kaya vb. malzemelerden oluşur. İçeriği genelde düşüktür, fakat bazı malzemeler yüksek ^{226}Ra yoğunlaşmasına sahip olabilir. Örneğin beton ve bina malzemesi volkanik tüfden, alçıtaşından yapılır. Radon gazı yoğunlaşması, granit kayaçlı bölgelerde açılan sondaj kuyularından alınan suyun her litresinde birkaç bin Becquerel değerine ulaşabilir. Finlandiya ve İsveç bu duruma örnek iki ülkedir (Salonen 1994).

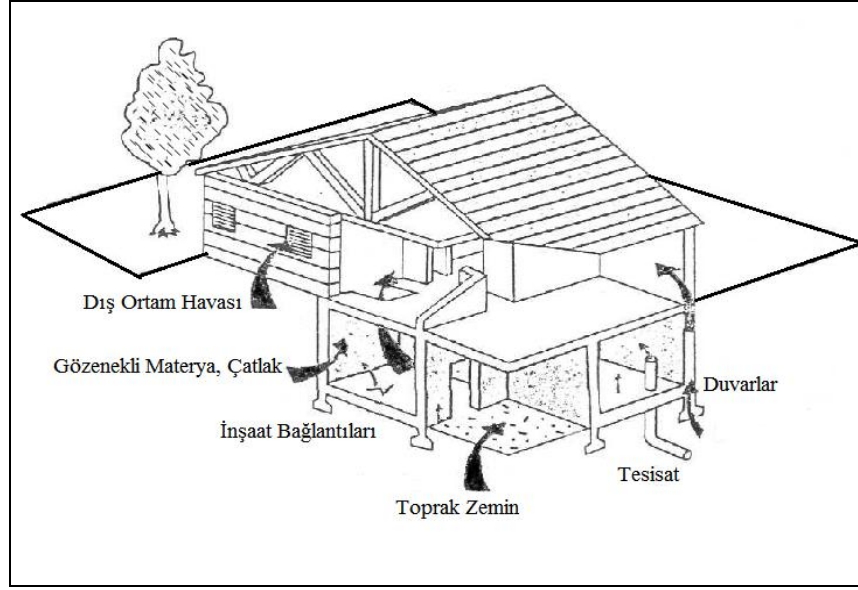
Radon, toprak, kayaç, tortu ve sudan gelir, havada bozunum ürünleri üretir. Uzun süreli radona maruz kalmak sağlığımızı olumsuz olarak etkileyebilir. Uranyum madenlerinde yapılan çalışmalarda da görüldüğü gibi aslında yüksek radon gazı konsantrasyonunun bronşiyal dokulara zarar verdiği ve akciğer kanserine sebep olduğu kabul edilir. Yüksek radyoaktifliğin gözlemlendiği yerler, yeraltı madenleri veya mağaralar gibi mekânlar, ziyaretçiler ve çalışanlar için radyolojik olarak dikkate değer riskler oluşturlar (Lario *et al.* 2005).

Radon özellikle yeraltı suyu olmak üzere, suda da çözünebilir. Tipik olarak, musluktan akan su içindeki radonun 10000'de biri havaya yayılır. Sudaki radon miktarı arttıkça, bina içindeki radon düzeyi de artacaktır.

Kapalı ortamlarda radon konsantrasyonunu belirleyen unsurlar şunlardır;

- Topraktaki ve yapı malzemelerindeki ^{226}Ra miktarı,
- Toprak ve yapı malzemelerinin nem oranı,
- Toprak ve yapı malzemelerinde yayılma (difüzyon) potansiyeli,
- Toprakla temasta olan yapının yüzey alanı ve izolasyon niteliği,
- Bina zemini,
- Binadaki havalandırma kapasitesi,
- İklim koşulları,
- İç-dış hava sıcaklık ve basınç farkı binalardaki radon konsantrasyonunu etkileyen temel unsurlardır.

Kapalı ortamlarda radon konsantrasyonu mevsimlik değişimlerde önemli ölçüde etkilemektedir. Bir yıl boyunca evlerdeki ortalama radon konsantrasyonu %50 ile %100 arasında değişmektedir. Yaz aylarında sıcaklık artışı nedeniyle pencere ve kapıların açılması vantilasyon etkisi yaratır. Bundan dolayı bina içi radon seviyesi önemli ölçüde düşer. Kış aylarında kapalı ortamlarda radon seviyesinde ise artış gözlenir (Papp *et al.* 2001).



Şekil 2.10. Kapalı ortamlara radon giriş yolları (Güler 1997).

2.7.3. Radon konsantrasyon limitleri

Kapalı ortamlarda radon ölçümleri ilk kez 1956 yılında İsveç'te yapılmıştır. Bazı ortamlarda çok yüksek yoğunlaşmada radon gazı bulunmasına rağmen fazla üzerinde durulmamıştır. Bu durum ölçüm bölgesine özel bir istisna olarak düşünülmüştür. Ancak 20 yıl kadar sonra tüm dünyada değişik ülkelerde geniş ölçekli sistematik çalışmalar başlatılmıştır.

Kapalı ortamlarda radon gazı konsantrasyonunun kontrolü amacıyla gerek ülkeler gerekse uluslararası kuruluşlar tarafından limit değerler belirlenmiştir. Söz konusu limit değerlerin aşılması halinde, radon konsantrasyonunu düşürücü tedbirlerin alınması tavsiye edilmektedir. Uluslararası Atom Enerji Ajansı Temel Güvenlik Standartları (IAEA-BSS) çerçevesinde, radon için tavsiye edilen düzeyler $200-600 \text{ Bq/m}^3$ olarak belirlenmiştir. Türkiye'de müsaade edilebilir radon konsantrasyonu ise 400 Bq/m^3 'tür. Çizelge 2.4'de UNSCEAR tarafından 2000 yılında açıklanan raporda çeşitli ülkeler ve uluslar arası kuruluşlar tarafından benimsenen kapalı ortamlar için müsaade edilebilir radon konsantrasyonları verilmektedir (UNSCEAR 2000).

Çizelge 2.4. Bazı ülkelerde ve kuruluşlarca kabul edilen radon gazı sınır değerleri (Bq/m³).

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

2.7.4. Radon'un insanla etkileşimi

İnsan vücudunun radon gazına maruz kalmasında en etkin ve bilinen yol solunum vasıtasıyla alınmasıdır. Radon gazı solunduğunda radonun kısa ömürlü bozunma ürünleri tarafından emilen iyonlaştırıcı alfa partikülleri akciğerlerde bulunan biyolojik doku ile etkileşime geçerek DNA'nın bozulmasına yol açabilir (WHO 2009).

Tek bir alfa partikülünün bile hücrelerde büyük genetik zarara yol açtığı göz önünde bulundurulduğunda, radon ile ilişkili DNA bozulmalarının maruziyetin herhangi bir seviyesinde gerçekleşmesinin olası olduğu görülebilir. Bu nedenle, radonun potansiyel akciğer kanserine yol açmayacağı bir konsantrasyon seviyesi ve onun alt seviyelerinden limit değer olarak söz etmek mümkün değildir. Çoğu insan az ve orta seviyede radona maruz kalmaktadır ve bu kişiler arasında akciğer kanseri görülme oranı, yüksek konsantrasyonda radona maruz kalan kişilerden fazladır.

Radon için hem madenlerde hem de evlerde yapılan çalışmalar radon'un sağlık riskleri üzerine açık ipuçları vermiştir. Radon'un evlerdeki varlığı ailelerin sağlığı açısından tehlike arz etmektedir. Radon, sigara içmeyen bireyler arasında rastlanan akciğer kanseri vakalarının başlıca sebebidir yani radon günümüzde sigaradan sonra akciğer

kanserinin ikinci önemli nedeni olarak tanınmaktadır. Radon kaynaklı akciğer kanseri vakalarına sigara içenler arasında da rastlanmaktadır ve bunun nedeninin sigara içme ve radon arasındaki karşılıklı etkileşim olduğu ortaya çıkmıştır (WHO 2009).

Avrupa, Kuzey Amerika ve Asya'da kapalı mekânlarda radon konsantrasyonu ve akciğer kanseri arasındaki ilişkinin araştırıldığı çalışmalar, radonu akciğer kanseri vakalarının büyük bölümünde sebep olarak ortaya koymuştur. Radon kaynaklı akciğer kanseri vakalarının oranı, ülkede mevcut olan ortalama radon konsantrasyonu ve ölçüm metodlarına bağlı olarak %3-%14 arasında değişmektedir. Bazı ülkelerde kapalı mekân radon konsantrasyonu ile akciğer kanseri vakaları arasındaki ilişki incelenmiş ve aşağıda yer alan Çizelge 2.5 ortaya çıkmıştır (WHO 2009).

Çizelge 2.5. Bazı ülkelerde radona bağlı akciğer kanseri dağılımına ilişkin öngörü

Ülke	Ortalama Kapalı Mekân Havası Radon Konsantrasyonu Bq/m ³)	Radon'a Bağlı Akciğer Kanseri Vakalarının Yüzdesi	Her Yıl Radon Kaynaklı Akciğer Kanseriine Bağlı Beklenen Ölümlerin Sayısı
Kanada	28	7,8	1400
Almanya	49	5	1896
İsviçre	78	8,3	231
İngiltere	21	3,3-6	1089-2005
Fransa	89	5-12	1234-2913
Amerika	46	10-14	15400-21800

Çizelge 2.5'den de görülebileceği üzere Fransa, 89 Bq/m³ ile kapalı mekân havası radon konsantrasyonu en yüksek olan ülkedir. Fransa'da radona bağlı akciğer kanseri vakalarının yüzdesi 5-12 arasında değişmektedir. Buna karşın kapalı mekân havası radon konsantrasyonu 46 Bq/m³ ile Fransa'dan daha düşük olan ABD'de radona bağlı akciğer kanseri vakalarının yüzdesi 10-14 arasında değişmektedir.

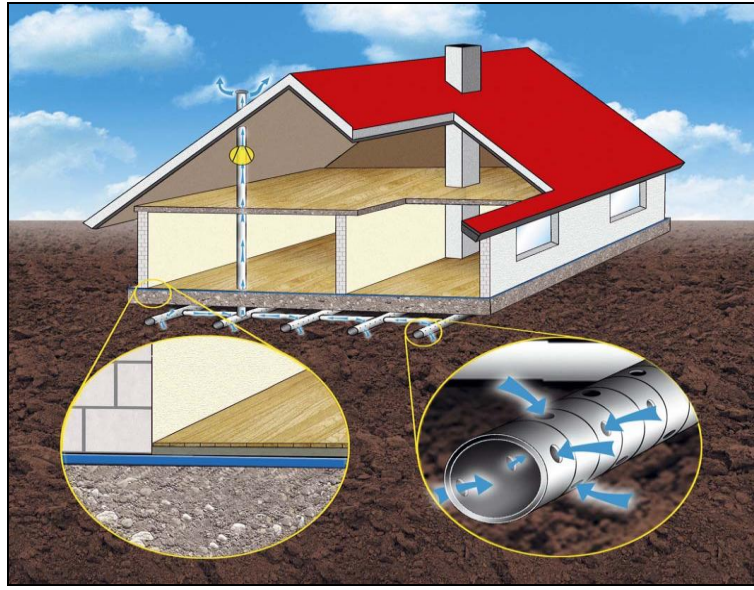
2.7.5. Radon riski için alınabilecek önlemler

Radon konusunda farkındalığın artırılması hem yeni binaların yapımında (önleme) ve hem de mevcut binalarda (iyileştirme ya da bakım) önem arz etmektedir. Başlıca radon önleme stratejisi radon giriş bölgelerinin kapatılması ya da hava basıncının tersine çevrilmesidir. Bunun başlıca yöntemi ise iç mekânı oluşturan alanda yer alan hava basıncı ile dış mekânı oluşturan toprak arasındaki hava basıncı değişikliğini tersine çevirmektir. Bu konuda farklı basınç değiştirme teknikleri mevcuttur. Halk, iç mekân havasındaki radon konsantrasyonunun etkilerinden haberdar olmadığı için risklere ilişkin iletişim yollarının geliştirilmesi ve halkın bilgilendirilmesi önem taşımaktadır. Radon riskinin azaltılabilmesi için ulusal seviyede kamuoyu sağlık programlarının oluşturulması gerekmektedir. Ulusal radon politikasının toplumun radona maruziyet nedeniyle en fazla risk altında olduğu coğrafi bölgelerin tanımlanmasına odaklanması ve halkın ilgili riskler konusunda bilgilendirilmesini sağlaması gerekmektedir (WHO 2009).

Binalarda radon risklerinin azaltılması için alınabilecek önlemler aşağıda sıralanmıştır;

- Binaların, özellikle bodrum katlarının toprakla izolasyonu iyi yapılmalıdır. Bodrum katların ve zemin katların tabanına şap, beton vb. dökülmelidir. Toprak ile temas eden yüzeyler sızıntıya imkân vermeyecek şekilde izole edilmelidir.
- Hava akımının bina içerisinden toprağa doğru olması sağlanmalıdır.
- Çok eski olan binalarda radon düzeyi yüksek olabileceğinden, çatlakların kapatılması, izolasyon ile bakımı sürekli yapılmalıdır.
- Yapı malzemelerinin radyoaktivite analizleri ve doz değerlendirmeleri yapılarak, değerlendirme sonuçları tavsiye edilen radyoaktivite düzeylerinin üzerinde olan malzemeler bina yapımında kullanılmamalıdır.
- Yerden, duvarlardan ve diğer boşluklardan bina içine sızan radon gazı bina dışına çıkamazsa bina içindeki konsantrasyon artacaktır. Bu nedenle kapalı ortamların havalandırılmasına özen gösterilmelidir.
- Binalarda doğal havalandırma sistemlerine ağırlık verilmelidir.

- Eğer herhangi bir bölgede radon kirliliği tehlikesi yüksekse toplum bireylerinin kendi mekan radon izlenimlerini yapmaları yönünde özendirilmelidir.
- Binalarda; Duvar, kapı, tesisat ve pencerelerde izolasyon yapıldıysa havalandırma süresi arttırılmalıdır.
- Yerleşim bölgelerinde toprakta, havada ve su kaynaklarından sık sık radyoaktivite tayini yaparak bu konuda bölge insanını bilinçlendirmek gerekir.



Şekil 2.11. Radon gazını atmosfere aktarma sistemi (immobilid)

Binalarda radon gazının birikmesini önlemek için alınabilecek en önemli tedbirlerden birisi; Şekil 2.11’de görüldüğü gibi binaların toprak ile temasının bulunduğu bölgeye bir difüzyon sistemi yaparak bina ile toprak arasında biriken radon gazının atmosfere aktarılmasıdır.

2.8. Radon Aktivite Konsantrasyonu Ölçüm Yöntemleri

Radon konsantrasyonunun ölçümüyle ilgili birçok araç, gereç ve yöntem vardır. Bunların büyük çoğunluğu alfa parçacıklarının ölçümüne dayanır. Radon ve ürünlerinin ölçümünde genellikle alfa sayımı tercih edilmektedir. Bu araçlarla değişik bozunum aşamalarında ortaya çıkan alfa parçacıklarının miktarı ölçülür. Radon renksiz, tatsız, kokusuz ve radyoaktif bir gaz olduğu için insan duyu organlarıyla tespit edilemez. Ancak, geliştirilmiş özel tekniklerle radon ölçümleri yapılabilir. Radon ölçüm teknikleri aktif ve pasif olmak üzere iki grupta incelenebilir (Urban *et al.* 1981).

2.8.1. Aktif ölçüm yöntemi

Aktif ölçüm tekniğinde, anlık radon ölçümleri yapılmaktadır ve bu yöntem, kapalı bir ortam radon konsantrasyonunu tespit etmenin en kısa yoludur. Bunun için radon konsantrasyonu belirlenecek yerden hava numunesi alınmakta ve numune içinde bulunan radyasyon miktarı bir radyasyon sayacı ile sayılarak radon konsantrasyonu hesaplanmaktadır. İyon odaları, Sintilasyon hücresi, Elektrostatik toplayıcılar ve Filtreler aktif radon ölçümlerinde kullanılan aletlere örnek olarak verilebilir. Aktif ölçüm radon dedektörlerinin en önemli özelliği; havada, toprakta, suda ve yapı malzemelerinde radon miktarının gerekli ekipman desteğiyle (toprakta-prop, suda-kit) ölçülebilmesidir. Fakat numune almaya dayanan ve çoğunlukla kısa-sürelili ölçümler için kullanılan bu teknik, bina içindeki atmosferik radon yoğunluklarının belirlenmesinde çok tercih edilen bir yöntem değildir. Çünkü nem, basınç, hava sıcaklığı gibi dış parametrelerden oldukça fazla etkilenebilen radon konsantrasyonu kısa zaman dilimleri içerisinde önemli değişimler gösterebilir.

2.8.2. Pasif ölçüm yöntemi

Pasif ölçüm tekniğinde ise, radon konsantrasyonu ölçülecek ortamda uzun süreli bırakılan nükleer iz detektörlerinden yararlanılmaktadır. Radon ölçümlerinde bir ortalama değer belirleyebilmek için genellikle pasif ölçüm tekniğinin kullanılması uygundur. Uzun süreli gerçekleştirilen bu tür ölçümler günlük, aylık, mevsimlik veya yıllık olarak yapılabilir. Pasif ölçüm tekniğinde kullanılan nükleer iz detektörleri selüloz asetat, polikarbonat veya allil diglikol karbonat gibi plastik maddelerden yapılmış film tabakalarından oluşturulmuştur. Ölçme, plastik plakalara çarpan alfa parçacıklarının bıraktığı gözle görülmeyen izlerin kimyasal iz kazıma (etching) yöntemi ile netleştirilerek bir mikroskopla sayılması esasına dayanmaktadır. Pasif ölçüm tekniğinin bina içi ortamlarda, mağaralarda, madenlerde ve tünellerde radon gazı konsantrasyonunun belirlenmesinde kullanılabilmesi bildirilmektedir. Pasif ölçüm yönteminde genellikle termoluminesans detektörler ($\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ veya LiF gibi), veya katı hal nükleer iz detektörleri; selüloz nitrat (LR-115) veya allil diglikol karbonat (CR-39) kullanılır. Pasif alfa detektörü kullanılarak yapılan radon dozimetreleri 3 farklı yolla oluşturulabilir:

1. Detektörün önünde bulunan bir filtre üzerinde radon ürünlerinin toplandığı gaz akışlı aktif cihazlar.
2. Gaz akışı olmayan ağız kapaklı odacıklar; Radon oda içine difüzlenerak, oda hacmi içinde ürünlerini de oluşturarak, radon ve ürünlerinden gelen alfa parçacık izlerini bu odacık içine yerleştirilmiş bir alfa detektörü üzerinde bırakır.
3. Açık bir detektör üzerinde, havadaki radon ve ürünlerinden gelen alfa parçacıklarının kaydedildiği pasif aygıtlar.

Çizelge 2.5’de Radon gazı ölçüm cihazları ve karakteristik özellikleri verilmiştir. Bu tabloda verilen radon ölçümü cihazları Dünya Sağlık Örgütü (WHO) üye ülkeleri arasında kullanılan standart cihazlardır (WHO 2009).

Çizelge 2.6. Radon gazı ölçüm cihazları ve özellikleri

Dedektör Tipi	Yöntem Adı	Belirsizlik Aralığı (%)	Tipik Örnekleme Periyodu	Maliyet
Alfa İz Dedektörü	Pasif	10-25	1-12 ay	Düşük
Aktif Kömür Dedektörü	Pasif	10-30	2-7 gün	Düşük
Elektret İyon Odası	Pasif	8-15	5 gün-1 yıl	Orta
Elektronik Entegre Cihazı	Aktif	~25	2 gün-birkaç yıl	Orta
Sürekli Radon Dedektörü	Aktif	~10	1 saat- birkaç yıl	Yüksek

2.9. Yıllık etkin doz eşdeğeri

Yıllık etkin doz eşdeğeri (Y.E.D.E), insanların farklı radyasyon kaynaklarından yayımlanan ışınlarla gerek dışarıdan maruz kalmak sureti ile gerekse yediği ve içtiği gıdalar veya soluduğu havada bulunan değişik radyonüklitlerden yayımlanan ışınlarla içeriden maruz kalmak sureti ile bir yıl süresince alacağı radyasyon dozu olarak tanımlanır. Eşdeğer doz birimi Sievert'tir. Yıllık etkin doz eşdeğerinin hesaplanmasında her radyonüklidin yayınladığı radyasyon tipi ve enerjisi kullanılarak her radyonüklit için birim aktivite başına yayınladığı radyasyon doz dönüşüm faktörleri belirlenir. Birim hacim veya birim ağırlık başına tespit edilen aktivite konsantrasyonu ile doz dönüşüm faktörleri çarpılarak yıllık etkin doz eşdeğeri bulunur.

$$Y.E.D.E = D_f \times C \quad (2.14)$$

Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri; denklem (2.14) ile hesaplanır, burada D_f ; Doz dönüşüm faktörünü ifade eder, C ise birim hacim veya birim ağırlık başına tespit edilen aktivite konsantrasyonunu ifade eder.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmada, Iğdır il merkezi ve çevre ilçelerinde kapalı ortamlardaki radon aktivite konsantrasyonunu belirlemek için toplam 81 adet CR-39 nükleer iz kazıma dedektörü kullanıldı. Bu dedektörler pasif radon dedektörü olup ^{222}Rn izotopunun yayınladığı alfa parçacıklarının dedektör filmi üzerine iz bırakması esasına göre çalışmaktadır. Diğer izotopların dedektör üzerinde iz bırakmaması, kullanılan filtre ve etching tekniği ile sağlanır. Dedektör filmi, allil diglikol karbonat malzemedendir yapılmıştır. Bu malzemeler elektromanyetik ışınlarda etkilenmezler ve elektronlara karşı duyarlıdır. Belirli bir süre radona maruz bıraktığımız CR-39 dedektörlerinin analizi Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi laboratuvarlarında yapılmıştır.

3.1. CR-39 Dedektörünün Yapısı ve Çalışması İlkesi

Nükleer iz Dedektörleri ile radon konsantrasyon ölçümleri çeşitli plastik maddelerden yapılmış film tabakaları kullanılarak gerçekleştirilir. Bu yöntem, plastik plakalar üzerine çarpan alfa parçacıklarının gözle görülmeyen bir iz bırakması ve bu izin kimyasal iz kazıma yöntemi ile büyütülerek mikroskopta sayılması esasına dayanmaktadır. Selüloz asetat, polikarbonat ve allil diglikol karbonat gibi plastik maddelerden yapılmış nükleer iz dedektörleri yaygın olarak kullanılmaktadır (Durrani *et al.* 1997).

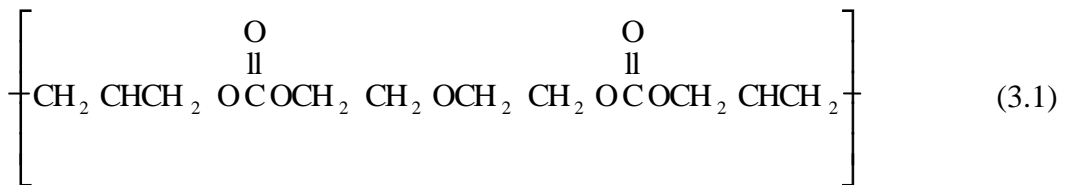
Radosys firmasınınca üretilen, pasif ölçüm tekniği kapsamında sıkça tercih edilen ve ticari adı CR-39 olan nükleer iz dedektörleri; Şekil 3.1 de görüldüğü gibi 26 mm çapında ve 55 mm yüksekliğindeki bir silindirik radon difüzyon kabının içerisinde bulunmaktadır. Kabin ağzı, radon bozunma ürünlerini filtreleyerek yalnız radon gazını geçiren bir kapakla kapatılmıştır. CR-39 dedektörü (1x1) cm boyutlarında kesilmiş, kodlanmış ve difüzyon kabında kapağın iç yüzüne yerleştirilmiştir. Ayrıca CR-39 dedektörleri 0,1 iz/mm² yoğunluğa göre kalite kontrolden geçirilmiştir.

Çizelge 3.1. CR-39 dedektörünün teknik özellikleri

Ticari Adı	CR-39
Üretici Firma	Radosys Ltd. (Macaristan)
Çeşidi	RSKS tipi, Filtreli kapak ile kapalı
Dedektör Konumu	Kapak altına tutturulmuş 1 adet çip
Boyutlar	Silindirik, 26 mm çap x 55 mm yükseklik
Materyal	Polypropylene
Filtre	Hava boşluğu
Gönderiliş Şekli	Dedektör kodu eklenmiş ve hava geçirmez alüminyum ile kaplı
Uygulamalar	Kapalı ortam içi dozimetre olarak genel kullanım

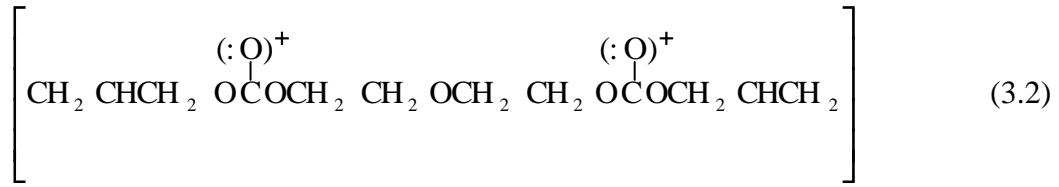
**Şekil 3.1.** RSKS tipi CR-39 radon dedektörünün difüzyon kabı

CR-39 olarak bilinen radon dedektörünün kimyasal adı allil diglikol karbonat ve denklem (3.1) de görüldüğü gibi kimyasal sembolü ise $C_{12}H_{18}O_7$ dir.



Radon gazı difüzyon kabının içine girdiğinde, yarılanma ömrü sonunda bozunarak bir alfa taneciği (He çekirdeği) yayınlamaktadır. Yayımlanan bu alfa parçacığı dedektöre çarptığında plaka yüzeyi üzerinde iz bırakmaktadır. Dedektör plakası üzerindeki alfa izlerinin sayısı, ölçüm yapılan yerdeki radon konsantrasyonu ile orantılıdır.

Radonun bozunmasıyla yayımlanan alfa parçacığı CR-39 dedektör filmi üzerinde nasıl iz bırakır? Sorusunu açıklayacak olursak; dedektör filminin yapısını denklem (3.1)'de görüyoruz ki karbon, hidrojen ve oksijen atomlarından oluşmaktadır. Bu üç atomu yapısal olarak karşılaştırırsak, oksijenin atomik yarıçapı diğer iki atomdan daha büyük ve yörüngelerinde daha fazla elektron bulundurduğundan, radonun bozunmasıyla yayımlanan alfa parçacıkları oksijen atomlarıyla etkileşir. Bu etkileşimde yayımlanan alfa parçacığı oksijenin yörüngesindeki elektronları kopararak oksijen atomunu denklem (3.2)'de görüldüğü gibi pozitif yüklü konuma getirir.



Alfa parçacığının dedektör filmi üzerine yapmış olduğu bu değişiklikten sonra difüzyon kabından çıkarılan dedektör filmleri belirli bir sıcaklıkta ve uygun şartlardaki NaOH çözeltisinde banyo edildiğinde, sulu çözelti içerisindeki negatif yüklü OH⁻ iyonları film yapısında pozitif durumda bulunan oksijen ile etkileşerek, oksijen atomunun ester bağlarını kopararak sadece alfa taneciğinin çarptığı noktada deformasyona sebep olacaktır. Deformasyon etkisiyle dedektör filmi üzerindeki izler daha belirgin hale gelecek ve böylece izler normal bir mikroskop ile görünürler.

3.2. Radon Aktivite Konsantrasyonu Ölçümleri

İnsanların solunum yoluyla aldıkları radyasyon dozunun büyük bir kısmını yapı malzemelerinden ve hava ortamında bulunan radyoaktif toz ve partiküllerden çıkan ^{222}Rn 'den kaynaklanmaktadır. Bu nedenle kapalı ortamlardaki kapalı ortamlardaki radon aktivite konsantrasyonu ölçümleri insan sağlığı açısından oldukça önemlidir.

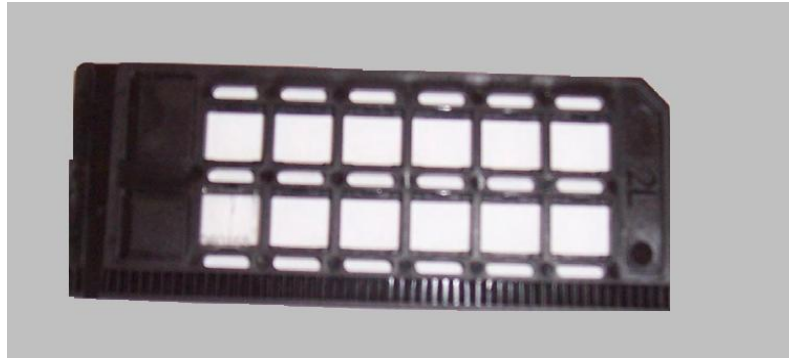
Bu çalışmada kapalı ortam ölçümleri toplam 81 kamu binası ve konutta yapılması planlanmıştır. Kapalı ortamlar rastgele seçilmiş, genellikle Iğdır merkez yerleşimini temsil edecek şekilde düzgün dağılımlı olması hedeflenmiştir. Dedektörlerin kapalı ortamlara yerleşimi öncesinde hazırlanmış olan bir anket formu ile sorgulama yapılmıştır. Dedektörler özellikle kış aylarında belirlenen kapalı ortamlara yerleştirilmiştir, çünkü insanlar kış mevsiminde zamanlarının yaklaşık olarak %90'ını kapalı ortamlarda bulunurlar, hiç kuşkusuz ki bunun en önemli nedeni bu bölgenin kış mevsimlerinde soğuk iklim koşullarına sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle bu bölgedeki ortalama radon aktivite konsantrasyonunun belirlenmesi, bölgede yaşayan insanların sağlığı açısından önem taşımaktadır.

Dedektörler, genellikle yaşamsal faaliyetlerin daha fazla olduğu okullar, hastaneler, evler, bürolar gibi vb. mekânlara yerleştirilmiştir. Dedektörleri kapalı ortamlara yerleştirirken pencere kenarlarına, kapı yanlarına, kısacası hava akımının olmadığı yerlere yerleştirilmeye özen gösterilmiştir.

Kapalı ortamlardaki CR-39 nükleer iz dedektörleri yaklaşık olarak 60 gün kapalı ortamlarda radon gazına maruz bırakıldıktan sonra analiz ve iz kazıma işlemleri için Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi Sağlık Fiziki ve Radyasyon Güvenliği Birimi laboratuvarlarında değerlendirilmek üzere güvenli bir şekilde toplanmıştır.

3.3. İz Kazıma Ünitesinin hazırlanması ve İz Kazıma İşlemi

İlk olarak iz kazıma işlemi yapılacak olan dedektörler, düfilyon kabından el değmeden pamuklu bir eldiven ve penset yardımı ile çıkartılmış ve radoslide olarak adlandırılan dedektör tutucu ünitesine yerleştirilmiştir. Eldiven kullanılmasının nedeni kazıma solüsyonunda istenmeyen kirlilikleri önlemek içindir. Çıkarılan dedektörler siyah dedektör tutucusundaki yuvaların içine ID kodları üstte, alfanümerik (noktalı) kodları alt kenarda kalacak yani dedektör tutucusunu üzerinde yazan 2L yazısı en üste ve dikdörtgen dedektör tutucusunun kesik kenarı sol üstte olacak şekilde yerleştirilmiştir. Şekil 3.2’de radoslide dedektör tutucusu görülmektedir. Radoslide olarak adlandırılan bu dedektör tutucu 12 dedektör çipini alabilmektedir. Dikdörtgen dedektör tutucusunun alt kısmındaki konik yarıklar kazıma diskindeki konik yarıklara denk gelecek şekilde kaydırılıp sıkıştırılarak yerleştirilmiştir.



Şekil 3.2. Radoslide dedektör tutucusu

Mekanik olarak doğru yerleştirildiğinde yumuşak bir klik sesi ile birlikte çip yuvalara sıkıştırılmıştır. Analiz software, doğru pozisyonda yerleşmiş ID kodunu otomatik olarak okuyan bir sistemdir. Bu nedenle alfanümerik kod sol tarafta ve nokta kod alt tarafta olarak çipler hazırlanmıştır. Daha sonra dedektör çipleri yerleştirilmiş olan Radoslide dedektör tutucuları, kazıma (drum) diskine monte edilmiştir. Kazıma diskinin alt kısımlarında tutucuları monte etmek için bir seri yarık bulunmaktadır. Dedektör tutucu, diskteki bu yarıklara kaydırılarak sıkıştırılmıştır.

Radoslide olarak adlandırılan bu dedektör tutucusuna yerleştirilen CR-39 plakalarının kaydettiği alfa izlerinin görünür hale getirilmesi gerekmektedir. Bunun için Radobath iz kazıma ünitesi içerisinde konulan dedektörlere 4 saat süreyle 90°C sıcaklıktaki %25'lik NaOH çözeltisinde kimyasal iz kazıma işlemi uygulanmıştır. Banyo ünitesi bir otomatik dedektör kazıma işlemidir. Radobath kimyasal iz kazıma ünitesi; iç tarafı çelik dış tarafı ise plastikten oluşan ünite aşındırıcı kazıma solüsyonu ve sığağa dayanıklıdır. Radosys firması tarafından üretilen, Radobath kimyasal iz kazıma ünitesi Şekil 3.3'de gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Radobath kimyasal iz kazıma ünitesi (ÇNAEM Laboratuvarı)

Radobath ünitesindeki ısıtıcı, suyun sıcaklığını aşamalı olarak yükselten bir çalışma sistemine sahiptir. Su sıcaklığının 90°C olması gerekmektedir. Bu yüzden çubuk termometre yardımıyla belli aralıklarla sıcaklık kontrol edilerek bir süre beklenmiştir.

Çizelge 3.2. Radobath kimyasal iz kazıma ünitesinin teknik özellikleri

Radobath Kimyasal İz Kazıma Ünitesi	
Banyo içeriği	%25 NaOH solüsyon
Banyo sıcaklığı	90 °C
Banyo zamanı	4 saat
Aynı anda banyo edilen dedektör sayısı	432 adet
Banyo solüsyon hacmi	5 Litre
Banyo operasyon özellikler	Sıcaklık ayarı, otomatik likit karıştırma
Diğer standart özellikler	Solüsyon seti
Güç	90 - 240 VAC 50/60Hz
Ağırlığı	8kg
Boyut	ø 250mm x 350mm

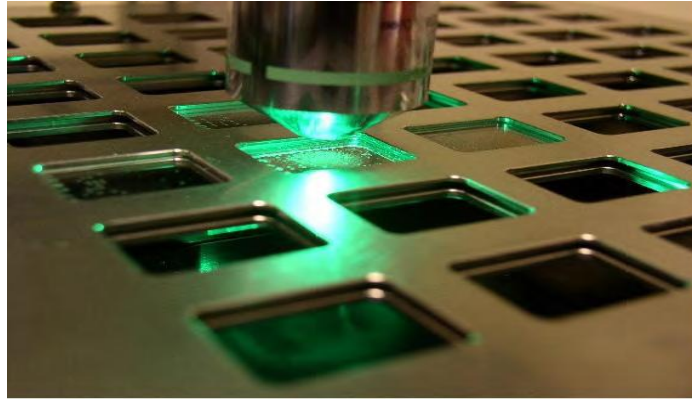
Ünite içerisindeki suyun sıcaklığı 90°C'ye ulaşıncaya ısıtıcı kapatılarak katı NaOH granülleri eklenmeye başlanmıştır. Granüllerin çözünmesi soğuk suda zor olacağından su ısıtılmadan üniteye konulmamıştır. Böylece kabın dibinde kalıntı oluşma riski ortadan kaldırılmış olur. Granüllerin hemen dökülmesi durumunda aşırı ısınma sonucunda suyun taşma riskini ortadan kaldırmak amacıyla 1 kaşık dolusu granül 1'er dakikalık aralıklarla dökülmüştür.

NaOH granüllerini ekleme işlemi, ekzotermik bir işlem olduğundan granüllerin eklenme süresince elektrikli ısıtıcı kullanılmamıştır. 1 kg NaOH granülün dökülmesi işlemi yaklaşık olarak 40 dakika sürmüştür. 1 kg'lık NaOH granülleri tamamen suda çözününce karıştırıcı ekipmanı çıkartılmış ve üzerinde dedektör olan kazıma diski banyo kabına yerleştirilerek kapak kapatılmıştır. Daha sonra ısıtıcıyı yeniden açılarak karıştırıcı motorun dedektörleri döndürmesi sağlanmıştır. Dört saatlik kazıma işlemi sonucunda, ısıtıcı kapatılarak banyo kabının alt kısmına boşaltma hortumu takıldıktan sonra musluk açılarak banyo kabı içerisindeki sıcak çözelti ısıya dayanıklı bir kaba aktarılmıştır. Bu aşamadan sonra dedektörlerin temizlenmesi için nötralizasyon işlemine tabii tutulur.

Nötralizasyon işlemi için 4 L'lik saf suya % 15-20'lik 200 mL asetik asit solüsyon banyo kabına boşaltılıp bir iki dakika daha karıştırdıktan sonra bu nötralize sıvı plastik nötralize kaba boşaltılarak, dedektörler bir süre burada bekletilmiştir. Son yıkama işlemi için 4 L'lik saf su banyo kabına boşaltılarak dedektörler birkaç dakika burada bekletilmiştir. Çıkarılan kazıma disklerinin kuruması için kurutma kâğıtları üzerine konulmuştur. Böylece bir saatlik kuruma işleminden sonra dedektörler Radometer iz değerlendirme ünitesinde değerlendirilebilecek hale gelmiş olurlar.

3.4. İzlerin Sayımı ve Değerlendirme İşlemleri

Kimyasal iz kazıma işleminin ardından dedektör plakaları üzerinde belirginleşen alfa izlerinin sayımı, optik okuyucu bir sistem olan ve yine Radosys firmasınınca üretilmiş RadoMeter mikroskop ünitesinde otomatik olarak gerçekleştirilmiştir. RadoMeter mikroskop ünitesi; maksimum iz değerlendirme performansına ve doğruluğuna sahip, yüksek görüş kalitesi ile çalışmaktadır.



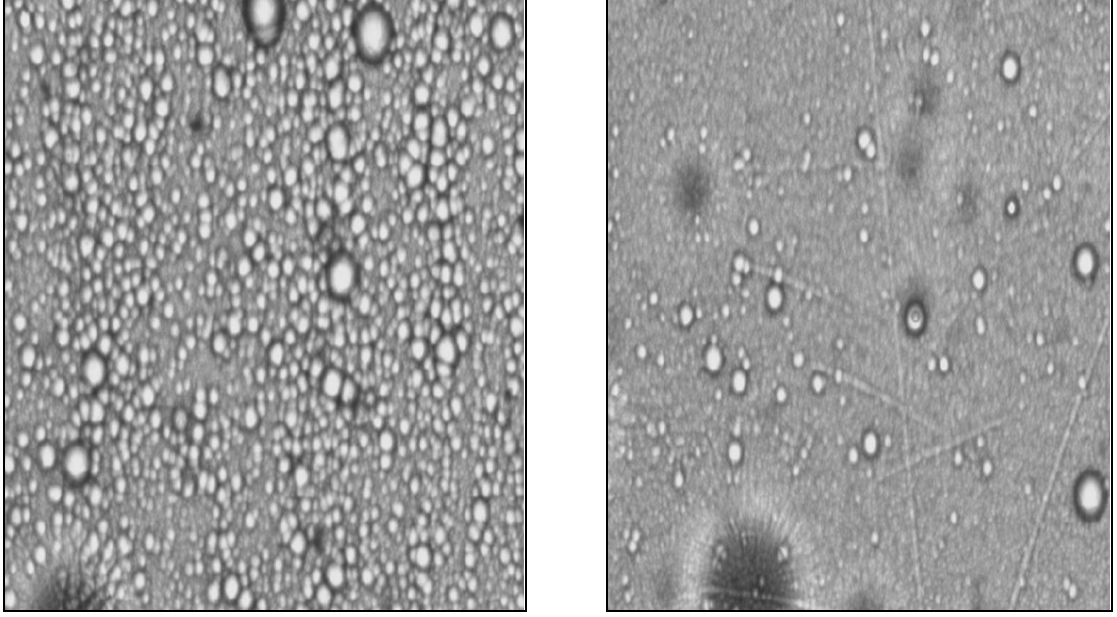
Şekil 3.4. Mikroskop ile CR-39 dedektörleri üzerindeki alfa izlerini görüntüleme

İzlerin okunması ışık mikroskobuna bağlı 100× büyütmeli bir CCD kamera ile sağlanmakta ve elde edilen görüntü dijital hale çevrilerek bilgisayara aktarılmaktadır. Bu görüntü işleme seti ile 1cm² yüzey alanına sahip olan CR-39 plakalarının yaklaşık 47 mm²'lik yüzey alanı taranmakta ve dedektörler üzerindeki iz yoğunlukları Linux

işletim sistemi (açık erişim) altında çalışan bir yazılım kullanılarak sisteme kayıt edilmiştir. Bu otomatik okuma işlemi (alfa izlerinin tek tek okunması ve üst üste geçmiş izler için 150 iz/mm^2 'ye kadar hassaslıkta okunma işlemi) dedektör başına ortalama 60 saniyelik bir sürede tamamlanmıştır. Analiz aşamasında kullanılan 432 dedektör kapasiteli Radobath iz kazıma ünitesi ve RadoMeter görüntü işleme setine ait mikroskop ünitesinin teknik özellikleri ile bu setin operasyonel özellikleri Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.3. RadoMeter ünitesinin teknik ve operasyonel özellikleri

RadoMeter Mikroskop Ünitesi	
Görüntüleme Parçası	B&W CCD Kamera
Optik Büyütme	100×
Nesne Görünüşü	3 boyutlu hareket eden, otomatik
Odaklama	Otomatik, Görüntü netliğine bağlı
Kapasite	12 Dedektör
Ağırlık	25 kg
Boyut	500 mm × 500 mm × 300 mm
Bilgisayar Ünitesi	
Donanım	Özel program ve bileşenler yüklenmiş PC
İşletim Sistemi	Linux
Görüntü	15" Monitör
Güç	90 - 240 VAC 50/60Hz
Ağırlık	16 kg
Boyut	400 mm x 210 mm x 400 mm
İşletim karakteristikleri	
Her Dedektör için Değerlendirme	60 sn
İz Tanıma Kapasitesi	Tek ve üst üste izler, 150 iz/mm^2
Alfa İzler İçin Dedektör Tarama Alanı	47 mm^2
Veri Girişi	Text dosyası/veri tabanı formu
Veri Belleği	SQL veri tabanı motoru (PostgreSQL)
Dedektör Çip Tanıma	Otomatik nokta kod okuma



Şekil 3.5. CR-39 filmi üzerinde oluşan alfa izleri

3.5. Radon Aktivite Konsantrasyonunun Hesaplanması

Kimyasal iz kazıma ve iz sayım işlemi tamamlanmış dedektörler için belirlenen alfa iz yoğunlukları yardımıyla belirlenen kapalı ortamlardaki radon aktivite konsantrasyonunu hesaplamak için RadoMeter ünitesindeki yazılım programıda belirlemiş olduğumuz iz yoğunlukları veri tabanı formuna aktarılır, ayrıca buna ek olarak dedektörlerin kapalı ortamlara konuluş ve alınış süreleri saat cinsinden giriş yapılarak, programda her bir dedektör için R.A.C (Radon Aktivite Konsantrasyonu) sütununda Bq/m^3 olarak konsantrasyonlar verilmiştir.

Belirlemiş olduğumuz noktalardaki kapalı ortam radon aktivite konsantrasyonunu belirlemenin ikinci bir yolu ise aşağıdaki denklem ile hesaplanabilir;

$$C_{Rn} = \frac{D \times kf \times 1000}{t} \quad (3.3)$$

Bu eşitlikte D , taranan plaka yüzeyi üzerindeki alfa izlerinden elde edilen iz yoğunluğunu, t ise saat cinsinden detektörün radon ölçümü yaptığı toplam zamanı göstermektedir. Eşitlikte k_f ise CR-39 dedektörleri için kullanılan kalibrasyon faktörüdür (Kürkçüoğlu *et al.* 2009).

Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezinde laboratuvarlarda CR-39 dedektörü için belirlenen kalibrasyon faktörü değeri yaklaşık olarak $45 \text{ (kBq/m}^3\text{)/(iz/saat)}$ kullanılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu bölümde, CR-39 nükleer iz kazıma dedektörleri ile yapılan çalışmada, Iğdır ilinde kamu binaları ve evlerde kapalı ortam radon aktivite konsantrasyonu ölçüm sonuçları 23-202 Bq/m³ arasında değişmektedir. Ortalama değer ise 87 Bq/m³ bulunmuştur. Çalışma sonucunda Iğdır il sınırları içerisinde yapılmış olan radon gazı yoğunluğu ölçümlerine ait veriler tablolar halinde verilmiştir. Çalışma esnasında dedektörlerin yerleştirildiği kamu binaları ve evlerde yapılan anket sonuçları da dikkate alınarak, bu anket içerisinde dedektör bilgileride eklenerek, dedektörlerin yerleştirilmiş olduğu kapalı ortamların kat seviyesi, binaların yapımında kullanılan malzemelerin özellikleri, ısı yalıtım seviyesi, ortam havalandırma alışkanlıkları, bölgenin coğrafi özellikleri ve binaların diğer temel özellikleri dikkate alınarak radon gazı kaynakları üzerine yorumlar yapılmıştır. Ayrıca il sınırları içerisinde dedektörlerin yerleştirmiş olduğumuz farklı bölgelerde binaların kat seviyeleri baz alınarak istatistiksel çalışma yapılmıştır. Yine bu bölgelerde yaşayan insanların, sadece radyoaktif radon gazından maruz kaldıkları yıllık etkin doz eşdeğeri hesaplanarak çalışmaya dahil edilmiştir.

4.1. CR-39 Nükleer İz Dedektörleri ile Alınan Ölçümler

Iğdır ilinde kapalı ortamlardan elde edilen sonuçlara göre dedektörlerin ölçüm süreleri dikkate alınarak radon aktivite konsantrasyonları Çizelge 4.1’de verilmiştir. Radon aktivite konsantrasyonu ölçümlerinde bina yapımında kullanılan materyallerin türüne bağlı olarak radon konsantrasyonu yüksek çıkan kamu binaları ve evlerde anket sonuçlarından yola çıkılarak sebepler üzerinde de durulmuştur. Özellikle zemin katlarda yaşayan bireylere radon hakkında bilgiler verilerek, bu konuda yapılması gereken önlemler üzerinde durulmuştur. Çizelge 4.1’de verilen radon aktivite konsantrasyonu ölçümleri ocak-mart döneminde alınmıştır. Bu çalışmanın bu dönemde yapılmasının nedeni ülkemizin iklim şartlarına bakıldığında en soğuk dönemdir. İnsanlar zamanlarının büyük kısmını genellikle kapalı ortamlarda bulduklarından dolayı bu

süre boyunca alınmış olan ölçüm sonuçları oldukça önemlidir. Çizelge 5.1’de ise kapalı ortam türüne bağlı olarak radon aktivite konsantrasyonu değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.1. Iğdır ilinde kapalı ortam radon konsantrasyonu değerleri

Dedektör No	Başlangıç Tarihi	Bitiş Tarihi	Ölçüm Süresi (Saat)	R.A.C (Bq/m³)
R86504	20.01.2011	20.03.2011	1440	190
R86540	20.01.2011	22.03.2011	1488	70
R86548	20.01.2011	22.03.2011	1488	120
R86584	20.01.2011	22.03.2011	1488	83
R86604	20.01.2011	22.03.2011	1488	67
R86610	19.01.2011	22.03.2011	1512	77
R86619	20.01.2011	22.03.2011	1488	30
R86620	20.01.2011	22.03.2011	1488	74
R86636	20.01.2011	22.03.2011	1488	68
R86640	20.01.2011	22.03.2011	1488	69
R86645	20.01.2011	22.03.2011	1488	58
R86646	20.01.2011	22.03.2011	1488	91
R86647	20.01.2011	21.03.2011	1464	108
R86653	20.01.2011	22.03.2011	1488	76
R86668	20.01.2011	22.03.2011	1488	90
R86674	20.01.2011	22.03.2011	1488	75
R86679	20.01.2011	22.03.2011	1488	74
R89235	20.01.2011	22.03.2011	1488	174
R89237	20.01.2011	22.03.2011	1488	74
R89240	20.01.2011	21.03.2011	1464	84
R89249	18.01.2011	21.03.2011	1512	113
R89250	19.01.2011	22.03.2011	1512	68
R89254	20.01.2011	22.03.2011	1488	55
R89256	20.01.2011	22.03.2011	1488	82
R89269	20.01.2011	22.03.2011	1488	95
R89271	20.01.2011	20.03.2011	1440	124
R89287	20.01.2011	22.03.2011	1488	81
R89289	19.01.2011	22.03.2011	1512	82
R89299	19.01.2011	22.03.2011	1512	68
R89308	19.01.2011	22.03.2011	1512	77
R89386	20.01.2011	22.03.2011	1488	108
R89387	20.01.2011	20.03.2011	1440	84
R89397	20.01.2011	22.03.2011	1488	77

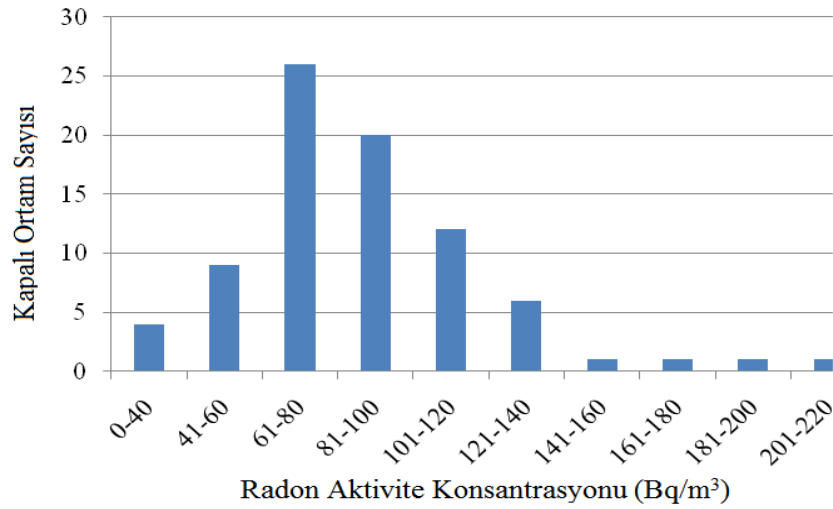
Çizelge 4.1. (devam)

Dedektör No	Başlangıç Tarihi	Bitiş Tarihi	Ölçüm Süresi (Saat)	R.A.C (Bq/m ³)
R89406	20.01.2011	22.03.2011	1488	114
R90149	20.01.2011	22.03.2011	1488	79
R90150	19.01.2011	22.03.2011	1512	66
R90153	19.01.2011	22.03.2011	1512	97
R90154	20.01.2011	21.03.2011	1464	147
R90157	20.01.2011	20.03.2011	1440	50
R90160	19.01.2011	22.03.2011	1512	81
R90168	20.01.2011	22.03.2011	1488	65
R90170	19.01.2011	22.03.2011	1512	60
R90172	19.01.2011	22.03.2011	1512	110
R90175	19.01.2011	21.03.2011	1488	72
R90176	20.01.2011	22.03.2011	1488	116
R90177	20.01.2011	22.03.2011	1488	122
R90186	20.01.2011	20.03.2011	1440	75
R90187	20.01.2011	22.03.2011	1488	109
R90190	20.01.2011	20.03.2011	1440	49
R90192	20.01.2011	22.03.2011	1488	81
R90199	20.01.2011	22.03.2011	1488	72
R90200	20.01.2011	20.03.2011	1440	122
R90201	19.01.2011	22.03.2011	1512	64
R90205	20.01.2011	22.03.2011	1488	98
R90209	19.01.2011	21.03.2011	1488	94
R90215	19.01.2011	22.03.2011	1512	106
R90220	20.01.2011	22.03.2011	1488	116
R90221	20.01.2011	22.03.2011	1488	84
R90222	20.01.2011	21.03.2011	1464	116
R90227	20.01.2011	22.03.2011	1488	132
R90230	19.01.2011	22.03.2011	1512	117
R90234	19.01.2011	22.03.2011	1512	98
T21928	19.01.2011	22.03.2011	1512	38
T21936	19.01.2011	22.03.2011	1512	23
T21940	18.01.2011	21.03.2011	1512	81
T21945	18.01.2011	21.03.2011	1512	77

Çizelge 4.1. (devam)

Dedektör No	Başlangıç Tarihi	Bitiş Tarihi	Ölçüm Süresi (Saat)	R.A.C (Bq/m ³)
T21964	20.01.2011	22.03.2011	1488	88
T21972	19.01.2011	22.03.2011	1512	56
T21996	20.01.2011	22.03.2011	1488	90
T22016	19.01.2011	22.03.2011	1512	58
T22025	20.01.2011	22.03.2011	1488	46
T22029	19.01.2011	22.03.2011	1512	75
T22048	20.01.2011	21.03.2011	1464	61
T22053	20.01.2011	21.03.2011	1464	75
T22072	20.01.2011	20.03.2011	1440	126
T22084	20.01.2011	21.03.2011	1464	74
T22092	20.01.2011	20.03.2011	1440	202
T22132	19.01.2011	22.03.2011	1512	135
T22143	19.01.2011	22.03.2011	1512	85
T22144	18.01.2011	21.03.2011	1512	55
T22181	19.01.2011	22.03.2011	1512	34

Iğdır ilinde radon aktivite konsantrasyonu ölçümlerini, kapalı ortam sayısına göre gruplandırma yapılarak değerler Şekil 4.1’de verilmiştir. Gruplandırmada kapalı ortam sayısı ve bu kapalı ortamlardaki radon aktivite konsantrasyonu değerleri dikkate alınmıştır.



Şekil 4.1. Kapalı ortam sayısına göre radon aktivite konsantrasyonu gruplandırması

Çizelge 4.2. Kapalı ortam türüne karşılık radon konsantrasyonu değerleri

Dedektör No	Bina Yapısı	Kat seviyesi	R.A.C (Bq/m³)
R86504	Betonarme	Zemin Kat	190
R86540	Betonarme	1. Kat	70
R86548	Betonarme	Zemin Kat	120
R86584	Betonarme	1. Kat	83
R86604	Betonarme	2. Kat	67
R86610	Betonarme	1. Kat	77
R86619	Betonarme	1. Kat	30
R86620	Betonarme	Zemin Kat	74
R86636	Betonarme	Zemin Kat	68
R86640	Betonarme	2. Kat	69
R86645	Betonarme	2. Kat	58
R86646	Betonarme	Zemin Kat	91
R86647	Betonarme	Zemin Kat	108
R86653	Betonarme	1. Kat	76
R86668	Betonarme	1. Kat	90
R86674	Betonarme	Zemin Kat	75
R86679	Betonarme	Zemin Kat	74
R89235	Betonarme	Zemin Kat	174
R89237	Betonarme	1. Kat	74
R89240	Betonarme	1. Kat	84
R89249	Betonarme	1. Kat	113
R89250	Betonarme	1. Kat	68
R89254	Betonarme	2. Kat	55
R89256	Betonarme	1. Kat	82
R89269	Betonarme	Zemin Kat	95
R89271	Betonarme	Zemin Kat	124
R89287	Betonarme	Zemin Kat	81
R89289	Betonarme	1. Kat	82
R89299	Betonarme	2. Kat	68
R89308	Betonarme	Zemin Kat	77
R89386	Betonarme	1. Kat	108
R89387	Betonarme	1. Kat	84
R89397	Betonarme	2. Kat	77

Çizelge 4.2. (devam)

Dedektör No	Bina Yapısı	Kat seviyesi	R.A.C (Bq/m ³)
R89406	Betonarme	Zemin Kat	114
R90149	Betonarme	1. Kat	79
R90150	Betonarme	2. Kat	66
R90153	Betonarme	Zemin Kat	97
R90154	Betonarme	Zemin Kat	147
R90157	Betonarme	1. Kat	50
R90160	Betonarme	Zemin Kat	81
R90168	Betonarme	Zemin Kat	65
R90170	Betonarme	2. Kat	60
R90172	Betonarme	Zemin Kat	110
R90175	Betonarme	Zemin Kat	72
R90176	Betonarme	Zemin Kat	116
R90177	Betonarme	Zemin Kat	122
R90186	Betonarme	1. Kat	75
R90187	Betonarme	Zemin Kat	109
R90190	Betonarme	1. Kat	49
R90192	Betonarme	Zemin Kat	81
R90199	Betonarme	2. Kat	72
R90200	Betonarme	Zemin Kat	122
R90201	Betonarme	1. Kat	64
R90205	Betonarme	Zemin Kat	98
R90209	Betonarme	Zemin Kat	94
R90215	Betonarme	Zemin Kat	106
R90220	Betonarme	1. Kat	116
R90221	Betonarme	Zemin Kat	84
R90222	Betonarme	Zemin Kat	116
R90227	Betonarme	Zemin Kat	132
R90230	Betonarme	Zemin Kat	117
R90234	Betonarme	Zemin Kat	98
T21928	Betonarme	2. Kat	38
T21936	Betonarme	1. Kat	23
T21940	Betonarme	1. Kat	81
T21945	Betonarme	2. Kat	77

Çizelge 4.2. (devam)

Dedektör No	Bina Yapısı	Kat Seviyesi	R.A.C (Bq/m ³)
T21964	Betonarme	Zemin Kat	88
T21972	Betonarme	Zemin Kat	56
T21996	Betonarme	Zemin Kat	90
T22016	Betonarme	2. Kat	58
T22025	Betonarme	1. Kat	46
T22029	Betonarme	Zemin Kat	75
T22048	Betonarme	1. Kat	61
T22053	Betonarme	Zemin Kat	75
T22072	Betonarme	Zemin Kat	126
T22084	Betonarme	Zemin Kat	74
T22092	Betonarme	Zemin Kat	202
T22132	Betonarme	Zemin Kat	135
T22143	Betonarme	1. Kat	85
T22144	Betonarme	2. Kat	55
T22181	Betonarme	1. Kat	34

4.2. Denge Faktörü ve Çalışma Düzeyi (Working Level-WL)

Radon aktivite konsantrasyonu ve kısa yarı ömürlü bozunma ürünleri üzerine yapılan araştırmalar bir denge faktörü kavramını ortaya koymaktadır. F denge faktörü, denge eşdeğer radon konsantrasyonunun, havadaki radonun radyoaktivite konsantrasyonuna oranı olarak tanımlanır. Denge eşdeğer radon konsantrasyonu (equilibrium equivalent concentration, EEC), havadaki kısa yarı ömürlü radon ürünlerinin dengede olmayan bir karışımını temsil eder ve bu karışım ile aynı potansiyel alfa enerjisi konsantrasyonuna sahip, kısa yarı ömürlü ürünleri ile radyoaktif dengede olan radonun, radyoaktivite konsantrasyonu olarak tanımlanır. Potansiyel alfa enerjisi konsantrasyonu ise, havadaki radon ürünleri karışımında, havanın birim hacminde, radonun tüm bozunma ürünleri tarafından yayınlanan alfa enerjileri toplamıdır. SI birim sisteminde potansiyel alfa enerjisi konsantrasyonu Jm^{-3} (Joule.m⁻³) olarak tanımlanır (Değerlier 2005).

$$1\text{Jm}^{-3} = 6,24 \times 10^{12} \text{ MeVm}^{-3} = 6,24 \times 10^9 \text{ MeVL}^{-1} \quad (4.1)$$

Radon bozunma ürünlerinin solunması halinde kritik organ olan akciğer hücrelerini ışınlayacak belli miktar hava içindeki kısa yarı ömürlü bozunma ürünlerinde potansiyel olarak bulunan toplam radyasyon enerjisinin bir ölçüsü olarak “Çalışma Düzeyi-Working Level” kavramı tanımlanmıştır (Bererka *et al.* 1985).

Çalışma Seviyesi (WL), 1 litre havadaki toplam $1,3 \times 10^5$ MeV potansiyel alfa enerjisi veren kısa yarı ömürlü radon ürünlerinin konsantrasyonu olarak tanımlanır. Bu enerji miktarı, 3700 Bq Radonla dengede bulunan, kısa yarı ömürlü radon ürünleri tarafından yayınlanan alfa enerjisine eşittir.

$$1 \text{ WL} = 1,3 \times 10^5 \text{ MeVL}^{-1} = 2,08 \times 10^{-5} \text{ J m}^{-3} \quad (4.2)$$

Bu değer denklem (4.2)'de verilmiştir.

Çalışma düzeyi (WL), 1 lt havadaki ürünlerinin konsantrasyon birimi olduğuna göre o havayı soluyan bir kişinin maruz kaldığı radyasyonu bulmak için WL değeri, ortalama nefes alma oranı ve havanın akciğerlerde kalma oranı ile çarpılmalıdır. Ancak, genelde 60 nefes alma ve akciğerde kalma oranları ihmal edilmektedir. Maruz kalınan radyasyon, WL ve zamanın bir fonksiyonu olarak hesaplanmaktadır. Yaygın olarak maruz kalma süresi ortalama bir aylık çalışma süresi olan 173 saattir ve maruz kalma değerleri “Aylık Çalışma Düzeyi” (WLM) cinsinden ölçülür. 1 WL’lik radon ürünleri konsantrasyonundaki solunum havasının bir ay içindeki çalışma saatleri ile çarpımı 1 WLM’lik ışınlanmayı verir (Bererka *et al.* 1985; Yaprak 1998).

Radon ve ürünlerinden alınan dozun değerlendirilebilmesi için, denge eşdeğer radon konsantrasyon değerinin bilinmesi gerekir. F değeri kapalı ortamlardaki ışınlamalar için 0,4 ve dış hava için 0,8 olarak verilmektedir (UNSCEAR 1993). Ayrıca denge eşdeğer konsantrasyonu, etkin doza çevrilme katsayısı ise; 1 Bq saat m^{-3} (EEC) denge eşdeğer radon konsantrasyonunun solunması ile alınan etkin doz, ev içi ve dış hava için 9 nSv olarak belirlenmiştir. Uluslar arası Radyolojik Korunma Komisyonu ise 65’inci

raporunda; çalışanların ve halkın radyasyondan korunması amacıyla radyasyon risk katsayısını yani akciğer kanseri riski katsayısını; $8,0 \times 10^{-5} \text{ (mJ saat m}^{-3}\text{)}^{-1}$ olarak verilmiştir. ICRP bu raporunda, akciğer kanseri riskini halk için 1,10 mSv ve çalışanlar için 1,43 mSv'lik etkin doza eş değer olduğunu belirtmiştir.

Çizelge 4.3. ICRP tarafından önerilen katsayılar (Köksal ve Çelebi 2003).

Faktör		Önerilen Değer
Bireysel ölüm riski	Halk için	$5 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$
	Çalışanlar için	$4 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$
Akciğer kanseri riski		$8 \times 10^{-5} \text{ (mJ saat m}^{-3}\text{)}^{-1}$
Doz Çevirme Katsayısı (Etkin Doz, Işınlama)		
Halk için		1,43 mSv $\text{(mJ saat m}^{-3}\text{)}^{-1}$
Çalışanlar için		1,10 mSv $\text{(mJ saat m}^{-3}\text{)}^{-1}$

4.3. Kapalı Ortamlardaki Radon Solunumu ile Alınan Yıllık Etkin Doz Eşdeğerinin Hesaplanması

Bu çalışmada kapalı ortamlarda radon aktivite konsantrasyonunun yıllık etkin doz eşdeğerinin hesaplanması UNSCEAR'ın 1993 de verilen modeline göre uyarlanmıştır. Iğdır ilinde kapalı ortamlarda kış dönemi için alınan radon aktivite konsantrasyon değerleri dikkate alınarak, evlerde ve iş yerlerindeki ortalama değerler hesaplanarak, bu ortamlarda radon gazından bireylerin bir yıl içerisinde maruz kaldıkları radyasyon miktarı hesaplanmıştır. İş yerleri için ortalama radon aktivite konsantrasyonu değeri 86 Bq/m^3 ve evler için ortalama radon aktivite konsantrasyonu değeri ise 87 Bq/m^3 bulunmuştur.

Kapalı ortamlardaki ortalama radon aktivite konsantrasyonları dikkate alınarak iş yerleri için Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri hesaplaması denklem (4.3)'de verilmiştir;

$$Y.E.D.E = (\text{Radon Aktivite Konsantrasyonu}) \times (\text{Denge Faktörü}) \times (\text{EEC Faktörü}) \times (\text{Kapalı Ortam Meşguliyet Faktörü}) \times (8760 \text{ saat/yıl}) \quad (4.3)$$

$$Y.E.D.E = [87 \text{ Bq/m}^3] \times [0,4] \times [9 \times 10^{-9} (\text{Sv/saat})(\text{Bq/m}^3)] \times [0,8] \times [8760 (\text{saat/yıl})]$$

$$Y.E.D.E = 2,19 \text{ mSv/yıl} \quad (4.4)$$

Iğdır ilinde, insanların kapalı ortamlardan bir yıl içerisinde radon gazından dolayı maruz kaldıkları radyasyon miktarı 2,19 mSv'dir. Bu değer diğer şehirler ve bölgelerle kıyaslandığında yaklaşık olarak 2 kat daha fazladır.

4.4. Ölçümlerin İstatistiksel Değerleri

Günlük hayatta iki değişken arasındaki güçlü ilişkileri sürekli olarak neden-sonuç ilişkisi olarak yorumlamak eğilimi hâkimdir. Dolayısıyla çalışmamızda konutlardaki kat seviyesi ile bu katlara ait radon aktivite konsantrasyon değerleri arasında neden sonuç ilişkisine bakarak, radon aktivite konsantrasyonu konutlarda kat seviyesine olan bağlılığını belirlemek için gerekli istatistiksel çalışma yapılmıştır. Bunun için ilk olarak regresyon analizi uygulanmıştır. Regresyon analizinde; iki değişken arasında neden sonuç ilişkisi araştırılır. Bu nedenle kat seviyesinin radon aktivite konsantrasyonu üzerine etkisi belirlenerek, kat seviyeleri arasındaki karşılaştırmaları ise bağımsız örneklem ile tek yönlü varyans analizi uygulanmıştır. İstatistikî çalışmalar için SPSS 18 istatistik programı kullanılmıştır.

İlk olarak regresyon analizi yapacak olursak; burada ikili regresyon söz konusudur. İkili regresyonda bir bağımlı değişken birde bağımsız değişken söz konusudur. Radon aktivite konsantrasyonu bağımlı değişken, kat seviyesi bağımsız değişken olarak SPSS 18 programında veri kısmına aktarılmıştır. SPSS programında ikili regresyon analizi için programdaki gerekli işlemler yapıldıktan sonra program çıktıları aşağıdaki çizelgelerle verilmiştir. Bu çizelgelerden; kat seviyesinin radon aktivite konsantrasyonu değerleri üzerine etkileri yorumlanmıştır.

Model özeti çizelgesindeki R Square sütunundaki değerlerden bağımsız değişken durumundaki “ Kat seviyesinin” bağımlı değişken durumundaki “ Radon aktivite konsantrasyonu” değişkenine ait varyansı %26 oranında olduğunu açıkladığı diğer bir ifade ile radon aktivite konsantrasyonun %26’sının kat seviyesine bağlı olduğu açıklanmaktadır.

Çizelge 4.4. Model özeti

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,511	,261	,252	27,787

Predictors: (Constant), Kat Seviyesi

Anova çizelgesinin anlamlılık sütunundaki (Sig.) değer ise söz konusu değişkenler arasındaki değişkenler arasındaki ilişkinin $p < 0,001$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir. Eğer bu değer 0,05’in üzerinde olsaydı ilişkinin anlamsız (raslantısal) olduğu yorumunu yapacaktık. Tablodaki ilişki formüle edilecek olursa;

$$F(1,79) = 27,925; p < 0,001 \quad (4.5)$$

olarak yazılır.

Çizelge 4.5. Anova değerleri

ANOVA ^b						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	21560,682	1	21560,682	27,925	,000 ^a
	Residual	60996,083	79	772,102		
	Total	82556,765	80			

a. Predictors: (Constant), Kat Seviyesi

b. Dependent Variable: Radon Aktivite Konsantrasyonu

Katsayı (Coefficients) çizelgesi ise, regresyon denklemi için kullanılan regresyon katsayılarını ve bunların anlamlılık düzeylerini vermektedir. Çalışmamızda kat seviyesi bağımsız değişkeninin katsayısı (-22,06), denklemin sabit değeri ise 123,611'dir. Bu değerleri $Y = bX + a$ denkleminde yerine yazdığımızda;

$$Y = -22,056X + 123,611 \quad (4.6)$$

eşitliğini elde ederiz.

Bu eşitlik bize kat seviyesinin, radon aktivite konsantrasyonunu nasıl etkilediğini göstermektedir.

Çizelge 4.6. Katsayı değerleri

Coefficients ^a					
Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
1 (Constant)	123,611	7,564		16,343	,000
Kat Seviyesi	-22,056	4,174	-,511	-5,284	,000

a. Dependent Variable: Radon Aktivite Konsantrasyonu

Iğdır ilinde kapalı ortamlarda radon aktivite konsantrasyonu ölçümleri, 3 farklı kat seviyesinde yapılmıştır. Dolayısıyla bu kat seviyelerinin radon aktivite konsantrasyon değerlerinin gruplar halinde karşılaştırılması da oldukça önemlidir. Grup sayısı 2'den fazla olduğu için bağımsız örneklem tek yönlü varyans analizine ihtiyaç vardır. Bağımsız örneklem tek yönlü varyans analizinde ikiden fazla grubun ortalamaları karşılaştırılır. Çalışmamızda radon aktivite konsantrasyonuna karşılık kat seviyesinin (zemin kat, 1. kat, 2. kat) göre farklılık gösterip göstermediğini test etmek gerekir. Bunun için bir hipotez kurmamız ve bu hipotezi program çıktılarına göre savunmak gerekmektedir. Gerekli hipotezimiz; “Kapalı ortamların radon aktivite konsantrasyonu değerleri, buldukları kat seviyesine bağımlıdır?” olsun. Yani gruplar arasındaki

karşılaştırma yapmak için, bağımsız örneklem tek yönlü varyans analizini kullanırız. Bunun için SPSS 18 programından gerekli çıktılar alındıktan sonra bu çıktılar yorumlanmıştır.

Descriptives çizelgesinde her bir grupta ne kadar radon aktivite konsantrasyonu değeri bulunduğu, bunların ortalama değerleri ile bunlara ilaveten grupların standart sapma ve standart hata değerleri yer almaktadır. Bu çizelgede görülüyor ki kat seviyesi yükseldikçe radon aktivite konsantrasyonu değerleri azalmaktadır. Ancak bu farklılıkların raslantısal mı yoksa gerçek bir konsantrasyon değişiminin göstergesi mi olduğunu belirleyebilmek için Anova çizelgesini tekrar incelememiz gerekmektedir.

Çizelge 4.7. Tanımlama (Descriptives) değerleri

Descriptives				
Radon Aktivite Konsantrasyonu				
	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error
ZeminKat	41	103,34	32,698	5,107
1.Kat	27	74,07	24,433	4,702
2.Kat	13	63,08	10,688	2,964
Total	81	87,12	32,124	3,569

Anova çizelgesinin anlamlılık (sig.) sütunundaki değer 0,000 düzeyinde olduğu görülmektedir. Söz konusu bu değer 0,01'den küçük olduğu için konutların kat seviyeleri ile bu katlardaki radon aktivite konsantrasyonu değerleri arasında ki ilişkinin $p < 0,05$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı olduğunu söyleyebiliriz.

Çizelge 4.8. Anova-2 değerleri

ANOVA-2					
Radon Aktivite Konsantrasyonu					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	22898,771	2	11449,385	14,970	,000
Within Groups	59657,994	78	764,846		
Total	82556,765	80			

Varyans analizi grupların birbirinden farklı olup olmadığını gösterir. Ancak farklılıkların hangi gruplar arasında olduğuna ilişkin bilgi vermez. Bunun için varyans analizlerine ilave olarak Tukey testinin yapılmasında yarar vardır. Tukey testinin çıktılarında olan; Multiple Comparisons çizelgesinin anlamlılık sütunundaki değerlerden kat seviyesi zemin kat olan konutlar ile kat seviyesi 1. kat olan konutların radon aktivite konsantrasyon değerleri arasında anlamlı bir ilişki vardır. Yine zemin katların ortalama değerleri ile 2. katların ortalama değerleri arasında anlamlı bir ilişki vardır. Ancak çizelgede görülüyor ki 1. katlar ile 2. katlar arasında bir anlamlılık ilişkisi görülmemektedir.

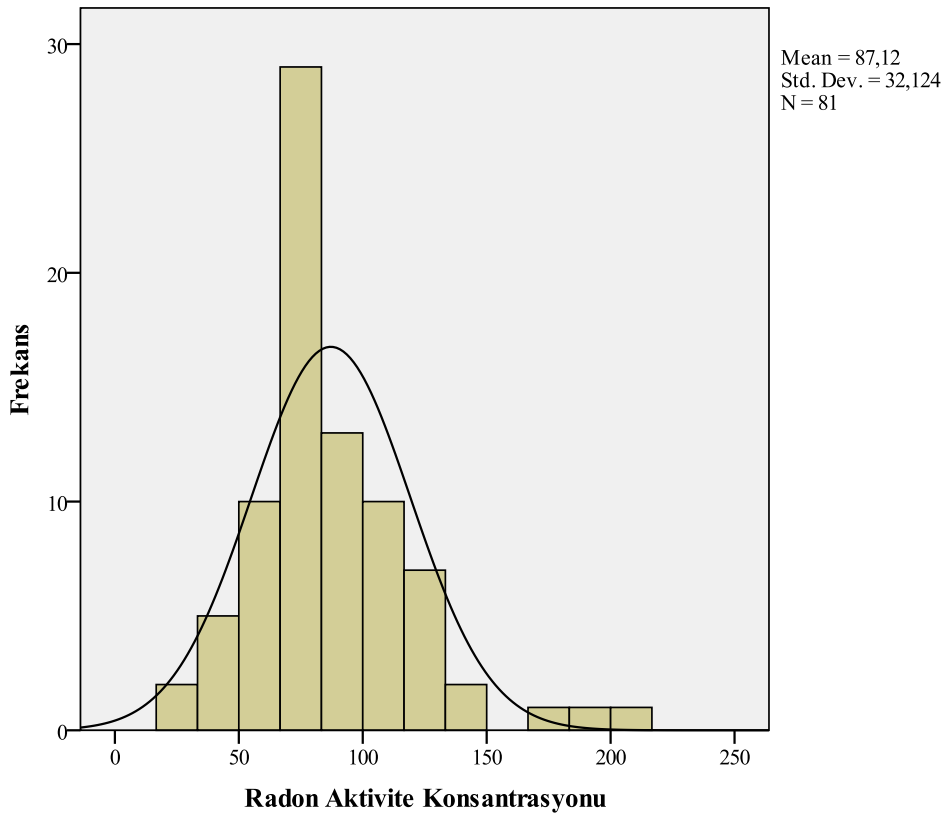
Çizelge 4.9. Multiple Comparisons katsayı değerleri

Multiple Comparisons					
Radon Aktivite Konsantrasyonu Tukey HSD					
(I) Kat Seviyesi	(J) Kat Seviyesi	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	
ZeminKat	1.Kat	29,267*	6,854	,000	
	2.Kat	40,265*	8,803	,000	
1.Kat	ZeminKat	-29,267*	6,854	,000	
	2.Kat	10,997	9,336	,470	
2.Kat	ZeminKat	-40,265*	8,803	,000	
	1.Kat	-10,997	9,336	,470	

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Bu bulgular ışığında kat seviyesi zemin kat olan konutların radon aktivite konsantrasyonu değerleri en yüksek ortalamaya sahip oldukları, bu grubu kat seviyesi 1. kat olan konutların takip ettiği ve kat seviyesi 2. kat olan konutların ise en düşük radon aktivite konsantrasyonu ortalamasına sahip oldukları görülmektedir.

Tek bir değişkenin dağılımını göstermek için histogram oldukça faydalıdır. Histogramda çubukların genişliği aralıkların genişliğini ve çubukların yüksekliği ise her bir aralığın sıklığını temsil eder. Şekil 4.2 incelendiğinde radon aktivite konsantrasyonu dağılımının normal dağılıma sahip olduğu görülüyor. Çubuklar üzerinde verilen eğri ise, normal dağılım eğrisini ifade eder.



Şekil 4.2. Radon aktivite konsantrasyonu dağılımının histogram grafiği

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışmada Iğdır ilinde kış aylarında kamu binaları ve evlerde radon aktivite konsantrasyonu değerleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2'de verilmiştir.

UNSCEAR tarafından yayınlanan raporlar dikkate alındığında, evlerde ve iş yerlerinde radon gazına karşı koruma konusu özellikle vurgulanmıştır. Bu raporlarda radona maruz kalma sınırlandırılarak, limit değerler tavsiye edilmiş ve yıllık doz miktarı için bir eylem seviyesi belirlemiştir. Eylem seviyesinin 3-10 mSv arasında sınırlandırılması tavsiye edilmiştir. Bu doz değerlerine karşılık gelen radon aktivite konsantrasyonu değerleri ise evlerde 200-600 Bq/m³, iş yerlerinde ise 500-1500 Bq/m³ arasında bir değer önerilmiştir. Ancak UNSCEAR tarafından tavsiye edilen bu değerlere karşılık WHO tarafından tavsiye edilen limit değer ise 100 Bq/m³, TAEK tarafından tavsiye edilen limit değer ise 400 Bq/m³ tür. Bu çalışmada ise, Iğdır ilinin ortalama radon aktivite konsantrasyonu 87 Bq/m³ olarak belirlenmiştir. Belirlenmiş radon aktivite konsantrasyonu değerine karşılık olarak bu bölgedeki insanlar, radyoaktif radon gazından dolayı yılda 2,1 mSv doza maruz kalmaktadır. Bu değer Türkiye ortalamasının üzerinde bir değerdir.

Iğdır ilinde, evlerde ve iş yerlerinde yapılan çalışmanın analiz sonuçlarına göre, radon aktivite konsantrasyonu değerleri 23-202 Bq/m³ arasında değişim göstermektedir. Ayrıca ocak ve mart aylarında yapılan çalışmada kat seviyeleri arasında anlamlı farklılıkların olduğu görülmektedir. Binaların özellikle zemin katlarında radon aktivite konsantrasyonu değerleri ile diğer katlardaki radon aktivite konsantrasyonu değerleri arasında farklılıklar vardır. Dolayısıyla zemin katlarda yaşayan insanların buldukları ortamları sık sık havalandırmalıdır. Çalışmamızda yapılan anket çalışmalarına bakıldığında, bu bölgenin iklim ve ekonomik şartlarından dolayı insanlar zamanlarının büyük bir kısmında kapalı ortamları tercih ederler yada yaşam ortamlarını kolay

ısıtamadıkları için kış aylarında, ev veya iş yerlerini gereği kadar havalandırmadıkları belirlenmiştir.

Radyoaktif radon gazının yaşam alanlarından uzaklaştırılması için bir dizin önlem almak gerekmektedir. İlk olarak insanlara radon gazı hakkında bilinçlendirmek gerekmektedir. Çünkü insanların doğal radyasyon kaynaklarından aldığı eşdeğer doza en büyük katkıyı radon gazı yapmaktadır. Bu nedenle en fazla etkili doğal radyasyon kaynağı radon gazıdır. Ayrıca akciğer kanserinin, sigarada sonra ikinci olarak en büyük sebeplerinden birinin radon gazı olduğu da unutulmamalıdır.

Kapalı mekânlardaki radon konsantrasyonunun o mekânın bulunduğu bölgenin jeolojik koşullarına büyük oranda bağlı olması nedeniyle yüksek konsantrasyonun gözlendiği bölgelerin jeolojik yapılarının radon konsantrasyonu kaynakları açısından incelenmesi gerekmektedir. Jeolojik koşulların yanı sıra bina inşa malzemeleri, alanı çevreleyen toprak ya da su yapısı da kapalı mekân radon konsantrasyonu üzerinde etkilidir.

Radon riskine karşı alınabilecek bir diğer önlem ise, değişik yerleşim yerlerinde ve kullanılan bina teknolojisine göre radon kirlilik düzeyinin ölçülmesidir. Radon kirliliğinin yüksek olduğu binalarda nedene yönelik değerlendirmeler sık sık ele alınması, bu konuda gereken koruyucu önlemleri de birlikte getirecektir.

Sonuç olarak, Iğdır ilinde yapılan çalışmada bu bölgenin sosyal, ekonomik ve iklim şartları dikkate alınarak, uzun dönemli radon gazı ölçüm tekniğinden faydalanılmıştır. Ayrıca konutlardaki kat seviyelerinin radon aktivite konsantrasyonu üzerinde bir değişken olduğu belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Akkurt, İ., 2006. Radyasyon Ölçüm Teknikleri ve Korunma. Nükleer Fizik Ders Notları, (Yayınlanmamış), Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- Akyıldırım, H., 2005. Isparta İlin’de Radon Yoğunluğunun Ölçülmesi ve Haritalandırılması. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Bererka, J. and Mathew, P.J., 1985. Natural Radioactivity of Australian Building Materials, Industrial Wastes and by-Products. Health Phys., (48), 87-95.
- Çavaş, M., 2006. NaI Dedektörü ile Topraktaki Radyasyonun Ölçümü ve Maruz Kalınan Dozların Hesabı, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- Çelebi, N., 1995. Çevresel Örneklerde Uranyum, Radyum ve Radon Ölçüm Tekniklerinin Geliştirilmesi. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çelebi, N., Taşdelen, M., Özçınar, B., Kopuz, G., 2003. YTÜ Şevket Sabancı Kütüphanesinin Radon Konsantrasyonunun Belirlenmesi. 8. Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi Bildiri Kitabı, Kayseri.
- Denman, A.S., Phillips, P.S., 1998. Workplace Radon in Northamptonshire. Environmental Management and Health, (9/5) 194-199.
- Darby, S., Deo, H., Auvinen A., et al., 2006. Residential radon and lung cancer: Detailed results of a collaborative analysis of individual data on 7148 subjects with lung cancer and 14208 subjects without lung cancer from 13 epidemiologic studies in Europe. Scand J. Work Environ Health, (32) 1-83
- Değerlier, M., 2007. Adana İli ve Çevresinin Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Saptanması ve Doğal Radyasyonların Yıllık Etkin Doz Değerinin Bulunması. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Durrani, S.A. and Ilic, R., 1997. Radon Measurements by Etched Trace Detectors: Applications in Radiation Protection. Earth Sciences and The Environment, World Scientific, (387) New Jersey, USA.
- Güler, Ç. And Çobanoğlu, Z., 1997. Radon Kirliliği. Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi, No:44, Ankara
- Gür, F., 2006. Batı Anadolu Termik Santralleri Çevresinde Radyoaktif ve Ağır Metal Kirliliğinin Biyomonitörlerle Saptanması, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Hubbard, L., Swedjemark, G.A., 1991. Radon Dynamics in Swedish Dwellings: A Status Report. In: proceedings of the 1991 International Symposium on radon Reduction Technology, US Environmental Protection Agency, Volume:3, Paper V-4, Philadelphia
- IAEA, 1996. Radiation Safety, IAEA Division of Public Information, No:96-00725 IAEA/PI/A47E.
- ICRP, 1993. Annual Report of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication, Ann ICRP Oxford: Pergamon, No:65.

- Kürkçüoğlu, M.E., Haner, B., Yılmaz, A., Toroğlu, İ., 2009. Karaelmas Yerleşkesi Merkezi Kütüphanesi Radon Ölçümleri. SDÜ Fen Dergisi, 4(2), 177-188.
- Köksal, M.E., Çelebi, N., 2003. Radon ve Türkiye Evlerinde Radon Ölçümleri. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi.
- Lario, J., Sanchez, M.S., Canaveras, J.C., Cuezva, S. And Soler, V., 2005. Radon Continuous Monitoring in Altamira Cave (Northern Spain) to Assess User's Annual Effective Dose. Journal Environmental Radioactivity, (80), 161-174.
- Papp, G., Marx, G., Szalai, S., Toth, E., 2001. Year by Year Changes of Indoor Radon Levels. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 250(3), 541-545.
- Resmi Gazete, 2004. 25598 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği, 37. Madde.
- Radolic, V., Vukovic, B., Smit, G., Stanic, D. and Plannic, J., 2005. Radon in the spas of Croatia. Journal of Environmental Radioactivity, (83) 191-198.
- Sarer, B., 2001. Nükleer Fizik Kitabı, Palme Yayınları, Cilt No:1, Ankara
- Salonen, L., 1994. U-238 Series Radionuclides as a Source of Increased Radioactivity in Groundwater Originating From Finnish Bedrock. In: Proceedings of Future Groundwater Resources at Risk. Great Britain Institute of Hydrology, (222), 71-84, Wallingford, Helsinki.
- Taylor, J. R., and Zafaritos, C., 1991. Modern Physics
- TAEK, 2008. Türkiye'deki çevre radyoaktivitesinin izlenmesi. Teknik Rapor, 17. Madde
- Tüysüz, M. Z., Yorulmaz, N., Bozkurt, A., 2004. Co-60 Radyoterapi Kaynağı için Monte Carlo Yöntemiyle Uygun Zırh Tasarımı. Türk Fizik Derneği 22. Uluslar arası Bildiriler Kitapçığı, Bodrum.
- Togay, Y.E., 2002. Radyasyon ve Biz. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Yayınları, Sayı:37, Ankara.
- UNSCEAR, 2000. Report, United Nations Scientific Committee on The Effects of Atomic Radiation Sources, Effects and Risk of Ionizing Radiations, New York.
- UNSCEAR, 1993. Sources, Effects and Risk of Ionizing Radiation. United Nations Sales Publication, No: E.94.IX.2, New York.
- Urban, M. and Piesch, E., 1981. Low-Level Environmental Radon Dosimetry with a Passive Track Etch Detector Device. Radiation Protection Dosimetry, (1), 97-109.
- Vişne, A., Ökten, G. ve Çelebi, N., 2004. Türkiye Taş Kömürü Kurumu (TTK) ocaklarında radon gazı yayılımının incelenmesi. Türkiye 14. Kömür Kongresi bildiriler kitabı
- WHO, 2009. A public Health perspective, Handbook on Radon.
- Yaşar, S., 1999. Radyasyon ve Radyasyondan Korunmak. Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi, Teknik Rapor, Sayı:25, İstanbul.
- Zeeb H. and Shannoun, F., 2009. WHO Handbook on indoor radon: A public health perspective. World Health Organization, (83).
- www.immobild.com/35343/38701.html. Massnahmen gegen radongas.

ÖZGEÇMİŞ

1984 yılında Erzurum merkezde doğdum. İlköğrenimimi Erzurum merkezde tamamladım, orta ve lise öğrenimini Tekirdağ merkezde tamamladım. 2003 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümünü kazandım. Lisans öğrenimimi tamamladıktan sonra 2008 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Atom ve Molekül Fiziği Bilim dalında Yüksek Lisansa başladım ve halen devam etmekteyim.