

**T.C.
NEVŞEHİR HACİBEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

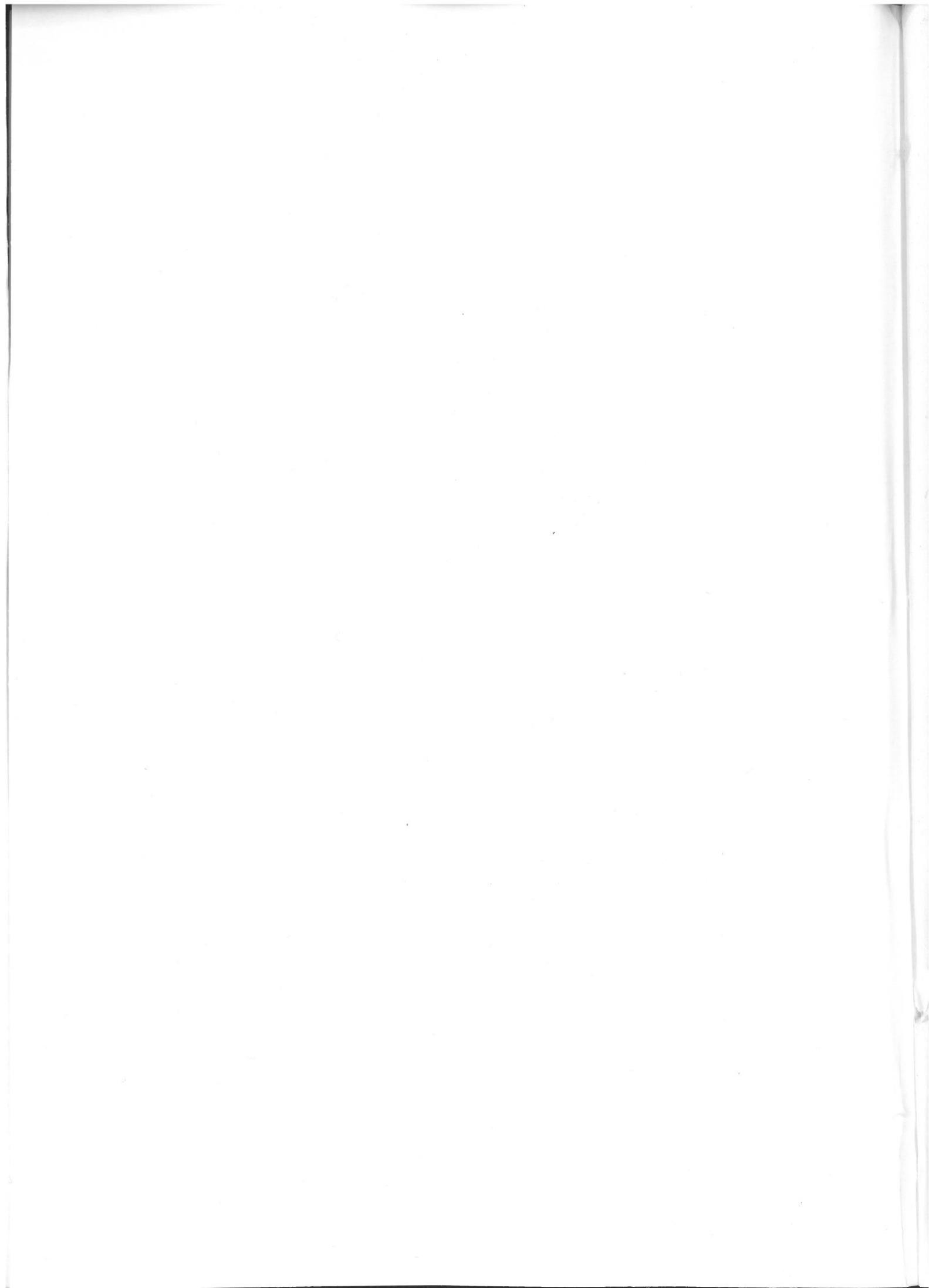
**NEVŞEHİR İL MERKEZİNDE YER ALAN
OKULLARDAKİ RADON GAZI DERİŞİMİNİN AKTİF
YÖNTEM İLE ÖLÇÜLMESİ VE
YILLIK ETKİN RADYASYON DOZUNUN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

**Tezi Hazırlayan
Serdar AKYÜREK**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Şeref TURHAN**

**Fizik Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Mayıs 2017
NEVŞEHİR**



**T.C.
NEVŞEHİR HACİBEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**NEVŞEHİR İL MERKEZİNDE YER ALAN
OKULLARDAKİ RADON GAZI DERİŞİMİNİN AKTİF
YÖNTEM İLE ÖLÇÜLMESİ VE
YILLIK ETKİN RADYASYON DOZUNUN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

**Tezi Hazırlayan
Serdar AKYÜREK**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Şeref TURHAN**

**Fizik Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Mayıs 2017
NEVŞEHİR**

Prof. Dr. Şeref TURHAN danışmanlığında **Serdar AKYÜREK** tarafından hazırlanan " **Nevşehir İl Merkezinde Yer Alan Okullardaki Radon Gazı Derişiminin Aktif Yöntem ile Ölçülmesi ve Yıllık Etkin Radyasyon Dozunun Değerlendirilmesi** " başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalında **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

05/05/2017

JÜRİ

Başkan : Prof. Dr. Şeref TURHAN



Üye : Doç. Dr. Aslıhan KARATEPE



Üye : Yrd. Doç. Dr. Meltem DEĞERLİER GÜİOT



ONAY:

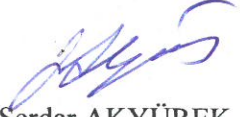
Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun **17/05/2017** tarih ve **22-165...** sayılı kararı ile onaylanmıştır.

17/05/2017



TEZ BİLDİRİM SAYFASI

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada yer alan bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu ve bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.


Serdar AKYÜREK

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim ve tez çalışmam süresince tüm bilgilerini benimle paylaşmaktan kaçınmayan, her türlü konuda desteğini benden esirgemeyen ve tezimde büyük emeği olan danışmanım Prof. Dr. Şeref TURHAN'a, Radon Ölçme Cihazının kullanılmasında yardımcı olan Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Öğretim Üyesi Doç. Dr. Mehmet ERDOĞAN'a, Fen Edebiyat Fakültesi Dekanlığına, Fizik Bölümü Başkanlığına ve tezin hazırlanması sırasında manevi desteğiyle yanımda olan eşim Fatma Nurgül AKYÜREK ile kızlarım Beyza ve Feyza'ya, ölçüm yaptığım okullardaki personel ve yönetici kadrosundaki arkadaşlara en içten dileklerle teşekkürlerimi sunarım.

**NEVŞEHİR İL MERKEZİNDE YER ALAN OKULLARDAKİ RADON GAZI
DERİŞİMİNİN AKTİF YÖNTEM İLE ÖLÇÜLMESİ VE YILLIK ETKİN
RADYASYON DOZUNUN DEĞERLENDİRİLMESİ**

(Yüksek Lisans Tezi)

Serdar AKYÜREK

**NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Mayıs 2017

ÖZET

Bu çalışmada, Nevşehir İl merkezinde bulunan anaokulu, ilkokul, ortaokul, lise, kolej, Fen Edebiyat Fakültesi binası ve öğretmen evinde ölçülen radon gazı derişimi ölçüm sonuçları sunuldu. Kısa dönem kapalı ortam radon ölçümleri, sürekli aktif radon dedektörü (AlphaGUARD PQ2000 PRO) kullanılarak her bir okul binasının giriş katında yer alan sınıflarda yaz ve kış aylarında olmak üzere iki kere yapıldı. Yirmi dört okul binası için elde edilen veri dağılımı, log-normal eğriye uygun bir şekilde fit edildi. Ölçülen radon gazı derişimlerinin aritmetik ve geometrik ortalama değerleri, yaz ayları için 75 Bq/m^3 ve 58 Bq/m^3 ve kış ayları için 67 Bq/m^3 ve 54 Bq/m^3 olarak bulundu. Bu değerler, tavsiye edilen 200 Bq/m^3 sınır değerinden önemli ölçüde küçüktür. Öğrenci ve öğretmenlerin yaz ve kış aylarında sınıflarda radon gazından dolayı maruz kaldıkları yıllık etkin radyasyon doz hızlarının ortalama değerleri, ölçülen radon gazı derişimleri esas alınarak, sırasıyla 0.27 mSv ve 0.40 mSv ve 0.24 mSv ve 0.36 mSv olarak hesaplandı.

Anahtar Kelimeler: Radon gazı derişimi, Kapalı ortam, Aktif yöntem, Yıllık etkin doz hızı, Okullar, Nevşehir.

Tez Danışman: Prof. Dr. Şeref TURHAN

Sayfa Âdeti: 47

**MEASUREMENT OF THE CONCENTRATION OF RADON GAS IN
SCHOOLS LOCATED IN NEVSEHIR CITY CENTER USING ACTIVE
METHOD AND EVALUATION OF THE ANNUAL EFFECTIVE RADIATION
DOSE**

(M. Sc. Thesis)

Serdar AKYÜREK

**NEVSEHIR HACI BEKTAS VELI UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

May 2017

ABSTRACT

In this study, the results of radon gas concentrations measured in kindergartens, primary schools, secondary schools, high schools, colleges and faculty buildings and teachers house located in Nevşehir city center were presented. The short-term indoor radon measurements covered two consecutive 6-month periods in the ground floor classrooms inside each school building were performed using a continuous active radon detector (AlphaGUARD PQ2000 PRO). Data distribution obtained for twenty-four schools is well fitted by a log-normal curve. The arithmetic and geometric average values of radon gas concentrations measured in summer and winter were found as 75 Bq/m³ and 58 Bq/m³ and 67 Bq/m³ and 54 Bq/m³, respectively. These values are significantly lower than the recommended limit value of 200 Bq/m³. Based on the measured radon gas concentrations annual effective dose rates from radon exposures to students and teachers in summer and winter were estimated as 0.27 mSv and 0.40 mSv and 0.24 mSv and 0.36 mSv, respectively.

Keywords: Radon gas concentration, Indoor, Active method, Annual effective dose rate, Schools, Nevşehir.

Thesis Supervisor: Prof. Dr. Şeref TURHAN

Page Number: 47

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY SAYFASI	i
TEZ BİLDİRİM SAYFASI	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	vi
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER	vi
TABLolar LİSTESİ	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
RESİMLER LİSTESİ	xi
HARİTALAR LİSTESİ	xiii
KISALTMALAR LİSTESİ	xiv
1. BÖLÜM	
GİRİŞ	1
2. BÖLÜM	
GENEL BİLGİLER	10
2.1. Radon	10
2.2. Radonun Bozunum Ürünleri	11
2.3. Radon Kaynakları	12
2.3.1. Toprak ve kayalar	13
2.3.2. Yapı malzemeleri	14
2.3.3. Sular	14
2.4. Kapalı Ortamlardaki Radon Gazı	15
2.5. Radon Derişim Birimleri	16
2.5.1. Radyasyon dozunun soğurulması	16

2.5.2.	Radyasyon doz eşdeğeri	17	
2.6.	Radonun Sağlık Üzerindeki Etkileri	18	
2.7.	Radon Ölçme Yöntemleri.....	20	
3. BÖLÜM			
MATERYAL ve YÖNTEMLER			21
3.1.	Ölçüm Yapılacak Okulların Seçimi	21	
3.2.	Ölçme Yöntemi	22	
3.2.1.	Ölçüm Yapılan Okulların Haritadaki Yerleri.....	24	
3.2.2.	Nevşehir Merkezdeki Okulların Listesi Öğretmen ve Öğrenci Sayıları	26	
3.2.3.	Ölçümlerim Kıyaslanması (Yaz-Kış).....	27	
4. BÖLÜM			
ELDE EDİLEN BULGULAR			30
4.1.	Okullarda Ölçülen Radon Derişimi.....	30	
4.2.	İç Işınlamadan Kaynaklanan Etkin Radyasyon Doz Hızı	35	
5. BÖLÜM			
SONUÇLARIN TARTIŞILMASI VE ÖNERİLER			40
KAYNAKLAR			43
ÖZGEÇMİŞ			47

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1.	Doğal radyoaktif seriler ve radon izotopları.....	10
Tablo 2.2.	Radon izotoplarının radyoaktif bozunum özellikleri.....	11
Tablo 2.3.	Farklı tipteki iyonlaştırıcı radyasyon için W_R değerleri.....	18
Tablo 2.4.	Hesaplanan radon riski.....	19
Tablo 3.1.	Radon cihazının teknik özellikleri.....	23
Tablo 3.2.	Radon ölçümü yapılan okullar ve konumları	25
Tablo 3.3.	Radon derişimi ölçümü yapılan Nevşehir merkezdeki okulların öğretmen ve öğrenci sayısı.....	26
Tablo 3.4.	Radon ölçümü yapılan okulların yaz mevsimi değerleri.....	27
Tablo 3.5.	Radon ölçümü yapılan okulların kış mevsimi değerleri.....	28
Tablo 3.6.	Radon ölçümü yapılan okulların yaz-kış değerlerin karşılaştırılması..	29
Tablo 4.1.	Ölçüm yapılan okul sınıflarındaki ölçüm şartları (yaz mevsimi).....	30
Tablo 4.2.	Ölçüm yapılan okul sınıflarındaki ölçüm şartları (kış mevsimi).....	31
Tablo 4.3.	Yaz mevsiminde ölçülen radon derişimi.....	32
Tablo 4.4.	Kış mevsiminde ölçülen radon derişimi.....	33
Tablo 4.5.	Ölçülen radon derişimine ilişkin istatistiki özet bilgiler.....	36
Tablo 4.6.	Radon solunumundan kaynaklanan yıllık etkin radyasyon doz hızı.....	38

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Radon bozunum ürünleri.....	12
Şekil 4.1.	Okullarda mevsimsel olarak ölçülen ortalama radon derişimleri.....	34
Şekil 4.2.	Yaz ve kış mevsiminde okullarda ölçülen ortalama radon derişimlerinin sınır değerlerle karşılaştırılması.....	35
Şekil 4.3.	Okullarda ölçülen radon derişim frekans dağılımı.....	37
Şekil 4.4.	Öğrencilerin radondan dolayı maruz kaldıkları ortalama yıllık etkin doz hızı değerlerinin karşılaştırılması.....	39
Şekil 4.5.	Öğretmenlerin radondan dolayı maruz kaldıkları ortalama yıllık etkin doz hızı değerlerinin karşılaştırılması.....	39

RESİMLER LİSTESİ

Resim 2.1.	Binalara radon girişi.....	16
Resim 3.1.	AlphaGUARD PQ2000 radon gazı ölçme cihazı.....	22

HARİTALAR LİSTESİ

Harita 3.2.	Radon ölçümü yapılan okulların şematik haritası.....	24
-------------	------------------------------------------------------	----

KISALTMALAR LİSTESİ

TAEK	Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
EPA	Çevre Koruma Ajansı
UNSCEAR	Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi
NRPB	İngiltere Radyasyondan Korunma Ulusal Komitesi
ICRP	Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi
NCRP	Radyasyondan Korunma ve Ölçümler Ulusal Şurası
DSÖ (WHO)	Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization)
y	yıl
g	gün
s	saniye
T_{1/2}	Yarılanma süresi
MeV	Milyon elektron volt
Bq	Saniye başına parçalanma olarak verilen aktivite birimi Becquerel'in kısaltması
kg	Kilogram
L	Litre
g	Gram
erg ve J	Enerji birimi $1 \text{ J} = 10^7 \text{ erg}$

BÖLÜM 1

GİRİŞ

İnsanların, doğal radyasyon kaynaklarından yayınlanan farklı tipteki iyonlaştırıcı radyasyona (gama, alfa ve beta) maruz kalmaları, yaşamlarının sürekli ve kaçınılmaz bir gerçeğidir. Doğal radyasyon kaynaklarını, uranyum (^{238}U), toryum (^{232}Th) ve aktinyum (^{235}U) doğal radyoaktif serilerindeki radyonüklitler ve potasyum (^{40}K) vb. primordiyal radyonüklitler ile trityum (^3H), berilyum (^7Be), karbon (^{14}C) vb. kozmojenik radyonüklitler oluşturmaktadır. Yer kabuğu kökenli malzemeler (kaya, toprak, granit, mermer, kil, alçıtaşı, kireç taşı vb.), bu malzemelerin kullanıldığı nihai yapı malzeme ürünleri (çimento, beton, gaz beton, kiremit, tuğla, briket, seramik, fayans vb.), su ve toprakta yetişen her türlü gıda ürünleri, buldukları bölgenin jeokimyasal özelliğine bağlı olarak yukarıda bahsedilen radyonüklitleri farklı derişim miktarlarında içermektedir. İnsanlar, yukarıda sözü edilen radyonüklitlerden yayınlanan iyonlaştırıcı radyasyona dış (external) ve iç (internal) olmak üzere iki farklı şekilde maruz kalmaktadırlar. UNSCEAR raporuna göre dünyanın farklı coğrafi bölgelerinde yaşayan insanlar, doğal radyoaktiviteden dolayı bir yılda ortalama 2,4 mSv büyüklüğünde bir etkin radyasyon dozu almaktadırlar [1]. Bu ortalama yıllık etkin radyasyon dozunun yaklaşık yarısı (1,2 mSv'lik kısmı), radon gazının solunumu sonucunda oluşan iç ışınlanmadan kaynaklanmaktadır [1]. Yaşamlarının büyük bir kısmını kapalı alanlarda (konut, işyeri, okul vb.) geçiren bireylerin sağlığı için en büyük tehlikeyi, binaların zeminindeki kaya, toprak ve binaların inşaatında kullanılan yer kabuğu kökenli malzemelerin içerdiği doğal radyoaktif serilerde yer alan radyum izotoplarının (^{226}Ra , ^{224}Ra ve ^{223}Ra) bozunum ürünü olan doğal radyoaktif gaz radon (^{222}Rn), toron (^{220}Rn) ve aktinonun (^{219}Rn) ortama yayılması oluşturmaktadır. Toron ($T_{1/2}$: 55,6 s) ve aktinonun ($T_{1/2}$: 4 s) yarılanma süresi çok kısa olduğu için genelde sağlık üzerindeki etkileri ihmal edilmektedir. Bu yüzden iç ışınlanmaya ilişkin radyolojik araştırma ve değerlendirmelerde yarılanma süresi 3,8 gün olan radon gazı dikkate alınmakta ve takip edilmektedir [1].

Radyumun bozunum ürünü olan radon, tatsız, kokusuz, renksiz, havadan 7,5 kat daha ağır ve 86 atom numarası ile periyodik cetvelin soy gazlar sınıfında yer alan radyoaktif bir elementtir. Radon kimyasal olarak inert ve elektriksel olarak da yüksüzdür. Bununla

birlikte, radyoaktif bozunum süreci ile oluşan kısa yarı ömürlü bozunum ürünü radyonüklitler (^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi ve ^{214}Po), elektriksel olarak yüklüdür. Bu radyonüklitler, kapalı ve açık ortamlarda havada asıltı hâlindeki toz ve su zerrelere tarafından soğurularak aktif alfa-ışını yayan asıltı taneciklerinin oluşmasına sebep olurlar. Bu asıltı tanecikler, kolaylıkla solunum yolu ile üst solunum yoluna nüfuz edebilir, akciğerlere ulaşabilir, akciğerlerin duvarlarına tutunabilir ve orada kalıcı olarak yerel alfa radyasyon kaynağı gibi davranabilir. Alfa-beta ışını yayınlatabilen bu bozunum ürünlerinin solunum sistemindeki etkileri (davranışları) üzerine yapılan araştırmalar, bu radyonüklitlerin akciğerlerdeki biyolojik yarı ömürlerinin birkaç saatten bir güne kadar olabileceğini, dolayısıyla akciğer dokusuna hasar vermeleri sonucunda zamanla kansere sebep olma riski açısından radondan daha tehlikeli olabileceğini göstermiştir [2].

Epidemiyolojik çalışmalar, kapalı ortamda yüksek radon derişimine uzun süre maruz kalmanın akciğer kanser riskini artırdığını açıkça göstermiştir. Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) ilk olarak 1979 yılında, kapalı ortamlarda radona maruz kalmadan kaynaklanan sağlık etkilerine dikkat çekmiş ve radon, 1988 yılında Uluslararası Kanser Araştırma Kurumu (International Agency for Research on Cancer) tarafından kansere yol açan madde olarak kabul edilmiştir [3-4].

1993 yılında Asya, Kuzey Amerika ve Avrupa'dan bilim insanları ve radon uzmanlarının katıldığı kapalı ortamdaki radon ile ilgili düzenlenen DSÖ uluslararası çalıştayında, radona maruz kalmanın kontrolüne ve söz konusu sağlık risklerinin iletişimi ile ilgili danışmanlığa yönelik ortak bir yaklaşıma doğru ilk adım atılmıştır [4].

DSÖ, 2005 yılında, radon solunumundan kaynaklanan sağlık etkilerini azaltmaya ve sosyal-siyasi farkındalığı artırmaya yönelik etkin stratejileri belirlemek amacıyla Uluslararası Radon Projesini yürürlüğe koymuştur. Son yapılan tahmini hesaplamalar, radon kaynaklı akciğer kanser oranının, ilgili ülkedeki ortalama radon derişimine ve hesaplama yöntemlerine bağlı olarak %3-%14 aralığında değiştiğini göstermektedir [4].

Araştırma sonuçları üzerine yapılan değerlendirmeler, akciğer kanserine yakalanma riskinin, radona maruz kalmanın artışı ile doğru orantılı olarak arttığını göstermiştir. Birçok insan düşük ve orta seviyedeki radon derişimine maruz kaldığından, radona dayalı akciğer kanserlerinin büyük bir kısmı, yüksek seviyedeki radon derişiminden ziyade

düşük ve orta seviyedeki radondan kaynaklanmaktadır. Radon sigaradan sonra ikinci derece kanser etmenidir. Radondan kaynaklı akciğer kanser vakalarının büyük bir ekseriyeti, sigara ve radon birleşik etkisi sebebiyle sigara tiryakilerde görülmektedir [4].

Radon ölçümleri, bağıl olarak kolaydır ve konut, işyeri ve okullardaki radon derişiminin ölçülmesi önem arz etmektedir. Doğru ve uyumlu ölçümleri temin etmek için standartlaştırılmış protokollerin esas alınmasına gerek vardır. Kapalı ortamdaki radon derişimi, binaların yapı özelliklerine ve havalandırma durumlarına göre değişiklik göstermektedir. Derişim değerleri, büyük ölçüde mevsimlik olarak değişmekte ise de gün be gün hatta sata ve saat değişim de gösterebilir. Radon gazı derişiminin ölçülmesi, yapım aşamasındaki yeni binalarda sınır değerden daha büyük radon derişiminin önlenmesi ve mevcut eski binalarda ise radon derişiminin azaltması açısından önemlidir.

Radona yönelik ulusal referans seviyesi, konut, işyeri ve okullarda kabul edilen azami radon derişimini gösterir ve ulusal programın en önemli bileşenidir. Bu seviyenin üzerindeki radon derişimine sahip ev, işyeri ve okullar için iyileştirme işlemleri tavsiye edilebilir veya gerekebilir. Bir referans seviyesi belirlenirken radon dağılımı, yüksek radon derişimine sahip evlerin sayısı, kapalı ortam radon seviyesinin ortalama değeri ve sigara alışkanlığı gibi farklı ulusal faktörler göz önüne alınmalıdır. En son bilimsel veri ışığında, DSÖ kapalı ortamda radona maruz kalma sebebiyle sağlık risklerini minimize etmek amacıyla referans seviyesini 100 Bq/m^3 olarak teklif etmektedir [4].

Bu seviyeye ülkeye özgün şartlar altında ulaşılamıyorsa seçilen referans seviye, ICRP tarafından yapılan son hesaplamalara göre yaklaşık olarak 10 mSv/y etkin yıllık radyasyon dozuna karşılık gelen 300 Bq/m^3 'ü geçmemelidir. Sınır değerlerin aşılması durumunda, radon derişiminin, bir dizi basit tedbirlerle (yapı malzemelerinin radyoaktivite açısından kontrolü, binaların özellikle bodrum ve zemin katlarının sızıntıya imkân vermeyecek şekilde izole edilmesi, çatlakların kapatılması, havalandırma vb.) en aza indirilebilmesi tavsiye edilmektedir. Avrupa Birliği, radon derişimine ilişkin sınır değerleri, eski binalarda 400 Bq/m^3 , yeni binalarda ise 200 Bq/m^3 olarak belirlemiştir [5].

Ülkemizde, kapalı ortamlarda radon gazı derişiminin kontrolü amacıyla, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu tarafından hazırlanan ve 24/03/2000 tarihli ve 23999 sayılı Resmi

Gazetede yayımlanan “Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği”nde yeni binalar için azami radon derişimi, 400 Bq/m³ ile sınırlandırılmış [6] iken TS 12614 “Çevre Sağlığı- Kapalı Ortamda Radon Kirliliğine Karşı Alınacak Tedbirler” standardında ise eski ve yeni binalar için sınır değer 200 Bq/m³ olarak tavsiye edilmiştir [7].

Bu bağlamda, insanların ortalama olarak zamanlarının %80’ini kapalı ortamlarda geçirdikleri dikkate alındığında, maruz kalınacak radon dozunun en aza indirilmesine yönelik gerekli önlemlerin alınabilmesi için binalardaki radon derişiminin bilinmesi büyük önem arz etmektedir. Son zamanlarda, kapalı ortamlarda radon gazı derişiminin ölçülmesine ilişkin birçok araştırma sonuçları literatürde yer almıştır.

Literatür Özeti ve Değerlendirme

Poffijn ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, Belçika’nın güney bölgesinde yer alan okul binalarının içinde pasif yöntem alfa iz detektörleri ile ölçülen radon derişiminin sonuçları rapor edilmiştir [8].

Ennemoser ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, 9 okulda sistematik olarak ölçülen radon derişim seviyelerine ilişkin sonuçlar sunulmuştur [9].

Kunz ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, New York Eyaletinde bulunan ve bulunduğu bölgenin jeolojisine bağlı olarak ortalama radon derişimin üzerinde olacağı tahmin edilen 60 okul binasındaki radon derişimi, 1991-1993 yılları arasında ölçülmüştür [10].

Đurčik ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, Slovak Cumhuriyeti’ndeki 388 anaokulu ve 257 temel okulu olmak üzere toplam 645 okul binasındaki radon seviyesi ölçülmüştür. Kısa ve uzun süreli ölçümler pasif yöntem kullanılarak 5965 adet CR-39 ve LR-115 katı-hal nükleer iz dedektörleri ile farklı katlardaki, farklı sınıflara yerleştirilerek belirlenmiş ve radondan dolayı öğrencilerin maruz kaldıkları yıllık etkin doz değerlendirilmiştir [11].

Kullab ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, 4-6 yaş arasında 15.000 çocuğun devam ettiği 74 anaokulundaki (Ürdün'ün Amman şehrinde bulunan) radon derişim seviyesi, CR-39 katı-hal nükleer iz dedektörünü içeren pasif radon dozimetresi kullanılarak belirlenmiştir [12].

Gaidolfi ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, İtalya'nın altı bölgesinde yer alan 1687 anaokulu ve 486 ilkokul olmak üzere toplam 2173 okul binasında LR-115 katı-hal nükleer iz dedektörleri kullanılarak ölçülen radon derim sonuçları sunulmuştur [13].

Malanca ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, 108 radon derişim ölçümü, 1994-1995 tarihleri arasında 180 gün süreyle, katı-hal nükleer iz dedektörleri kullanılarak İtalya'nın Parma şehrinde bulunan 49 anaokulu ve kreşde (çocuk yuvasında) yapılmıştır. Ölçümlerin 92'si çocuk yuvasında, 16'sı anaokulunda gerçekleştirilmiştir [14].

Amrani tarafından yapılan çalışmada, Cezayir'in başkentine bağlı 12 kasabada her bir kasabada iki okul olmak üzere toplam 24 okul binasındaki radon derişimi, pasif yöntemle 114 adet LR-115 katı-hal nükleer iz dedektörleri kullanılarak ölçülmüştür [15].

Giovani ve arkadaşları (2001) tarafından yapılan çalışmada, İtalya'nın Pordenone'deki dağlık ve düz yerleşim yerlerindeki yaklaşık 300 okuldaki radon derişimi, pasif yöntemle LR-115 film içeren 900 adet alfa iz dedektörleri kullanılarak ölçülmüştür [16].

Vaupotič ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, Slovenya'da radon seviyeleri araştırılan 890 okul arasında radon seviyesi 1000 Bq/m^3 'ü aşan 24 okulda radon kaynağını ve en etkin çözüm için alınması gereken tedbirler araştırılmıştır [17].

Vaupotič ve Kobal tarafından yapılan çalışmada, Slovenya Radon Projesi kapsamında, 730 anaokulu-kreş ve 890 ilk ve lise okullarındaki radon derişimi, Jozef Stefan Enstitüsünde üretilen alfa sintilasyon hücreleri kullanılarak ölçülmüştür [18].

Banjanac ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, Sırbistan'da bulunan ortaöğretim okul binalarının içinde pasif yöntemle CR-39 katı-hal nükleer iz dedektörleri ile ölçülen radon derişimi sonuçları sunulmuştur [19].

Synnott ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, İrlanda'daki 4000 ilkokul ve ilkokul sonrası okul binalarındaki 38.531 zemin kat sınıflarında ve 3.826 ofislerde pasif yöntem alfa iz dedektörleri kullanılarak ölçülen radon derişim sonuçları sunulmuştur. Ölçüm sonuçları, okul personeli ve öğrencilerin maruz kalabilecekleri radonu azaltmak için gerekli olan çalışmaları belirleyebilmek amacıyla değerlendirilmiştir [20].

Bahtijari ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, Kosova-Prizren'de bulunan 9 ilkokul binasının 30 sınıfında, 6 lise binasının 19 odasında 0,7 dm³'lük alfa sintilasyon hücreleri ile sonbahar ve kış aylarında ölçülen radon derişim sonuçları rapor edilmiştir [21].

Papaefthymiou ve Georgiou tarafından yapılan çalışmada, Yunanistan'ın Patras İlinde bulunan 66 ilkokul binasının 53'ündeki radon derişimi, Aralık 1999 ve Mayıs 2000 tarihleri arasında pasif yöntemle 114 adet LR-115 katı-hal nükleer iz dedektörleri kullanılarak ölçülmüştür [22].

Bahtijari ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, Kosova'nın güneyinde bulunan Sharr kasabasındaki 5 ilkokul ve 1 lise binasının zemin, giriş ve birinci katlarında bulunan 21 sınıftaki radon derişimi, 2003 yılının Mart, Mayıs, Ağustos ve Aralık aylarında 0,7 dm³'lük alfa sintilasyon hücresi kullanılarak ölçülmüştür [23].

Venoso ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, İtalya'nın Napoli civarında yer alan metropoliten bölgesinde yerleşik 30 okulun sınıf, laboratuvar ve ofislerindeki radon derişimleri, pasif yöntemle LR115 katı-hal nükleer iz dedektörleri kullanılarak, 6 aylık periyotlar ile iki kez ölçülmüştür [24].

Clouvas ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, Kuzey Yunanistan'daki Xanthi bölgesinde yer alan 77 okulda radon derişimi pasif radon dedektörleri (elektret) ile ölçülmüştür [25].

Rafique ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, Pakistan Özgür Keşmir İslam Cumhuriyeti'nde bulunan 80 tane ilk, orta ve lise okul binaların bodrum katlarındaki

radon derişimi, pasif yöntem CR-39 katı-hal nükleer iz dedektörleri ile ölçülmüş ve radondan dolayı öğrencilerin maruz kaldıkları yıllık etkin doz değerlendirilmiştir [26].

Obed ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, Nijerya'nın Güney-batısında yer alan Oke-Ogun bölgesinde bulunan 35 lise binasındaki radon derişimi, pasif yöntemle CR-39 katı-hal nükleer iz dedektörleri kullanılarak ölçülmüştür [27].

Clouvas ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, Yunanistan'ın 8 coğrafi bölgesinde yer alan 512 okulda radon ve gama doz hız ölçümleri yapılmıştır [28].

Park ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, Kore Cumhuriyeti'nin Gyeongju İlinde bulunan ve öğrenci ve öğretmenlerin gün içinde uzun süre kaldıkları için seçilen 17 ilkokulunun toplantı salonlarındaki radon derişimi aktif yöntemle RAD7 dedektörü kullanılarak ölçülmüştür [29].

Trevisi ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, Güney-doğu İtalya'daki (Lecce vilayeti, Salento Yarımadası) bütün eğitim kurumlarındaki (506 okul binasında) radon derişiminin ölçülmesin yönelik olarak sürdürülen araştırmaya ait 438 okulda ölçülen radon derişim sonuçları sunulmuştur [30].

Kapdan ve Altınoy tarafından yapılan çalışmada, aynı bölgede yer alan ev ve okul binalarında ölçülen radon derişimleri arasındaki ilişkinin tespit edilmesine ve benzer yerlerde bulunan ev-okul ortalama radon derişimi düzeltme faktörünün elde edilmesine yönelik sonuçlar sunulmuştur [31].

Poulin ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, radon derişiminin, Kanada Federal sınırı (200 Bq/m^3) aştığı binalarda yaşayan bireylerin radon kaynaklı ışınlanmasını azaltmak amacıyla öncelikli araştırma bölgelerinde yer alan okul binalarında ölçülen radon derişim sonuçları sunulmuştur [32].

Burghela ve Cosma tarafından yapılan çalışmada, Romanya'nın kuzey batısında yer alan üç ilçedeki 21 okul binasında sonbahar döneminde ölçülen radon ve toron derişim değerinin 31 Bq/m^3 - 414 Bq/m^3 aralığında değiştiği bulunmuştur [33].

Çurguz ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, Sırp Cumhuriyeti'nin başkenti Luka ilinde bulunan 25 ilkokul binasında hem aktif sürekli radon ölçümü yapan RAD7 cihazı ve hem de pasif yöntem CR-39 katı-hal nükleer iz dedektörleri ile 2011 ve 2012 yılında ölçülen radon derişimi sonuçları sunulmuştur [34].

Literatür değerlendirmesinden Türkiye'deki kapalı ortam radon ölçümleri, değişik illerde bulunan evlerde ve bir kaç maden ocağına ilişkin olarak yapılmıştır. Yukarıda da ifade edildiği gibi okullardaki radon gazı derişiminin ölçülmesi sadece Kapdan ve Altınsoy (2012) tarafından pasif yöntemle yapılmıştır [31].

Dolayısıyla, bu tez kapsamında yapılan çalışma, Nevşehir ilinde yer alan anaokulu, ilk ve ortaokullar ile ortaöğretim kurumları (lise) binalarının zemin katlarında bulunan sınıflardaki radon derişiminin, kısa süreli aktif yöntemle sürekli ölçüme dayalı ölçülmesine yönelik olması açısından özgün bir çalışmadır.

Bu çalışmada, 23 okul, 1 fakülte ve 1 öğretmen evi binasının zemin katlarındaki radon gazı derişimi, sürekli aktif radon dedektörü (AlphaGUARD PQ2000 PRO) kullanarak yaz ve kış dönemi olmak üzere 2 defa ölçülmüş ve radondan kaynaklanan yıllık etkin radyasyon dozu, öğrenci ve öğretmenler için hesaplanmıştır. Ayrıca, radon gazı derişiminin ölçümünün yapıldığı ortamın basınç, sıcaklık ve nem değerleri de ölçülerek her bir ölçüm için kaydedilmiştir.

Bu tez beş bölümden oluşmaktadır. Çalışmanın birinci bölümünde, çalışmaya giriş mahiyetinde öz bilgi verilmiş; çalışmanın özgünlüğüne ilişkin olarak da Türkiye'de ve diğer ülkelerde radon gazı derişiminin ölçülmesi ve radonun sebep olduğu iç ışınlanmadan kaynaklanan yıllık etkin radyasyon dozunun değerlendirilmesine ilişkin olarak literatürde yer alan çalışmalar özetlenmiştir.

İkinci bölümünde, radon, radon bozunum ürünleri, radon kaynakları, kapalı ortamdaki radon gazı, radon derişim birimleri, radonun sağlık üzerindeki etkileri ve radon ölçme yöntemlerine ilişkin genel ve öz bilgiler verilmiştir.

Üçüncü bölümde, Nevşehir'in coğrafi özelliklerine kısaca yer verilmiş ve radon gazı derişiminin ölçülmesinde kullanılan sürekli aktif radon dedektörünün (AlphaGUARD PQ2000 PRO) özellikleri ve ölçme işlemi anlatılmıştır.

Dördüncü bölümde elde edilen radon gazı derişim sonuçları ve radyolojik açıdan değerlendirme yapmak amacıyla öğrenci ve öğretmenler için hesaplanan yıllık etkin radyasyon doz hızı verileri, tablo ve grafik hâlinde sunulmuştur.

Beşinci bölümde, iki dönem için elde edilen ölçüm sonuçları ve hesaplanan veriler, hem birbirleriyle ve hem de ölçüt değerler ile karşılaştırılarak tartışılmıştır.

BÖLÜM 2

GENEL BİLGİLER

2.1. Radon

Radon, 86 atom numaralı periyodik çizelgenin soy gazlar grubunda yer alan renksiz, kokusuz, tatsız, ergime sıcaklığı $-71\text{ }^{\circ}\text{C}$, kaynama noktası $-62\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve yoğunluğu $9,72\text{ g/L}$ olan doğal radyoaktif kimyasal bir elementtir. Radon ilk olarak Alman Fizikçi Friedrich Ernst Dorn tarafından 1900 yılında keşfedildi ve o zaman niton olarak 1923'ten sonra da radon olarak isimlendirildi [35].

Radon soy gazların içine en ağır, en yüksek kaynama noktasına ve en yüksek ergime sıcaklığına sahip bir gazdır. Radon yaklaşık olarak havadan 7 kat daha ağırdır. Radon doğada, uranyum, toryum ve aktinyum doğal radyoaktif serilerinde yer alan radyumun üç izotopunun ^{226}Ra , ^{224}Ra ve ^{223}Ra 'ün alfa bozunumu sonucunda oluşan ^{222}Rn , ^{220}Rn ve ^{219}Rn gibi üç izotop olarak bulunmaktadır (Tablo 2.1). Alfa yayınlayan yapan radon izotoplarının radyoaktif bozunum özellikleri, Tablo 2.2'de verilmektedir. Tablo 2.2'den de görülebileceği gibi toron ve aktinonun yarılanma süreleri kısa olması sebebiyle radon, en önemli risk faktörü olarak düşünülebilir. Radon diğer izotoplara göre bozunuma uğraman önce kayda değer mesafeler alabilir. Radonun çözüne bilirliliği ortamın sıcaklığına özellikle de suyun sıcaklığına bağlıdır. Suyun sıcaklığı daha düşükse radonun çözünürlüğü de daha büyüktür. Dolayısıyla radon soğuk suda bile kolayca çözülebildiğinde dolayı özellikle yer altı sularının akışı süresince suların geçtiği kayaç, kum ve toprağın içerdiği radon kolaylıkla suya geçebilir [35].

Tablo 2.1. Doğal radyoaktif seriler ve radon izotopları

Radyoaktif seri	Ana çekirdek	Yarılanma süresi ($T_{1/2}$)	Kararlı ürün çekirdek	Radon izotopu
Uranyum	^{238}U	$4,5 \times 10^9\text{ y}$	^{206}Pb	^{222}Rn
Toryum	^{232}Th	$1,4 \times 10^{10}\text{ y}$	^{208}Pb	^{220}Rn
Aktinyum	^{235}U	$7,1 \times 10^8\text{ y}$	^{207}Pb	^{219}Rn

Tablo 2.2. Radon izotoplarının radyoaktif bozunum özellikleri

Radon izotopu	İsmi	Yarılanma süresi ($T_{1/2}$)	Alfa enerjisi (MeV)	Yayınlanma ihtimali (%)
^{222}Rn	Radon	3,82 g	5,49	100
^{220}Rn	Toron	55,60 s	6,29	100
^{219}Rn	Aktinon	3,90 s	6,81 6,54	81 12

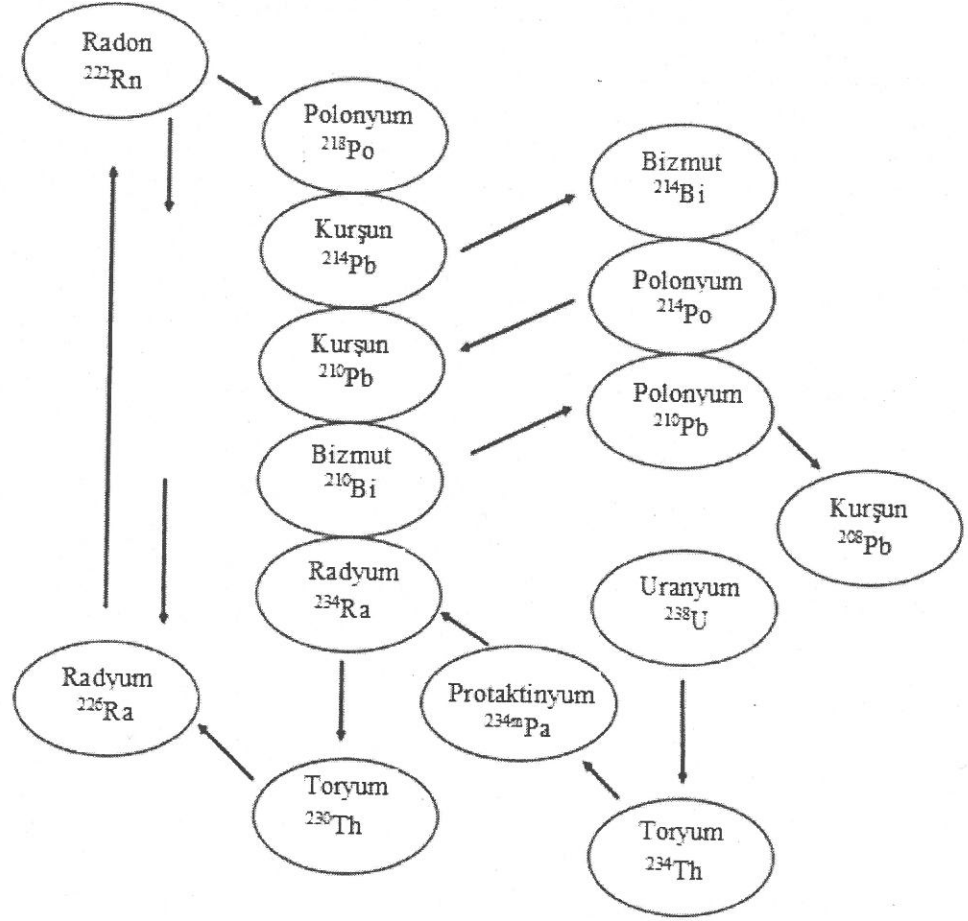
2.2. Radon Bozunum Ürünleri

Radon, izafi olarak nefes alma zamanına göre daha uzun ömürlü bir gazdır. Solunum yolu ile vücuda alındığında akciğere yerleşen radon, bozunuma uğrayabilir veya kana karışabilir veya küçük bir miktarı hariç nefes ile dışarı atılır.

Radon bozunum şeması Şekil 2.1'de gösterilmektedir.

Şekil 2.1'de gösterildiği gibi önemli radon bozunum ürünleri, ^{218}Po ($T_{1/2}=3,05$ d), ^{214}Pb ($T_{1/2}=26,8$ d), ^{214}Bi ($T_{1/2}=19,7$ d) ve ^{214}Po ($T_{1/2}=1,6 \times 10^{-4}$ s) radyoizotopları sayılabilir. Radondan kaynaklanan asıl tehlike veya radyolojik risk, radon havada bozunuma uğradığında, solunum yolu ile vücuda alınabilen katı formundaki bu bozunum ürünlerinin akciğerin iç yüzeylerinde birikmesidir.

Bu bozunum ürünlerinden alfa radyasyonu yayınlayan ikisi ^{218}Po ve ^{214}Po , akciğerde bozunuma uğradığında, radyasyon hasar kaynağının önemli bir kısmını oluşturur [36].



Şekil 2.1. Radon bozunum ürünleri [2].

2.3. Radon Kaynakları

Yer kabuğunda (kayaç ve toprakta), uranyum, toryum, aktinyum radyoaktif serilerine ait radyonüklitler, potasyum (^{40}K), rubidyum (^{87}Rb), lantan (^{138}La), samaryum (^{147}Sm) ve lütesyum (^{176}Lu) gibi radyoizotoplar doğal olarak bulunmaktadır [1].

Dolayısıyla binaların inşasında kullanılan yer kabuğu kökenli bütün yapı malzemeleri (çimento, briket, tuğla, alçıtaşı, kireç taşı, gaz beton, kum, çakıl vb.), çevresel (su, toprak, hava, vb.) ve gıda (süt, sebze, meyve, ekmek, tahıl ürünleri, vb.) örnekleri, bu radyonüklitleri veya radyoizotopları belli derişim miktarlarında içermektedir. Bu

radyonüklitlerin derişimleri, kayaç ve toprağın bulunduğu bölgenin jeolojik ve jeokimyasal yapısına bağı olarak değışim göstermektedir [1].

Ancak ^{235}U 'in, yer kabuğundaki ^{238}U içerisindeki izotopik bolluğunun (% 0,7) düşük olmasından dolayı aktinyum serisindeki radyonüklitlerin ve ^{87}Rb , ^{138}La , ^{147}Sm , ^{176}Lu gibi radyoizotopların ışınlamaya katkısı çok düşük seviyededir. Bu sebepten çevresel doğal radyoaktivitenin izlenmesi veya bireylerin doğal radyoaktiviteden dolayı aldıkları yıllık etkin dozların değıerlendirilmesi veya herhangi bir yer kabuğı kökenli malzemenin yapı malzemesi olarak kullanılabilirliğinin radyolojik açıdan değıerlendirilmesi çalışmalarında uranyum ve toryum doğal radyoaktif serilerine ait radyonüklitler ve radyoaktif potasyum dikkate alınmaktadır. Konut, işyeri ve okul binaları gibi kapalı ortamdaki radon gazının üç kaynağı vardır.

Bu kaynaklar,

- (1) binaların temelinde ve etrafındaki kayaç ve toprak;
- (2) binaların inşasında kullanılan yer kabuğı kökenli yapı malzemeleri ve
- (3) içme suyu (kuyu suyu ve musluk suyu) olarak sınıflandırılabilir.

Açık ortamda ise radon, topraktan atmosfere bozunum sonucunda oluşan kısa ömürlü bozunum ürünleri ile yayılır. Havadaki radon derişimi, toprağın yapısı, toprak gözenekliliğı, tane boyutu, toprak nemi, yükseklik, sıcaklık, atmosferik basınç, yağış miktarı ve kar örtüsü gibi faktörlere bağıdır. Atmosferik radon derişimler, mevsimsel ve günlük değıişimlere de bağı olabilir ve belirli bir coğrafik mevki ile değışkendir.

2.3.1. Toprak ve kayalar

Konut, işyeri, fabrika ve okul binalarına giren radon gazının ana kaynağı, binanın inşa edildiğı arazide bulunan toprak ve kayaçlardır. Uranyum ve toryum serisindeki radyonüklitler içeriğı, kayaç cinsine bağıdır. Granit gibi volkanik kayaçlara daha yüksek radyasyon seviyesi eşlik ederken tortul kayaçlara daha düşük radyasyon seviyesi eşlik etmektedir [1].

Bununla birlikte bitümlü, alüminli şistler gibi bazı şistlerin ve fosfat kayaların uranyum ve toryum radyonüklit içerikleri izafi olarak daha yüksektir [1].

Dolayısıyla toprağın içerdiği uranyum ve toryum radyonüklitlerinin derişimleri, toprağın oluştuğu kayaca bağlı olarak değişim göstermektedir. UNSCEAR (2008) raporunda, topraktaki uranyum, toryum ve radyum aktivite derişiminin dünya ortalama değeri, sırasıyla 33 Bq/kg, 45 Bq/kg ve 32 Bq/kg ve en uranyumun en yüksek aktivite derişim değeri de 1000 Bq/kg olarak verilmiştir [1].

2.3.2. Yapı malzemeleri

Yapı malzemeleri, dış radyasyon kaynaklarına karşı bir koruyucu olmasına rağmen, kapalı ortamlarda bir radyasyon kaynağı gibi davranabilir. Binaların inşasında kullanılan yer kabuğı kökenli yapı malzemelerindeki radyumun varlığı, bina içlerinde radon derişiminin artmasının en büyük sebeplerinden birisidir. Volkanik kayaç kökenli pomzadan üretilmiş briketlerin binaların iç ve dış duvarlarının yapımında kullanılması, granit ve tüf gibi kaplama malzemelerinin bina içlerinin dekorasyonunda kullanılması gibi yüksek uranyum veya radyum içeren yapı malzemeleri, kapalı ortamlardaki radon gazı aktivite derişimini artırmaktadır. Çünkü kapalı ortamlardaki radon gazı aktivite derişiminin yaklaşık %25'ni, yapı malzemelerinden ortama sızabilen radon oluşturmaktadır. [2].

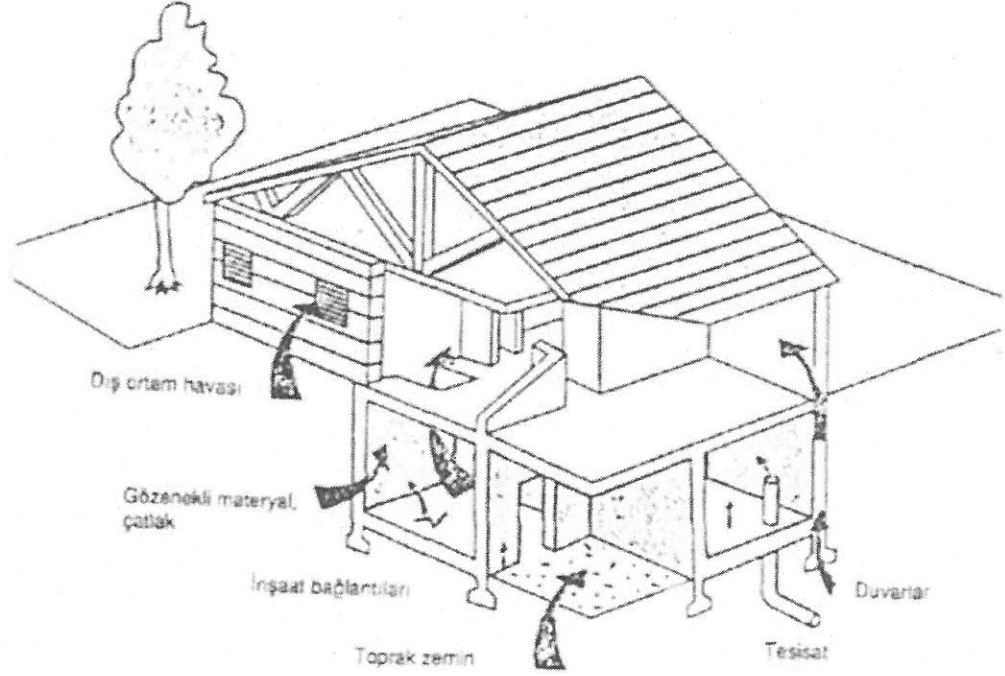
2.3.3. Sular

Sudan kaynaklanan radon gazının aktivite derişimi, suyun içerdiği radyum aktivite derişimine bağlıdır. Suyun sıcaklığı arttıkça, ortama verilen radon miktarı da artar. Atmosferik şartlara ve sismik faaliyetlere bağlı olarak meydana gelen yer kabuğundaki şekil değişmeleri ve kayalarda oluşan genleşmeler sebebiyle kayalardan yeraltı su sistemine radon geçişi artmaktadır. Bunun sonucu olarak da, sismik faaliyetlerin başlamasından önce çevredeki kuyu ve kaynak sularındaki radon derişiminde bir artış gözlenmektedir. Yeraltı sularındaki radon derişimi, yüzeysel sulardan daha yüksektir. Sudaki radon seviyesi, ev içi radon seviyesini önemli derecede etkileyebilecek kadar

olabilir. Bazı bölgelerde konutlarda veya işyerlerinde özel kuyulardan temin edilen sular içme ve temizlik amaçlı olarak kullanılmaktadır. [2].

2.4. Kapalı Ortamlardaki Radon Gazı

Konut, işyeri, okul insan hayatının önemli bir bölümünün, ortalama olarak %80'ninin geçtiği kapalı ortamlardır. Kapalı ortamdaki zararlı unsurlar olarak zehirli gazlar, solunabilir özellikteki asılı parçacıklar, asbest lifleri, radon, iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon, sigara dumanı vb. sayılabilir. Radonun en önemli kaynağı, bina temelindeki kaya, toprak ve binaların yapımında kullanılan yer kabuğu kökenli yapı malzemeleri olduğundan, bu tür malzemelerdeki ^{226}Ra miktarı, binanın ısı ve ses yalıtım niteliği, binadaki havalandırma kapasitesi, iklim koşulları, iç-dış hava sıcaklık ve basınç farkı gibi faktörler binalardaki radon miktarını etkilemektedir. Kapalı ortama radon girişinin en önemli yolu, binanın zeminde bulunan toprak ve kayanın içerdiği radon gazının, zamanla bina zemininde oluşabilen yarık ve çatlaklardan bina içine sızmasıdır (Resim 2.1). Kapalı ortama radon girişi, binaların inşasında kullanılan yapı malzemelerinin içerdiği radonun, duvarlarda zamanla oluşan çatlak ve yarıklar vasıtasıyla da olabilmektedir. Diğer bir yolu ise içme suyun içerdiği radonun havaya salınımıdır [35]. İçme suyunun, kapalı ortam radon gazı derişimine olan katkısı, %1-%7 arasında değişim göstermektedir [35].



Resim 2.1. Binalara radon girişi [2]

2.5. Radon Derişim Birimleri

Radon gazının aktivite derişimi, genellikle Bq/m^3 cinsinden verilir. Tarihi sebepler gereği maden ocaklarında oluşan radon ve bozunum ürünlerinin derişimi, genellikle çalışma seviyesi (WL: Working level) olarak verilmektedir. Bir alışma seviyesi (1 WL), bir litre havada bulunan ve bozunum süreci sonucunda $1,3 \times 10^5$ MeV enerjili alfa radyasyonu yayınlayan kısa ömürlü radon bozunum ürünlerinin herhangi bir kombinasyonu veya bir litre hava başına 130 milyar elektron volt enerjili alfa taneciklerinin yayınlanması olarak tanımlanır. Aynı zamanda,

$$1 \text{ WL} = 3,7 \times 10^3 \text{ Bq/m}^3 \quad (2.1)$$

$$1 \text{ Bq/m}^3 = 2,7 \times 10^{-4} \text{ WL} \quad (2.2)$$

'ye eşittir.

Amerika Birleşik Devletlerinde EPA okullarda, havadaki radon gazı derişiminin, 148 Bq/m^3 veya 0,016 WL'lik uygulama seviyesinin altına indirilmesini tavsiye etmektedir [35].

2.5.1. Radyasyon dozunun soğurulması

Herhangi farkı iki malzeme veya nesne gama, X-ışını, alfa, beta gibi aynı iyonlaştırıcı radyasyona maruz kaldığında, bu malzemelerin radyasyonu soğurması genelde farklılık gösterir. Herhangi bir radyasyona maruz kalan malzemenin kütlesi başına soğurduğu enerji, soğurma dozu veya soğurulmuş doz veya soğurulan doz olarak tanımlanır. Soğurma dozu, “Absorbed Radiation Dose” kelimelerinin kısaltması olan “rad” ile verilir

$$1 \text{ rad} = 100 \text{ erg/g} \quad (2.3)$$

Ancak son yıllarda soğurma dozu, Uluslararası birim olarak gray (Gy) ile verilmektedir.

$$1 \text{ Gy} = \text{J/ kg} \quad (2.4)$$

Aynı zamanda

$$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad} \quad (2.5)$$

'a eşittir.

2.5.2. Radyasyon doz eşdeğeri

Radyasyona maruz kalan canlı organ üzerindeki radyasyon etkileri değerlendirildiğinde, farklı ışınlama şartlarında birim kütle başına eşit derecede enerji miktarının soğurulması, aynı biyolojik etkiyi oluşturmayabilir. İyonlaştırıcı radyasyonun sebep olduğu biyolojik hasar, radyasyon etkisi ile elektronların uyarıldığı veya iyonlaştırıldığı biyolojik moleküllerin uğrayacağı kimyasal değişimler ile izlenebilir. Bu değişimlerin derecesi, doğrudan doğrusal enerji aktarımı olarak bilinen radyasyonun aldığı yol boyunca enerji soğurulma hızı ile orantılıdır. Alfa gibi ağır yüklü tanecik radyasyonu gibi büyük doğrusal enerji aktarımına sahip radyasyonların oluşturduğu biyolojik hasar, daha hafif yüklü tanecik olan elektronların oluşturduğu biyolojik hasardan daha büyüktür.

Doz eşdeğerinin birimi, bir biyolojik sistem de soğurulan herhangi bir tipteki radyasyon miktarının aynı biyolojik etkiyi oluşturması olarak tarif edilebilir.

Doz eşdeğeri (H), soğurma dozu (D) ile radyasyon ağırlık faktörünün (W_R) çarpımı ile verilir.

$$H = W_R \times D \quad (2.6)$$

Doz eşdeğeri birim rem olarak verildiğinde,

$$1 \text{ rem} = W_R \times \text{rad} \quad (2.7)$$

Doz eşdeğeri uluslararası birimde sievert (Sv) olarak verilir ve

$$1 \text{ Sv} = W_R \times \text{Gy} \quad (2.8)$$

ve

$$1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem} \quad (2.9)$$

dir.

Farklı radyasyon tipleri için radyasyon ağırlık faktörü (W_R), Tablo 2.3'te verilmektedir.

Tablo 2.3. Farklı tipteki iyonlaştırıcı radyasyon için W_R değerleri [35]

İyonlaştırıcı radyasyon	W_R
Gama-ışını	1
X-ışını	1
Beta	1
Alfa (enerjisi 10 MeV'den küçük)	20
Isıl nötronlar	2,3
Orta enerjili nötronlar	10,6
Hızlı nötronlar	7,8

2.6. Radonun Sağlık Üzerindeki Etkileri

Bugüne kadar yapılan epidemiyolojik çalışmalar, radonla akciğer kanseri arasında doğrudan ilişki kurulmasını sağlamıştır [2].

Radon gazının insan sağlığı üzerindeki riskleri, uluslararası kuruluşlar tarafından net bir şekilde ortaya konmuştur [35].

Radon, kanserojen maddedir ve sigaradan sonra akciğer kanserinin ikincil sebebi olarak bilinir. Radon hızlı bozunur ve bozunum sonucu meydana gelen ürünler havadaki asıltı taneciklerine tutunur. Bu tanecikler solunumla alındığında, bronşun değişik kademelerine kadar ilerler [2].

Radyoaktif bozunum süreci devam ettiğinde, gama, alfa ve beta radyasyonu yayınlanmaya devam eder. Alfa tanecikleri yüklü ve ağır olduğu için nüfuz etme derinliği sınırlıdır ancak bronşun yüzeysel hücrelerine nüfuz edebilirler. EPA, Amerika Birleşik Devletlerindeki bütün kanser ölümlerinin %10-%12'sinin kapalı ortamdaki radon gazı solunmasına bağlı olduğu belirtilmektedir [2].

Bu etkilenmeye bağlı olarak Amerika Birleşik Devletlerindeki her yıl 17400 akciğer kanseri radona dayalı olduğu hesaplanmaktadır [35].

Bununla birlikte sigara ve radonun birlikte etkisinin, tek tek yaptıklarından en az on kat daha fazla oranda akciğer kanserine sebep olduğu da rapor edilmiştir [2].

Radondan kaynaklanan bireysel akciğer kanser olma riski çoğunlukla, radon gazı aktivite derişim seviyesi, ışınlama veya maruziyet süresi ve bireylerin sigara alışkanlıkları olmak üzere üç faktöre bağlıdır. Bireysel olarak kanser olma riski, yüksek seviyeli radona uzun süreyle maruz kalındığında artmaktadır. EPA raporunda, radona maruz kalmanın bazı riskler taşıdığı ve güvenli radon seviyesinin olmadığı, radon seviyesinin, 148 Bq/m³ değerinin altında olsa bile bazı risklerin söz konusu olduğu ve akciğer kanser riskinin, radon seviyesi düşürülerek azaltılabileceği belirtilmiştir [35].

Radonla ilgili olarak hesaplanan risk Tablo 2.4'de verilmektedir.

Tablo 2.4. Hesaplanan radon riski [35]

Radon seviyesi (Bq/m ³)	Hayatı boyunca bu seviyeye maruz kalan ve sigara bağımlısı 1000 kişiden	Hayatı boyunca bu seviyeye maruz kalan ve sigara bağımlısı olmayan 1000 kişiden
740	Yaklaşık 260 kişi akciğer kanserine yakalanabilir	Yaklaşık 36 kişi akciğer kanserine yakalanabilir
296	Yaklaşık 120 kişi akciğer kanserine yakalanabilir	Yaklaşık 15 kişi akciğer kanserine yakalanabilir
148	Yaklaşık 62 kişi akciğer kanserine yakalanabilir	Yaklaşık 7 kişi akciğer kanserine yakalanabilir
74	Yaklaşık 32 kişi akciğer kanserine yakalanabilir	Yaklaşık 4 kişi akciğer kanserine yakalanabilir
15	Yaklaşık 3 kişi akciğer kanserine yakalanabilir	-

2.7. Radon Ölçme Yöntemleri

Radon, iki günden bir yıla kadar farklı dönemlerde ölçülebilir. Ölçme işlemi, ölçüm cihazının kapasitesi ile belirlenen gün sayısına bağlı olarak kısa dönem ve uzun dönem olarak iki şekilde sınıflandırılabilir. Kısa dönem ölçümü, alfa iz dedektörleri, elektrik iyon odası, sürekli izleme cihazı veya kömür aktifli sıvı sintilasyon dedektörleri gibi cihazların (ölçüm yapılacak alana örneğin okul odasına, 2 gün - 90 gün arasında değişebilen bir süreyle yerleştirilmesi suretiyle yapılan en hızlı radon ölçümüdür. Uzun dönem ölçümünde ölçme cihazı, ölçüm yapılacak alana 90 günden daha fazla süre için yerleştirilir.

Radon ölçümü, doğrudan radon veya dolaylı olarak radon ve bozunum ürünleri dikkate alınarak yapılmaktadır. Radyoaktif bozunum sürecinde alfa (α) taneciği (alfa radyasyonu veya alfa ışını) yayınlayan radon ve bozunum ürünleri (^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{210}Pb ve ^{210}Bi), aynı zamanda beta (β) bozunumu yaparak beta radyasyonu (veya enerjik elektronlar) ve bu bozunuma eşlik eden gama (γ)-ışını da yayınlarlar. Dolayısıyla radon, alfa, beta veya gama-ışını ölçümleri yapılarak analiz edilebilmektedir. Radon ölçümü için pasif ve aktif olmak üzere iki teknik veya yöntem kullanılmaktadır. Pasif ölçme yöntemde kullanılan cihazlar, elektrik enerjisini ihtiyaç duymayan cihazlardır. Pasif cihazlar, kapalı ortamda uygun bir yere yerleştirilerek uzun süreyle radona maruz bırakılırlar. Bu cihazlardan bazıları aşağıda verilmektedir:

- a) Katı-hal iz dedektörleri
- b) Alfa kart
- c) Kömür aktifli sıvı sintilasyon dedektörleri
- d) Termoluminesans dedektörler
- e) Katı-hal elektronik dedektörler
- f) İyon odaları ve elektrometreler

Aktif cihazlar, elektrik güç kaynağına ve cihaz içine gazın pompalanmasını sağlayan düzeneğe ihtiyaç duyan cihazlardır ve bu cihazlardan bazıları aşağıda verilmektedir:

- a) Sürekli radon izleme cihazı
- b) Sürekli çalışma seviyesi izleme cihazı

BÖLÜM 3

MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Ölçüm Yapılacak Okulların Seçimi

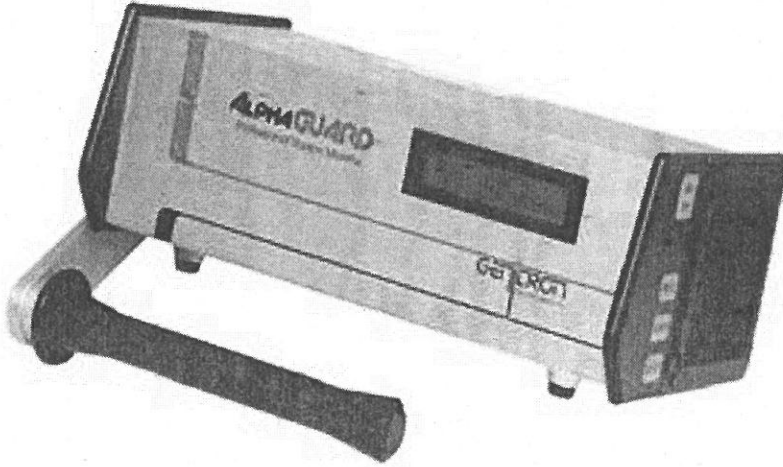
Nevşehir, 38°12' ve 39° 20' N enlemleri ile 34° 11' ve 35° 06' E boylamları arasında İç Anadolu Bölgesinde yer alan, yüzölçümü 5.467 km² olan, 2014 yılı itibarıyla 286.250 nüfusuna sahip Kapadokya Bölgesinin merkezinde turizm açısından ülkemizin önemli bir şehridir. Nevşehir İli alan olarak, III. jeolojik zamanın sonlarıyla IV. Jeolojik zamanın başlarında ortaya çıkan kıvrılma-sıkışmalar ve Erciyes, Melendiz ve Hasandağı gibi eski yanardağların kül ve lavlarının birikmesiyle oluşmuş çok geniş bir plato üzerinde yer almaktadır [37].

Nevşehir ve civarı, premesozoyik-paleozoyik birimleri, kretase birimleri, tersiyer birimleri ve kuvaterner birimlerinden oluşmaktadır. Bu birimler, fillat, serisit-kloritşist, kalkışist, mermer ve kuvarşistlerden, gri-boz, beyaz, şeker dokulu, iri kristalli mermerlerden, granit, granodiyorit, diyoritporfir, monzonit, lökogradit, siyenit, kuvarsporfir türü kayalardan, paralel katmanlı çakıltası, çamurtaşından, kumtaşı ve kumlu marnlardan, silisli, orta tabakalı kireçtaşı ile bitümlü şeylden, koyu renkli konglomeradan, linyitli, marndan,volkanik breş, aglomera, lapilli ve tuf kayalardan oluşmaktadır [37].

Nevşehir İl merkezinde, 5 anaokulu, 15 ilk ve orta okul, 13 ilkokul, 12 orta okul, 3 kolej, ve 14 lise olmak üzere toplam 62 okul binası mevcuttur. Bu okullarda 28.805 öğrenci eğitim-öğretim görmektedir. Tez kapsamında radon gazı derişimi yapılacak okulların seçimi, Nevşehir İli dört merkeze ayrılarak yapılmıştır. Bu dört merkezden toplam öğrenci sayısının %46'sının eğitim-öğretim gördüğü ve 877 öğretmenin görev yaptığı Milli Eğitim Bakanlığına bağlı toplam 23 orta öğretim okul binası, bir adet öğretmen evi ve Nevşehir Üniversitesine bağlı Fen Edebiyat Fakülte binası seçilmiştir. Bu okulların isimleri ve GPS konumları Tablo 3.1 ve Harita 3.1'de verilmiştir.

3.2. Ölçme Yöntemi

Bu çalışmada, 25 okul binasının zemin katlarındaki radon gazı derişimi, sürekli aktif AlphaGUARD PQ2000 PRO radon cihazı (Resim 3.1) kullanarak ölçülmüştür. Ölçümler için radon cihazı, radon derişimin görelî olarak daha yüksek olabileceği öngörülen her bir okul binasındaki giriş veya zemin katta bulunan sınıflara yerleştirilmiş ve ölçümler yaklaşık 72 saat süreyle devam ettirilmiştir. Ölçme işlemleri, her bir okulda yaz ve kış dönemi olmak üzere 2 defa yapılmıştır. Ayrıca, radon gazı derişiminin ölçümünün yapıldığı her bir sınıfın basıncı, sıcaklığı ve nemi ölçülmüş ve kaydedilmiştir.



Resim 3.1. AlphaGUARD PQ2000 radon gazı ölçme cihazı

AlphaGUARD PQ2000 PRO radon dedektörünün teknik özellikleri Tablo 3.2’de verilmiştir. Silindirik iyonlaşma odalı AlphaGUARD, hava, su ve toraktaki radon ve bozunum ürünlerinin sürekli olarak belirlenmesine yönelik olarak tasarlanmış taşınabilir bir ölçme sistemidir. AlphaGUARD, yüksek algılama verimine, geniş ölçme aralığına, derişimdeki ani değişimlere hızla tepki verebilen ve bakımı kolay darbe-sayım iyonlaşma odalı bir sistemdir. İyonlaşma odasının aktif hacmi 0,56 L’dir. Radon derişimi ölçme aralığı 2-200 000 000 Bq m⁻³tür . Sistem herhangi bir dizüstü veya masa üstü bilgisayara kolaylıkla bağlanabilmektedir. Sistem ortam ölçümünü (background ölçümü) otomatik olarak yapabilmekte ve herhangi bir kontaminasyon durumunda

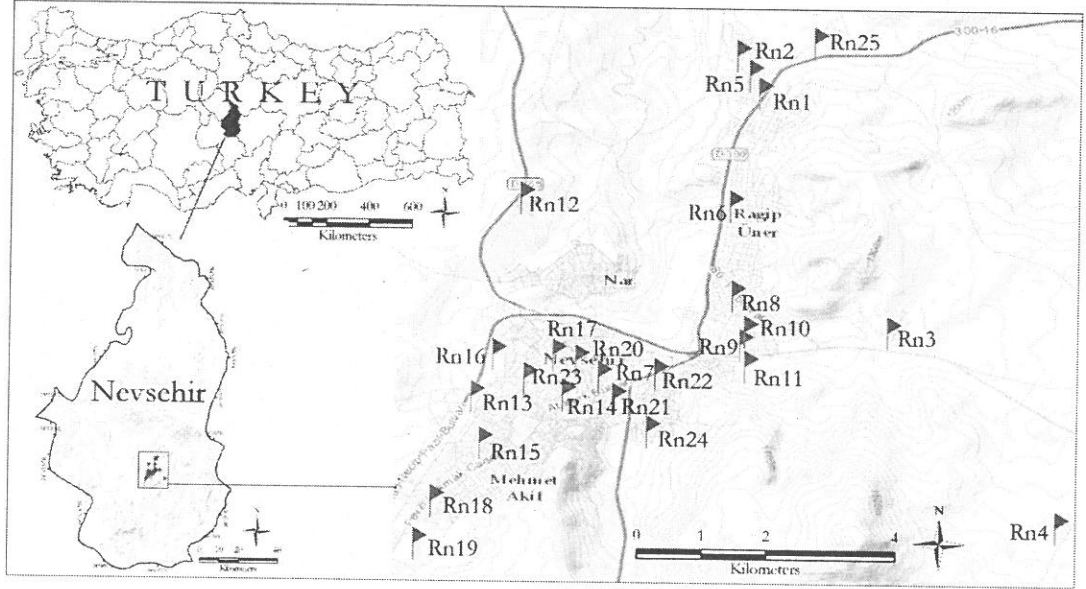
uyarabilmektedir. AlphaGUARD, kapalı ve açık ortamda radon derişimini kısa ve uzun dönme aralıklarında ölçebilen bir sistemdir. AlphaGUARD, referans standartlar ve diğer aktif veya pasif radon detektörlerin kalibrasyonu için uygun bir sistemdir. Sistemin temel konfigürasyonu, bir AlphaGUARD radon izleme monitörü ve verilerin yüklenmesini, değerlendirilmesini ve herhangi bir ortama aktarılmasını sağlayan bir DataEXPERT yazılım paketinden oluşmaktadır.

Tablo 3.1. Radon cihazının teknik özellikleri [38].

Radon dedektör tipi	İyonlaşma odası, Yüksek gerilim=750 VDC
Çalışma modu	3D alfa spektroskopisi ve akım modu
Toplam/aktif dedektör hacmi	0,62 L/0,56 L
Dedektör dolma mekanizması	Akış modu (1/10 dakika çevrim)
Kalibrasyon hatası	%3 (artı birincil standardın belirsizliği)
Kısa süreli tepki fonksiyonu (zaman gecikmesi)	Sinyal > %30 10 dakikadan sonra/sinyal > %70 20 dakikadan sonra/ sinyal > %90 30 dakikadan sonra
Dedektörün duyarlılığı	20 Bq/m ³ 'de 1 CPM
İç dedektör kontaminasyonu sebebiyle background sinyali	< 1 Bq/m ³
Çalışma aralığı	-10...+50 °C / 700...1.100 mbar / 0.99%rH
Ölçüm aralığı	2 - 2,000,000 Bq/m ³
Ağırlığı ve boyutu	4,5 kg ve 120x315x175 mm

3.2.1. Ölçüm Yapılan Okulların Haritadaki Yeri

Harita 3.2. Radon ölçümü yapılan okulların şematik haritası



Tablo 3.2. Radon ölçümü yapılan okullar ve konumları

Kodu	Okul adı	GPS konumu
Rn1	2000 Evler Anadolu Lisesi	38° 40.043' K 034° 44.307' D
Rn2	TOKİ Kız Meslek Lisesi	38° 40.359' K 034° 44.118' D
Rn3	Altınııldız Koleji	38° 38.040' K 034° 45.403' D
Rn4	Kardelen Koleji	38° 36.412' K 034° 46.831' D
Rn5	19 Mayıs İlkokulu	38° 40.195' K 034° 44.225' D
Rn6	50.YIL Anaokulu	38° 39.091' K 034° 44.074' D
Rn7	Nevşehir Lisesi	38° 37.644' K 034° 42.991' D
Rn8	Turgut Akdeveli İlkokulu	38° 38.334' K 034° 44.101' D
Rn9	Damat İbrahim Paşa Ortaokulu	38° 37.925' K 034° 44.169' D
Rn10	Vilayetler Anaokulu	38° 38.036' K 034° 44.208' D
Rn11	Yeni Çeşme İlkokulu	38° 37.743' K 034° 44.212' D
Rn12	Lara Koleji	38° 39.146' K 034° 44.324' D
Rn13	Anadolu Öğretmen Lisesi	38° 37.470' K 034° 41.924' D
Rn14	Öğretmen Evi	38° 37.489' K 034° 42.491' D
Rn15	100. Yıl İlkokulu	38° 37.077' K 034° 41.999' D
Rn16	Örnekevler İlkokulu	38° 37.825' K 034° 42.103' D
Rn17	Pamukçu Ortaokulu	38° 37.829' K 034° 42.608' D
Rn18	Fen Lisesi	38° 36.587' K 034° 41.595' D
Rn19	TOKİ Gökkuşığı Anaokulu	38° 36.229' K 034° 41.451' D
Rn20	Anadolu Lisesi	38° 37.781' K 034° 42.800' D
Rn21	Otelcilik ve Turizm Meslek Lisesi	38° 37.457' K 034° 43.115' D
Rn22	Mihriban Ortaokulu	38° 37.670' K 034° 43.465' D
Rn23	Atatürk İlkokulu	38° 37.627' K 034° 42.369' D
Rn24	Ersular İlkokulu	38° 37.188' K 034° 43.404' D
Rn25	Fen Edebiyat Fakültesi	38° 40.471' K 034° 44.765' D

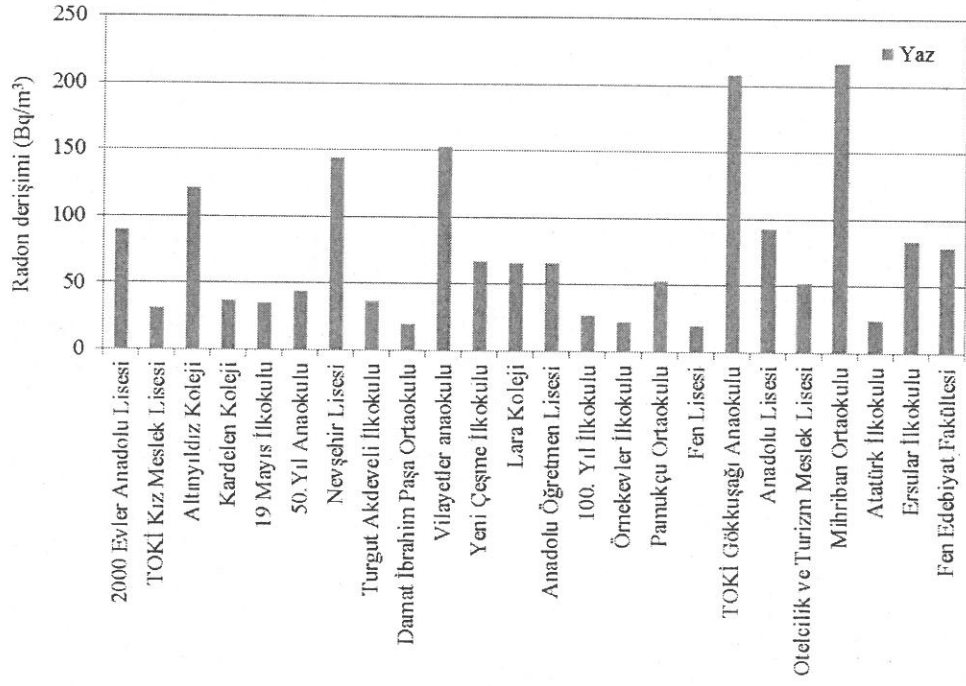
3.2.2. Nevşehir Merkezdeki Okulların Listesi Öğretmen ve Öğrenci Sayıları

Tablo 3.3.Radon Derişimi Ölçümü Yapılan Nevşehir Merkezdeki Okulların Öğretmen ve Öğrenci Sayısı

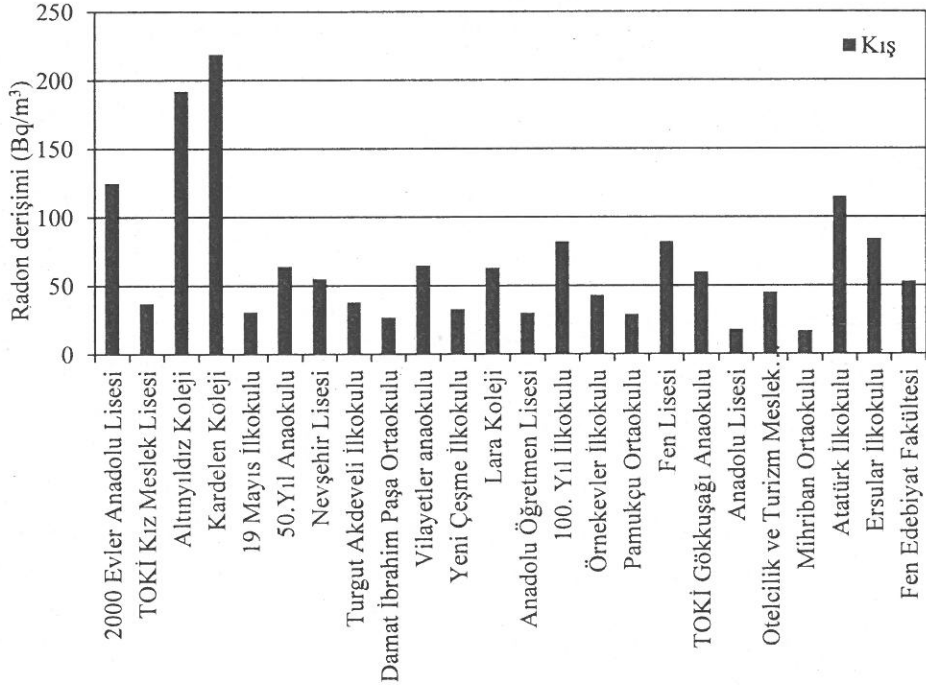
Okul adı	Öğretmen	Öğrenci	Toplam sayısı
2000 Evler Anadolu Lisesi	44	620	664
TOKİ Kız Meslek Lisesi	40	524	564
Altınyıldız Koleji	96	1390	1486
Kardelen Koleji	60	898	958
19 Mayıs İlkokulu	22	402	424
50.YIL Anaokulu	4	106	110
Nevşehir Lisesi	51	804	855
Turgut Akdeveli İlkokulu	42	710	752
Damat İbrahim Paşa Ortaokulu	54	1112	1166
Vilayetler Anaokulu	6	120	126
Yeni Çeşme İlkokulu	35	675	710
Lara Koleji	35	600	635
Anadolu Öğretmen Lisesi	34	364	398
Öğretmen Evi	23	115	138
100. Yıl İlkokulu	30	616	646
Örnekevler İlkokulu	24	438	462
Pamukçu Ortaokulu	43	784	827
Fen Lisesi	22	310	332
TOKİ Gökkuşığı Anaokulu	7	130	137
Anadolu Lisesi	45	636	681
Otelcilik ve Turizm Meslek Lisesi	36	310	346
Mihriban Ortaokulu	49	678	727
Atatürk İlkokulu	44	734	778
Ersular İlkokulu	19	372	391
Fen Edebiyat Fakültesi	145	2405	2550

3.2.3. Ölçümlerin Kıyaslanması (Yaz-Kış)

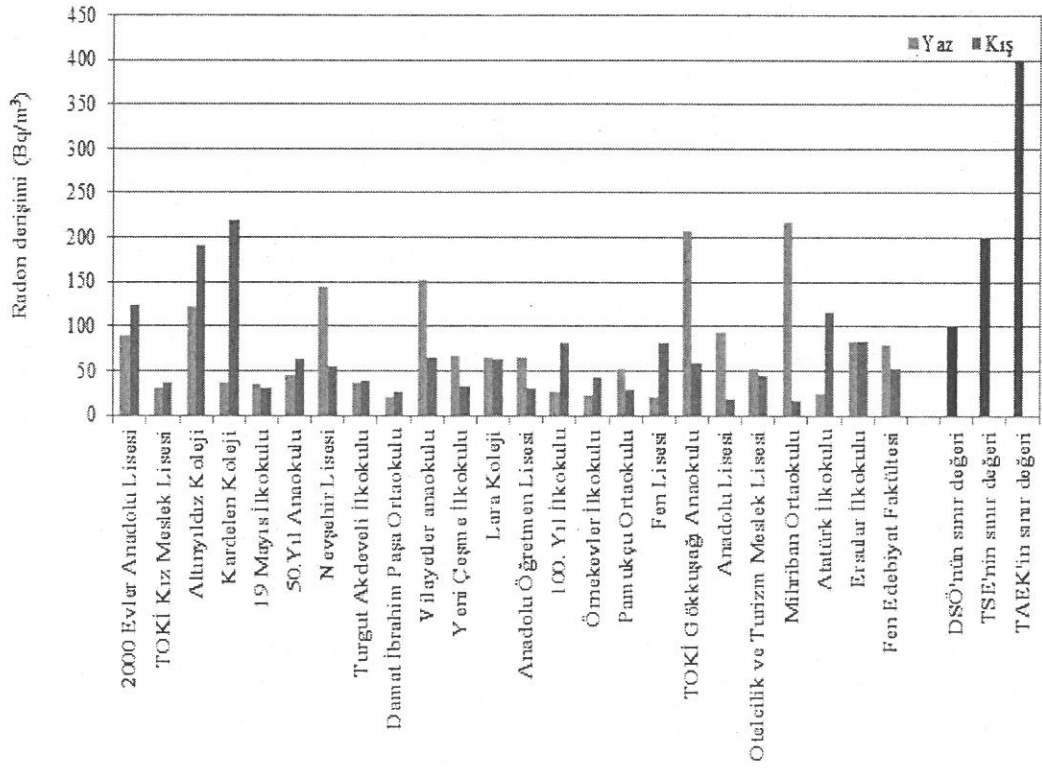
Tablo 3.4. Radon derişimi yapılan okulların yaz mevsimi değerleri



Tablo 3.4. Radon derişimi yapılan okulların kış mevsimi değerleri



Tablo 3.3. Radon derişimi yapılan okulların yaz-kış değerleri karşılaştırması



BÖLÜM 4

ELDE DİLEN BULGULAR

4.1. Okullarda Ölçülen Radon Derişimi

Tablo 3.1.'de verilen okul binalarının radon ölçümünün yapıldığı zemin ve giriş katında bulunan sınıfların sıcaklığı, nem ve basınç değerleri yaz ve kış dönemi için ayrı ayrı ölçülmüştür. Sınıflarda ölçülen ortalama sıcaklık, nem ve basınç değerleri, yaz mevsimi (Temmuz- Ağustos) için Tablo 4.1'de kış mevsimi (Ocak-Mart) için Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Ölçüm yapılan sınıflardaki ölçüm şartları (yaz mevsimi)

Okul adı	Sıcaklık (°C)	Nem (%)	Basınç (mbar)
2000 Evler Anadolu Lisesi	23.2	40.0	881.7
TOKİ Kız Meslek Lisesi	25.0	37.9	884.1
Altınyıldız Koleji	25.2	46.7	874.2
Kardelen Koleji	23.9	49.9	863.9
19 Mayıs İlkokulu	26.3	39.7	885.8
50.YIL Anaokulu	26.9	36.3	882.8
Nevşehir Lisesi	25.3	41.6	877.1
Turgut Akdeveli İlkokulu	23.9	49.9	863.9
Damat İbrahim Paşa Ortaokulu	26.7	35.5	878.5
Vilayetler Anaokulu	27.4	38.5	878.8
Yeni Çeşme İlkokulu	26.1	32.2	877.0
Lara Koleji	23.5	32.1	881.8
Anadolu Öğretmen Lisesi	25.9	30.5	874.2
Öğretmen Evi	25.4	33.2	875.9
100. Yıl İlkokulu	27.2	31.0	877.7
Örnekevler İlkokulu	25.3	30.5	880.3
Pamukçu Ortaokulu	27.1	27.2	877.4
Fen Lisesi	22.6	32.8	868.9
TOKİ Gökkuşığı Anaokulu	22.6	64.0	869.2
Anadolu Lisesi	23.1	40.9	879.6
Otelcilik ve Turizm Meslek Lisesi	26.5	31.4	880.5
Mihriban Ortaokulu	25.4	41.1	879.5

Atatürk İlkokulu	23.9	35.8	878.9
Ersular İlkokulu	26.8	36.7	875.1
Fen Edebiyat Fakültesi	25.1	34.6	885.0

Tablo 4.2. Ölçüm yapılan sınıflardaki ölçüm şartları (kış mevsimi)

Okul adı	Sıcaklık (°C)	Nem (%)	Basınç (mbar)
2000 Evler Anadolu Lisesi	15.4	43.3	877.7
TOKİ Kız Meslek Lisesi	20.6	31.8	882.3
Altınııldız Koleji	18.4	41	865.4
Kardelen Koleji	17.5	38.1	858.7
19 Mayıs İlkokulu	22.5	29.3	887.4
50.YIL Anaokulu	15.3	46.5	886.6
Nevşehir Lisesi	19.1	32.4	886.0
Turgut Akdeveli İlkokulu	21.6	27.7	879.6
Damat İbrahim Paşa Ortaokulu	15.3	29.8	887.4
Vilayetler Anaokulu	20.8	24.2	876.9
Yeni Çeşme İlkokulu	24.3	21	874.7
Lara Koleji	16.2	28.6	886.6
Anadolu Öğretmen Lisesi	17.7	28.8	881.6
Öğretmen Evi	26.9	24.2	864.4
100. Yıl İlkokulu	16	30.6	878.7
Örnekevler İlkokulu	24.3	46	880.9
Pamukçu Ortaokulu	17.5	24	884
Fen Lisesi	24.6	23.3	872.6
TOKİ Gökkuşığı Anaokulu	19.6	27.8	877.4
Anadolu Lisesi	22.9	24.6	884.6
Otelcilik ve Turizm Meslek Lisesi	16.6	20	884.3
Mihriban Ortaokulu	18.9	23.6	887.8
Atatürk İlkokulu	20.2	30.3	878.4
Ersular İlkokulu	22.8	27.5	877.1
Fen Edebiyat Fakültesi	24.1	26.3	886.6

Okul binası ve öğretmen evinde ölçülen radon gazı derişim değerleri yaz mevsimi için Tablo 4.3'te ve kış mevsimi için ise Tablo 4.4'de verilmiştir. Okul binalarında ölçülen ortalama radon derişim değerlerinin birbirleri ile karşılaştırılması Şekil 4.1'de, yaz ve kış mevsiminde ölçülen radon derişimlerinin karşılaştırılması ise Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Okullarda ölçülen radon gazı derişim değerlerine ilişkin istatistiki ve özet bilgi Tablo 4.5'te sunulmuştur ve okullarda ölçülen ortalama radon derişim değerleri, TS 12614 standardında, Türkiye'deki eski ve yeni binalar için tavsiye edilen 200 Bq/m^3 sınır değer ve DSÖ tarafından tavsiye edilen 100 Bq/m^3 sınır değere ile karşılaştırılmıştır. Yaz ve kış mevsiminde ölçülen ortalama radon derişim frekans dağılımları, Şekil 4.3'te gösterilmiştir.

Tablo 4.3. Yaz mevsiminde ölçülen radon derişimi

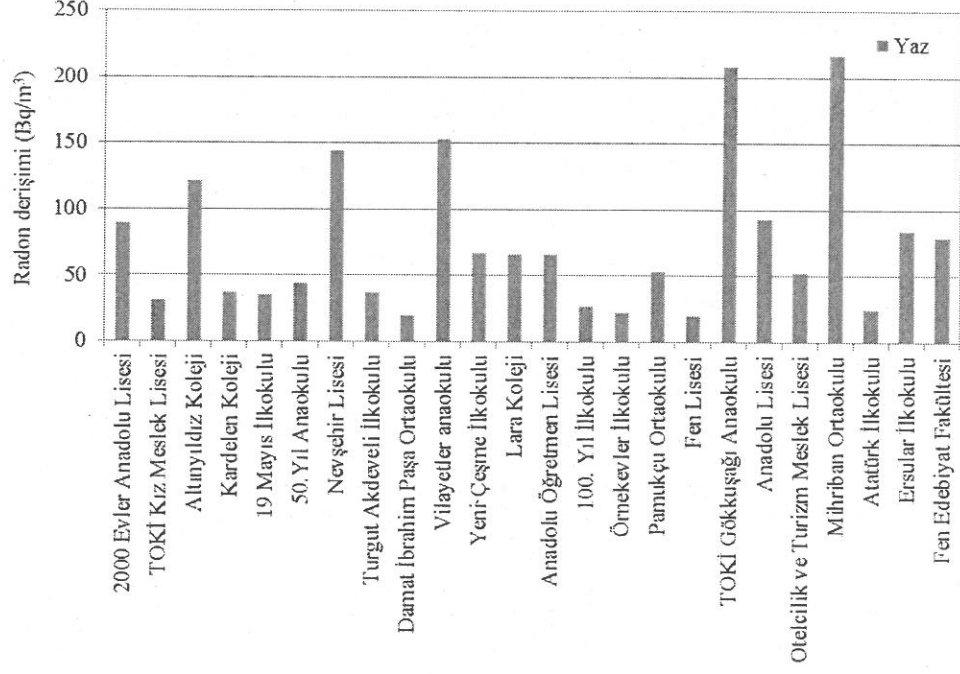
Okul adı	Radon derişimi (Bq/m^3)		
	Aralık		Ortalama
	En küçük	En büyük	
2000 Evler Anadolu Lisesi	15	207	90
TOKİ Kız Meslek Lisesi	13	89	31
Altınyıldız Koleji	46	191	121
Kardelen Koleji	2	123	37
19 Mayıs İlkokulu	6	141	35
50. Yıl Anaokulu	19	91	44
Nevşehir Lisesi	33	268	144
Turgut Akdeveli İlkokulu	2	123	37
Damat İbrahim Paşa Ortaokulu	2	124	20
Vilayetler Anaokulu	30	340	153
Yeni Çeşme İlkokulu	31	147	67
Lara Koleji	20	131	66
Anadolu Öğretmen Lisesi	20	131	66
Öğretmen Evi	2	159	24
100. Yıl İlkokulu	6	61	27
Örnekevler İlkokulu	4	52	22
Pamukçu Ortaokulu	11	113	53
Fen Lisesi	3	80	20
TOKİ Gökkuşığı Anaokulu	31	316	208
Anadolu Lisesi	35	191	93

Otelcilik ve Turizm Meslek Lisesi	22	113	52
Mihriban Ortaokulu	67	330	217
Atatürk İlkokulu	6	162	25
Ersular İlkokulu	27	180	84
Fen Edebiyat Fakültesi	12	221	79

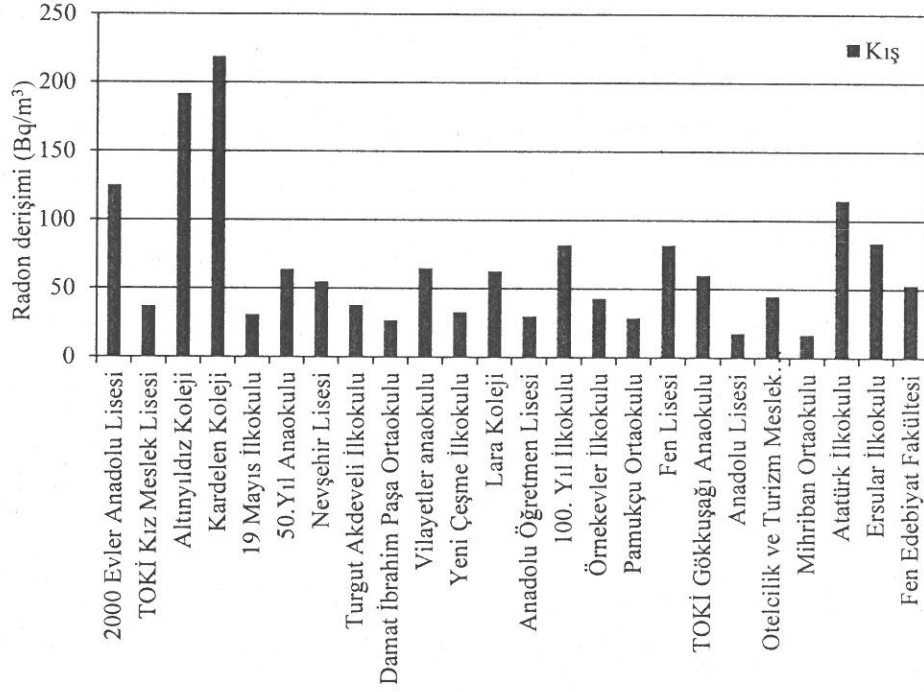
Tablo 4.4. Kış mevsiminde ölçülen radon derişimi

Okul adı	Radon derişimi (Bq/m ³)		Ortalama
	Aralık		
	En küçük	En büyük	
2000 Evler Anadolu Lisesi	33	231	125
TOKİ Kız Meslek Lisesi	17	73	37
Altınııldız Koleji	45	404	192
Kardelen Koleji	101	374	219
19 Mayıs İlkokulu	8	77	31
50.Yıl Anaokulu	29	163	64
Nevşehir Lisesi	9	106	55
Turgut Akdeveli İlkokulu	14	65	38
Damat İbrahim Paşa Ortaokulu	2	54	27
Vilayetler Anaokulu	26	117	65
Yeni Çeşme İlkokulu	10	105	33
Lara Koleji	27	126	63
Anadolu Öğretmen Lisesi	4	64	30
Öğretmen Evi	57	247	125
100. Yıl İlkokulu	32	173	82
Örnekevler İlkokulu	16	107	43
Pamukçu Ortaokulu	8	75	29
Fen Lisesi	25	164	82
TOKİ Gökkuşığı Anaokulu	20	148	60
Anadolu Lisesi	2	66	18
Otelcilik ve Turizm Meslek Lisesi	11	143	45
Mihriban Ortaokulu	2	43	17
Atatürk İlkokulu	45	217	115
Ersular İlkokulu	43	149	84
Fen Edebiyat Fakültesi	15	102	53

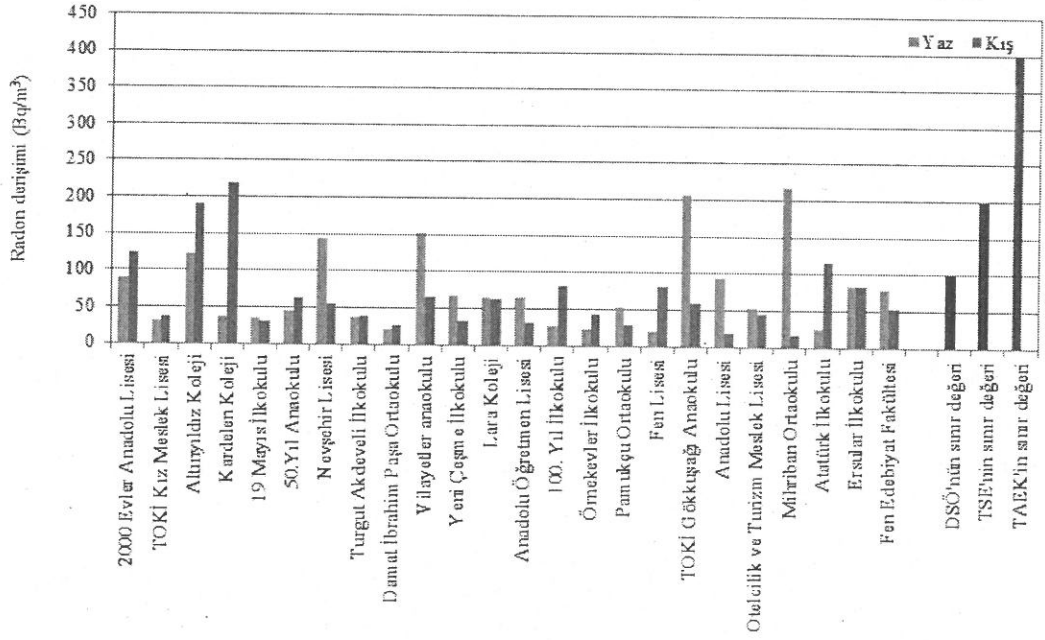
a)



b)



Şekil 4.1. Okullarda mevsimsel olarak ölçülen ortalama radon derişimleri



Şekil 4.2. Yaz ve kış mevsiminde okullarda ölçülen ortalama radon derişimlerinin sınır değerlerle karşılaştırılması

4.2. İç Işınlanmadan Kaynaklanan Etkin Radyasyon Doz Hızı

Kapalı veya açık ortamlarda havanın solunmasıyla vücuda alınabilen radon ve bozunum ürünleri iç ışınlamaya sebep olmaktadır. Bu ışınlanmadan kaynaklanan yıllık etkin radyasyon doz hızı (ERDH) mSv/y cinsinden aşağıda verilen formül ile hesaplanmaktadır [38]:

$$ERDH = C_{Rn} \times F \times D_{CF} \times T \times 10^{-6} \quad (4.1)$$

Burada,

C_{Rn} : ortalama radon derişimi (Bq/m^3)

F: Radon ve bozunum ürünleri arasındaki denge faktörü (hesaplamalarda 0,4 olarak alınmıştır)

D_{CF} : Doz dönüşüm katsayısı (hesaplamalarda $9 \text{ nSv/h}^1/Bq/m^3$ olarak alınmıştır)

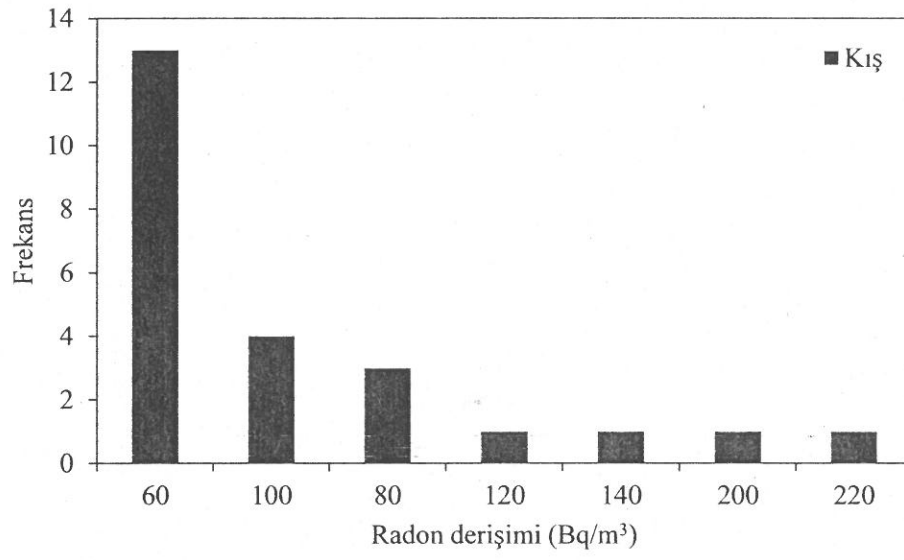
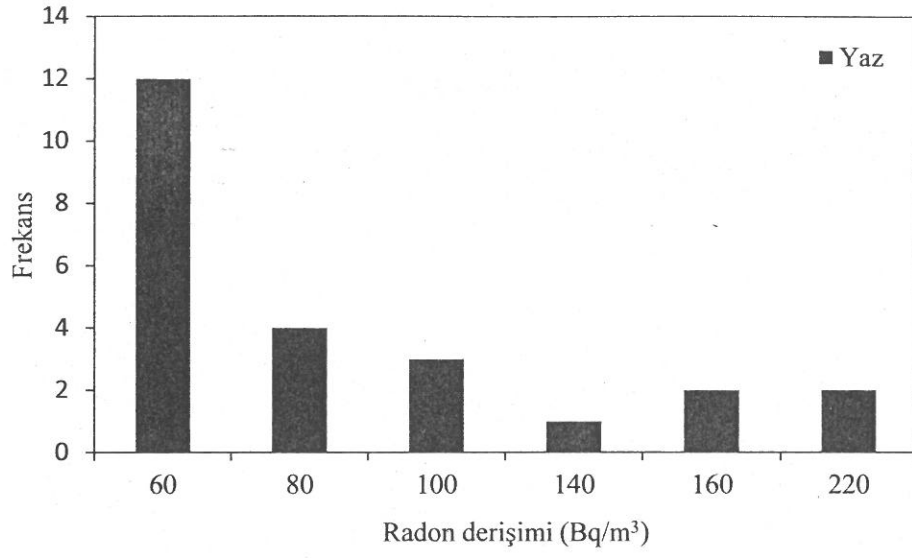
T: Okulda geçirilen ortalama süredir (hesaplamalarda, öğrenciler için 1000 h/y ve öğretmenler için 1500 h/y olarak alınmıştır).

Yaz ve kış mevsimi için okullarda eğitim-öğretim gören öğrencilere ve öğretmenlere ilişkin olarak hesaplanan radondan kaynaklanan yıllık etkin radyasyon doz hızı ortalama

değerleri, Tablo 4.6’da verilmiştir. Öğrencilerin yaz ve kış mevsiminde, radondan dolayı maruz kaldıkları ortalama yıllık etkin doz hızlarının karşılaştırılması, Şekil 4.4’de, öğretmenlerin yaz ve kış mevsiminde, radondan dolayı maruz kaldıkları ortalama yıllık etkin doz hızlarının karşılaştırılması yıllık etkin doz hızlarının karşılaştırılması, Şekil 4.5’de sunulmuştur.

Tablo 4.5. Radon derişimine ilişkin istatistiki ve özet bilgiler

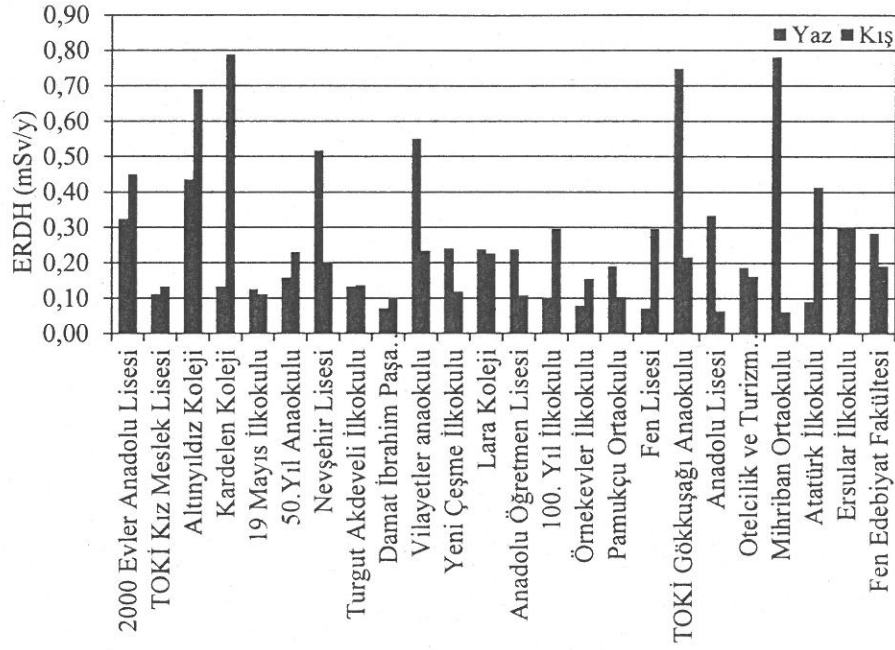
Parametre	Radon derişimi (Bq m ⁻³)	
	Yaz	Kış
En küçük	20	17
En büyük	217	219
Aritmetik ortalama	75	67
Standard hata	12	10
Standard sapma	57	51
Medyan	60	54
Geometrik ortalama	58	54
Çarpıklık	1	2
Basıklık	1	3
<100 Bq/ m ³	79%	88%
100-200 Bq/ m ³	13%	13%
>200 Bq/ m ³	8%	4%
Araştırılan okul binası sayısı	24	
Anaokulu sayısı	3	
İlkokul sayısı	6	
Ortaokul sayısı	4	
Lise sayısı	7	
Kolej sayısı	3	
Fakülte	1	



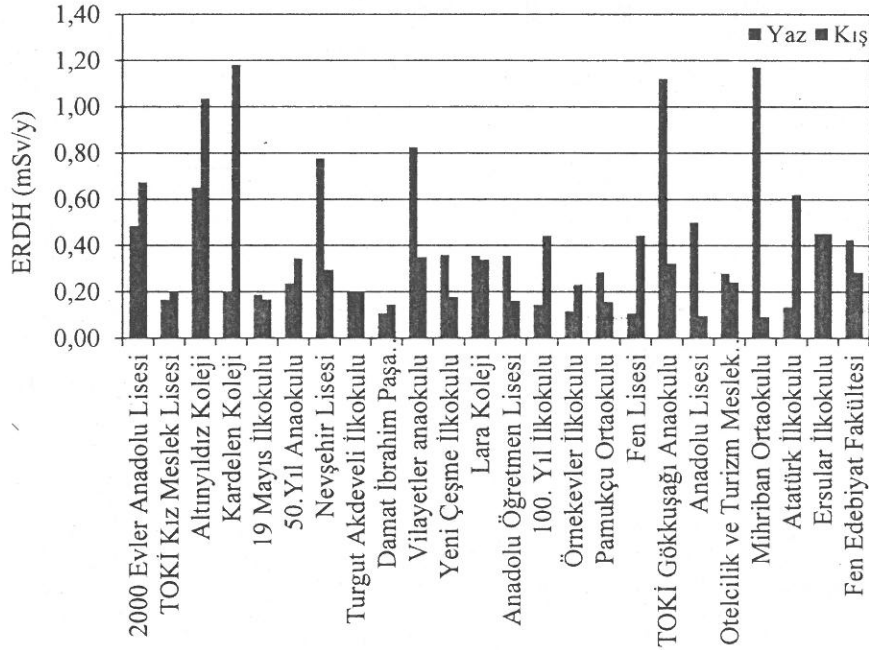
şekil 4.3. Okullarda ölçölen radon derişimi frekans dağılımları

Tablo 4.6. Radon solunumundan kaynaklanan yıllık etkin radyasyon doz hızı

Okul adı	Yıllık etkin radyasyon doz hızı (mSv/y)			
	Yaz mevsimi		Kış mevsimi	
	Öğrenci	Öğretmen	Öğrenci	Öğretmen
2000 Evler Anadolu Lisesi	0.32	0.49	0.45	0.68
TOKİ Kız Meslek Lisesi	0.11	0.17	0.13	0.20
Altınyıldız Koleji	0.44	0.65	0.69	1.04
Kardelen Koleji	0.13	0.20	0.79	1.18
19 Mayıs İlkokulu	0.13	0.19	0.11	0.17
50.Yıl Anaokulu	0.16	0.24	0.23	0.35
Nevşehir Lisesi	0.52	0.78	0.20	0.30
Turgut Akdeveli İlkokulu	0.13	0.20	0.14	0.21
Damat İbrahim Paşa Ortaokulu	0.07	0.11	0.10	0.15
Vilayetler Anaokulu	0.55	0.83	0.23	0.35
Yeni Çeşme İlkokulu	0.24	0.36	0.12	0.18
Lara Koleji	0.24	0.36	0.23	0.34
Anadolu Öğretmen Lisesi	0.24	0.36	0.11	0.16
100. Yıl İlkokulu	0.10	0.15	0.30	0.44
Örnekevler İlkokulu	0.08	0.12	0.15	0.23
Pamukçu Ortaokulu	0.19	0.29	0.10	0.16
Fen Lisesi	0.07	0.11	0.30	0.44
TOKİ Gökkuşluğu Anaokulu	0.75	1.12	0.22	0.32
Anadolu Lisesi	0.33	0.50	0.06	0.10
Otelcilik ve Turizm Meslek Lisesi	0.19	0.28	0.16	0.24
Mihriban Ortaokulu	0.78	1.17	0.06	0.09
Atatürk İlkokulu	0.09	0.14	0.41	0.62
Ersular İlkokulu	0.30	0.45	0.30	0.45
Fen Edebiyat Fakültesi	0.28	0.43	0.19	0.29



Şekil 4.4. Öğrencilerin radondan dolayı maruz kaldıkları ortalama yıllık etkin doz hızı değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 4.5. Öğretmenlerin radondan dolayı maruz kaldıkları ortalama yıllık etkin doz hızı değerlerinin karşılaştırılması

BÖLÜM 5

SONUÇLARIN TARTIŞLAMASI VE ÖNERİLER

Tez kapsamında Nevşehir İl merkezinde bulunan 23 okul, 1 fakülte binasında ve 1 öğretmen evinde yaz ve kış mevsiminde kısa dönem olarak ölçülen radon gazı derişim sonuçları tablo ve grafikler hâlinde sunulmuştur. Tablo 4.3 ve Şekil 4.1 a)'dan görülebileceği gibi yaz mevsiminde, en düşük radon derişimi, Kardelen Koleji, Turgut Akdeveli İlkokulu, Damat İbrahim Paşa Ortaokulu ve Öğretmen evinde 2 Bq/m^3 olarak, en yüksek radon derişimi ise Vilayetler Ortaokulunda 340 Bq/m^3 olarak ölçülmüştür. Yaz mevsiminde ölçülen radon derişiminin ortalama değeri, $20\text{-}217 \text{ Bq/m}^3$ aralığında değişmektedir. Tablo 4.4 ve Şekil 4.1 b)'den görülebileceği gibi kış mevsiminde, en düşük radon derişimi, Damat İbrahim Paşa Ortaokulu, Anadolu Lisesi ve Mihriban Ortaokulunda 2 Bq/m^3 olarak, en yüksek radon derişimi ise Altınyıldız Kolejinde 404 Bq/m^3 olarak ölçülmüştür. Kış mevsiminde ölçülen radon derişiminin ortalama değeri, $17\text{-}219 \text{ Bq/m}^3$ aralığında değişmektedir. Okulların tamamı içinde en yüksek radon derişimi kış mevsiminde Altınyıldız Kolejinde 404 Bq/m^3 olarak ölçülmüştür. Yaz mevsiminde okullarda ölçülen radon derişiminin aritmetik ve geometrik ortalaması $75\pm 12 \text{ Bq/m}^3$ ve 58 Bq/m^3 iken kış mevsiminde ölçülen radon derişiminin aritmetik ve geometrik ortalaması $67\pm 10 \text{ Bq/m}^3$ ve 54 Bq/m^3 'tür. Radon derişiminin aritmetik ve geometrik ortalama değerleri göz önüne alındığında, yaz ve kış mevsiminde ölçülen radon derişim değerleri birbirine yakın olarak ölçülmüş iken yaz mevsiminde ölçülen radon derişim değerleri, okul sayısının yaklaşık %50'sinde kış mevsime göre daha yüksek çıkmıştır. Tablo 4.5'de verilen radon derişimine ilişkin istatistikî ve özet bilgiler ve Şekil 4.2 göz önüne alındığında:

- Yaz mevsiminde Altınyıldız Koleji, Nevşehir Lisesi, Vilayetler Anaokulu, TOKİ Gökkuşığı Anaokulu ve Mihriban Ortaokulunda ölçülen ortalama radon derişiminin DSÖ tarafından tavsiye edilen üst sınır olan 100 Bq/m^3 'ten daha büyüktür. Dolayısıyla okulların %79'unda ölçülen radon derişimi DSÖ'nün üst sınırının altındadır. Kış mevsiminde 2000 Evler Anadolu Lisesi, Kardelen Koleji ve Atatürk İlkokulunda ölçülen ortalama radon derişiminin DSÖ'nün üst sınırından daha büyüktür. Dolayısıyla okulların %88'inde ölçülen radon derişimi DSÖ'nün üst sınırının altındadır.

- Yaz mevsiminde TOKİ Gökkuşuğu Anaokulu ve Mihriban Ortaokulunda ölçülen ortalama radon derişiminin TSE standardında yer alan edilen üst sınır olan 200 Bq/m^3 'ten daha büyüktür. Dolayısıyla okulların %92'nde ölçülen radon derişimi TSE'nin üst sınırının altındadır. Kış mevsiminde Kardelen Kolejinde ölçülen ortalama radon derişiminin TSE'nin üst sınırından daha büyüktür. Dolayısıyla okulların %96'ında ölçülen radon derişimi TSE'nin üst sınırının altındadır.

- Yaz ve kış mevsiminde bütün okullarda ölçülen ortalama radon derişim değerleri, TAEK'in kabul ettiği üst sınır olan 400 Bq/m^3 'ten önemli ölçüde daha küçüktür. Tablo 4.5'de verilen basıklık katsayısının pozitif değeri, bütün okullarda ölçülen ortalama radon derişim değerleri dağılımının simetrik olmadığını göstermektedir. Şekil 4,3'ten de görülebileceği gibi yaz ve kış mevsiminde bütün okullarda ölçülen radon derişimi frekans dağılımları, log-normal dağılım ile çok iyi şekilde uyuşmaktadır.

Tablo 4.6'daki veriler göz önüne alındığında:

- Yaz mevsiminde öğrenci ve öğretmenlerin radonun solunmasından dolayı aldıkları yıllık etkin radyasyon doz hızları, sırasıyla $0,07-0,78 \text{ mSv/y}$ aralığında ve $0,11-1,17 \text{ mSv/y}$ aralığında değişmektedir.

- Kış mevsiminde öğrenci ve öğretmenlerin radonun solunmasından dolayı aldıkları yıllık etkin radyasyon doz hızları, sırasıyla $0,06-0,79 \text{ mSv/y}$ aralığında ve $0,09-1,18 \text{ mSv/y}$ aralığında değişmektedir.

Bu değerler, öğrenci ve öğretmenlerin yaz ve kış mevsiminde radondan hemen hemen aynı büyüklükte etkilendiğini göstermektedir. ICRP tarafından kapalı ortamlarda radon gazından dolayı maruz kalınan yıllık etkin radyasyon doz hızını müdahale aralığı $3-10 \text{ mSv/y}$ olarak tavsiye edilmiştir [38]. Öğrenci ve öğretmenler için hesaplanan bütün yıllık etkin radyasyon doz hızları, tavsiye edilen müdahale aralığından önemli ölçüde daha küçüktür.

Sonuç olarak Nevşehir İl merkezinde bulunun 23 okul ve bir fakülte binasında ve bir öğretme evinde ölçülen radon gazı derişim değerleri, Türkiye'deki ev ve okul binalar için

tavsiye edilen sınır değerlerden daha küçük çıkmıştır. Öğrenci ve öğretmenler için hesaplanan yıllık etkin radyasyon doz hızı, müdahale aralığından çok daha düşüktür. Bu durumda, ölçümü yapılan okullarda öğrenci ve öğretmenler için sağlık açısından radon gazı derişiminin sebep olabileceği herhangi bir radyolojik risk gözükmemektedir.

Öneriler

Bununla birlikte kapalı ortamlarda radon gazı derişiminin azaltılması için aşağıda verilen tedbirlerin alınması önemlidir.

- Konut, okul ve iş yeri binalarının havalandırılması hayati önem arz etmektedir. Bu tür kapalı ortamların sıkça havalandırılması gerekmektedir.

- Konut, okul ve iş yeri binalarının özellikle bodrum katlarının, toprakla temas eden yüzeyleri sızıntıya imkân vermeyecek şekilde izole edilmelidir. Radon düzeyi yüksek olabileceğinden eski evlerde çatlaklar kapatılmalı, izolasyon yapılmalıdır. Yerden ve duvarlardan bina içine sızan radon gazının bina içindeki birikimini önlemek için binanın havalandırılmasına özen gösterilmelidir.

- Konut, okul ve iş yeri binaları yapılmadan önce inşa edilecek zemindeki toprak ve kayada bulunan uranyum, radyum ve toryum radyonüklitlerinin aktivite derişimleri ile radon gazı derişiminin ölçülmesi gerekmektedir. Çünkü doğal radyonüklitlerin aktivite derişimleri, bölgenin jeolojik ve jeokimyasal yapısına bağlı olarak bölgeden bölgeye değişiklik göstermektedir.

- Ayrıca ev, okul ve işyeri binalarında düşük seviyede doğal radyonüklit içeren yapı malzemelerinin kullanılmasına öze gösterilmelidir. Çünkü bu tür kapalı ortamlardaki radon derişiminin yaklaşık %30'unu yapı malzemeleri oluşturmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Assembly, G., UNSCEAR 2008, Report, "Sources and effects of ionizing radiation", *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, United Nations Publication, New York, USA, 2010.*
2. Güler, Ç. , Çobanoğlu, Z. , "Radon Kirliliği", *Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi 44, Sağlık Bakanlığı, s.1-47,1997.*
3. IARC (International Agency for Research on Cancer), "Radon manmade mineral fibres". *Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, vol. 43. ISBN 92-832-1243-6, Lyon, 1988.*
4. WHO (World Health Organization), "WHO handbook on indoor radon: A public health perspective". *Geneva. 2009.*
5. EC (European Commission), "Radiation protection 88", *Recommendations for the implementation of Title VII of the European Basic Safety Standards Directive (BSS) concerning significant increase in exposure due to natural radiation sources, Directorate- General Environment, Nuclear Safety and Civil Protection, 1997.*
6. TAEK, Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği. 24/03/2000 tarihli ve 23999 sayılı Resmi Gazete.
7. TS 12614, "Çevre Sağlığı- Kapalı Ortamda Radon Kirliliğine Karşı Alınacak Tedbirler". *Ulusal Standard, Türk Standardları Enstitüsü. 1999.*
8. Poffijn A., Uyttenhove J., Drouget B., Tondeur F., "The radon problem in schools and public buildings in Belgium". *Radiat. Prot. Dosim. 45(1-4), 499-501. ,1992.*
9. Ennemoser O., Schneider P., Ambach W., Brunner P., "Increased radon concentrations in classrooms used for pottery workshops". *Sci. Total Environ. 116(3), 291-295. ,1992.*
10. Kunz C., Fisher K., McNulty C., "Soil characterization for indoor radon potential at eighteen schools in New York State. Environ". *Inter. 22(1), 557-561. 1996.*
11. Ďurčik M., Havlik F., Vičanová M., Nikodemová D., "Radon risk assessment in Slovak kindergartens and basic schools". *Radiat. Prot. Dosim. 71(3), 201-206. 1997.*

12. Kullab M.K., Al-Batina B.A., Ismail A.M., Abumurad K.M., Ghaith A., "Study of Radon-222 concentration levels inside kindergartens in Amman". *Radiat. Meas.* 28(1-6), 699-702. 1997.
13. Gaidolfi L., Malisan M.R., Bucci S., Cappai M., Bonomi M., Verdi L., Bochicchio F., "Radon measurements in kindergartens and schools of six Italian regions". *Radiat. Prot. Dosim.* 78(1), 73-76. , 1998.
14. Malanca A., Fava R., Gaidolfi L., "Indoor radon level in kindergartens and play-schools from the Province of Parma". *J. Environ. Radioact.* 40(1), 1-10. 1998.
15. Amrani D., "Dose assessment due to radon concentrations in schools and dwellings of Algiers". *Radiat. Prot. Dosim.* 87(2), 133-135. 2000.
16. Giovani C., Cappelletto C., Garavaglia M., Scruzzi E., Peressini G., Villalta R., "Radon survey in schools in north-east Italy". *Radiat. Prot. Dosim.* 97(4), 341-344. 2001.
17. Vaupotič J., Hunyadi I., Baradács., "Thorough investigation of radon in a school with elevated levels". *Radiat. Meas.* 34, 477-482. 2001.
18. Vaupotič J., Kobal I., "Radon exposure in Slovenian kindergartens and schools". *Int. Cong. Series 1276*, 375-376. 2005.
19. Banjanac R., Dragić A., Grabež B., Joković D., Markushev D., Panić B., Udovičić V., Aničin I., "Indoor radon measurements by nuclear track detectors: application in secondary schools". *Facta Universitatis, Physics, Chemistry and Technology 4*, 93-100. 2006.
20. Synnott H., Hanley O., Fenton D., Colgan P.A., "Radon in Irish schools: the results of a national survey". *J. Radiol. Prot.* 26(1), 85-96. 2006.
21. Bahtijari M., Stegnar P., Shemsidini Z., Ajazaj H., Halimi Y., Vaupotič, Kobal I., "Seasonal variation of indoor air radon concentration in schools in Kosova". *Radiat. Meas.* 42, 286-289. 2007.
22. Papaefthymiou H., Georgiou C.D., "Indoor radon levels in primary schools of Patras, Greece". *Radiat. Prot. Dosim.* 124(2), 172-176. 2007.
23. Bahtijari M., Stegnar P., Shemsidini Z., Kobal I., Vaupotič J., "Indoor air radon concentration in schools in Prizren, Kosovo". *Radiat. Prot. Dosim.* 121(4), 469-473. 2006.

24. Venoso G., De Cicco F., Flores B., Gialanella L., Pugliese M., Roca V., Dabbarese C., "Radon concentrations in schools of the Neapolitan area". *Radiat. Meas.* 44, 127-130. 2009
25. Clouvas A., Takoudis G., Xanthos S., Potiriadis C., Kolovou M., "Indoor radon measurements in areas of northern Greece with relatively high indoor radon concentrations". *Radiat. Prot. Dosim.* 136(2), 127-131. 2009.
26. Rafique M., Rahman S.U., Rahman S., Matiullah, Shahzad m.I., Ahmed N., Iqbal J., Ahmed B., Ahmed T., Akhtar N., "Assessment of indoor radon doses received by the students in the Azad Kashmir schools, Pakistan". *Radiat. Prot. Dosim.* 142(2-4), 339-346. 2009.
27. Obed R.I., Ademola A.K., Vascotto M., Giannini G., "Radon measurements by nuclear track detectors in secondary schools in Oke-Ogun region, Nigeria". *J. Environ. Radioact.* 102, 1012-1017. 2011.
28. Clouvas A., Xanthos S., Takoudis G., "Indoor radon levels in Greek schools". *J. Environ. Radioact.* 102, 881-885. 2011.
29. Park C.H., Lee J.M., Jang S.Y., Kim S.J., Moon J.H., "A study of monitoring and mapping for Radon-concentration distribution in Gyeongju-12201". *WM2012 Conference February 26-March 1, Phoenix, Arizona, USA.* 2012.
30. Trevisi R., Leonardi F., Simenoni C., Tonnarini S., Veschetti M., "Indoor radon levels in schools of south-east Italy". *J. Environ. Radioact.* 112, 160-164. 2012.
31. Kapdan E., Altinsoy N., "A comparative study of indoor radon concentrations between dwellings and schools". *Radiat. Phys. Chem.* 81(4), 383-386. 2012.
32. Poulin P., Leclerc J.M., Dessau J.C., Deck W., Gagnon F., "Radon measurement in schools located in three priority investigation areas in the province of Quebec, Canada". *Radiat Prot Dosim.* 151 (2), 278-289. 2012.
33. Burghel B.D., Cosma C., "Thoron and radon measurements in Romanian schools". *Radiat Prot Dosim.* 151 (1-3), 38-41. 2012.
34. Ćurguz Z., Žunić Z.S., Tolledsen T., Jovanović P., Nikezić D., Kolarž P., "Active and passive radon concentration measurements and first-step mapping in schools of Banja Luka, Republic of Srpska". *Rom. J. Phys.* 58, 90-98. 2013.

35. Tahani T. M. A., "Indoor radon concentration in kindergartens, play- and elementary schools in Zulfy city (Audi Arabia)", *King Saud University, Faculty of Graduate Studies, Master of Thesis*, Riyadh 2007.
36. Mallah K. B. Y., "Indoor Exposure Assessment and Health Hazard of Radon in the Elementary Schools of Tulkarem Province, Palestine", *Faculty of Graduate Studies, An-Najah National University, Master of Thesis*, Nablus, Palestine 2013.
37. Nevşehir Valiliği Çevre ve Şehircilik "İl Müdürlüğü, İl Çevre Durum Raporu", Nevşehir, 2012.
38. Assembly, G., UNSCEAR 2000, Report, "Sources and effects of ionizing radiation", United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, United Nations Publication, New York, USA, 2000.
39. ICRP (International Commission on Radiological Protection): "Protection against Radon 222 at home and at work. Annals of ICRP, ICRP Publication, No.65. Pergamon. 1993.

ÖZGEÇMİŞ

Serdar AKYÜREK 1973 yılında Kırşehir’de doğdu. İlk ve orta öğrenimini Kırşehir ili Mucur ilçesinde tamamladı. 1992 yılında Atatürk Üniversitesi Kazım Karabekir Eğitim Fakültesi Fizik Öğretmenliğinden 1996 yılında mezun oldu. 1996-2017 yılları arasında Milli Eğitim Bakanlığı’nda öğretmenlik yaptı. Evli ve 2 çocuk babası olup hâlen Nevşehir İli Merkez İlçesi 15 Temmuz Şehitleri Anadolu Lisesi’nde Fizik Öğretmeni olarak görev yapmaktadır.

Adres: 15 Temmuz Şehitleri Anadolu Lisesi 2000 Evler Mahallesi

Merkez - Nevşehir

Telefon: 0 505 3931873

e-posta : serdarfizik@hotmail.com