T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KONYA'NIN ILGIN İLÇESİNDE KAPLICA VE OKULLARDA KAPALI ORTAM RADON KONSANTRASYONUNUN İNCELENMESİ

Tezi Hazırlayan
Murat ABAKA

YÜKSEK LİSANS
Fizik Anabilim Dalını

Eylül-2019
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KONYA'NIN ILGIN İLÇESİNDE KAPLICA VE OKULLARDA KAPALI ORTAM RADON KONSANTRASYONUNUN İNCELENMESİ

Murat ABAKA

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Prof. Dr. Mehmet ERDOĞAN

2019, 42 Sayfa

Jüri
Prof. Dr. Mehmet ERDOĞAN
Prof. Dr. Kaan MANİSA
Prof. Dr. Ülfet ATAV

Bu çalışmada, Konya'nın Ilgın ilçesinde bulunan anaokulu, ilkokul, ortaokul ve liseden oluşan 19 okul ve 3 kaplıca binasında zemin ve bodrum katlarda kapalı ortam radon aktivite konsantrasyon değerleri üç gün boyunca sürekli olarak AlphaGUARD PQ2000 PRO aktif radon detektörü kullanılarak ölçülmüştür. Kapalı ortam radon aktivite değerleri 25 Bq m^{-3} ila 415 Bq m^{-3} aralığında bulunmuştur. Bu ölçüm değerlerine göre kapalı ortamda bulunan kişiler için radona bağlı yıllık etkin doz değeri tahminleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar ulusal ve uluslararası kuruluşlar tarafından tavsiye edilen limit değerleri ile karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ilgın, kapalı ortam radon aktivitesi, kaplıcalar, okullar, yıllık etkin doz

ABSTRACT

MS THESIS

INVESTIGATION OF INDOOR RADON CONCENTRATION AT THERMAL SPAS AND SCHOOLS IN ILGIN DISTRICT OF KONYA

Murat ABAKA

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES OF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN PHYSICS

Advisor: Prof. Dr. Mehmet ERDOĞAN

2019, 42 Pages

Jury
Prof. Dr. Mehmet ERDOĞAN
Prof. Dr. Kaan MANİSA
Prof. Dr. Ülfet ATAV

In this study, indoor radon activity concentration values in ground and basement floors of 3 thermal spas and 19 schools consisting of kindergarten, primary school, secondary school and high school in Ilgın district of Konya were measured by using AlphaGUARD PQ2000 PRO active radon detector for three days. Measured indoor radon activity concentration results ranged from 25 Bq m^{-3} to 415 Bq m^{-3}. According to these measurements, the annual effective doses were estimated due to radon for the people in the indoor environment. The results were compared with the limit values recommended by national and international organizations.

Keywords: Ilgın, indoor radon activity, thermal springs, schools, annual effective dose

ÖNSÖZ

Yüksek lisans öğrenimim ve tez çalışmam süresince her türlü konuda desteğini benden esirgemeyen, tüm bilgilerini benimle paylaşmaktan kaçınmayan ve tezimde büyük emeği olan danışmanım Prof. Dr. Mehmet ERDOĞAN'a, beni yetiştiren aileme, tezin hazırlanması sırasında manevi desteği ile yanımda olan eşim Hamide ABAKA ile kızım Kıymet Aycan'a, ölçüm yaptığım okullardaki ve kaplıcalardaki personel ve yönetici kadrosundaki arkadaşlara en içten dileklerimle teşekkürlerimi sunarım.

Murat ABAKA

KONYA-2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **i**

ABSTRACT ..... **ii**

ÖNSÖZ ..... **iii**

İÇİNDEKİLER ..... **iv**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **v**

1. GİRİŞ **1**

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **3**

3. RADYASYON KAYNAKLARI **8**

3.1. Doğal Radyasyon Kaynakları 8
3.1.1. Radon 10
3.1.2. Kapalı Ortamlarda Radon 12
3.1.3. Radonun Sağlık Üzerine Etkileri 14
3.1.4. Radon Aktivite Konsantrasyon Limitleri 15
3.2. Yapay Radyasyon Kaynakları 16
3.3. Radyasyon Birimleri 16
3.3.1. Aktivite 16
3.3.2. Işınlama 17
3.3.3. Soğurulmuş Doz 17
3.3.4. Radyasyon Doz Eşdeğeri 17
3.3.5. Etkin Doz 18

4. MATERYAL VE YÖNTEM **19**

4.1. Çalışma Bölgesi ve Jeolojik Yapı 19
4.2. AlphaGUARD Radon Detektörü 20
4.3. Okullarda Kapalı Ortam Radon Ölçümü 22
4.4. Kaplıcalarda Kapalı Ortam Radon Ölçümü 24
4.5. Kapalı Ortam Radona Bağlı Doz Tahmini 25

5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA **26**

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER **36**

6.1 Sonuçlar 36
6.2 Öneriler 37

KAYNAKLAR **39**

ÖZGEÇMİŞ **42**

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

mSv	Milisivert
MeV	Milyon elektron volt
α	Alfa
β	Beta
γ	Gama
nm	Nanometre
Rem	Röntgen Equivalent Man
Bq	Becquerel
m	Metre
Coulomb(C)	Elektrik yükü birimi
Kg	Kilogram
^{o}C	Sıcaklık ölçü birimi (Santigrat derece)
R	Röntgen
SI	Uluslararası Birimler Sistemi
D	Soğrulan doz
J	Joule (Enerji birimi)
Gy	Gray
Rad	Radiation absorbtion doz (Soğurulan doz)
H	Eşdeğer doz
E	Etkin doz
W_R	Radyasyon ağırlık faktörü
C_{Rn}	Ortalama kapalı ortam radon aktivite konsantrasyonu
F	Radon ve radonun bozunum ürünleri arasındaki denge faktörü
D_{DF}	Doz dönüşüm faktörü
T	Kapalı ortamda geçirilen zaman

Kısaltmalar

TAEK	Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
ICRP	Uluslararası Radyolojik Korunma Komitesi
WHO	Dünya Sağlık Örgütü
UNSCEAR	Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkilerini Araştırma Bilimsel Komitesi
USEPA(EPA)	Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Kurulu
NRPB	Ulusal Radyasyondan Korunma Komitesi
ABD	Amerika Birleşik Devleti
DNA	Deoksiribo Nükleik Asit

1. GİRİŞ

Yerküre oluşumundan buyana radyoaktif elementler içermesinden dolayı insanoğlu da varoluşundan bu yana doğal radyasyona maruz kalmaktadır. Bu sebepten tüm canlılar radyasyonla birlikte yaşamakta, hayatın bir parçası olarak dış uzay ve güneşten gelen kozmik ışınlar ile yer kabuğunda bulunan radyoaktif elementlerden dolayısıyla da toprak ve yapı malzemeleri, su ve gıdalar gibi doğal kaynaklardan ışınlanmaktadır. Doğal kaynaklardan alınan radyasyon dozunun en önemli bileşeni, radon (Rn-222) ve onun kısa yarı ömürlü bozunum ürünleridir. Radon gazından dolayı insanlar tarafından maruz kalınan yıllık etkin doz yaklaşık %50 gibi bir paya sahip olup, bu değer yaklaşık 1,3 mSv'dir. İnsanlar yaşam standartlarına, yaşadıkları ortamın fiziksel özelliklerine ve coğrafi şartlara bağlı olarak ortalama toplam 2,4 mSv yıllık doğal radyasyon dozuna maruz kalmaktadırlar (TAEK, 2019b; UNSCEAR, 2000).

Yerküredeki uranyum (U-238) doğal bozunum zincirinde yer alan radyumun (Ra-226) alfa parçacık tipi radyasyon yaymak sureti ile radyoaktif bozunumu sonucu oluşan radyoaktif bir soy gazdır ve yarı ömrü 3,824 gündür. Yerküredeki ve karasal kaynaklı malzemelerde bulunan radyumun bozunumu sonucu oluşan gaz fazındaki radon atomlarının bazıları bu bozunum sürecinde geri tepme yolu ile katı formdaki ana malzemeden serbest kalırlar ve gözeneklere giren radon gazı bozunum yapana kadar ya da atmosfere ulaşana kadar difüzyon ve yatay iletim yoluyla boşluk ortamında taşınır. Yerkürede bulunan radyoaktif elementlerden türeyen radon, bu yerküredeki kayalar ve topraktaki minerallerden havaya kaçma eğilimindedir. Radonun oluşumunu sağlayan radyoaktif elementler daha çok volkanik, fosfat, granit ve tuz kayalarında yüksek konsantrasyonlarda bulunurlar. Bu sebepten yerküredeki doğal radyoaktif bozunum zincirinin bir üyesi olan radonun konsantrasyonu yerküredeki kayaç ve topraklarda bulunan radyoaktif elementlerin miktarlarına bağlı olarak değişir. Radon aktivite konsantrasyonundaki bu değişim yerkürenin jeolojik yapısına bağlı olarak farklılıklar gösterir. Radon gazının faylardaki kırıklar ve çatlaklar kanalıyla yeryüzüne çıkma eğiliminde olmasından dolayı özellikle fay hatları ve buna bağlı olarak termal su kaynakları olan bölgelerde artış göstermesi beklenebilir. Yerkürede oluşan radonun jeolojik yapı ve oluşumlara bağlı olarak taşınma süreci ile çeşitli yollarla mesken ve okul gibi binalara giren radon kapalı ortamlarda radon konsantrasyonunu arttırır. Bu yollardan biri de suda çözünme özelliğine sahip olan radonun sudan da havaya geçme özelliğidir. Evlerde ve özellikle kaplıcalarda suların kullanımı esnasında havaya geçen

radon kapalı ortam radon konsantrasyonuna önemli katkılar yapabilir. Kapalı ortam radon konsantrasyonu binaların yerle olan bağlantılarına, yapı malzemelerinin türüne bağlı olarak ta değişebilir. Özellikle bodrum katı olan binalarda, radonun havadan yaklaşık 8 kat daha ağır olması sebebiyle bodrum katlarda birikebilir ve bu durum bu binalarda yaşayan insanlar için sağlık riski oluşturabilir. Radon, özellikle binaların bodrum katlarında yüksek seviyelere çıkabilir ve de havalandırmanın az olduğu kış aylarında bu risk artabilir (TAEK, 2019b; UNSCEAR, 2000). Bu risklerin en önemlisi radon ve bozunum ürünlerinin solunum yoluyla vücuda alınmasıdır. Mesken, okul ve işyeri gibi kapalı ortamlara giren radonun kısa ömürlü bozunum ürünlerinden polonyum (Po-218), kurşun (Pb-214) ve bizmut (Bi-214) gibi katı formdaki radyoaktif havadaki tozlara ve su damlacıklarına tutunarak radyoaktif aerosoller oluştururlar. Solunum yoluyla akciğerlere alınan bu aerosoller yüksek enerjiye ve iyonizasyon özelliğine sahip alfa parçacık radyasyonu yayarak akciğerlerdeki bronşal epitel dokulara ve bu dokulardaki DNA'ya zarar verebilirler ve kansere sebep olabilirler. Radon ve bozunum ürünlerinin un solunum yoluyla vücuda alınması ABD'de akciğer kanserinin ikinci sebebi olarak göz önünde bulundurulmaktadır (BEIR, 1999; Anonim, 2019a; UNSCEAR, 2000).

Bu sebepten kapalı ortam radon gazı ölçümleri halk sağlığı ve risk analizleri açısından ülkemizde belli periyotlarla yapılması gereken çalışmalar arasındadır. Özellikle halkımızın sıkça kullandığı kapalı alanlarda (kaplıca ve okullar gibi) radon konsantrasyonlarının belirlenmesi ve radona bağlı alınan yıllık radyasyon doz değerlerinin belirlenmesi önemlidir.

Bu çalışmada, Konya'nın Ilgın ilçesinde yer alan ve halkımızca sıkça kullanılan kaplıcalar ile öğrenci ve öğretmenlerin uzun zaman geçirdikleri kapalı ortamlardan anaokulları, ilkokul, ortaokul ve liselerde radon gazı aktivite konsantrasyonları AlphaGUARD radon detektörü ile aktif yöntem kullanarak belirlenmiştir. Kaplıcada çalışan personelin, okullardaki öğrenci, öğretmen ve personelin kapalı ortamda 8 saatlik zaman geçirildiği düşünülerek radon kaynaklı yıllık etkin radyasyon dozlarının tahmini değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, ilgili uluslararası sağlık kuruluşlarının (UNSCEAR-2000, ICRP-1994) tavsiye ettiği sınır değerleri ile karşılaştırılacaktır. Radon gazı ölçümü yanında basınç, sıcaklık ve nem oranları değerleri kıyaslanacak etkileri araştırılacaktır. Bu çalışma ayrıca bu bölge için yapılan ilk kapalı ortam radon ölçümleri olacaktır (ICRP, 1994; UNSCEAR, 2000).

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Radon gazı ve çevresel radyoaktivite ile ilgi dünyada yapılmış çok sayıda çalışma vardır. Bunlardan bazıları sularda, yapı malzemelerinde, kapalı ortamlarda ve toprak gazında radon gazı ölçümleridir. Son yıllarda kapalı ortamlarda (okul ve kaplıca gibi) yapılan bu çalışmalardan bazıları şöyledir;

Kunz ve arkadaşları 1996 yılında yaptıkları çalışmada, New York Eyaletinde bulunan ve bulunduğu bölgenin jeolojisine bağlı olarak ortalama radon seviyesi üzerinde olacağı tahmin edilen 60 okul binasındaki radon seviyesi, 1991-1993 yılları arasında ölçülmüştür (Kunz ve ark., 1996).

Durcik ve arkadaşları 1997 yılında yaptıkları çalışmada, Slovak Cumhuriyeti'ndeki 388 anaokulu ve 257 temel okulu olmak üzere toplam 645 okul binasındaki radon seviyesi, kısa ve uzun süreli ölçümlerle pasif yöntem 5965 adet CR-39 ve LR-115 katı-hal nükleer iz detektörleri faklı katlardaki farklı sınıflara yerleştirilerek belirlenmiş ve radondan dolayı öğrencilerin maruz kaldıkları yıllık etkin doz değerlendirilmiştir (Durcik ve ark., 1997).

Mifune ve Morinaga 1998 yılında yaptıkları çalışmada, Japonya'da Misasa Spa merkezinde radon maruziyeti ve akciğer kanseri ile ilişkisini araştırmışlardır (Mifune ve Morinaga, 1998).

Gaidolfi ve arkadaşları 1998 yılında yaptıkları çalışmada, İtalya'nın altı bölgesinde yer alan 1687 anaokulu ve 486 ilkokul olmak üzere toplam 2173 okul binasında LR-115 katı-hal nükleer iz detektörleri kullanılarak ölçülen radon derim sonuçları sunulmuştur (Gaidolfi ve ark., 1998).

Soto ve Gomez 2001 yılında yaptıkları çalışmada, İspanya'da yer alan termal spalardan (kaplıcalardan) 20 tanesinde havada, 54 tanesinde ise sularda radon konsantrasyonu ölçümleri yapılmıştır. Sulardaki radon seviyesi <2 ila 775 103 Bq/m3 aralığında, havadaki radon seviyesi ise <10 ila 5200 Bq/m3 aralığında bulunmuştur. Çalışanlar için radona bağlı yıllık etkin dozlar 1 ila 44 mSv aralığında hesaplanmıştır. Bu değer yıllık tavsiye edilen 20 mSv sınır değerinin altındadır (Soto ve Gómez, 1999).

Amrani 2000 yılında yapılan çalışmada, Cezayir'in başkentine bağlı 12 kasabada her bir kasabada iki okul olmak üzere toplam 24 okul binasındaki radon seviyesi, pasif

yöntemle 114 adet LR-115 katı-hal nükleer iz detektörleri kullanılarak ölçülmüştür (Amrani, 2000).

Vaupotič ve arkadaşları 2001 yılında yaptıkları çalışmada, Slovenya'da radon seviyeleri araştırılan 890 okul arasında radon seviyesi 1000 Bq/m3'ü aşan 24 okulda radon kaynağını ve en etkin çözüm için alınması gereken tedbirler araştırılmıştır (Vaupotič ve ark., 2001)

Vaupotič ve Kobal 2001 yılında yaptıkları çalışmada, 5 Solven spada (kaplıcada) gama doz oranı ve radon seviyeleri ölçülmüştür. Etkin vantilasyon sistemlerinden dolayı kapalı ortam radon seviyeleri nadiren 200 Bq/m3'ü aşan değerlerde ölçülmüştür (Vaupoti_ ve Kobal, 2001).

Vagiannis ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, Yunanistan'ın Lesvos adasında termal kaplıcalarda uzun ve kısa (kaplıcayı kullanan kişiler) süreli radon ölçümleri yapılmış ve kısa süreli kullanıcılar için radon seviyesinin düşük olduğu ve yıllık 5 mSv değerini aşmayan doz değerleri hesaplanmıştır (Vogiannis ve ark., 2004).

Vaupotič ve Kobal 2005 yılında yaptıkları çalışmada, Slovenya Radon Projesi kapsamında, 730 anaokulu-kreş ve 890 ilk ve lise okullarındaki radon seviyesi, Jozef Stefan Enstitüsünde üretilen alfa sintilasyon hücreleri kullanılarak ölçülmüştür (Vaupotič ve Kobal, 2005).

Banjanac ve arkadaşları 2006 yılında yaptıkları çalışmada, Sırbistan'da bulunan ortaöğretim okul binalarının içinde pasif yöntemle CR-39 katı-hal nükleer iz detektörleri ile ölçülen radon seviyesi sonuçları sunulmuştur (Banjanac ve ark., 2006).

Synnott ve arkadaşları 2006 yılında yaptıkları çalışmada, İrlanda'daki 4000 ilkokul ve ilkokul sonrası okul binalarındaki 38.531 zemin kat sınıflarında ve 3.826 ofislerde pasif yöntem alfa iz detektörleri kullanılarak ölçülen radon seviyesi sonuçları sunulmuştur ve ölçüm sonuçları, okul personeli ve öğrencilerin maruz kalabilecekleri radonu azaltmak için gerekli olan çalışmaları belirleyebilmek amacıyla değerlendirilmiştir (Synnott ve ark., 2006).

Bahtijari ve arkadaşları 2006 yılında yaptıkları 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 seviyesi sonuçları rapor edilmiştir (Bahtijari ve ark., 2006).

İspanya'da Rodenas ve arkadaşları 2008 yılında yaptıkları 82 farklı spa merkezinde kullanılan kaynak sularında radon konsantrasyonu ölçülmüş ve 4 Bq/l'nin altındaki değerlerden 1868 Bq/l'ye varan değişimler gözlenmiştir (Ródenas ve ark., 2008).

Papaefthymiou ve Georgiou 2007 yılında yaptıkları çalışmada, Yunanistan'ın Patras İlinde bulunan 66 ilkokul binasının 53'ündeki radon seviyesi, Aralık 1999 ve Mayıs 2000 tarihleri arasında pasif yöntemle 114 adet LR-115 katı-hal nükleer iz detektörleri kullanılarak ölçülmüştür (Papaefthymiou ve Georgiou, 2007).

Bahtijari ve arkadaşları 2007 yılında yaptıkları çalışmada, Kosova'nın güneyinde bulunan Sharr kasabasındaki 5 ilkokul ve 1 lise binasının zemin, giriş ve birinci katılarında bulunan 21 sınıftaki radon seviyesi, 2003 yılının Mart, Mayıs, Ağustos ve Aralık aylarında 0,7 dm3'lük alfa sintilasyon hücresi kullanılarak ölçülmüştür (Bahtijari ve ark., 2007).

Venoso ve arkadaşları 2009 yılında yaptıkları çalışmada, İtalya'nın Napoli civarında yer alan metropoliten bölgesinde yerleşik 30 okulun sınıf, laboratuvar ve ofislerindeki radon seviyesi, pasif yöntemle LR115 katı-hal nükleer iz detektörleri kullanılarak 6 aylık periyodlarla iki kez ölçülmüştür (Venoso ve ark., 2009).

Clouvas ve arkadaşları 2009 yılında yaptıkları çalışmada, Kuzey Yunanistan'daki Xanthi bölgesinde yer alan 77 okulda radon seviyesi pasif radon detektörleri (elektret) ile ölçülmüştür (Clouvas ve ark., 2009).

Rafique ve arkadaşları 2010 yılında yaptıkları çalışmada, Pakistan Özgür Keşmir İslam Cumhuriyeti'nde bulunan 80 tane ilk, orta ve lise okul binaların bodrum katlarındaki radon seviyesi, pasif yöntem CR-39 katı-hal nükleer iz detektörleri ile ölçülmüş ve radondan dolayı öğrencilerin maruz kaldıkları yıllık etkin doz değerlendirilmiştir (Rafique ve ark., 2010).

Obed ve arkadaşları 2011 yılında yaptıkları çalışmada, Nijerya'nın Güney-batısında yer alan Oke-Ogun bölgesinde bulunan 35 lise binasındaki radon seviyesi, pasif yöntemle CR-39 katı-hal nükleer iz detektörleri kullanılarak ölçülmüştür (Obed ve ark., 2011).

Clouvas ve arkadaşları 2011 yılında yaptıkları çalışmada, Yunanistan'ın 8 coğrafi bölgesinde yer alan 512 okulda radon ve gama doz hız ölçümleri yapılmıştır (Clouvas ve ark., 2011).

Park ve arkadaşları 2012 yılında yaptıkları çalışmada, Kore Cumhuriyeti'nin Gyeongju İlinde bulunan ve öğrenci ve öğretmenlerin gün içinde uzun süre kaldıkları için seçilen 17 ilkokulunun toplantı salonlarındaki radon seviyesi aktif yöntemle RAD7 detektörü kullanılarak ölçülmüştür (Park ve ark., 2012).

Trevisi ve arkadaşları 2012 yılında yaptıkları çalışmada, Güney-doğu İtalya'daki (Lecce vilayeti, Salento Yarımadası) bütün eğitim kurumlarındaki (506 okul binasında) radon seviyesi ölçülmesine yönelik olarak sürdürülen araştırmaya ait 438 okulda ölçülen radon seviyesi sonuçları sunulmuştur (Trevisi ve ark., 2012).

Kapdan ve Altınsoy 2012 yılında yaptıkları çalışmada, aynı bölgede yer alan ev ve okul binalarında ölçülen radon seviyesi arasındaki ilişkinin tespit edilmesine ve benzer yerlerde bulunan ev-okul ortalama radon seviyesi düzeltme faktörünün elde edilmesine yönelik sonuçlar sunulmuştur (Kapdan ve Altinsoy, 2012).

Poulin ve arkadaşları 2012 yılında yaptıkları çalışmada, radon seviyesinin, Kanada Federal sınırı (200 Bq/m3) aştığı binalarda yaşayan bireylerin radon kaynaklı ışınlanmasını azaltmak amacıyla öncelikli araştırma bölgelerinde yer alan okul binalarında ölçülen radon seviyesi sonuçları sunulmuştur (Poulin ve ark., 2012).

Burghele ve Cosma 2012 yılında yaptıkları çalışmada, Romanya'nın kuzey batısında yer alan üç ilçedeki 21 okul binasında sonbahar döneminde ölçülen radon ve toron seviyesi değerinin 31 Bq/m3-414 Bq/m3 aralığında değiştiği bulunmuştur (Burghele ve Cosma, 2012).

Labidi ve arkadaşları 2012 yılında yaptıkları çalışmada, Tunus kaplıcalarında kapalı ortam radon seviyeleri nükleer iz kazıma yöntemi ile ölçülmüştür. Kaplıcaları tedavi amaçlı kullanan kişiler için 3,7 10-3 ila 12,5 10-3 mSv aralığında, çalışanlar için ise 0,45-1,5 mSv aralığında yıllık etkin radyasyon dozları hesaplanmıştır. Bu değerler çalışanlar için tavsiye edilen yıllık 20 mSv'lik doz değerinin altında hesaplanmıştır (Labidi ve ark., 2012).

Nikolov ve arkadaşları 2012 yılında yaptıkları çalışmada, Sırbistan'ın Niska Banja kaplıcalarında suda ve kapalı ortamda radon seviyeleri ölçülmüştür. Ölçülen maksimum seviye tavsiye edilen sınır değerinden yüksek ölçülmüştür ve ölçüm yapılan otelin zemin katı için 22,90 kBq/m3 olarak ölçülmüştür (Nikolov ve ark., 2012).

Curguz ve arkadaşları 2013 yılında yaptıkları çalışmada, Sırp Cumhuriyeti'nin başkenti Luka İli'nde bulunan 25 ilkokul binasında hem aktif sürekli radon ölçümü

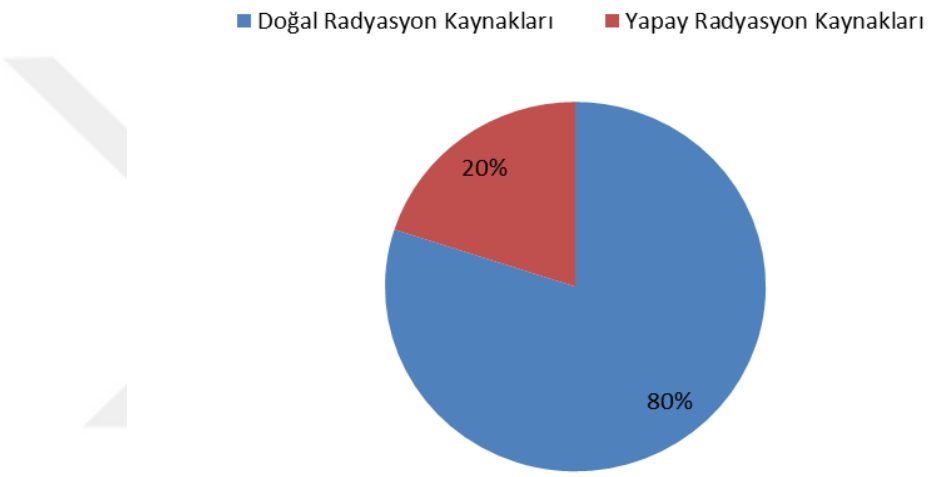
yapan RAD7 cihazı ve hem de pasif yöntem CR-39 katı-hal nükleer iz detektörleri ile 2011 ve 2012 yılında ölçülen radon seviyesi sonuçları sunulmuştur (Ćurguz ve ark., 2012).

Turhan ve arkadaşları 2015 yılında yaptıkları çalışmada, Kapadokya bölgesi olarak bilinen Nevşehir'deki anaokulu, ilkokul, ortaokul, lise ve fakültelerde 6 aylık periyotlarla iki mevsim yani kış ve yaz mevsimleri için kapalı ortam radon seviyesi ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen verilere göre yıllık etkin dozlar sırasıyla yaz ve kış ayları için 0.27 ila 0.40 mSv ve 0.24 ila 0.36 mSv aralığında hesaplanmıştır (Turhan, 2015).

Türkiye'deki kapalı ortam radon ölçümleri, değişik illerde bulunan evlerde ve bir kaç maden ocağına ilişkin olarak yapılmıştır. Sadece yukarıda da ifade edildiği gibi Kapdan ve Altınsoy (2012) tarafından pasif yöntemle yapılmıştır. Dolayısıyla, bu tez kapsamında yapılan çalışma, Konya'nın Ilgın ilçesinde yer alan kaplıcalarda, anaokulu, ilkokul, ortaokul ve lise binalarının zemin katlarında bulunan sınıflarda radon seviyesi, kısa süreli aktif yöntemle sürekli ölçüme dayalı bir çalışmadır. Bu bölgenin kaplıcaları halkımız tarafından tedavi amaçlı olarak sıkça kullanılmaktadır ve tedavi seansları başına kullanıcılar için ve kaplıca çalışanları için radona bağlı yıllık etkin doz hesabı da yapılacaktır. Okullarda ise öğrenci ve öğretmenler için yine radona bağlı alınan yıllık radyasyon dozları hesaplanacaktır.

3. RADYASYON KAYNAKLARI

İnsanoğlu varoluşundan bu yana sürekli olarak radyasyonla iç içe yaşamak zorunda kalmıştır. Dünyanın oluşumuyla birlikte tabiatta yerini alan çok uzun ömürlü (milyarlarca yıl) radyoaktif elementler yaşadığımız çevrede normal ve kaçınılmaz olarak kabul edilen doğal bir radyasyon düzeyi oluşturmuşlardır. Ayrıca insanoğlu, insan kaynaklı olan nükleer bomba denemeleri ve bazı teknolojik ürünlerin kullanımı ile yapay radyasyona maruz kalmaktadır. UNSCEAR 2008 verilerine göre tüm canlılar Şekil 3.1'de gösterildiği gibi yaklaşık % 80 oranında doğal radyasyona maruz kalırken % 20 oranında ise yapay radyasyona maruz kalmaktadırlar (UNSCEAR, 2008).

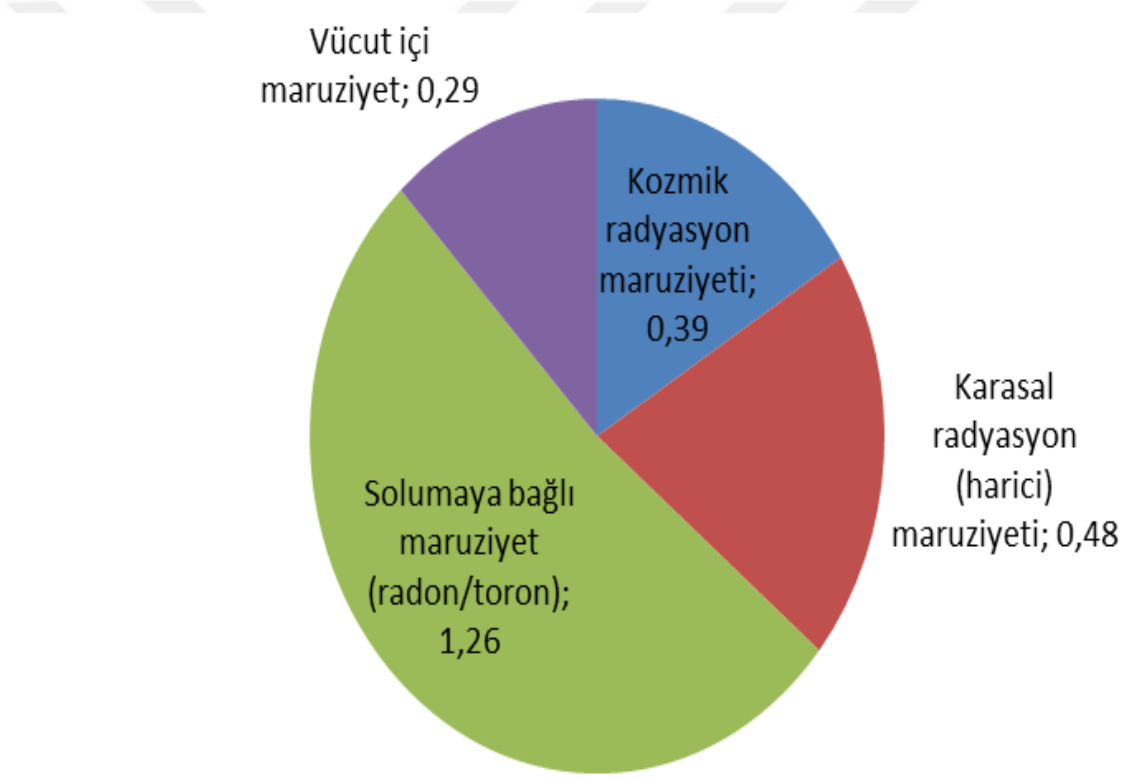


Şekil 3.1. Doğal ve Yapay Radyasyon Kaynakları (UNSCEAR, 2008)

3.1. Doğal Radyasyon Kaynakları

Doğadaki tüm canlılar evrenin var oluşundan bu yana doğal kaynaklardan iyonize radyasyona maruz kalmaktadırlar. Bu doğal radyasyon maruziyeti karasal ve kozmik kaynaklı dış radyasyon ve vücudumuzdaki radyoaktif elementlerden kaynaklanan iç radyasyon olmak üzere ikiye ayrılır. Dış kaynaklı radyasyon maruziyetinin ana bileşenlerini yerkürede bulunan radyoaktif elementler ve atmosfere gelen yüksek enerjili kozmik parçacıklar oluşturur. Yerkürede bulunan radyoaktif elementlerden kaynaklanan karasal radyasyon çevremizde her yerde bulunabilen granitik, volkanik, killi şist ve fosfat içeren toprak materyallerden kaynaklanır. Bununla birlikte doğal radyasyon maruziyetinin en önemli kaynağı yerkürede bulunan uranyum (U-238) ve toryum (Th-232) doğal radyoaktif bozunum zincirinde yer alan radon (Rn-222) ve toron (Rn-220)'dur. Bu radyoaktif elementlerden alınan yıllık etkin doz 1,26

mSv'dir. Dış kaynaklı karasal radyasyondan alınan yıllık toplam etkin doz ise 0,48 mSv'dir. Yüksek enerjili kozmik parçacıklardan kaynaklanan kozmik radyasyonun ise büyük bir kısmı dünya atmosferinden geçmeye çalışırken manyetik alan tarafından tutulurlar. Sadece küçük bir kısmı yer küreye ulaşır. Bu radyasyonun yoğunlukları atmosferin üst tabakasında yüksek, deniz seviyesinde ise daha düşüktür. Günlük yaşantımızda, kozmik ışınlar nedeniyle maruz kalınan yıllık radyasyon dozunun dünya ortalaması 0,39 mSv'dir. Vücudumuzda bulunan radyoaktif elementlerden ve potasyumdan (K-40) kaynaklanan iç ışınlama sebebiyle maruz kalınan dahili radyasyon dozunun dünya ortalaması 0,29 mSv kadardır (UNSCEAR, 2000). Bahsedilen doğal kaynaklardan alınan yıllık etkin dozlar Şekil 3.2'de verilmiştir. Doğal yollardan maruz kalınan radyasyon kaynaklarının oransal değeri ise Şekil 3.3'te verilmiştir.



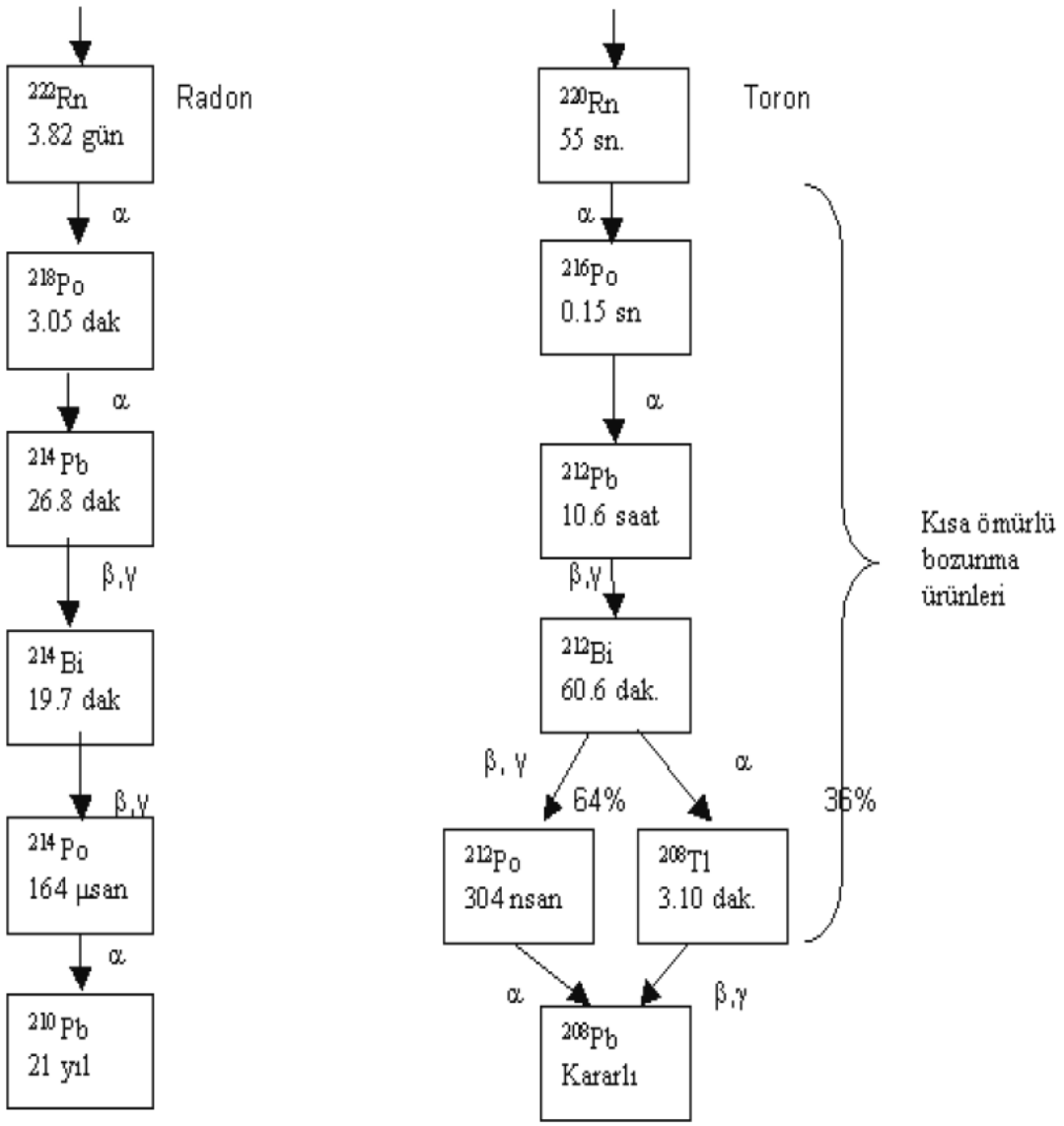
Şekil 3.2. Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından alınan mSv cinsinden yıllık etkin doz (UNSCEAR, 2008).



Şekil 3.3. Doğal radyasyon kaynakları (UNSCEAR, 2008).

3.1.1. Radon

Radon (Rn-222) renksiz, tatsız, kokusuz, insanların duyu organları ile hissedemeyeceği ve havadan yaklaşık sekiz kat daha ağır olan radyoaktif bir soy gazdır. Radon gazı yerkürede bulunan doğal uranyum (U-238) bozunum zincirinde yer alır ve radyumun (Ra-226) radyoaktif bozunumu sonucunda oluşur. Radon doğada en çok rastlanan yarı ömrü 3.824 gün olan radyoaktif bir soy gazdır ve iki tane polonyum radyoizotopu (Po-218; 3,05 dakika, Po-214; 164 mikro saniye), kurşun (Pb-214; 26.8 dakika), bizmut (Bi-214; 19.9 dakika) olmak üzere dört tane kısa ömürlü bozunum ürününe sahiptir. Radon ve toronun kısa ömürlü bozunum ürünleri Şekil 3.4'te verilmiştir. Radon ve atmosferdeki radonun kısa ömürlü bozunum ürünleri insanların maruz kaldığı doğal radyasyon kaynaklarının en önemli bileşenini oluşturur. Radonun kısa ömürlü bozunum ürünlerinden Po-218 ve Po-214 radyo izotopları sırasıyla 7,69 MeV ve 6 MeV'lik α parçacık radyasyonu yayarlar ve bu radyasyon, insanların radon ve bozunum ürünlerinden kaynaklı maruz kaldığı 1,26 mSv'lik etkin doz değerinin yaklaşık %90'ını oluşturur (Gillmore ve ark., 2001; UNSCEAR, 2000).



Şekil 3.4 Radon ve toronun bozunum ürünleri (ÖZKORUCUKLU ve ark., 2006)

Radonun kısa ömürlü bozunum ürünlerinden Po-218, Pb-214 ve Bi-214 atmosfer içindeki herhangi bir parçacığa yapışma eğilimindedir. Havadaki parçacıklara absorbsiyon yolu ile yapışan bu kısa ömürlü bozunum ürünleri, parçacıkları radyoaktif hale getireceklerdir. Radonun bozunum ürünleri kısa yarı ömre sahip olduğundan toz taneciklerine yapışmış olsun veya olmasın, solunmaları halinde akciğer mukozasına yerleşerek polonyum radyoaktif izotopları ile α radyasyonu, kurşun ve bizmut radyo izotopları ile γ ve β radyasyonları yayarlar. Bu durum radyolojik tehlikelere sebep olabilir (UNSCEAR, 2000).

Radon, yerkürede bulunan uranyum ve toryumun bozunum ürünü olduğu için yer kabuğunu oluşturan kayalar ve toprak içinde çok yaygın bir şekilde bulunur. Bu

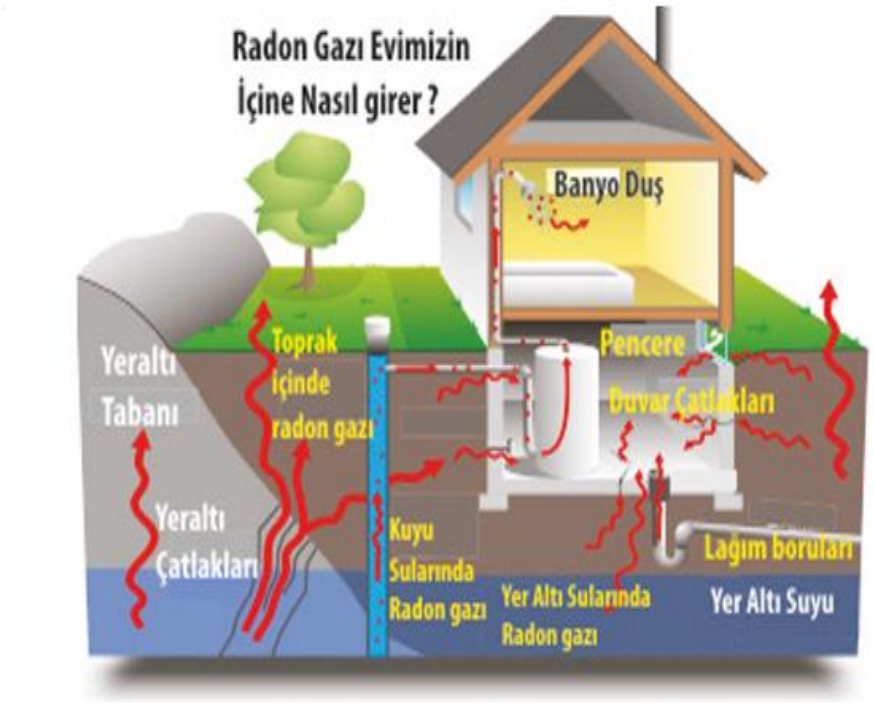
durum kaya ve toprağın radyoaktif olmasına sebep olmaktadır. Bu radyoizotoplar daha çok volkanik, fosfat, granit ve tuz kayalarında yüksek konsantrasyonlarda bulunurlar. Bu kayalardaki aktifliğin kaynağı yeryüzünün oluşumuna dayanmaktadır. Topraktaki radyoaktivitenin kaynağı ise kayaların doğa şartlarına bağlı olarak zamanla ufalanarak çok küçük parçalar halinde yağmur veya akıntı sularıyla toprağa karışmasıdır. Bu sebepten yerküredeki doğal radyoaktif bozunum zincirinin bir üyesi olan radonun konsantrasyonu yerküredeki kayaç ve topraklarda bulunan radyoaktif elementlerin miktarlarına bağlı olarak değişir. Radon aktivite konsantrasyonundaki bu değişim yerkürenin jeolojik yapısına bağlı olarak farklılıklar gösterir (UNSCEAR, 2000). Genleşme ve gerilme tektonik rejimlerinin yerkürenin yüzeyindeki aktif fayların gelişimini kontrol etmesine bağlı olarak radon gazı ve fay hatları arasında da bir ilişki kurulabilir (Seminsky ve ark., 2013; Tsunomori ve ark., 2017; Moreno ve ark., 2018).

Karasal kaynaklı malzemelerde bulunan Ra-226 ve Ra-224 radyo izotoplarının bozunması sonucu oluşan gaz fazındaki sırası ile radon ve toron atomlarının bazıları bu bozunma süreci esnasında geri tepme yolu ile katı formdaki ana malzemeden serbest kalırlar. Bu bozunma tanecik yüzeyinin geri tepme mesafesi içinde gerçekleşirse radon atomları mineral taneciklerinden gözeneklere kaçarlar. Radon için bu geri tepme mesafesi genellikle minerallerde 20-70 nm, suda 100 nm, havada ise 63 μm'dir. Gözeneklere giren radon atomları bozunana kadar ya da atmosfere ulaşana kadar difüzyon ve yatay iletim yoluyla boşluk ortamında taşınır. Bu süreç topraktaki radonun davranışı, jeolojik yapı, iklim ve meteorolojik şartlara bağlı olarak etkilenebilir. Bu meteorolojik koşullar sadece havadaki radon konsantrasyonunu değil aynı zamanda gazın dünya üzerinden yayılma hızını da etkilemektedir. Yerküredeki kayalar ve topraktaki minerallerden havaya kaçma eğiliminde olan radon gazı okul, ev ve yeraltı madenleri gibi alanlarda kapalı ortam radon konsantrasyonunu arttırır. Kapalı ortam radon konsantrasyonu binaların yerle olan bağlantılarına, yapı malzemelerinin türüne bağlı olarak değişebilir.

3.1.2. Kapalı Ortamlarda Radon

İnsanların hayatını önemli bir geçirdiği okul, mesken ve işyeri gibi kapalı ortamlarda radyoaktif bir element olan radon gazının aktivite ölçümlerinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Hatta bu ölçümleri belli periyotlarda ölçülmesi gerekebilir. Yerkürede oluşup atmosfere kaçma eğiliminde olan radon gazı toprak boyunca

yükselerek, binanın altında hapsolmakta ve basınç oluşturmaktadır. Binanın altındaki bu yüksek basınç nedeniyle gazlar binalara çeşitli yollarla girebilmektedir. Bu yollar Şekil 3.5'te görüldüğü gibi binaların temelinde bulunan kayaç ve topraklar olabildiği gibi binaların inşasında kullanılan yerkabuğu kökenli yapı malzemeleri ile binalardaki tesisat boşlukları ve çatlaklar olabilir. Binaların yerle bağlantı noktalarındaki çatlaklar, yapı bağlantı noktaları, duvarlar arası boşluklar, binalarda doğal gaz kullanımı yine bina içi kapalı ortam radon konsantrasyonunu etkileyebilir. Toprak ve yapı malzemelerindeki Ra-226 miktarı, toprak ve yapı malzemelerinin nem oranı, difüzyon potansiyeli, toprakla temasta olan yapının yüzey alanı ve izolasyon özelliği, bina zemini, binadaki havalandırma kapasitesi, iklim koşulları, iç ve dış havanın sıcaklık ve basınç farkı binalardaki radon konsantrasyonunu etkileyen temel unsurlardır. Ayrıca suda çözünme özelliğine de sahip olan radon binalarda kullanılan su tesisatı kanalları ile bina içine girebilir. Sudanda havaya ortalama olarak 1/10000 oranında kaçma eğilimi gösteren radon, su tesisatları vasıtasıyla girdiği binalarda sudanda havaya kaçarak kapalı ortam radon konsantrasyonunu artırabilir. Özellikle bodrum katı olan binalarda, radonun havadan daha ağır olması sebebiyle bodrum katlarda birikebilir ve bu durum bu binalarda yaşayanlar için sağlık riski oluşturabilir (UNSCEAR, 2000).



Şekil 3.5. Radon gazının binalara giriş yolları (Anonim, 2019d; 2019c)

Özellikle binaların bodrum katı ve zemin katında biriken radonun sağlık risklerini tavsiye edilen seviyelerin altına düşürmek için binalarda birtakım önlemler

alınması gerekir. Bu önlemlerden en önemlileri şu şekildedir (Anonim, 2019b; TAEK, 2019a);

- Binaların toprak ile temas eden yüzeyleri ve binaların birleşim yerleri radon girişine imkan vermeyecek şekilde polietilen bir plastik bir malzeme ile izole edilmeli ve üstüne beton atılmalıdır.
- Binaların yapımında kullanılan malzemelerin bina içi radon konsantrasyonunu artırmayacak şekilde seçilmesi sağlanmalıdır.
- Bu tür binaların duvarlarında, su ve kanalizasyon borularının geçtiği yerlerde bulunan çatlaklar ve açıklıklar radon ve diğer toprak gazlarının girişinin engellenmesi için onarılarak kapatılmalıdır.
- Binalardaki kapalı ortamların aspiratör gibi elektrikli sistemler kullanılarak ya da kapı ve pencerelerin açılmak suretiyle yeterince havalandırılmalar yapılmalıdır.

Ayrıca radon riski yüksek olan binalarda yaşayan insanların bilinçlendirilmesi de oldukça önemlidir.

3.1.3. Radonun Sağlık Üzerine Etkileri

İnsanların doğal radyasyon kaynaklarından maruz kaldıkları en önemli kaynak radon gazı ve onun kısa yarı ömürlü bozunum ürünleridir. Yerküre kaynaklı bu alfa yayıcı radyoaktif soy gaz oluştuktan sonra ortamın boşluklarında ilerleyerek bina içlerine girebilmektedir. İnsanlar da genellikle zamanlarının büyük bir kısmını kapalı ortamlarda geçirdikleri için kapalı ortam radona mazur kalmaları önemli sağlık riskleri oluşturabilmektedir. Bu risklerin en önemlisi radon ve bozunum ürünlerinin solunum yoluyla vücuda alınmasıdır. Evlere giren radonun kısa ömürlü bozunum ürünlerinden Po-218, Pb-214 ve Bi-214 radyoaktif elementleri radonun aksine gaz halinde olmayıp katı haldedirler. Katı formdaki bu radyoizotoplar havadaki tozlara ve su damlacıklarına tutunarak radyoaktif aerosoller oluşturmakta ve solunum yoluyla akciğerlere alınmaktadırlar. Akciğerlere alınan ve bronşal epitel dokulara yapışan katı formdaki bu radyoizotopları içeren aerosoller yüksek enerjiye ve iyonizasyon özelliğine sahip alfa parçacık radyasyonu yayarlar. Böylece akciğerlerdeki bronşal epitel dokudaki radyasyon dozu artar ve bozunum ürünleri kararlı hale gelene kadar bozunma devam

eder. Bu sürecin her aşamasında radyasyon maruziyeti devam etmektedir ve bu durum akciğer dokusundaki DNA'ya zarar verebilir. Bazı durumlarda DNA hasarı akciğer dokusu tarafından onarılabilirken bazı durumlarda bu hasar akciğer kanserine sebep olabilir. Yüksek radon aktivite konsantrasyonuna sahip evlerde yaşayan bir insan aynı zamanda sigarada içiyor ise akciğer kanserine yakalanma riski daha yüksek seviyeye çıkar. Epidemiyolojik çalışmalar, radon ve bozunum ürünüm kaynaklı radyasyona yüksek seviyede maruz kalan kişilerde akciğer kanserine yakalananların oranlarının yüksek olduğunu göstermiştir. İngiltere Milli Radyasyondan Korunma Komitesi (NRPB), İngiltere'de bir yılda akciğer kanserine yakalanan 41000 kişiden en az 2500'ünü radona bağlarken ABD Halk Sağlığı Servisi ise bir yılda akciğer kanserine yakalananların sigara içmeyenlerden 5000, sigara içenlerden ise 15000'ini radona bağlamaktadır. Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi (ICRP) ise toplam akciğer kanseri vakalarının %10'unu radona bağlamaktadır. Ancak bu durum yüksek dozda radona maruz kalan herkesin akciğer kanserine yakalanacağı anlamına gelmemekte olup maruz kalınma ile hastalığın oluşması arasında geçen zaman yıllarca sürebilmektedir (Anonim, 2019b; TAEK, 2019a).

Bu sebepten doğal radyasyonun en önemli bileşenlerinden olan radonun kapalı ortamlarda ölçülmesi ve bu ölçümlerin belli periyotlarla yapılması toplum ve halk sağlığı açısından oldukça önemlidir. Özellikle halkın çoğunlukla zaman geçirdiği evler, okullar, hastaneler ve işyerleri gibi kapalı mekanlarda radon aktivite konsantrasyonu ölçümleri yapılmalıdır.

3.1.4. Radon Aktivite Konsantrasyon Limitleri

Halk sağlığı açısından risk teşkil eden radon gazının aktivite konsantrasyonunun kapalı ortamlarda belirlenmesi amacıyla gerek ülkeler gerekse uluslararası kuruluşlar tarafından belirli limit değerler belirlenmiştir. Bu limit değerlerinin aşılması halinde, radon konsantrasyonunu düşürücü tedbirler alınması gerekmektedir. Uluslararası Radyasyon Korunması Komitesi (ICRP), 2014 yılında yayımlanan "radon maruziyetine karşı radyolojik korunma" isimli 126 numaralı yayınında epidemiyolojik çalışmalara göre konutlarda radona maruz kalma limit değerini 300 Bq m-3 olarak tavsiye etmiştir (Lecomte ve ark., 2014). Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ise konutlardaki radon aktivite limitini 100 Bq m-3 olarak tavsiye etmektedir. Türkiye'de bu değer Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği'nde 400 Bq m-3 olarak

belirlenmiştir (TAEK, 2000). Çizelge 3.1' de çeşitli ülkelerde müsaade edilebilir radon aktivite konsantrasyonları verilmektedir. Bu değerlere bakıldığında Türkiye'de müsaade edilen değerin diğer ülkelerin ortalamalarına göre iki kat fazla olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.1. Bazı Ülkelerin Radon Konsantrasyon Limitleri (TAEK, 2019a)

Ülkeler	Tavsiye Edilen Radon Aktivite Limitleri ($Bq\ m^{-3}$)
ABD	150
Hindistan	150
Avusturalya	200
Çin	200
İngiltere	200
İsveç	200
Rusya	200
İrlanda	200
Almanya	250
Luksemburg	250
Danimarka	400
Fransa	400
Türkiye	400
Kanada	800

3.2. Yapay Radyasyon Kaynakları

UNSCEAR 2008 verilerine göre insanların maruz kaldığı radyasyonun yaklaşık % 20'si insan yapımı kaynaklardan gelmektedir. Bu kaynaklar, tıbbi uygulamalar, tanısal radyoloji, nükleer tıp, radyoterapi, endüstriyel uygulamalar, nükleer serpinti, nükleer güç santralleri ve tüketici ürünlerinden oluşmaktadır (TAEK, 2019a).

3.3. Radyasyon Birimleri

Radyasyon miktarını ölçmede çeşitli birimler kullanılır. Bu birimler özellikle, radyasyonun biyolojik etkilerini inceleyen radyolojide önemlidir. Radyasyon birimleri iki gruba ayrılabilir. Radyoaktif bir kaynaktan yayınlanan radyasyon aktivite birimleri ile tanımlanırken radyasyonun madde üzerindeki etkisi ise soğurulan radyasyon birimleri ile tanımlanır.

3.3.1. Aktivite

Aktivite için tanımlanmış ilk birim Curie (Ci) olup, SI sistemindeki karşılığı Becquerel (Bq) dir. Bir saniyedeki 3.7x1010 parçalanmayı veya bozunmayı gösteren maddenin aktivitesi Curie olarak tanımlanır. Yani, 1 Ci = 3.7x1010 Bq'dir (TAEK, 2019c).

3.3.2. Işınlama

Işınlama, X ve gama ışınlarının havayı ışınlama kabiliyetinin (Foton akısının) bir ölçüsüdür. Işınlanma birimi için kullanılan ilk birim yani özel birim Röntgen (R) olup SI sistemindeki karşılığı Coulomb/kg (C/kg) dır. Röntgen birimi, normal hava şartlarında havanın 1 kilogramında $2.58x10^{-4}$ C'luk elektrik yükü değerinde pozitif ve negatif iyonlar oluşturan x-ışını ve gama ışını miktarıdır ve 1 R = $2.58x10^{-4}$ C/kg olarak tanımlanır (TAEK, 2019c).

3.3.3. Soğurulmuş Doz

İyonlaştırıcı radyasyon madde ile karşılaştığında enerjisini çeşitli etkileşimlerle (iyonizasyon vb.) maddeye aktarır. Maddeye aktarılan veya ortama depolanan bu enerji miktarına soğurulan doz denir. Soğrulan Doz (D), SI birim sisteminde Gray (Gy) olarak tanımlanmış ve 1 Gray, ışınlanan maddenin 1 kg'ına 1 Joule'lük enerji veren radyasyon miktarına karşılık gelmektedir. Soğurulma doz birimi olarak ilk kullanılan birim olan rad, soğrulan radyasyon dozu anlamına gelen İngilizce "radiation absorbed doz" sözcüklerinin ilk harflerinden oluşur. Bu birim, ışınlanan maddenin 1 kg'ına 10^{-2} Joule'lük enerji veren radyasyon miktarıdır. Soğurulan enerji, parçacık veya foton olabilir (ICRP, 2012).

3.3.4. Radyasyon Doz Eşdeğeri

Radyasyondan korunma amacıyla soğurulan dozun kullanılmasının en önemli güçlüğü, dokulardaki soğurulan radyasyon dozunun biyolojik etkilerinin gelen radyasyonun tipine ve enerjisine bağlı olmasıdır. Yani biyolojik etki sadece soğurulan doza bağlı değildir. Bu güçlüğün üstesinden gelmek için eşdeğer doz kullanılmaktadır. Eşdeğer doz birimi SI birim sisteminde Sievert (Sv)'tir. 1 Sievert, 100 röntgenlik X veya gama ışını ile aynı biyolojik etkiyi oluşturan herhangi bir radyasyon miktarıdır. Özel birimlerde ise, 1 Röntgen'lik X ve gama ışını ile aynı biyolojik etkiyi oluşturan herhangi bir radyasyon miktarı anlamına gelen ve İngilizce "röntgen equivalent man" sözcüklerinin ilk harflerinden oluşan Rem ile tanımlanır. Herhangi bir doku için doz eşdeğeri H_T, $D_{T,R}$ soğurulan doz olmak üzere, T organ veya dokusu ve R radyasyon türü için Denklem (3.1) ile verilir.

$$H_T = \Sigma W_R \, . \, D_{T,R} \qquad (3.1)$$

Denklem 1'de verilen W_R ifadesi radyasyon ağırlık faktörünü göstermektedir ve boyutsuzdur. Radyasyon türüne göre radyasyon ağırlık faktörleri Çizelge 3.2'te verilmiştir. Bu sebepten de soğurulmuş doz birimiyle karıştırılmaması için Sievert birimi kullanılmaktadır (ICRP, 2012).

Çizelge 3.2. Radyasyon türüne göre radyasyon ağırlık faktörleri (ICRP, 2012)

Radyasyonun Tipi	W_R
Foton	1
Elektron	1
Proton > 2 MeV	5
Alfa	20
nötron <10 keV	5
nötron (10 keV – 100 keV)	10
nötron (100 keV – 2 MeV)	20
nötron (2 meV – 20 MeV)	10
nötron >20 MeV	5

3.3.5. Etkin Doz

Vücuttaki organ ve dokuların da radyasyona duyarlılığı farklıdır. Ayrıca tüm vücut yerine, bazı organ ve dokular radyasyona maruz kalabilir. Bu durumda, tüm vücut için radyasyon etkisini hesaplamak için etkin doz kavramı tanımlanmıştır. Etkin dozu belirlemek için her organ için farklı doku ağırlık faktörleri kullanılır (W_T). İnsanların farklı organlarının radyasyon türüne bağlı hassasiyetini gösteren W_T doku ağırlık faktörleri Çizelge 3.3'te verilmiştir. T organ veya dokusu ve R radyasyonu için; $D_{T,R}$ soğurulan doz, H_T eşdeğer doz olmak üzere Etkin doz (E) Denklem (3.2) ile verilir (ICRP, 2012).

$$E=\Sigma W_T H_T \quad (3.2)$$

Çizelge 3.3. Radyasyon türüne göre radyasyon ağırlık faktörleri (ICRP, 2012)

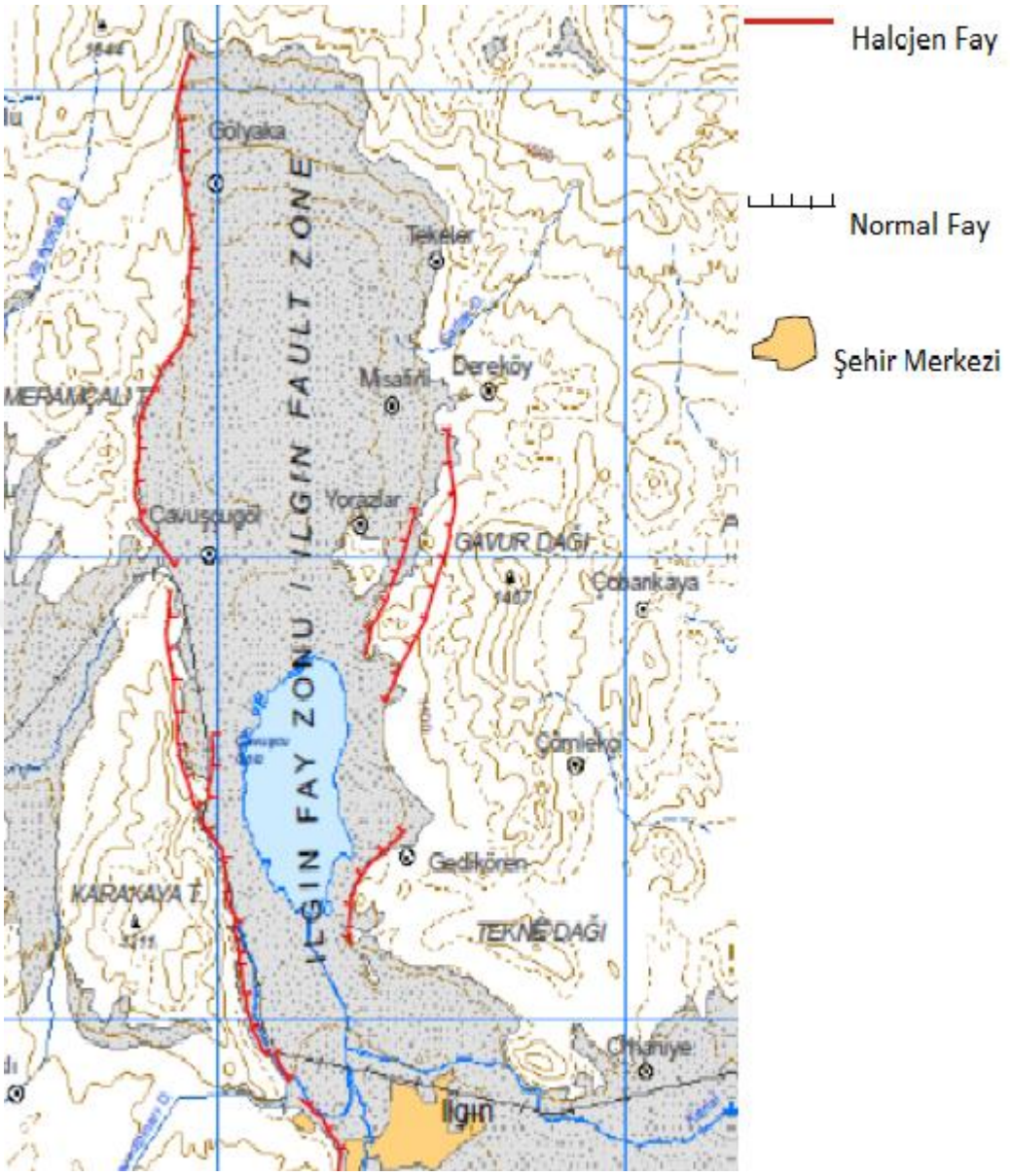
Organ/ Doku	W_T
Gonatlar	0,20
Kırmızı kemik iliği	0,12
Kolon	0,12
Akciğer	0,12
Mide	0,12
Mesane	0.05
Meme	0.05
Karaciğer	0.05
Özefagus	0.05
Tiroit	0.05
Cilt	0.01
Kemik yüzeyi	0.01
Geri kalanlar	0.051
Toplam	1

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. Çalışma Bölgesi ve Jeolojik Yapı

Bu çalışma, Türkiye'nin İç Anadolu bölgesinde yer alan Konya ilinin Ilgın ilçesinde gerçekleştirilmiştir. Ilgın'ın aktif fay hattı bölgesinde yer alması ve termal su kaynaklarına sahip olması bu bölgede kapalı ortam radon aktivite konsantrasyonu ölçümlerini önemli kılmaktadır. Bu sebepten Konya'nın Ilgın ilçesinde yer alan anaokulu, ilkokul, ortaokul ve liseleri içeren toplam 19 okul ile kaplıcalarda zemin ve bazı binaların bodrum katlarında AlphaGUARD radon detektörü kullanılarak kapalı ortam radon aktivite konsantrasyonu ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

Çalışma bölgesi tektonik olarak Kütahya-Bolkardağ Kuşağında yer almaktadır (Özcan, 1988). Bu kuşakta, kristalize kireç taşları, dolomitler, başkalaşmış kireç taşları ve kum taşlarını içeren çeşitli kaya tipleri farklı çağlarda geniş bir yüzeye yayılmıştır. Bölgedeki termal kaynakların gelişimi açısından muhtemelen Neogene tektonik rejimleri en önemli rolü oynamıştır. Bu son tektonik rejim, Şekil 4.1'de görüldüğü gibi Konya'nın Ilgın ilçesinde bulunan ve hala aktif olan fayların oluşumuna sebep olmuştur. Bu bölgede hala zaman zaman depremler olmaktadır. Bölgedeki en iyi bilinen aktif fay Ilgın fayı olarak adlandırılır ve yer çekim kontrolleri fay tiplerinin sonucunda oluşan normal faylar olarak gelişmiştir. Bu fay hala derinlerdeki sıcak meteorik suyun aktif kanallar yolu ile yeryüzüne çıkmasına hala rol oynamaktadır ve buna bağlı olarak termal su kaynakları ve tesisler mevcuttur. Bu aktif fay sistemleri dünyada ve Türkiye de birçok yerde termal suların gelişimine sebep olmaktadır. Yerkürenin derinliklerinden gelen termal suyun yüksek radon aktivitesine sebep olabilmesi ve bölgede aktif faylarında yer alması bölgedeki kapalı ortam radon aktivite ölçümlerinin yüksek çıkma riskini ve önemini ortaya koymaktadır.



Şekil 4.1. Ilgın bölgesinde yer alan aktif fayların haritası (Emre ve ark., 2019)

4.2. AlphaGUARD Radon Detektörü

Radon ölçümleri için kullanılan, AlphaGUARD PQ 2000PRO, radon kaynaklı alfa radyasyonunu ölçmekte kullanılan taşınabilir nitelikte bir radyasyon detektörüdür. Alfa radyasyonu maddeyi iyonize edici özelliğe sahip olduğundan detektör buna uygun bir iyonizasyon odası içermektedir. İyonizasyon odası paslanmaz çelikten, silindir şeklinde yapılmıştır ve detektör besleme gerilimi (anot ve katot arası gerilim farkı) DC 750 volttur (AlphaGUARD, 2012). Detektör toplam hacmi 0,62 litredir, ancak bunun 0,56 litrelik kısmı etkin detektör olarak kullanılmaktadır.

AlphaGUARD ile uzun süreli ölçümler yapılabilmekte ve ölçümler esnasında doğrudan bir güç kaynağına bağlanabildiği gibi yüksek kapasiteli pilleri sayesinde, seçilen ölçüm moduna göre on güne kadar sürekli ölçüm alınabilmektedir. Radon konsantrasyonu ölçümü bu detektör ile 2 – 2.106 Bq/m3 aralığında yapılabilmektedir. Bu geniş aralığa rağmen sistemin kendisinden gelen %3 gibi bir doğrusallık hata payı bulunmaktadır.

Cihaz amaca ve zaman seçimine bağlı olarak ölçümleri difüzyon modu ve akış modu olmak üzere iki şekilde yapabilmektedir. Uzun süreli ve devamlı ölçümlerde difüzyon modu kullanılır. Bu modda cihaz detektörü 10 dakikalık veya 1 saatlik döngülerle veri kaydeder. Akış modunda ise veri alma aralıkları 1 dakika veya 10 dakika olarak ayarlanabilir. Bu mod daha çok kısa süreli ölçümlerde çok sayıda veri elde etmek için seçilir.

AlphaGUARD ile havadaki, sudaki, topraktaki ve yapı malzemelerindeki radon ölçülebilmektedir. Havada yapılacak ölçümler için ayrıca bir aparat kullanmak gerekmezken su, toprak ve yapı malzemeleri için yapılacak ölçümlerde AlphaGUARD cihazı ile birlikte AkuaKIT aparatı ve toprak KİT'i aparatı kullanılmaktadır. Ayrıca AlphaGUARD radon konsantrasyonu ile eşzamanlı olarak sıcaklık (-15 ila +60 °C aralığında), atmosfer basıncı (800 ila 1050 mbar aralığında) ve nem oranı (% 0 - % 99 rH aralığında) gibi üç farklı iklimsel parametreyi de ölçebilmektedir.

AlphaGUARD, çeşitli lokasyonlarda veri toplanması için taşınabilir bir veri toplama sistemi ve aynı zamanda toplanan verilerin saklanabilmesi için bir veri depolama sistemidir. Depolanan verilerin bilimsel yorumlarının yapılabilmesi için veri analiz yazılımı ile birlikte çalışır. Ayrıca yerinde aktif ölçümler yapılmasında kullanılan AlphaGUARD cihazı bilgisayara bağlanarak ölçüm sırasındaki değişimler gözlenebilmektedir. Bu detektörün görünüşü Şekil 4.2'de verilmiştir.

AlphaGUARD radon detektörü kullanılarak elde edilen veriler data expert isimli bir yazılım ile anlamlı rakamlara çevrilmiştir. Bu yazılım ile radon aktivite değerleri Bq m-3 biriminde elde edilmiştir. Bununla birlikte bu yazılım ile radon hata değerleri, sıcaklık, basınç ve bağıl nem değerleri de alınabilmektedir.



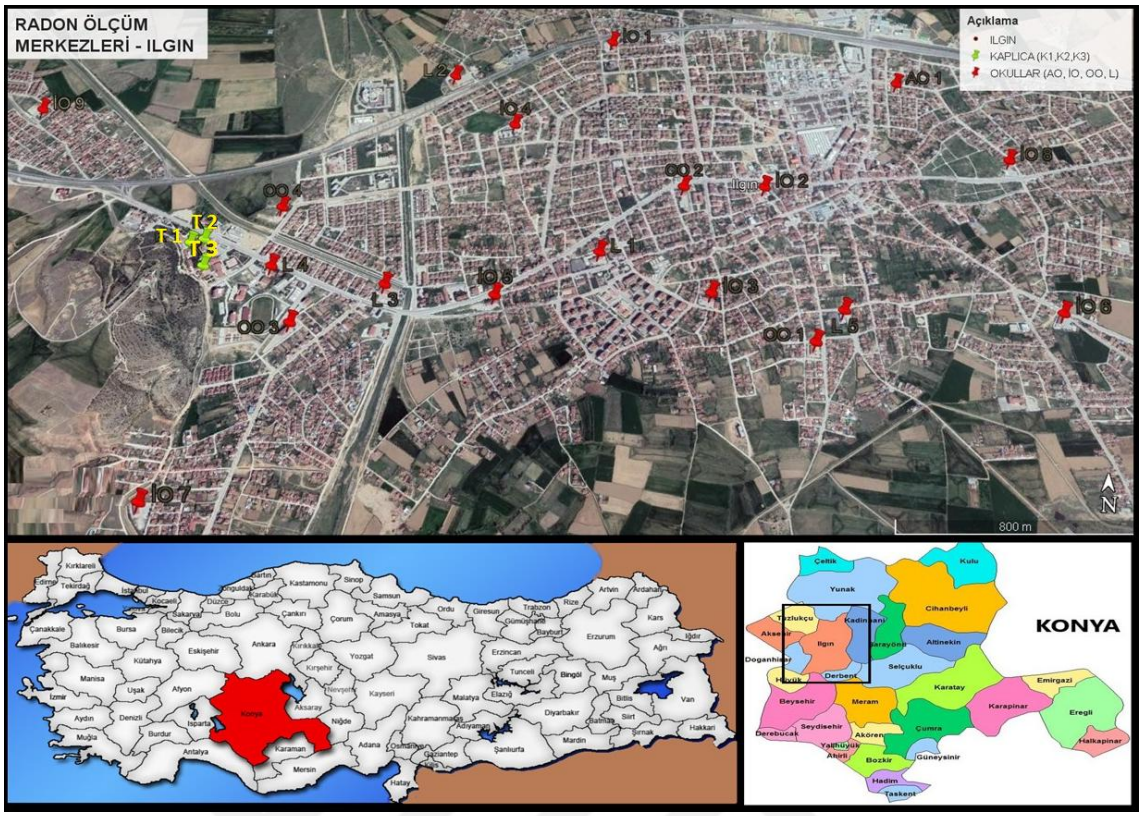
Şekil 4.2. AlphaGUARD radon detektörünün görünüşü

4.3. Okullarda Kapalı Ortam Radon Ölçümü

Konya'nın Ilgın ilçesinde yer alan anaokulu, ilkokul, ortaokul ve liseleri içeren toplam 19 okulda kapalı ortam radon aktivite konsantrasyonu ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu okullardan 4 tanesinin (AO1, İO4, İO8, İO9) bodrum katının da olması ve öğrenciler tarafından kullanılması nedeniyle bu okulların zemin katları da dahil olmak üzere 1 anaokulu, 9 ilkokul, 4 ortaokul ve 5 lise olmak üzere toplam 23 derslikte kapalı ortam radon aktivite ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ölçüm yapılan okulların isimleri, kodları, koordinat bilgileri ve kat bilgileri Çizelge 4.1'de verilmiştir. Burada AO anaokulunu, İO ilkokulu, OO ortaokulu ve L ise lise düzeyindeki okulları göstermektedir. Ölçümler AlphaGUARD radon detektörü kullanılarak difüzyon modunda ve üç günlük sürekli ölçümler alınarak ve yerden yaklaşık 1 metre yükseklikte gerçekleştirilmiştir. Okullardaki kapalı ortam radon aktivite ölçümünün yapıldığı okulların harita üzerindeki konumları da ayrıca Şekil 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.1. Konya'nın Ilgın ilçesindeki kapalı ortam radon gazı ölçümü yapılan okulların isimleri ve kodları.

Numara	Okul Kodu	Koordinatlar		Okul İsmi
		Enlem	Boylam	
1	AO 1 (Zemin Kat)	38° 17,175 K	31° 55,237 D	ELİF ANAOKULU
2	AO 1 (Bodrum Kat)	38° 17,175 K	31° 55,237 D	ELİF ANAOKULU
3	İO 1	38° 17,285 K	31° 54,398 D	İRFAN YAYLA İLKOKULU
4	İO 2	38° 16,861 K	31° 55,831 D	ATATÜRK İLKOKULU
5	İO 3	38° 16,584 K	31° 54,668 D	CUMHURİYET ORTAOKULU
6	İO 4 (Zemin Kat)	38° 17,017 K	31° 54,123 D	75.YIL İLKOKULU
7	İO 4 (Bodrum Kat)	38° 17,017 K	31° 54,123 D	75.YIL İLKOKULU
8	İO 5	38° 16,562 K	31° 54,109 D	İNÖNÜ İLKOKULU
9	İO 6	38° 16,562 K	31° 55,564 D	HALİL ÖZKAN İLKOKULU
10	İO 7	38° 16,096 K	31° 53,336 D	Ş.M.DENİZ KAĞNICI İLKOKULU
11	İO 8 (Zemin Kat)	38° 16,955 K	31° 55,518 D	100.YIL İLKOKULU
12	İO 8 (Bodrum Kat)	38° 16,955 K	31° 55,518 D	100.YIL İLKOKULU
13	İO 9 (Zemin Kat)	38° 17,021 K	31° 52,750 D	AHMET ALİ GEZGİN İLKOKULU
14	İO 9 (Bodrum Kat)	38° 17,021 K	31° 52,750 D	AHMET ALİ GEZGİN İLKOKULU
15	OO 1	38° 16,477 K	31° 54,925 D	YUNUS EMRE ORTAOKULU
16	OO 2	38° 16,855 K	31° 54,603 D	CANSU ŞİMŞEK ORTAOKULU
17	OO 3	38° 16,481 K	31° 53,596 D	IMAM HATIP ORTAOKULU
18	OO 4	38° 16,766 K	31° 53,510 D	MEHMET AKİF ERSOY ORTAOKULU
19	L 1	38° 16,675 K	31° 54,376 D	HÜSEYİN AKSOY ANADOLU LİSESİ
20	L 2	38° 17,161 K	31° 53,934 D	TİCARET BORSASI FEN LİSESİ
21	L 3	38° 16,579 K	31° 53,821 D	İMAM HATİP LİSESİ
22	L 4	38° 16,615 K	31° 53,517 D	Ş.B.H.ÇOBAN MESLEKİ VE TEKNİK ANADOLU LİSESİ
23	L 5	38° 16,553 K	31° 55,006 D	ŞEKER-İŞ SENDİKASI MESLEKİ VE TEKNİK ANADOLU LİSESİ



Şekil 4.3. Kapalı ortam radon ölçümü yapılan okulların ve termal işletmelerin konumları

4.4. Kaplıcalarda Kapalı Ortam Radon Ölçümü

Termal su kaynaklarına sahip olan Konya'nın Ilgın ilçesinde yer alan belediyeye ait tesislerden 3 blokta zemin katlarda radon aktivite ölçümleri yine AlphaGUARD radon detektörü kullanılarak difüzyon modunda ve üç günlük sürekli ölçümler alınarak ve yerden yaklaşık 1 metre yükseklikte gerçekleştirilmiştir. Ölçüm yapılan tesislerin bilgileri, kodları ve kat bilgileri Çizelge 4.2'de verilmiştir. Kapalı ortam radon aktivite ölçümünün yapıldığı termal işletmelerin konumları Şekil 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.2. Kapalı ortam radon aktivite konsantrasyonu ölçümleri yapılan termal tesisler

Numara	Kod	Koordinatlar		Ölçüm yeri
		Enlem	Boylam	
1	T 1	38° 16,666 K	31° 53,287 D	Termal Tesis (A blok)
2	T 2	38° 16,676 K	31° 53,332 D	Termal Tesis (B blok)
3	T 3	38° 16,676 K	31° 53,271 D	Termal Tesis (C blok)

4.5. Kapalı Ortam Radona Bağlı Doz Tahmini

Çalışma bölgesinde yer alan okullarda ve termal işletmelerde kapalı ortam radondan kaynaklanan ortama yıllık etkin doz tahminleri mSv biriminde Denklem (4.1) ile hesaplanmıştır (UNSCEAR, 2000).

$$\text{Yıllık Etkin Doz} = C_{Rn}\, F\, D_{DF}\, T\, 10^{-6} \quad (4.1)$$

Denklem (4.1)'in sağ tarafında verilen ilk terim ortalama kapalı ortam radon aktivite konsantrasyonunu Bq.m-3 birimiyle ifade edilmiştir. İkinci terim ise radon ve radonun bozunum ürünleri arasındaki denge faktörünü gösterir ve 0.4 olarak alınmıştır. Üçün terim DDF ise doz dönüşüm faktörü olup değeri 9 nSv (Bq.saat.m-3)-1 olarak tanımlanır. Dördüncü terim T, kapalı ortamda geçirilen zamanı göstermektedir ve çalışanların iş günlerinde günlük 8 saat olmak üzere yılda yaklaşık 2000 saat çalıştıkları göz önünde bulundurulmuştur. Son terim ise birim dönüştürme katsayısı olarak kullanılmıştır.

5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Termal su kaynakları ve aktif fay hatlarına sahip Konya'nın Ilgın ilçesinde yer alan farklı bina yaşlarına sahip 19 okulun bodrum katı olmayanların zemin katlarında, bodrum katı olanların ise hem bodrum (AO 1, İO 4, İO 8, İO 9) hem de zemin (AO 1, İO 1, İO 2, İO 3, İO 4, İO 5, İO 6, İO 7, İO 8, İO 9, OO 1, OO 2, OO 3, OO 4, L 1, L 2, L 3, L 4, L 5) katlarındaki sınıflarda kapalı ortam radon aktivite konsantrasyonları ölçülmüştür. Çizelge 5.1 ve Şekil 5.1'de görüldüğü gibi kapalı ortam radon aktivite değeri en yüksek 382 Bq m-3 olarak L 1 kodu ile tanımlanan Hüseyin Aksoy Anadolu Lisesinde, en düşük kapalı ortam radon aktivite değeri ise 25 Bq m-3 olarak İO 7 kodu ile tanımlanan Ş. M. Deniz Kağnıcı İlkokulunda yer alan sınıfların zemin katlarında ölçülmüştür. Tüm ölçüm yapılan sınıflardaki ortalama kapalı ortam radon aktivite konsantrasyon değeri 93,56 Bq m-3 olarak belirlenmiştir. Ölçüm sonuçlarına göre, hem bodrum katında hem de zemin katta kapalı ortam radon aktivitesi ölçülen okulların (AO 1, İO 4, İO 8, İO 9) bodrum katlarındaki radon aktivite konsantrasyonlarının zemin katlardaki değerlerden daha yüksek çıktığı görülmüştür. Bu beklenen durum radon gazının havadan yaklaşık 8 kat daha ağır olması ile açıklanabilir. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) tarafından tavsiye edilen kapalı ortam radon aktivite konsantrasyon değeri 400 Bq m-3 olup, ölçüm sonuçlarına göre tüm değerler bu limit değerinin altında bulunmuştur. Uluslararası Radyasyon Korunması Komitesi (ICRP), 2014 yılında yayımlanan "radon maruziyetine karşı radyolojik korunma" isimli 126 numaralı yayınında epidemiyolojik çalışmalara göre konutlarda tavsiye edilen 300 Bq m-3'lük radona maruz kalma limit değeri ile sonuçlar karşılaştırıldığında ise 2 okulun (İO 8 ve L 1) bu limitin üzerinde, diğer okulların bu limitin altında olduğu görülmüştür. Bununla birlikte Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ, WHO) tarafından tavsiye edilen kapalı ortam radon aktivite konsantrasyon değeri 100 Bq m-3 olup ölçüm sonuçlarına göre 8 okulun (AO 1 Bodrum kat, İO 1, İO 2, İO 5, İO 8, L 1, L 4, L 5) kapalı ortam radon aktivite konsantrasyon değeri bu limitin üzerinde bulunmuştur. Ayrıca bu okullardaki öğrenci, öğretmen ve personelin günde 8 saat olmak üzere yılda yaklaşık 2000 saatini kapalı ortamda geçirdiği dikkate alınarak radona bağlı bu insanların aldığı yıllık etkin dozların da tahmini hesaplaması Çizelge 5.1'de ve Şekil 5.2'de görüldüğü gibi yapılmıştır. Bu hesaplamalara göre radona bağlı alınan yıllık etkin dozların bodrum katlarda daha fazla olduğu, ölçüm yapılan tüm okullar için ise bu dozların 0,26 mSv ile 4,02 mSv aralığında değiştiği, ortalama değerin de 0,98 mSv olduğu görülmüştür.

Okullardaki kapalı ortam radon aktivite konsantrasyonu ile sıcaklık, hava basıncı ve bina yaşı arasındaki ilişkilere bakıldığında genel anlamda bir ilişki olmadığı gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, kapalı ortam radon aktivite konsantrasyonu ile bina yaşları arasında kısmen bir ilişki gözlemlenmiştir. Örneğin bina yaşı 40 yılın üzerinde olan okullara (İO 2, İO 3, İO 5, OO 2, L 1 ve L 4) bakıldığında İO 3 hariç diğer okulların kapalı ortam radon aktivite konsantrasyonunun 100 Bq m-3 değerlerinin üzerinde olduğu görülürken, bina yaşı en düşük olan OO 3 ve L 2 kodlu okulların kapalı ortam radon aktivite konsantrasyonunu 100 Bq m-3 değerlerinin altında olduğu görülmüştür. Fakat tüm okullar için bina yaşı ile kapalı ortam radon aktivite konsantrasyonu arasında genel bir ilişki yoktur.

Çizelge 5.1'de verilen okulların sınıflarında yapılan kapalı ortam radon aktivite konsantrasyonu ölçümleri her bir sınıf için 3 gün süre ile sürekli olarak saat başı veri alacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Bu 3 günlük sürekli ölçüm sonuçlarına göre, kapalı ortam radon aktivite konsantrasyonu değerinin gece saatlerinde bir artış gösterdiği gündüz saatlerinde ise bir azalma olduğu görülmüştür. Bu durum binaların gece saatlerinde pasif olmasına bağlı olarak kapı ve pencerelerinin kapalı olması, gündüz saatlerinde ise binaların aktif olarak kullanılmasına bağlı olarak kapı ve pencerelerin havalandırma amaçlı kullanılması sebebi ile radonun azalma eğilimi göstermesi ile açıklanabilir.

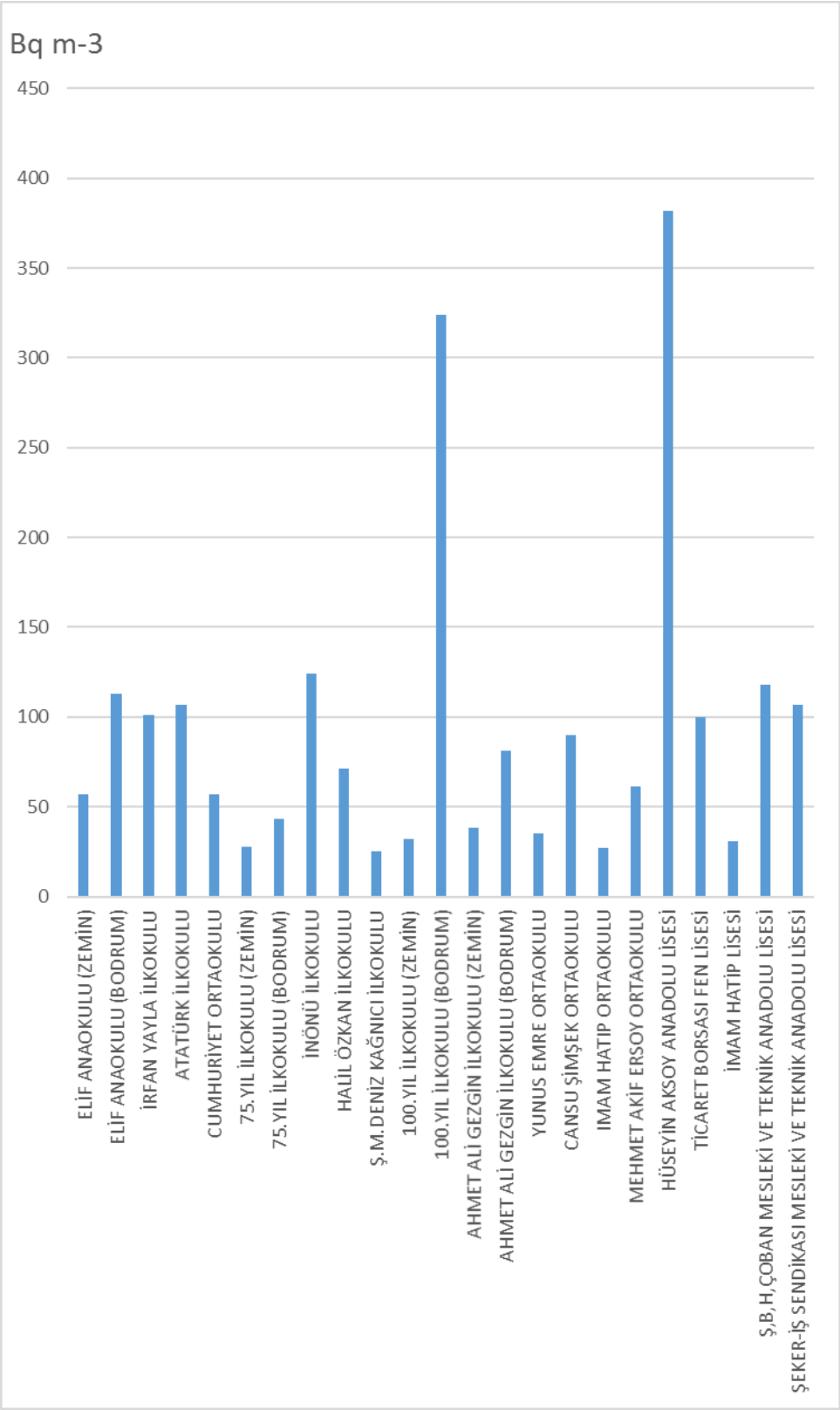
Çizelge 5.1'de verilen okulların sınıflarında yapılan kapalı ortam radon aktivite konsantrasyonu ölçümleri her bir sınıf için 3 gün süre ile sürekli olarak saat başı veri alacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Bu sınıflardaki kapalı ortam radon aktiviteleri ile birlikte, Bq m-3 biriminde radon hata, oC biriminde sıcaklık, mbar biriminde hava basıncı ve % olarak bağıl nem değerleri de ölçülmüştür. Bu ölçümlerden iki tanesi örnek olarak Şekil 5.3 ve 5.4'te verilmiştir. Şekil 5.3 ve 5.4'te verilen bu grafiklere göre üç günlük sürekli ölçüm sonuçlarının AO 1 ve L 5 kodlu okullar için kapalı ortam radon aktivite konsantrasyonu değerinin gece saatlerinde bir artış gösterdiği gündüz saatlerinde ise bir azalma olduğu görülmüştür. Bu durum binaların gece saatlerinde pasif olmasına bağlı olarak kapı ve pencerelerinin kapalı olması, gündüz saatlerinde ise binaların aktif olarak kullanılmasına bağlı olarak kapı ve pencerelerin havalandırma amaçlı kullanılması sebebi ile radonun azalma eğilimi göstermesi ile açıklanabilir.

Çizelge 5.1. Ilgın bölgesindeki okullarda ölçülen kapalı ortama radon aktiviteleri ve radona bağlı alınan yıllık etkin dozlar

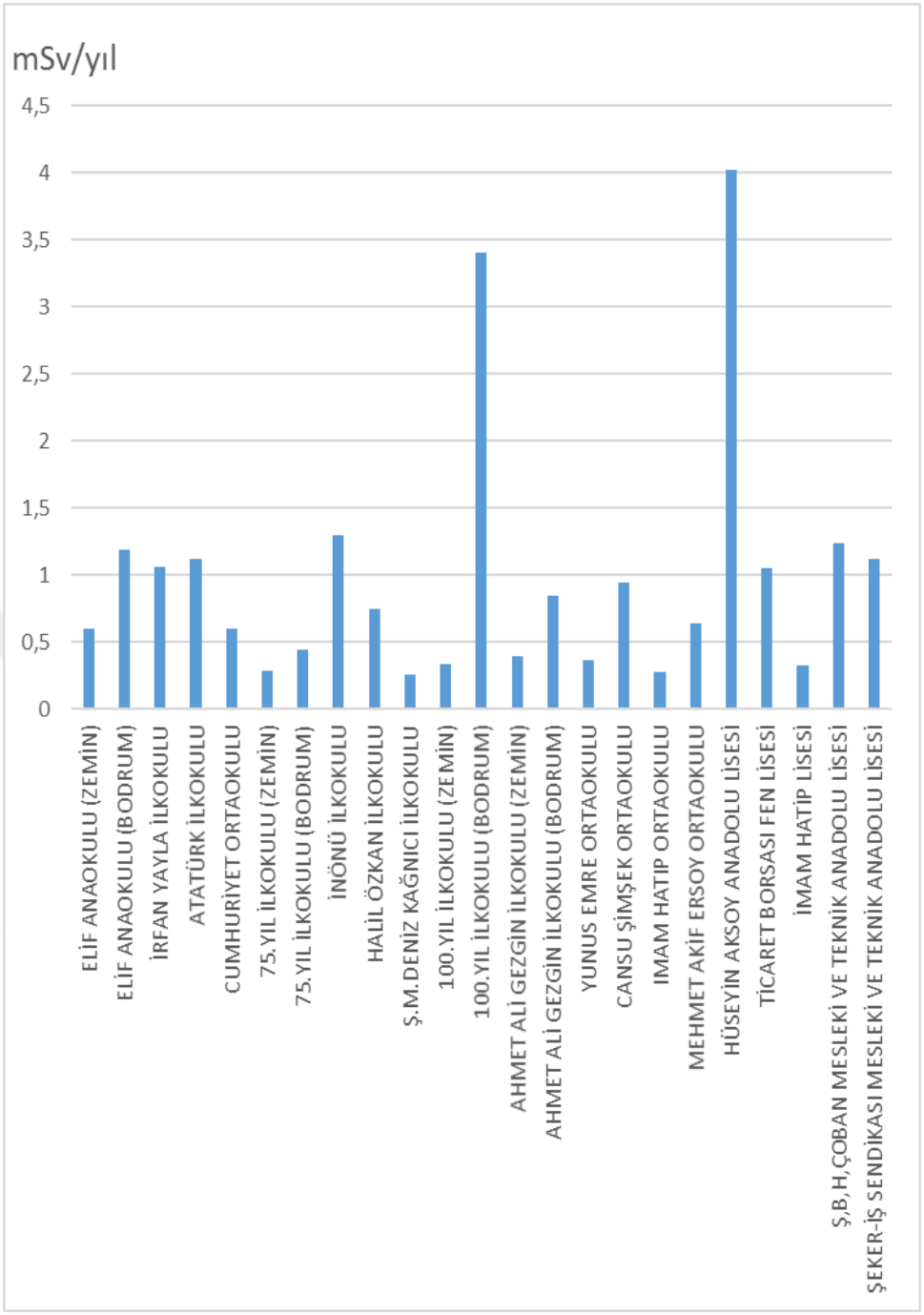
Numara	Okul Kodu	Okul İsmi	Radon Aktivitesi (Bq m^{-3})	Yıllık Etkin Doz (mSv y^{-1})
1	AO 1 (Zemin Kat)	ELİF ANAOKULU	57	0,60
2	AO 1 (Bodrum Kat)	ELİF ANAOKULU	113	1,19
3	İO 1	İRFAN YAYLA İLKOKULU	101	1,06
4	İO 2	ATATÜRK İLKOKULU	107	1,12
5	İO 3	CUMHURİYET ORTAOKULU	57	0,60
6	İO 4 (Zemin Kat)	75.YIL İLKOKULU	28	0,29
7	İO 4 (Bodrum Kat)	75.YIL İLKOKULU	43	0,45
8	İO 5	İNÖNÜ İLKOKULU	124	1,30
9	İO 6	HALİL ÖZKAN İLKOKULU	71	0,75
10	İO 7	Ş.M.DENİZ KAĞNICI İLKOKULU	25	0,26
11	İO 8 (Zemin Kat)	100.YIL İLKOKULU	32	0,34
12	İO 8 (Bodrum Kat)	100.YIL İLKOKULU	324	3,41
13	İO 9 (Zemin Kat)	AHMET ALİ GEZGİN İLKOKULU	38	0,40
14	İO 9 (Bodrum Kat)	AHMET ALİ GEZGİN İLKOKULU	81	0,85
15	OO 1	YUNUS EMRE ORTAOKULU	35	0,37
16	OO 2	CANSU ŞİMŞEK ORTAOKULU	90	0,95
17	OO 3	IMAM HATIP ORTAOKULU	27	0,28
18	OO 4	MEHMET AKİF ERSOY ORTAOKULU	61	0,64
19	L 1	HÜSEYİN AKSOY ANADOLU LİSESİ	382	4,02
20	L 2	TİCARET BORSASI FEN LİSESİ	100	1,05
21	L 3	İMAM HATİP LİSESİ	31	0,33
22	L 4	Ş,B,H,ÇOBAN MESLEKİ VE TEKNİK ANADOLU LİSESİ	118	1,24
23	L 5	ŞEKER-İŞ SENDİKASI MESLEKİ VE TEKNİK ANADOLU LİSESİ	107	1,12
Ortalama Kapalı Ortam Radon Aktivite Konsantrasyonu			93,56	0,98

Çizelge 5.2. Ilgın bölgesindeki kapalı ortama radon aktiviteleri ölçülen okulların Sıcaklık, Hava Basıncı ve Bina yaşları

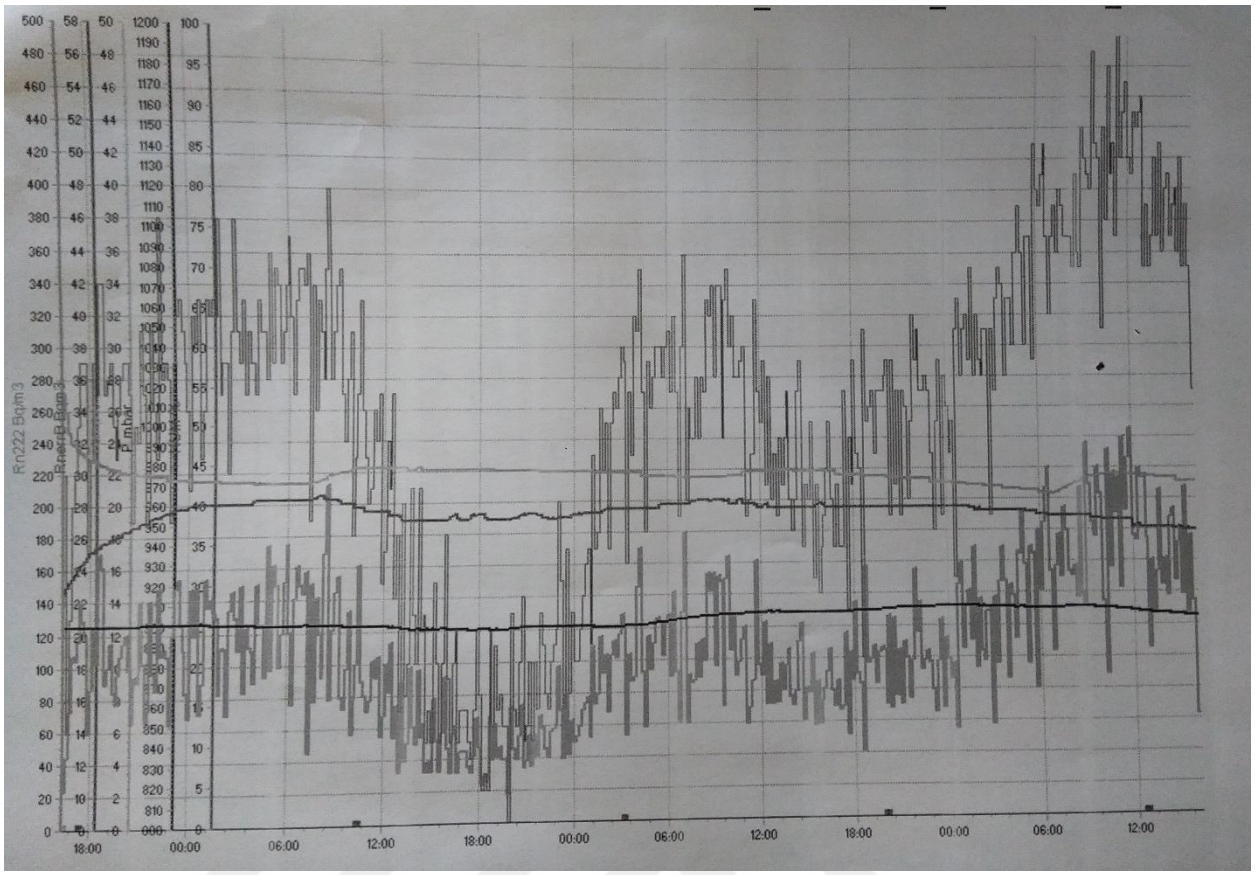
Numara	Okul İsmi	Sıcaklık (°C)	Hava Basıncı (mbar)	Bina Yaşı (Yıl)
1	ELİF ANAOKULU (ZEMİN)	20,7°C	897,3	11
2	ELİF ANAOKULU (BODRUM)	20,2°C	897,0	11
3	İRFAN YAYLA İLKOKULU	16,7°C	890,8	30
4	ATATÜRK İLKOKULU	16,7°C	895,8	59
5	CUMHURİYET ORTAOKULU	20,7°C	901,1	55
6	75,YIL İLKOKULU (ZEMİN)	15,7°C	895,5	18
7	75,YIL İLKOKULU (BODRUM)	13,0°C	894,8	18
8	İNÖNÜ İLKOKULU	20,3°C	895,8	50
9	HALİL ÖZKAN İLKOKULU	18,3°C	898,1	19
10	Ş,M,DENİZ KAĞNICI İLKOKULU	21,6°C	894,5	18
11	100,YIL İLKOKULU (ZEMİN)	19,1°C	896,7	35
12	100,YIL İLKOKULU (BODRUM)	18,0°C	897,6	35
13	AHMET ALİ GEZGİN İLKOKULU (ZEMİN)	19,7°C	896,1	14
14	AHMET ALİ GEZGİN İLKOKULU (BODRUM)	18,9°C	899,9	14
15	YUNUS EMRE ORTAOKULU	20,7°C	894,9	25
16	CANSU ŞİMŞEK ORTAOKULU	20,5°C	900,7	64
17	IMAM HATIP ORTAOKULU	20,6°C	898,0	2
18	MEHMET AKİF ERSOY ORTAOKULU	20,2°C	895,1	27
19	HÜSEYİN AKSOY ANADOLU LİSESİ	23,4°C	891,3	50
20	TİCARET BORSASI FEN LİSESİ	22,3°C	894,6	1
21	İMAM HATİP LİSESİ	22,5°C	898,0	40
22	Ş,B,H,ÇOBAN MESLEKİ VE TEKNİK ANADOLU LİSESİ	11,0°C	904,8	47
23	ŞEKER-İŞ SENDİKASI MESLEKİ VE TEKNİK ANADOLU LİSESİ	21,6°C	900,6	7



Şekil 5.1. Okullara göre kapalı ortam radon aktivite konsantrasyonu



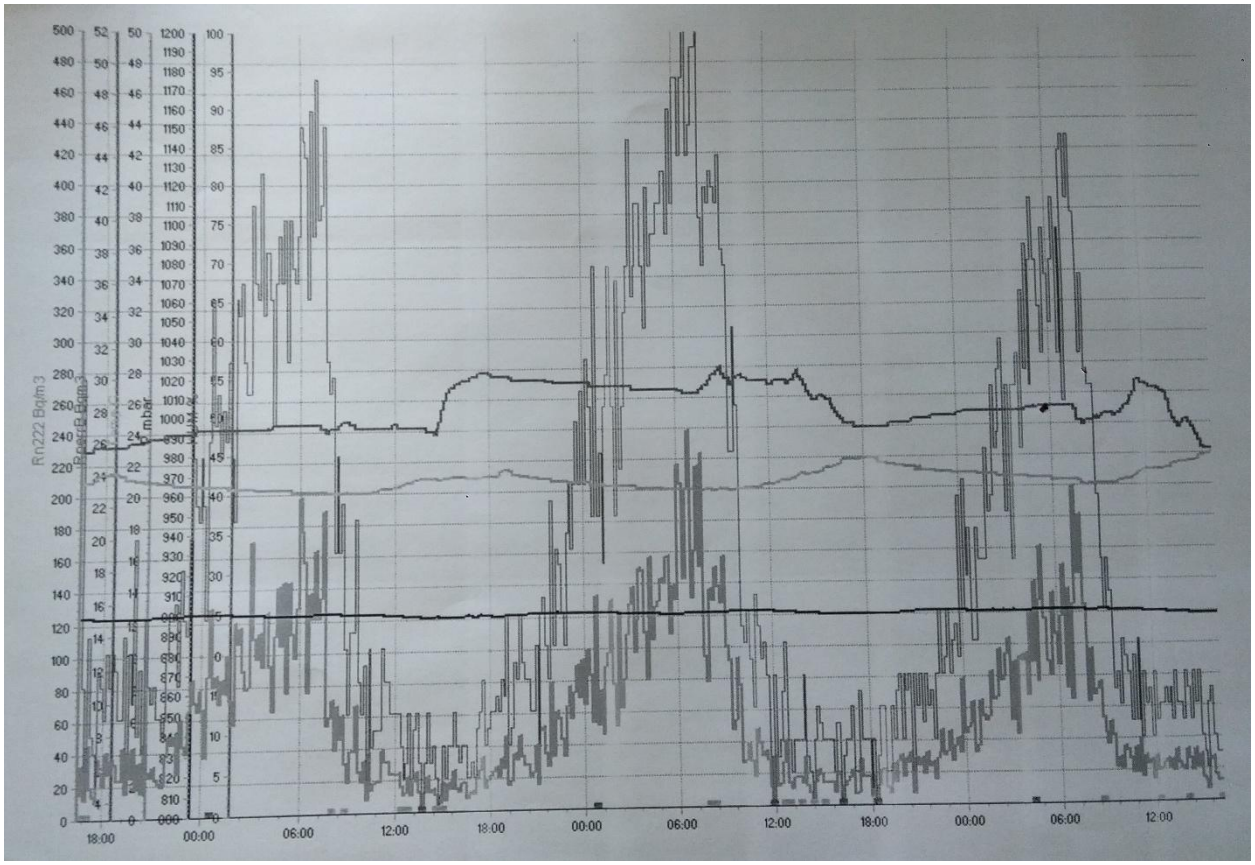
Şekil 5.2. Okullara göre çalışan, öğretmen ve öğrenciler tarafından radon kaynaklı alınan yıllık etkin doz değerleri



Şekil 5.3. AO 1 kodlu okul için yatay eksen saat cinsinden zamanı göstermek üzere üç günlük Bq m-3 biriminde kapalı ortam radon aktivitesi (en soldaki düşey eksen) ve hata ekseni (soldan ikinci düşey eksen), oC biriminde sıcaklık (soldan üçüncü düşey eksen), mbar biriminde hava basıncı (soldan dördüncü düşey eksen) ve bağıl nem (en sağdaki düşey eksen) değerleri

Termal su kaynakları ve aktif fay hatlarına sahip Konya'nın Ilgın ilçesinde yer alan belediyeye ait termal işletmelerden üç farklı binada zemin ve bodrum katlarında kapalı ortam radon aktivite konsantrasyonları ölçülmüştür. Çizelge 5.3'te ölçüm yapılan termal işletmelerin kodları, koordinatları, kapalı ortam radon aktivite konsantrasyonları ve personelin kapalı ortamda 8 saat zaman geçirmesine bağlı olarak radon kaynaklı yıllık etkin doz değerleri verilmiştir. Çizelge 5.3'te ve Şekil 5.5'te görülen T 1 kodlu ölçüm halk tarafından kullanılan ve en son yapılan (Yeni hamam) umuma açık termal kaplıcayı, T 2 kodlu ölçüm halk tarafından kullanılan ve en eski yapı olan ve Vakıf Hamamı (Eski hamam) olarak bilinen umuma açık termal kaplıcayı, T 3 kodlu ölçüm ise termal işletmenin otel binasını göstermektedir. T 1 ve T 2 kodları ile verilen lokasyonlarda kapalı ortam radon konsantrasyonları zemin katlarda ölçülürken T 3 kodlu lokasyondan alınan ölçüm ise bodrum katındaki koridorunda alınmıştır. Çizelge 5.3 ve Şekil 5.5'te görüldüğü gibi kapalı ortam radon aktivite değeri en yüksek 415 Bq m^{-3} olarak T 1 kodu ile tanımlanan lokasyonda, en düşük kapalı ortam radon aktivite değeri ise 47 Bq m^{-3} olarak T 3 kodu ile tanımlanan lokasyonda ölçülmüştür. Ölçüm

yapılan termal işletmedeki üç farklı binadaki ortalama kapalı ortam radon aktivite konsantrasyon değeri 203 Bq m^{-3} olarak belirlenmiştir. Ölçüm sonuçlarına göre, en yüksek kapalı ortam radon aktivite konsatrasyonu (T 1), termal havuzlara en yakın olan ölçüm lokasyonudur. T 2 lokasyonundaki kapalı ortam radon aktivite konsantrasyon değerinin nispeten düşük çıkması T 1'e göre havuzların ölçüm lokasyonuna göre daha uzak olması ile açıklanabilir. T 3 lokasyonunun bodrum katta olmasına rağmen en düşük kapalı ortam radon aktivite konsantrasyon değeri olarak ölçülmesi, bu kattaki aile havuzlarının sürekli kullanılmamasıyla ilişkilendirilebilir.



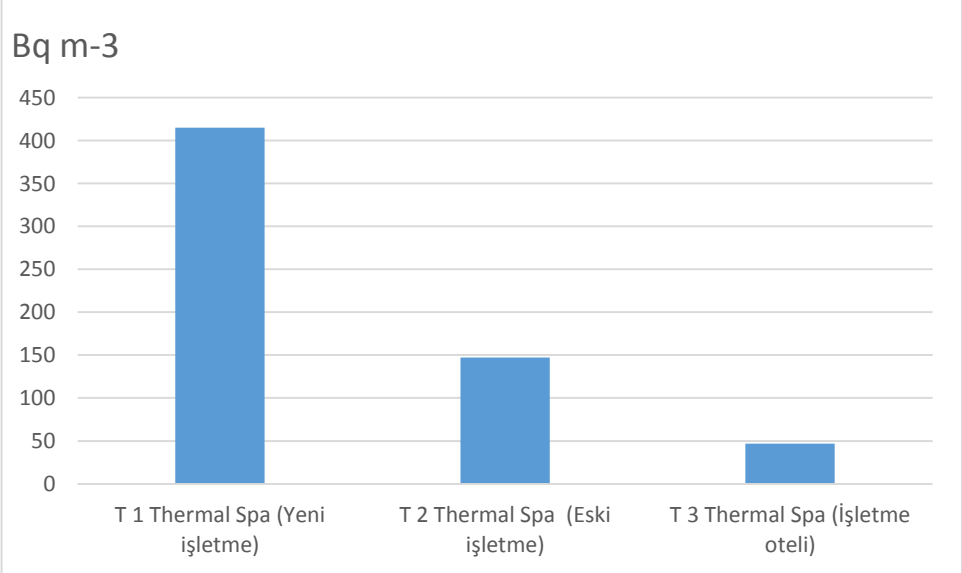
Şekil 5.4. L 5 kodlu okul için yatay eksen saat cinsinden zamanı göstermek üzere üç günlük Bq m-3 biriminde kapalı ortam radon aktivitesi (en soldaki düşey eksen) ve hata ekseni (soldan ikinci düşey eksen), ^{o}C biriminde sıcaklık (soldan üçüncü düşey eksen), mbar biriminde hava basıncı (soldan dördüncü düşey eksen) ve bağıl nem (en sağdaki düşey eksen) değerleri

Ayrıca, bu termal işletmedeki personelin günde 8 saat olmak üzere yılda yaklaşık 2000 saatini kapalı ortamda geçirdiği dikkate alınarak radona bağlı bu insanların aldığı yıllık etkin dozların da tahmini hesaplaması yapılmıştır ve sonuçlar Çizelge 5.3'te Şekil 5.6'da verilmiştir. Bu hesaplamalara göre radona bağlı alınan yıllık etkin dozların ölçüm yapılan termal işletme için 0,49 mSv ile 4,36 mSv aralığında değiştiği, ortalama değerin de 2,13 mSv olduğu görülmüştür.

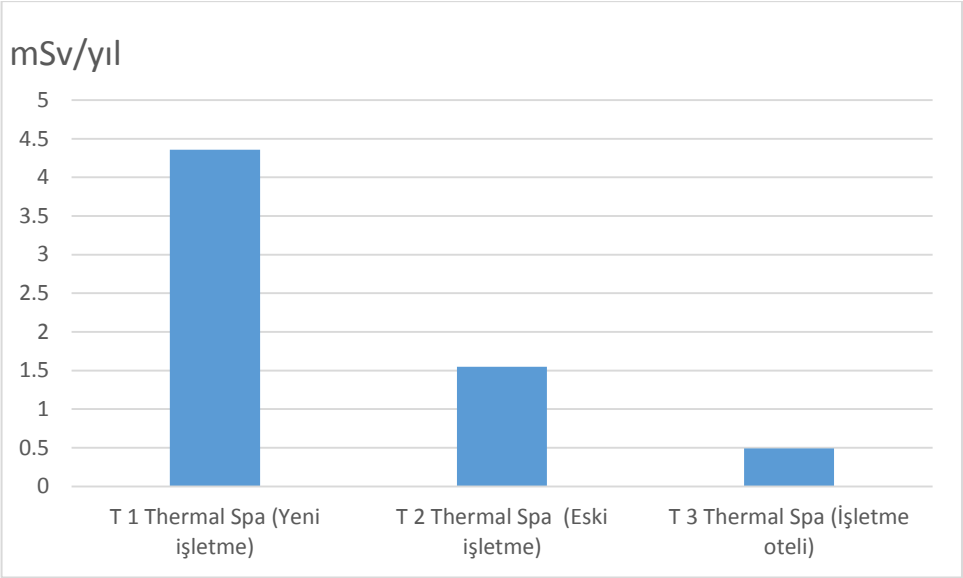
Çizelge 5.3. Ilgın bölgesindeki termal işletmelerin ölçülen kapalı ortama radon aktiviteleri ve radona bağlı alınan yıllık etkin dozlar

Numara	Kod	Ölçüm yeri	Radon Aktivitesi (Bq m^{-3})	Yıllık Etkin Doz (mSv y^{-1})
1	T 1	Thermal Spa (Yeni işletme)	415	4,36
2	T 2	Thermal Spa (Eski işletme)	147	1,55
3	T 3	Thermal Spa (İşletme oteli)	47	0,49
Ortalama Kapalı Ortam Radon Aktivite Konsantrasyonu			203	2,13

Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) ve Uluslararası Radyasyon Korunması Komitesi (ICRP) tarafından sırasıyla tavsiye edilen kapalı ortam radon aktivite konsantrasyon değeri 400 ve 300 Bq m^{-3} olup, ölçüm sonuçlarına göre termal işletmeye ait 1 binanın (T 1) kapalı ortam radon aktivite konsantrasyon değerinin TAEK ve ICRP tarafından tavsiye edilen limitin üzerinde olduğu bulunmuştur. Bununla birlikte Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ, WHO) tarafından tavsiye edilen kapalı ortam radon aktivite konsantrasyon değeri 100 Bq m^{-3} olup, ölçüm sonuçlarına göre termal işletmeye ait 2 binanın (T 1 ve T 2) kapalı ortam radon aktivite konsantrasyon değeri bu limitin üzerinde bulunmuştur. Bu 2 binadaki(T 1 ve T 2) çalışan personel için bu limit değeri aşılmış olmakla birlikte halk için termal tesiste kalma süreleri her gün bile gelse genellikle 1 saati aşamayacağı için bir risk teşkil etmeyeceği düşünülmektedir. T 3 kodlu termal işletmedeki kapalı ortam radon aktivite konsantrasyonunun ise 100 Bq m^{-3} değerlerinin altında olduğu görülmüştür.



Şekil 5.5. Termal tesislerde kapalı ortam radon aktivite konsantrasyonu



Şekil 5.6. Termal tesislerde çalışanlar tarafından radon kaynaklı alınan yıllık etkin doz değerleri

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1 Sonuçlar

Termal su kaynakları ve aktif fay hatları içeren Konya'nın Ilgın ilçesinde 19 okulun zemin kat ve bodrum katlarında yer alan sınıflarda kapalı ortam radon aktivite konsantrasyon değeri ile birlikte sıcaklık, nem ve hava basıncı değerleri ölçülmüştür. Kapalı ortam radon aktivite konsantrasyon ölçüm sonuçları ile sıcaklı, nem ve hava basıncı arasında doğrudan bir ilişki gözlemlenememiştir. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) ve Uluslararası Radyasyon Korunması Komitesi (ICRP) tarafından sırasıyla tavsiye edilen kapalı ortam radon aktivite konsantrasyon değeri 400 ve 300 Bq m^{-3} olup, tüm okulların kapalı ortam radon aktivite konsantrasyon değerleri TAEK'in limit değerlerinin altında iken sadece 2 okul (İO 8 ve L 1) için bu değer ICRP'nin tavsiye ettiği limit değerinin üzerindedir. Bununla birlikte Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ, WHO) tarafından tavsiye edilen kapalı ortam radon aktivite konsantrasyon değeri 100 Bq m^{-3} olup ölçüm sonuçlarına göre 8 okulun (AO 1 Bodrum kat, İO 1, İO 2, İO 5, İO 8, L 1, L 4, L 5) kapalı ortam radon aktivite konsantrasyon değeri bu limitin üzerinde diğerleri bu limitin altında bulunmuştur. Çizelge 6.1'de bazı ülkelerdeki ve Türkiye'de ki konutlarda ortalama radon aktivite konsantrasyon değerleri verilmiştir. Bu tablodan Türkiye'de ki konutlar da ortalama radon aktivite konsantrasyonunun Uluslararası Radyasyon Korunması Komitesi (ICRP) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tavsiye limitlerinin altında olduğu görülmektedir. Ölçüm yapılan okullar için ortalama kapalı ortam radon aktivite konsantrasyon değeri 93,56 Bq m^{-3} olup bu değer, Dünya Sağlık Örgütü'nün tavsiye ettiği limitlerin altında iken Türkiye'deki konutlardaki ortalama kapalı ortam radon aktivite konsantrasyon değerinin üzerindedir. Çizelge 6.1'de Bazı Ülkelerdeki konutların ortalama radon aktivite konsantrasyon değerleri görülmektedir. Bu değerlere göre ölçüm yapılan okullardaki ortalama kapalı ortam radon aktivite konsantrasyon değerleri İsveç, Finlandiya ve Çekya'nın altında iken diğer ülkelerin üzerindedir.

Ilgın Belediyesine ait 3 adet kaplıcada yapılan kapalı ortam radon aktivite konsantrasyon değerlerinin sonuçlarına göre, ölçüm lokasyonunun halkın kullanımında olan havuzlardan uzaklaştıkça radon aktivite değerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Ölçüm yapılan kaplıcalardan 1 tanesi (T 1) TAEK ve ICRP'nin tavsiye ettiği limit değerlerinin üzerinde iken diğer 2'si (T 2 ve T 3) altındadır. Bununla birlikte T 1 ve T 2 kodları ile

verilen kaplıcalardaki kapalı ortam radon aktivite konsantrasyon değerleri WHO'nun tavsiye ettiği limit değerlerin üzerinde olup T 3 kodlu lokasyondaki ölçüm sonucu bu limit değerinin altında bulunmuştur. Termal kaplıcalardaki 3 lokasyonun ortalama kapalı ortam radon aktivite konsantrasyon değeri 203 Bq m^{-3} olup bu değer, Çizelge 6.1'de verilen ülkelerin konutlarındaki ortalama kapalı ortam radon aktivite konsantrasyon değerlerinin tümünün üstündedir. Bu durum yeraltı kaynaklı özellikle de termal sulardaki radon aktivite konsantrasyon değerinin yüksek olması ile açıklanabilir.

Çizelge 6.1. Bazı Ülkelerdeki konutların ortalama radon aktivite konsantrasyon değerleri(TAEK, 2019a)

Ülkeler	Konutların ortalama radon aktivite konsantrasyon değeri (Bq m^{-3})
Avusturalya	11
Japonya	16
İngiltere	20
Tayland	23
Çin	24
Kanada	34
ABD	46
Almanya	50
Türkiye	52
Danimarka	53
Hindistan	57
Fransa	62
İtalya	75
İran	82
İspanya	86
İsveç	108
Finlandiya	120
Çekya	140

6.2 Öneriler

Doğal radyasyon kaynaklarından en önemlisi olan ve akciğer kanseri riski oluşturan radon ve kısa yarı ömürlü ürünlerinin kapalı ortamda yüksek konsantrasyonlarda olması halk sağlığı bakımından önemli bir risktir. Bu durum birçok uluslararası kuruluş tarafından açıklanmıştır. Havadan yaklaşık 8 kat daha ağır olan radon özellikle bodrum katlarda, zemin ile yalıtımı iyi olmayan binalarda ve yüksek radon aktivite içeren suların kullanıldığı binalarda, kapalı ortamlarda solunan radon ve kısa yarı ömürlü bozunum ürünleri oldukça risk içermektedir. Dünya genelinde kapalı ortam radon konsantrasyon değerleri için ulusal ve uluslararası ölçekteki kuruluşlar bazı limit değerleri tavsiyelerinde bulunmaktadırlar. Bu çalışmada bazı okul ve kaplıcalardaki kapalı ortam radon aktivite konsantrasyon değerleri Türkiye ve bazı ülkelerdeki ortalamaların üzerinde bulunmuştur. Bu değerlerin en asgari seviyelere

indirilebilmesi için binalarda yalıtım sistemlerinin kullanılması ve havalandırma sistemlerinin kullanılması uygun olacaktır. Ayrıca belli periyotlarla bu ölçümlerin yapılması ve herhangi bir risk olması durumunda yetkili kurum ve kuruluşlara bilgi verilmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

AlphaGUARD, 2012, ALGU User Manual 2012-08_E, Bertin Instruments.

Amrani, D., 2000, Dose assessment due to radon concentrations in schools and dwellings of Algiers, *Radiation protection dosimetry*, 87 (2), 133-135.

Anonim, 2019a, Radon in Schools, https://www.epa.gov/radon/radon-schools: [07.08.2019].

Anonim, 2019b, Radon-Resistant Construction Basics and Techniques, https://www.epa.gov/radon/radon-resistant-construction-basics-and-techniques: [30.07.2019].

Anonim, 2019c, How does radon get into my indoor spaces?, https://www.interiorhealth.ca/YourEnvironment/RadonGas/Pages/Access.aspx: [05.08.2019].

Anonim, 2019d, Çorum'da evlere 'radon sensörü', https://jurnalci.com/corumda-evlere-radon-sensoru-74061.html: [05.08.2019].

Bahtijari, M., Stegnar, P., Shemsidini, Z., Kobal, I. ve Vaupotič, J., 2006, Indoor air radon concentration in schools in Prizren, Kosovo, *Radiation protection dosimetry*, 121 (4), 469-473.

Bahtijari, M., Stegnar, P., Shemsidini, Z., Ajazaj, H., Halimi, Y., Vaupotič, J. ve Kobal, I., 2007, Seasonal variation of indoor air radon concentration in schools in Kosovo, *Radiation measurements*, 42 (2), 286-289.

Banjanac, R., Dragić, A., Grabež, B., Joković, D., Markushev, D., Panić, B., Udovičić, V. ve Aničin, I., 2006, Indoor radon measurements by nuclear track detectors: Applications in secondary schools, *Facta universitatis-series: Physics, Chemistry and Technology*, 4 (1), 93-100.

BEIR, 1999, Health Effects of Exposure to Radon, *Washington, D,C,*, 176-177.

Burghele, B. ve Cosma, C., 2012, Thoron and radon measurements in Romanian schools, *Radiation protection dosimetry*, 152 (1-3), 38-41.

Clouvas, A., Takoudis, G., Xanthos, S., Potiriadis, C. ve Kolovou, M., 2009, Indoor radon measurements in areas of northern Greece with relatively high indoor radon concentrations, *Radiation protection dosimetry*, 136 (2), 127-131.

Clouvas, A., Xanthos, S. ve Takoudis, G., 2011, Indoor radon levels in Greek schools, *Journal of environmental radioactivity*, 102 (9), 881-885.

Ćurguz, Z., Žunić, Z., Tollefsen, T., Jovanovič, P., Nikezić, D. ve Kolarž, P., 2012, Active and passive radon concentration measurements and first-step mapping in schools of Banja Luka, Republic of Srpska, *Paper presented at the First East European Radon Symposium–FERAS*.

Durcik, M., Havlik, F., Vicanova, M. ve Nikodemova, D., 1997, Radon risk assessment in Slovak kindergartens and basic schools, *Radiation protection dosimetry*, 71 (3), 201-206.

Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş., 2019, TÜRKİYE DİRİ FAY HARİTASI SERİSİ, ILGIN (NJ 36-6) PAFTASI, SERİ NO: 21: MADEN TETKİK VE ARAMA GENEL MÜDÜRLÜĞÜ (http://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/doc/yenilenmis_diri_fay_haritalari/ilgin.pdf).

Gaidolfi, L., Malisan, M., Bucci, S., Cappai, M., Bonomi, M., Verdi, L. ve Bochicchio, F., 1998, Radon measurements in kindergartens and schools of six Italian regions, *Radiation protection dosimetry*, 78 (1), 73-76.

Gillmore, G. K., Phillips, P., Denman, A., Sperrin, M. ve Pearce, G., 2001, Radon levels in abandoned metalliferous mines, Devon, Southwest England, *Ecotoxicology and Environmental safety*, 49 (3), 281-292.

ICRP, 1994, Protection against radon-222 at home and at work, *International Commission on Radiological Protection, Pergamon Press, Oxford*.

ICRP, 2012, Annals of the ICRP, 9-12.

Kapdan, E. ve Altinsoy, N., 2012, A comparative study of indoor radon concentrations between dwellings and schools, *Radiation Physics and Chemistry*, 81 (4), 383-386.

Kunz, C., Fisher, K., McNulty, C., VanOrt, S. ve Papura, T., 1996, Soil characterization for indoor radon potential at eighteen schools in New York State, *Environment International*, 22, 557-561.

Labidi, S., Al-Azmi, D. ve Salah, R. B., 2012, Indoor radon in Tunisian spas, *Radioprotection*, 47 (3), 361-373.

Lecomte, J.-F., Solomon, S., Takala, J., Jung, T., Strand, P., Murith, C., Kiselev, S., Zhuo, W., Shannoun, F. ve Janssens, A., 2014, ICRP Publication 126: Radiological Protection against Radon Exposure, *Annals of the ICRP*, 43 (3), 5-73.

Mifune, M. ve Morinaga, H., 1998, Medical experiences in Misasa radon Spa, In: Radon and thoron in the human environment, Eds, p.

Moreno, V., Bach, J., Zarroca, M., Font, L., Roqué, C. ve Linares, R., 2018, Characterization of radon levels in soil and groundwater in the North Maladeta Fault area (Central Pyrenees) and their effects on indoor radon concentration in a thermal spa, *Journal of environmental radioactivity*, 189, 1-13.

Nikolov, J., Todorovic, N., Pantic, T. P., Forkapic, S., Mrdja, D., Bikit, I., Krmar, M. ve Veskovic, M., 2012, Exposure to radon in the radon spa Niška Banja, Serbia, *Radiation measurements*, 47 (6), 443-450.

Obed, R., Ademola, A., Vascotto, M. ve Giannini, G., 2011, Radon measurements by nuclear track detectors in secondary schools in Oke-Ogun region, Nigeria, *Journal of environmental radioactivity*, 102 (11), 1012-1017.

Özcan, A., Göncüoğlu, M. C., Turhan, N., Uysal, Ş., Şentürk, K. ve Işık, A., , 1988, Late Paleozoic evolution of the Kütahya – Bolkardağ belt, *METU Journal of Pure and Appl. Sci.*, 21, 1/3, 211-220.

ÖZKORUCUKLU, S., AKYILDIRIM, H. ve ÇAPALI, V., 2006, Isparta İlinde Radon Yoğunluk Ölçümleri, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10 (3), 317-322.

Papaefthymiou, H. ve Georgiou, C., 2007, Indoor radon levels in primary schools of Patras, Greece, *Radiation protection dosimetry*, 124 (2), 172-176.

Park, C. H., Lee, J. M., Jang, S. Y., Kim, S. J. ve Moon, J. H., 2012, A study of Monitoring and Mapping for Radon-Concentration Distribution in Gyeongju-12201.

Poulin, P., Leclerc, J.-M., Dessau, J.-C., Deck, W. ve Gagnon, F., 2012, Radon measurement in schools located in three priority investigation areas in the province of Quebec, Canada, *Radiation protection dosimetry*, 151 (2), 278-289.

Rafique, M., Rahman, S., Rahman, S., Shahzad, M. I., Ahmed, N., Iqbal, J., Ahmed, B., Ahmed, T. ve Akhtar, N., 2010, Assessment of indoor radon doses received by the students in the Azad Kashmir schools, Pakistan, *Radiation protection dosimetry*, 142 (2-4), 339-346.

Ródenas, C., Gómez, J., Soto, J. ve Maraver, F., 2008, Natural radioactivity of spring water used as spas in Spain, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 277 (3), 625-630.

Seminsky, K. Z., Demberel, S., Tugarina, M., Ganzorig, D. ve Bornyakov, S., 2013, First estimates of soil radon activity in the fault zones of central Mongolia, *Doklady Earth Sciences*, 21.

Soto, J. ve Gómez, J., 1999, Occupational doses from radon in Spanish spas, *Health physics*, 76 (4), 398-401.

Synnott, H., Hanley, O., Fenton, D. ve Colgan, P., 2006, Radon in Irish schools: the results of a national survey, *Journal of Radiological Protection*, 26 (1), 85.

TAEK, 2000, Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği, (23999).

TAEK, 2019a, GÜNLÜK HAYATIMIZDA RADYASYON (RADON VE SİGARA), http://www.taek.gov.tr/ogrenci/bolum4_02.html: [30.07.2019].

TAEK, 2019b, Doğal Radyasyon Kaynakları, http://www.taek.gov.tr/tr/2016-06-09-00-43-46/1087-dogal-radyasyon-kaynaklari.html: [07/08/2019].

TAEK, 2019c, RADYASYON BİRİMLERİ, https://www.taek.gov.tr/ogrenci/sf4.html: [05.08.2019].

Trevisi, R., Leonardi, F., Simeoni, C., Tonnarini, S. ve Veschetti, M., 2012, Indoor radon levels in schools of South-East Italy, *Journal of environmental radioactivity*, 112, 160-164.

Tsunomori, F., Shimodate, T., Ide, T. ve Tanaka, H., 2017, Radon concentration distributions in shallow and deep groundwater around the Tachikawa fault zone, *Journal of environmental radioactivity*, 172, 106-112.

Turhan, Ş., Akyürek, S, Erdoğan, M, , 2015, Indoor Radon Concentrations in Schools of the Cappadocia Region. Third International Conference on Radiation and Applications in Various Fields of Research-RAD 618.

UNSCEAR, 2008 Sources and Effects of Ionizing Radiation United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation *Report to the General Assembly with Scientific Annexes*

UNSCEAR, U. N. S. C. o. t. E. o. A. R., 2000, Exposure Due to Natural Radiation Sources, *United Nations, New York,*.

Vaupoti_, J. ve Kobal, I., 2001, Radon exposure in Slovenia spas, *Radiation protection dosimetry*, 97 (3), 265-270.

Vaupotič, J., Hunyadi, I. ve Baradács, E., 2001, Thorough investigation of radon in a school with elevated levels, *Radiation measurements*, 34 (1-6), 477-482.

Vaupotič, J. ve Kobal, I., 2005, Radon exposure in Slovenian kindergartens and schools, *International congress series*, 375-376.

Venoso, G., De Cicco, F., Flores, B., Gialanella, L., Pugliese, M., Roca, V. ve Sabbarese, C., 2009, Radon concentrations in schools of the Neapolitan area, *Radiation measurements*, 44 (1), 127-130.

Vogiannis, E., Nikolopoulos, D., Louizi, A. ve Halvadakis, C., 2004, Radon exposure in the thermal spas of Lesvos Island—Greece, *Radiation protection dosimetry*, 111 (1), 121-127.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Murat ABAKA
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Ilgın - 14.08.1976
Telefon : 05052452417
Faks : -
e-mail : mhka42@gmail.com

EĞİTİM

Derece		Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	:	**Ilgın Lisesi, Ilgın, Konya**	**1992**
Üniversite	:	**Selçuk Üniversitesi Eğitim Fakültesi Fizik Öğretmenliği, Konya**	**1999**
Yüksek Lisans	:		

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
1999-2019	Milli Eğitim Bakanlığı	Fizik Öğretmeni

YAYINLAR

1. Mehmet Erdogan, Kaan Manisa, Murat Abaka, Hasan Bircan, "Occupational Risk Analysis from Radon in Turkish Spas". Oral presentation (Sözlü sunum). SESAM 8th – EDITION, International Symposium on Occupational Health and Safety, 19.10.2017, Bucharest – Romania.
2. Mehmet Erdogan, Kaan Manisa and Murat Abaka, "Indoor radon levels in schools in the region of Ilgın Active Fault Zone of Konya province, Turkey". Poster presentation (Poster sunum). 13 th International Workshop GARRM (on the Geological of Radon Risk Mapping), 12-16 September 2016 Prague, Czech Republic.
3. Mehmet Erdoğan, Tuğçe Nur Tandırcıoğlu, Mariye Akdemir, Murat Abaka, ''Selçuk Üniversitesi Alaeddin Keykubat yerleşkesinde bina içi gama doz hızı ölçümleri''. ADIM FİZİK GÜNLERİ IV, Poster bildiri-özet basılı, sayfa no:155. Dumlupınar Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü. 28 – 29 MAYIS 2015, KÜTAHYA / TÜRKİYE.