



T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KONYA'NIN ÇEŞME SULARINDA RADON (RN-222) KONSANTRASYONU DEĞİŞİMLERİNİN İNCELENMESİ

Fidan TEL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FİZİK Anabilim Dalı

Eylül-2014
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Fidan TEL

Tarih:02/09/2014

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KONYA'NIN ÇEŞME SULARINDA RADON (RN-222) KONSANTRASYONU DEĞİŞİMLERİNİN İNCELENMESİ

Fidan TEL

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI

Danışman: Doç. Dr. Mehmet ERDOĞAN

2014, 75 Sayfa

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

Radon (Rn-222), toprakta, havada ve çeşitli sularda farklı konsantrasyonlarda bulunabilmektedir. Radon insanların maruz kaldığı en önemli doğal radyasyon kaynaklarından biridir. Bu çalışmada, Konya'nın Selçuklu, Meram ve Karatay merkez ilçelerindeki 27 farklı konuttan alınan çeşme sularının 2012 yılının sonbahar ve kış mevsimlerindeki radon konsantrasyon değerleri incelenmiştir. Bu numunelerden 11 tanesi su deposuna sahip konutlardan alınırken diğer su örnekleri ise su deposu olmayan konutlardan alınmıştır. Alınan örneklerin radon konsantrasyon değerleri AlphaGUARD radon gazı görüntüleme sistemi kullanılarak belirlenmiştir. Bu ölçümler sonucunda su deposu olan 11 konuttan alınan örneklerin sonbahar ve kış mevsimi için radon konsantrasyon değeri ortalama 3.15 Bq L^{-1} bulunurken su deposu olmayan konutlardan alınan diğer su örnekleri için bu değer ortalama 10.20 Bq L^{-1} bulunmuştur. Bu su örneklerinden içmeye bağlı olarak alınan radyasyon için yıllık etkin doz miktarı minimum 0.17 μSv y^{-1} ve maksimum 3.67 μSv y^{-1} aralığında iken solumaya bağı alınan yıllık etkin doz miktarı minimum 2.18 μSv y^{-1} ve maksimum 45.84 μSv y^{-1} aralığında bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: AlphaGURAD; Çeşme Suyu; Çevresel Radyoaktivite; Radon-222; Yıllık Etkin Doz

ABSTRACT

MS THESIS

INVESTIGATION OF THE RADON (RN-222) CONCENTRATION CHANGES IN TAP WATERS OF KONYA

Fidan TEL

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE PYHSIC

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Mehmet ERDOĞAN

2014, 75 Pages

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

Radon (Rn-222) can be found in various concentrations in soil, air and in different kinds of water. Radon is one of the most important sources of natural radiation which people are exposed. In this study, radon concentration was determined in selected 27 tap water samples collected during autumn and winter seasons in 2012 around Selçuklu, Meram and Karatay central district of Konya. While 11 tap water samples were taken from dwellings with water reservoir, other tap water samples were taken from dwellings without water reservoir. Radon measurements were performed by an AlphaGUARD radon gas analyzer. All determined the mean radon concentrations for the autumn and winter seasons were found to be 3.15 Bq L^{-1} for the samples collected from dwellings with water reservoir and 10.20 Bq L^{-1} for the samples collected from dwellings without water reservoir. The calculated effective doses for ingestion were 0.17 μSv y^{-1} for minimum and 3.67 μSv y^{-1} for maximum and for inhalation of radon in indoor air caused by these waters 2.18 μSv y^{-1} for minimum and 45.84 μSv y^{-1} for maximum.

Keywords: AlphaGUARD; Tap Water; Environmental Radioactivity; Radon-222; Annual Effective Dose

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez danışmanlığımı üstlenerek tez çalışmamın hazırlanmasında yardımını ve bilgisini esirgemeyen çok değerli danışman hocam Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü Öğretim Üyesi Sayın Doç. Dr. Mehmet Erdoğan'a çok teşekkür ederim.

Tez çalışmam sırasında bilgi ve deneyimlerinden faydalandığım Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü tüm Öğretim Üyesi hocalarıma çok teşekkür ederim.

Hayatım boyunca her konuda desteklerini esirgemeyen her zaman bana güven veren, hayatta her zaman onurlu ve ahlaklı olmayı öğreten canımdan çok sevdiğim aileme sonsuz teşekkür ederim.

Fidan TEL
KONYA-2014

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **ix**

1. GİRİŞ **1**

2. RADYOAKTİVİTE **3**

2.1. Radyoaktivite Nedir? 3
2.2. Radyoaktivitenin Keşfi ve Tarihçesi 3
2.3. Radyoaktivite Birimleri 6
2.4. Radyoaktif Bozunma Kanunu 6
2.5. Radyoaktif Bozunma Çeşitleri 6
2.5.1. Alfa (α) bozunumu 7
2.5.2. Negatron bozunumu (β^- bozunumu) 7
2.5.3. Pozitron bozunumu (β^+ bozunumu) 8
2.5.4. Elektron yakalama olayı 8
2.5.5. Gama ışını yayınlanması (γ-yayma) 9
2.5.6. Nötron yayınlanması (n-yayma) 10
2.6. Radyasyon Kaynakları 10
2.6.1. Doğal radyasyon kaynakları 11
2.6.2. Yapay radyasyon kaynakları 11
2.7. Radyasyon Ölçümünde Kullanılan Birimler 12
2.7.1. Işınlanma birimi 13
2.7.2. Soğurulma doz birimi 13
2.7.3. Eşdeğer doz birimi 13
2.7.4. Aktivite birimi 13
2.8. Radon ve Özellikleri 14
2.9. Radonun Bulunduğu Yerler 15
2.9.1. Toprakta radon 16
2.9.2. Sularda radon 16
2.9.3. Atmosferde radon 17
2.9.4. Bina içinde atmosferik radon 18
2.10. Radon ve Sağlık 19

3. KAYNAK ARAŞTIRMASI **21**

4. MATERYAL VE YÖNTEM **23**

4.1. Materyal 23
4.1.1. AlphaGUARD radon gazı ölçüm cihazı 23
4.2. Yöntem 30

4.2.1. Numune Alımı 30
4.2.2. Su Numunelerinin Analizi İçin Ölçüm Düzeneğinin Hazırlanması 31
4.2.3. AlphaGUARD PQ 2000PRO ile Sudaki Radon Ölçümü 32
4.2.4. Sudaki Radon Hesaplamaları.....32
4.2.5. Ortalama radon konsantrasyonu hesaplamaları 33
4.2.6. Standart hata 34

5. ÇALIŞMA BÖLGESİNİN JEOLOJİK YAPISI VE NUMUNE ALMA İŞLEMLERİ 35

5.1. Çalışma Bölgesi ve Numune Alma İşlemleri.....35

6. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....37

6.1. Araştırma Bulguları 37
6.2. Tartışma 65

7. SONUÇ ve ÖNERİLER 69

7.1. Sonuçlar 69
7.2. Öneriler 69

KAYNAKLAR 70

ÖZGEÇMİŞ.....75

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Bq:	Becquerel
C:	Konsantrasyon değeri
Ci:	Curie
L:	Litre
M:	Metre
mL:	Mililitre
mSv:	Milisievert
µSv:	Mikrosievert
N:	Nötron
Rn:	Radon
V:	Hacim
ºC:	Santigrad derece
α:	Alfa
β^- :	Beta-negatif
β^+ :	Beta-pozitif
γ:	Gama
e^- :	Elektron
ν:	Nötrino
ν^- :	Anti nötrino

Kısaltmalar

AB: Avrupa Birliği

ADC: Analog-Digital Converter (Analog Dijital Dönüştürücü)

DC: Direct Current (Doğru Akım)

DSP: Digital Signal Processing (Sayısal Sinyal İşleme)

IAEA: International Atomic Energy Agency (Uluslararası Atom Enerji Ajansı)

IC: Internal Conversion (İç Dönüşüm)

ICRP: International Commission on Radiological Protection (Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi)

MeV: Mega Elektron Volt

NRPB: National Radiological Protection Board (İngiltere Milli Radyasyondan Korunma Komitesi)

rH: Relative Humidity (Bağıl Nem Oranı)

SI: System International (Uluslar Arası Sistem)

TAEK: Türkiye Atom Enerjisi Kurumu

UNSCEAR: United Nations Scientific Committee On The Effects Of Atomic Radiation (Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi)

USEPA: U. S. Environmental Protection Agency (Birleşik Devletler Çevre Koruma Ajansı)

WHO: World Health Organization (Dünya Sağlık Örgütü)

1. GİRİŞ

Radon, alfa parçacık radyasyonu yayan önemli bir soy gazdır ve insanların maruz kaldığı en önemli doğal radyasyon kaynaklarından biridir (UNSCEAR, 1993). Radon, doğal ^{238}U (Uranyum) bozunma zincirindeki ^{226}Ra'nın (Radyum) radyoaktif dönüşümü sonucunda oluşan ve yarı ömrü 3.82 gün olan radyoaktif bir soy gazdır. Radonun α parçacıkları yayınlayan kısa ömürlü radyoaktif ürünlerinden ikisi olan ^{214}Po (Polonyum) ve ^{218}Po, insanlar tarafından alınan yıllık radyasyon dozuna %90'ın üzerinde katkıda bulunmaktadırlar (Gillmore ve ark., 2001). Radon toprakta, havada ve çeşitli sularda faklı konsantrasyonlarda bulunabilmektedir. Radon suda çözünebilmekte ve çözünürlüğü yüksek sıcaklıklarda azalmaktadır (UNSCEAR, 1993). Sudaki radon konsantrasyonu tuzluluğa da bağlıdır fakat etkisi çoğunlukla göz ardı edilir (Schubert ve ark., 2012). İnsanlar radon konsantrasyonuna sindirim ve solunum yoluyla olmak üzere iki şekilde maruz kalabilirler. Yüksek seviyede radon içeren su tüketimine bağlı olarak mide ve tüm vücut ekstra radyasyon dozuna maruz kalabilir (Khattak ve ark., 2011). Ev sularının yüksek seviyede radon gazı içermesi kapalı ortam radon maruziyetine de büyük miktarlarda katkı sağlayabilir (Kearfott, 1989). Böylece kapalı ortamdaki yüksek radon konsantrasyonu seviyesi, solumaya bağlı olarak başlıca akciğer kanseri olmak üzere insanlar için sağlık tehlikesi oluşturabilmektedir (Folger ve ark., 1994). Bu nedenle potansiyel halk sağlığı tehlikesinden dolayı içme suyundaki çözünmüş radon konsantrasyonu ölçümleri oldukça ilgi gören bir araştırma konusudur.

Radon gazı ölçümlerinin birçok olumlu yanı da vardır. Yeraltı suları ve toprakta radon konsantrasyonu değerleri jeolojik oluşum ile oldukça bağlantılı olduğundan depremlerin tahmin edilmesinde kullanılmaktadır (Virk ve ark., 1993). Ayrıca çevresel faktörleri izlemek için çeşitli uygulamalarda radon konsantrasyon ölçümleri kullanılmaktadır. Örneğin bu ölçümler, toprak ve akiferlerdeki susuz fazdaki sıvı kirlenme seviyesindeki değişimler için (Schubert ve ark., 2001; Schubert ve ark., 2011), yer altı hareketlerini izleme ve yer altı sularının akış hızlarını tahmin etmek için (Hamada, 2000) ve yeraltı suyu ve yüzey sularının etkileşim süreçlerinin araştırılması için kullanılmaktadır (Schubert ve ark., 2008).

Türkiye'nin farklı bölgelerinde içme suyu örneklerindeki radon konsantrasyon değerlerini belirlemek için bir çok araştırma yapılmıştır (Oner ve ark., 2009; Yiğitoğlu ve ark., 2010; Tarim ve ark., 2011; Erdoğan ve ark., 2013). Ayrıca bu konuda farklı

ülkelerde yapılmış pek çok çalışma bulunmaktadır (Khattak ve ark., 2011; Xinwei, 2006).

Bu tez çalışması Konya'daki bazı konutlardan toplanan çeşme suyu örneklerinin 2012-2013 yılının sonbahar ve kış mevsimlerindeki radon konsantrasyonu değişimlerini göstermektedir. Bu çalışma ile Konya'da yaşayan insanlar tarafından tüketilen çeşme sularından dolayı radon gazı kaynaklı maruz kalınan doğal radyasyonun genel bir resmi çizilmektedir. Ayrıca bu suların tüketilmesinden kaynaklanan radon gazına bağlı yıllık eşdeğer doz değerleri hesaplanmıştır.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar ''Second East European Radon Symposium (SEERAS 2014)'' isimli uluslararası konferansta 'Measurements of Radon Activity Concentrations in Tab Water in Some Dewellings of the Konya Province – Turkey' isimli sözlü sunum olarak sunulmuştur (Erdoğan ve ark., 2014).

2. RADYOAKTİVİTE

2.1. Radyoaktivite Nedir?

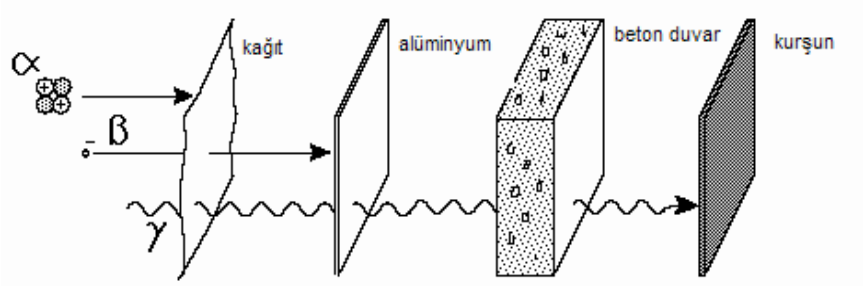
Atomlar, nükleonların (proton ve nötronların) oluşturduğu bir çekirdek ve bu çekirdeğin etrafında dönen elektronlardan meydana gelmiştir. Atom çekirdeğinin kararlı bir yapı sergileyebilmesi, çekirdekte bulunan nötron ve proton sayıları arasındaki dengeye bağlıdır. Nötron- proton dengesine sahip çekirdekler kararlı olup, nötron veya proton fazlalığı olan çekirdekler bu dengeyi sağlayabilmek amacıyla bünyelerindeki fazla enerjiyi (çeşitli mekanizmalarla) kaybederek kararlı hale geçme eğilimi gösterirler. Çekirdeğinde 83'den fazla proton barındıran ağır elementler kararsızdırlar. Bu tür çekirdekler, daha kararlı hale dönüşüm sürecinde çekirdeklerinden parçacık veya foton formunda radyasyon yaydıkları için radyoaktif çekirdekler (radyonüklidler) olarak adlandırılır. Bu olayın kendisi de radyoaktivite olarak bilinmektedir. Radyoaktif çekirdeklerin yaydığı bu enerji, Rutherford tarafından alfa (α), beta (β) ve gama (γ) radyasyonu olmak üzere üç sınıfta toplanmıştır. Alfa radyasyonunun, pozitif yüklü parçacıklardan, beta radyasyonununda, elektronlardan oluştuğu kabul edilmiştir. Gama radyasyonu içinde ışık hızında hareket eden enerjik dalgalar tanımı kullanılmıştır (Karadem, 2011).

2.2. Radyoaktivitenin Keşfi ve Tarihçesi

Radyoaktivite, 1896 tarihinde Antoine Henri Becquerel tarafından keşfedilmiştir. Becquerel belirli floresan tuzlarının güneş ışınlarıyla aktiflendikten sonra yayınladıkları radyasyonlar üzerinde çalışıyorken tesadüfen siyah bir kâğıda sarılmış uranyum ve potasyum sülfattan ibaret numuneyi karanlık bir odada fotoğraf levhalarının yanında bırakmıştır (Enge, 1966). Bu fotoğraf levhalarının banyo edildiklerinde ışığa karşı tamamen korunmuş oldukları halde ışıkta kalmış gibi sonuç verdiklerini görmüştür. Bu deneyi tekrarlayan Becquerel fotoğraf levhalarının etkilenmesinin floresans veya X-ışınları ile ilgisi olmadığını, sadece uranyum elementinin bir özelliği olduğunu göstermiştir. Fotoğraf levhalarını etkileyen bazı tür radyasyonların uranyum tuzundan yayınlandıkları neticesine varmıştır.

Becquerel'in keşfinden sonra radyasyonun özelliklerinin çalışılmasına yönelik büyük çabalar sarf edilmiştir. İlk araştırmaların birçoğu Curie'ler, William Crokes,

Ernest Rutherford ve Rutherford'un Cambridge'deki arkadaşları tarafından yürütülmüştür. Doğal radyoaktif maddelerin radyasyonları, girme güçlerine bağlı olarak üç ayrı grupta sınıflandırılmışlardır. Birinci grup, girici güçleri çok zayıf olanları ihtiva etmektedir. Bunlar herhangi bir kağıt parçası tarafından bile durdurulabilmekte, fakat havada yoğun iyonlaşmalara sebep olmaktadırlar. Bu radyasyonlar alfa parçacıkları (α-parçacıkları) olarak adlandırılır. İkinci grubu teşkil edenlerin iyonlaştırma güçleri daha azdır ancak alfa parçacıklarından daha büyük girici-güce sahiptirler ve birkaç mm kalınlığındaki metal levhalardan kolayca geçebilmektedirler. Bunlara da beta parçacıkları (β-parçacıkları) adı verilir. Üçüncü gruptakiler de az iyonlaşmaya sebep olurlar fakat farklı maddelerin santimetrelerce kalınlığından geçebilmektedirler. Bunlar da gama ışınları (γ-ışınları) adını alır. Gama ışınları çok yüksek enerjili, elektromanyetik dalgalardır ve ışık hızıyla hareket ederler. Alfa ve beta parçacıklarından daha fazla giricidirler (Arya, 1989). Bu radyasyonun giricilikleri Şekil 2.1'de şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Alfa (α), beta (β) ve gama (γ) giricilikleri (Davutoğlu, 2008)

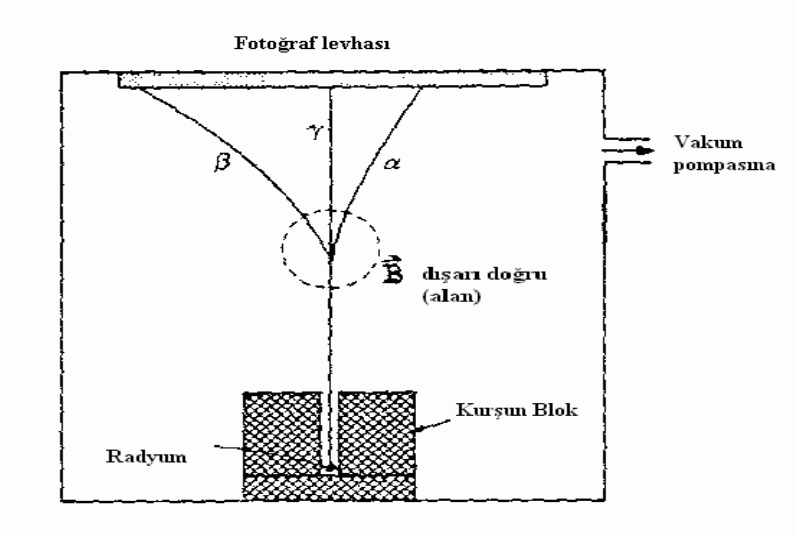
Radyoaktivite, bir çekirdeğin bir ışın ya da parçacık yayınlayarak başka bir çekirdeğe dönüşmesi olayıdır ve radyoaktif ışın yayan maddelere de radyoaktif maddeler denir. Dışarıdan herhangi bir etki olmadan bozunan elementlere doğal radyoaktif elementler; bu olayada doğal radyoaktivite denir. Yani bozunuma uğrayan radyoizotop doğada bulunan diğer radyoizotopların bozunması sonucu ortaya çıkar (Akyıldırım, 2005).

1898 yılında Marie Curie ve eşi Pierre Curie, uranyumun radyoaktif bozunmasından ortaya çıkan polonyum (Po) ve radyum (Ra) radyoaktif elementlerini keşfetmişlerdir (Arya, 1989). Pierre ve Marie Curie, Becquerel ile birlikte radyum elementinin doğal radyoaktifliği üzerine yaptıkları çalışma ile 1903 yılında Nobel Fizik Ödülü kazanmışlardır.

Doğal radyoaktifliğin yanı sıra laboratuarlarda nükleer reaksiyonlarla radyoaktif çekirdekler üretilmektedir. Bu olaya da yapay radyoaktivite denir. Bu ilk kez alüminyumun, 1934'te Irene Curie ve Pierre Joilot tarafından polonyumun doğal radyoaktif bozunmasından çıkan α parçacıkları ile bombardıman edilmesi sonucunda ^{30}Po izotopunun elde edilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Bu izotop 2,5 dakika yarı ömürle pozitron yayınlayarak bozunur (Krane, 2001).

Yapay radyoaktivitenin bulunuşundan ve fisyon olayının keşfinden sonra pek çok yapay radyoaktif madde üretilmiştir. Radyoaktif olarak bilinen atomların çekirdeği kararsız olduklarından radyoaktivite özelliğine sahiptirler. Kararsız çekirdekler parçalanır ve parçalanma sonucu yeni bir çekirdek meydana gelir. Atom çekirdeklerindeki bu değişiklikler sonucu radyasyon yayınlanır. Atomun uğradığı bu değişikliğe bozunma olayı adı verilir.

Tabiatta rastlanan radyoaktif elementler α, β ve γ yayınlayarak bozunuma uğrarlar. Bu parçacıklardan alfalar pozitif yüklü, betalar negatif yüklü ve gamalar yüksüzdür. Parçacıkların bu yüklerinin tespitini yapabilmek için kullanılan deney düzeneği Şekil 2.2'de görülmektedir. Bir manyetik alan tarafından α ve β parçacıkları ile γ ışınlarının saptırılmalarını gösteren denel düzenekte α parçacıkları pozitif yüklü olduklarından sağa, β parçacıkları negatif yüklü olduklarından sola saparlar. β parçacıklarının α parçacıklarına oranla kütlelerinin çok az, hızlarının çok yüksek oluşundan sapmaları α parçacıklarından fazladır. γ ışınları yüksüz olduklarından manyetik alan tarafından saptırılmazlar (Arya, 1989).



Şekil 2.2. Bir manyetik alan tarafından α ve β parçacıkları ile γ ışınlarının saptırılmalarını gösteren denel düzenek (Arya, 1989)

2.3. Radyoaktivite Birimleri

Verilen bir numunede mevcut radyoaktif atomların mutlak sayısını bilmekten ziyade saniyede parçalanan atom sayısını bilmek daha önemlidir. Bu nedenle radyoaktivite birimi genelde birim zamandaki parçalanma sayısı olarak tanımlanır.

Curie (Ci): Bir saniyede 3.7×10^{10} parçalanma veya bozunma gerçekleştiren radyoaktif çekirdeğin aktivitesi olarak tanımlanır.

Becquerel (Bq): Bir saniyede bir parçalanma gerçekleştiren radyoaktif çekirdeğin aktivitesi olarak tanımlanır.

Rutherford (Rd): Bir saniyede 10^6 bozunma gerçekleştiren radyoaktif çekirdeğin aktivitesi olarak tanımlanır (Arya, 1989).

$1Bq = 2.703\times10^{-11}$ Ci = 1 parçalanma / saniye

1 Ci $= 3.7\times10^{10}$ Bq

1 Ci $= 3.7\times10^{10}$ parçalanma / saniye

1 Rd $= 10^6$ parçalanma / saniye

2.4. Radyoaktif Bozunma Kanunu

Doğada var olan elementlerin bir kısmı kararlı, diğer bir kısmı da kararsız çekirdeklere sahiptirler. Kararlı çekirdeklerde proton ve nötronların birbirlerine nükleer kuvvetlerle çok sıkı bağlı olmasından dolayı hiçbir parçacık çekirdek dışına çıkamaz ve böyle bir durumda çekirdek dengededir denilebilir. Kararsız radyoaktif çekirdekler ise, radyasyon yayınlayarak dengeye ulaşma eğilimi gösterecektir. Radyoaktivite dışarıdan herhangi bir etkiyle kontrol edilebilecek bir olay değildir radyoaktivite hiçbir zaman yavaşlatılamaz ve durdurulamaz (Togay, 2002).

2.5. Radyoaktif Bozunma Çeşitleri

Günümüzde yaklaşık 40 kadar doğal ve çok fazla sayıda yapay radyoaktif izotop cinsi bilinmektedir. Radyoaktif atomların bozunma hızlarına sıcaklık, basınç, elektromanyetik alan gibi fiziksel koşullar ve kimyasal reaksiyonlara katılmak gibi olaylar etki etmezler. Işıma fiziksel ya da kimyasal koşullardan bağımsız olarak sürer.

Her bozunan çekirdek türü kendine özgü bir yarı ömür değeri vardır. Doğal radyoaktif elementlerin dışında parçacık hızlandırıcıların yardımı ile ya da nükleer

reaktörlerde gerçekleşen çekirdek reaksiyonları ile çok sayıda yapay radyoaktif atom üretilmektedir. En çok görülen radyoaktiflik türü beta ışımasıdır. Bazı ağır çekirdekler ise, alfa ışıması yapar. Yani; helyum çekirdekleri fırlatılırlar. Bunun sonucu olarak ortaya çıkan ürün çekirdeğin atom numarası ana çekirdekten iki sayısı kadar eksik, kütle numarası ise dört sayısı kadar eksik olur. Oluşan ürün çekirdek bazen fazla enerji içerebilir. Bu durumda bir gama fotonu fırlatarak daha küçük enerji düzeyine iner. Gama ışıması çoğu kez beta ışıması ile bazende alfa ışıması ile birlikte gerçekleşir (Baldık, 2005).

2.5.1. Alfa (α) bozunumu

Çekirdeğin kararsızlığı hem proton hem de nötron fazlalığından ileri geliyorsa, çekirdek iki proton ve iki nötrondan oluşan bir alfa parçacığı yayınlayarak bozunur.

(2.1) denkleminde verilen α bozunumu sürecinde bozunan çekirdeğin atom numarası (Z) 2, kütle numarası (A) ise 4 azalır. Alfa parçacığı aslında helyum atomunun iki kere iyonlaşmış halidir.

Bozunum nedeniyle ortaya çıkan enerjinin büyük bir kısmını, momentumun korunumu gereğince alfa parçacığı alır. Alfa bozunumu genellikle kütle numarası 190'dan büyük çekirdeklerde daha sık görülür.

$$ {}^{A}_{Z}X_{N} \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}X'_{N-2} + {}^{4}_{2}He \qquad (2.1) $$

2.5.2. Negatron bozunumu (β^- bozunumu)

Eğer bir radyonüklidin kararsızlığı çekirdekteki nötron fazlalığından meydana geliyorsa, çekirdekteki enerji fazlalığını gidermek için (2.2) denkleminde görüldüğü gibi nötronlardan birini protona dönüştürür ve elektronlarla aynı olan negatif beta parçacığı ile antinötrino ($\bar{\nu}$) adı verilen başka bir parçacık yayınlanır. Proton çekirdekte kalırken, elektron hızla atom çekirdeğine fırlatılır.

$$ n \rightarrow p + \beta^- + \bar{\nu} \qquad (2.2) $$

Bu yüksek hızlı elektrona (negatif beta parçacığı) negatron adı verilir. Bu şekilde beta emisyonu yapan radyonüklidin (2.3) denkleminde görüldüğü gibi atom numarası da bir artarak kendinden bir sonraki elementin izobar atomuna dönüşür. Bu bozunuma da kütle sayısı değişmediği için izobarik bozunma adı verilmiştir.

$$ {}^{A}_{Z}X_{N} \rightarrow {}^{A}_{z+1}X'_{N-1} + \beta^{-} + \bar{\nu} \tag{2.3} $$

2.5.3. Pozitron bozunumu (β^{+} bozunumu)

Atomun kararsızlığı nötron azlığından veya proton fazlalığından ileri geliyorsa, (2.4) denkleminde görüldüğü gibi protonlardan biri nötrona dönüşür ve pozitif yüklü elektron (pozitron) ile küçük nötron anlamına gelen nötrino olarak adlandırılmış bir parçacık yayınlanır.

$$ P \rightarrow n + \beta^{+} + \nu \tag{2.4} $$

Nötron çekirdekte kalır, pozitron dışarı fırlatılır. Böylece pozitron yayınlayan radyonüklidin kütle numarası değişmezken proton sayısı (atom numarası) bir eksilerek kendinden bir önceki elementin izobar atomuna dönüşür. Bu bozunma (2.5) denklemi ile temsil edilir.

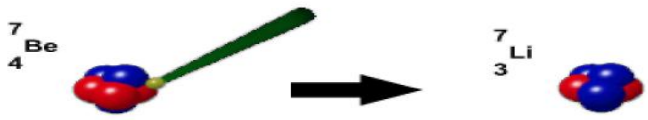
$$ {}^{A}_{Z}X_{N} \rightarrow {}^{A}_{z-1}X'_{N+1} + \beta^{+} + \nu \tag{2.5} $$

2.5.4. Elektron yakalama olayı

Çekirdek proton fazlalığından dolayı kararsız ise atomun çekirdeğe yakın (K, L) yörüngelerinden elektron yakalanır. Denklem (2.6)' da görüldüğü gibi elektron çekirdekteki bir protonla birleşerek nötrona dönüşür ve nötrino yayınlanır. Şematik gösterimi Şekil 2.3' de verilen bu bozunumda çekirdekten parçacık salınımı olmaz fakat proton sayısı bir eksilir. Kütle numarası ise denklem (2.7) 'de görüldüğü gibi aynı kalır. Bu olayda boşalan elektron yörüngesine üst yörüngelerdeki başka bir elektron geçerek boşalan yörüngeyi doldurur (Davutoğlu, 2008).

$$P + e- \rightarrow n + \nu \tag{2.6}$$

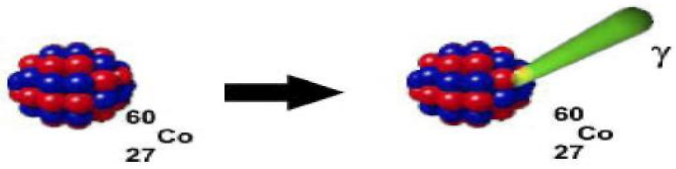
$${}^{A}_{Z}X_{N} + e^{-} \rightarrow {}^{A}_{z-1}X'_{N-1} + \nu \tag{2.7}$$



Şekil 2.3. Elektron yakalama olayı (Davutoğlu, 2008)

2.5.5. Gama ışını yayınlanması (γ-yayma)

Çekirdekteki enerji fazlalığı nedeniyle veya çekirdek bozunma olayı ile radyasyon yayınladıktan sonra hemen kararlı (temel enerji seviyesi) duruma geçemez, bozunmada oluşan çekirdek hala yarı kararlı durumdadır. Bu fazla kalan uyarılma enerjisini hemen elektromanyetik özellikte olan bir gama radyasyonu şeklinde yayınlar. Bu şekilde bozunan yarı kararlı çekirdeğin atom ve kütle numaralarında bir değişme olmaz, bu nedenle izomerik bozunma adı verilmiştir. Şekil 2.4'te gama ışını yayınlanmasının şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 2.4. Gama ışını yayınlanması (Davutoğlu, 2008)

Gama yayınlanmasının yarı ömrü diğer bozunumlarla kıyaslandığında çok kısadır, genellikle 10^{-9} saniyeden daha küçüktür ama saat ve gün mertebesinde yarı ömürlü gama yayınlanması da vardır. γ-ışınlarının enerjileri 0,1 MeV ile 3 MeV arasında değişir (Davutoğlu, 2008).

2.5.6. Nötron yayınlanması (n-yayma)

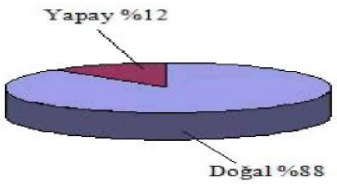
Kararsız bir çekirdekten dışarı nötron atılması ile gerçekleşir. Nötron fırlatan bir atomun kütle numarası bir azalır. Atom numarası değişmez atom kendi izotopuna dönüşür. Bu olay çok hızlı gerçekleşen bir olaydır ve yapay çekirdek tepkimelerinde gerçekleşir. Bu örnek bozunma (2.8) denklemi ile ifade edilmiştir.

$$^{87}_{35}Br \rightarrow {}^{87}_{36}Kr + \beta^{-} \rightarrow {}^{86}_{36}Kr + {}^{1}_{0}n \qquad (2.8)$$

2.6. Radyasyon Kaynakları

Enerjinin dalga ve tanecik halindeki durumu veya bu şekilde yayılan enerji türüne radyasyon denir. Atomla etkileşime girebilecek kadar güçlü olmayan enerji seviyelerindeki elektromanyetik dalgaların atomların yörüngesinde sebep olduğu değişim organizma üzerinde büyük bir hasara neden olmaz. Bunlar iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olarak adlandırılır. Bu tür radyasyona mikro dalga fırınlar, kızılötesi ışınlar, radyo ve televizyon dalgaları, baz istasyonları, ultraviyole ışınlar örnek olarak verilebilir (Değerlier, 2007). Atomla etkileşime girebilecek kadar güçlü enerji seviyesine sahip alfa ve beta parçacığı gibi hareket eden yüklü parçacıkların meydana getirdikleri etki iyonlaştırıcı radyasyon olarak adlandırılmaktadır. Bu tür radyasyona, X-ışınları, gama ışınları, alfa parçacıkları, beta parçacıkları, kozmik ışınlar, nötronlar örnek verilebilir.

Çevremizdeki başlıca radyasyon kaynakları doğal ve yapay olmak üzere ikiye ayrılır. Dünya genelinde bu radyasyon kaynaklarından dolayı maruz kalınan radyasyon dozlarının oransal değerleri Şekil 2.5' te gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Dünya genelinde doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozlarının oransal değerleri (IAEA, 1996).

2.6.1. Doğal radyasyon kaynakları

Bütün canlılar radyasyonla birlikte yaşamakta, hayatın bir parçası olarak dış uzay ve güneşten gelen kozmik ışınlar ile yer kabuğunda bulunan radyoizotoplar dolayısıyla toprak ve yapı malzemeleri, su ve gıdalar gibi doğal kaynaklardan ışınlanmaktadır. İnsanlar yaşam standartlarına, yaşadıkları ortamın fiziksel özelliklerine ve coğrafi şartlara bağlı olarak ortalama toplam 2.4 mSv yıllık doğal radyasyon dozuna maruz kalmaktadırlar.

Doğal kaynaklardan alınan radyasyon dozunun en önemli bileşeni, radon gazı ve onun kısa yarı ömürlü bozunma ürünleridir. Radon gazından dolayı maruz kalınan doz %50 gibi bir paya sahip olup, yaklaşık yıllık doz 1.3 mSv'dir. Doğal radyasyon kaynaklarının başlıcaları şunlardır (UNSCEAR, 1993):

a) Kozmik radyasyon

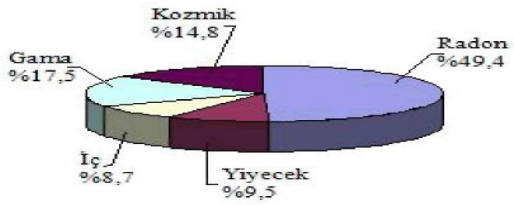
b) Gama radyasyonu

c) Vücut içi ışınlama

d) Radon

e) Yiyecekler

Dünya genelinde bu doğal radyasyon kaynakları nedeniyle maruz kalınan radyasyon dozlarının oransal değerleri Şekil 2.6'da verilmiştir.



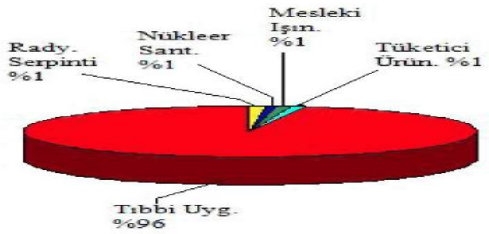
Şekil 2.6. Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozlarının oransal değerleri (IAEA, 1996)

2.6.2. Yapay radyasyon kaynakları

Gelişmiş endüstriyel ekonomilerin ve yüksek yaşam standartlarının sürdürülebilmesi için doğada mevcut olmayan bazı radyasyon kaynaklarının yapay yollarla üretilmesi ve kullanılması kaçınılmaz olmuştur. Bu kaynaklar, birçok işin yapılma süresini kısaltmış, maliyetini de azaltmıştır. Yapay radyasyon kaynakları da tıpkı doğal radyasyon kaynakları gibi canlıların bu radyasyon kaynaklarından belli

miktarlarda radyasyon dozuna maruz kalmasına neden olurlar. Ancak bu doz miktarı, ihtiyaca bağlı olarak artsa da, doğal kaynaklardan alınan doza göre çok daha düşüktür. Doğal radyasyon kaynaklarının aksine tamamen kontrol altında olmaları da maruz kalınacak doz miktarı açısından önemli bir özelliktir (Akkurt, 2006). Bilinen başlıca yapay radyasyon kaynakları aşağıda liste halinde verilmiş ve bu kaynaklardan maruz kalınan radyasyon dozlarının oransal değerleri Şekil 2.7'de gösterilmiştir.

a) Tıbbi uygulamalar
b) Tanısal radyoloji
c) Nükleer tıp
d) Radyoterapi
e) Endüstriyel uygulamalar
f) Nükleer serpinti
g) Nükleer güç santralleri
h) Tüketici ürünleri



Şekil 2.7. Dünya genelinde yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozlarının oransal değerleri (IAEA, 1996).

2.7. Radyasyon Ölçümünde Kullanılan Birimler

Radyasyon birimlerini iki gruba ayırmamız mümkündür. Radyoaktif bir kaynakta üretilen radyasyon miktarını belirleyen aktivite birimleri ve radyasyonun maddeler üzerindeki etkisi belirleyen soğurulan radyasyon birimleridir. Bu konuda ilk çalışanların ortaya çıkardığı birimler zamanla uluslararası kabul görülen SI sistemindeki birimlere dönüştürülmüştür. Fakat, eski birimler de hala kullanıldığı için Çizelge 2.1'de hem SI hem de eski birimleri tanıtılmıştır.

Çizelge 2.1. İyonlaştırıcı radyasyon birimleri ve dönüşüm faktörleri (Baldık, 2005)

Büyüklük	SI Birimi ve Sembolü	Eski Birimler	Dönüşüm Faktörleri
Işınlanma	Röntgen (C/kg)	Röntgen (R)	0.00869 J/kg(havada) = 1R
Soğurulan Doz	Gray (Gy)	Rad (rad)	1 Gy = 100 rad
Eşdeğer Doz	Sievert (Sv)	Rem (Rem)	1 Sv = 100 Rem
Aktivite	Becquerel (Bq)	Curie (Ci)	$1Bq = 2.7x10^{-11}$ Ci

2.7.1. Işınlanma birimi

Işınlanma birimi için kullanılan özel birim Röntgen (R) olup SI sistemindeki karşılığı Coulomb/kilogram (C/kg)'dır. Röntgen, normal hava şartlarında havanın 1 kilogramında $2.58x10^{-4}$ C'luk elektrik yükü değerinde pozitif ve negatif iyonlar oluşturan X ve gama ışını miktarıdır (1 R = $2.58x10^{-4}$ C/kg ve 1 C/kg = $3.88x10^{3}$ R dir).

2.7.2. Soğurulma doz birimi

Soğurulma doz birimi olarak bilinen rad için SI birim sisteminde Gray (Gy) kullanılmaktadır. Rad, ışınlanan maddenin 1 kg'ına 10^{-2} joule'lük enerji veren radyasyon miktarıdır. Soğurulan enerji parçacık veya foton olabilir. Gray; Işınlanan maddenin 1 kg'ına 1 joule'lük enerji veren radyasyon miktarıdır (1 Gy = 1 J/kg olup 1Rad = 10^{-2} J/kg'dır).

2.7.3. Eşdeğer doz birimi

Eşdeğer doz birimi Sievert (Sv) olup kilogram başına soğurulan enerji olup soğurulan doz olarak tanımlanır. Eski birim sistemindeki rad kullanılırsa eşdeğer doz birimi rem (röntgen equivalent man) cinsinden ölçülür. Daha önce 1 Gy = 100 rad verildiğinde 1 Sv=1 J/kg, olarak alınır.

2.7.4. Aktivite birimi

Aktivite için kullanılan özel birim Curie (Ci) olup, SI sistemindeki karşılığı Becquerel (Bq) dir. Curie, saniyede $3.7x10^{10}$ parçalanma veya bozunma gösteren

maddenin aktivitesidir. Becquerel, saniyede 1 parçalanma yapan çekirdeğin aktivitesidir, 1 Ci = $3.7x10^{10}$ Bq'dir.

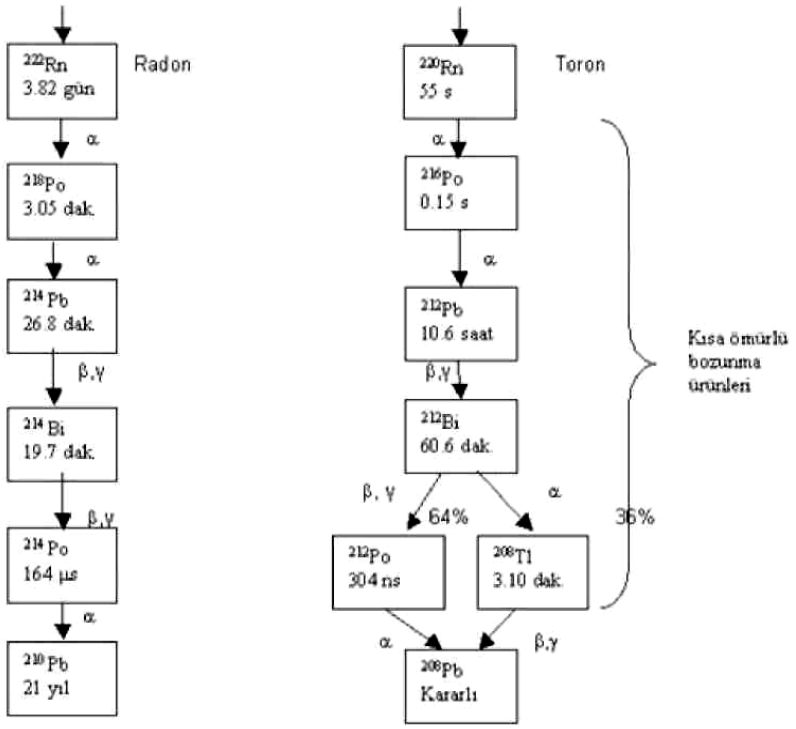
2.8. Radon ve Özellikleri

Radon, renksiz, kokusuz, tatsız, 86 atom numarası ile periyodik cetvelin soy gazlar sınıfında yer alan radyoaktif bir gazdır. Yoğunluğu 0 ^{o}C derecede 9.72 g/l 'dir. Havadan yedi buçuk kez, hidrojenden ise 100 kez daha ağırdır. -61.8 ^{o}C derecede sıvılaşır ve -71 ^{o}C derecede donar. Daha çok soğutulacak olursa yumuşak sarı bir renk vererek parlar. Sıvı hava sıcaklığı olan -195 ^{o}C derecede turuncu- kırmızı arası bir renk alır (Güler ve Çobanoğlu, 1997).

Elektron ilgisinin düşük ve iyonlaşma enerjisinin yüksek olması nedeniyle ^{222}Rn diğer elementlerle kolayca bağ yapamaz. Ancak elektron ilgisi yüksek olan bazı atomlarla etkileşip kararlı bileşikler yapabilir. Suda ve organik çözücülerde iyi çözünür, çözünürlüğü artan sıcaklıkla azalır; sudaki çözünürlüğü 0 °C, 25 °C ve 50 °C'de sırasıyla 510, 220 ve 130 cm^3 L^{-1} 'dir (UNSCEAR, 1993). Uranyum radyoaktif serisi içinde yer alan radonun yeraltından havaya geçişi, toprak ile kayalardaki çatlaklardan ve yeryüzüne çıkan sular ile sağlanmaktadır (Villalba ve ark. 2005).

Serinin bu kısmında ^{238}U, beş radyoaktif çekirdekle ^{222}Rn'ye ulaşır. ^{222}Rn 'den hemen önce gelen ^{226}Ra (radyum), 1600 yıllık yarı ömürle 3.82 günlük yarı ömre sahip olan ^{222}Rn için sabit hızlı bir üreteç görevi yapmaktadır. ^{222}Rn, ^{238}U bozunma zincirinden gelirken,^{220}Rn yine bir uranyum izotopu olan ^{232}Th (toryum)'dan türer. Bu iki önemli radon izotopu da radyoaktiftir ve bir seri bozunmaya uğrarlar. Aslında bu seri uranyum serisi adı verilen doğal radyoaktif serinin devamını meydana getirir. Doğada en çok bulunan izotop ^{222}Rn arka arkaya iki kez alfa bozunumuyla önce ^{218}Po (polonyum) ve ^{214}Pb (kurşun)' a dönüşür. Sonra iki kez beta ve gama bozunmalarıyla sırasıyla ^{214}Bi (bizmut) ve ^{214}Po'ü oluşturur. Zincirin en sonunda bir alfa bozunumuyla ^{210}Pb meydana gelir. Bu zincirde en kararlı iki çekirdek ^{210}Pb ve ^{220}Rn 'dir. ^{210}Pb'un yarı ömrü 21 yıldır. Arada kalan dört izotop ise oldukça kısa yarı ömürlere sahip olduklarından aktiviteye katkıları çok azdır. Diğer radon izotopu ^{220}Rn bozunma zincirinde ilk iki element ^{216}Po ve ^{212}Pb, alfa salınmasıyla oluşur. Sonra beta ve gama salınarak ^{212}Bi türer. Buradan sonra bu izotopun iki türlü bozunmaya uğrama ihtimali vardır. Ya alfa ve beta vererek ^{212}Po'ye bozunur (%64); ya da alfa vererek (talyum) ^{218}Tl'e bozunur (%36). Her iki durumda da son ürün kararlı bir element olan ^{208}Pb'dir.

Radon izotoplarının bozunma zinciri ve izotopların yarı ömürleri Şekil 2.8'de verilmiştir (Akkurt, 2006).



Şekil 2.8. Doğada en çok bulunan iki radon izotopunun bozunma zincirleri (Özdemir, 2006)

2.9. Radonun Bulunduğu Yerler

Radonun ana kaynağı yer küredir ve dünya yüzeyinde yaklaşık 100 ton radon bulunduğu tahmin edilmektedir (Saç ve Camgöz, 2005).

Radon kimyasal olarak tepkimeye girmeyen, kokusuz, tatsız ve renksiz olan doğal radyoaktif bir gazdır. Toprak ve kayalar üzerinde yer alan uranyumun parçalanması ile oluşur. Radon gazı doğal kaynaklardan yayımlanmaktadır. Radon gazını doğal coğrafik yapılardan yayımlayan önemli unsurda granit taşlarıdır. Granit taşları önemli kaynak olmakla beraber, bina yapımlarında kullanılan diğer malzemelerden tuğlalardan da ev içerisine sızabilir. Ev temelinde yer alan çatlaklar üzerinden sulardan, hatta dışarıdaki havadan da ev içerisine girebilir. Biyosfer tabakasında serbest halde gezen radon difüzyon ve çözünme yoluyla atmosfere kolaylıkla taşınır. Bu taşınma sürecinde radon, kaynaklandığı uranyum konsantrasyonuna bağlı olarak toprakta, sularda, bina içi ve dışındaki atmosferde ve ayrıca binalarda kullanılan yapı malzemelerinde değişik yoğunluklarda bulunabilir.

2.9.1. Toprakta radon

Radon, yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde gömülü olan uranyumun bozunması ile yeryüzünde bir yoğunluk oluşturur. Uranyum içeren pek çok farklı türden kayalar mevcuttur, fakat bunun önemli bir radon kaynağı sayılabilmesi için uranyum konsantrasyonunun 50 ppm (parts per million= milyonda bir parçacık) değerinden yüksek olması gerekir (Durrani ve Ilic, 1997). ^{222}Rn atomları toprak gazının oluştuğu yerde toprak parçacıkları ya da mineralleri arasında difüzyonla serbest kalırlar (Blaauboer, 1989). Doğal bozunma sürecinin bir parçası olarak ortaya çıkan radon gazı, bulunduğu bölgenin jeolojik yapısıyla yakından ilişkili olarak çevreye yayılmaktadır. Toprakta bulunan ve havaya sızan radon miktarı, toprak karakteristiklerine ve basınca bağlıdır (Akyıldırım, 2005; Kulalı, 2009). Kayalar ve topraklar arasından atmosfere yayılan radon gazının atmosferdeki yoğunluğunun 0.1 pCi/L (pikocurie/litre)'lik bir ortalamaya sahip olduğu bildirilmektedir (Kulalı, 2009). Toprak gazında ve atmosferde yapılacak radon ölçümleri ölçüm yapılan bölgenin toprağındaki uranyum ve toryum varlığı hakkında fikir verici olabilir.

2.9.2. Sularda radon

İnsanlar su ihtiyaçlarını yüzey sularından ve yer altı su kaynaklarından temin etmektedir. Radon suda çözünebilir. Yüzey suları ve yeraltı suları, değişik miktarlarda radyum içeren toprak ve kayalarla yakın temasta bulunduğundan içme ve kullanma sularında radona rastlanılması şaşırtıcı değildir. Sudaki radon konsantrasyon değeri Bq L^{-1} ya da pCi/L birimleri ile verilir. Yer kabuğunda bulunan radyoaktif katmanlarla temas halinde bulunan yer altı suları yüzey sularına göre daha radyoaktiftir. Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi UNSCEAR, yüzey suları için tipik ^{222}Rn konsantrasyonunun 40 kBq m^{-3} (1PCi/L) değerinden daha düşük olduğunu ve yer altı suları için tipik ^{222}Rn konsantrasyonunun 4 ile 40 kBq m^{-3} arasında değiştiğini bildirmektedir (UNSCEAR, 1982). ^{238}U ve ^{232}Th grubunda yer alan radyoaktif elementler yer altı sularında bulunmaktadır. Özellikle uranyum serilerine ait olan radyoaktif elementlerden ^{223}Ra, ^{226}Ra ve ^{222}Ra sağlık açısından önemli risk oluştururlar (Erdoğan, 2010). Bina içine yayılan bu radon gazının solunması akciğer kanseri bakımından risk oluşturabileceği gibi içme sularında bulunan radonun sindirim

yoluyla ve kullanma sularında bulunan radonun ise difüzyon yoluyla deriden vücuda alınması sonucu radyasyona maruz kalınabilir.

Evlerde kullanılan musluk suları da tüm arındırma işlemlerine rağmen belirli bir miktar radon içermektedir. Bu miktar ev suyunun alındığı kaynağa ve ne kadar arıtıldığına bağlıdır. Ayrıca ev içinde kullanılan bu suların püskürtülmesi ve çalkalanması da radon salınımına neden olur (Akkurt, 2006).

2.9.3. Atmosferde radon

Radon, atomlarının akış yönü topraktan havaya doğrudur. Bu hareketi etkileyen faktörler şunlardır:

a) Radyumun toprak ve kayaçlardaki konsantrasyonu

b) Materyallerden kaçan radonun fiziksel bağ yapma isteği

c) Toprak ve kayaçlardaki gözenekli yapı

d) Toprak ve atmosfer arasındaki atmosfer basınç farkı

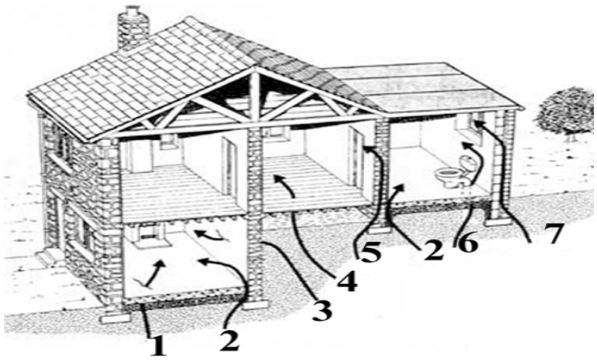
e) Toprağın suya doyma derecesi

Değişik bölgelerin atmosferinden ölçülen radon düzeyleri bu bölgelerin coğrafi, iklim ve kayaç yapısına bağlı olarak farklılık göstermektedir. Aynı yerleşim bölgesinde bile zamana bağlı olarak değişim söz konusudur. Sonuçta yer altı kayalarının uranyum derişimi en önemli radon salınım nedenidir. Granit ve volkanik topraklar, tortul şistler başlıca radon kaynaklarını oluşturmaktadır. Ancak bazı kireç taşı çökelti bölgelerinde de radona rastlanılmaktadır. Atmosferik basıncın düşmesi, aynı zamanda toprak gazında da basıncın düşmesine neden olur. Bu da derinden gelen radon salınımını artırır. Yağışlı havalarda yüzey toprakları nemlenir. Bunun sonucu olarak toprak gözenekleri kapanır. Radon toprağın üst gözeneğinde tuzaklanır. Radonun aşağıdan yukarıya difüzyon yolu ile geçmesi zorlaşır. Sonuçta, toprak yüzeyindeki radon yoğunluğu azalır. Sıcaklık yükselmesi ise, toprağın kurumasına ve gözeneklerin artmasına neden olur. Böylece, radonun topraktan kaçışı kolaylaşır. Radon topraktan havaya geçtiği zaman rüzgarların etkisi ile atmosfere karışır.

Radon konsantrasyonunun günlük ve mevsimsel değişimleri birçok araştırmacı tarafından incelenmiş ve benzer sonuçlar elde edilmiştir. ABD' de radonun mevsimsel değişimi 4 yıllık periyotta yapılan bir çalışmayla araştırılmış ve mart ayında maksimum, ağustos ve ekim aylarında ise minimum gözlenmiştir (UNSCEAR, 1982).

2.9.4. Bina içinde atmosferik radon

İnsanlar zamanlarının çok büyük kısmını bina içlerinde geçirmektedir. Binalar dışarıdan gelen radyasyonu kısmen durdurmasına rağmen esas olarak bina materyallerindeki ve binanın bulunduğu zemindeki radyasyon konsantrasyonundan dolayı, havadan daha ağır olan radon gazı bina içinde birikerek yüksek konsantrasyonlara ulaşabilir. Binalardaki radon düzeyini yükselten ve değişiminde etkili olan birçok faktör vardır. Bir binanın kurulu olduğu bölgenin altında bulunan uranyum içerikli toprak ve kaya yapısı genellikle bina içindeki radonun başlıca kaynağıdır. Kapalı bir ortamda radon konsantrasyonuna katkıda bulunan kaynaklar Şekil 2.9'da gösterilmiştir. Radonun kapalı bir mekana giriş mekanizmaları arasında; toprak içerisindeki radon gazının binanın temelindeki boşluklardan ve çatlaklardan bina içine sızması, toprak gazının bina civarında birikerek basınç ve sıcaklık farklılıkları sebebiyle açık pencere ve kapılardan bina içlerine girmesi, bina içindeki kullanma suyu vasıtasıyla ortama radon taşınması, doğal gaz ile radonun bina içine taşınması ve bina yapımında kullanılan malzemelerin içerdiği radyum nedeniyle bina içine radonun taşınması sayılabilir (Gültekin ve ark., 2003; Akyıldırım, 2005).



Şekil 2.9. Radon gazının bina içine giriş mekanizmaları (Anonim web,2010)

1. Zemin ve duvar çatlakları
2. Yapının birleşme noktaları
3. Toprak altında kalan duvardaki çatlaklar
4. Zemin yapısında bulunan boşluklar
5. Duvardaki çatlaklar
6. Tesisat ve boru boşlukları
7. Duvarın içerisinde olabilecek boşluklar

Havadan yedi buçuk kat daha ağır olan radon gazı, iyi havalandırılmayan mekanlar da zamanla birikebilmekte, binalarda birikmediği durumlarda ise atmosfere yayılmaktadır.

Bina içindeki radon kaynaklarının en önemlilerinden biriside, bina yapımında kullanılan malzemedir. Tüm bina malzemeleri ^{238}U içerir ve sonuç olarak bunlarda potansiyel radon yayınlayıcıları olup bazı malzemeler daha yüksek ^{238}U ve ^{226}Ra konsantrasyonuna sahiptirler (Durrani ve Ilic, 1997).

Ayrıca binanın tasarımı binanın kullanım şekli (havalandırma biçimi ve hava dolaşım sıklığı), zeminin geçirgenliği, binanın yüksekliği ve topraktaki radon hareketini etkileyen parametreler gibi çeşitli faktörlerinde kapalı bir ortamdaki radon konsantrasyonu üzerinde etkili olduğu bildirilmiştir (Çelebi ve ark., 2003 ve Çelebi, 2007).

Binanın mimari yapısına bağlı olarak kapalı yerin hava değişimi, radon değişimi açısından önemlidir. Genel olarak; yaz aylarında havalandırma amacıyla kapı ve pencerelerin açılmasıyla ölçülen bina içi radon konsantrasyonu, kış aylarında ölçülen değerden düşük olabilmektedir. Ayrıca kış aylarında ısı yalıtımını sağlamak amacıyla kullanılan çift camlı evlerde ki radon konsantrasyonu ortalamalardan yaklaşık % 30 fazla bulunmuştur (UNSCEAR, 1993; Yaprak, 1993).

2.10. Radon ve Sağlık

Topraktan havaya sızan radon önemli bir kapalı ortam kirletici faktörü olarak belirmektedir. Radonun radyoaktivitesi zayıftır. Bu nedenle teneffüs edildiğinde dokulara kimyasal olarak bağlanmaz. Ayrıca, dokulardaki çözünürlüğü çok düşüktür; insan akciğerinde yarı ömrünü tamamlamadan geri atılır. Fakat radon bozunumuyla ortaya çıkan polunyum (Po), bizmut (Bi) ve kurşun (Pb) elementlerinin radyoizotopları olan bozunum ürünleri radon gibi gaz halinde olmadıklarından, toz ya da havadaki diğer parçacıklara çok çabuk yapışırlar ve solunum yoluyla insan vücuduna alınırlar. Bu parçacıklar bozunmalarını kararlı hale gelinceye dek sürdürürler ve yerleştikleri bölgelerde alfa, beta veya gama ışıması yaparak ayrılırlar. Vücut içerisindeki bu ışımalardan en önemlisi alfa ışımasıdır. Akciğer üzerinde beta parçacıkları ile gama ışınlarının etkileri, alfa parçacıklarının etkilerine göre ihmal edilebilir düzeydedir. Bozunma sürecinin her aşamasında salınan radyasyon, öncelikle akciğer dokusunda hasara, zamanla da akciğer kanserine neden olabilir (UNSCEAR, 2000; Özdemir,

2006). Bu nedenle radon ve bozunma ürünlerinin solunması önemli bir sağlık riski oluşturmaktadır.

Epidemiyolojik çalışmalar, yüksek seviyede radon ve bozunma ürünleri dolayısıyla radyasyona maruz kalmış bireylerde akciğer kanseri oranlarının yüksek olduğunu göstermiştir. İngiltere Milli Radyasyondan Korunma Komitesi (NRPB), İngiltere'deki yıllık toplam 41,000 akciğer kanserinden en az 2,500'ünü, ABD Halk Sağlığı Servisi ise yıllık akciğer kanseri vakalarının, sigara içmeyenlerden 5,000, sigara içenlerden ise 15,000'ini, Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi (ICRP, 1994) ise toplam akciğer kanserlerinin %10'unu radona bağlamaktadırlar. Ancak bu durum yüksek dozda radona maruz kalmış herkesin akciğer kanserine yakalanacağı anlamına gelmemekte ve maruz kalınma ile hastalığın oluşması arasında geçen zaman yıllarca sürebilmektedir.

Çizelge 2.2'de, çeşitli ülkeler ve uluslararası kuruluşlar tarafından benimsenen kapalı ortamlar için müsaade edilebilir radon konsantrasyon limitleri verilmektedir.

Çizelge 2.2. Radon Konsantrasyon Limitleri (Bq m^{-3}) (TAEK)

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

* Avrupa Birliği

**Uluslar arası Radyasyondan Korunma Komitesi

***Dünya SağlıkÖrgütü

3. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Radon konsantrasyonunun günlük ve mevsimsel değişimleri birçok araştırmacı tarafından incelenmiş ve benzer sonuçlar elde edilmiştir. ABD'de radonun mevsimsel değişimi 4 yıllık periyotta yapılan bir çalışmayla araştırılmış ve Mart ayında maksimum, Ağustos ve Ekim aylarında ise minimum gözlenmiştir (UNSCEAR, 1982). Radon konsantrasyonunun belirlenmesine yönelik olarak yapılan çok sayıda çalışma mevcuttur. Bu çalışmalardan bazıları şöyledir.

İstanbul'da Karahan ve arkadaşlarının içme suları ve yüzey suları için yaptıkları çalışmada radon konsantrasyon değerleri 0.019 Bq L^{-1} ile 0.048 Bq L^{-1} arasında değişim göstermiştir (Karahan ve ark., 2000).

Çevik ve arkadaşları Doğu Karadeniz Bölgesi'nin 11 farklı yerleşim yerinden alınan su örneklerinin ^{222}Rn aktiflik konsantrasyonlarını tespit etmiş ve ortalama aktiflik konsantrasyonunu 10.82 Bq L^{-1} olarak bulmuşlardır (Çevik ve ark., 2006).

Denizli'de Erees ve arkadaşlarının depremler ile fay hattı üzerindeki termal suların radon konsantrasyonundaki değişimler arasında bağlantı kurmak amacıyla yaptıkları çalışmada konsantrasyon değerlerinin 0.67 kBq m^{-3} ile 25.90 kBq m^{-3} arasında değiştiği tespit edilmiştir (Erees ve ark., 2006).

Yalım ve arkadaşları 2007 yılında yaptıkları bir çalışmada Afyonkarahisar ili ve çevresindeki fay hattı boyunca bazı kuyu sularındaki radon konsantrasyonunu ölçmüşler ve değerlerin 0.7 Bq L^{-1} ile 31.7 Bq L^{-1} arasında değiştiğini gözlemlemişlerdir (Yalım ve ark., 2007).

Tarım ve arkadaşları Bursa'daki kuyu suları ve çeşme sularındaki radon konsantrasyonlarının değişimlerini çalışmıştır. Radon konsantrasyonu ölçüm sonuçları, kuyu suları için 1.46-53.64 Bq L^{-1}, çeşme suları için 0.91-12.58 Bq L^{-1} aralığında bulunmuştur. (Tarim ve ark., 2011).

Yalçın ve arkadaşları Kastomunudaki doğal kaynak suları ve çeşme sularındaki radon konsantrasyonlarının ilkbahar ve yaz mevsimlerindeki değişimlerini çalışmıştır. Radon konsantrasyonu ölçüm sonuçları, doğal kaynak suları için ilkbahar mevsiminde 0.39-12.73 Bq L^{-1}, yaz mevsiminde 0.50-19.21 Bq L^{-1} aralığındadır. Çeşme suları için ilkbahar mevsiminde 0.36-9.29 Bq L^{-1}, yaz mevsiminde 0.31-13.14 Bq L^{-1} aralığındadır (Yalçın ve ark., 2011).

Amerika'da Gosink ve arkadaşlarının içme ve kullanım suyunun karşılandığı birçok sondaj kuyusunda yapmış olduğu çalışmalarda ^{222}Rn konsantrasyonları ortalama olarak 39.96 Bq L^{-1} ölçülmüştür (Gosink ve ark., 1990).

Brezilya'da Lima ve Bonotto 1996 yılında yer altı sularında radon konsantrasyonunu ölçmüş ve 25.47 Bq L^{-1} ile 784.11 Bq L^{-1} arasında değişen konsantrasyon değerleri elde etmişlerdir (Lima ve Bonotto, 1996).

İngiltere'de Al-Masri ve Blackburn, akarsulardan alınan su örneklerinde radon ölçümleri yapmış ve bu ölçümlerin sonuçlarının 0.080 Bq L^{-1} ile 1.171 Bq L^{-1} aralığında değişen değerler olduğunu tespit etmişlerdir (Al-Masri ve Blackburn, 1999).

Suudi Arabistan'da şebeke sularında yapılan radon ölçümleri 0.15 Bq L^{-1} ile 5.71 Bq L^{-1} arasında değişim gösterirken, yeraltı sularında bu değerler 0.89 Bq L^{-1} ile 35.44 Bq L^{-1} arasında gözlemlenmiştir (Alabdua'aly, 1999).

Venezuella'da Horvath ve arkadaşlarının kaynak sularında yaptıkları çalışmada 0.1 Bq L^{-1} ile 576 Bq L^{-1}, musluk sularında yaptıkları çalışmada ise 0 Bq L^{-1} ile 2 Bq L^{-1} arasında değişen radon konsantrasyonu değerleri elde edilmiştir (Horvath ve ark., 2000).

Polonya'da Kochowska ve arkadaşları 45 farklı kuyudan aldıkları su örneklerini incelemiş ve konsantrasyon değerlerinin hepsinin 12 Bq L^{-1}'nin altında olduğunu tespit etmişlerdir (Kochowska ve ark., 2004).

Marques ve arkadaşları Brezilya'da yeraltı suları, deniz suyu, musluk suları ve akarsularda radon konsantrasyonu ölçümleri yapmışlardır. Yeraltı sularında 0.95 Bq L^{-1} ile 36 Bq L^{-1} deniz suyunda 0.3 Bq L^{-1} ile 0.54 Bq L^{-1} musluk sularında 0.39 Bq L^{-1} ile 0.47 Bq L^{-1} ve akarsularda 0.43 Bq L^{-1} ile 2.40 Bq L^{-1} değerleri arasında sonuçlar elde etmişlerdir (Marques ve ark., 2004).

Romanya'da Comsa ve arkadaşları yüzey suları, kuyu suları ve kaynak sularında radon konsantrasyonu ölçümleri yapmışlardır. Yüzey sularında 0.5 kBq m^{-3} ile 10 kBq m^{-3}, kuyu sularında 0.6 kBq m^{-3} ile 112.6 kBq m^{-3} ve kaynak sularında 2 kBq m^{-3} ile 129.3 kBq m^{-3} değerleri arasında sonuçlar elde etmişlerdir (Comsa ve ark., 2008).

Yukarıda verilen literatür bilgisinde olduğu gibi sulardaki radyoaktif kirliliğin başlıca sebebi olan radon konsantrasyonunu tespiti, düzenli aralıklarla takip edilmesi ve elde edilen sonuçların ilgili kurum ve kuruluşlarla paylaşılması büyük önem arz etmektedir.

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. Materyal

4.1.1. AlphaGUARD radon gazı ölçüm cihazı

Bu tez kapsamında radon ölçümleri için kullanılan, AlphaGUARD PQ 2000PRO, ^{222}Rn kaynaklı alfa radyasyonunu ölçmekte kullanılan taşınabilir nitelikte bir radyasyon dedektörüdür. Alfa radyasyonu maddeyi iyonize edici özelliğe sahip olduğundan dedektör buna uygun bir iyonizasyon odalı cihazdır. İyonizasyon odası paslanmaz çelikten, silindir şeklinde yapılmıştır ve dedektör besleme gerilimi (anot ve katot arası gerilim farkı) DC 750 volttur (Akyıldırım, 2005).

Dedektör toplam hacmi 0.62 litredir, ancak bunun 0.56 litrelik kısmı etkin dedektör 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 10 güne kadar sürekli ölçüm alınabilmektedir. Şekil 4.1'de AlphaGUARD dedektörü görülmektedir.



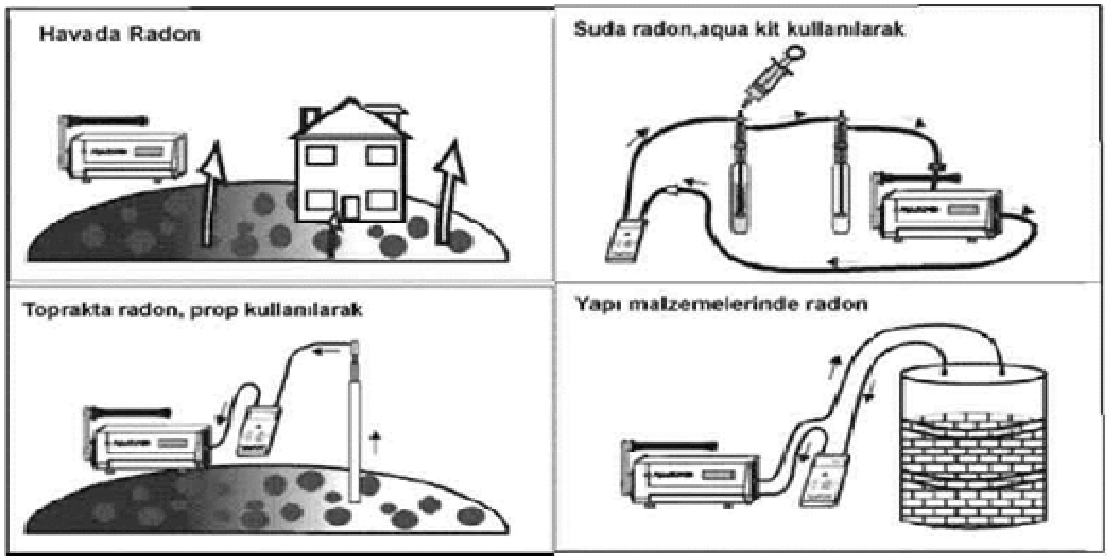
Şekil 4.1. AlphaGUARD PQ 2000PRO dedektörü

Radon konsantrasyonu ölçümü bu dedektör ile 2 – 2.10^6 Bq m^{-3} 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 dedektörü 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 Şekil 4.2'de görülen ekipman ve düzenekler kullanılmaktadır. Ayrıca AlphaGUARD radon konsantrasyonu ile eşzamanlı olarak sıcaklık (-15 ile +60 °C aralığında), atmosfer basıncı (800 – 1050 mbar aralığında) ve nem oranı (% 0 - % 99 rH aralığında) gibi üç farklı iklimsel parametreyi de ölçebilmektedir.



Şekil 4.2. AlphaGUARD ile hava, su, toprak ve yapı malzemelerinde radon ölçümü

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.

AlphaGUARD radon dedektörü ölçüm ünitesine tümleşik olan bir emme pompası yardımı ile havayı dedektör iyonlaşma odasına çeker. Emme sonucunda iyonlaşma odasına giren radon (^{222}Rn) bozunarak oda içerisinde iyonizasyona sebep olarak elektrik sinyalleri meydana getirir. Bu sürekli emme esnasında radon yan ürünleri bir plaka şeklindeki filtre tarafından tutulur ve filtre plakası üzerinde biriken

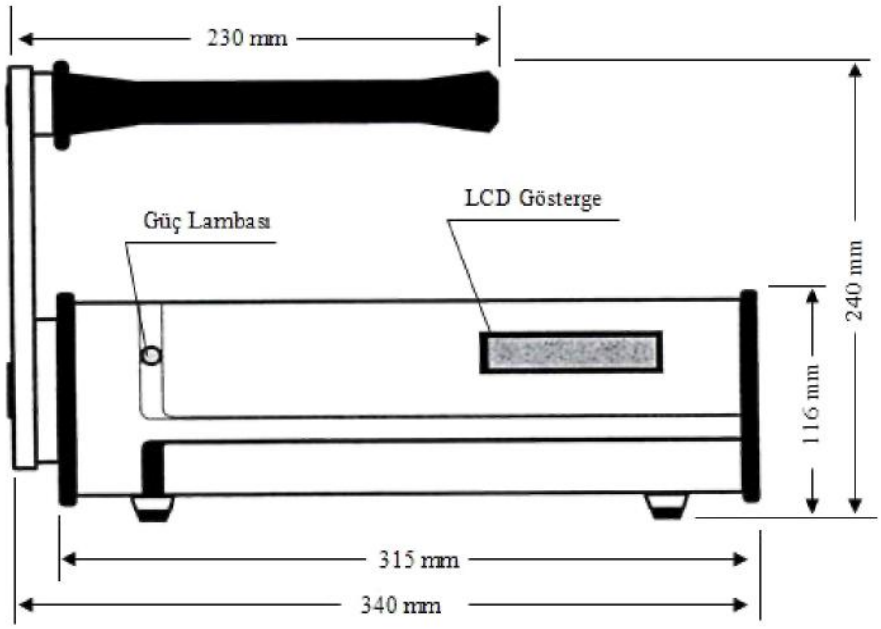
radon yavru ürünlerinin alfa aktivitesi ise filtre plakasının diğer yüzüne yerleştirilmiş hassas bir sayısal işlemcili modülü olan, alfa duyarlı TN-WL-02 mikroçip modülü vasıtasıyla ölçülür (Akyıldırım, 2005). Yapılan tüm ölçümlerden elde edilen elektrik sinyalleri, AlphaGUARD PQ 2000PRO'nun Counter-Module sayıcı birimine TTL sinyali olarak gönderilir ve dedektörün kalibrasyon bilgileri de kullanılarak yazılım tarafından anlamlı verilere dönüştürülür.

AlphaGUARD PQ 2000PRO radon detektörünün yapısı iki temel kısma ayrılarak incelenebilir:

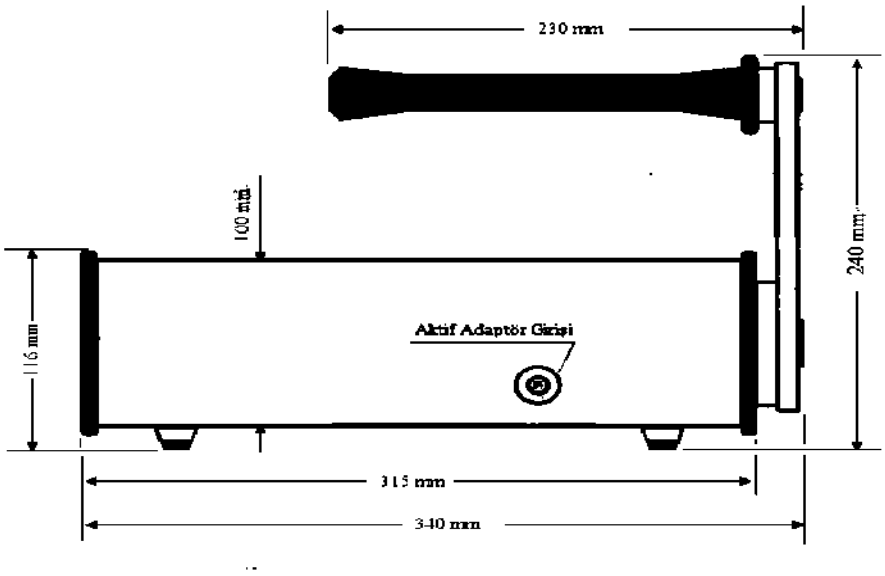
4.1.1.1. Detektörün dış yapısı

AlphaGUARD PQ 2000PRO radon detektörünün ölçüm yapmasını sağlayan ölçüm ve elektronik aksam bileşenleri dayanıklı bir alüminyum gövde içine yerleştirilmiştir. Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5 Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de AlphaGUARD cihazının farklı görünüşleri ile bazı ebatları verilmiştir.

Cihazın ön kısmında, ölçüm sırasında radon konsantrasyonundaki ve iklimsel parametrelerdeki değişimleri ayrı iki satırda gösteren LCD gösterge ve güç lambası bulunmaktadır (Şekil 4.3).

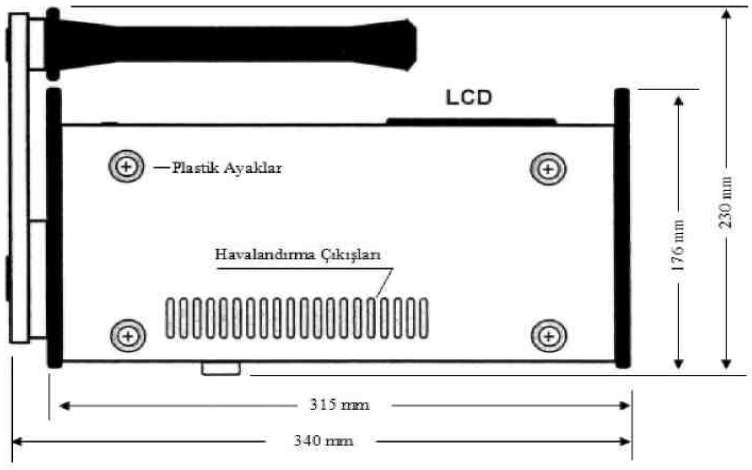


Şekil 4.3. AlphaGUARD cihazının önden görünüşü ve ebatları



Şekil 4.4. AlphaGUARD cihazının arkadan görünüşü ve ebatları

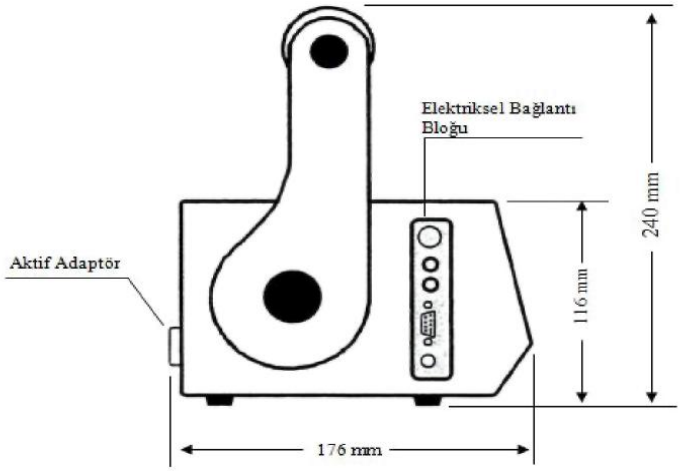
Cihazın arka kısmındaki vida yuvası plastik bir kapakla kapatılmıştır. AlphaGUARD PQ 2000PRO'da bu kapağın arkasında bulunan yuva cihazın iyonizasyon odasıyla buraya bağlanan etkin hava pompası arasındaki bağlantıyı sağlar. Yani buradan dedektör içine hava girişi sağlanmaktadır (Şekil 4.4).



Şekil 4.5. AlphaGUARD cihazının alttan görünüşü ve ebatları

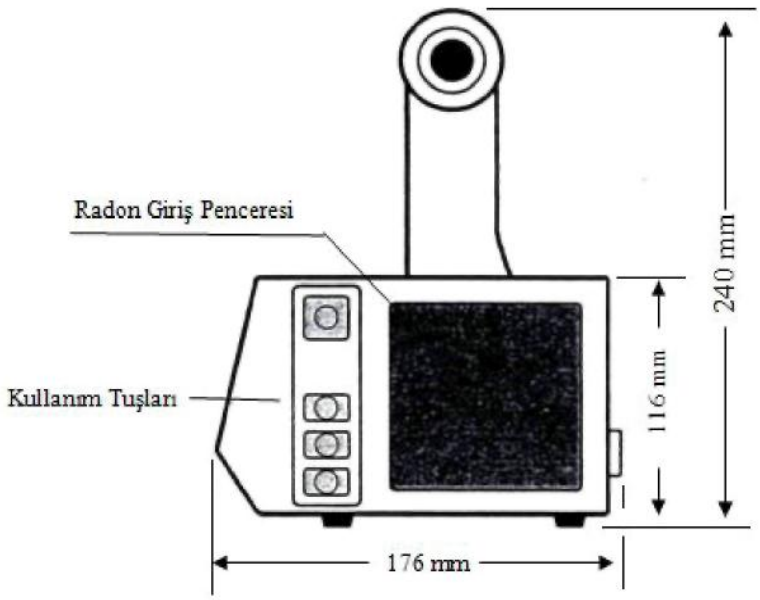
Alt kısımda alüminyum gövdenin yerle temasını kesen plastik ayaklar ve havalandırma çıkışları bulunmaktadır. İç kısımda bulunan bir fan sayesinde, özellikle uzun süreli kullanımlarda cihazın soğutulmasını sağlamak için sıcak hava buralardan dışarıya atılmaktadır (Akyıldırım, 2005).

AlphaGUARD PQ 2000PRO'nun taşıma kolunun bağlı olduğu sol kısımda elektrik bağlantı girişleri bulunmaktadır. Burada harici sensör girişi için bir adet MINI-DIN-8S soketi, 2 adet 4mm'lik soket, PC ile bağlantıyı sağlamak için 1 adet RS-232 girişi ve 12 V DC adaptör girişi bulunmaktadır (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. AlphaGUARD cihazının sol yandan görünüşü ve ebatları

Cihazın sağ tarafında korumayla kapatılmış radon gazı giriş paneli ve AlphaGUARD menü kontrolünü sağlayan tuş takımı bulunmaktadır (Şekil 4.7).



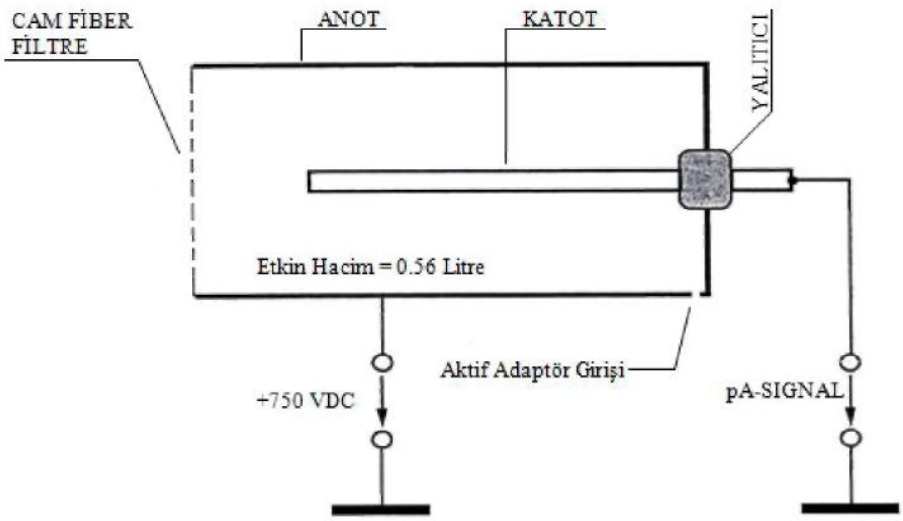
Şekil 4.7. AlphaGUARD cihazının sağ yandan görünüşü ve ebatları

4.1.1.2. Detektörün iç yapısı

Cihazın alüminyum korumasının altında ölçüm yapılmasını sağlayan dedektör (iyonizasyon çemberi) ve detektörden gelen sinyalleri işleyip sayısal verilere dönüştüren sinyal işleme birimi DSP (Digital Signal Processing-Sayısal Sinyal İşleme) bulunmaktadır.

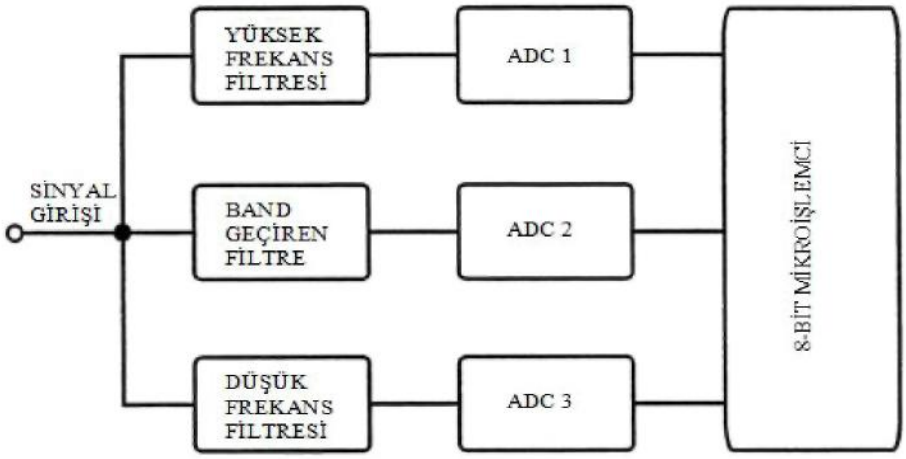
AlphaGUARD detektörü, silindirik atma iyonizasyon çemberine sahiptir. Düzenli işletimde radon içeren hava iyonizasyon çemberi içerisine geniş yüzeyli bir cam fiber filtreden geçerek girmektedir. Burada radon bozunum ürünlerinin iyonizasyon odasına girmesi engellenerek sadece gaz halindeki ^{222}Rn'nin geçmesine izin verilmektedir. Aynı zamanda filtre, çemberin iç kısmını toz parçacıklarının birikmesiyle oluşacak kirlenmeden korumaktadır.

AlphaGUARD PQ 2000PRO'nun silindirik atma iyonizasyon çemberi 0.56 litrelik bir etkin hacime sahiptir. Cihaza güç verilmesiyle beraber iyonizasyon çemberinin metal iç yüzeyleri 750 voltluk bir iç gerilimle yüklenerek detektörün anodu (+ kutup) haline gelir. Buna karşılık detektörün yatay ekseni denebilecek eksen boyunca yatay olarak uzanan paslanmaz çelikten yapılmış elektrot çubuk ise 0 volt seviyesindedir ve katot vazifesini görür. Anot ve katot arasındaki yalıtım elektrot çubuğun iyonizasyon çemberi içerisine girdiği noktada bulunan plastik bir parçayla sağlanır. Anot ve katot arasındaki 750 voltluk gerilim farkı sayesinde dedektör etkin hacmi içerisindeki iyonizasyon sonucu ortaya çıkan iyonlardan katyonlar (- yüklü iyonlar) anoda, anyonlar (+ yüklü iyonlar) ise katoda hareket ederler. Böylece yüklerin hareketi sonucu devrede bir akım meydana gelir. Bu akım da AlphaGUARD PQ 2000PRO'nun elektronik birimi tarafından işlenerek anlamlı veriler haline getirilir (Akyıldırım, 2005). Şekil 4.8'de AlphaGUARD PQ 2000PRO'nun atma iyonizasyon çemberinin şematik çizimi görülmektedir.



Şekil 4.8. AlphaGUARD detektörünün iyonizasyon çemberinin şematik çizimi

AlphaGUARD PQ 2000PRO'nun elektronik birimi dedektör tarafından elektrik sinyallerine dönüştürülen radon verilerini alıp işlemekle sorumlu birimdir. Sayısal sinyal işleme birimi DSP, birbirinden bağımsız üç sinyal işleme kanalına sahiptir. Her bir kanalın kendine ait analog-dijital çevirici devresi vardır. Böylece devreye detektörden gelen her ön yükseltici sinyali üç farklı özelliğine göre aynı anda analiz edilebilmektedir. DSP birimine ait blok diyagram Şekil 4.9' da verilmiştir.



Şekil 4.9. AlphaGUARD'ın sinyal işleme biriminin blok diyagramı

Birinci kanal (ADC 1) AlphaGUARD PQ 2000PRO'nun spektroskopi kanalı olarak adlandırılır. Burada sinyaller sadece atma derinliklerine göre değil, aynı zamanda

atma şekillerine göre de sınıflandırılmaktadır. DSP teknolojisine sahip olmayan iyonizasyon odalı detektörlerde yüksek seviyedeki radon konsantrasyonlarında meydana gelen α olayları multipletlere (üçlülere) ayrılma eğilimindedirler ve bu sinyalleri daha karmaşık hale getirmektedir. Ancak AlphaGUARD PQ 2000PRO'da da dedektör sisteminde kullanılan DSP teknolojisi bu durumu daha karmaşık bir matematiksel algoritma, çapraz korelasyon (cross-correlation) algoritması kullanarak meydana gelen gürültüyü seçerek radon sinyalinden ayırt edebilmektedir. Elde edilen sinyal (primer sinyal) kısa zaman aralıklarında örneklenir ve orijinal sinyalin sayısal değerler halinde örnekleri çıkarılarak AlphaGUARD elektronik devresinin son kısmı olan kontrol birimi (hızlı mikro kontrolör) tarafından işlenir.

ADC 1 yani spektroskopik kanalda örneklendirilen veriler mikro kontrol birim tarafından her α pikinden elde edilen atma genliği (klasik alfa spektrumu) ve atmanın şekli için de tanımlama bilgileri şekline dönüştürülür. Dedektör tarafından toplanan bu bilgiler x ekseni α piki genliğini (alfa enerjisini), y ekseni zaman birimi başına meydana gelen α bozunumu ve z ekseni de atma şekli olmak üzere üç eksenli bir spektrum halinde sunulabilir. ADC 2 yani ikinci kanal sadece yüksek radon seviyelerinde devreye girmektedir. Kanalın girişindeki bant geçiren filtre devresi doğru boyutlandırıldığında gürültünün genliği çemberin toplam iyonizasyon akımının kareköküyle doğru orantılı olarak değişmekte ve bu bağıntı kullanılarak piko amper seviyesindeki iyonizasyon akımı kesin olarak ölçülebilmektedir. ADC 3 yani üçüncü kanal ise klasik bir DC integratörlü akım ölçümü gerçekleştiren devredir (Akyıldırım, 2005).

Bu üç sinyal karakteristiğinin temelinde altı değişik matematiksel algoritma yatmaktadır. Tüm işlemler sonucunda optimize edilmiş konsantrasyon prosedürü vasıtasıyla gerçek radon konsantrasyonu belirlenmektedir. Her bir radon değeri yaklaşık olarak 50 milyon matematiksel işlemin sonucunda elde edilir (Akar, 2010).

4.2. Yöntem

4.2.1. Numune Alımı

Çeşme suyu örneği alınan konutlar Konya şehrinde genelde kalabalık olan yerlerden homojen olarak seçilmiştir. Bu çalışma için 500 mL 'lik plastik şişeler kullanılmıştır. Su örnekleri şişelere doldurulmadan önce çeşme suyu biraz dışarıya akıtılmış sonra şişenin içi su ile yıkanmıştır. Herhangi bir çalkalanma sonucu oluşacak

kabarcıklar ile radon kaçışını önlemek için ağzına kadar hiç boşluk kalmayacak şekilde doldurulmuş ve radon gazı kaçışını önlemek için şişelerin kapağı su akışı altında sıkıca kapatılmıştır. Tüm numuneler radon konsantrasyon seviyesini belirlemek için hiç vakit kaybetmeden Selçuk Üniversitesi Nükleer Fizik laboratuarına götürülerek ölçümler gerçekleştirilmiştir. Her bir su numunesi için üç kez ölçüm alınmış ve bu ölçümlerin ortalama değeri hesaplanmıştır.

4.2.2. Su Numunelerinin Analizi İçin Ölçüm Düzeneğinin Hazırlanması

Sudaki radon konsantrasyonu ölçümü için, ek bir donanım olan AquaKIT, pompa (AlphaPUMP) ve AlphaGUARD PQ 2000PRO'dan oluşan Şekil 4.10'da şematik olarak gösterilen düzenek aşağıdaki bağlantılar gerçekleştirilerek kurulur.

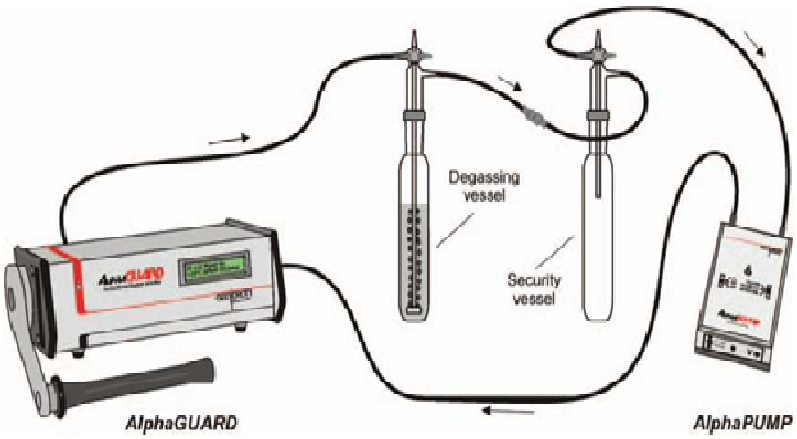
1) Arıtma şişesinin (degassing vessel) alt yan başlığı güvenlik şişesinin (security vessel) alt yan başlığına 150 mL'lik iki tane kilitli tüp ile bağlanır.

2) Güvenlik şişesinin üst yan başlığı pompanın 'IN' başlığına 400 mm uzunluğundaki tüp ile bağlanır.

3) Pompanın 'OUT' başlığı 500 mm uzunluğundaki tüp ile AlphaGUARD'ın arka kısmında bulunan 'Aktive Adaptör (aktif adaptör)' girişine bağlanır.

4) AlphaGUARD'ın sağ tarafındaki 'Flow Adapter (akış adaptörü)' girişi 600 mL'lik tüp ile arıtma şişesinin üst yan başlığına bağlanır.

Yukarıda ifade edilen tüm bağlantılar gerçekleştirildiğinde su numunelerinde radon konsantrasyonu ölçümü için kullanılan 1102 mL dâhili hacimli ölçüm düzeneği hazırlanmış olur (Akar, 2010).



Şekil 4.10. Sudaki radon ölçüm düzeneği

4.2.3. AlphaGUARD PQ 2000PRO ile Sudaki Radon Ölçümü

1) Şekil 4.10'da verilen ölçüm düzeneği kurulur.

2) AlphaGUARD sayacı açılır ve ölçüm modu '1 min FLOW' olarak seçilir (bu ayarlama AlphaGUARD menüsünden veya AlphaEXPERT yazılımı ile yapılabilir).

3) Arıtma şişesini örnekle doldurmadan önce 10 dakika süreyle ölçüm yapılır. Bu ölçüm değeri doğal fon değeri olarak kaydedilir. Bu değer denklem (4.1) eşitliğindeki C_0 değeridir.

4) Arıtma ve güvenlik şişelerinin başlıkları saat 3 konumuna getirilir.

5) Plastik enjektör, ölçümü yapılacak su örneği ile doldurulur.

6) Enjektör arıtma şişesinin düşey bağlantı başlığına takılır ve 100 mL'lik numune yavaşça arıtma şişesi içine boşaltılır.

7) Arıtma ve güvenlik şişelerinin saat 3 konumundaki başlıkları hızlı şekilde saat 6 konumuna getirilir. Böylece kapalı gaz çevrimi elde edilmiş olur.

8) Plastik enjektör, arıtma şişesinin düşey bağlantı başlığından çıkarılır.

9) Pompanın (AlphaPUMP) performans seviyesi '0.5 L/min' hava akış oranına ayarlanır ve pompa açılır. Böylece ölçüm başlar.

10) 10 dakikalık döngü işleminden sonra pompa kapatılır, fakat AlphaGUARD cihazı radon ölçümünün devam etmesi için 20 dakika daha açık bırakılır.

11) Ölçümü yapılan su örneği arıtma şişesi içinden boşaltılır ve düzenek tekrar kurulur. AlphaGUARD'ın arka kısmında bulunan aktif adaptörün tüp bağlantısı kesilir.

12) Pompanın performans seviyesi '1 L/min' hava akış oranına ayarlanır ve açılır (ölçüm düzeneği ortam havası ile temizlenir).

13) Ölçüm düzeneğinin temizlenme işlemi radon değeri ortam konsantrasyonuna erişinceye kadar devam eder. Bu aşamadan sonra başka bir örnek için ölçüm prosedürü başlatılabilir.

14) Ölçüm boyunca depolanan verilerin bilimsel yorumlarının yapılabilmesi için AlphaGUARD bilgisayara bağlanır ve veri analiz yazılımı (Alpha EXPERT) ile birlikte çalışır (Akar, 2010).

4.2.4. Sudaki Radon Hesaplamaları

Su örneklerindeki radon konsantrasyonu hesabı radon cihazında belirtilen radon konsantrasyonu üzerine kurulur. Yani ölçüm değeri, örneğin gerçek radon

konsantrasyonu değildir. Çünkü su içindeki radon, dedektör içine düzenek içindeki hava ile sürüklenmektedir ve havanın da bu değere katkısı gerçekleşmektedir. Bu nedenle numunenin içindeki radon konsantrasyonu hesabı denklem (4.1) kullanılarak yapılır.

$$Csu = \frac{C_{hava}\left(\frac{V_{sistem} - V_{örnek}}{V_{örnek}} + k\right) - C_0}{1000} \qquad (4.1)$$

Burada,

C_{su} : su örneğinin radon konsantrasyonu (Bq L^{-1});

C_{hava} : ölçüm sonucunda cihazda belirtilen konsantrasyon değeri (Bq m^{-3});

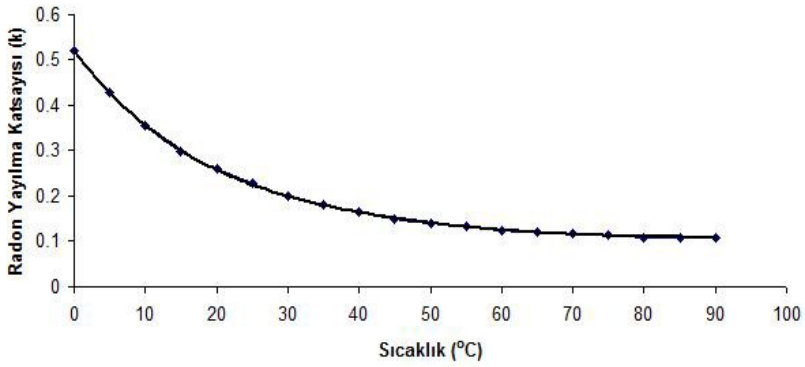
C_0 : arka plan (doğal fon) konsantrasyonu (Bq m^{-3});

V_{sistem} : ölçüm düzeneğinin dahili hacmi (1102 mL);

$V_{örnek}$: su örneğinin hacmi (100 mL);

k : radon yayılma katsayısı'dır.

Radon yayılma katsayısı (k), sıcaklığa bağlı olarak değişim göstermekte ve artan sıcaklık değerlerine karşılık azalmaktadır (Şekil 4.11). Bunun nedeni sıcaklık artışı ile radon gazının sıvı fazdan gaz faza geçişinin hız kazanmasıdır (Akar, 2010).



Şekil 4.11. Radon yayılma katsayısının (k) değişim grafiği.

4.2.5. Ortalama radon konsantrasyonu hesaplamaları

Belirli zaman aralıklarında her kaynak için 3 numune alındı. Bu numuneler için ortalama radon konsantrasyonu değerleri (4.2) denklemiyle hesaplandı.

$$\overline{X} = \sum_{i=1}^{N} \frac{X_i}{N} \tag{4.2}$$

4.2.6. Standart hata

Hesaplanan ortalama değerlerin standart hata hesabını bulmak amacıyla standart sapma hesaplamaları ;

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i}^{N} (X_i - \bar{X})^2}{N-1}} \tag{4.3}$$

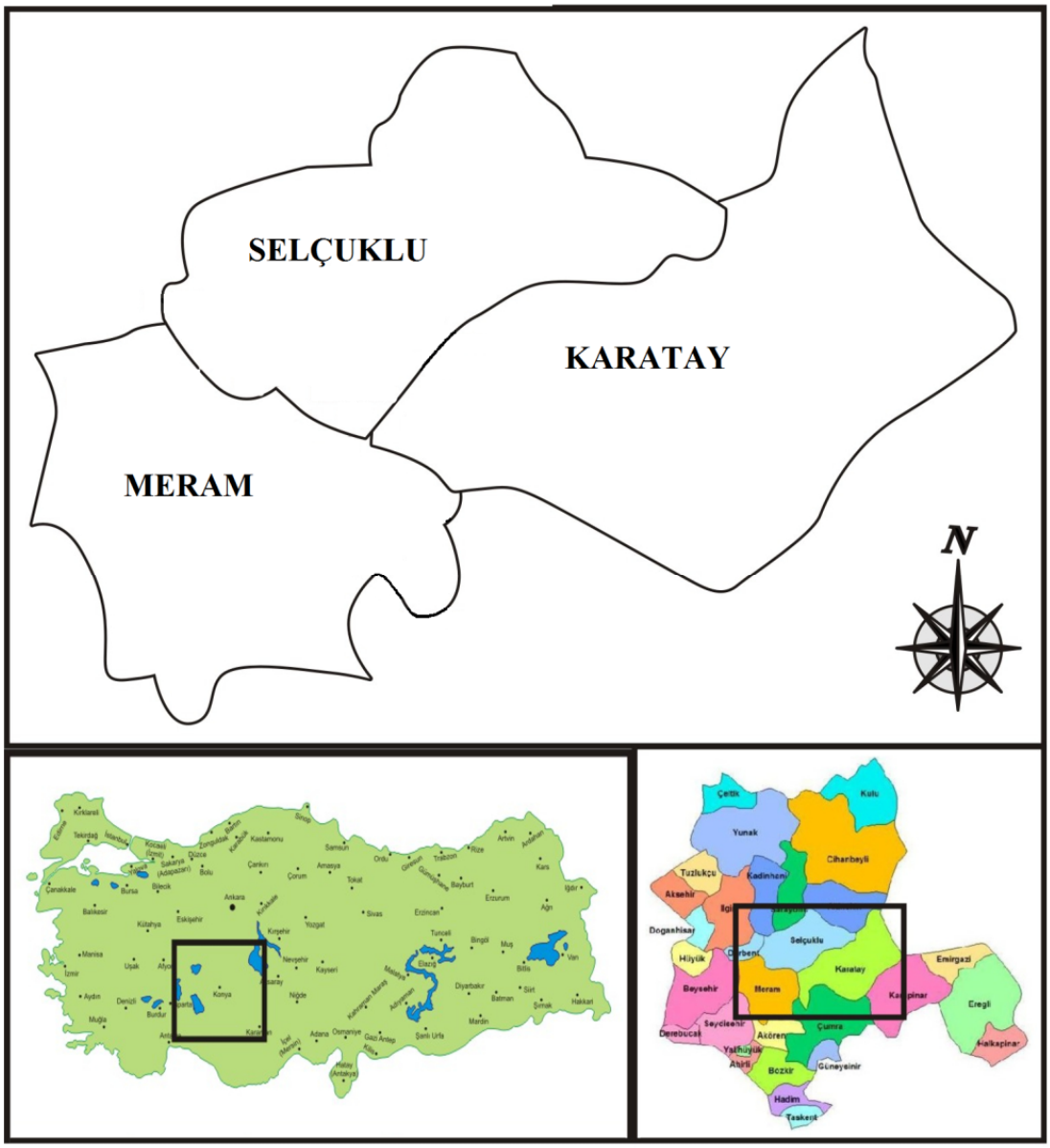
denklemi kullanılarak yapıldı. Standart sapma hesaplandıktan sonra, ortalama değerlerin standart hata hesabı (4.4) denklemi kullanılarak yapıldı (Akar, 2010).

$$S.H = \frac{\sigma}{\sqrt{N}} \tag{4.4}$$

5. ÇALIŞMA BÖLGESİNİN JEOLOJİK YAPISI VE NUMUNE ALMA İŞLEMLERİ

5.1. Çalışma Bölgesi ve Numune Alma İşlemleri

Konya (göller hariç), yüzey alanı ölçümü 38,873 km^2 olan ve tahmini olarak 1,100,000 nüfusa sahip bir şehirdir. Konya şehri koordinatları $36^o41´$ - $39^o16´$ Kuzey ve $31^o14´$ - $34^o26´$ doğu boylamlarında yer alan ve deniz seviyesinden yüksekliği yaklaşık 1,050 metredir (Anonim, 2013). Bu çalışmada şekil 5.1.' de gösterilen Konya'nın merkez ilçelerinden olan Selçuklu (S1- S8), Meram (M1-M8), ve Karatay (K1-K11) da bulunan farklı konutlardan aldığımız çeşme suyu örneklerinin radon konsantrasyon değerleri belirlenmiştir. Konutların çeşme suları bazı barajlardan veya kuyu sularından temin edilmektedir. Konya'nın şehir su şebekesini besleyen bazı kuyu sularının radon konsantrasyon değerleri daha önce ölçülmüştür ve radon aktivite konsantrasyonu değerleri Dünya Sağlık Örgütünün (WHO) tavsiye ettiği limit değerlerin altında bulunmuştur (Erdoğan, 2013). Bu kuyularında beslediği Konya'nın 27 farklı konutundan toplanan su numunelerinin sonbahar (21 Aralığa kadar) ve kış (Şubat) mevsimlerindeki radon konsantrasyon düzeyleri analiz edilmiştir. Bu 27 konuttan alınan su örneklerinin 11'i deposu olan konuttan alınırken diğerleri deposu olamayan konutlardan alınmış su örnekleridir. Her bir su numunesi için üç kez ölçüm alınmış ve bu ölçümlerin ortalama değeri hesaplanmıştır. Çeşme suyu örneği alınan konutlar Konya şehrinin merkez ilçelerini homojen tarayacak şekilde seçilmiştir. Su örnekleri 500 mL'lik şişelere, herhangi bir çalkalanma sonucu oluşacak kabarcıklar ile radon kaçışını önlemek için ağzına kadar boşluk kalmayacak şekilde doldurulmuş ve radon gazı kaçışını önlemek için şişelerin kapağı su akışı altında sıkıca kapatılmıştır. Tüm numuneler radon konsantrasyon seviyesini belirlemek için hiç vakit kaybetmeden Selçuk Üniversitesi Nükleer Fizik laboratuarına götürülmüştür.



Şekil 5.1. Ölçümlerin yapıldığı bölgenin haritası

6. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

6.1. Araştırma Bulguları

Çeşme suyu numunelerinin radon aktivite değerleri AlphaGUARD PQ 2000PRO radon dedektörü kullanılarak 2012-2013 yılı sonbahar ve kış dönemlerinde gerçekleştirilmiştir. Konya'nın merkez ilçelerinden olan Selçuklu (S1-S8), Meram (M1-M8), ve Karatay (K1-K11) da bulunan su depolu ve deposuz konutlardan aldığımız çeşme suyu örneklerinin radon konsantrasyon değerleri incelenmiştir. Selçuklu, Meram ve Karatay merkez ilçelerinde yer alan su deposuna sahip ve su deposuz konutlardan alınan çeşme suyu örneklerinin radon aktivite seviyeleri belirlenerek, aralarındaki ilişki tespit edilmiştir. Ayrıca suyun kullanımı sonucu insanların maruz kalacağı radyasyon doz miktarları hesaplanmıştır.

Selçuklu (S1-S8) ilçesindeki 8 farklı konuttan alınan çeşme sularının radon konsantrasyon verileri:

Çizelge 6.1. S1 (Selçuklu Toki Konutları) sonbahar ölçümü için çeşme suyu bilgileri ve ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Çeşme suyunun özellikleri			
Su sıcaklığı: 13.8 ºC Suyun özelliği: Depo suyu pH: 6.76 Elektriksel iletkenlik (E.İ.): 0.70 mS cm^{-1}			
Ölçüm verilerinini ortalama değerleri	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm
C_0 (Bq m^{-3})	34	18	4
C_{hava} (Bq m^{-3})	339	219	224
Ortalama sıcaklık (ºC)	20.3	20.9	21.5
C_{su} (Bq L^{-1})	3.4496	2.2315	2.2959
C_{ort}±S.H (Bq L^{-1})	2.6590 ± 0.3957		

Çizelge 6.2. S1 (Selçuklu Toki Konutları) kış ölçümü için çeşme suyu bilgileri ve ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Çeşme suyunun özellikleri			
Suyun sıcaklığı: 15 ºC Suyun özelliği: Depo suyu pH: 8.24 E.İ.: 0.58 mS cm^{-1}			
Ölçüm verilerinini ortalama değerleri	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm
C_0 (Bq m^{-3})	19	11	16
C_{hava} (Bq m^{-3})	67	74	73
Ortalama sıcaklık (ºC)	21.9	22.4	21.8
C_{su} (Bq L^{-1})	0.6687	0.7483	0.7333
C_{ort}±S.H (Bq L^{-1})	0.7167 ± 0.0457		

Çizelge 6.3. S2 (Selçuklu Bosna Hersek Mahallesi) sonbahar ölçümü için çeşme suyu bilgileri ve ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Çeşme suyunun özellikleri			
Suyun sıcaklığı: 22 ^{0}C Suyun özelliği: Depo suyu pH: 5.88 E.İ.: 0.72 mS cm^{-1}			
Ölçüm verilerinini ortalama değerleri	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm
C_0 (Bq m^{-3})	20	40	33
C_{hava} (Bq m^{-3})	241	304	263
Ortalama sıcaklık (ºC)	21.9	21.9	21.9
C_{su} (Bq L^{-1})	2.4538	3.0805	2.6666
C_{ort}±S.H (Bq L^{-1})	2.7336 ± 0.1839		

Çizelge 6.4. S2 (Selçuklu Bosna Hersek Mahallesi) kış ölçümü için çeşme suyu bilgileri ve ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Çeşme suyunun özellikleri			
Suyun sıcaklığı: 23 ^{0}C Suyun özelliği: Depo suyu pH: 7.91 E.İ: 0.55 mS cm^{-1}			
Ölçüm verilerinini ortalama değerleri	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm
C_0 (Bq m^{-3})	46	15	23
C_{hava} (Bq m^{-3})	118	34	115
Ortalama sıcaklık (ºC)	21.2	21.8	22
C_{su} (Bq L^{-1})	1.1658	0.3340	1.1573
C_{ort}±S.H (Bq L^{-1})	0.8857 ± 0.2758		

Çizelge 6.5. S3 (Selçuklu Yazır Mahallesi) sonbahar ölçümü için çeşme suyu bilgileri ve ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Çeşme suyunun özellikleri			
Suyun sıcaklığı: 12 ^{0}C Suyun özelliği: Depo suyu pH: 6.48 E.İ.: 0.68 mS cm^{-1}			
Ölçüm verilerinini ortalama değerleri	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm
C_0 (Bq m^{-3})	24	28	15
C_{hava} (Bq m^{-3})	365	402	313
Ortalama sıcaklık (ºC)	20.1	20.2	19.8
C_{su} (Bq L^{-1})	3.7273	4.1033	3.2026
C_{ort}±S.H (Bq L^{-1})	3.6777 ± 0.2611		

Çizelge 6.6. S3 (Selçuklu Yazır Mahallesi) kış ölçümü için çeşme suyu bilgileri ve ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Çeşme suyunun özellikleri			
Suyun sıcaklığı: 12 ^{0}C Suyun özelliği: Depo suyu pH:10.27 E.İ.: 0.57 mS cm^{-1}			
Ölçüm verilerinini ortalama değerleri	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm
C_0 (Bq m^{-3})	12	30	24
C_{hava} (Bq m^{-3})	161	132	122
Ortalama sıcaklık (ºC)	22.3	22.4	22.2
C_{su} (Bq L^{-1})	1.6402	1.3245	1.2280
C_{ort}±S.H (Bq L^{-1})	1.3975 ± 0.1244		

Çizelge 6.7. S4 (Selçuklu Nenehatun Mahallesi) sonbahar ölçümü için çeşme suyu bilgileri ve ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Çeşme suyunun özellikleri			
Suyun sıcaklığı: 13.7 ^{0}C Suyun özelliği: Depo suyu pH: 8.43 E.İ.: 0.68 mS cm^{-1}			
Ölçüm verilerinini ortalama değerleri	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm
C_0 (Bq m^{-3})	374	28	322
C_{hava} (Bq m^{-3})	1011	572	526
Ortalama sıcaklık (ºC)	19.8	20	19.6
C_{su} (Bq L^{-1})	10.0190	5.8512	5.6001
C_{ort}±S.H (Bq L^{-1})	7.1568 ± 1.4329		

Çizelge 6.8. S4 (Selçuklu Nenehatun Mahallesi) kış ölçümü için çeşme suyu bilgileri ve ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Çeşme suyunun özellikleri			
Suyun sıcaklığı: 17 ^{0}C Suyun özelliğ: Depo suyu pH: 9.33 E.İ.: 0.45 mS cm^{-1}			
Ölçüm verilerinini ortalama değerleri	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm
C_0 (Bq m^{-3})	53	40	8
C_{hava} (Bq m^{-3})	52	32	22
Ortalama sıcaklık (ºC)	20.5	20.1	20.3
C_{su} (Bq L^{-1})	0.48128	0.2888	0.2180
C_{ort}±S.H (Bq L^{-1})	0.3293 ± 0.0786		

Çizelge 6.9. S5 (Selçuklu Sancak Mahallesi) sonbahar ölçümü için çeşme suyu bilgileri ve ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Çeşme suyunun özellikleri			
Suyun sıcaklığı: 13.5 ^{0}C Suyun özelliği: Depo suyu pH:7.37 E.İ.: 0.71 mS cm^{-1}			
Ölçüm verilerinini ortalama değerleri	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm
C_0 (Bq m^{-3})	12	15	20
C_{hava} (Bq m^{-3})	165	137	132
Ortalama sıcaklık (ºC)	21.2	21.4	21.2
C_{su} (Bq L^{-1})	1.6825	1.3917	1.3356
C_{ort}±S.H (Bq L^{-1})	1.4699 ± 0.1074		

Çizelge 6.10. S5 (Selçuklu Sancak Mahallesi) kış ölçümü için çeşme suyu bilgileri ve ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Çeşme suyunun özellikler			
Suyun sıcaklığı: 18 ^{0}C Suyun özelliği: Depo suyu pH: 8.87 E.İ.: 0.33 mS cm^{-1}			
Ölçüm verilerinini ortalama değerleri	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm
C_0 (Bq m^{-3})	5	12	16
C_{hava} (Bq m^{-3})	75	78	89
Ortalama sıcaklık (ºC)	20.6	20.7	20.7
C_{su} (Bq L^{-1})	0.7655	0.7893	0.8983
C_{ort}±S.H (Bq L^{-1})	0.8177 ± 0.0408		

Çizelge 6.11. S6 (Selçuklu Nenehatun Mahallesi) sonbahar ölçümü için çeşme suyu bilgileri ve ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Çeşme suyunun özellikleri			
Suyun sıcaklığı: 14.1 ^{0}C Suyun özelliği: Depo suyu değil pH: 7.25 E.İ.: 0.68 mS cm^{-1}			
Ölçüm verilerinini ortalama değerleri	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm
C_0 (Bq m^{-3})	42	16	17
C_{hava} (Bq m^{-3})	1143	954	943
Ortalama sıcaklık (ºC)	20.4	21.1	21.1
C_{su} (Bq L^{-1})	11.7029	9.7820	9.6680
C_{ort}±S.H (Bq L^{-1})	10.3843± 0.6601		

Çizelge 6.12. S6 (Selçuklu Nenehatun Mahallesi) kış ölçümü için çeşme suyu bilgileri ve ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Çeşme suyunun özellikleri			
Suyun sıcaklığı: 18 ^{0}C Suyun özelliği: Depo suyu değil pH: 8.89 E.İ.: 0.56 mS cm^{-1}			
Ölçüm verilerinini ortalama değerleri	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm
C_0 (Bq m^{-3})	3	24	25
C_{hava} (Bq m^{-3})	373	363	307
Ortalama sıcaklık (^{0}C)	21.2	20.7	20.7
C_{su} (Bq L^{-1})	3.8275	3.7668	3.1289
C_{ort}±S.H (Bq L^{-1})	3.5744 ± 0.2234		

Çizelge 6.13. S7 (Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Binası) sonbahar ölçümü için çeşme suyu bilgileri ve ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Çeşme suyunun özellikleri			
Suyun sıcaklığı: 19 ^{0}C Suyun özelliği: Depo suyu değil pH: 7.05 E.İ.: 0.39 mS cm^{-1}			
Ölçüm verilerinini ortalama değerleri	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm
C_0 (Bq m^{-3})	37	34	43
C_{hava} (Bq m^{-3})	178	94	117
Ortalama sıcaklık (ºC)	18.2	18.8	19.1
C_{su} (Bq L^{-1})	1.7950	0.9330	1.1603
C_{ort}±S.H (Bq L^{-1})	1.2961± 0.2579		

Çizelge 6.14. S7 (Selçuk Ünivesitesi Fen Fakültesi Binası) kış ölçümü için çeşme suyu bilgileri ve ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Çeşme suyunun özellikleri			
Suyun sıcaklığı: 18.6 ^{0}C Suyun özelliği: Depo suyu değil pH: 8.17 E.İ.: 0.41 mS cm^{-1}			
Ölçüm verilerinini ortalama değerleri	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm
C_0 (Bq m^{-3})	1	15	53
C_{hava} (Bq m^{-3})	148	187	179
Ortalama sıcaklık (ºC)	20.6	21.3	21.7
C_{su} (Bq L^{-1})	1.5195	1.9053	1.7846
C_{ort}±S.H (Bq L^{-1})	1.7364± 0.1139		

Çizelge 6.15. S8 (Selçuklu Dumlupınar Mahallesi) sonbahar ölçümü için çeşme suyu bilgileri ve ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Çeşme suyunun özellikleri			
Suyun sıcaklığı: 15.6 ^{0}C Suyun özelliği: Depo suyu değil pH: 6.64 E.İ.: 0.71 mS cm^{-1}			
Ölçüm verilerinini ortalama değerleri	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm
C_0 (Bq m^{-3})	31	43	74
C_{hava} (Bq m^{-3})	1817	1873	1586
Ortalama sıcaklık (ºC)	20	20.6	20.9
C_{su} (Bq L^{-1})	18.6449	19.2003	16.2172
C_{ort}±S.H (Bq L^{-1})	18.208± 0.9159		

Çizelge 6.16. S8 (Selçuklu Dumlupınar Mahallesi) kış ölçümü için çeşme suyu bilgileri ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Çeşme suyunun özellikleri			
Suyun sıcaklığı: 15.5 ^{0}C Suyun özelliği: Depo suyu değil pH: 10.32 E.İ.: 0.69 mS cm^{-1}			
Ölçüm verilerinini ortalama değerleri	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm
C_0 (Bq m^{-3})	14	79	1186
C_{hava} (Bq m^{-3})	1070	955	1873
Ortalama sıcaklık (ºC)	22.8	22.8	22.8
C_{su} (Bq L^{-1})	10.9630	9.7182	18.0289
C_{ort}±S.H (Bq L^{-1})	12.9034± 2.5878		

Meram (M1-M8) ilçesindeki 8 farklı konuttan alınan çeşme sularının radon konsantrasyon verileri:

Çizelge 6.17. M1 (Meram Toki Konutları) sonbahar ölçümü için çeşme suyu bilgileri ve ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Çeşme suyunun özellikleri			
Suyun sıcaklığı: 18 ^{0}C Suyun özelliği: Depo suyu pH: 8.62 E.İ.: 0.73 mS cm^{-1}			
Ölçüm verilerinini ortalama değerleri	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm
C_0 (Bq m^{-3})	18	31	15
C_{hava} (Bq m^{-3})	579	531	555
Ortalama sıcaklık (ºC)	25.4	24.6	23.9
C_{su} (Bq L^{-1})	5.9128	5.4106	5.6748
C_{ort}±S.H (Bq L^{-1})	5.6661 ± 0.1450		

Çizelge 6.18. M1 (Meram Toki Konutları) kış ölçüm verileri için çeşme suyu bilgileri ve ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Çeşme suyunun özellikleri			
Suyun sıcaklığı: 20 ^{0}C Suyun özelliği: Depo suyu pH: 8.51 E.İ.: 0.46 mS cm^{-1}			
Ölçüm verilerinini ortalama değerleri	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm
C_0 (Bq m^{-3})	58	13	26
C_{hava} (Bq m^{-3})	51	27	33
Ortalama sıcaklık (ºC)	21.5	21.5	21.5
C_{su} (Bq L^{-1})	0.4656	0.2642	0.3539
C_{ort}±S.H (Bq L^{-1})	0.3612 ± 0.0581		

Çizelge 6.19. M2 (Meram Pirebil Mahallesi) sonbahar ölçümü için çeşme suyu bilgileri ve ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Çeşme suyunun özellikleri			
Suyun sıcaklığı: 17 ^{0}C Suyun özelliği: Depo suyu pH: 9.85 E.İ.: 0.71 mS cm^{-1}			
Ölçüm verilerinini ortalama değerleri	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm
C_0 (Bq m^{-3})	49	21	13
C_{hava} (Bq m^{-3})	336	309	241
Ortalama sıcaklık (ºC)	23.9	24	23.9
C_{su} (Bq L^{-1})	3.3956	3.1466	2.4577
C_{ort}±S.H (Bq L^{-1})	3 ± 0.2805		

Çizelge 6.20. M2 (Meram Pirebil Mahallesi) kış ölçümü için çeşme suyu bilgileri ve ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Çeşme suyunun özellikleri			
Suyun sıcaklığı: 18 ^{0}C Suyun özelliği: Depo suyu pH: 6.79 E.İ.: 0.66 mS cm^{-1}			
Ölçüm verilerinini ortalama değerleri	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm
C_0 (Bq m^{-3})	18	16	17
C_{hava} (Bq m^{-3})	210	308	319
Ortalama sıcaklık (ºC)	22.4	21.7	21.1
C_{su} (Bq L^{-1})	2.1369	3.1459	3.2592
C_{ort}±S.H (Bq L^{-1})	2.8473± 0.3566		

Çizelge 6.21. M3 (Meram Necip Fazıl Mahallesi) sonbahar ölçümü için çeşme suyu bilgileri ve ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Çeşme suyunun özellikleri			
Suyun sıcaklığı: 15 ^{0}C Suyun özelliği: Depo suyu pH: 8.79 E.İ.: 0.9 mS cm^{-1}			
Ölçüm verilerinini ortalama değerleri	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm
C_0 (Bq m^{-3})	432	24	88
C_{hava} (Bq m^{-3})	602	528	527
Ortalama sıcaklık (ºC)	22.8	23.1	23.7
C_{su} (Bq L^{-1})	5.7439	5.3917	5.3154
C_{ort}±S.H (Bq L^{-1})	5.3937 ± 0.1464		

Çizelge 6.22. M3 (Meram Necip Fazıl Mahallesi) kış ölçümü için çeşme suyu bilgileri ve ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Çeşme suyunun özellikleri			
Suyun sıcaklığı: 16 ^{0}C Suyun özelliği: Depo suyu pH: 8.18 E.İ.: 0.90 mS cm^{-1}			
Ölçüm verilerinini ortalama değerleri	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm
C_0 (Bq m^{-3})	384	32	46
C_{hava} (Bq m^{-3})	660	284	272
Ortalama sıcaklık (ºC)	21.8	22.5	22.5
C_{su} (Bq L^{-1})	6.3912	2.8820	2.7449
C_{ort}±S.H (Bq L^{-1})	4.0060 ± 1.1932		

Çizelge 6.23. M4 (Meram Öğretmen Evleri Mahallesi) sonbahar ölçümü için çeşme suyu bilgileri ve ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Çeşme suyunun özellikleri			
Suyun sıcaklığı: 15 ^{0}C Suyun özelliği: Depo suyu değil pH: 9.36 E.İ.: 0.68 mS cm^{-1}			
Ölçüm verilerinini ortalama değerleri	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm
C_0 (Bq m^{-3})	35	38	52
C_{hava} (Bq m^{-3})	1472	1331	1478
Ortalama sıcaklık (ºC)	24.1	24	24.1
C_{su} (Bq L^{-1})	15.0542	13.6066	15.0927
C_{ort}±S.H (Bq L^{-1})	14.584± 0.4890		

Çizelge 6.24. M4 (Meram Öğretmen Evleri Mahallesi) kış ölçümü için çeşme suyu bilgileri ve ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Çeşme suyunun özellikleri			
Suyun sıcaklığı: 19 ^{0}C Suyun özelliği: Depo suyu değil pH: 7.81 E.İ.: 0.64 mS cm^{-1}			
Ölçüm verilerinini ortalama değerleri	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm
C_0 (Bq m^{-3})	23	41	18
C_{hava} (Bq m^{-3})	1254	1282	1070
Ortalama sıcaklık (ºC)	20.5	20.8	21.1
C_{su} (Bq L^{-1})	12.8605	13.1284	10.9717
C_{ort}±S.H (Bq L^{-1})	12.3202 ± 0.6786		

Çizelge 6.25. M5 (Meram Havzan Mahallesi) sonbahar ölçümü için çeşme suyu bilgileri veölçüm verilerinin ortalama değerleri

Çeşme suyunun özellikleri			
Suyun sıcaklığı: 15 ^{0}C Suyun özelliği: Depo suyu değil pH: 8.81 E.İ.: 0.72 mS cm^{-1}			
Ölçüm verilerinini ortalama değerleri	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm
C_0 (Bq m^{-3})	33	44	33
C_{hava} (Bq m^{-3})	1488	1393	1316
Ortalama sıcaklık (ºC)	23.6	23.3	23.3
C_{su} (Bq L^{-1})	15.2248	14.2422	13.463
C_{ort}±S.H (Bq L^{-1})	14.310 ± 0.5097		

Çizelge 6.26. M5 (Meram Havzan Mahallesi) kış ölçümü için çeşme suyu bilgileri ve ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Çeşme suyunun özellikleri			
Suyun sıcaklığı: 19 ^{0}C Suyun özelliği: Depo suyu değil PH: 7.48 E.İ.: 0.54 mS cm^{-1}			
Ölçüm verilerinini ortalama değerleri	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm
C_0 (Bq m^{-3})	5	52	22
C_{hava} (Bq m^{-3})	435	363	450
Ortalama sıcaklık (ºC)	22.5	22.2	22.5
C_{su} (Bq L^{-1})	4.4585	3.6734	45954
C_{ort}±S.H (Bq L^{-1})	4.2424 ± 0.2872		

Çizelge 6.27. M6 (Meram İhsaniye Mahallesi) sonbahar ölçümü için çeşme suyu bilgileri ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Çeşme suyunun özellikleri			
Suyun sıcaklığı: 17 ^{0}C Suyun özelliği: Depo suyu değil pH: 9.69 E.İ: 0.72 mS cm^{-1}			
Ölçüm verilerinini ortalama değerleri	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm
C_0 (Bq m^{-3})	26	25	54
C_{hava} (Bq m^{-3})	1662	1612	1436
Ortalama sıcaklık (ºC)	25	25.2	24.7
C_{su} (Bq L^{-1})	17.0020	16.4888	14.6610
C_{ort}±S.H (Bq L^{-1})	16.0506± 0.7104		

Çizelge 6.28. M6 (Meram İhsaniye Mahallesi) kış ölçümü için çeşme suyu bilgileri ve ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Çeşme suyunun özellikleri			
Suyun sıcaklığı: 19.2 ^{0}C Suyun özelliği: Depo suyu değil pH: 7.87 E.İ.: 0.67 mS cm^{-1}			
Ölçüm verilerinini ortalama değerleri	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm
C_0 (Bq m^{-3})	69	30	27
C_{hava} (Bq m^{-3})	1113	825	751
Ortalama sıcaklık (ºC)	21.1	21.9	22.4
C_{su} (Bq L^{-1})	11.3620	8.4385	7.6794
C_{ort}±S.H (Bq L^{-1})	9.1599 ± 1.1226		

Çizelge 6.29. M7 (Meram Dere Mahallesi) sonbahar ölçümü için çeşme suyu bilgileri ve ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Çeşme suyunun özellikleri			
Suyun sıcaklığı: 16 ^{0}C Suyun özelliği: Depo suyu değil pH: 8.08 E.İ.: 0.73 mS cm^{-1}			
Ölçüm verilerinini ortalama değerleri	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm
C_0 (Bq m^{-3})	5	7	35
C_{hava} (Bq m^{-3})	407	332	343
Ortalama sıcaklık (ºC)	23.7	23.5	23.2
C_{su} (Bq L^{-1})	4.230	3.3345	3.4829
C_{ort}±S.H (Bq L^{-1})	3.6468± 0.2419		

Çizelge 6.30. M7 (Meram Dere Mahallesi) kış ölçümü için çeşme suyu bilgileri ve ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Çeşme suyunun özellikleri			
Suyun sıcaklığı: 17 ^{0}C Suyun özelliği: Depo suyu değil pH: 7.19 E.İ.: 0.63 mS cm^{-1}			
Ölçüm verilerinini ortalama değerleri	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm
C_0 (Bq m^{-3})	23	32	26
C_{hava} (Bq m^{-3})	196	205	250
Ortalama sıcaklık (ºC)	21.4	21.6	21.6
C_{su} (Bq L^{-1})	1.9895	2.0727	2.5407
C_{ort}±S.H (Bq L^{-1})	2.2009± 0.1714		

Çizelge 6.31. M8 (Meram Bağları Mahallesi) sonbahar ölçümü için çeşme suyu bilgileri ve ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Çeşme suyunun özellikleri			
Suyun sıcaklığı: 14 ^{0}C Suyun özelliği: Depo suyu değil pH: 7.96 E.İ.: 0.41 mS cm^{-1}			
Ölçüm verilerinini ortalama değerleri	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm
C_0 (Bq m^{-3})	15	19	55
C_{hava} (Bq m^{-3})	111	93	66
Ortalama sıcaklık (ºC)	23.2	23.4	22.4
C_{su} (Bq L^{-1})	1.1234	0.9347	0.6222
C_{ort}±S.H (Bq L^{-1})	0.8934± 0.1461		

Çizelge 6.32. M8 (Meram Bağları Mahallesi) kış ölçümü için çeşme suyu bilgileri ve ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Çeşme suyunun özellikleri			
Suyun sıcaklığı: 18 ^{0}C Suyun özelliği: Depo suyu değil pH: 8.63 E.İ.: 0.39 mS cm^{-1}			
Ölçüm verilerinini ortalama değerleri	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm
C_0 (Bq m^{-3})	20	14	25
C_{hava} (Bq m^{-3})	91	103	60
Ortalama sıcaklık (ºC)	21.8	22.2	21.9
C_{su} (Bq L^{-1})	0.9141	1.0430	0.5908
C_{ort}±S.H (Bq L^{-1})	0.8493± 0.1344		

Karatay (K1-K11) ilçesindeki 11 farklı konuttan alınan çeşme suyu konsantrasyonları için oluşturulan veriler:

Çizelge 6.33. K1 (Karatay Fetih caddesi) sonbahar ölçümü için çeşme suyu bilgileri ve ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Çeşme suyunun özellikleri			
Suyun sıcaklığı: 17 ^{0}C Suyun özelliğiğ: Depo suyu pH: 6.65 E.İ.: 0.69 mS cm^{-1}			
Ölçüm verilerinini ortalama değerleri	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm
C_0 (Bq m^{-3})	48	26	21
C_{hava} (Bq m^{-3})	892	821	685
Ortalama sıcaklık (ºC)	24.9	24.8	24.7
C_{su} (Bq L^{-1})	9.0915	8.3865	6.9983
C_{ort}±S.H (Bq L^{-1})	8.1587 ± 0.6148		

Çizelge 6.34. K1 (Karatay Fetih caddesi) kış ölçümü için çeşme suyu bilgileri ve ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Çeşme suyunun özellikleri			
Suyun sıcaklığı: 20 ^{0}C Suyun özelliği: Depo suyu pH: 9.39 E.İ.: 0.59 mS cm^{-1}			
Ölçüm verilerinini ortalama değerleri	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm
C_0 (Bq m^{-3})	2	11	21
C_{hava} (Bq m^{-3})	407	446	503
Ortalama sıcaklık (ºC)	21.5	21.1	21.1
C_{su} (Bq L^{-1})	4.1769	4.5696	5.1450
C_{ort}±S.H (Bq L^{-1})	4.6305 ± 0.2811		

Çizelge 6.35. K2 (Karatay Karkent Siteleri) sonbahar ölçümü için çeşme suyu bilgileri ve ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Çeşme suyunun özellikleri			
Suyun sıcaklığı: 24 ^{0}C Suyun özelliği: Depo suyu pH: 5.53 E.İ.: 0.68 mS cm^{-1}			
Ölçüm verilerinini ortalama değerleri	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm
C_0 (Bq m^{-3})	103	24	26
C_{hava} (Bq m^{-3})	133	128	131
Ortalama sıcaklık (ºC)	22.7	22.8	22.1
C_{su} (Bq L^{-1})	1.2615	1.2891	1.3185
C_{ort}±S.H (Bq L^{-1})	1.2897 ± 0.0164		

Çizelge 6.36. K2 (Karatay Karkent Siteleri) kış ölçümü için çeşme suyu bilgileri ve ölçüm verilerinin ortalama değerler

Çeşme suyunun özellikleri			
Suyun sıcaklığı: 22.4 ^{0}C Suyun özelliği: Depo suyu pH: 7.66 E.İ.: 0.67 mS cm^{-1}			
Ölçüm verilerinini ortalama değerleri	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm
C_0 (Bq m^{-3})	25	51	27
C_{hava} (Bq m^{-3})	246	247	128
Ortalama sıcaklık (ºC)	20.6	20.3	21
C_{su} (Bq L^{-1})	2.5024	2.4872	1.2877
C_{ort}±S.H (Bq L^{-1})	2.09243± 0.4023		

Çizelge 6.37. K3 (Karatay Hava Lojmanları Caddesi) sonbahar ölçümü için çeşme suyu bilgileri ve ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Çeşme suyunun özellikleri			
Suyun sıcaklığı: 13 ^{0}C Suyun özelliği: Depo suyu pH: 6.49 E.İ.: 0.72 mS cm^{-1}			
Ölçüm verilerinini ortalama değerleri	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm
C_0 (Bq m^{-3})	18	9	15
C_{hava} (Bq m^{-3})	599	659	638
Ortalama sıcaklık (ºC)	22.2	22.3	22.2
C_{su} (Bq L^{-1})	6.1294	6.7538	6.5327
C_{ort}±S.H (Bq L^{-1})	6.4740± 0.1827		

Çizelge 6.38. K3 (Karatay Hava Lojmanları Caddesi) kış ölçümü için çeşme suyu bilgileri ve ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Çeşme suyunun özellikleri			
Suyun sıcaklığı: 14 ^{0}C Suyun özelliği: Depo suyu pH: 9.62 E.İ.: 0.544 mS cm^{-1}			
Ölçüm verilerinini ortalama değerleri	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm
C_0 (Bq m^{-3})	23	24	56
C_{hava} (Bq m^{-3})	350	377	313
Ortalama sıcaklık(ºC)	22.6	22.6	22.7
C_{su} (Bq L^{-1})	3.5680	3.8440	3.1552
C_{ort}±S.H (Bq L^{-1})	3.5224 ± 0.2001		

Çizelge 6.39. K4 (Karatay Keçeciler Mahallesi) sonbahar ölçümü için çeşme suyu bilgileri ve ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Çeşme suyunun özellikleri			
Suyun sıcaklığı: 19 ^{0}C Suyun özelliği: Depo suyu değil pH: 8.43 E.İ.: 0.68 mS cm^{-1}			
Ölçüm verilerinini ortalama değerleri	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm
C_0 (Bq m^{-3})	459	24	66
C_{hava} (Bq m^{-3})	1455	827	803
Ortalama sıcaklık (ºC)	22.7	21.2	20.4
C_{su} (Bq L^{-1})	14.4687	8.4639	8.1852
C_{ort}±S.H (Bq L^{-1})	10.3726± 2.0497		

Çizelge 6.40. K4 (Karatay Keçeciler Mahallesi) kış ölçümü için çeşme suyu bilgileri ve ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Çeşme suyunun özellikleri			
Suyun sıcaklığı: 13 ^{0}C Suyun özelliği: Depo suyu değil pH: 9.18 E.İ.: 0.75 mS cm^{-1}			
Ölçüm verilerinini ortalama değerleri	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm
C_0 (Bq m^{-3})	14	50	54
C_{hava} (Bq m^{-3})	1628	1310	1354
Ortalama sıcaklık (ºC)	27.1	24	23.9
C_{su} (Bq L^{-1})	16.6468	13.3793	13.8272
C_{ort}±S.H (Bq L^{-1})	14.6177 ± 1.0227		

Çizelge 6.41. K5 (Karatay Şems Mahallesi) sonbahar ölçümü için çeşme suyu bilgileri ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Çeşme suyunun özellikleri			
Suyun sıcaklığı: 18 ^{0}C Suyun özelliği: Depo suyu değil pH: 6.70 E.İ.: 0.68 mS cm^{-1}			
Ölçüm verilerinini ortalama değerleri	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm
C_0 (Bq m^{-3})	25	12	241
C_{hava} (Bq m^{-3})	409	345	614
Ortalama sıcaklık (ºC)	21.3	21.7	21.8
C_{su} (Bq L^{-1})	4.1750	3.5298	6.0620
C_{ort}±S.H (Bq L^{-1})	4.5889± 0.7590		

Çizelge 6.42.K5 (Karatay Şems Mahallesi) kış ölçümü için çeşme suyu bilgileri ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Çeşme suyunun özellikleri			
Suyun sıcaklığı: 11 ^{0}C Suyun özelliği: Depo suyu değil pH: 7.05 E.İ.: 0.68 mS cm^{-1}			
Ölçüm verilerinini ortalama değerleri	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm
C_0 (Bq m^{-3})	58	51	16
C_{hava} (Bq m^{-3})	1242	1172	844
Ortalama sıcaklık (ºC)	22.4	22.9	22.6
C_{su} (Bq L^{-1})	12.6868	11.9717	8.6436
C_{ort}±S.H (Bq L^{-1})	11.1007 ±1.2457		

Çizelge 6.43. K6 (Karatay Karacahan Mahallesi) sonbahar ölçümü için çeşme suyu bilgileri ve ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Çeşme suyunun özellikleri			
Suyun sıcaklığı: 18 ^{0}C Suyun özelliği: Depo suyu değil T: 19.7 ^{0}C pH: 7.2 E.İ.: 0.68 mS cm^{-1}			
Ölçüm verilerinini ortalama değerleri	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm
C_0 (Bq m^{-3})	1271	188	899
C_{hava} (Bq m^{-3})	2538	1383	1904
Ortalama sıcaklık (ºC)	21	20.6	19.9
C_{su} (Bq L^{-1})	24.9772	14.0265	18.6726
C_{ort}±S.H (Bq L^{-1})	19.1654± 3.1189		

Çizelge 6.44. K6 (Karatay Karacahan Mahallesi) kış ölçümü için çeşme suyu bilgileri ve ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Çeşme suyunun özellikleri			
Suyun sıcaklığı: 19 ^{0}C Suyun özelliği: Depo suyu değil pH: 9.31 E.İ.: 0.76 mS cm^{-1}			
Ölçüm verilerinini ortalama değerleri	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm
C_0 (Bq m^{-3})	8	25	27
C_{hava} (Bq m^{-3})	1388	1289	1309
Ortalama sıcaklık (ºC)	22.2	21.6	21.6
C_{su} (Bq L^{-1})	14.2369	13.2091	13.4124
C_{ort}±S.H (Bq L^{-1})	13.6194± 0.3142		

Çizelge 6.45. K7 (Karatay Büyük Sinan Mahallesi) sonbahar ölçümü için çeşme suyu bilgileri ve ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Çeşme suyunun özellikleri			
Suyun sıcaklığı: 22 ^{0}C Suyun özelliği: Depo suyu değil pH: 7.87 E.İ.: 1.20 mS cm^{-1}			
Ölçüm verilerinini ortalama değerleri	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm
C_0 (Bq m^{-3})	9	65	18
C_{hava} (Bq m^{-3})	2607	2297	1897
Ortalama sıcaklık (ºC)	22	23.9	24.5
C_{su} (Bq L^{-1})	26.7499	23.4839	19.4232
C_{ort}±S.H (Bq L^{-1})	23.2190± 2.1191		

Çizelge 6.46. K7 (Karatay Büyük Sinan Mahallesi) kış ölçümü için çeşme suyu bilgileri ve ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Çeşme suyunun özellikleri			
Suyun sıcaklığı: 23 ^{0}C Suyun özelliği: Depo suyu değil pH: 8.72 E.İ.: 0.66 mS cm^{-1}			
Ölçüm verilerinini ortalama değerleri	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm
C_0 (Bq m^{-3})	43	42	61
C_{hava} (Bq m^{-3})	1433	1393	1117
Ortalama sıcaklık (ºC)	21.3	21.4	21.6
C_{su} (Bq L^{-1})	14.6725	14.2599	11.4072
C_{ort}±S.H (Bq L^{-1})	13.4465± 1.0265		

Çizelge 6.47. K8 (Karatay Çatalhöyük Mahallesi) sonbahar ölçümü için çeşme suyu bilgileri ve ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Çeşme suyunun özellikleri			
Suyun sıcaklığı: 16.3 ^{0}C Suyun özelliği: Depo suyu değil pH: 7.14 E.İ.: 0.68 mS cm^{-1}			
Ölçüm verilerinini ortalama değerleri	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm
C_0 (Bq m^{-3})	36	15	21
C_{hava} (Bq m^{-3})	1696	1817	1459
Ortalama sıcaklık (ºC)	24.6	23.1	23
C_{su} (Bq L^{-1})	17.3443	18.6220	14.9449
C_{ort}±S.H (Bq L^{-1})	16.9704± 1.077		

Çizelge 6.48. K8 (Karatay Çatalhöyük Mahallesi) kış ölçümü için çeşme suyu bilgileri ve ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Çeşme suyunun özellikleri			
Suyun sıcaklığı: 17 ^{0}C Suyun özelliği: Depo suyu değil pH:7.66 E.İ.: 0.74 mS cm^{-1}			
Ölçüm verilerinini ortalama değerleri	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm
C_0 (Bq m^{-3})	25	73	10
C_{hava} (Bq m^{-3})	1367	1248	1130
Ortalama sıcaklık (ºC)	21.1	21.4	20.9
C_{su} (Bq L^{-1})	14.0147	12.7419	11.5972
C_{ort}±S.H (Bq L^{-1})	12.7845± 0.6981		

Çizelge 6.49. K9 (Karatay Akifpaşa Mahallesi) sonbahar ölçümü için çeşme suyu bilgileri ve ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Çeşme suyunun özellikleri			
Suyun sıcaklığı: 17 ^{0}C Suyun özelliği: Depo suyu değil pH: 6.10 mS: 0.64 mS cm^{-1}			
Ölçüm verilerinini ortalama değerleri	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm
C_0 (Bq m^{-3})	54	11	31
C_{hava} (Bq m^{-3})	1488	1418	1273
Ortalama sıcaklık (ºC)	24	22.6	22.8
C_{su} (Bq L^{-1})	15.2001	14.5380	13.0286
C_{ort}±S.H (Bq L^{-1})	14.2555± 0.6425		

Çizelge 6.50. K9 (Karatay Akifpaşa Mahallesi) kış ölçümü için çeşme suyu bilgileri ve ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Çeşme suyunun özellikleri			
Suyun sıcaklığı: 21 ^{0}C Suyun özelliği: Depo suyu değil pH: 10.48 E.İ.: 0.57 mS cm^{-1}			
Ölçüm verilerinini ortalama değerleri	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm
C_0 (Bq m^{-3})	20	18	14
C_{hava} (Bq m^{-3})	594	546	521
Ortalama sıcaklık (ºC)	22.7	22.4	22.3
C_{su} (Bq L^{-1})	6.0742	5.5848	5.3326
C_{ort}±S.H(Bq L^{-1})	5.6638± 0.2176		

Çizelge 6.51. K10 (Karatay Nakipoğlu Mahallesi) sonbahar ölçümü için çeşme suyu bilgileri ve ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Çeşme suyunun özellikleri			
Suyun sıcaklığı: 15 ^{0}C Suyun özelliği: Depo suyu değil pH: 5.38 E.İ.: 0.67 mS cm^{-1}			
Ölçüm verilerinini ortalama değerleri	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm
C_0 (Bq m^{-3})	11	52	12
C_{hava} (Bq m^{-3})	1058	1091	945
Ortalama sıcaklık (ºC)	23.2	23.3	23
C_{su} (Bq L^{-1})	10.8402	11.1370	9.6815
C_{ort}±S.H (Bq L^{-1})	10.5529± 0.4440		

Çizelge 6.52. K10 (Karatay Nakipoğlu Mahallesi) kış ölçümü için çeşme suyu bilgileri ve ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Çeşme suyunun özellikleri			
Suyun sıcaklığı: 19 ^{0}C Suyun özelliği: Depo suyu değil pH: 10.48 E.İ.: 0.54 mS cm^{-1}			
Ölçüm verilerinini ortalama değerleri	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm
C_0 (Bq m^{-3})	11	21	23
C_{hava} (Bq m^{-3})	460	469	489
Ortalama sıcaklık (ºC)	21.5	22.5	22.9
C_{su} (Bq L^{-1})	4.7121	47913	4.9933
C_{ort}±S.H (Bq L^{-1})	4.7322± 0.1095		

Çizelge 6.53. K11 (Karatay Kerim Dede Çeşme Mahallesi) sonbahar ölçümü için çeşme suyu bilgileri ve ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Çeşme suyunun özellikleri			
Suyun sıcaklığı: 17 ^{0}C Suyun özelliği: Depo suyu değil pH: 7.63 E.İ.: 0.68 mS cm^{-1}			
Ölçüm verilerinini ortalama değerleri	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm
C_0 (Bq m^{-3})	175	38	42
C_{hava} (Bq m^{-3})	1477	1160	1045
Ortalama sıcaklık (ºC)	21.5	22.6	20.8
C_{su} (Bq L^{-1})	14.9903	11.8639	10.6928
C_{ort}±S.H (Bq L^{-1})	12.5157± 1.2826		

Çizelge 6.54. K11 (Karatay Kerim Dede Çeşme Mahallesi) kış ölçümü için çeşme suyu bilgileri ve ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Çeşme suyunun özellikleri			
Suyun sıcaklığı: 18 ^{0}C Suyun özelliği: Depo suyu değil pH: 8.48 E.İ.: 0.66 mS cm^{-1}			
Ölçüm verilerinini ortalama değerleri	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm
C_0 (Bq m^{-3})	23	24	30
C_{hava} (Bq m^{-3})	1247	1277	1062
Ortalama sıcaklık (ºC)	22.1	21.5	22
C_{su} (Bq L^{-1})	12.7756	13.0878	10.8706
C_{ort}±S.H (Bq L^{-1})	12.2446± 0.6929		

6.2. Tartışma

Çizelge 6.55' de görüldüğü gibi sonbahar ve kış mevsimlerinde konutlardan toplanan musluk suyu örneklerinin radon konsantrasyonu seviyelerinin aritmetik ortalama değerleri 0.87 ile 18.34 Bq L^{-1} arasında değişmektedir. Su örneklerinin radon konsantrasyon seviyelerinde değişiklikler göstermesinin sebebi mevsimsel faktörler ve suyun kaynağından gelene kadar şebekede beklemesi olabilir. Bu çalışma için 27 konuttan alınan musluk suyundan S1-S5, M1-M3 ve K1-K3 suları depo suyu özelliğine sahipken S6-S8, M4-M8 ve K4-K11 suları da deposu olmayan konutlardan toplanmıştır. Bu iki mevsim için su deposu olan çeşme sularının ortalama radon konsantrasyon değerleri 3.15 Bq L^{-1} depo suyu olmayan konutlardaki musluk suyu ortalama radon konsantrasyon değerleri 10.20 Bq L^{-1} bulunmuştur. Çizelge 6.56'de görüldüğü gibi iki sezon için depo suyu olmayan konutlardan alınan çeşme suyu örneklerinin radon aktivite konsantrasyonunun daha yüksek olduğu görülmektedir. Yaptığımız ölçümler sonucunda radon konsantrasyonun en yüksek değerleri Konya'nın merkez ilçesi Karatay'dan aldığımız K6 ve K7 numuneleri için sırasıyla 16.40 Bq L^{-1} ve 18.34 Bq L^{-1} olarak bulunmuştur. Bu çalışmadan elde ettiğimiz sonuçlara göre su deposu olan on bir numunenin belirlenen ortalama radon konsantrasyon değerlerinin diğer numunelerin seviyesinin daha altında olduğu açıkça görülmektedir. Bu durumun sebebi yarı ömrü 3.82 gün olan radon gazının su deposu içindeki bekleme süresinde radyoaktif bozunma sonucunda ^{218}Po (Polonyum-218) elementine dönüşmesi ve havaya kaçmasına bağlı olabilir (UNSCEAR, 2000). Ayrıca ölçüm yaptığımız örneklerin pH değerleri ve elektriksel iletkenlikleri de ölçülmüştür ve elektriksel iletkenlik ortalama 0.33-0.9 arasında iken pH değerleri ortalama 6.79-10.48 aralığında olduğu Çizelge 6.57'de gösterilmiştir. Radon konsantrasyon değerleri ile pH ve elektriksel iletkenlik değerleri arasında herhangi bir korelasyon gözlenmemiştir.

Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı içme amaçlı kullanılan sular için sudaki radon konsantrasyonunu maksimum güvenlik sınırı 11.11 Bq L^{-1} olarak tavsiye etmektedir (USEPA, 1991). Ancak, Dünya Sağlık Örgütü (WHO), içme amaçlı kullanılan sular için radon konsantrasyon seviyesinin maksimum değerini 100 Bq L^{-1} olarak tavsiye etmektedir (WHO, 1993). 27 konuttan aldığımız 8 örnek için bulduğumuz değerler USEPA tarafından tavsiye edilen güvenlik limitin üstündedir. Diğer su deposu olan konutlardaki ölçümlerin sonucu da USEPA tarafından tavsiye edilen 11.11 Bq L^{-1} limitinin altındadır. Ayrıca ölçtüğümüz tüm radon konsantrasyon

değerleri, suyun kullanımı ve içilmesi için WHO tarafından belirlenen 100 Bq L^{-1} limitinin altındadır.

Çizelge 6.55. Konya çeşme sularında radon konsantrasyon değerleri

Örnek No	Radon Konsantrasyonu±SH[a] (Bq L^{-1})		Ort. Radon Kons. (Bq L^{-1})	İçmeye bağlı etkin doz (µSv y^{-1})	Solumaya bağlı etkin doz (µSv y^{-1})
	Sonbahar	Kış			
S1*	2.66 ± 0.40	0.72 ± 0.04	1.69	0.34	4.23
S2*	2.73 ± 0.18	0.89 ± 0.28	1.81	0.36	4.53
S3*	3.68 ± 0.26	1.40 ± 0.12	2.54	0.51	6.35
S4*	7.16 ± 1.43	0.33 ± 0.07	3.75	0.75	9.36
S5*	1.47 ± 0.11	0.82 ± 0.04	1.15	0.23	2.86
S6	10.38 ± 0.66	3.57 ± 0.22	6.98	1.40	17.44
S7	1.30 ± 0.26	1.74 ± 0.11	1.52	0.30	3.80
S8	18.21 ± 0.92	12.90 ± 2.59	15.56	3.11	38.89
M1*	5.67 ± 0.15	0.36 ± 0.05	3.02	0.60	7.54
M2*	3.00 ± 0.28	2.85 ± 0.36	2.93	0.59	7.31
M3*	5.39 ± 0.15	4.00 ± 1.19	4.70	0.94	11.74
M4	14.58 ± 0.49	12.32 ± 0.68	13.45	2.69	33.63
M5	14.31 ± 0.51	4.24 ± 0.50	9.28	1.86	23.19
M6	16.05 ± 0.71	9.16 ± 1.12	12.61	2.52	31.51
M7	3.65 ± 0.24	2.20 ± 0.17	2.93	0.59	7.31
M8	0.89 ± 0.15	0.85 ± 0.13	0.87	0.17	2.18
K1*	8.16 ± 0.61	4.63 ± 0.28	6.40	1.28	15.99
K2*	1.29 ± 0.02	2.09 ± 0.40	1.69	0.34	4.23
K3*	6.47 ± 0.18	3.52 ± 0.20	5.00	1.00	12.49
K4	10.37 ± 2.05	14.62 ± 1.02	12.50	2.50	31.24
K5	4.59 ± 0.76	11.10 ± 1.25	7.85	1.57	19.61
K6	19.17 ± 3.12	13.62 ± 0.31	16.40	3.28	40.99
K7	23.22 ± 2.12	13.45 ± 1.03	18.34	3.67	45.84
K8	16.97 ± 1.08	12.78 ± 0.70	14.88	2.98	37.19
K9	14.26 ± 0.64	5.66 ± 0.22	9.96	1.99	24.90
K10	10.56 ± 0.44	4.73 ± 0.11	7.65	1.53	19.11
K11	12.52 ± 0.28	12.24 ± 0.69	12.38	2.48	30.95

SH[a] : standart hata

*Su deposu bulunan konutlar

µSv: mikrosivert

Çizelge 6.56. Tüm bölgelerdeki su deposu olan ve su deposu olmayan konutlardan alınan çeşme sularında ortalama radon konsantrasyon değerleri

	Ort. Radon Aktivitesi (Bq L^{-1})	
Konum	Su depolu konutlar	Su deposuz konutlar
Selçuklu	2.18	8.02
Meram	3.55	7.83
Karatay	4.36	12.50

Çizelge 6.57. Konya çeşme suları için pH değerleri ve elektriksel iletkenlik değerleri

Örnek no	pH	Elektriksel iletkenlik (mS $cm^{-1)}$
S1*	8.24	0.58
S2*	7.91	0.55
S3*	10.27	0.57
S4*	9.33	0.45
S5*	8.87	0.33
S6	8.89	0.56
S7	8.17	0.41
S8	10.32	0.69
M1*	8.51	0.46
M2*	6.79	0.66
M3*	8.18	0.9
M4	7.81	0.64
M5	7.48	0.54
M6	7.87	0.67
M7	7.19	0.63
M8	8.63	0.39
K1*	9.39	0.59
K2*	10.48	0.57
K3*	10.48	0.54
K4	9.18	0.75
K5	7.05	0.68
K6	9.31	0.76
K7	8.72	0.66
K8	7.66	0.74
K9	7.66	0.67
K10	9.62	0.54
K11	8.48	0.66

Sudaki radondan dolayı radyasyona maruz kalma, suyun içme yoluyla tüketilmesi veya sudan havaya geçen radon gazının solunması şekillerinde olmaktadır. Radon gazının sudan havaya geçişi birçok faktöre bağlıdır (Xinwei, 2006). UNSCEAR raporlarına göre, sudaki 10 kBq m^{-3} değerindeki ^{222}Rn'nin 1 Bq m^{-3} lik kısmı havaya karışmaktadır ve bu durum da ev içi (indoor) havadaki radon konsantrasyon seviyesine katkı yapmaktadır (UNSCEAR, 2000). Konutlardaki çeşme sularındaki radon konsantrasyonun kapalı ortamlardaki çevreye katkısı (solumaya bağlı alınan doz) Çizelge 6.55 deki verilerden bulunabilir.

Kapalı ortamdaki etkin dozu tahmin etmek için havada absorbe olan dozdan etkin doz ve meşguliyet faktörüne dönüşüm katsayısının hesaplanması gerekmektedir. UNSCEAR raporuna göre, dönüşüm faktörü için kullanılan bu değer 1 Bq m^{-3} başına 9 nSv h^{-1} değerindeki dozdur. (Bir yetişkin tarafından maruz kalınan etkin doz miktarı birim hacim başına alınan ^{222}Rn konsantrasyonudur) (UNSCEAR, 2000). Kapalı ortam (indoor) meşguliyet faktörü 7,000 saat ve denge faktörü 0.4 olarak kabul edilmiştir (UNSCEAR 2000). Bu verilere göre, Çizelge 6.55'de görüldüğü gibi solunuma bağlı maruz kalınan radyasyon için yıllık etkin doz miktarı minumum 2.18 μSv.y^{-1} hesaplanırken, bu değer maksimum 45.84 μSv y^{-1} olarak bulunmuştur. Ayrıca birim hacim başına sindirim yoluyla alınan bu etkin dozun yıllık tüketim hızı 3.5 nSv Bq^{-1} olduğu tahmin edilmektedir (UNSCEAR 2000). UNSCEAR raporlarına göre çeşme suyu tüketimi hızı 60 L y^{-1} kabul edilmektedir (UNSCEAR, 2000). Ayrıca Çizelge 6.55'de görüldüğü gibi çeşme sularının sindirim yoluyla tüketilmesinden maruz kalınan radyasyon için yıllık etkin doz miktarı minimum 0.17 μSv y^{-1} maksimum 3.67 μSv y^{-1} olarak bulunmuştur.

7. SONUÇ ve ÖNERİLER

7.1. Sonuçlar

Suyun radyolojik yönden incelenmesi ve doğal radyasyon seviyelerinin belirlenmesi insan sağlığını doğrudan ilgilendirdiği için önemlidir. Dünya genelinde radyasyon nedeniyle ortalama olarak maruz kalınan 2.7 mSv değerindeki yıllık etkin doz miktarının %80' inden fazlasından doğal radyasyon kaynakları ve doğal kaynaklar nedeniyle alınan radyasyonun yaklaşık yarısından ise, doğrudan radon tek başına sorumludur (IAEA, 1996; TAEK, 2009). Bu durum dikkate alındığında, doğal radyasyona en önemli katkıyı yapan radon konsantrasyonunun ve hatta mümkünse bütün radyoaktif madde konsantrasyonlarının her bölgede belirlenmesi büyük önem arz etmektedir.

Bu çalışmada ilk kez Konya' dan seçilen Selçuklu (S1-S8), Meram (M1-M8) ve Karatay (K1-K11) olmak üzere toplam 27 konuttan alınan çeşme sularının 2012-2013 yılı sonbahar ve kış mevsimi için radon konsantrasyon değişimi incelenmiştir. Bu şehir merkezindeki konutlardaki evsel amaçlı kullanma suyu ve içme suyu olarak kullanılan çeşme suları için radon değerlerinin ölçülmesi halk sağlığı açısından son derece önemlidir. Bu ölçümler sonucunda depo suyu olan konutlardaki radon konsantrasyon değerlerinin, deposu olmayan konutlardaki değerlere göre çok küçük olduğu tespit edildi. Tüm örneklerden elde edilen sonuçlar, (WHO) Dünya Sağlık Örgütü tarafından belirlenen 100 Bq L^{-1} limitinin altında yer almaktadır. USEPA' nın tavsiye raporlarına göre belirlenen 11.11 Bq L^{-1} limitine göre örneklerden sadece 8 tanesi (S8, M4, M6, K4, K6, K7, K8, K11) bu limitin üstünde bulunmuştur. Ayrıca elde edilen sonuçlara göre radon konsantrasyon seviyesi için önemli mevsimsel değişim gözlenmemiştir.

7.2. Öneriler

Bu ölçümler ile elde ettiğimiz değerler ile su deposu olan konutlarda radon konsantrasyonu değerlerininin küçük olmasından dolayı, su deposu olmayan konutlar için depo yapılması önerilebilir.

KAYNAKLAR

Akar, Ü., 2010, Bursa Çekirge Bölgesinin Termal Sularında Radon Konsantrasyonu Tayini, Yüksek Lisans Tezi, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa, 90 s.

Akkurt, A., 2006, Afyon Jeotermal Sularında Radon (Rn-222) Aktivitesi Tayini, Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyonkarahisar, 57 s.

Akyıldırım, H., 2005, Isparta İli'nde Radon Yoğunluğunun Ölçülmesi ve Haritalandırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Isparta Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, 99 s.

Alabdula'aly, A.I., 1999, Occurrence Of Radon In The Central Region Groundwater Of Saudi Arabia, Journal Of Environmental Radioactivity 44, 85-95.

Al-masri, m.s. ve R. Blackburn., 1999, Radon-222 And Related Activities In Surface Waters Of The English Lake District. Applied Radiation and Isotopes 50, 1137-1143.

Arya, A.P., 1989, Çekirdek Fiziğinin Esasları, Aktif Yayıncılık, *Erzurum*, Çeviren: Yusuf Şahin, 407 s.

Baldık, R., 2005, Gökgöl ve Cehennemağzı Mağraları ile Amasra Taşkömürü İşletmesi'nde Radon-222 Ölçümü, Yüksek Lisans Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi*, Zonguldak, 81s.

Blaauboer, RO., Vaas, LH., 1989, De Geschatte Stralingsbelasting in Nederland in 1987, Stralingsbelasting 41 Series, in Dutch.VROM ministry, the Hague, *The Netherlands*, 210.

Comsa, C., Moldovan, M., Dicu, T., Kovacs, T., 2008, Radon In Water From Transylvania (Romania), *Radiation Measurements* 43, 1423-1428.

Çelebi, N., Taşdelen, M., Özçınar, B., Kopuz, G., 2003, YTÜ Şevket Sabancı Kütüphanesi Radon Konsantrasyon Ölçümleri, *VII. Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi, 15-17 Ekim 2003*, Erciyes Üniversitesi, bildiri tam metni, Kayseri.

Çelebi, N., 2007, Konutlarda Radon Konsantrasyon Değerlerinin Yapı Biyolojisi Açısından İncelenmesi, *VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 327-402.

Çevik, U., Damla, N., Karahan, G., Çelebi, N., Kobya, A.İ., 2006, Natural Radioactivity In Tap Waters of Eastern Black Sea Region of Tukey, *Radiation Protection Dosimetry* 118, 1, 88-92.

Davutoğlu, H., 2008, Radon Gazını Ölçme Metotları, Yüksek Lisans Tezi, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kütahya, 62 s.

Değerlier, M., 2007, Adana İli Ve Çevresinin Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Saptanması Ve Doğal Radyasyonların Yıllık Etkin Doz Eşdeğerinin Bulunması, Doktora Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 175 s.

Durrani, A.S., Ilic, R., 1997, Radon Measurements by Etched Track Detectors: Applications in Radiation. Earth Sciences and Enviroment, World Scientific Publishing Co. Pte.Ltd, 387p. England.

Enge, H.A., 1966. Introduction to Nuclear Physics. Addison-Wesley Publishing Company, Inc. USA. 582 s.

Erdoğan, T,. 2010, Uşak ve Çevresindeki Derin Kuyu Sularında Radon Aktivitesinin Tayini, Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyon, 105 s.

Erdoğan, M., Eren, N., Demirel, S., and Zedef, V., 2013, Determınatıon of Radon Concentration Levels in Well Water in Konya, Turkey. Radiation Protection Dosimetry. 156 (4), 489-494.

Erdoğan, M., Manisa K., Tel, F., 2014, Measurements of Radon Activity Concentrations in Tab Water in Some Dewellings of the Konya Province , Turkey. Second East European Radon Symposium (SEERAS, 2014 Abstract Book), May 27-30, Niş, SERBİA, 77s.

Erees, F.S., Yener, G., Salk, M., Özbal, Ö., 2006, Measurements of Radon Content in Soil Gas and in the Thermal Waters in Western Turkey.,Radiation Measurements 41, 354-36.

Folger, P.F., Nyberg, P., Wanty, R.B., Poeter, E., 1994, Relationship between ^{222}Rn dissolved in groundwater supplies and indoor ^{222}Rn concentrations in some Colorado front range houses. Health Physics. 67, 244-252.

Gillmore, G.K., Phillips, P., Denman, A., Sperrin, M., Pearce, G., 2001, Radon levels in abandoned metalliferous mines, Devon, Southwest England. Ecotoxicol Environ Saf. 49, 281-292.

Gosink, T.A., Baskaran, M., Holleman D.F., 1990, Radon in the Human Body From Drinking Water. Health Physics. 59, 6, 919-920.

Governorship of Konya (Konya valiliği web sayfası) 2013. http://www.konya.gov.tr.

Güler, Ç., ve Çobanoğlu, Z., 1997, Radon Kirliliği, Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi No:44,9-11.

Gültekin, Y., Çam, S., Ereeş, F. S., 2003, Manisa İli Bina İçi Radon Konsantrasyonu Tayini. VII. *Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi*, 15-17 Ekim, Erciyes Üniversitesi, bildiri tam metni. Kayseri.

Hamada, H., 2000, Estimation of groundwater flow rate using the decay of Rn-222 in a well. *Journal of Environmental Radioactivity*, 47, 1-13.

Horvath, A., Bohus, L.O., Urbanı, F., Marx, G., Pıroth, A., Greaves, E.D., 2000, Radon concentrations in hot spring waters in northern Venezuela, *Journal of Environmental Radioactivity* 47, 127-133.

Iaea, International Atomic Energy Agency, 1996, Radiation Safety, IAEA Division of Public Information, 96-00725.

Icrp, International Commission on Radiological Protection, 1994, Protection Against Radon-222 at Home and at Work. Pergamon Press ICRP Publication 65, 45 pp.

Karahan, G., Öztürk, N., Bayülken, A., 2000, Natural Radioactivity in Various Surface Waters in İstanbul. Water Research 34, 4367-4370.

Karadem, A., 2011, CR-39 Dedektörleri ile Mağaralarda Radon Konsantrasyonu Ölçümleri, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, 87-97.

Kearfott, K.J., 1989, Preliminary experiences with ^{222}Rn gas Arizona homes. Health Physics. 56, 169-179.

Khattak, N.U., Khan, M.A., Shah, M.T., Javed, M.W., 2011, Radon concentration in drinking water sources of the Main Campus of the University of Peshawar and surrounding areas, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 290, 493-505.

Kochowska, E., Mazur, J., Kozak, K., Janik, M., 2004, Radon in Well Waters in the Krakow Area. *Isotopes in Environmental and Health Studies* 40, 207-212.

Krane, S.K., 2001, Nükleer Fizik, 1. Cilt. Palme Yayıncılık, *Ankara,* No: 173. 404 s.

Kulalı, F., 2009, Toprak gazında Radon Anomalileri ve Depremlerin İlişkilendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, 60s.

Lima, J.L.N., Bonotto, D.M., 1996, Etapas analiticas para mensuraao de radonio- 222 euso na avaliaao da radioatividade das aguas de. Aguas da Prata (sp). Geochim. Brasiliensis 10 (2), 283-295.

Marques, A.L., Santos, W.D., Geraldo, L.P., 2004, Direct Measurements of Radon Activity in Water From Various Natural Sources Using Nuclear Track Detectors, *Applied Radiation and Isotopes*, 60, 801-804.

Oner, F., Yalim, H.A., Akkurt, A., Orbay, M., 2009, The measurements of radon concentrations in drinking water and the Yeşilırmak river water in the area of Amasya in Turkey, *Radiation Protection Dosimetry*, 133, 223-226.

Özdemir, F.B., 2006., Afyon ve Çevresindeki Kuyu Sularında Radon (Rn-222) Aktivitesi Tayini, Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyonkarahisar, 112 s.

Saç, M. M., Camgöz, B., 2005, İzmir'de Sismik Aktiviteler ile Radon Konsantrasyonları Arasındaki Korelasyonun İncelenmesi, *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, İzmir, 7(3), ss 47-54.

Schubert, M., Freyer, K., Treutler, H.C., Weiss, H., 2001, Using soil gas radon as an indicator for ground contamination by non-aqueous phase-liquids, *Journal of Soils and Sediments*. 1, 217-222.

Schubert, M., Schmidt, A., Lopez, A., Balcazar, M., Paschke, A., 2008, In Situ Determination of Radon in Surface Water Bodies by Means of a Hydrophobic Membrane Tubing. Radiat Meas, 43: 111-120.

Schubert, M., Schmidt, A., Müller, K., Weiss, H., 2011, Using Radon-222 as Indicator for the Evaluation of the Efficiency of Groundwater Remediation by in Situ Air Sparging. J Environ Radioact, 102:193-199.

Schubert, M., Paschke, A., Lieberman, E., and Burnett, W. C., 2012, Air-water partitioning of Rn-222 and its dependence on water temperature and salinity. Environ. Sci. Technol. 46, 3905-3911.

Taek, 2009. Doğal Radyasyon Kaynakları. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu İnternet Sitesi [online], http://www.taek.gov.tr. [Ziyaret tarihi:12.11.2010].

Tarim, U.A., Gurler, O., Akkaya, G., Kilic, N., Yalcin, S., Kaynak, G., Gundogdu, O., 2011. Evaluation of radon concentration in well and tap water in Bursa, Turkey. *Radiation Protection Dosimetry*, 150, 207–212.

The World Health Organization (WHO), Guidelines for Drinking Water Quality. WHO (1993).

Togay, Y., E., 2002, Radyasyon ve Biz. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Yayınları, Ankara, 37s.

Unscear, 1982, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources, Effects, and Risk of lonizing Radiation.

Unscear, 1993,United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and Effects of Ionizing Radiation United Nations, New York. Annex A.

Unscear, 2000, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Exposure Due to Natural Radiation Sources, United Nations, *New York*.

Usepa, (United States Environmental Protection Agency), 1991, National primary drinking water regulations, radionuclides, proposed rules. EPA/570/9-91/700.

Xinwei, L., 2006, Analysis of radon concentration in drinking water in Baoji (China) and the associated health effects, *Radiation Protection Dosimetry*, 121 (4), 452-455.

Villalba, L., Sujo, L.C., MEM. Cabrera, AC. Jımenez, MR. Villalobos, C.J.D. Mendoza, L.A.J. Tenorio, ID. Rangel, E.F.H. Peraza, 2005, Radon Concentrations in Ground and Drinking Water in the State of Chihuahua, Mexico. *Journal of Environmental Radioactivity* 80, pp. 139-151.

Virk, H.S., Singh, B., 1993, Radon anomolies in soil-gas and groundwater as earthquake precursor phenomena, Tectonophys 227, 215-224.

Web sitesi anonim, 2010,www.nukleer.web.tr/uaea/pia75/içerik.htm. [Ziyaret tarihi: 08.09.2010].

Yalcin, S., Gurler, O., Tarim, U.A., Incirci, F., Kaynak, G., Gündogdu, O., 2011, Measurements of Radon Concentration in Drinking Water Samples from Kastamonu (Turkey), *Isot Environ Healt Stud*, 47:438-445.

Yalım, H.A., Sandıkçıoğlu, A., Ünal, R., Orhun, Ö., 2007, Measurements of Radon Concentrations in Well Waters Near the Akşehir Fault Zone in Afyonkarahisar, Turkey, *Radiation Measurements*, 42, 505-508.

Yaprak, G., Kınacı, S., 1993, Measurements of ^{222}Rn concentrations in dwellings in a city with high population, *Nuclear Tracks and Radiation Measurements*, 22(1-4), 5005-507.

Yiğitoğlu, I., Öner, F., Yalim, H.A., Akkurt, A., Okur, A., Özkan, A., 2010, Radon concentrations in water in the region of Tokat city in Turkey. *Radiation Protection Dosimetry*, 142(2-4), 358-362.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : FİDAN TEL
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : KONYA / 20.11.1989
Telefon : 05317434431
Faks :
e-mail : fidantel_89@hotmail.com

EĞİTİM

Derece		**Adı, İlçe, İl**	**Bitirme Yılı**
Lise	:	Konya Lisesi (Yabancı dil ağırlıklı), Meram, Konya	2007
Üniversite	:	Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, Konya	2011
Yüksek Lisans	:	Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, Konya	2014
Doktora	:		

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	**Kurum**	**Görevi**

UZMANLIK ALANI

Nükleer Fizik Anabilim Dalı

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR VE BİLDİRİLER

Mehmet Erdoğan, Kaan Manisa, Fidan Tel, (2014). ‘‘The Measurement of Radon Activity Concentrations in Tap Water in Some Dewellings of Konya Province-Turkey’’. İkinci Doğu Avrupa Radon Sempozyumu Özet Kitapcığı 2014 (Second East European Radon Symposium, SEERAS 2014 Abstract Book), Sayfa 77, 27-30 Mayıs, 2014 Niş-Sırbistan.