



T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KONYA' NIN ILGIN İLÇESİNDE BULUNAN ILGIN FAY HATTI CİVARINDAKİ YER ALTI SULARINDA VE TOPRAK GAZINDA RADON AKTİVİTE SEVİYELERİNİN BELİRLENMESİ

Ekrem Şükrü TOPSAKAL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FİZİK Anabilim Dalı

Ocak-2015
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

KONYA' NIN ILGIN İLÇESİNDE BULUNAN ILGIN FAY HATTI CİVARINDAKİ YER ALTI SULARINDA VE TOPRAK GAZINDA RADON AKTİVİTE SEVİYELERİNİN BELİRLENMESİ

Ekrem Şükrü TOPSAKAL

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
FİZİK Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Mehmet ERDOĞAN

2014, 62 Sayfa

Jüri
Doç. Dr. Mehmet ERDOĞAN
Prof. Dr. Ülfet ATAV
Doç. Dr. Özcan KOÇYİĞİT

Konya' nın Ilgın ilçesi, Orta Batı Anadolu' da ki Ilgın Fay Hattı' nın güney kısmında yer almaktadır. Bu bölge aynı zamanda birinci dereceden deprem bölgesi olup Ilgın Fay Hattı bölgenin depremselliğini karakterize etmektedir. Bu çalışmanın amacı bu bölgedeki jeolojik fayların bulunduğu civarda yer altı sularında ve toprak gazında radon (Rn-222) aktivitelerini ölçmek ve aralarındaki ilişkiyi araştırmaktır. Bu bölgede bulunan 13 doğal kaynak, 7 kuyu ve bu kuyuların beslediği 13 musluk suyundan alınan örneklerin radon aktiviteleri belirlenmiştir. Ayrıca yine bu bölgedeki 11 farklı noktada toprak gazı radon aktiviteleri belirlenmiştir. Radon aktivite ölçümleri AlphaGUARD PQ 2000PRO radon detektörü ile gerçekleştirilmiştir. Yer altı suları için ölçülen radon konsantrasyonları 0.59 ila 58.57 kBq/m^3, toprak gazı radon konsantrasyonları ise 0.22 ila 64.75 kBq/m^3 aralıklarında ölçülmüştür. Radon konsantrasyonu ölçülen 33 su örneğinin 24 tanesi USEPA (United States Environmental Protection Agency) tarafından tavsiye edilen 11.1 kBq/m^3' lük güvenlik sınırı değerinin altında ölçülmüştür. Bu suların sindirim yoluyla tüketimine bağlı olarak radon kaynaklı alınan radyasyonun yıllık etkin dozları minimum 0.11 μSv, maksimum 11.71 μSv olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ilgın Fay Hattı; radon-222; toprak gazı; yer altı suyu; yıllık etkin doz.

ABSTRACT

MS THESIS

DETERMINATION OF RADON ACTIVITY LEVELS IN SOIL GAS AND GROUND WATER IN THE ILGIN DISTRICT OF KONYA LOCATED NEAR THE ILGIN FAULT ZONE

Ekrem Şükrü TOPSAKAL

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

Advisor: Doç. Dr. Mehmet ERDOĞAN

2014, 62 Pages

Jury
Doç. Dr. Mehmet ERDOĞAN
Prof. Dr. Ülfet ATAV
Doç. Dr. Özcan KOÇYİĞİT

Ilgın is a town of Konya Province and lies at the southern rim of the Ilgın Fault Zone in the mid-west of Anatolia. This area is also in the first-degree earthquake zone. The Ilgın Fault Zone is characterizes the seismicity of the area. The purpose of this study was to investigate radon (Rn-222) activity relationship between in soil gas and ground waters in the vicinity of the geologic fault zones. Radon measurements in water samples collected from 13 natural spring water sources, 7 wells and 13 taps that were supplied from the investigated wells and in soil gas at 11 different locations in the area were performed by an AlphaGUARD radon gas analyzer. The measured radon concentrations ranged from 0.59 to 58.57 kBq/m^3 for ground waters and from 0.22 to 64.75 kBq/m^3 for soil gas. 24 of the 33 water samples had radon concentration levels below the safe limit of 11.1 kBq/m^3 recommended by the United States Environmental Protection Agency (USEPA). The doses resulting from the consumption of these waters were calculated. The calculated annual effective doses received from the consumption of these waters were 0.11 μSv for minimum and 11.71 μSv for maximum due to the radon in the waters.

Keywords: Annual effective dose; ground water; Ilgın Fault Zone; radon-222; soil gas.

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimimin her aşamasında benden yardımını esirgemeyen, eğitim bilgilerinden yararlandığım, insani ve ahlaki değerleriyle de örnek edindiğim, yanında çalışmaktan onur duyduğum ve ayrıca tecrübelerinden yararlanırken göstermiş olduğu hoşgörü ve sabırdan dolayı Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü Öğretim Üyesi değerli danışman hocam sayın Doç. Dr. Mehmet ERDOĞAN'a çok teşekkür ederim. Aynı zamanda ölçüm çalışmalarında ve tezi hazırlamam da tecrübeleriyle ve her türlü teknik konularda beni yönlendiren Dumlupınar Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Öğretim Üyesi Doç. Dr. Kaan MANİSA hocama ve çalışma bölgesinin jeolojik yapısı hakkında bilgilerinden faydalandığım Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Prof. Dr. Veysel Zedef hocama da teşekkürü bir borç bilirim.

Yaşamım boyunca desteğini esirgemeyen, hayatımın her anında yanımda olan eşim Sadiye TOPSAKAL' a, eğitimimin her aşamasında daima bana güven duyan anneme, babam ve aynı zamanda hocam Mustafa TOPSAKAL' a ve başarılı olmamı sağlayarak beni gururlandıran canım aileme çok teşekkür ederim.

Ekrem Şükrü TOPSAKAL
KONYA-2015

İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAYI ..... **ii**
TEZ BİLDİRİMİ ..... **iii**
DECLARATION PAGE ..... **iii**
ÖZET ..... **iv**
ABSTRACT ..... **v**
ÖNSÖZ ..... **vi**
İÇİNDEKİLER ..... **vii**
SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **ix**
Kısaltmalar ..... **x**
1. GİRİŞ **1**
2. RADYOAKTİVİTE **4**
2.1. Radyoaktivite ve Tarihçesi 4
2.2. Radyoaktif Bozunma ve Bozunum Türleri 4
2.2.1. Alfa bozunumu 4
2.2.2. Beta bozunumu (β bozunumu) 5
2.2.3. Gama bozunumu (γ-yayma) 5
2.3. Radyoaktif Bozunma Kanunu 6
2.3.1. Yarı-ömür 7
2.3.2. Ortalama ömür 7
2.4. Radyasyon Kaynakları 8
2.4.1. Doğal radyasyon 8
2.4.1.1. Radon 12
2.4.1.2. Radonun Bulunduğu Yerler 12
2.4.1.3. Sularda radon 12
2.4.1.4. Toprakta radon 13
2.4.1.5. Radon ve sağlık 13
2.4.2 Yapay radyasyon 14
2.5. Radyoaktivite ve radyasyon birimleri 15
2.6. Radyasyonun Madde İle Etkileşimi 16
2.6.1. Alfa parçacıklarının madde ile etkileşimi 16
2.6.2. Beta parçacıklarının madde ile etkileşimi 16
2.6.3. Gama ve X ışınlarının madde ile etkileşimi 17

2.6.3.1. Fotoelektrik etki 17
2.6.3.2. Compton etkisi 17
2.6.3.3. Çift oluşumu 18
2.7. Radyasyonun Biyolojik Etkileri 18
3. KAYNAK ARAŞTIRMASI 20
4. MATERYAL VE YÖNTEM 23
4.1. Materyal 23
4.2. Yöntem 23
4.2.1. AlphaGUARD radon detektörü 23
4.2.2. AlphaGUARD detektörünün dış yapısı 26
4.2.3. AlphaGUARD detektörünün iç yapısı 28
4.2.4. Numune alımı 29
4.2.5. Su numunelerinin analizi için ölçüm düzeneğinin hazırlanması 30
4.2.6. AlphaGUARD PQ 2000PRO ile sudaki radon ölçümü 30
4.2.7. Sudaki radon aktivite hesaplamaları 32
4.2.8. Ortalama radon konsantrasyonu hesaplamaları 34
4.2.9. Standart hata 34
4.2.10. Toprak Gazındaki Radon ve Toron Konsantrasyonları Ölçümü 34
5. ÇALIŞMA BÖLGESİ VE JEOLOJİK YAPISI 37
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 39
6.1 Sonuçlar 39
6.2. Öneriler 46
KAYNAKLAR 47
ÖZGEÇMİŞ 52

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Bq : Becquerel

Ci : Curie

^{0}C : Santigrad derece

dm : Desimetre

Gy : Gray

k : Difüzyon katsayısı

k : Kilo

l : Litre

m : Metre

MeV : Mega elektron volt

ml : Mililitre

mSv : Mili sievert

n : Nötron

nSv : Nano sievert

p : Proton

pCi : Pico curie

Rn : Radon

R : Röntgen

sa : Saat

Sv : Sievert

$t_{1/2}$: Yarı-ömür

V : Hacim

y^{-1} : 1/yıl

τ : Ortalama-ömür

α : Alfa

β^- : Beta-negatif

β^+ : Beta-pozitif

γ : Gama

λ : Bozunma sabiti

μ : Mikro

Kısaltmalar

DC : Direct Current (Doğru Akım)

DSP : Digital Signal Processing (Dijital Sinyal İşleme)

IAEA : International Atomic Energy Agency

ICRP : International Commission on Radiological Protection

NRPB : National Radiological Protection Board

rH : Relative Humidity (Bağıl Nem)

SI : System International (Uluslarası Birim Sistemi)

TAEK : Türkiye Atom Enerjisi Kurumu

UNSCEAR : United Nations Scientific Committee On The Effects Of Atomic Radiation

USEPA : U. S. Environmental Protection Agency

1. GİRİŞ

Radon (Rn-222) alfa yayan radyoaktif bir soy gazdır ve insanlar tarafından maruz kalınan doğal radyasyon kaynaklarından en önemlisidir (UNSCEAR, 93). Radon gazının yarı-ömrü 3.82 gün olup yerkürede bulunan Uranyumun (U-238) doğal bozunma zincirindeki Radyum'un (Ra-226) radyoaktif dönüşümü sonucunda oluşmaktadır. Radonun radyoaktif ürün izotopları Po-214 (Poloyum) ve Po-218 (Polonyum) sırasıyla 7.69 MeV ve 6 MeV enerjili alfa parçacıkları yayınlayarak bozunurlar. Bu izotoplar radon maruziyetinden dolayı insanlar tarafından alınan toplam radyasyon dozunun yaklaşık %90 ' ını oluşturur (Gillmore ve ark., 2001). Radon toprakta, havada ve çeşitli sularda farklı seviyelerde bulunabilir. Radonun yoğunluğu 0 ^{0}C' de 9.73 g l^{-1}' dir ve radonun sudaki çözünürlüğü 0 ^{0}C' de 510 cm^{3} l^{-1} ' dir (UNSCEAR, 93). Suda çözünme özelliğine sahip olan radonun sudaki çözünürlüğü sıcaklık, tuzluluk ve suyun pH değeri gibi çeşitli faktörlere bağlıdır (Erees ve ark., 2007; Schubert ve ark., 2012). Bu sebepten insanlar için vazgeçilmez olan suyun radyoaktivite açısından da temiz ve güvenilir olması gereklidir. İnsanlar su ihtiyaçlarını yer altı ve yüzey sularından sağlamaktadırlar ve yer altı sularındaki radon aktivite seviyeleri genellikle yüzey sularına göre daha yüksektir (Erdoğan ve ark., 2013). Özellikle fay hatlarını içeren jeolojik oluşumlar dikkate alındığında, fay hatlarının sıvı taşıması için öncelikli yollar olduğu bilinmektedir ve bu fay hatları radon, metan ve helyum gibi bazı gazlarda içerir (Maussa ve El Arabi, 2003). Yeraltı suyundaki radon seviyesi suyun yeraltındaki izlediği yola yani bu yolda hangi tür kaya ve toprak ile temas ettiğine bağlı olarak değişmektedir. Çünkü radon gazı bu kaya ve topraklardan suya nüfuz eder ve bu sularındaki radon seviyesini değiştirir (Kito ve ark., 1996). Bu nedenle aktif fay hattı bölgelerinde, bulunan yer altı sularında yüksek radon içeriği beklenir. Ayrıca granitik kayaçlar ve tortul şistler toryum ve uranyum içermesinden dolayı başlıca radon kaynaklarını oluşturmaktadır (Karayiğit ve ark., 1999; Querol ve ark., 1999; Karayiğit ve ark., 2001; Krishnakanta ve Vallinayagam, 2009).

Suda çözünmüş radonun içme yoluyla vücuda alınması mide ve tüm vücut için ek bir radyasyon maruziyetine sebep olabilir (Khattak ve ark., 2011). Bunun yanında ev içi kullanımdaki suların yüksek radon seviyesine sahip olması radonun sudan havaya geçişinden dolayı kapalı ortam radon maruziyetine katkı yapar (Kearfott, 1989). Kapalı ortamdaki radon gazının solunum yoluyla vücuda alınması iç ışınlamaya sebep olmaktadır. Dünyadaki akciğer kanserlerinin sebepleri arasında radon önemli bir yer tutmaktadır (Wichmann ve ark., 2002). Bu sebepten içme sularında, yeraltı ve yüzey

sularında radon aktivite seviyelerinin belirlenmesi oldukça önemlidir ve bu konuda pek çok çalışma yapılmıştır (D'Alessandro ve ark., 2003; Karahan ve ark., 2000; Kochowska ve ark., 2004; Yalım ve ark., 2007; Gürler ve ark., 2010; Erdoğan ve ark., 2013).

Yeryüzünde bulunan kayalarda, toprakta ve bunların bileşimlerinde önemli miktarlarda doğal radyoaktif elementler bulunur. Yerküreden salınan radonun seviyesi bölgeye, zamana, yerden yüksekliğe ve meteorolojik şartlara bağlı olarak değişebilmektedir. Düşük atmosfer basıncı değerlerinde atmosfere doğru radon çıkışı artar ve radon atomları toprak gazının oluştuğu yerde toprak parçacıkları ya da mineralleri arasından difüzyonla serbest kalır (Göksel ve ark., 1987). Böylelikle toprak gazındaki radon yerküredeki katmanlardaki boşluklardan geçerek atmosfere ve oradan da bina içlerine sızabilmektedir. Havadan yaklaşık 8 kat daha ağır olan radon özellikle bodrum ve zemin katlarda birikerek halk sağlığını tehdit etmektedir. Toprakta bulunan ve havaya sızan radon miktarı toprak karakteristiğine ve basınca bağlıdır (Akyıldırım 2005; Kulalı 2009). Toprak gazındaki radon seviyesi bulunduğu bölgenin jeolojik yapısı ile yakından ilişkilidir ve toprak gazında yapılacak radon gazı ölçümleri bölgenin toprağındaki uranyum ve toryum varlığı hakkında fikir verici olabilir. Granitik kayaçların ve bu kayaçlardan türeyen alüvyonlu arazilerdeki toprakların başlıca radon kaynaklarını oluşturmaları, granitlerin de yüksek uranyum ve toryum içeriği, bu bölgelerdeki toprak gazında U-238 doğal bozunum ürünü radon ve Th-232 doğal bozunum ürünü olan radonun izotopu Toronun (Rn-220) aktivite seviyelerinin belirlenmesini ayrıca önemli kılmaktadır (Karayiğit ve ark., 1999; Querol ve ark., 1999; Karayiğit ve ark., 2001; Krishnakanta ve Vallinayagam, 2009). Özellikle kömürlerin bulunduğu alanlar ve granit gibi asidik kayaçlarla örtülü arazilerde uranyum, toryum ve potasyum gibi yüksek seviyede radyoaktif kaynakların varlığı öteden beri bilinmektedir. Bu sebepten radon ve toron aktivite seviyeleri genellikle asidik kristalli kayalar ve killi şistlerce zengin bölgelerde daha yüksektir (Swakon ve ark., 2005). Bununla birlikte, jeolojik fay hattı yakınlarında, karstik kayaların ya da çatlak kayaların bulunduğu bölgelerde toprak gazındaki radon seviyesi yüksek değerler göstermektedir (Kristiansson ve Malmqvist, 1982; Kemski ve ark., 1992). Buna bağlı olarak, radon aktivitesi ölçümleri deprem ve volkanik patlamalar gibi yer hareketlerini önceden tespit etmek için kullanılmaktadır (Crocket ve ark., 2006; Baykara ve ark., 2009; Saç ve ark., 2011; Tarakçı ve ark., 2014).

Bu çalışmada, Konya'nın Ilgın ilçesindeki linyit kömür havzasında yer alan aktif fay hattı civarındaki 7 kuyu suyu (bu kuyular Ilgın'ın içme suyu şebekesini besler),

halkın sıkça kullandığı 13 doğal kaynak suyu ve her bir mahalleden alınan 13 çeşme suyu örneğinin radon aktiviteleri ile 11 noktada toprak gazı radon ve toron aktivite seviyeleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, Ilgın fay hattı bölgesindeki fay kırıklarının konumları ve yeraltı su yollarının belirlenmesi gibi jeolojik etkilerin tespit edilmesine katkı sağlayabilir. Ayrıca, bu çalışmada yeraltı sularının tüketilmesine bağlı olarak insanların aldığı doğal radyasyon dozları belirlenmiştir ve elde edilen sonuçlar içme sularındaki radona bağlı doğal radyoaktivitenin genel bir resmini çizmektedir.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar; 18-20 Eylül 2013 tarihinde Karabük'te düzenlenen "VI.International Workshop on Nuclear Structure Properties (6.Uluslarası Nükleer Yapı Özellikleri Çalıştayı) " isimli uluslararası çalıştayda "Konya'nın Ilgın Termal Bölgesindeki İçme Sularında Radon Konsantrasyonlarının Belirlenmesi " isimli sözlü sunum olarak (Topsakal ve ark., 2013) ve 27-30 Mayıs 2014 tarihinde Sırbistan'ın Niş şehrinde düzenlenen "Second East European Radon Symposium, SEERAS (2.Doğu Avrupa Radon Sempozyumu) isimli uluslararası sempozyumda "Mesaurements of Radon Activitiy Concentrations in Ground Waters and Soil Gas Near The Ilgın Active Fault Zone in Konya,Turkey " isimli sözlü sunum olarak sunulmuştur (Manisa ve ark., 2014).

2. RADYOAKTİVİTE

2.1. Radyoaktivite ve Tarihçesi

Radyoaktivite, bir çekirdeğin bir ışın ya da parçacık yayınlayarak başka bir çekirdeğe dönüşmesi olayıdır ve bu özelliğe sahip maddelere radyoaktif maddeler denir. Atom ve çekirdeği hakkındaki fiziki bilgiler 1896' da Henri Becquerel' in radyoaktiviteyi tesadüfen keşfiyle başlamıştır. Becquerel Belli Fluerescent (Fluör-Işıl) tuzların güneş ışınlarıyla aktiflendikten sonra yayınladıkları radyasyonlar üzerinde çalışırken tesadüfen siyah bir kâğıda sarılmış uranyum ve potasyum sülfattan ibaret numuneyi karanlık bir odada fotoğraf levhalarının yanında bırakmıştır. Bu levhalar 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. Daha sonra aynı radyasyonun havanın iyonlaşmasına neden olduğu bulundu. Uranyum tuzu tarafından yayınlanan bu radyasyona önce Becquerel Işınları adı verildi. Bu isim daha sonra bir çok maddelerce yayınlanan farklı radyasyon tiplerini de ihtiva edecek şekilde değiştirildi (Arya, 1999).

Uranyum tuzundan başka bazı maddelerinde radyasyon yayınladıkları gözlendi. 1898 yılında bayan Marie Curie ve kocası Pierre Curie polonyum ve radyum isminde iki radyoaktif madde keşfettiler (Arya, 1999). Bir kaç yıl içinde toryum, aktinyum, radyotoryum, mezotoryum ve diğer radyoaktif elementler keşfedilmiştir (Arya, 1999). Bugün farklı elementlerin yüzlerce radyoaktif izotopları bilinmektedir.

2.2. Radyoaktif Bozunma ve Bozunum Türleri

Bir atomun çekirdeğinin bir alfa parçacığı, bir beta parçacığı, bir gama ışını veya başka herhangi bir parçacık yayınlaması ya da atomun çekirdeğe yakın yörüngelerinden bir elektron yakalaması olayına Radyoaktif Bozunma denir (Arya, 1999).

2.2.1. Alfa bozunumu

Alfa parçacıkları, doğal radyoaktif maddeler tarafından yayınlanan giriciliği en zayıf olanıdır. Alfa parçacığı 2 proton ve 2 nötrondan oluşan bir helyum çekirdeğidir ve elektronları olmadığından pozitif yüklüdür. Birçok ağır çekirdek,

özellikle doğal radyoaktif seri üyeleri (Uranyum gibi) alfa parçacığı yayarak bozunurlar. Alfa yayınlamış olan bir atom kendinden daha küçük başka bir elemente dönüşür. Alfa parçacıkları yolları üzerinde yoğun bir iyonlaşma oluşturarak enerjilerini çabucak kaybederler ve bu sebepten de havada birkaç santimetreden fazla yol alamazlar. Bir kağıt parçası ile durdurulabilirler. Ancak sindirim, solunum veya yara yoluyla vücuda girdikleri taktirde çok tehlikeli olabilirler. Alfa parçacığının kendiliğinden yayınlanması (2.1) ile verilen reaksiyonla ifade edilir (Krane, 2001; TAEK, 2009).

$$ {}^{A}_{Z}X_{N} \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y_{N-2} + {}^{4}_{2}He_{2} \qquad (2.1) $$

2.2.2. Beta bozunumu (β bozunumu)

Çekirdek fazla proton veya nötronundan, bir protonu nötrona veya bir nötronu protona dönüştürerek kurtulabilir. Bu bozunum reaksiyonları (2.2), (2.3) ve (2.4) ' te görüldüğü gibi sırasıyla β^-, β^+ ve elektron yakalama olmak üzere üç farklı yolla gerçekleşebilir.

$$ n \rightarrow p + e^- \quad \text{Negatif } \beta \text{ bozunması } (\beta^-) \qquad (2.2) $$

$$ p \rightarrow n + e^+ \quad \text{Pozitif } \beta \text{ bozunması } (\beta^+) \qquad (2.3) $$

$$ p + e^- \rightarrow n \quad \text{Elektron yakalanması } (\varepsilon) \qquad (2.4) $$

Bu üç olayın hepsinde nötrino adı verilen bir diğer parçacık yayınlanır. Nötrinonun elektrik yükü olmadığından, varlığı diğer son parçacıkların kimliğini etkilemez. Beta parçacıklarının enerjisi 0.01 MeV' den 5 MeV' e kadar olabilir. En büyük enerjili betaların havadaki yol uzunluğu 70-80 cm kadar olabilir. Bu parçacıkların en enerjili olanları deride bir kaç cm yol alabilir. Bu sebepten göz ve deri için tehlikeli olabilirler. Düşük enerjili betalar ise insan derisini aşabilme şansına sahip değillerdir. Beta parçacıkları plastikle veya alüminyum gibi düşük atom numaralı metallerle durdurulabilir. Kendisinden daha riskli olan x-ışını oluşturacağından beta parçacılarını durdurmak için kurşun gibi ağır metaller kullanılmaz (Krane, 2001; TAEK, 2009).

2.2.3. Gama bozunumu (γ-yayma)

Alfa, beta bozunumları veya nükleer reaksiyonlar oluştuktan sonra oluşan yeni çekirdekler çoğu kez uyarılmış halde olabilirler. Uyarılmış durumdaki bu çekirdekler kararlı durum olan taban duruma geçerken bir ışın yayınlarlar. Bu ışınlara gama ışını

denir. Bu ışınlar elektromanyetik özelliğe sahiptir ve elektrik ve manyetik alanda sapmazlar. Gama yayınlanması uyarılmış bağlı durumları olan (A > 5) olan tüm çekirdeklerde gözlenir ve genellikle alfa ve beta bozunumlarından sonra gözlenir.

Gama yayınlanmasının yarı-ömrü çok kısadır, genellikle 10^{-9} saniyeden daha küçüktür ancak saat, hatta gün mertebesinde yarı-ömürlü gama yayınlanması da vardır. Bu geçişler, izomerik geçişler olarak bilinir ve uzun-ömürlü uyarılmış durumlara izomerik durumlar veya izomerler denir. Gama ışınlarının enerjili 0.1-10 MeV arasında olup giricilikleri çok yüksektir, havada kilometrelerce yol alabilirler. Kurşun gibi ağır metaller ya da yoğun beton kullanılarak şiddetleri zayıflatılabilir. Gama yayınlayan bir çekirdeğin atom numarası ve kütle numarası değişmez ve bu elektromanyetik ışının fotonları ışık hızıyla yayılır (Krane, 2001; TAEK, 2009).

2.3. Radyoaktif Bozunma Kanunu

Deneysel ifadeler radyoaktif bozunmanın exponansiyel (üstel) bir kanuna göre olduğunu göstermektedir ve bozunmanın rastgele bir tabiata sahip olduğu düşünülürse bu kanunun türetilmesi mümkün olur. Bu rastgele olay hangi anda hangi atomun bozunmasının bilinemeyeceğini ifade eder.

Bozunmamış her bir çekirdeğin gelecek bir saniye içindeki bozunma ihtimalinin ölçüsüne λ ve bir dt zaman aralığında her bir atomun bozunma ihtimali λdt için verilen bir zamanda şayet N sayıda bozunmamış atom varsa dt zaman aralığında bozunacak atomların sayısı

$$dN = -\lambda N dt \tag{2.5}$$

ile verilir.

Denklem 2.5' de görüldüğü gibi kısa bir dt süresindeki bozunma sayısı bozunmamış atomların sayısıyla (N) ve dt zaman aralığıyla doğru orantılıdır. Negatif işaret N' nin zamanla azalacağını gösterir. (2.5) bağıntısı

$$\frac{dN}{N} = -\lambda dt \tag{2.6}$$

biçiminde yazılıp $t = 0$ iken radyoaktif atomların sayısının N_0 olduğu düşünülüp integral alınırsa

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \tag{2.7}$$

elde edilir. Burada $N(t)$, t anında mevcut radyoaktif atomların sayısını göstermektedir.

Aktiflik, verilen bir numunede saniyedeki parçalanma sayısı olarak tanımlanır ve çoğu kez, verilen bir radyoaktif numunedeki mevcut radyoaktif atomların sayısını bilmekten ziyade, birim zamanda bozunmaya uğrayan atomların sayısını bilmek daha önemlidir. (2.7) bağıntısından

$$\text{Aktiflik} = \left|\frac{dN}{dt}\right| = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = \lambda N \tag{2.8}$$

bulunur. Buna göre bir numunenin aktifliği mevcut radyoaktif atomların sayısına (N) ve bozunma sabitine (λ) bağlıdır (Arya, 1999).

2.3.1. Yarı-ömür

Yarı-ömür, aktifliğin yarıya düşmesi için gerekli zaman olarak ifade edilir ya da yarı-ömür $(t_{1/2})$ bozunmamış atomların sayısının yarıya düşmesi için gerekli zaman aralığına eşittir.

$N = \frac{N_0}{2}$ ve $t = t_{1/2}$ ifadeleri Denklem 2.7' de kullanılırsa,

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda} \tag{2.9}$$

ifadesi elde edilir. $t_{1/2}$ zaman biriminde olduğundan λ' nın birimi zamanın tersidir (s^{-1}) (Arya, 1999).

2.3.2. Ortalama ömür

Bozunma rastgele bir olaydır. Bozunmanın exponansiyel ifadesi, radyoaktif atomların tamamen gözden kaybolması için sonsuz zaman gerektiğini göstermektedir. Herhangi bir özel atom sıfırdan sonsuza kadar değişik bir ömre sahip olabilir. Bu olayın istatistiksel tabiatı için averaj veya ortalama ömür (τ) ifadesi tarif edilmelidir.

Radyoaktif bir çekirdeğin ortalama ömür (τ), bütün çekirdeklerin ömürleri toplanıp toplam çekirdek sayısına bölünerek hesaplanabilir ve

$$\tau = \frac{1}{\lambda} \tag{2.10}$$

ile tanımlanır (Arya, 1999).

2.4. Radyasyon Kaynakları

İnsanoğlu var olduğundan bugüne radyasyona maruz kalmaktadır. Günümüzde bu radyasyon kaynakları doğal ve yapay olmak üzere iki sınıfa ayrılmıştır.

2.4.1. Doğal radyasyon

Doğal olarak bulunan izotopların radyoaktiflerine göre atom numarası Z = 81 ile Z = 92 arasında bulunan elementler arasında birçok izotop vardır. Bunun sebebini büyük numaralı elementlerde protonlar arasındaki Coulomb itmesinin bu elementleri daha az kararlı yapması şeklindedir. Bu Coulomb itmesinin etkisini azaltmak için, çekirdek α bozunmasına maruz kalır ve bunun sonucunda iki proton ve iki nötronunu kaybeder. Birçok durumda olduğu gibi çekirdek nötron yayınlamaktan çok elektron (veya beta ışını) yayınlayabilir. Bu alfa ve beta bozunma zinciri izotop kararlı hale ulaşıncaya kadar devam eder. Bu şekildeki zincirleme reaksiyonlar doğada oluşan dört farklı radyoaktif seride net şekilde görülmektedir. Z = 81 ile Z = 92 arasında bulunan ve doğal olarak bulunan radyoaktif izotoplar, A kütle numaralarına bağlı olarak, dört seriden birine dahildirler. Serilerin her biri ise aşağıdaki dört sınıftan biriyle ifade edilmektedir.

A = 4n Toryum serisi

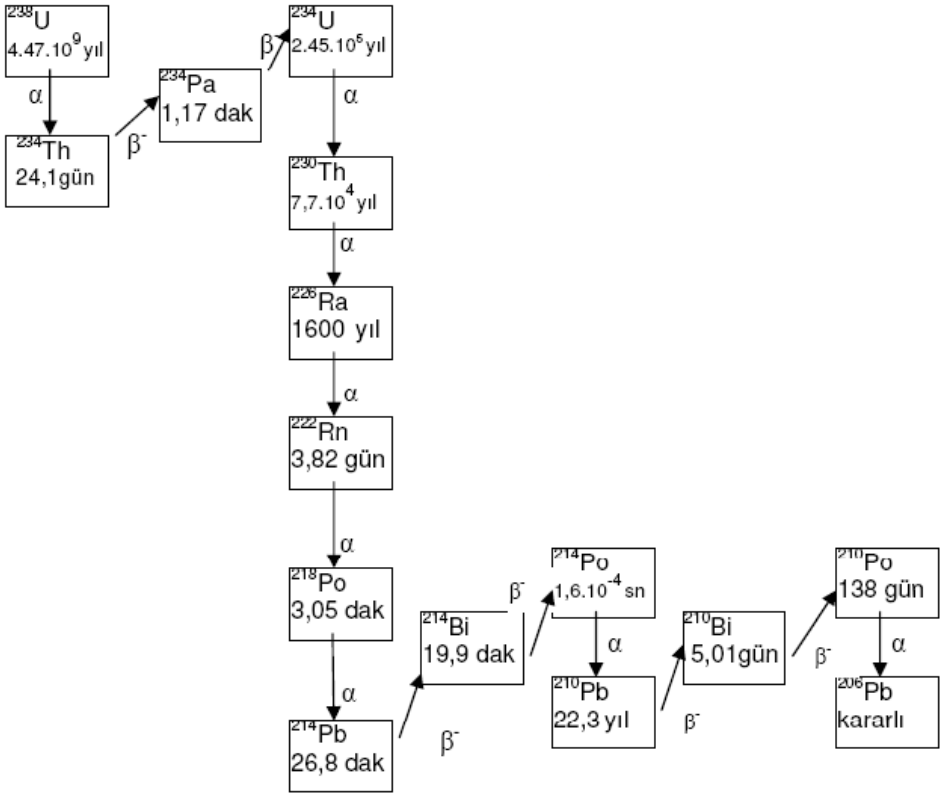
A = 4n+1 Neptinyum serisi

A = 4n+2 Uranyum serisi

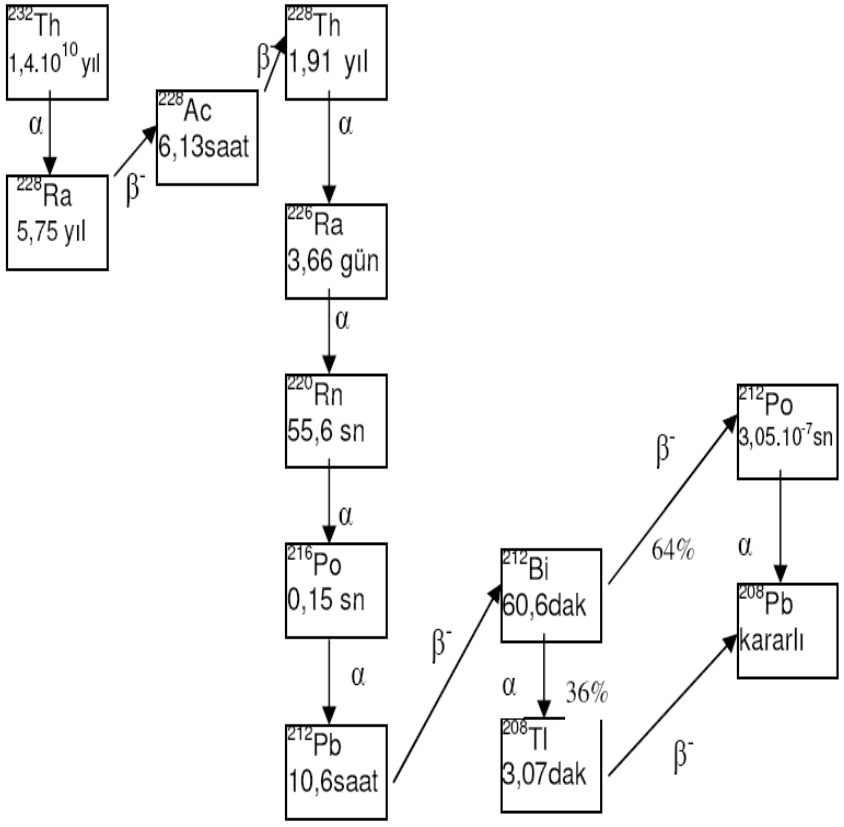
A = 4n+3 Aktinyum serisi

bu ifadelerde n bir tamsayıdır. Bir alfa bozunmasında kütle dört birim değişeceğinden ve bir beta ya da gama bozunmasında kütlede bir değişme olmayacağından bu grupların herhangi birinde başlayan bir bozunma işlemi yine aynı grupta bitecektir.

Şekil 2.1 ve 2.2' de (U-238) ve (Th-232)’ nin bozunma ürünleri şeması verilmiştir. Aynı zamanda bu şekiller yarı-ömürleri ve bozunma tiplerini de göstermektedirler.



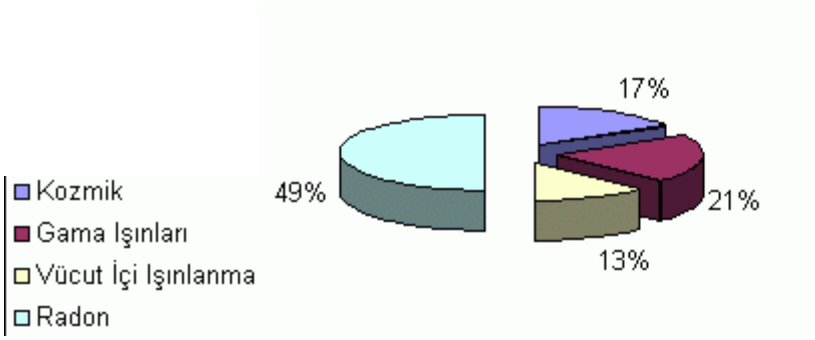
Şekil 2.1. Uranyum (U-238)' un bozunma ürünleri şeması (IAEA, 1996)



Şekil 2.2. Toryum (Th-232)' un bozunma ürünleri şeması (IAEA, 1996)

Şekil 2.1 ve 2.2' de görüldüğü gibi serideki radyoaktif izotopların isimleri kendi element isimlerinden farklıdır (Arya, 1999).

Vücudumuza solunum ve sindirim yollarıyla, hava, su, tüm bitkisel ve hayvansal besinlerde az da olsa bulunan radyoaktif maddeler alınmakta, bunlarda zamanla çeşitli organlarda birikmektedir. Buna ek olarak kozmik ışınlardan ve yerkürede bulunan doğal radyoaktif maddelerden etkilendiğimiz de düşünüldüğünde, insan vücudu hem iç hem de dış radyasyon ışınlanmasına doğal olarak maruz kalmaktadır. Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozlarının oransal değerleri Şekil 2.3' te gösterilmiştir (TAEK, 2014).



Şekil 2.3. Doğal radyasyon kaynakları (TAEK, 2014)

İyonize radyasyona maruz kalmanın en fazla nedeni tıbbi kullanım olmasına rağmen, insanların yaşadıkları coğrafi konuma bağlı olarak da doğal radyasyona maruz kalırlar. Doğal radyasyondan kaynaklanan ışınlanmanın uzaydan dünya atmosferine gelen yüksek enerjili kozmik ışınlara ait paracıklardan ve yer kabuğunda (toprak, hava, su, bitkiler ve diğer canlılar) bulunan doğal radyoaktif izotoplardan olmak üzere iki ana nedenden kaynaklanmaktadır. Kozmik kaynaklı iyonize radyasyon orta enlemlerdeki deniz seviyesinde, havada 32 nSv sa^{-1} ortalama etkin doz oranına sebep olur ve bu oran yükseklikle artar (UNSCEAR, 1993).

Karasal kökenli radyasyona en büyük katkıyı radon ve bozunum ürünleri yapar. Radon gazı atmosferde bulunur ve α ışını yayar. Atmosferdeki radon gazının kaynağı topraktır ve bu sebepten iyi havalandırılmayan ve daha çok zemin katlardaki binalarda odanın konsantrasyonunu artırır. Radon gazı solunumla alındıktan sonra vücut içinde radyoaktif bozunmaya uğrayarak başka atomlara dönüşür ve akciğer dokusunun ışınlanmasına neden olur (UNSCEAR, 1993). Radon gazından dolayı dünya genelinde maruz kalınan ortalama doz 1.3 mSv y^{-1}' dir (IAEA, 1996).

Ayrıca vücudumuzda bulunan Potasyum-40 gibi radyoaktif elementler de radyasyon maruziyetine sebep olur. Bir yılda bu şekilde maruz kalınan iç ışınlama dozunun dünya ortalaması 0.23 mSv' dir (IAEA, 1996). İç ışınlanmanın yanında fosil yakıtların doğal ve uzun ömürlü radyoaktif elementler içermesinden dolayı atmosferde ve topraktaki radyasyon seviyesinde az da olsa bir artışa sebep olur. Doğada mevcut kısa ömürlü radyoaktif elementlerinin yaydığı gama ışınlarının da katkısıyla toprak kaynaklı maruz kalınan radyasyon dozunun dünya ortalama ise 0.46 mSv $yıl^{-1}$'dir (IAEA, 1996). Çizelge 2.1' de dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan ortalama radyasyon doz değerleri verilmiştir (TAEK, 2014).

Çizelge 2.1. Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan ortalama radyasyon doz değerleri (TAEK, 2014).

Dünya Genelinde Doğal Radyasyon Kaynaklarından Maruz Kalınan Ortalama Radyasyon Doz Değerleri		
Işınlanma Kaynağı	**Yıllık Etkin Doz Değeri (mSv)**	
Ortalama		**Değişim Aralığı**
KOZMİK RADYASYON		
• Foton bileşeni	0,28	
• Nötron bileşeni	0,10	
KOZMOJENİK RADYOİZOTOPLAR	0,01	
Toplam	0,39	0,3 – 1,0 [(a)]
YERYÜZÜ KAYNAKLI DIŞ IŞINLANMA		
• Bina dışı	0,07	
• Bina içi	0,41	
Toplam	0,48	0,3 – 0,6 [(b)]
SOLUNUM YOLU İLE IŞINLANMA		
• Uranyum ve Toryum serileri	0,006	
• Radon (Rn -222)	1,15	
• Toron (Rn -220)	0,10	
Toplam	1,26	0,2 – 10 [(c)]
BESLENME YOLU İLE IŞINLANMA		
• K-40	0,17	
• Uranyum ve Toryum serileri	0,12	
Toplam	0,29	0,2 – 0,8 [(d)]
GENEL TOPLAM	2,4	1 – 10

(a) Deniz seviyesinden yüksekliğe bağlı

(b) Toprak ve yapı malzemelerinin karışımlarına bağlı

(c) Radon gazı konsantrasyonuna bağlı

(d) Yiyecek ve içme sularındaki radyoizotopların konsantrasyonlarına bağlı

2.4.1.1. Radon

Doğal radyasyon kaynaklarından en önemlisi olan radon yerkürede bulunan U-238 doğal bozunum serisi ürünlerinden olan Ra-226 (Radyum) izotopunun alfa bozunumu yapması sonucunda oluşur. Renksiz, tatsız, kokusuz bir radyoaktif asal gaz olan radonun yarı ömrü 3.82 gündür. Radon izotopları olan Rn-220 (Toron) ve Rn-219 (Aktinon) sırasıyla 55 saniye ve 3.9 saniyelik çok kısa yarı ömürlere sahip olduklarından hızla bozunurlar ve bu sebepten doğal ortamda radona göre ihmal edilebilecek kadar az bulunurlar. İnsanları tarafından maruz kalınan doğal radyasyon dozunun yaklaşık 2.4 mSv y^{-1} kadarı radon kaynaklıdır (UNSCEAR,2000).

Havadan 8 kez, hidrojenden ise 100 kez daha ağırdır ve tek atomlu şekilde bulunur. Bu yüzden kağıt, deri, plastik, boya ve yapı malzemeleri gibi materyallere kolayca nüfuz eder. 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 $cm^3 \cdot l^{-1}$'dir (UNSCEAR, 1993).

2.4.1.2. Radonun Bulunduğu Yerler

Radonun ana kaynağı yerküredir ve dünya yüzeyinde yaklaşık 100 ton radon bulunduğu tahmin edilmektedir (Saç ve Camgöz, 2005). 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 (ICRP, 2014).

2.4.1.3. Sularda radon

Radon suda çözünebilme özelliğine sahiptir ve sudaki çözünürlüğü azalan sıcaklıkla hızlıca artmaktadır. Ayrıca sudaki radon konsantrasyonu büyük oranda ihmal edilse de tuzluluğa ve bunun yanında pH değeri gibi niceliklere de bağlıdır (Schubert, 2012; Erees, 2007). Radonun kaynağının yerküredeki uranyum olması nedeniyle

uranyum içeriğine sahip kayalar ve toprak ile temas halinde olan sular sayesinde radon yer altı sularına geçer (Kito ve ark., 1996). Bu sebepten yerin derinliklerinden gelen suların radon konsantrasyonları daha yüksektir. Fay hatlarının sıvı transferinde öncelikli yollar olması da, fay hattı bölgelerinde yer altı sularında yüksek radon seviyelerine sebep olabilmektedir. Böylece suda çözünmüş radon yer altı suları ile kolaylıkla bir yerden başka bir yere taşınabilmektedir ve kayaçlardaki çatlaklardan sızarak atmosfere kaçmaktadır. Yer altı sularının içme suyu ve evlerde kullanılması suda çözünmüş radon konsantrasyonunun belirlenmesinin halk sağlığı için ne denli önemli olduğunu göstermektedir. Sudaki radon içme sularının sindirim yoluyla tüketilmesine bağlı olarak insanlar için radyasyon maruziyetinden dolayı bir risk oluşturmaktadır (UNSCEAR, 2000). Bunun yanında radonun sudan havaya geçme özelliğinden dolayı yüksek radon seviyesine sahip suların kullanıldığı evlerde kapalı ortam radon seviyesi artar ve bu ortamdaki radon ürünlerinin solunması ise akciğer kanseri riskini artırabilmektedir (Calmet, 2011).

2.4.1.4. Toprakta radon

Radon, yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde gömülü olan uranyumun bozunması ile yeryüzünde bir yoğunluk oluşturur. ^{222}Rn atomları toprak gazının oluştuğu yerde toprak parçacıkları ya da mineralleri arasında difüzyonla serbest kalırlar (Kito ve ark., 1996). 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'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.

2.4.1.5. Radon ve sağlık

Radonun radyoaktif bozunması sonucunda kısa yarı ömürlü Po-214 (Polonyum) ve Po-218 (Polonyum) radyoizotoplarını oluşturur. Bu radyoizotoplar sırasıyla 7.69 ve 6 MeV enerjili alfa parçacıkları yayınlar ve bunlar radon maruziyetinden kaynaklı alınan dozun yaklaşık % 90' ını oluşturur (UNSCEAR, 2000) Bu radyoizotoplar solunum yolu ile vücuda alındığında akciğerlere yerleşirler. Orada

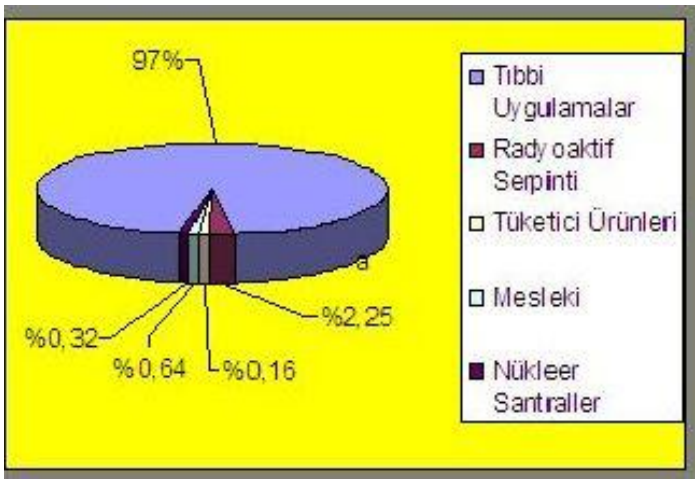
alfa parçacıkları vererek akciğer dokusunu ışınlarlar ve akciğer hasarı ve kanseri oluşturma riskini artırırlar. Yapılan araştırmalara göre akciğer kanseri oluşturma riski açısından radon, sigaradan sonra ikinci sırada yer almaktadır (TAEK, 2014).

Radon maruziyeti riskini artıran faktörler şu şekilde sıralanabilir (ICRP, 2014; TAEK, 2014).

- Radona maruziyet süresi ve maruz kalınan radon seviyesi arttıkça risk artar.
- Sigara içen kişilerde radona bağlı akciğer kanseri riski sigara içmeyenlere göre daha fazladır.
- Çocuklar ve yaşlılar yetişkin insanlara oranla radona karşı daha hassastır.
- Jeolojik olarak uranyum bulunan arazilerde yapılan evlerde radona maruziyet uranyum miktarı az olan bölgelere göre daha fazladır.
- Evlerin zemin ve birinci katlarında radon miktarı fazladır.

2.4.2 Yapay radyasyon

Hastaların tanı ve tedavisi amacıyla radyodiagnostik, nükleer tıp ve radyasyon onkolojisi kliniklerinde, x-ışınları ve radyoaktif maddeler kullanılmaktadır. Diğer yapay radyasyon kaynakları ise zirai ve endüstriyel amaçla kullanılan x-ışınları ve yapay radyoaktif maddeler, nükleer bomba denemeleri sonucu meydana gelen nükleer serpintiler, çok az da olsa nükleer güç reaktörlerinden salınan radyoaktif maddeler ile bazı tüketici ürünlerinde kullanılan radyoaktif maddeler olarak bilinmektedir (TAEK, 2014). Yapay radyasyon kaynaklarına bağlı maruz kalınan radyasyonlar dozlarının oransal değerleri Şekil 2.4' te gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan küresel radyasyon dozunun oranları (IAEA, 1996).

2.5. Radyoaktivite ve radyasyon birimleri

Radyoaktivitenin birimi genelde birim zamandaki parçalanma sayısı olarak tanımlanır (Arya, 1999).

Curie (ci) : Bir saniyede $3.7x10^{10}$ bozunma gerçekleştiren radyoaktif cismin aktivitesi olarak tanımlanır.

Becquerel (Bq) : Bir saniyede bir bozunma gerçekleştiren radyoaktif cismin aktivitesi olarak tanımlanır.

Rutherford (Rd) : Bir saniyede 10^6 bozunma gerçekleştiren radyoaktif cismin aktivitesi olarak tanımlanır.

$1Bq = 2.703x10^{11}$ Ci = 1 parçalanma/saniye

$1Ci = 3.7x10^{10}$ Bq

$1Rd = 10^6$ parçalanma/ saniye

Işınlanma (Röntgen, R) : Normal hava şartlarında (0 ^{0}C ve 760 mm Hg basıncı, ki bu basınçta kuru havanın kütlesi 0.001293 gramdır) havanın 1 kilogramında $2.58x10^{-4}$ Coulomb' luk elektrik yükü değerinde pozitif ve negatif iyonlar oluşturan X ve gama ışını (γ) radyasyonu miktarıdır. SI birim sisteminde karşılığı ise, normal hava şartlarında havanın 1 kilogramında 1 Coumlob'luk elektrik yükü değerinde pozitif ve negatif elektrik yükü oluşturan X ve gama ışını (γ) radyasyonu miktarıdır. Bu iki birim sistemi hakkındaki dönüşüm denklemi (Krane, 2001).

$$1R = \frac{1 \text{elementer yük}}{0.001293 \text{gram}} = 2.58\,x10^{-4} \text{ Coulomb / kilogram}$$

Soğrulmuş Doz : Işınlanan maddenin 1 gramına 100 erglik enerji veren radyasyon miktarıdır ve birimi CGS sisteminde RAD (Radiation Absorbed Dose) 'dır. SI

birim sisteminde karşılığı Gray (Gy)' dir ve ışınlanan maddenin 1 kilogramına 1 joule enerji veren radyasyon miktarıdır. Gray ve RAD arasındaki ilişki ;

1 Gray = 100 RAD şeklindedir (Krane, 2001).

Doz Eşdeğeri : Bir röntgenlik X veya gama ışını (γ) ile aynı biyolojik etkiyi oluşturan herhangi bir radyasyon miktarıdır ve eski birim sistemindeki birimi REM' dir ve REM = (RAD) x (K.F) eşitliği ile bulunur. Doz eşdeğerinin SI birim sistemindeki karşılığı ise Sievert (Sv)' dir ve 1 Gy' lik X veya gama ışını (γ) ile aynı etkiyi meydana getiren radyasyon miktarıdır ve Sv= (Gy) x (K.F) eşitliği ile bulunur. Sievert ve REM arasındaki dönüşüm 1 Sv = 100 REM şeklindedir. K.F ise Kalite Faktörünü gösterir ve radyasyon ağırlık faktörü olarak adlandırılır. Farklı radyasyonların biyolojik etkilerindeki farklılıkları hesaba katmak için kullanılır (Krane, 2001).

2.6. Radyasyonun Madde İle Etkileşimi

Radyasyonlar ister parçacık ister elektromanyetik dalga şeklinde olsunlar bir ortamdan geçerken enerjilerinin bir kısmını ortama aktarırlar. Bu işlem soğrulma ya da saçılma şeklinde olur. Radyasyonun madde ile etkileşimi çalışmaları, insan vücudunda yaptığı hasar, radyasyon ölçüm cihazları ve radyasyonun hangi malzemeler ile zırhlanması konularında bilgilenmek bakımından önem taşımaktadır (TAEK, 2009).

2.6.1. Alfa parçacıklarının madde ile etkileşimi

Alfa parçacıkları 2 tane protona sahip ağır parçacıklar olmaları nedeni ile içinden geçtikleri maddeler ile etkileşime girme olasılıkları çok yüksektir. Bu sebepten alfa parçacıları kısa mesafede büyük miktarda iyonizasyona sebep olurlar. Ancak alfa parçacıkları elektronlardan çok ağır olduklarından tek bir çarpışma ile enerjilerinin tamamını kaybetmezler. İçinde hareket ettikleri ortamda enerjilerini santimetre başına neredeyse sabit bir miktarda bırakarak yollarına devam ederler. Alfa parçacıklarının enerjilerinin tamamını kaybedene kadar gittikleri mesafeye menzil denir ve bu menzil parçacıkların enerjisine ve içinden geçtiği maddenin cinsine (büyük ölçüde maddenin sadece yoğunluğuna) bağlıdır (TAEK, 2009).

2.6.2. Beta parçacıklarının madde ile etkileşimi

Beta parçacıkları bir ortamdan geçerken santimetre başına iyonlaşma sayısı oldukça yüksektir ancak büyüklüğünün ve yükünün küçük olması sebebiyle etkileşme

ihtimali alfa parçacıklarına göre düşüktür. Böylece aynı enerjideki beta parçacıklarının menzilleri alfalardan daha fazladır (TAEK, 2009).

2.6.3. Gama ve X ışınlarının madde ile etkileşimi

Gama ve x-ışınları sadece oluşum şekilleri itibariyle birbirlerinden farklıdır. Bu ışınlar yüksüz, kütlesi olmayan, sadece enerji taşıyan elektromanyetik dalgalar olduğundan madde içinde bulunan elektron ya da çekirdekle elektrostatik bir etkileşime girmezler. Bu sebepten madde içersindeki iyonizasyon özellikleri alfa ve beta parçacıklarına göre düşüktür. Ancak etkileşime girdiklerinde enerjilerinin tamamını veya büyük bir kısmını kaybetme olasılıkları yüksektir. Bu ışınların madde ile etkileşim mekanizmaları çok olmasına rağmen genellikle aşağıdaki etkileşmeleri yaparlar (TAEK, 2009).

- Fotoelektrik etki
- Compton etkisi
- Çift oluşumu

2.6.3.1. Fotoelektrik etki

Fotoelektrik etki bir atomik soğurma sürecidir ve bu süreçte, atom gelen bir gama ışınının yani fotonun bütün enerjisini soğurur ve foton kaybolur. Fotonun bu soğrulan enerjisi atomun yörüngesindeki bir elektrona aktarılır ve bu elektrona fotoelektron denir (Sorenson ve Phelps, 1987).

2.6.3.2. Compton etkisi

Compton saçılması bir foton ile bir atomun en dış yörüngesindeki zayıf bağlı elektron arasındaki çarpışmadır. Bu süreçte gelen fotonun enerjisi elektronunun bağlanma enerjisinden oldukça fazla olduğu için bu tür etkileşme foton ve serbest elektron arasındaki bir çarpışma şeklinde kabul edilir. Bu etkileşmede foton kaybolmaz, bir θ saçılma açısı ile yön değiştirir. Fotonun enerjisinin bir kısmı elektrona aktarıldığı için foton bu süreçte enerji kaybeder. Saçılan fotonun enerjisi θ saçılma açısıyla ilişkilendirilir. Enerji ve momentum korunum kanunlarına göre saçılan fotonun enerjisi

$$E_S = E_0 / \left[1 + \left(E_0 / 0.511\right)\left(1 - \cos\theta\right)\right] \qquad (2.11)$$

Bu denklemde E_s ve E_0 sırasıyla saçılan ve gelen fotonun enerjileridir. Elektrona aktarılan enerji ise

$$E_e = E_0 - E_s \quad (2.12)$$

ile verilir (Sorenson ve Phelps, 1987).

2.6.3.3. Çift oluşumu

Bir foton (gama ışını) yüklü bir parçacığın elektrik alanı ile etkileştiği zaman çift oluşumu meydana gelir. Bu etkileşme nadiren bir elektronla, genellikle bir atomun çekirdeği ile gerçekleşir. Bu etkileşmede foton ortadan kaybolur ve fotonun enerjisi bir pozitif ve negatif elektron çiftine dönüşebilir. Bu olayın olabilmesi için fotonun sahip olması gereken minimum enerji her bir elektronun durgun kütle enerjisi 0.511 MeV ' un iki katı yani 1.022 MeV olmalıdır (Sorenson ve Phelps, 1987).

2.7. Radyasyonun Biyolojik Etkileri

Enerjileri 10 ev' dan büyük olan radyasyonlar iyonize edici radyasyonlar (gama ışını, x-ışını, alfa, beta ve dolaylı iyonlaştırıcı özelliğe sahip nötron parçacıkları) sınıfına girer ve bu tür radyasyonlar biyolojik bir sistemle karşılaştığında enerjisini etkileşim ortamına aktararak hasar meydana getirir (Demir, 2011). İyonlaştırıcı radyasyonun ışınladığı dokudaki biyolojik etkileri alınan toplam doza, doz oranına, radyasyona maruz kalan vücut miktarına, radyasyon hassasiyetine ve yayılan radyasyonun türüne bağlı olarak deterministik (kesin) ve stokastik (kesin olmayan) olmak üzere ikiye ayrılır (Bora, 2001).

Deterministik etkiler, tüm vücudun büyük dozlarda radyasyona maruz kalması sonucunda yani belli bir eşik doz değerinin üzerinde görülmeye başlar. Deterministik etkinin radyasyona maruz kalan dokuya ve kullanılan radyasyon tipine bağlı bir eşik dozu vardır. Eşik doz aşıldığında hücre ölümü ve dolayısıyla organ fonksiyonlarında bozulmalar görülür. Eşik doz aşıldığında görülen etkiler doz miktarındaki artışa bağlıdır. Kesin etkilerin görülmesinde dozun bir defada ya da aralıkla verilmesi de önemlidir (Bora, 2001; Demir, 2011). Deterministik (somatik kesin) etkiler erken ve geç etkiler olarak iki türlü ortaya çıkar. Erken etkiler alınan dozdan sonra ilk yıl içinde ortaya çıkar ve ölen hücre sayısı, hasarın onarılması hasarlanmış hücre sayısıyla ilgilidir. Determisinistik geç etkiler ise genellikle dozdan 1 yıl sonra ortaya çıkar (Demir, 2011).

Sitokastik etkiler hücre hasarı meydana getiremeyecek kadar çok düşük dozlara uzun süre maruz kalındığında, hücre ölümünden çok hücrenin değişimine sebep olur. Bu tip etkilerin eşik doz değeri olmayıp kronik veya uzun zaman periyodunda ortaya

çıkar. Sitokastik etki sonucunda değişime uğrayan hücrelerde uzun dönemde kanser gelişebilir . Bununla birlikte vücudun onarım ve defans mekanizması kanser gelişimini önlemede önemli bir etkiye sahiptir. Stokastik etki genetik bilgileri taşıyan hücrelerde meydana gelmiş ise, bu daha sonraki kuşağa eklenerek geçer. Sitokastik etkinin bu tipine ise herediter (kalıtsal) etki denir (Bora, 2001; Demir, 2011).

3. KAYNAK ARAŞTIRMASI

İnsanların içme amaçlı kullandıkları sulardaki doğal radyasyonun başlıca nedenleri arasında radon gazı yer almaktadır. Ayrıca toprak gazında radon ölçümleri, yeraltı sularında radon ölçümleri ile birlikte jeolojik oluşumlar hakkında bilgiler verebilmektedir. Yeraltı sularında ve toprak gazında radon konsantrasyonunun belirlenmesine yönelik olarak yapılan çok sayıda çalışma mevcuttur. Bu çalışmalardan bazıları şöyledir. Henryk Bem ve arkadaşları Polonya' nın güneyindeki yeraltı içme sularında sıvı sintilasyon tekniğini kullanarak radon ölçümleri yapmışlardır. Yaptıkları ölçümler 0.42 - 10.52 kBq/m^3 aralığında çıkmıştır. Sudaki radonun içmeyle vücuda alınması ve sudan havaya geçen radonun solunmasına bağlı radyasyon dozlarını sırasıyla 1.15 ve 11.8 μSv aralığında bulmuşlardır (Bem ve ark., 2014).

Radonun genel halk sağlığındaki etkilerini incelemek üzere Hindistan' ın Rajasthan bölgesinde toprak gazında radon seviyelerini farklı derinliklerde ölçmüşlerdir. Toprağın 10, 40, 70 ve 100 santimetre derinlikleri için sırasıyla 0.09-4.25, 0.15-6.30, 0.50-9.18 ve 0.72-10.40 kBq/m^3 aralılarında değerler bulmuşlardır (Duggal ve ark., 2014).

Romanya' nın Biher bölgesinde şebeke suyuna bağlı içme sularında ve maden bölgesinde yer alan kişisel kuyularda radon ölçümleri yapmışlardır. Kuyu suyuları için 35.5 kBq/m^3 , kaynak suları için 18.5 kBq/m^3 ve musluk suları için 6.9 kBq/m^3 ortalama değerleri bulunmuştur. Yıllık efektif dozlar ise 4.78 ve 338.43 μSv y^{-1} aralığında bulunmuştur. Bu dozlar dünyadaki öngörülen sınır değerleri içinde yer alır (Moldovan ve ark., 2014).

Wang ve arkadaşları Çin' in kuzeyinde bulunan Tangshan bölgesindeki deprem, sismojenik faylar ve toprak gazındaki radon arasındaki ilişkiyi uzaklığa bağlı olarak araştırmışlardır. 2010 yılının nisan ayından mayıs ayına kadar yaklaşık 2500 metrekare alanda 756 noktada radon konsantrasyonu ölçümleri yapmışlardır. Doğal fon değeri (background) ve anomali sınır değerlerini sırasıyla 4.73 kBq/m^3 ve 8.30 kBq/m^3 olarak ölçmüşlerdir. Tangshan fayı ve Luanxian fayının kuzey batı bölgesinde daha yüksek değerler gözlenmiştir. Tangshan fayı ve Luanxian faylarında 1976 yılında sırasıyla 7.8 ve 7.1 büyüklüğünde depremler meydana gelmiştir. Ayrıca bu gölgede 2005 yılından bu yana 3 büyüklüğünde 17 deprem meydana gelmiştir. Ayrıca bu çalışmada, bu bölgenin deprem aktivitesi ve sığ fay ya da derin olmayan fay izleriyle radon değerleri arasındaki yakın ilişki gösterilmiştir (Wang ve ark., 2014).

Tsunomari ve Tanaka 2011 yılında Nakaizu kuyusunda yeraltı sularındaki radon konsantrasyonlarındaki sıra dışı değişimleri gözlemişlerdir. 2011 Tohoku depreminde Nakaizu gözlem evinde radon konsantrasyonunda sıra dışı bir artış gözlemlemişlerdir (Tsunomari ve Tanaka, 2014).

Swakon ve arkadaşları Polonya' nın Krakow bölgesinde jeoloji fay hattı civarında radon ve toron ölçümleri yapmışlardır. Bulunan radon ve toron konsantrasyonlarının aritmetik ortalamaları sırasıyla 39 kBq/m^3 ve 10.8 kBq/m^3 bulunmuştur (Swakon ve ark., 2005).

Gosink ve arkadaşlarının Amerika'da içme ve kullanım suyunun karşılandığı birçok sondaj kuyusunda yapmış olduğu çalışmalarda radon konsantrasyonları ortalama olarak 39.96 kBq/m^3 ölçülmüştür (Gosink ve ark., 1990).

Lima ve Bonotto, Brezilya'da 1996 yılında yaptıkları çalışmada yer altı sularında radon konsantrasyonunu ölçmüş ve 25.47 kBq/m^3 ile 784.11 kBq/m^3 arasında değişen konsantrasyon değerleri elde etmişlerdir (Lima ve Bonotto, 1996).

Kochowska ve arkadaşları Polonya'da 45 farklı kuyudan aldıkları su örneklerini incelemiş ve konsantrasyon değerlerinin hepsinin 12 kBq/m^3' ün altında olduğunu tespit etmişlerdir (Kochowska ve ark., 2004).

Comsa ve arkadaşları Romanya'da 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).

Ülkemizde yapılan çalışmalar ise;

Tarakçı ve arkadaşları Türkiye' nin batı bölgesinde radon seviyesi ve sismik aktiviteler arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Yaptıkları çalışma bölgesinde depremden önce radon seviyesinin değişmediği ve deprem olduğunda radon seviyesinin arttığını göstermişlerdir (Tarakçı ve ark., 2014).

Tabar ve Yakut Yalova ' da ki medikal terapi amaçlı kullanılan termal sularda radon seviyelerini RAD 7 radon detektörü kullanarak ölçmüşlerdir ve 0.21 - 5.82 kBq/m^3 aralığında değerler bulmuşlardır. Sudaki radonun içmeyle vücuda alınması ve sudan havaya geçen radonun solunmasına bağlı yıllık etkin dozları sırasıyla 2.44 - 9

μSv y^{-1} aralığında bulmuşlardır (Tabar ve Yakut, 2014).

Saç ve arkadaşları yine Türkiye' nin batısındaki fay hattında depremin önceden tahmin edilmesi ile ilişkili olarak radon ölçümleri yapmışlardır. Çalışmalarında Türkiye' nin batısındaki Tuzla fay hattındaki sismik bölgede dört istasyon kurmuşlar ve aktif tektonik hatların radon konsantrasyonları gözlenmiştir. Ayrıca eş zamanlı olarak toprak gazındaki radon konsantrasyonları LR-115 tipi detektörler kullanarak anlık ve sürekli olarak ölçülmüştür. Yaptıkları çalışmanın sonucunda radon emisyon hızı ile sismik (depremle ilgili) aktiviteler arasında lineer bir ilişkinin olduğunu göstermişlerdir (Saç ve ark., 2011).

Erees ve arkadaşlarının Denizli'de 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 değerlerini 0.7 kBq/m^3 ile 31.7 kBq/m^3 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 kBq/m^3, çeşme suları için 0.91-12.58 kBq/m^3 aralığındadır (Tarim ve ark., 2011).

Baykara ve arkadaşları Batı Anadolu fay sisteminde toprak gazı radon ölçümleri yapmışlardır ve bazı anomaliler gözlemlemişlerdir. Bu anomalilerin genellikle deprem olmadan bir kaç hafta ya da bir kaç gün önce ortaya çıktığını gözlemlemişlerdir (Baykara ve ark., 2011).

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. Materyal

Konya' nın Ilgın ilçesinde bulunan Ilgın Fay Hattı civarındaki yer altı sularından alınan numunelerde ve toprak gazında radon aktivite seviyeleri belirlenmiştir. Bu bağlamda aktif faylar bölgesinde yer alan ve Ilgın' ın şebeke suyunu besleyen 7 kuyudan, ilçenin her bir mahallesindeki seçilmiş konutlardan 13 musluk suyu örneği toplanmıştır ve bu örneklerin radon aktivite seviyeleri belirlenmiştir. Ayrıca yine bu jeolojik fay hatları civarında bulunan 13 doğal kaynak suyu ile bu suların çıkış noktalarıyla yaklaşık aynı konumlara sahip 11 noktadan toprak gazı radon aktiviteleri ölçülmüştür. Toprak gazı ölçüm noktalarında radon gazı aktivitesine ilaveten radon izotopu toron (Rn-220) aktivite seviyeleri de ölçülmüştür.

4.2. Yöntem

Radon aktivite ölçümleri için AlphaGUARD PQ 2000PRO detektörü kullanılmıştır.

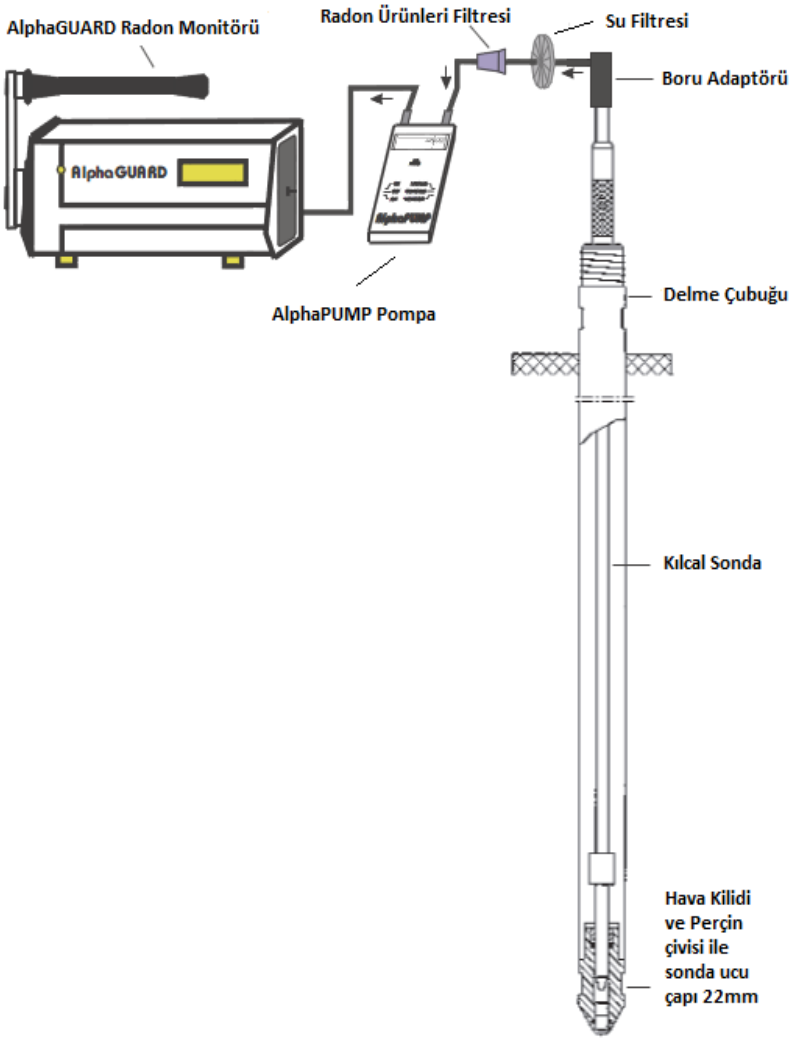
4.2.1. AlphaGUARD radon detektörü

Bu tez kapsamında radon ölçümleri için kullanılan, AlphaGUARD PQ 2000PRO, radon kaynaklı alfa radyasyonunu ölçmekte kullanılan taşınabilir nitelikte bir radyasyon detektörüdür (Şekil 4.1). Alfa radyasyonu maddeyi iyonize edici özelliğe sahip olduğundan detektör buna uygun bir iyonizasyon odasına sahiptir. Bu detektör ile havada, suda, toprakta ve yapı malzemelerinde radon ölçümleri yapılabilmektedir ve ölçüm sonuçlarını Bq/ m^3 cinsinden vermektedir. AlphaGUARD radon detektörü AlphaPUMP elektronik pompa ve AquaKIT aparatı ile su örneğindeki radon konsantrasyonunu direkt olarak ölçebilmektedir. Toprak gazı radon ölçümleri için ise AlphaPUMP ile birlikte Toprak Gazı Sondası (Soil Gas Probe) kullanılmaktadır (Şekil 4.2). AlphaPUMP aynı zamanda yapı malzemelerindeki ölçümler (Şekil 4.3) ve kalibrasyon işlemlerinde AlphaGUARD detektörü ile kullanılan bir aparattır. AlphaPUMP sayesinde iyonlaşma odasına giren radon ve toron alfa parçacık radyasyonu yayarak bozunur ve iyon odasında iyon çiftlerinin oluşmasına sebep olur ve bu iyon çiftleri bir elektrik sinyali oluşturur. AlphaPUMP ile sürekli emme esnasında radon ürünleri bir filtre tarafından tutulur ve filtre plakası üzerinde biriken radon ürünlerinin alfa aktivitesi ise filtre plakasının diğer yüzüne yerleştirilmiş hassas bir sayısal işlemci modülü olan alfa duyarlı TN-WL-02 mikroçip modülü ile ölçülür. Elde edilen elektrik sinyalleri, AlphaGUARD detektörünün sayıcı (counter) birimine TTL

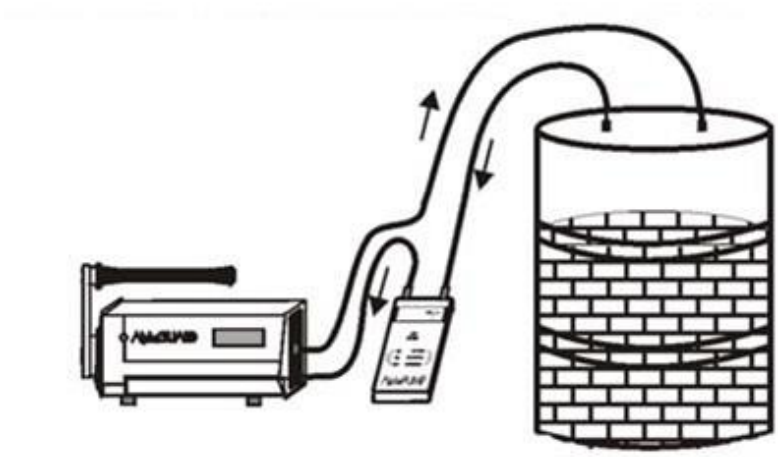
sinyali olarak gönderilir ve detektörün kalibrasyon bilgileri ve Data EXPERT yazılımı kullanılarak anlamlı veriler haline dönüştürülür. AlphaGUARD detektörü ile Data EXPERT yazılımı ARES 232 bağlantısı ile veri aktarımı sağlamaktadır. AquaKIT, AlphaPUMP ve AlphaGUARD taşınabilir özelliklerinden dolayı direkt olarak ölçüm noktasında kullanılabilir. AlphaGUARD ve AlphaPUMP yüksek kapasiteli pilleri sayesinde 12 saatten daha uzun süreli ölçüm yapabilmektedir. Aynı zamanda bu detektör sıcaklık, atmofer basıncı ve nem oranı gibi üç farklı iklim parametresini de sırasıyla ^{0}C, milibar % rH birimlerinde ölçmektedir (Akyıldırım, 2005; Saphymo, 2014). Şekil 4.1' de AlphaGUARD detektörü görülmektedir.



Şekil 4.1. AlphaGUARD PQ 2000PRO dedektörü.



Şekil 4.2. Toprak gazında radon ölçümü için kullanılan AlphaGUARD ile AlphaPUMP ve Toprak Gazı Sondası Aparatları (Saphymo, 2014).



Şekil 4.3. AlphaGUARD ile yapı malzemelerinde radon ölçümü (Saphymo, 2014).

4.2.2. AlphaGUARD detektörünün dış yapısı

AlphaGUARD radon detektörü dayanıklı bir alüminyum dış gövdeye sahiptir. Bu detektörün farklı açılardan görünüşleri ve ebatları Şekil 4.1, Şekil 4.4- Şekil 4.8' de verilmiştir.



Şekil 4.4. AlphaGUARD detektörünün arka kısmından görünüşü



Şekil 4.5. AlphaGUARD detektörünün alt kısmından görünüşü

Detektörün arka kısmındaki aktif adaptör girişi plastik bir kapakla kapatılmıştır. Bu giriş ile hava AlphaPUMP yardımıyla detektörün iyonizasyon odasına girer (Şekil 4.5). Detektörün altında yerle teması kesen plastik ayaklar ve havalandırma kanalları yer alır (Şekil 4.6). Detektörün içinde bulunan fan ile uzun süreli ölçümlerde cihazın soğutulması sağlanır ve ısınan hava bu kanallardan dışarı atılır (Akyıldırım, 2005).



Şekil 4.6 AlphaGUARD detektörünün sol kısmından görünüşü



Şekil 4.7. AlphaGUARD detektörünün sağ kısmından görünüşü

AlphaGUARD detektörünün taşınmasını sağlayan kolun bulunduğu sol kısımda elektrik bağlantı girişleri yer almaktadır. Buradan harici sensör girişi için bir adet MINI-DIS-85 soketi, iki adet 4 milimetrelik soket, bilgisayar ile bağlantısını sağlayan bir adet ARES 232 girişi ve 12 Volt DC adaptör girişi yer almaktadır (Şekil 4.7).

AlphaGUARD detektörünün sağ kısmında ise radon gazı giriş paneli yer almaktadır ve bir koruyucu grid panelle kapatılmıştır. Bunun yanında detektörün menü kontrolünü sağlayan tuş takımı yer almaktadır (Şekil 4.8).

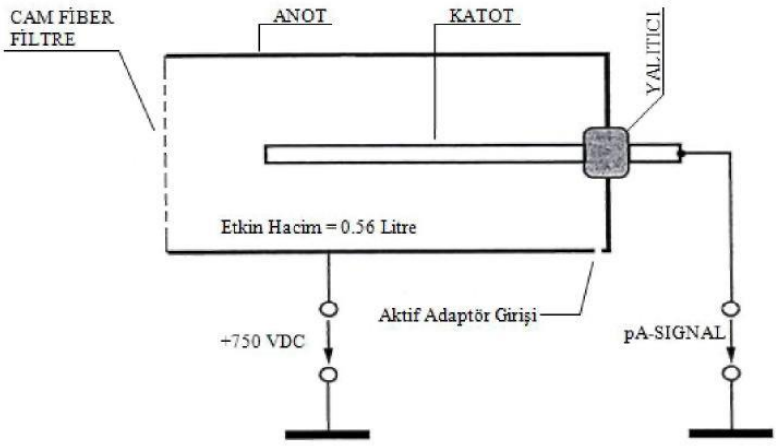


Şekil 4.8. AlphaGUARD detektörünün radon gazı giriş kısmı ve koruyucu panel

4.2.3. AlphaGUARD detektörünün iç yapısı

Bu detektörde radon konsantrasyonunu ölçen birimler, iyon çemberi ve detektörden gelen sinyalleri işleyip sayısal verilere dönüştüren sinyal işleme birimi DSP (Digital Signal Processing, Sayısal Sinyal İşleme) yer almaktadır. Bu çemberin uygun geometrisi ve akıllı sinyal (intelligant signal) özelliğinden dolayı sürekli radon

ölçümlerini 2- 2.10^6 Bq/m^3 aralığında ölçebilmektedir. Detektördeki iyon çemberinin içine giren radon geniş yüzeyli bir cam filtreden geçer ve böylece radon ürünlerinin iyonizasyon odasına girmesi bu filtreyle engellenir. Bu filtre aynı zamanda çemberin iç kısmını toz zerreciklerine karşı, kirlenme ve paslanmadan korur. AlphaGUARD detektörü puls sayma özelliğine sahip iyonizasyon çemberi (alfa spektroskopisi) içermektedir. Bu geniş aralığa rağmen cihazının kalibrasyon hata payı %3' tür. Bu silindirik yapıya sahip iyon çemberi 0.56 litrelik etkin bir hacim olmak üzere toplam 0.62 litrelik hacme sahiptir. Bu iyon çemberinin metal iç yüzeyleri 750 Voltluk DC gerilime sahiptir. Bu voltaj sayesinde detektörün etkin hacminde oluşan iyon çiftleri bir akım meydana getirir. Bu elde edilen akım değeri ise elektronik bir sistem tarafında işlenerek anlamlı verilere dönüştürülür. Bu detektörün iyon odasının şematik gösterimi Şekil 4.9' da gösterilmiştir. (Akyıldırım, 2005; Saphymo, 2014).



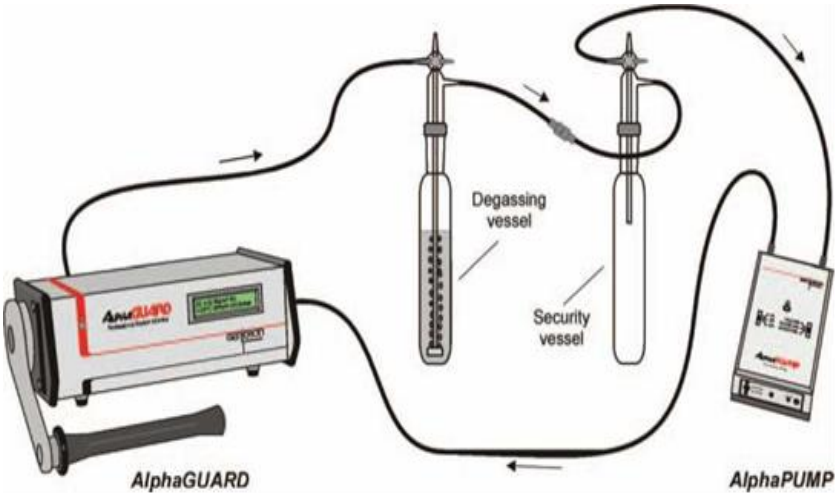
Şekil 4.9. AlphaGUARD detektörünün iyonizasyon çemberi (Akyıldırım, 2005)

4.2.4. Numune alımı

Çalışma kapsamında, su örneklemelerinde 500 ml' lik plastik pet şişeler kullanılmıştır. Kaynaklardan örnek almadan önce su yaklaşık 5 dakika dışarı akıtılmaya bırakılarak temiz su örneği elde edilmiştir. Temiz su elde edildikten sonra ağzına kadar boşluk kalmayacak şekilde doldurulmuş ve radon gazı kaçışını önlemek için şişelerin kapağı su akışı altında sıkıca kapatılmıştır. Su örnekleri ilkbahar da mayıs ve haziran ayları boyunca alınmış ve alınan su örnekleri hızlı bir şekilde Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü Nükleer Fizik laboratuarına götürülerek ölçümler gerçekleştirilmiştir.

4.2.5. Su numunelerinin analizi için ölçüm düzeneğinin hazırlanması

Sudaki radon konsantrasyonu ölçümü için, AlphaGUARD PQ 2000PRO detektörüne bağlanabilen AquaKIT ve pompadan (AlphaPUMP) oluşan sistem kullanılmıştır. Su örneklerindeki radon ölçümü Şekil 4.10 ve Şekil 4.11' de gösterilen sistem kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



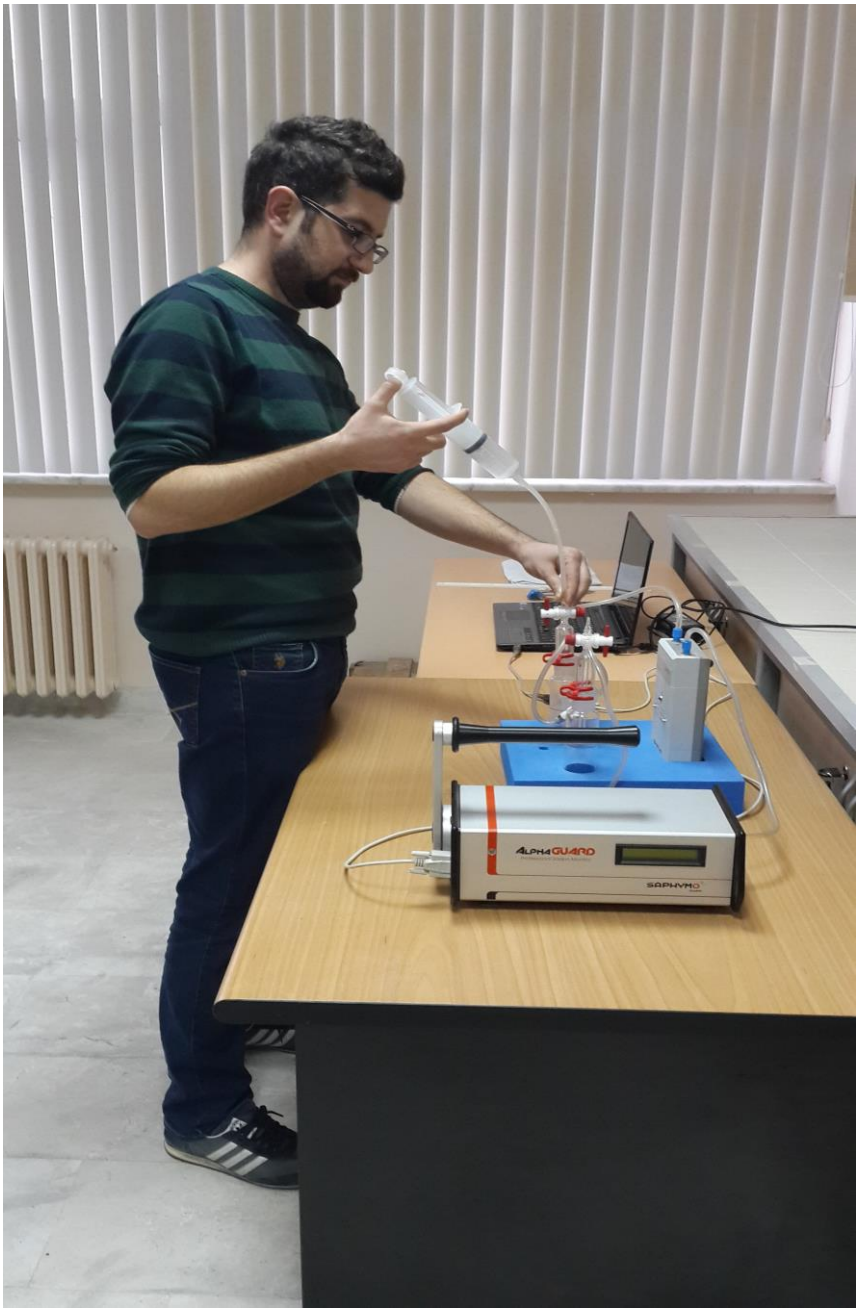
Şekil 4.10. Sudaki radon ölçüm düzeneği (Saphymo, 2014)

4.2.6. AlphaGUARD PQ 2000PRO ile sudaki radon ölçümü

- Ölçüm düzeneği Şekil 4.10' da verildiği gibi kurulur.
- AlphaGUARD sayacı açılır ve ölçüm şekli 1 dakikalık akış modu olarak ayarlanır (bu ayarlama AlphaGUARD menüsünden veya AlphaEXPERT yazılımı ile yapılabilir).
- Arıtma şişesini numune ile doldurmadan önce 10 dakika süreyle ölçüm yapılır. Bu ölçüm değeri doğal fon değeri olarak kaydedilir (bu değer (4.1) eşitliğindeki C_0 değeridir).
- Güvenlik ve arıtma şişelerinin başlıkları saat 3 konumuna getirilir.
- Plastik enjektör, ölçümü yapılacak su örneği ile doldurulur.
- Enjektör arıtma şişesinin düşey bağlantı başlığına takılır ve 100 ml'lik numune yavaşça arıtma şişesi içine boşaltılır.
- Arıtma ve güvenlik şişelerinin saat 3 konumundaki başlıkları hızlı

şekilde saat 6 konumuna getirilir. Böylece gaz geçişi başlar ve kapalı gaz çevrimi elde edilmiş olur.

- Plastik enjektörle su boşaltıldıktan sonra, arıtma şişesinin düşey bağlantı başlığından çıkarılır.
- Pompanın (AlphaPUMP) performans seviyesi "0.5 litre/dakika" hava akış oranına ayarlanır ve pompa açılır. Böylece ölçüm başlamış olur.
- 10 dakikalık döngü işleminden sonra AlphaPUMP kapatılır, fakat AlphaGUARD cihazı radon ölçümünün devam etmesi için 20 dakika daha açık bırakılır.
- Ölçümü yapılan su örneği arıtma şişesi içinden boşaltılır ve düzenek tekrar kurulur. AlphaGUARD'ın arka kısmında bulunan aktif adaptörün tüp bağlantısı kesilir.
- Pompanın performans seviyesi "1 litre/dakika" hava akış oranına ayarlanır ve açılır (ölçüm düzeneği ortam havası ile temizlenir).
- Ölçüm düzeneğinin temizlenme işlemi radon değeri ortam konsantrasyonuna erişinceye kadar devam eder. Bu aşamadan sonra başka bir örnek için ölçüm benzer şekilde başlatılabilir.
- Ölçüm boyunca depolanan verilerin bilimsel yorumlarının yapılabilmesi için AlphaGUARD bilgisayara bağlanır ve veri analiz yazılımı (AlphaEXPERT) ile birlikte çalışır (Kochowska ve ark., 2004; Saphymo, 2014).



Şekil 4.11. AlphaGUARD, AlphaPUMP ve AlphaKIT ile sudaki radon aktivite ölçümü

4.2.7. Sudaki radon aktivite hesaplamaları

Su örneklerindeki radon konsantrasyonu AlphaGUARD detektörünün gösterdiği değer ile belirlenir. Bu değer, su örneğinin gerçek radon konsantrasyonu değildir. Su içindeki radon konsantrasyonunu belirlemek için denklem (4.1) kullanılır (Saphymo, 2014). Detektör içine düzenek içindeki hava ile sürüklenmektedir ve havanın da bu değere katkısı gerçekleşmektedir. Bu nedenle numunenin içindeki radon konsantrasyonu hesabı aşağıdaki eşitlik kullanılarak yapılır.

$$C_{water} = \frac{C_{air}\left(\frac{V_{system} - V_{sample}}{V_{sample}} + k\right) - C_0}{1000} \qquad (4.1)$$

Burada,

C_{water} : Su örneğinin radon konsantrasyonu (Bq/l);

C_{air} : Ölçüm sonucunda cihazda belirtilen konsantrasyon değeri (Bq/m^3);

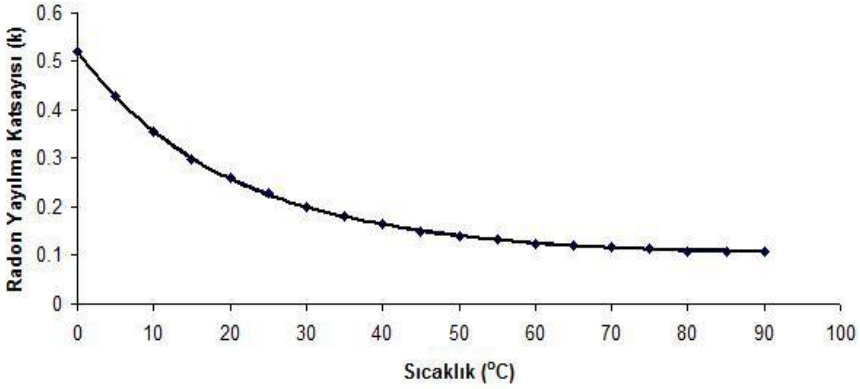
C_0 : Arka plan (doğal fon) konsantrasyonu (Bq/m^3);

V_{system} : Ölçüm düzeneğinin dahili hacmi (1102 ml);

V_{sample} : Su örneğinin hacmi (100 ml);

k : Radon difüzyon katsayısı' dır.

Radon difüzyon katsayısı (k), sıcaklığa bağlı olarak değişim göstermekte ve artan sıcaklık değerlerine karşılık azalmaktadır (Şekil 4.12). Bunun nedeni sıcaklık artışı ile radon gazının sıvı fazdan gaz faza geçişinin hız kazanmasıdır.



Şekil 4.12. Radon difüzyon katsayısının (k) değişim grafiği (Saphymo, 2014).

4.2.8. Ortalama radon konsantrasyonu hesaplamaları

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

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

4.2.9. Standart hata

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

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

denklemi kullanılarak yapıldı.

Standart sapma hesaplandıktan sonra, ortalama değerlerin standart hata hesabı ;

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

denklemi kullanılarak yapıldı (Akar, 2010).

4.2.10. Toprak Gazındaki Radon ve Toron Konsantrasyonları Ölçümü

AlphaGUARD detektörü ile toprak gazında radon ölçümleri Şekil 4.2' de görüldüğü gibi toprak gazı sondası ve AlphaPUMP aparatları kullanılarak yapılır. Toprak sondası ucu yüzeyden 1 m derinde olacak şekilde ve ucuna perçin çivisi takılıp dik olarak toprağa çakılır (Şekil 4.13). Bu toprak sondası demir çubuk ve kılcal sondadan oluşmaktadır. Kılcal boru, toprağa çakıldıktan sonra perçin çivisinin sondanın ucundan çıkmasını sağlayacak kadar aşağı itilip daha sonra aynı miktarda geri çekilir (Şekil 4.14). Böylece demir çubuğun ucu açılır ve toprak gazının girişi sağlanır. Çubuğun ucundaki conta kılcal sondayı sararak gelen tüm havanın kılcal sondaya girmesini sağlar. Kılcal sondanın üstündeki parça gazın detektöre ulaşması için kullanılan plastik boruyla birleştirilir. Toprak gazı sondası ile detektör arasında

sırasıyla su filtresi, radon ürünleri filtresi ve toprak gazını çekmek için AlphaPUMP toprak gazı radon ölçüm aparatları kullanılır. Detektörün giriş ve çıkış bağlantılarında kilitli plastik borular kullanılır. AlphaPUMP sayesinde toprak gazının detektör içindeki iyon çembere ulaşması sağlanır. Böylece radon izotopları (radon, Rn-222 ve toron, Rn-220) konsantrasyonları belirlenir. Sadece radon konsantrasyonunu belirlemek için iyon çemberin içi toprak gazı ile dolduktan sonra iyon çemberin giriş ve çıkış uçları kilitli borularla kapatılır ve bu sayede gazın iyon çemberinin içinde durması sağlanır. Toronun bozunması için ilk 10 dakikanın geçmesi beklenir. Bu süreden sonra 30 dakika boyunca dakikalık ölçümler AlphaGUARD tarafından kaydedilir. Ölçüm esnasında AlphaPUMP 0.5 litre/dakika modunda çalışmıştır. AlphaGUARD detektörü ise akış (flow) modunda ve 1 dakikalık ölçümler kaydetmiştir (Swakon ve ark., 2004). Aynı zamanda bu detektör sulardaki radon ölçümüne benzer olarak, radon konsantrasyonu, radon hata payı, sıcaklık, atmosfer basıncı ve nem oranı gibi farklı parametreleri de ölçmektedir.



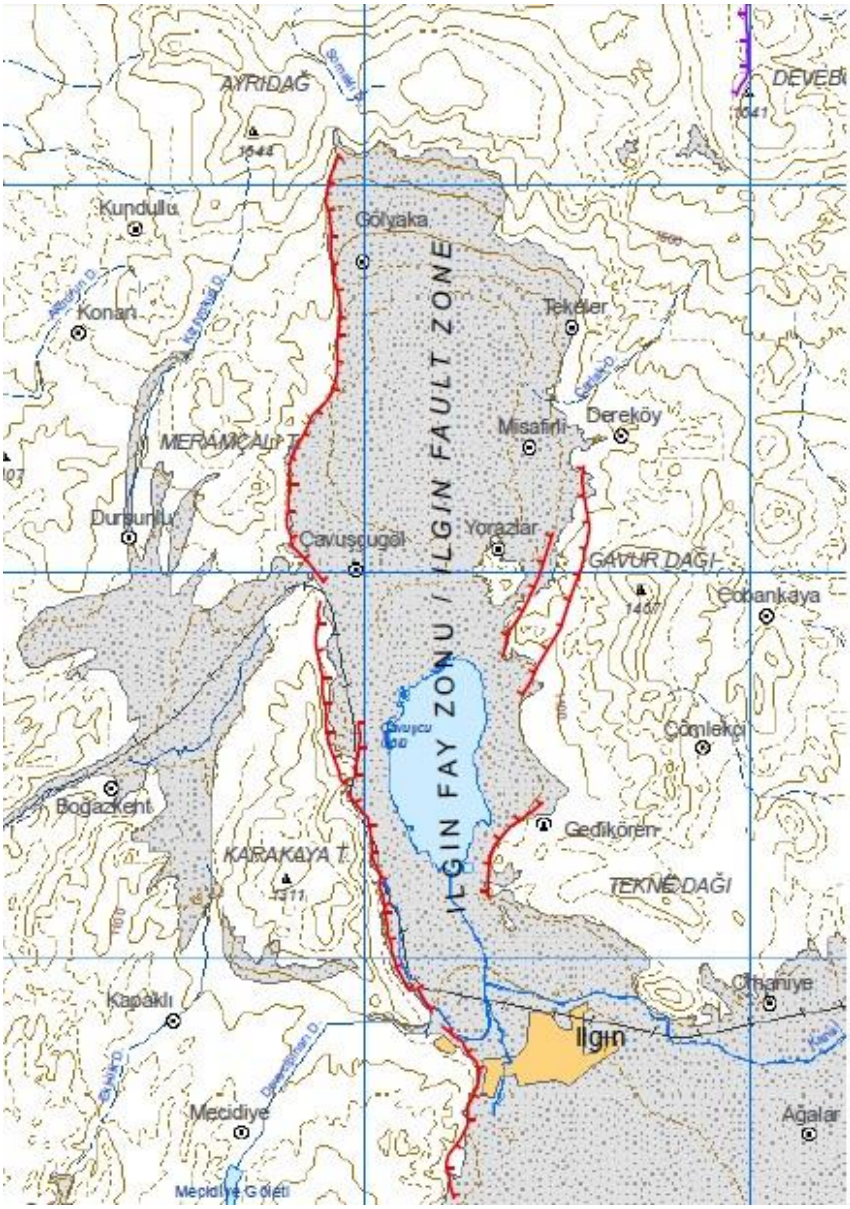
Şekil 4.13. Toprak gazı sondasının ölçüm alanına çakılması



Şekil 4.14. Toprak gazı sondasına kılcal borunun yerleştirilmesi

5. ÇALIŞMA BÖLGESİ VE JEOLOJİK YAPISI

Ilgın, İç Anadolu Bölgesi' nin batısında konumlanmış küçük ve büyük ölçekli graben (çökük) oluşumlarına sahiptir. Bu grabenlerin bazılarında bazı aktif faylar oluşmuştur. Bölgenin en önemli aktif normal faylarından birisi Şekil 5.1' de görüldüğü gibi Ilgın Fay Hattı' dır. Konya' nın bir ilçesi olan Ilgın 2018 km^2 alana sahiptir ve deniz seviyesinden yüksekliği yaklaşık 1030 m' dir. Birinci dereceden deprem bölgesi olan Ilgın ilçesi, Ilgın Fay Hattı civarında çok sayıda jeotermal su kaynaklarına sahiptir (Ilgın, 2014).



Şekil 5.1. Ilgın Fay Hattı ve civarındaki aktif faylar (MTA, 2014)

Ilgın bölgesi çeşitli kaya tiplerini içerir ve çok sayıda sıkışma ve gevşeme tektonik özelliklerinin etkisindedir. Bu bölgede ortaya çıkan kaya birimleri, yaşlı

metamorfik temel kayaları ve nispeten genç olan tortul kayalar olmak üzere iki ana sınıfa ayrılabilir. Temel kayaları ve bunları örten kayaçlar çoğunlukla değişmiş çakıl taşları, kum taşları ve kireç taşlarıdır. Bu kayaçlar Devonien ve Kratese yaşlıdır (440-140 milyon yıl önce oluşmuştur). Bu kayaçlar Hercinien ve Alpin dağ oluşum hareketlerine bağlı olarak kıvrımlanma ve faylanma gibi aşırı deformasyon gösterirler (Hüseyinca ve Eren, 2007). Daha genç ve nispeten gevşek sedimenter (tortul) kayaçlar (kireç taşı, kireçli toprak, kil taşı, şist, kum taşı, çakıl taşı ve çamur taşı) düzensiz olarak bu metamorfik kayaçları örterler (Koçyiğit, 2000). Koçyiğit ve arkadaşları linyit tabakalarının Miyosen döneminde gölsel ortamda oluştuğunu ifade etmektedirler. Bu kömür tabakaları düşük kalitelerine rağmen ekonomik öneme sahiptirler ve halen işletilmektedirler. Bölgedeki kömür tabakaları Orta ve Batı Anadolu' da gözlenen graben sistemlerinin içindeki gevşeme tektonik rejimlerine bağlı olarak şekillenmişlerdir. Ilgın Fay Hattı açık bir şekilde son zamanlarda oluşmuştur ve hala aktiftir. Bu fay hattı, kabaca kuzey-güney doğrultusunda uzanır ve yüzeyde 30 kilometre kadar izlenebilir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1 Sonuçlar

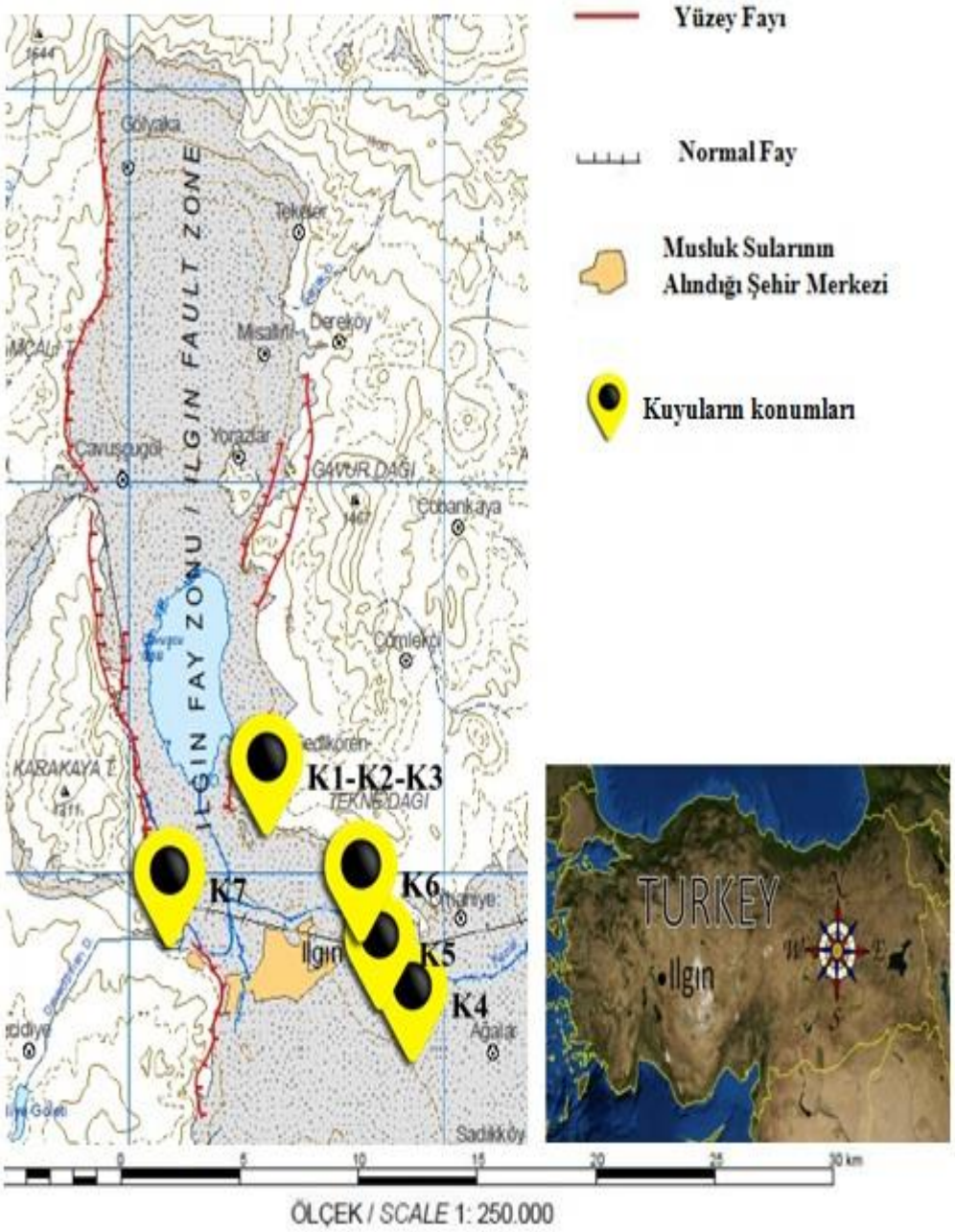
Ilgın Fay Hattı civarında bulunan ve Ilgın' ın şebeke suyunu besleyen 7 kuyudan ve ilçenin her bir mahallesindeki konutlardan 13 musluk suyu örneği toplanmış ve bu örneklerin radon aktivite seviyeleri belirlenmiştir (Şekil 6.1). Ayrıca, yine jeolojik fay hatları civarında bulunan yer altı kaynaklı 13 doğal kaynak suyu ve 11 noktada toprak gazı radon ve toron aktivite seviyeleri ölçülmüştür (Şekil 6.2). Kuyu suları, musluk suları, doğal kaynak suları ve toprak gazı konumları sırasıyla K, M, D ve T harfleri ile sembolize edilmiştir. 7 kuyudan 4 tanesi (K1, K2, K3 ve K7) fay hatlarına yakın noktalarda iken diğer kuyular (K4, K5 ve K6) nispeten fay hatlarına uzaktır. K1, K2, K3 bireysel üç kuyu olmasına rağmen suyun çıkış noktası tektir. Bu sebepten bu 3 kuyunun radon aktivite seviyesi tek değerle gösterilmiştir. Diğer kuyular için ölçülen radon aktivite seviyeleri her bir kuyu suyunun aktivitesini göstermektedir. Bu çalışmadan elde edilen radon aktivite seviyeleri musluk suları için 1.97-6.37 kBq/m^3 aralığında, kuyu suları için 1.1-10.69 kBq/m^3 aralığında ölçülmüştür. Bu sonuçlar sırasıyla Çizelge 6.1 ve Çizelge 6.2' de gösterilmiştir. Bunun yanında Ilgın' ın her mahallesindeki konutlardan musluk suyu alınmıştır ve bu mahallelerin isimleri Çizelge 6.3' te gösterilmiştir.

Çizelge 6.1. Musluk suları örneklerinin radon aktiviteleri, pH ve elektriksel iletkenlik değerleri ile bu suların tüketimine bağlı yıllık etkin dozlar

Numara	Radon aktivitesi (kBq m^{-3} ±SH)	Etkinn doz (µSv)	pH	Elektriksel iletkenlik (mS cm^{-1})
M1	2.54 ± 0.45	0,5	5,31	0,76
M2	1.97 ± 0.16	0,39	8,17	0,75
M3	3.35 ± 0.12	0,67	8,18	0,73
M4	2.52 ± 0.11	0,45	8,38	0,73
M5	2.58 ± 0.12	0,52	8,41	0,78
M6	5.49 ± 0.29	1,09	5,34	0,71
M7	2.82 ± 0.23	0,56	5,34	0,65
M8	2.68 ± 0.24	0,53	5,68	0,56
M9	6.37 ± 0.65	1,27	5,51	0,68
M10	6.22 ± 0.68	1,24	5,55	0,69
M11	4.84 ± 0.33	0,97	5,58	0,69
M12	5.26 ± 0.22	1,05	5,54	0,69
M13	3.84 ± 0.15	0,76	8,79	0,7

Ayrıca bu tablolarda musluk suyu ve kuyu suyu örneklerinin sırasıyla pH değerleri 5.31-8.79, 5.32-8.91 aralıklarında, elektriksel iletkenlikleri 0.56-0.78 mS cm^{-1},

0.56-0.83 mS cm^{-1} aralıklarında, içmeye bağlı yıllık etkin dozlar ise 0.39-1.27 μSv y^{-1}, 0.22-2.13 μSv y^{-1} aralıklarında ölçülmüştür. Bu suların radon aktiviteleri ile pH ve elektriksel iletkenlikleri arasında genel bir pozitif ilişki gözlenmemiştir.



Şekil 6.1. Ilgın Fay Hattı civarından alınan kuyu ve musluk suyu örneklerinin konumları (MTA, 2014)

Ayrıca Şekil 6.2' de görüldüğü gibi jeolojik fay hatları civarında bulunan 13 doğal kaynak suyu ve bu suların çıkış noktalarıyla yaklaşık aynı konumlarda 11 noktada toprak gazı radon ve toron aktivite seviyeleri ölçülmüştür. Bu ölçümlerde aynı zamanda yaklaşık aynı noktalardaki toprak gazı radon ve toron (Rn-220) seviyeleri ile doğal kaynak sularının radon seviyeleri arasındaki ilişki araştırılmıştır. Grafik 6.1' de ölçüm

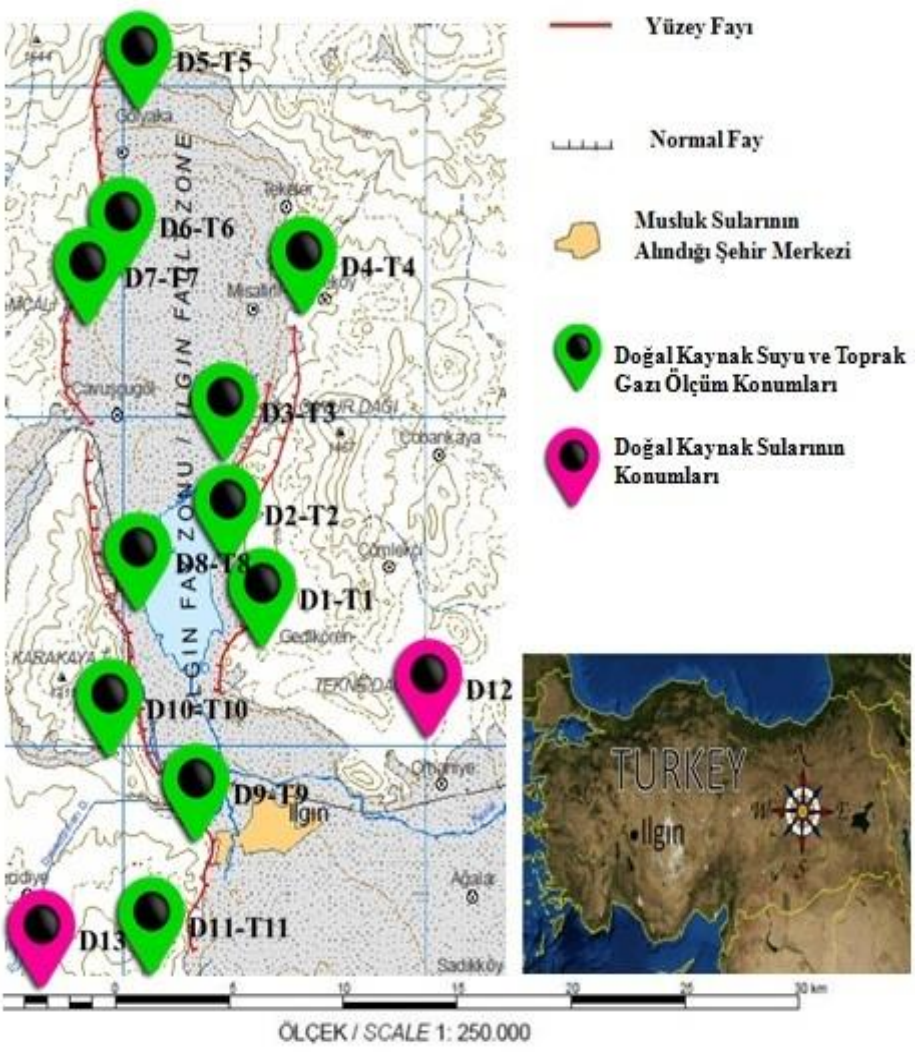
noktalarındaki toprak gazı radon ve toron ile doğal kaynak suları radon seviyeleri görülmektedir. Bu grafiğe göre, toprak gazı radon ve toron ile doğal kaynak suları radon seviyeleri arasında çok kuvvetli olmamakla birlikte pozitif bir ilişkinin olduğu görülmektedir. Ayrıca bu pozitif ilişki, toprak gazı radon ve doğal kaynak suyu radon seviyeleri, toprak gazı toron ve doğal kaynak suyu seviyeleri ile toprak gazı radon ve toron seviyelerinin ikili karşılaştırılmalarında da görülmektedir (Grafik 6.2, 6.3, 6.4). Toprak gazı ölçüm noktalarında radon ve toron aktivite seviyeleriyle birlikte, nem, sıcaklık ve hava basıncı değerleri de ölçülmüştür (Çizelge 6.4). Toprak gazı radon ve toron aktivite seviyeleri sırasıyla 0.22-64.75 kBq/m^3 ve 0.02-22.83 kBq/m^3 aralığında ölçülmüştür. En yüksek aktivite değerleri radon için 64.75 kBq/m^3 (T2) iken toron için 22.83 kBq/m^3 (T1) olarak ölçülmüştür. Bu sonuç, bu ölçüm noktalarının parçalı fay hatları bölgesinde yer alması ile ilişkilendirilebilir. En düşük radon aktivitesi 0.22 kBq/m^3 değeri ile, en düşük toron aktivitesi 0.02 kBq/m^3 değeri ile T5 noktasında ölçülmüştür. Bu durum ise bu noktadaki nem oranının en yüksek değere sahip olması ile açıklanabilir. Yaklaşık aynı noktalardaki toprak gazı radon ve doğal kaynak suyu radon aktiviteleri arasında bir karşılaştırma yapılırsa parçalı fay hatları bölgesindeki ölçüm noktalarının (T1, T2, T3, T4, D1, D2, D3, D4) nispeten daha yüksek değerlere sahip olduğu görülmektedir. Halkın sıkça tükettiği bu doğal kaynak sularındaki radon aktivitesi ile birlikte pH, elektriksel iletkenlik değerleri ve bu suların tüketimine bağlı olarak radon kaynaklı alınan yıllık etkin radyasyon dozu hesaplanmıştır. Bu sonuçlar Çizelge 6.5' te verilmiştir. Doğal kaynak suları için radon aktivite seviyesi 0.59-58.57 kBq/m^3 aralığında, pH değeri 5.37-8.77 aralığında, elektriksel iletkenlik değeri 0.35-0.82 mS cm^{-1} ve yıllık ektin doz değeri ise 0.11-11.71 μSv y^{-1} aralıklarında bulunmuştur.

Çizelge 6.2. Kuyu suları örneklerinin radon aktiviteleri, pH ve elektriksel iletkenlik değerleri ile bu suların tüketimine bağlı yıllık etkin dozlar

Numara	Radon aktivitesi (kBq m^{-3} ±SH)	Etkinn doz (μSv)	pH	Elektriksel iletkenlik (mS cm^{-1})
K1-K3	1.1 ± 0.17	0,22	8,91	0,83
K4	8.99 ± 1.24	1,8	5,32	0,61
K5	10.69 ± 0.39	2,13	5,41	0,68
K6	2.67 ± 0.13	0,53	7,15	0,77
K7	2.22 ± 0.005	0,44	8,51	0,56

Çizelge 6.3. Ilgın' da çeşme suyu numunesi alınan mahallelerin isimleri

Numara	Mahalle İsimleri
1	Camiatik Mahallesi
2	Ucarı Mahallesi
3	M.Egemenlik Mahallesi
4	Fatih Mahallesi
5	Fahrettin Altay Mahallesi
6	Şıhcarullah Mahallesi
7	Ilıca Mahallesi
8	Sahip Ata Mahallesi
9	Behlülbey Mahallesi
10	Esentepe Mahallesi
11	İstasyon Mahallesi
12	Ayvaddede Mahallesi
13	Şıhbedrettin Mahallesi



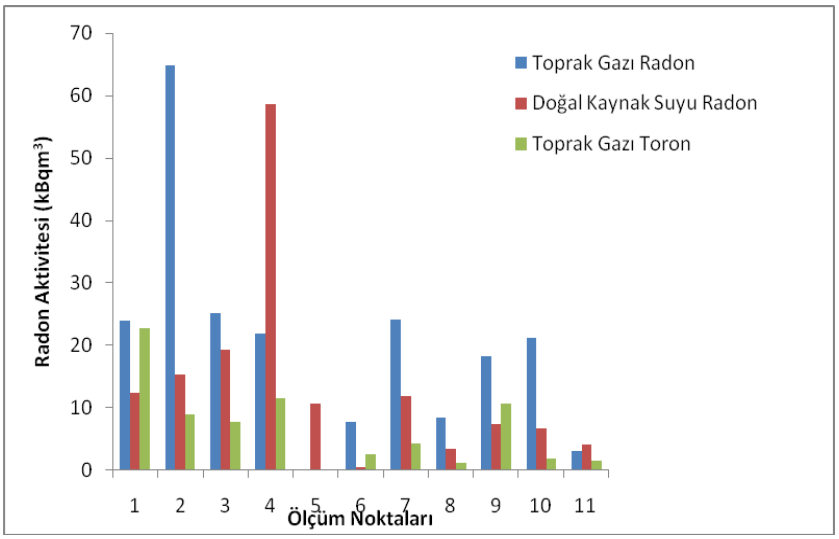
Şekil 6.2. Ilgın Fay Hattı civarından alınan toprak gazı ve doğal kaynak suyu örneklerinin konumları (MTA, 2014)

Çizelge 6.4. Toprak gazı radon ve toron aktiviteleri ile sıcaklık, hava ve nemin karşılaştırılması

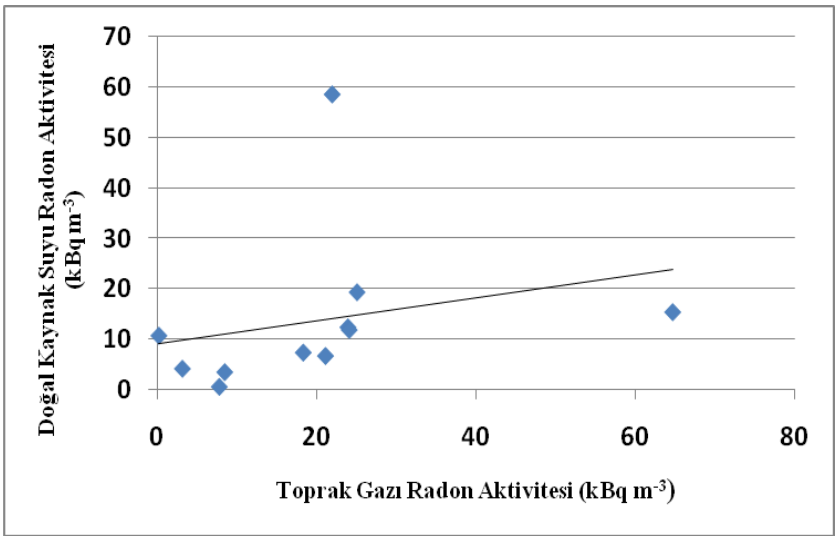
Numara	Radon aktivitesi (kBq m^{-3})	Toron aktivitesi (kBq m^{-3})	Sıcaklık (^{0}C)	Hava basıncı (mbar)	Nem (%)
T1	23,96	22,83	19,5	892,1	40,1
T2	64,75	8,9	19,1	893	42,1
T3	25,11	7,81	19,3	892,6	45,4
T4	21,98	11,52	18,6	892,9	49,6
T5	0,22	0,02	15,4	892,7	54,4
T6	7,81	2,6	18,2	893,7	43,8
T7	24,13	4,3	18,7	892,9	40,2
T8	8,49	1,18	19,5	892,5	37,2
T9	18,35	10,65	20,4	891,1	35,1
T10	21,14	1,9	22,1	891,1	36,6
T11	3,17	1,55	27,1	890,2	30

Çizelge 6.5. Doğal kaynak su örneklerinin radon aktiviteleri, pH ve elektriksel iletkenlik değerleri ile bu suların tüketimine bağlı yıllık etkin dozlar

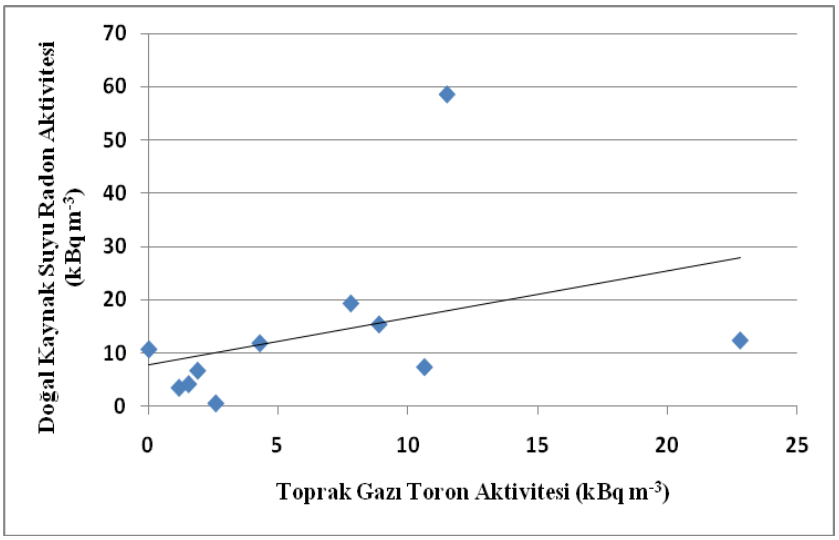
Numara	Radon aktivitesi (kBq m^{-3} ±SH)	Etkinn doz (µSv)	pH	Elektriksel iletkenlik(mS cm^{-1})
D1	12.39 ± 0.41	2,48	7,7	0,54
D2	15.40 ± 4.36	3,08	7,5	0,5
D3	19.34 ± 0.61	3,86	8,71	0,35
D4	58.57 ± 1.32	11,71	7,4	0,82
D5	10.72 ± 0.27	2,14	7,3	0,77
D6	0.59 ± 0.09	0,11	7,8	0,45
D7	11.87 ± 0.39	2,37	7,5	0,4
D8	3.51 ± 0.97	0,7	7,4	0,62
D9	7.38 ± 0.11	1,48	5,37	0,64
D10	6.71 ± 0.38	1,34	8,71	0,7
D11	4.19 ± 0.07	0,84	7,2	0,56
D12	1.00 ± 0.41	0,2	8,77	0,51
D13	17.27 ± 0.87	3,45	8,72	0,57



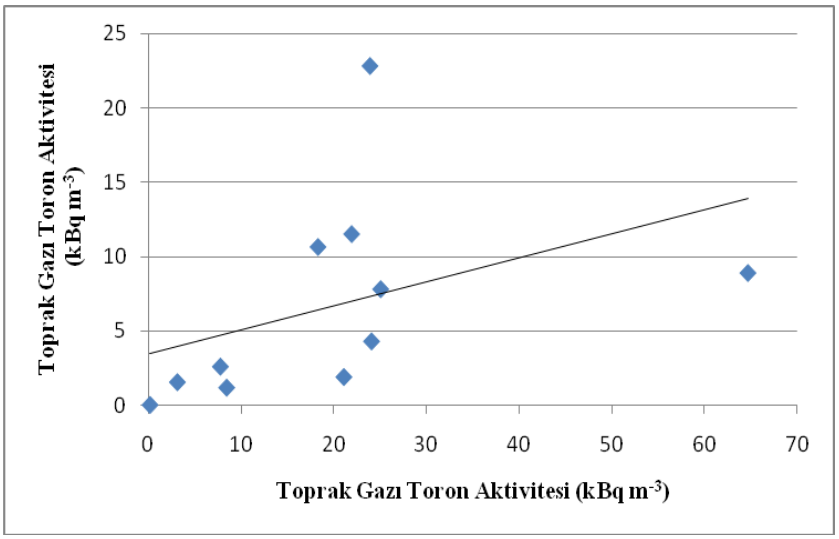
Grafik 6.1. Toprak gazı radon ve toron aktiviteleri ile doğal kaynak suyu radon aktivitileri



Grafik 6.2. Toprak gazı radon ve doğal kaynak suyu radon aktiviteleri



Grafik 6.3. Toprak gazı toron ve doğal kaynak suyu radon aktiviteleri



Grafik 6.4. Toprak gazı radon ve toprak gazı toron aktiviteleri

Çalışma bölgesindeki en belirgin tektonik yapılardan birisi Ilgın Fay Hattı' dır ve bu hat yüzeyde yaklaşık 30 kilometre izlenebilmektedir. Ayrıca bu hatta çok sayıda aktif halde bulunan faylar yer almaktadır ve bölgede küçük ve büyük ölçekli depremlere yol açmaktadır. Sıkışan ve genişleyen tektonik kuvvetler depremler öncesi, depremler esnası ve depremler sonrasında yer altı sularının radon aktivitesini değiştirebilir. Bölgedeki yer altı suları; doğal kaynak sularını, kuyu sularını ve buna bağlı olarak da Ilgın şebeke suyunu ve musluk sularını beslemektedir. Bölgedeki Ilgın Fay Hattı boyunca uzanan aktif fayların bu bölge civarındaki suların radon içeriğini etkileyebileceğine şüphe yoktur. Bu etki Grafik 6.1' de görülmektedir. Bu ilişkiyi daha net görebilmek için bu hat üzerinde sürekli radon ölçümleri alınması gerekmektedir.

Birleşik Devletler Çevresel Koruma Ajansı (United States Environmental Protection Agency, USEPA) içme sularında güvenlik limiti olarak radon aktivite seviyesinin maksimum değerini 11.1 kBq/m^3 olarak tavsiye etmektedir (USEPA 2014). Bu bölgedeki su örneklerinin ölçüm sonuçlarına göre musluk ve kuyu sularının radon aktiviteleri bu sınırın altında ölçülmüştür. Doğal kaynak suları için bu durum şöyledir. Sadece D1, D2, D3, D4, D7 ve D13 noktalarındaki radon aktiviteleri USEPA' nın tavsiye ettiği sınır değerlerin üstünde ölçülmüştür.

Bu çalışmada, Ilgın bölgesinde halk tarafından kullanılan yer altı ve içme sularının içme yoluyla tüketilmesine bağlı olarak alınan yıllık etkin dozlar UNSCEAR raporlarına göre hesaplanmıştır (UNSCEAR 2000). Bu raporda birim hacim başına sindirim yoluyla alınan yıllık etkin dozun tüketim oranının istatistiksel ağırlığı 3.5 nSv Bq^{-1} olduğu kabul edilmektedir ve musluk suyu tüketiminin yıllık 60 litre olduğu göz önünde bulundurulmaktadır (UNSCEAR 2000). Bu bölgedeki içme amaçlı kullanılan

yer altı suları (kuyu suyu ve doğal kaynak suyu) ve kuyu suları tarafından beslenen musluk sularının sindirim yoluyla tüketimine bağlı yıllık etkin doz değerleri minimum 0.11 μSv y^{-1}, maksimum 11.71 μSv y^{-1} olarak hesaplanmıştır.

6.2. Öneriler

Çalışma bölgesinde yer alan en belirgin tektonik yapı olan Ilgın Fay Hattı civarında yer altı suları ve toprak gazında radon aktivite ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Radon aktivite seviyesi ile jeolojik yapı yani aktif faylar arasında bir ilişki olduğu aşikardır. Zamana bağlı olarak sürekli radon ölçümlerinin alınması bu ilişkiyi gösterebilir. Ölçüm sayısının kısıtlı olması bu pozitif ilişkinin görülmesini hafif etkilemektedir. Bununla birlikte bu bölge üzerindeki bir diğer çalışma olan doktora tez çalışmasında, Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Prof. Dr. Veysel Zedef (Zedef, 2014) "bu pozitif ilişkinin görüldüğünü gösteren sonuçlar elde ettiklerini" bildirmiştir.

KAYNAKLAR

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

Akyıldırım, H., 2005, Isparta İlinde Radon Yoğunluğunun Ölçülmesi ve Haritalandırılması, Yüksek Lisans tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, 99.

Arya, A.P., 1999, Çekirdek Fiziğinin Esasları, Çeviren: Yusuf Şahin, *Aktif Yayın Dağıtım San. Tic. Ltd. Şti*., Erzurum, 27-43.

Baykara, O., İnceöz, M., Doğru, M., Aksoy, E., Külahcı, F., 2009, Soil radon monitoring and anomalies in East Anatolian Fault System (Turkey), *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 279 (1), 159-164.

Baykara, O., Karatepe, Ş., Doğru, M., 2011, Assessments of natural radioactivity and radiological hazards in constructions materials used in Elaziğ, Turkey, *Radiation Measurements*, 46 (1), 153-158.

Bem, Henryk., Plota, U., Staniszewska, M., Bem, E. M., Mazurek, D., 2014, Radon (Rn-222) in underground drinking water supplies of the Southern Greater Poland Region, *J Radioanal Nucl Chem*, 299, 1307-1312.

Bora, H., 2001, Radyasyon güvenliği, *Ankara Üniversitesi Dikimevi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu Yıllığı* , 2 (1), 91-98.

Calmet, D. ve ark., 2011, International standardization work on the measurement of radon in air and water, *Radiation Protection Dosimetry*, 145, 267-272.

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

Crocket, R. G. M., Gillmore G. K., Phillips, P. S., Denman, A. R., Groves-Kirkby, C. J., 2006, Radon anomalies preceding earthquakes which occured in the UK, *Sci. Total Environ*, 364, 138-148.

Demir, M., 2011, Nükleer Tıp Fiziği ve Klinik Uygulamaları, Üçüncü baskı, *İstanbul*, 2011, 249-261.

Duggal, V., Rani, A., Mehra, R., 2014, Measurements of soil-gas radon in some areas of northern Rajasthan, India, *Journal Earth System Science*, 123 (6), 1241-1247.

D'Alessandro, W., Vita F., 2003, Groundwater Radon Measurements in the Mt. Etna Area, *J. Environ Radioact*, 65, 187-201.

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

Erdoğan, M., Eren, N., Ozdemir, F., 2013, Measurements of radon concentration level in thermal waters in the region of Konya, Turkey, *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 49 (4), 567-574.

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.

Erees, F. S., Aytas, S., Sac, M. M., Yener, G., Salk, M., 2007, Radon concentrations in thermal water related to seismic events along faults in the Denizli Basin, Western Turkey, *Radiation Measurements*, 42 (1), 80-86.

Gillmore, G. K., Phillips, P., Denman, A., Sperrin, M., Pearce, G., 2001, Radon levels in abondoned 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.

Göksel, S. A., Köksal, E. M., Yaşar, S., Alkan, H., 1987, Radon Ölçümleriyle Depremlerin Önceden Saptanması, *Jeofizik*, 1, 176-182.

Gurler, O., Akar, U., Kahraman, A., Yalcin, S., Kaynak, G., Gundogdu, O., 2010 Measurements of Radon Levels in Thermal Waters of Bursa Turkey, *Fresenius Environ Bull*, 19, 3013-3017.

Hüseyinca, M. Y. ve Eren, Y., 2007, Ilgın (Konya) kuzeyinin stratigrafisi ve tektonik evrimi, *J. Fac. Eng. Arch. Selcuk Univ*, 23 (1-2), 83-95.

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

ICRP (International Commission on Radiological Protection), 2014, Radiological Protection against Radon Exposure, 43 (3), 35-43.

Ilgın Kaymakamlığı, 2014, htpp://www.ilgin.gov.tr. [Ziyaret Tarihi: 13 Kasım 2014].

Karahan, G., Özturk, N., Bayülken, A., 2000, Natural Radioactivity in Various Surface Waters in Istanbul, Turkey, *Water Research*, 34 (18), 4367-4370.

Karayiğit, A. I., Akgün, F., Gayer, R. A., Temel, A., 1999, Quality, Palynology, and Palaeoenvironmental Interpretation of the Ilgın Lignite, Turkey, *International Journal of Coal Geology*, 38, 219-236.

Karayiğit, A. I., Gayer, R. A., Ortac, F. E., Sarah, G., 2001, Trace Elements in the Lower Pliocene Fossiliferous Kangal Lignites, Sivas, Turkey, *International Journal of Coal Geology*, 47, 73-89.

Kearfott, K. J., 1989, Preliminary experiences with 222Rn gas in Arizona homes, *Health Physics*, 56 (2), 169-179.

Kemski, J., Klingel, R., Schneiders, H., Siel, A., Wiegand, J., 1992, Geological structre and geochemistry controlling radon in soil gas, *Radiation Protection Dosimetry*, 45 (1-4), 235-239.

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.

Kito, M. E., Kuhland, M. K., Dansereau, R. E., 1996, Direct comparison of three methods for the determination of radon in well water, *Health Physics*, 70, 358-362.

Kochowska, E., Mazur, J., Kozak, K. and Janik M., 2004, Radon in well waters in the Krakow area, *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 40 (3), 207-212.

Koçyiğit, A., Ünay, E. ve Saraç, G., 2000, Episodic graben formation and extensional neotetonic regime in west Central Anatolia and Isparta Angle: a case study in the Akşehir-Afyon Graben, Turkey. In: Bozkurt, E., Winchester, J. A. ve Piper, J. D. A. (eds), Tectonics and Magmatism in Turkey and the Surrounding Area. *Geological Society, London, Special Publications*, 173, 405-412.

Krane, S. K., 2001, Nükleer Fizik, Cilt 1, Çeviri Editörü: Başar Şarer, *Palme Yayın Dağıtım Pazarlama İç ve Dış Ticaret Ltd. Şti*., Ankara, 246-376.

Krishnakanta, S. A. ve Vallinayagam, G., 2009, Radioactive Element Distribution and Rare-Metal Mineralization in Anorogenic Acid Volcano-plutonic Rocks of the Neoprotenozoic Malani Felsic Province, Western Peninsular India, *Journal Geological Society of India*, 73, 837-853.

Kristiansson, K., Malmqvist, L., 1982, Evidence for nondiffusive transport of ^{222}Rn in the ground and a new physical model for the transport, *Geophysics*, 47, 1444-1452.

Kulalı, F., 2009, Toprak Gazında Radon Anomalileri ve Depremin İlişkilendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, 14-20.

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

Manisa, K., Erdogan, M., Topsakal, E. Ş., 2014, Measurements of Radon activitiy concentrations in groundwaters and soil gas near the Ilgın Active Fault Zone in Konya, Turkey, *Second East European Radon Symposium (SEERAS)*, Niş Sırbistan, 75.

Maussa, M. M., El Arabi, A. G. M., 2003, Soil radon survey for tracing active fault: a case study along Qena-Safaga road, Eastern Desert, Egypt, *Radiation Measurements*, 37 (3), 211-216.

MTA (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü), 2014, htpp://www.mta.gov.tr. [Ziyaret Tarihi: 20 Mart 2014].

Moldovan, M., Nita, D. C., Dinu, A. C., Dicu, T., 2014, Radon Concentration in drinking water and supplementary exposure in Baita-Şteimining area, Biher Country (Romania), *Radiation Protection Dosimetry*, 158 (4), 447-452.

Querol, X., ve ark., 1999, Coal Geology and Coal Quality of the Miocene Mugla Basin, Southwestern Anatolia, Turkey, *International Journal of Geology*, 41, 311-332.

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

Saç, M. M., Harmansah, C., Camgöz, B., Sozbilir, H., 2011, Radon Monitoring as the Earthquake Precursor in Fault Line in Western Turkey, *Ekoloji Dergisi*, 20 (79), 93-98.

Saphymo GmbH, 2014, htpp://www.saphymo.de., [Ziyaret Tarihi: 19 Aralık 2014].

Saphymo GmbH, AlphaGUARD AquaKIT el kitabı, 2014, Germany (Almanya).

Saphymo GmbH, AlphaGUARD SoilKIT el kitabı, 2014, Germany (Almanya).

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

Sorenson, J. A., Phelps, M. E., 1987, Physics in Nuclear Medicine, Second Edition, *Distributed in the United Kingdomby Grune & Stration, Ltd. 24/28 Oval Road*, London NW, 178-185.

Swakon, J., Kozak, K., Paszkowski, M., Gradzinski, R., Loskiewicz, J., Mazur, J., Janik, M., Bogacz, J., Horwacik, T., Olko, P., 2004, Radon concentration in soil gas around around local disjunctive tectonic zones in the Krakow area, *Journal Environmental Radioactivity*, 78 (2), 137-149.

Tabar, E., Yakut, H., 2014, Radon measurements in water samples from the thermal springs of Yalova basin, Turkey, *J. Radioanal Nucl Chem*, 299, 311-319.

TAEK (Türkiye Atom Enerjisi Kurumu) Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi, 2009, Tanısal Radyolojide Radyasyondan Korunma Kurs Notları, Küçükçekmece İstanbul, 7-19.

TAEK, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, http://www.taek.gov.tr (2014).

Tarakçı, M., Harmanşah, C., Saç, M., İçhedef, M., 2014, Investigation of the relationships between seismic activities and radon level in Western Turkey, *Applied Radiation and Isotopes*, 83, 12-17.

Tarim, U. A., Gurler, O., Akkaya, G., Kilic, N., Yalcin, S., Kaynak, G. ve Gundogdu, O., 2011, Evaluation of Radon Concentration in Well and Top waters in Bursa, *Radiation Protection Dosimetry*, 150, 207-212.

Topsakal, E. Ş., Yönet, O. A., Erdoğan, M., 2013, Konya' nın Ilgın termal bölgesindeki içme sularında radon konsantrasyonlarının belirlenmesi, *"VI.International Workshop on Nuclear Structure Properties (6.Uluslarası Nükleer Yapı Özellikleri Çalıştayı)*, 18-20 Eylül 2013, Karabük Turkey (Türkiye), 20.

Tsunomori, F., Tanaka, H., 2014, Anomalous change of groundwater radon concentration monitored at Nakaizu well in 2011, *Radiation Measurements*, 60, 35-41.

UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation), 1993, *UNSCEAR Sources and Effects of Ionizing Radiation United Nations Annex A, New York*, 33-89.

UNSCEAR, (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation), 2000, *UNSCEAR Exposure From Natural Radiation Sources Annex B, United Nations, New York*, 84-112.

USEPA, U.S. Environmental Protection Agency, Proposed Radon in Drinking Water Regulation, www.water.epa.gov/lawsregs/rulesregs/sdwa/radon/regulations.cfm [Ziyaret Tarihi: Aralık 2014].

Wang, X., Li, Y., Du, J., Zhou, X., 2014, Correlations between radon in soil gas and the activity of seismogenic faults in the Tangshan area, North China, *Radiation Measurements*, 60, 8-14.

Wichmann, H., Heinrich, J., Gerken, M., Kreuzer, M., Wellmann, J., Keller, G., Kreienbrock, L., 2002, Domestic radon and lung cancer-current status including new evidence from Germany, *International Congress Series*, 1225, 247-252.

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.

Zedef, V., Kişisel İletişim, 2014, Selçuk Üniversitesi Maden Mühendisliği Öğretim Üyesi.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Ekrem Şükrü TOPSAKAL
Uyruğu : T.C
Doğum Yeri ve Tarihi : Malatya, 10.06.1985
Telefon : 0(546) 887 7278
Faks : 0(332) 882 6267
e-mail : ekremtopsakal@hotmail.com

EĞİTİM

Derece		Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	:	Ilgın Anadolu Lisesi, Ilgın, KONYA	2003
Üniversite	:	Selçuk Üniversitesi, KONYA	2008
Yüksek Lisans	:	Selçuk Üniversitesi, KONYA	2015
Doktora	:		

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2004-2014	Ilgın Fen Eğitim Dershanesi	Fizik Öğretmeni

UZMANLIK ALANI

Nükleer Fizik Bilim Dalı

YABANCI DİLLER

İngilizce

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR

"Konya'nın Ilgın Termal Bölgesindeki İçme Sularında Radon Konsantrasyonlarının Belirlenmesi " Topsakal, E. Ş., Yönet, O. A., Erdoğan, M., 2013. VI. International Workshop on Nuclear Structure Properties (6.Uluslarası Nükleer Yapı Özellikleri Çalıştayı) isimli sözlü bildiri (Karabük Üniversitesi, 2013).

"Mesaurements of Radon Activitiy Concentrations in Ground Waters and Soil Gas Near The Ilgın Active Fault Zone in Konya, Turkey" Manisa, K., Erdogan, M., Topsakal, E. Ş., 2014 , Second East European Radon Symposium, SEERAS (2. Doğu Avrupa Radon Sempozyumu) isimli uluslararası sempozyumda sözlü sunum olarak sunulmuştur (Niş, Sırbistan, 2014).