

T.C.
BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

FİZİK ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

DİYARBAKIR'DA BAZI İÇME SULARINDA RADON KONSANTRASYON
SEVİYELERİNİN BELİRLENMESİ

Yonca DERVİŞOĞLU KOÇ

HAZİRAN - 2022

FİZİK ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

DİYARBAKIR'DA BAZI İÇME SULARINDA RADON KONSANTRASYON
SEVİYELERİNİN BELİRLENMESİ

Hazırlayan
Yonca DERVİŞOĞLU KOÇ

Danışman
Doç. Dr. Sultan ŞAHİN BAL

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Ekrem ALMAZ
Prof. Dr. Sezai YALÇIN
Doç. Dr. Sultan ŞAHİN BAL

HAZİRAN – 2022

ONAY

Yonca DERVİŞOĞLU KOÇ tarafından hazırlanan “**Diyarbakır’da Bazı İçme Sularında Radon Konsantrasyon Seviyelerinin Belirlenmesi**” adlı tez çalışması 30/06/2022 tarihinde yapılan sınavla aŐaĐıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile Bitlis Eren Üniversitesi Lisansüstü EĞitim Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Ekrem ALMAZ

(BaŐkan)

Doç. Dr. Sultan ŞAHİN BAL

(Danışman)

Prof. Dr. Sezai YALÇIN

(Üye)

İmza

Bu tezin kabulü, Lisansüstü EĞitim Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun .../.../...gün ve .../... sayılı kararı ile onaylanmıŐtır.

Doç. Dr. Mehmet Bakır ŐENGÜL
Enstitüsü Müdürü

BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI
ETİK BEYANI

Bitlis Eren Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre hazırlamış olduğum “**Diyarbakır’da Bazı İçme Sularında Radon Konsantrasyon Seviyelerinin Belirlenmesi**” adlı tezimin özgün bir çalışma olduğunu, tez hazırlanırken tüm aşamalarda bilimsel etik ilkelerine uygun davrandığımı, tez kapsamında sunulan tüm verileri bilimsel etik ilkelerine uygun elde ettiğimi, tezde faydalandığım tüm eserlere atıf yaptığımı ve kaynaklar kısmında bu eserleri gösterdiğimi beyan ederim. 30/06/2022

Yonca DERVİŞOĞLU KOÇ

İmza

ÖZET

DİYARBAKIR'DA BAZI İÇME SULARINDA RADON KONSANTRASYON SEVİYELERİNİN BELİRLENMESİ

Yonca DERVİŞOĞLU KOÇ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bitlis Eren Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Sultan ŞAHİN BAL

Haziran 2022, 36 sayfa

İnsanoğlunun yaşamı için oldukça önemli olan su, insan vücuduna alınırken beraberinde bazı radyoizotopları da taşımaktadır. Su ile insan vücuduna alınan en önemli radyoizotopların başında Radon-222 gelmektedir. Bu çalışmada, Diyarbakır genelinde, toplanan 31 farklı içme suyu örneği, radon aktivite konsantrasyonu açısından incelendi. Bu örneklerin radon aktivite konsantrasyonları, AlphaGuard aktif radon ölçüm sistemi kullanılarak belirlendi. Elde edilen değerler ile bazı doz hesapları yapıldı ve sonuçlar literatürdeki benzer çalışmaların sonuçları ile karşılaştırıldı.

Anahtar Kelimeler: Diyarbakır, Radon, Su, Radyasyon, AlphaGUARD

ABSTRACT

THE DETERMINATION OF RADON CONCENTRATION LEVELS IN SOME DRINKING WATERS IN DİYARBAKIR

Yonca DERVİŞOĞLU KOÇ

Master Thesis

Bitlis Eren University Graduate Education Institute

Department of Physics

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Sultan ŞAHİN BAL

June 2022, 36 Pages

Water, which is very important for human life, carries some radioisotopes with it while being taken into the human body. Radon-222 is one of the most important radioisotopes taken into the human body with water. In this study, 31 different drinking water samples collected throughout Diyarbakir were examined in terms of active radon activity concentration. The radon activity concentrations of these samples were determined using the AlphaGuard radon measurement system. With the obtained values, some dose calculations were made and the results were compared with the results of similar studies in the literature.

Keywords: Diyarbakir, Radon, Water, Radiation, AlphaGUARD

TEŞEKKÜR

Bu çalıőmanın gerçekleőtirilmesinde, değerli bilgilerini benimle paylaőan, kendisine ne zaman danıősam bana kıymetli zamanımı ayırıp sabırla ve büyük bir ilgiyle bana faydalı olabilmek için elinden geleni sunan, güler yüzünü ve samimiyetini benden esirgemeyen ve gelecekteki mesleki hayatımda da bana verdiği değerli bilgilerden faydalanacağımı düőündüęüm kıymetli ve danıőşman hoca statüsünü hakıyla yerine getiren Doç. Dr. Sultan Şahin BAL'a teőekkürü bir borç biliyor ve Őükranlarımı sunuyorum.

Yine çalıőmamın numune alma sürecinde verdikleri destek nedeniyle Diyarbakır Büyükşehir Belediyesi DİSKİ alıőşanlarına ve Gülcan TANTEKİN hanımefendiye teőekkürlerimi sunarım. Su numunelerinin ölçümleri aőamasında Bitlis'te evlerinde misafir eden ve desteklerini esirgemeyen Gülően ve Nazmi AğIRALI'ya teőekkürü bir borç bilirim.

Son olarak çalıőmamda desteğini ve bana olan güvenini benden esirgemeyen eőim Evren KOÇ'a ve kızım İlda Beljin KOÇ'a; ayrıca benden hiçbir zaman desteklerini esirgemeyen babam Ukkaő DERVİŞOğLU'na, annem Havahan DERVİŞOğLU'na ve diğer tüm aile fertlerime sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
SİMGELER DİZİNİ	viii
KISALTMALAR DİZİNİ	ix
1.GİRİŞ	1
1.2. Radyasyon ve Radyoaktivite	1
1.2.1. Doğal Radyasyon	3
1.2.2. Yapay Radyasyon.....	4
1.2.3. İyonlaştırıcı Radyasyon.....	4
1.2.4. İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon	4
1.2.5. Radyoaktivite	5
1.2.5.1. Birimler	5
1.2.5.2. Alfa (α) Parçacıkları	6
1.2.5.3. Beta (β) Parçacıkları	7
1.2.5.4. Gama (γ) Işınları.....	8
1.2.6. Radyoaktif Seriler	8
1.3. Radyasyon Ölçüm Cihazları	9
1.3.1. Gazlı Dedektörler	9
1.3.1.1. İyon Odası	10
1.3.1.2. Orantılı Sayaçlar	10
1.3.1.3. Geiger-Müller Dedektörleri.....	11
1.3.2. Sintilasyon Dedektörleri	11
1.3.3. Yarı İletken Dedektörleri	11
1.3.4. Nötron Dedektörler	12
1.4. Radon Gazı	12
1.4.1. Radon Gazının Tarihçesi.....	13

1.4.2. Radon Gazının Kimyasal Özellikleri	13
1.4.3. Radon Gazının Bulunduğu Ortamlar	15
1.4.3.1. Toprakta Radon	15
1.4.3.2. Yeraltı Sularında Radon	15
1.4.3.3. Sularda Radon	15
1.4.3.4. Atmosferde Radon.....	16
1.5. Diyarbakır Jeolojisi.....	17
2. MATERYAL VE YÖNTEM	19
2.1. Su Örneklerinin Toplanması	19
2.2. AlphaGuard Aktif Radon Ölçüm Sistemi	20
2.3. AlphaGuard Sistemi İle Su Örneklerinin Aktif Radon Seviyelerinin Belirlenmesi	20
2.4. Su Örneklerinde Radon Konsantrasyon Seviyesinin Hesabı	21
2.5. Yıllık Efektif Doz Hesabı	22
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	24
4. SONUÇ	31
5.KAYNAKLAR	32
ÖZGEÇMİŞ	37

ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE

Sayfa

1.1. Radyasyon terimleri ve özel birimler ile SI birimleri arasındaki ilişki	5
1.2. Radon ve izotoplarının yarılanma süreleri	14
2.1. Su örneklerinin alındığı lokasyonlar.....	19
3.1. Su örneklerinde ölçülen ^{222}Rn ve bazı atmosferik parametrelerinin değerleri	24
3.2. Su örneklerinin bazı doz hesapları.....	26
3.3. Diyarbakır'daki bazı içme suyu örneklerinin dünyanın farklı yerlerindeki değerlerinin karşılaştırılması	29

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Radyasyon ve tipleri	2
1.2. Radyasyon kaynakları.....	3
1.3. Dünya genelinde yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozları ve oransal değerleri.....	3
1.4. Alfa parçacığı.....	6
1.5. ^{238}U 'in alfa bozunmaları için enerji seviyeleri.....	7
1.6. Alfa, beta parçacıklarının ve gama ışınının geçirgenliklerinin temsili gösterimi.....	8
1.7. ^{238}U serisi.....	9
1.8. Radyasyon ölçüm cihazları çalışma prensibi.....	9
1.9. Gazlı dedektör.....	10
1.10. İyon odası dedektörü.....	10
1.11. Geiger Müller sayacı.....	11
1.12. Sintilasyon dedektörleri	11
1.13. Nötron dedektörü	12
1.14. ^{222}Rn izotopu ve 86 atom numarası ile periyodik cetvelde soy gazlarda yer alır	13
1.15. Radon gazının doğal süreci.....	14
1.16. Radonun toprak gazı ile hareketi sonucu yüzeye ulaşması	16
1.17. Diyarbakır jeoloji haritası [43]	18
2.1. Su numunesindeki Radon ölçüm sistemi (a), AlphaGUARD dedektörünün iyonizasyon odasının şematik çizimi (b) [45, 46].....	20
2.2. k değerinin sıcaklıkla değişimi	21
3.1. Su örneklerinin radon aktivite konsantrasyon değişimleri	25
3.2. D doz değerlerinin değişimi.....	27
3.3. D_{soluma} ve $D_{\text{soluma-akciğer}}$ doz değerlerinin değişimi.....	27
3.4. Yetişkinler, çocuklar ve bebekler için $D_{\text{iç}}$ doz değerlerinin değişimi.....	28
3.5. Yetişkinler, çocuklar ve bebekler için $D_{\text{iç-mide}}$ doz değerlerinin değişimi	28

SİMGELER DİZİNİ

Bq	Becquerel (Radyoaktivite Birimi)
Ci	Curie (Radyoaktivite Birimi)
Kg	Kilogram
g	Gram
Sv	Sievert (Doz Birimi)
α	Alfa parçacığı
β	Beta parçacığı
γ	Gama ışını
cm	Santi Metre
mm	Mili Metre
ml	Mili Litre
mSv	Mili Sievert (10^{-3})
μ Sv	Mikro Sievert (10^{-6})
nSv	Nano Sievert (10^{-9})

KISALTMALAR DİZİNİ

EPA	A.B.D. Çevre Koruma Ajansı
WHO	Dünya Sağlık Teşkilatı
UNSCEAR	Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi



1. GİRİŞ

Doğal radyasyon, kozmik radyasyonu ve doğal olarak oluşan radyonüklidlerin bozunmasından kaynaklanan radyasyonu içerir. Doğal radyonüklidler, yer kabuğundaki ilkel radyoaktif elementleri, bunların radyoaktif bozunma ürünlerini ve kozmik radyasyon etkileşimleri tarafından üretilen radyonüklidleri içerir. Primordial radyonüklidlerin yarı ömürleri dünyanın yaşıyla karşılaştırılabilir. Kozmojenik radyonüklidler, öncelikle atmosferde olmak üzere kozmik ışınlar tarafından kararlı nüklidlerin bombardımanı ile sürekli olarak üretilir [1].

Jeolojik yapıya, coğrafi konuma, radyo-kimyasal duruma ve radyoaktif izotopların dağılımına göre değişen karasal kaynaklı doğal radyoaktivite seviyesi; karasal kökenli olan ^{40}K , ^{238}U ve ^{232}Th gibi radyo-nüklidler, kayalarda ve topraklarda yüksek konsantrasyonlarda bulunurlar. Doz oranları ise bölgeden bölgeye farklılık gösterirler [2].

En önemli doğal radyoaktivite kaynağı ise, radon olarak bilinen nadir bir gazdır. Uranyum (^{238}U) bozunmasının ürünlerinden biri olan radon, hiçbir kimyasal reaksiyona katılmayan 'inert bir gazdır'. Radonun kendi radyoaktif bozunmasının insanlar için zehirli gazlar üretmesi gerçeği olmasaydı, bu onu tamamen zararsız hale getirirdi. Üzerinde yaşadığınız toprağın doğası, evinizi inşa etmek için kullanılan inşaat malzemeleri ve klimanın kalitesi gibi etkenler radon maruziyetini belirlemede çok önemli faktörlerdir [3].

1900 yılında Dorn tarafından keşfedilmesinden bu yana, radon ve onun nesli üzerine yapılan çalışmalar meteoroloji, jeofizik, maden arama ve radyasyon sağlığı etkileri gibi çok çeşitli bilimsel alanlara katkıda bulunmuştur [4].

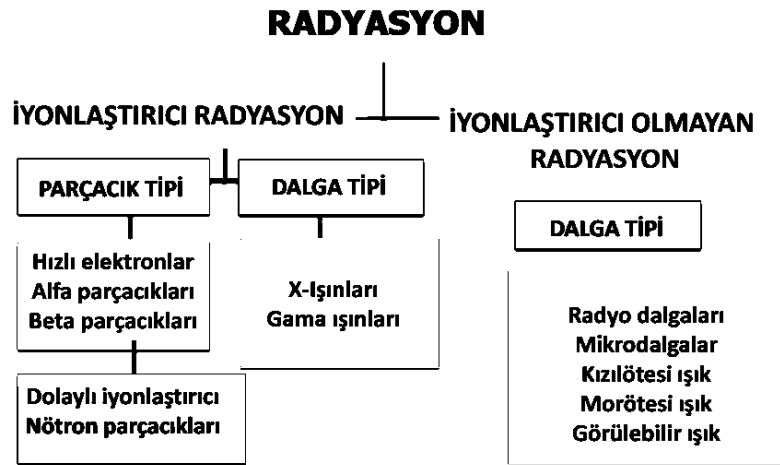
Bu çalışmada Diyarbakır ilinin içme sularındaki ^{222}Rn konsantrasyonu belirlenerek; radyoaktif dozun sudaki hesapları yapılmış ve Diyarbakır ilinde yaşayan insanların sulardaki bu doza yıllık ne kadar oranda maruz kaldıkları tespit edilmiştir.

1.2. Radyasyon ve Radyoaktivite

Toprak, su, hava, bitki örtüsü, besin maddeleri ve yapı malzemeleri gibi çevrede doğal olarak bulunan diğer birçok radyoaktif madde, vücudumuzu dışarıdan ve içeriden yayar. Çeşitli topraklar, kilogram başına ortalama 500 Bq doğal olarak oluşan radyoaktif madde içerir. ^{40}K , ^{226}Ra ve ^{232}Th en önemli radyoizotoplardır. Uranyum (^{238}U , ^{235}U) ve toryumdan (^{232}Th) parçalanması (bozunması) sonucu oluşan radon, insanları etkileyen en önemli gazdır. Karasal radyasyon ve kozmik ışınların yıllık ortalama dozu, dünya ortalaması olan 2,4 mSv [5].

Radyasyon ‘‘atomlardan enerji salınması’’ şeklinde tanımlanabilir. Doğadaki her nesne atomlardan oluşur. Atomlar maddenin yapı taşlarıdır. Atomların bir araya gelmesiyle moleküller oluşur. Atomlar ve moleküller, hareketlerinden dolayı kinetik enerjiye veya yapılarından dolayı potansiyel enerjiye sahiptir. Atomlar ve moleküller enerjiyi emebilir veya serbest bırakabilir. Bu onların kinetik ve potansiyel enerji konumlarının değişmesine neden olur [6].

Radyasyon, enerjinin parçacıklar veya elektromanyetik dalgalar yoluyla aktarılmasıdır. Radyasyonu sınıflandırmak için üç ana parametre kullanılır: enerji, tip ve radyasyon kaynağı. Radyasyon, yüksek hızlı parçacıkların ve elektromanyetik dalgaların enerjisi olarak tanımlanır; iyonlaştırıcı radyasyon ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olmak üzere iki kategoriye ayrılır. İyonlaştırıcı radyasyon iki kategoriye ayrılır: kütleli parçacık radyasyonu ve foton enerji dalgası özelliklerine sahip elektromanyetik radyasyon. Alfa (α) ve beta (β) parçacıkları, elektronlar, protonlar ve nötronlar, iyonlaştırıcı radyasyonun parçacık tiplerini oluşturur [7].



Şekil 1.1. Radyasyon ve tipleri [4]

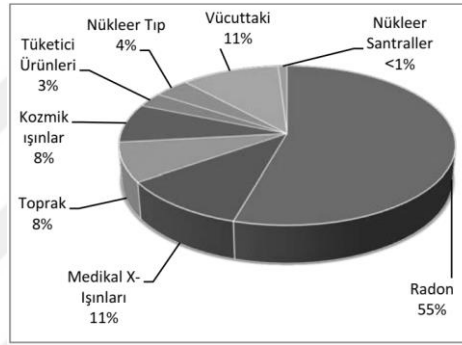
Yeryüzündeki tüm canlılar ve cansız varlıklar hava, su, toprak ve hatta kendi vücutlarındaki doğal radyasyon kaynaklarına ve insanların her gün ürettiği yapay radyasyon kaynaklarına maruz kalmaktadır. Doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalma %80, insan yapımı radyasyon kaynaklarından maruz kalma %20'dir [7].

Maruz kaldığımız radyasyonun %80'i doğal kaynaklardan gelmektedir. Radyasyonun olası sağlık etkilerini değerlendirmek amacıyla kurulan Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi'ne (UNSCEAR) göre, doğal radyasyon; kozmik radyasyon, karasal radyasyon (terrestrial), solunan radyasyon (inhalasyon) ve yiyeceklerle alınan radyasyon (ingestion) olmak üzere 4 ana başlık altında kontrol ediliyor [8].

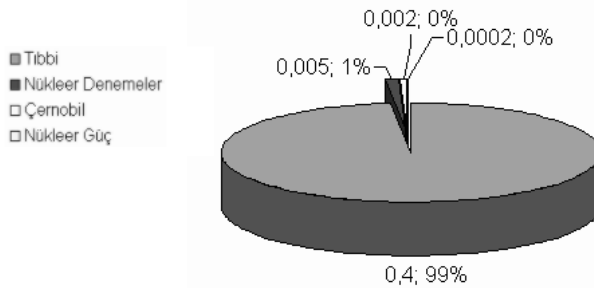
1.2.1. Doğal Radyasyon

Doğal radyoaktivite, evrenin varoluşundan itibaren doğal radyonüklidler nedeniyle hayatımızdadır [9]. ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra ve ^{40}K gibi bu radyonüklidler toprak, sediman, kayalar, kumsallar, hava, bitki örtüsü, nehirler ve okyanuslar gibi tüm jeolojik oluşumlarda, hatta yapı malzemelerimizde ve evlerimizde bile bulunabilir [10]. Çevredeki doğal radyasyonun ana bileşenleri, dünyanın oluşumundan beri var olan uranyum (^{238}U), toryum (^{232}Th) serisi radyonüklidler ve ^{40}K çevresel radyasyon, diğeri ise kozmik radyasyondur [11].

Bir yerin doğal radyoaktivite düzeyi, o bölgenin coğrafik konumuna ve jeolojik yapısına bağlı olarak değişkenlik gösterebilir [12].



Şekil 1.2. Radyasyon Kaynakları



Şekil 1.3. Dünya genelinde yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozları ve oransal değerleri

1.2.2. Yapay Radyasyon

Yapay radyasyon, tıbbi, tarımsal ve endüstriyel amaçlar için kullanılan γ -ışınları ve yapay radyoaktif malzemelerin neden olduğu radyasyona maruz kalmadır. Bunlardan tıbbi uygulamalar en önemli nedendir; yapay radyasyon kaynaklarının %95'inden fazlasını oluşturur. Yapay radyasyondan halka verilen dünya ortalama yıllık radyasyon dozu 0,3 mSv'dir [13].

Yapay radyasyon çeşitleri; tıbbi uygulamalar, tanısal radyoloji, nükleer tıp, radyoterapi, endüstriyel uygulamalar, nükleer serpinti, nükleer güç santralleri ve tüketici ürünleridir [14].

1.2.3. İyonlaştırıcı Radyasyon

İyonlaştırıcı radyasyon, iyonlaşabilir atomlardan veya moleküllerden elektronları uzaklaştırmak için yeterli enerjiye sahip herhangi bir radyasyon türüdür. Bununla birlikte, farklı iyonlaştırıcı radyasyon türlerinin farklı biyolojik etkileri gözlemlenmiş olup, yüksek derecede biyolojik hasara neden olabilir [15].

İyonlaştırıcı radyasyon çalışmalarında, zararlı biyolojik etkilerin belirlenebilmesi ve sonuç çıkarılabilmesi için radyasyon miktarının bilinmesi gerekir. Bu amaçla geliştirilen ölçüm yöntemi için öncelikle radyasyon miktarını ölçmek için kullanılan birimler çizelge 1.1'de verilmiştir [16].

1.2.4. İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon

İyonlaştırıcı olmayan radyasyon, iyonlaştırıcı radyasyondan çok daha az enerjilidir ve maddeden geçerken yüklü iyonlar oluşturmak yerine moleküllerin ve atomların döngüsel, titreşimsel veya elektronik değerliklerini değiştirme yeteneğine sahiptirler. Ancak iyonlaştırıcı olmayan radyasyonun canlı organizmalar üzerindeki zararlı etkileri üzerine yapılan araştırmalar günümüzde de devam etmektedir. Bununla birlikte, farklı iyonlaştırıcı olmayan radyasyon türlerinin canlı organizmalar üzerinde farklı etkileri olduğu gözlemlenmiştir [17].

İyonlaştırıcı olmayan radyasyon çeşitleri; radyo dalgaları, mikro dalgalar, kızıl ötesi, görülebilir ışık ve kısmen mor ötesi ışıktır.

Çizelge 1.1. Radyasyon terimleri ve özel birimler ile SI birimleri arasındaki ilişki

TERİM	BİRİMİ		DÖNÜŞÜMÜ
	ESKİ	YENİ	
AKTİVİTE	Curie (Ci) : $3,7 \times 10^{10}$ parçalanma / 1 s	Becquerel (Bq) : 1 parçalanma / 1 s	$1\text{Ci}=3,7 \times 10^{10}\text{Bq}$ $1\text{Ci}=37\text{GBq}$
IŞINLANMA DOZU	Röntgen (R) : Normal hava şartlarında (0°C ve 760 mm Hg basıncı) havanın 1 kg'ında $2,58 \times 10^{-4}$ Coulomb'luk elektrik yükü değerinde (+) ve (-) iyonlar oluşturan x veya γ radyasyonu miktarıdır.	Coulomb / kilogram (C/kg) : Normal hava şartlarında 1 kg'ında 1 coulomb'luk elektrik yükü değerinde (+) ve (-) iyonlar oluşturan X veya γ radyasyonu miktarıdır.	$1\text{C/kg}=3876\text{R}$ $\text{RIR}=2,58 \times 10^{-4}\text{C/kg}$
SOĞURULMUŞ DOZ	Radyasyon dozu (RAD) : Işınlanan maddenin 1 kg'ında 10^{-2} Joule'lük enerji soğurulması meydana getiren herhangi bir radyasyon miktarıdır.	Gray (Gy) : Işınlanan maddenin 1 kg'ında Joule'lük enerji soğurulması meydana getiren herhangi bir radyasyon miktarıdır.	$1\text{Gy}=100\text{rad}$ $1\text{rad}=0,01\text{Gy}$
DOZ EŞDEĞERİ	Röntgen equivalent man : 1 Röntgenlik X veya g ışını ile aynı biyolojik etkiyi oluşturan herhangi bir radyasyon miktarıdır $\text{rem}=(\text{rad}) \times (\text{W}_R)^*$	Sievert (Sv): 1 Gy'lik X ve γ ışını ile aynı biyolojik etkiyi meydana getiren herhangi bir Sv= $(\text{Gy}) \times (\text{W}_R)$	$1\text{Sv}=100\text{rem}$ $1\text{rem}=0,01\text{Sv}$

1.2.5. Radyoaktivite

Radyoaktif; bazı kararsız elementler, dış etkenlerin yokluğunda kendiliğinden bozunur ve çevredeki ortama parçacık veya elektromanyetik radyasyon salarak daha kararlı hale gelir. Bu elementlere radyoaktif elementler denir [18]. Radyoaktif çekirdekler, kararlı hale gelirken alfa, beta parçacığı ve gama ışınları yayar [19].

1.2.5.1. Birimler

Birim zamandaki bozunmaya uğrayan çekirdek sayısına aktivite denir, A ile gösterilir. Aktivitenin birimi Becquerel'dır.

1 Bq = 1 saniyedeki bozunma sayısı.

1 Ci = 1 saniyedeki $7,3 \times 10^{10}$ bozunma = $7,3 \times 10^{10}$ Bq

Soğurulmuş doz, madde tarafından soğurulan dozu ifade eder. Birimi Gray'dir. Gray (Gy) = Gray, soğurulmuş doz için kullanılan birimdir ve soğurucu madde tarafından kg başına 1 joule enerji alınması olarak ifade edilir. Rad, soğurucu maddenin gram başına 100 erg enerji almasıdır. Soğurulmuş dozun eski birimidir.

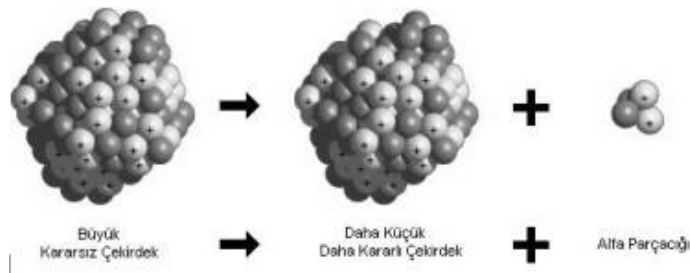
1 Gy = 100 Rad

Eşdeğer Doz, tüm vücuda yapılan ışınlamanın biyolojik etkisi olarak tanımlanır. Birimi Sievert'tir. Soğurulmuş dozun Q kalite faktörü ile çarpılmasıyla hesaplanır. Burada Q kalite faktörü radyasyon tipine bağlıdır [20].

1 Sv = 100 rem

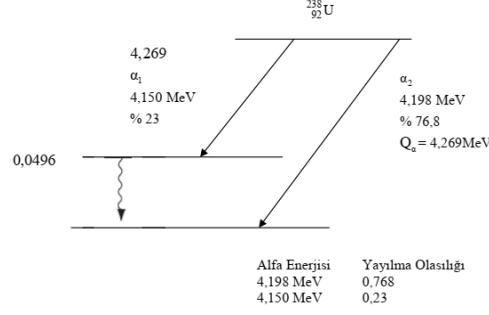
1.2.5.2. Alfa (α) Parçacıkları

Çekirdeğin kararsızlığına hem protonların hem de nötronların fazlalığı neden olduğunda, iki proton ve iki nötrondan oluşan bir alfa parçacığı yayarak bozunur. Bu nedenle, bozunan bir çekirdeğin atom numarası 2, kütle numarası 4 azalır. Rutherford, alfa parçacıklarının aslında helyum çekirdeği olduğunu kanıtladı. Bu bozunmada; proton ve nötron sayıları korunur ve toplam enerji de korunmalıdır [21].



Şekil 1.4. Alfa parçacığı.

Alfa bozunmasında ana çekirdek ${}^A_ZX^4$, 2α alfa atomu yayınlar, bozunma ürünü ${}^{A-4}_{Z-2}Y$ 'yi oluşturur. Alfa parçacığının yayınlanmasından sonra bozunma ürününün ana çekirdekten gelen Z tane elektronu mevcuttur, böylece Y bozunma ürününün fazladan 2 elektronu olur ve $[\frac{A-4}{Z-2}Y]^2$ olarak gösterilir [20].



Şekil 1.5. ${}^{238}\text{U}$ 'in alfa bozunmaları için enerji seviyeleri.

1.2.5.3. Beta (β) Parçacıkları

Beta parçacıkları, çekirdekteki proton veya nötron fazlalığı nedeniyle bir elementin çekirdeği tarafından yayılan yüksek enerjili elektronlardır. Bu parçacıkların yüksek enerjili olanları bile birkaç milimetre kalınlığında bir metal levha tarafından engellenebilir. Beta parçacıkları, enerjilerine göre farklı maddelere farklı derinliklere nüfuz eder. Bunların çoğu deriden geçemez, ancak yüksek enerjili olanlar geçebilir [22].

β^- bozunması kararsız bir çekirdekten elektron yayınlandığında görülür. Bu olay nötron fazlalığı olduğunda görülür. Teorik kabuller, çekirdekte elektron olmasını kabul etmez. Bu sebepten dolayı beta parçacığının nötronun protona dönüştüğü nükleer dönüşümden çıktığı kabul edilir.



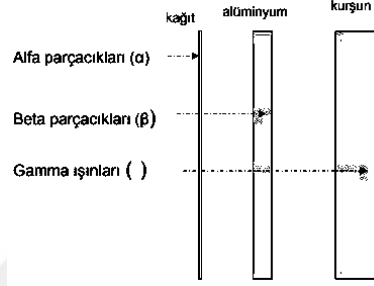
Burada ν , antinötrinodur. Çekirdekten çıkan yüksek enerjili elektronun e^- simgesiyle gösterilen diğer elektronlardan ayırt edilmesi için β^- simgesiyle gösterilir.

Beta artı bozunması (pozitron yayınlaması) ise, Nötron proton oranının düşük olduğu çekirdeklere enerjisel olarak alfa yayınlanması mümkün değildir, çekirdek pozitron yayınlamaya daha kararlı duruma geçer. Çekirdeğin içinde proton nötrona, pozitrona ve nötrinoya dönüşür [20].

$$p + n + e^+ \rightarrow \nu_e + \dots \quad (1.2)$$

1.2.5.4. Gama (γ) Işınları

Gama ışınları, radyoaktif bozunumdan sonra uyarılmış çekirdeklerden yayılan elektromanyetik radyasyondur [22]. Elektriksel olarak nötrdür ve kütlesi yoktur. Çekirdeğin yapısını değiştirmez, gama emisyonu çoğunlukla alfa ve beta bozunmalarından sonra olur [23].

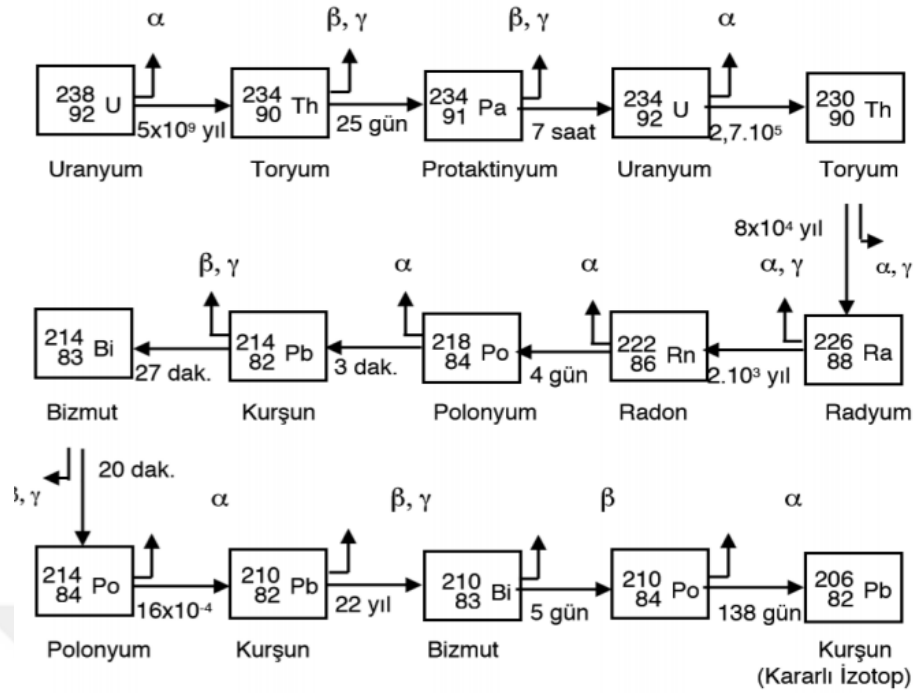


Şekil 1.6. Alfa, beta parçacıklarının ve gama ışınının geçirgenliklerinin temsili gösterimi

1.2.6. Radyoaktif Seriler

Radyoaktif ana çekirdeğin alfa (α), beta (β) ve gama (γ) bozunması sonucu kız çekirdeklerin olduğu seriler radyoaktif seriler olarak tanımlanır. Radyoaktif seriler Uranyum (^{238}U), Toryum (^{232}Th), Aktinyum ve Neptinyum serileri olmak üzere dört radyoaktif grup oluşturur. Bu gruplar, kararlı bir çekirdeğe kadar bozunurlar.

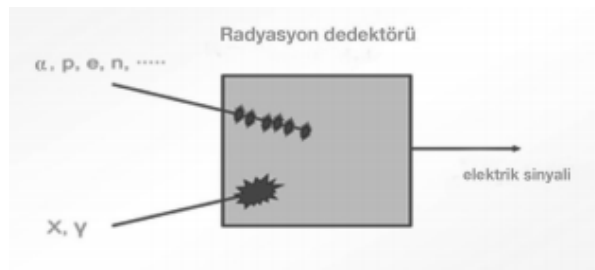
Atom numarası 82'den büyük olan parçacıklar genellikle radyoaktiftir. Toryum (^{232}Th) serisi kurşun 208'e kadar, Aktinyum serisi kurşun 207'ye kadar, Uranyum serisi kurşun 206'ya kadar, neptünyum serisi Bizmut 209'a bozunur, böylece kararlı bir duruma ulaşır.



Şekil 1.7. ^{238}U serisi.

1.3. Radyasyon Ölçüm Cihazları

Radyasyon dedektörleri bize ortamdaki radyasyonun varlığı veya yokluğu, belirli bir zamanda dedektör yüzeyine çarpan parçacıkların sayısı, her parçacığın enerjisi, radyoaktif kaynağın bozunma hızı, aktivitesi hakkında fikir verebilir [24].

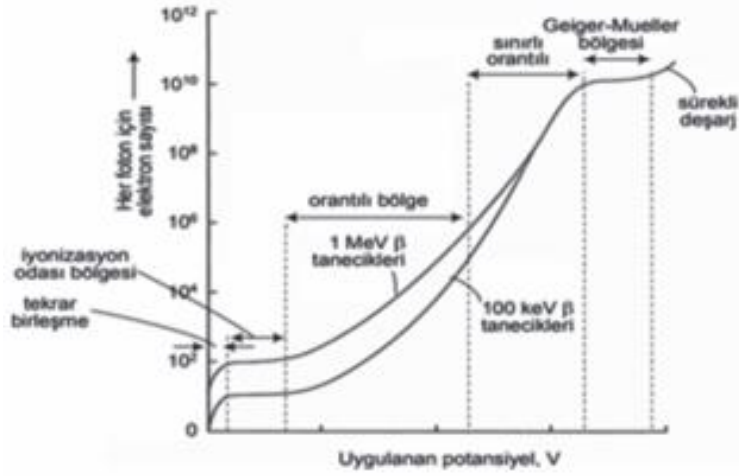


Şekil 1.8. Radyasyon ölçüm cihazları çalışma prensibi

1.3.1. Gazlı Dedektörler

Gazlı dedektörler, gaz moleküllerinin ortamdaki radyasyonla etkileşimi ile gazla dolu bir ortama sahip bir sistemdir. Radyasyonla etkileşim sonucu oluşan pozitif ve negatif yüklü iyonlar

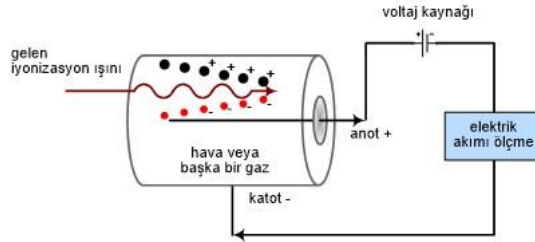
dedektör içerisinde zıt yönlerde hareket edecektir. Negatif yüklü iyonların hareketi, hassas aletler tarafından algılanabilen bir elektrik akımı oluşturur [25].



Şekil 1.9. Gazlı dedektör

1.3.1.1. İyon Odası

Bir iyon odası, gazla dolu bir kutu, pencere, merkezde bir hat, gösterge ve bir güç kaynağından oluşur [25]. Güç kaynağı, kabloyu negatif tutarak merkez kabloyu kalıcı ve pozitif olarak şarj eder. İyon odası tellerine uygulanan voltaj, diğer gazlı dedektörlere uygulanan voltajdan daha düşüktür. İyon odaları, sağlık sektöründe doz oranlarını ölçmek için, ışınım seviyelerini ölçmek için radyasyon alanı dedektörleri ve cep dozimetreleri olarak kullanılır [26].



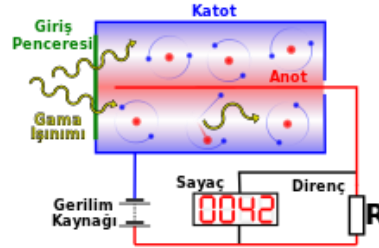
Şekil 1.10. İyon odası dedektörü

1.3.1.2. Orantılı Sayaçlar

Orantılı bir sayaçta, iyon odasından daha yüksek bir voltaj uygulanır. Bu yüksek voltaj nedeniyle, radyasyon tarafından üretilen akım, bireysel radyasyon sayımı olarak sayılabilecek kadar artar. Orantılı sayaçlar, radyasyon hakkındaki bilgilere erişmemizi sağlar. Orantılı bir sayaçta, dedektör içindeki ilk iyonizasyon üretilen akımla orantılıdır [27].

1.3.1.3. Geiger-Müller Dedektörleri

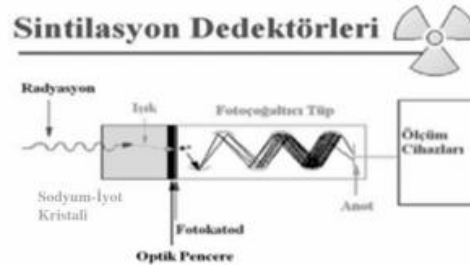
Bu dedektörler, yüksek voltajla (800 V → 1200 V) çalışan iyon odalarıdır. Yüksek voltaj nedeniyle bu dedektör radyasyon enerjisinden bağımsız bir sinyal üretir. Radyasyon ve radyoaktif kirlenmeyi tespit etmek için kullanılır [28].



Şekil 1.11. Geiger Müller sayacı

1.3.2. Sintilasyon Dedektörleri

Radyasyonun, madde ile etkileşimi nedeniyle açığa çıkan görünür ışığın tespiti için kullanılır. Sintilasyon dedektörleri kristaller, fotokatotlar ve dinotlar içerir. Kristal malzemenin gama radyasyonu ile etkileşimi nedeniyle, foto katoda çarpan ve elektron emisyonuna neden olan ışık yayılır. Sudaki radyasyon seviyelerini belirlemek ve tıbbi görüntüleme için de kullanılabilirler. Tüm nükleer tesislerde güvenlik amacıyla kullanılmaktadır [26].



Şekil 1.12. Sintilasyon dedektörleri

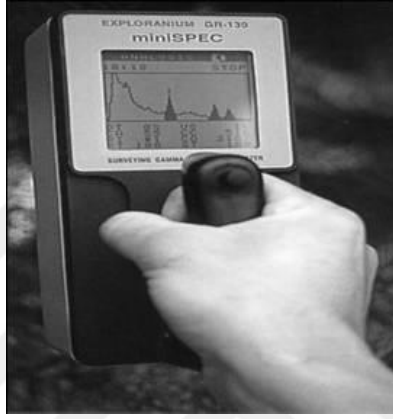
Sintilasyon dedektörlerinin çalışma prensibi ışıltama yapan bir madde (sintilatör) içerisinde geçen radyasyonun enerjisini uyarma vasıtası ile kaybetmesi (dE/dx) ve uyarılmış atom tarafından yayılan ışığın bir fotodetektör vasıtası ile algılanmasına dayanır [29].

1.3.3. Yarı İletken Dedektörleri

Gaz molekülleri gibi, katı atomlardaki elektronlar da iyonlaştırıcı radyasyonun etkisiyle değiştirilebilir. Yarı iletken dedektörlerde, iyonlaştırıcı radyasyon etkisi altında dedektör yapısının kristal yapısında boşluklar oluşur. Durum, iyonlaştırıcı radyasyon etkisi altında gazla doldurulmuş dedektörler tarafından pozitif yüklü gaz moleküllerinin oluşumuna benzer [24].

1.3.4.Nötron Dedektörleri

Nötronlar doğal olarak iyonizasyona veya uyarılmaya neden olmazlar ve atomların elektronlarıyla etkileşime girmezler. Tespit edilmesi zor olan nötronlar doğrudan ölçülemez. Nötronların tespit edilmesi için çekirdekle etkileşime girmesi gerekir. Nötronların çevre ile etkileşimi sonucu açığa çıkan ikincil radyasyon ölçülerek nötronlar hakkında bilgi elde edilebilir. Örnek vermek gerekirse ^{10}B çekirdeği nötron ile etkileşmesi sonucu açığa çıkan Li ve alfa parçacıklarının sistemde sebep oldukları iyonlaşma sonucu nötronlar algılanır [24].



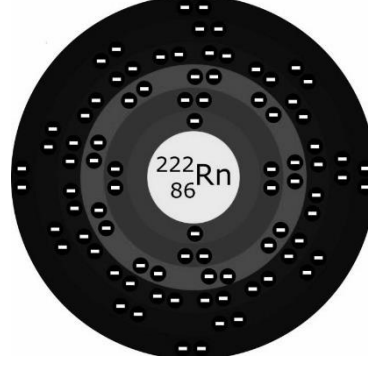
Şekil 1.13. Nötron dedektörü

1.4. Radon Gazı

Radon metalik olmayan bir elementtir, kimyasal sembolü "Rn", atom numarası 86, kütle numarası 222. Element ölçeğinin 8-A grubunda yer alan bir gazdır. Oda sıcaklığında renksiz ve kokusuz bir inert soygazdır. İnsan duyuları tarafından algılanamaz. Kimyasal olarak inert radon radyoaktiftir. Erime noktası -71 derece, kaynama noktası -61.7 derece. Oda sıcaklığında en yoğun gazlardan biridir. Soy gazların en yoğunudur. Suda çözünürlüğü düşüktür; ancak hafif inert gazlardan daha fazla çözünür. Flor gibi güçlü oksitleyiciler tarafından oksitlenebilir. Katı bir duruma soğutulduğunda sarı renkte yanar. Sıcaklık düşükçe yanık rengi turuncu ve kırmızıya döner. Radyum içeren çözeltiler veya eriyikler halinde salınır [30].

Dünyada en yaygın gazlardan biri radon gazıdır. Doğal ortamda kimyasal yöntemlerle tespit edilemeyecek kadar düşük seviyelerde bulunur. Doğada, radyoaktif bozunma zincirinin ortasında, yeryüzünde en yaygın radyoaktif maddeler olan toryum (^{232}Th) ve uranyum (^{238}U) kurşuna dönüştüğünde oluşur. Başka bir deyişle radon, doğal uranyumun yeryüzündeki radyuma ayrışmasıyla oluşan bir gazdır. 193 ila 229 arasında değişen atom kütlelerine sahip 37 radyoaktif izotopa sahiptir. Radon'un en kararsız en uzun yarı ömürlü izotopu "Radon-222", 3,8 günlük bir

yarı ömre sahiptir. Radyum ve uranyum (^{238}U) bozunma zincirine ait bir izotoptur. Aynı zincirdeki "toryum 232" ve "uranyum 235" izotopları da önemli radyoaktif aktinitlerdir. Kayalarda bulunan "Radyum-226" izotopunun bozunmasıyla doğal olarak elde edilir [30].



Şekil 1.14. Radon-222 izotopu ve 86 atom numarası ile periyodik cetvelde soy gazlarda yer alır.

1.4.1. Radon Gazının Tarihçesi

Radon, radyoaktif bir elementtir. Varlığının başlarında, parıldamak anlamına gelen Latince "nitens" kelimesinden esinlenerek "niton" olarak adlandırıldı. Ancak 1923'ten beri radon olarak adlandırılıyor [31].

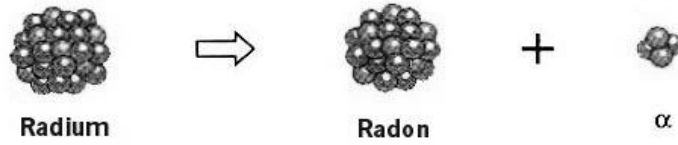
19. yüzyılda, radon içeren su kullanmanın sağlıklı olduğu konusunda bir yanlışlık vardı. Çikolata, ekmek, diş macunu gibi birçok ürüne radyum katılmaktadır. 1920'lerde madenciler üzerinde yapılan çalışmalar radon-kanser ilişkisini pekiştirmiş olsa da, 1950'lerde farelerde yapılan çalışmalarda açık bir epidemiyolojik bağlantı kurulmuştur [33].

1.4.2. Radon Gazının Kimyasal Özellikleri

Radon, ^{238}U bozunma zincirindeki ilk gaz halindeki izotoptur. Aynı zamanda, toron (^{220}Rn) ve aktinon (^{219}Rn), ^{232}Th ve ^{235}U bozunma serilerinde ilk gazlı izotoplar olarak ortaya çıktı. Üç kısa ömürlü izotop, alfa emisyonunda radonun bozunmasıyla oluşur (Şekil 4.2). Bunlar ^{218}Po (RaA), ^{214}Pb (RaB) ve ^{214}Bi 'dir (RaC). ^{214}Bi , yarı ömrü 163 s olan bir radyonüklid olan ^{214}Po 'ya (RaC') bozunur (Tablo 4.1). Bu izotopun aktivitesi ^{214}Bi 'ninkine eşittir. Bu üç radyoizotop, özellikle RaA ve RaC', solunum sistemi için radyolojik risk oluşturur, çünkü alfa radyasyonunun

solunum organları üzerindeki etkileri göz ardı edilemeyecek kadar büyüktür [33]. Atmosferdeki radyoaktif bir gazdır, biyosferde bol miktarda bulunur ve insan faaliyetlerinden ziyade doğal süreçler nedeniyle insanlara zarar verebilecek çevresel faktörlerden biridir.

Radon, toron ve bunların bozunma ürünleri, halkın maruz kaldığı en önemli radyasyon kaynaklarıdır. Bu radyoaktif kaynaklar, doğal ve yapay radyoaktiviteden alınan toplam etkili doz eşdeğerlerinin yaklaşık yarısına katkıda bulunur. Radon; doğal uranyumun kayalarda, toprakta ve suda radyoaktif bozunmasıyla oluşur [34].



Şekil 1.15. Radon gazının doğal süreci

Çizelge 1.2. Radon ve izotoplarının yarılanma süreleri

İzotop	Yarılanma Süresi (saniye)
^{211}Rn	52560
^{212}Rn	1440
^{213}Rn	$25 \cdot 10^{-3}$
^{214}Rn	$27 \cdot 10^{-6}$
^{215}Rn	$23 \cdot 10^{-7}$
^{216}Rn	$45 \cdot 10^{-6}$
^{217}Rn	$6 \cdot 10^{-4}$
^{218}Rn	$35 \cdot 10^{-3}$
^{219}Rn	3.96
^{220}Rn	55.6
^{221}Rn	1500
^{222}Rn	330350,4
^{211}Rn	52560

Aktinonun etkisi ihmal edilebilir düzeydedir. Bu da yarı ömrünün çok kısa ve doğal uranyumdaki $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ oranının 0,00725 gibi çok düşük seviyelerde olmasından kaynaklanmaktadır [35].

1.4.3. Radon Gazının Bulunduğu Ortamlar

1.4.3.1. Toprakta Radon

^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K gibi karasal radyasyona katkıda bulunan ilk radyonüklidlerin yoğunlukları toprak ve kaya çeşitliliğine göre değişir. Granit, fosfat kayası ve tuz kayası gibi volkanik kayalardaki radyonüklid aktivitesi çok yüksektir. Sedimanter kayalarda aktivite düşüktür. Topraktan havaya sızan radon, önemli bir iç mekân kirlilik faktörü gibi görünmektedir [33].

1.4.3.2. Yeraltı Sularında Radon

Yeraltı suyu, radyonüklidlerin çok çeşitli konsantrasyonlarda karşılaşılabileceği radyonüklidlerin ayrılmasını kolaylaştıran birincil ortamdır. Örneğin, yeraltı sularındaki uranyum (^{238}U) konsantrasyonları 10-3 ppb ile yüzlerce ppb arasında değişmektedir. Tersine, tüm toryum (^{232}Th) izotopları her zaman suda çok düşük konsantrasyonlarda bulunur [33].

Radon, yeraltı sularında çok yavaş hareket eder ve atmosfere kaçması sınırlıdır. 2-40 Bq/L arasında değişen bir konsantrasyona sahiptir. Radonun yeraltı sularındaki bulunma miktarı, ^{226}Ra 'nın bulunma miktarından daha fazladır. Bu iki radyo-izotop arasındaki radyoaktif denge, kaya ve toprağın alt tabakalarında daha yakındır. Yer kabuğunda bulunan radyoaktif katmanlarla temas halinde bulunan yer altı suları yüzey sularına göre daha radyoaktiftir [36].

1.4.3.3. Sularda Radon

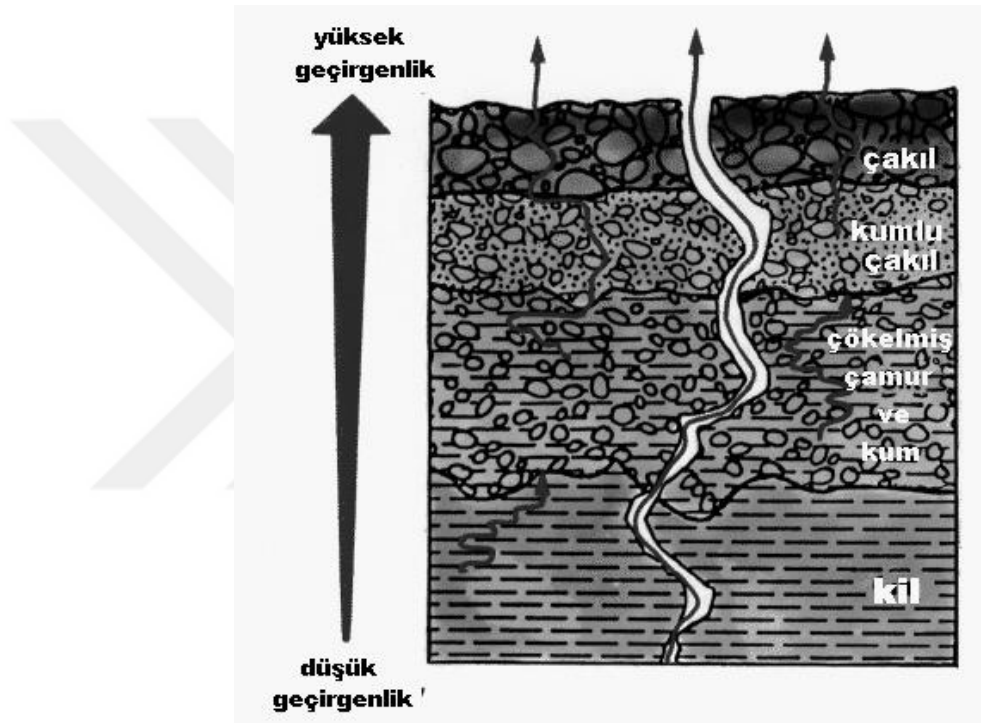
İnsanlar su ihtiyaçlarını yerüstü ve yer altı su kaynaklarından karşılamaktadır. Suların kimyasal ve fiziksel özellikleri, içinden geçtikleri aktif kayaların mineralojisini ve kimyasını tam olarak yansıtır. Özellikle ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K ve bozunma ürünleri en çok granit kayalarda bulunmaktadır. Granit kayalar magmatik kayalardır. Yüzey ve yeraltı suları, değişen miktarlarda radyum içeren toprak ve kayalarla yakın temas halinde olduğundan, içme ve kullanma sularında radonla karşılaşmak şaşırtıcı değildir [37].

Dünya Sağlık Örgütü (WHO), sudan elde edilebilecek yıllık doz için 0,1 mSv/yıl limiti belirlemiştir.

Türkiye Cumhuriyeti Sağlık Bakanlığı'nın 17 Şubat 2005 tarih ve 25730 sayılı yönetmeliğine göre birincil ve ikincil içme suyu ve genel su faaliyet standartları alfa yayıcılar için 0,1 Bq/L ve beta yayıcılar için 1 Bq/L olarak belirlenmiştir.

1.4.3.4. Atmosferde Radon

Radon gazı, kayalar ve toprak yoluyla atmosfere yayılır. Atmosferdeki ortalama radon konsantrasyonu yaklaşık 0,1 Bq/L'dir. Radon, yerkabuğunun kayalarında bulunur ve doğrudan gaz olarak veya yer altı sularına karışarak yüzeye ulaşır [38].



Şekil 1.16. Radonun toprak gazı ile hareketi sonucu yüzeye ulaşması

Radonun kayadan yeraltı suyu sistemine transferi, merkez üssü alanı içinde veya yakınında kayadaki stresin neden olduğu kabuk deformasyonu ve genişleme nedeniyle artar. Sonuç olarak, sismik aktivite başlamadan önce çevreleyen kuyularda ve kaynaklarda radon konsantrasyonlarında artış söz konusudur [39].

Radyoaktif elementlerin yerkabuğundaki difüzyonu nedeniyle kayalarda ve içlerindeki suda radyoaktivite meydana gelir. Sudaki radon gazı çok derin değildir. Çünkü sıcaklık arttıkça bu gazın sudaki çözünürlüğü aniden azalır. Geldiği yer 100 °C'nin altında olmalıdır. Bu nedenle soğuk ve ılık su daha radyoaktiftir. Radon yayıldıkça, kaya yarıklarında günde 100 metreye kadar taşınır [40].

Topraktan havaya sızan radon, iç mekân kirliliğinde önemli bir faktör olarak görünmektedir. Normal bir atmosferde hava olayları nedeniyle düşük konsantrasyonlara ulaşır. Ancak kapalı ortamlarda veya radyoaktif su kaynaklarından oluşan kapalı yüzme havuzu sistemlerinde yüksek konsantrasyonlara ulaşabilir. Binalarda, bazen yüksek konsantrasyonlarda birikebilir [41].

1.5. Diyarbakır Jeolojisi

Ülkemizin, Orta Güneydoğu Anadolu kısmında ve El-Cezire'nin (Mezopotamya) kuzeyinde bulunan Diyarbakır'ın; doğusunda Siirt ve Muş, batısında Şanlıurfa, Adıyaman ve Malatya, kuzeyinde Elazığ ve Bingöl, güneyinde ise Mardin ili ile çevrilidir. Diyarbakır, dağlarla çevrili bir coğrafyaya sahiptir ve orta bölgesi hafif oyuk durumdadır [42].

Diyarbakır, Güneydoğu Anadolu bindirme kuşağının güney kesiminde sınır kıvrım kuşağında yer almaktadır. Miyosen, tektonik olayların çok aktif olduğu bir dönemi kapsar. Midyat Formasyonu'nun birimleri retrograd çökelişi tamamlayarak erken Miyosen'de kuzey kesimin gerilemesine ve deniz seviyesinin yükselmesine sebep olmuştur. Bunun sonucunda Silvan Formasyonu'na ait olan Fırat Formasyonu transgresif çökelmeye başlamıştır. Erken Miyosen'de sıkışmalı tektonik aktivitenin aktivasyonu ile Lice Formasyonu çökelmiş ve Alt Miyosen havzası kapanmıştır [43].

Lice Formasyonunun, ilerleyen dış saha ve doğal yamaçlar arasında gelişmiş doğrusal bir fliş havzasından ve ona kuzeyden kanallarla bağlanan kabaca elastik bir dil ve yelpazeden oluşabileceği tahmin edilmektedir. Aynı zamanda, yerli toprakların en güneydeki deniz sınırında gerileyen ardılıklar ve mercan resifleri oluşmuştur. Lice Formasyonu denizin kapanma döneminde ve sıkışma rejimi içinde gelişmiş bir birimdir. Bu özelliğinden dolayı oluşumu genetik melas çökeltmesi olarak değerlendirilebilir. Orta Miyosen'de sıkışma yapılarının aktivasyonu, Alt Miyosen'de oluşan tortul havzaların genel olarak kapanmasına neden olmuş ve bu durum Güneydoğu Anadolu'da mevcut tektonik konumun sürüklenmesinin gelişimini belirlemiştir. Bölgedeki basınç kuvvetlerinin artmasıyla, Üst Miyosen'de K-G doğrultulu açık kırıklar ortaya çıkmış, bu nedenle Karacadağ bölgesindeki daha eski birimleri kaplamıştır [43].

Diyarbakır, iklim kuşağının Sıcak Kuru iklim grubunda yer almaktadır. Güneydoğudaki Toros Dağlarının kuzeyde engel oluşturması Diyarbakır'ın yılın dört ayı aşırı sıcakların etkisinde kalmasına neden olmaktadır. Bu alanlarda fazla yağış yoktur. Yılın belirli zamanlarında kuzeyden kuru rüzgârlar eser. Yaz aylarında sıcaklık değerleri oldukça yüksektir [44].

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Su Örneklerinin Toplanması

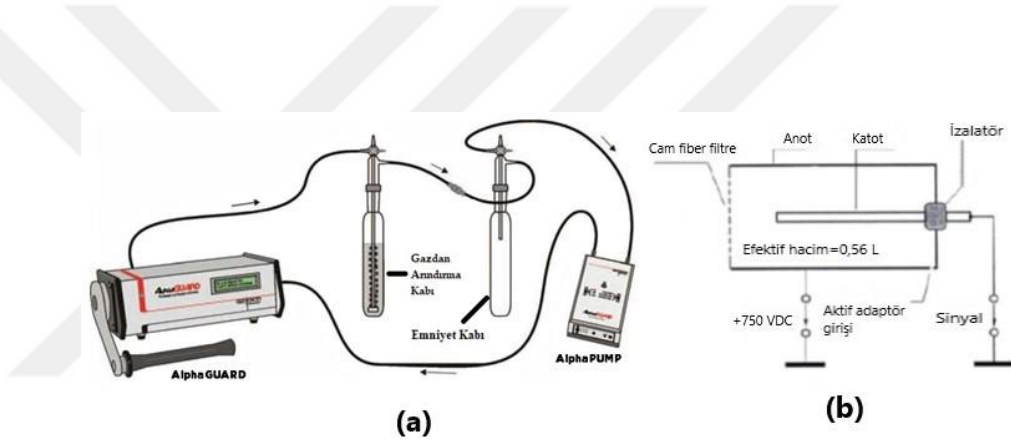
Diyarbakır ili ve merkez ilçelerine ait 30 farklı noktadan (Çizelge 2.1), 31 farklı içme suyu örneği toplandı ve bu örneklerin radon aktivite konsantrasyonları belirlenmiştir. Su örneklerinin asıl kaynağı Eğil Barajıdır. Bu barajdan alınan sular, havuzlarda bekletildikten sonra, merkez ilçelere dağıtılmaktadır. Su örnekleri, genellikle bölge halkının tercih ettiği ve kullandığı içme sularıdır. Su örnekleri 0,5 L'lik polietilen şişelerde toplanmıştır. Şişelerin içinde hava kalmaması için şişeler tamamen dolduruldu ve radon gazının kaçmasını önlemek için şişe kapakları hızla kapatıldı.

Çizelge 2.1. Su örneklerinin alındığı lokasyonlar.

No	Lokasyon İsimleri	Enlem (Kuzey)	Boylam (Doğu)
1	Roboski Parkı-Peyas Mah. / Kaya Pınar	37.56317652	40.110429
2	15 Temmuz Şehitler Parkı-Peyas Mah. /Kaya Pınar	37.5606594	40.11329892
3	Peyas Kaya Pınar	37.55559092	40.10546672
4	Tema Parkı-Fırat Mah. /Kaya Pınar	37.55585588	40.08358368
5	Mapa Yolu-Peyas Mah. / Kaya Pınar	37.563624	40.0917208
6	Park 75 -Peyas Mah. / Kaya Pınar	37.56268908	40.09236412
7	Kent Meydanı-Peyas Mah. /Kaya Pınar	37.56268908	40.09236412
8	Selahattin Eyyubi Bulvarı-Peyas Mah. /Kaya Pınar	37.56391632	40.095499
9	Büyükşehir Belediyesi Parkı-Şehitlik Mah./ Kaya Pınar	37.5635412	40.0953586
10	Şafak Fabrika Cad.-Şehitlik Mah./Yenişehir	37.54427212	40.1311082
11	Yılmaz Güney Cad.-Peyas Mah./Kaya Pınar	37.565181	40.10174432
12	247.Sk.-Diclekent Mah./Kaya Pınar	37.56337488	40.10502788
13	215.Sk.-Diclekent Mah./Kaya Pınar	37.56240252	40.1113146
14	227.Sk.-Diclekent Mah./Kaya Pınar	37.56195792	40.11008628
15	472.Sk.-Gaziler Mah./Kaya Pınar	37.5558242	40.10230592
16	482.Sk.-Peyas Mah./ Kaya Pınar	37.55504552	40.10092208
17	499.Sk.-Peyas Mah./ Kaya Pınar	37.55471225	40.095679
18	Nazım Hikmet Cad.-Fırat Mah./ Kaya Pınar	37.5537.1928	40.09207828
19	Orhan Doğan Cad.-Bağcılar Mah./ Bağlar	37.55164316	40.10306732
20	1056.Sk.-Yeniköy Mah./Bağlar	37.550057	40.11420072
21	1021.Sk.-Yeniköy Mah./Bağlar	37.550543	40.11526092
22	Medine Bulvarı.-5 Nisan Mah./Bağlar	37.55169248	40.12019908
23	152.Sk.-Huzurevleri Mah./Kaya Pınar	37.5651162	40.105043
24	Yılmaz Güney Cad.-Huzurevleri Mah./ Kaya Pınar	37.57081792	40.10322968
25	İstasyon Cad.-Şehitlik Mah./Yenişehir	37.54424872	40.13105492
26	Büyükşehir Belediyesi Parkı.-Şehitlik Mah./Yenişehir	37.54424872	40.13105492
27	Mehmet Akif Ersoy.-Şehitlik Mah./ Yenişehir	37.54407268	40.13073704
28	Bağcılar Mah./ Bağlar	37.54374544	40.13011928
29	Sefa Sok.-Bağcılar Mah./Bağlar	37.54413928	40.08156552
30	Ahmet Kaya Cad.-Bağcılar Mah./ Bağlar	37.54416808	40.07480792

2.2. AlphaGuard Aktif Radon Ölçüm Sistemi

Radon aktivite konsantrasyon ölçümleri, AlphaGuard PQ2000 PRO aktif radon ölçüm sistemi kullanılarak yapıldı (Şekil 1a). AlphaGUARD PQ2000 PRO ölçüm sistemi, ^{222}Rn 'nin alfa radyasyonunu ölçmek için kullanılan bir sistemdir. Alfa radyasyonunun iyonlaştırıcı özelliğe sahip olmasından dolayı; dedektör, uygun bir iyonizasyon odası cihazıdır (Şekil 1b). Dedektörün toplam hacmi 0,62 L olup, bunun 0,56 L'si etkin bir dedektör olarak kullanılmıştır. Bu dedektör silindirik ve voltaj beslemesi (anot-katot voltaj farkı) DC 750 V'dir. Detektör hassasiyeti 20 Bq/m^3 'te 1 CPM'dir. ^{222}Rn konsantrasyon ölçüm aralığı oldukça geniştir. Kabul edilen veriler $2-2 \times 10^6 \text{ Bq/m}^3$ aralığındadır. Sistemin kendisi %3 doğrusallık hata payına sahiptir. Radon ve toron, cihazın iyonizasyon odasına girdiğinde, dedektör her ikisine de aynı algılama hassasiyetini gösterir.



Şekil 2.1. Su numunesindeki Radon ölçüm sistemi (a), AlphaGUARD dedektörünün iyonizasyon odasının şematik çizimi (b) [45, 46].

Dedeksiyon odasına gaz dolduğunda, radon yoğunluğunda herhangi bir değişiklik olmamasına rağmen, toronun neredeyse tamamı 10 dakikalık bir gecikmeye sahip olduğu için bozunacaktır. Uygulamada, AlphaGuard PQ 2000PRO'nun torona duyarlılığı, radon duyarlılığının %1 ila %10'u arasındadır [45].

2.3. AlphaGuard Sistemi İle Su Örneklerinin Aktif Radon Seviyelerinin Belirlenmesi

Şekil 1a'daki cihaz, su örneklerindeki radon aktivite konsantrasyon miktarını belirlemek için kurulmuştur. Gazdan arındırma kabını numune ile doldurmadan önce, 10 dakika boyunca arka plan (background) ölçümleri yapıldı. Daha sonra gazdan arındırma kabına (degassing vessel) 100 ml su aktarıldı. Sistemde kapalı gaz döngüsü ayarlandı. Pompanın (AlphaPUMP) performans

seviyesi '0.3 L/dk' hava debisi olarak ayarlandı ve pompa açıldı. Böylece radon gazı ölçümüne başlandı. 10 dakikalık döngüden sonra pompa kapatıldı, ancak radon aktivite konsantrasyon ölçümüne devam etmek için AlphaGUARD 20 dakika açık bırakıldı. Arıtma şişesinden su boşaltıldı. Yeni numunede ölçüm yapılabilmesi için ölçüm sistemi temizlendi ve ölçüm işlemleri her numune için tekrarlandı. Radon ölçümleri sırasında depolanan verilerin bilimsel olarak yorumlanması için AlphaGUARD cihazı bilgisayara bağlandı. Veri analizi DataEXPERT yazılımı ile yapıldı.

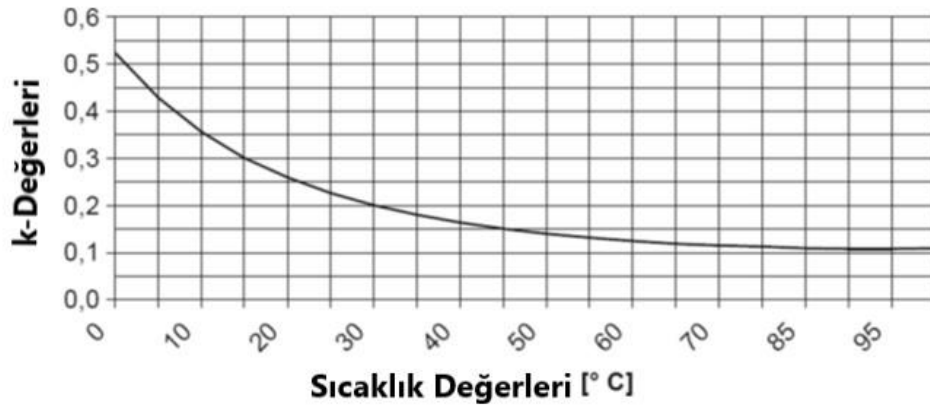
2.4. Su Örneklerinde Radon Konsantrasyon Seviyesinin Hesabı

AlphaGuard aktif radon ölçüm cihazından elde edilen parametreler Denklem 2.1'de yerine yazılarak; su örneklerinin radon aktivite konsantrasyon seviyeleri hesaplandı [47].

$$C_{su} = \frac{C_{gaz} \left(\frac{V_{sistem} - V_{örnek} + k}{V_{örnek}} \right) - C_0}{1000} \quad (2.1)$$

C_{su} radon aktivite konsantrasyonu (Bq/L), C_{gaz} ölçüm sonucu cihazda belirtilen aktivite konsantrasyon değeri (Bq/m³), C_0 arka plan (background) aktivite konsantrasyonu (Bq/m³), V_{sistem} ölçüm sisteminin iç hacmi (mL), $V_{örnek}$ su örneğinin hacmi (mL) ve k radon yayılma katsayısıdır.

$$k = \frac{\text{Sıvı faz konsantrasyon değeri}}{\text{Gaz fazı konsantrasyon değeri}} \quad (2.2)$$



Şekil 2.2. k değerinin sıcaklıkla değişimi [48]

Radon yayılma katsayısı (k) sıcaklığa bağlı olarak değişir ve artan sıcaklık değerleri ile azalır (sıcaklık artışı ile radon gazının sıvı fazdan gaz fazına geçiş hızı artar (Şekil 2.2)) [46].

2.5. Yıllık Efektif Doz Hesabı

Radon gazı, suyun içilmesi ve nefes alma (solumak) şeklinde insan vücuduna alınır. Bu şekilde alınan radonun mide ve akciğerlerde etki meydana getirdiği yıllık efektif doz miktarı farklı miktarlarda etki oluşturmaktadır. Bununla beraber, efektif doz miktarı yetişkin, çocuk ve bebeklerin su tüketim miktarına bağlı olarak farklılık göstermektedir.

Suyun içilmesi/yutulması ile yıllık etkili (efektif) doz miktarı Denklem 2.3 ile hesaplanabilmektedir.

$$D_{iç}(\mu Sv/y) = C_{su} \times 10^{-3} \times C_{ST} \times EDK \quad (2.3)$$

$D_{iç}$, yıllık etkin doz (içmek/yutmak), C_{su} radon seviyesi (Bq/L), C_{ST} yıllık su tüketimi tahmini (bebekler için 230 L/y, çocuklar için 330 L/y, yetişkinler için 730 L/y), EDK etkili doz katsayısı (bebekler için 2,3 nSv/Bq, çocuklar için 5,9 nSv/Bq, yetişkinler için 3,5 nSv/Bq) [49-51].

Suyun içilmesi sonucunda midede maruz kalınan yıllık efektif doz Denklem 2.4 ile hesaplanabilmektedir.

$$D_{iç-mide}(\mu Sv/y) = D_{iç} \times 0,12 \quad (2.4)$$

0,12 mide dokusu ağırlık faktörüdür [50-53].

Soluma ile yıllık etkili (efektif) doz miktarı Denklem 2.5 ile hesaplanabilmektedir.

$$D_{soluma}(\mu Sv/y) = C_{su} \times R_{a/s} \times T_d \times F \times DDF \quad (2.5)$$

D_{soluma} yıllık etkin doz (solumak), C_{su} radon değeri (Bq/L), $R_{a/s}$ sudaki hava / radon oranıdır (10^{-4}), F denge faktörü (0,4), T_d ortalama doluluk süresi (7000 h/y), DDF doz dönüşüm faktörüdür ($9 \text{ nSv}(\text{Bqhm}^{-3})^{-1}$) [49-51].

Soluma ile akciğerlerde maruz kalınan yıllık efektif doz Denklem 2.6 ile hesaplanabilmektedir.

$$D_{\text{soluma-akciğer}}(\mu\text{Sv/y}) = D_{\text{soluma}} \times 0,12 \quad (2.6)$$

0,12 akciğer dokusu ağırlık faktörüdür [50-53].

Su numunelerindeki yıllık etkin doz miktarı Denklem 2.7 ile hesaplanmıştır.

$$D(\mu\text{Sv/y}) = C_{\text{su}} \times T_d \times F \times DDF \quad (2.7)$$

D yıllık etkin dozdur, C_{su} radon konsantrasyonu (Bq/L), F denge faktörü (0,4), T_d ortalama doluluk süresidir (7000 h/y), DDF doz dönüşüm faktörüdür ($9 \text{ nSv}(\text{Bqhm})^{-3})^{-1}$) [49-51].

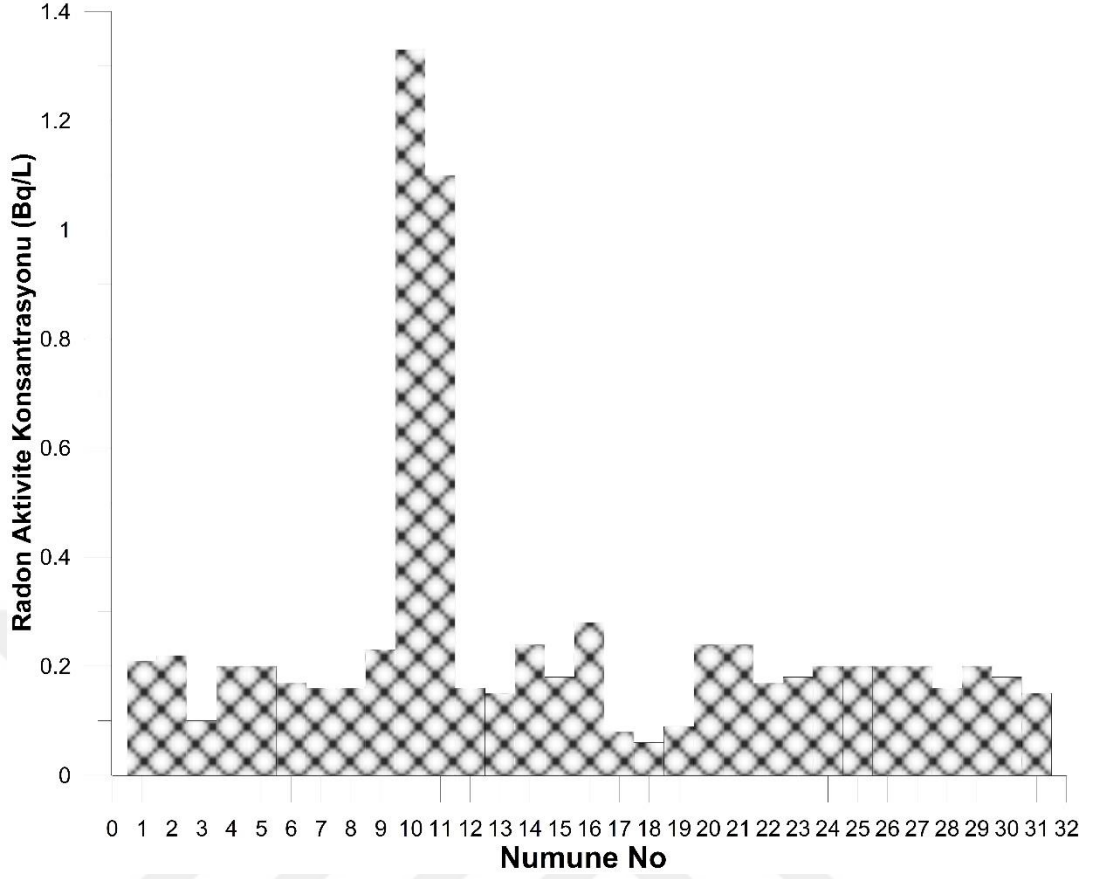


3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Diyarbakır ili genelinde 30 noktada alınan su örneklerinin radon konsantrasyon düzeylerinin tespiti yapılmıştır. Radonun değerleri Tablo 7.1 ve Şekil 7.1’de gösterilmiştir. Radon konsantrasyonu değerlerinin $0,06 \pm 0,01$ (S18) ile $1,33 \pm 0,31$ Bq/L (S10) arasında değiştiği görülmektedir (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1. Su örneklerinde ölçülen ^{222}Rn ve bazı atmosferik parametrelerinin değerleri

Numune No	T(°C)	P(mbar)	H(%)	Rn-222(Bq/L)
S1	28,2	820	31,4	0,21±0,05
S2	28,0	820	26,6	0,22±0,05
S3	27,5	820	26,1	0,10±0,02
S4	26,9	820	25,8	0,20±0,05
S5	26,5	820	27,2	0,20±0,05
S6	26,4	821	30,8	0,17±0,04
S7	25,9	821	27,2	0,16±0,04
S8	24,9	821	28,0	0,16±0,04
S9	24,1	821	29,1	0,23±0,05
S10	24,2	821	29,7	1,33±0,31
S11	24,9	820	32,6	1,10±0,26
S12	25,8	823	32,3	0,16±0,04
S13	26,0	824	31,4	0,15±0,04
S14	25,7	824	31,1	0,24±0,06
S15	25,4	824	33,9	0,18±0,04
S16	25,3	824	35,5	0,28±0,07
S17	25,4	823	37,2	0,08±0,02
S18	25,4	823	37,2	0,06±0,01
S19	25,3	823	37,2	0,09±0,02
S20	25,1	823	37,4	0,24±0,06
S21	24,8	823	35,1	0,24±0,06
S22	24,9	821	32,3	0,17±0,04
S23	25,6	821	32,4	0,18±0,04
S24	25,9	821	32,5	0,20±0,05
S25	26,0	822	28,1	0,20±0,05
S26	25,9	822	28,0	0,20±0,05
S27	25,5	822	27,2	0,20±0,05
S28	25,3	822	26,5	0,16±0,05
S29	25,1	822	25,5	0,20±0,05
S30	24,8	822	26,0	0,18±0,04
S31	24,5	821	26,5	0,15±0,03
Ortalama Değer	25,65	821,77	30,57	0,25±0,06
EPA				11,1



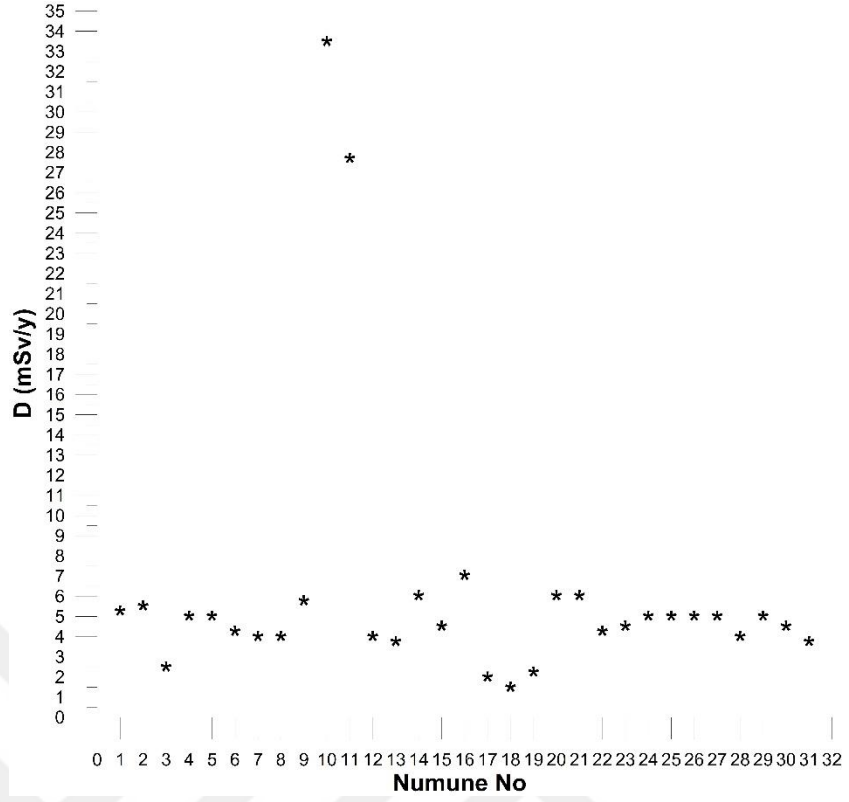
Şekil 3.1. Su örneklerinin radon aktivite konsantrasyon değişimleri

EPA'ya göre, radon konsantrasyonu kritik değeri 11,1 Bq/L'dir [EPA]. Su örneklerinde belirlenen radon aktivite konsantrasyon değerlerinin, EPA tarafından belirlenen, izin verilen değerin altında olduğu görülmüştür.

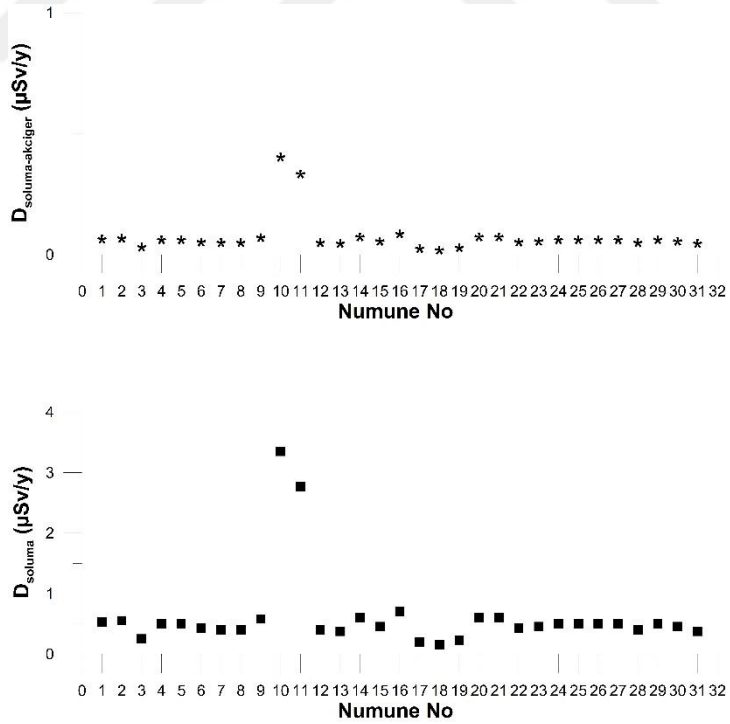
Radon aktivite konsantrasyonlarının değerleri bazı doz parametrelerinin (D , $D_{iç}$, $D_{iç_mide}$, D_{soluma} , $D_{soluma_akciğer}$) hesaplanması için kullanıldı ve Çizelge 3.2'de bu sonuçlar tablo haline getirildi. D , D_{soluma} ve $D_{soluma_akciğer}$ doz değerleri sırasıyla (1,51 ile 33,52 mSv/y), (0,15 ile 3,35 μ Sv/y) ve (0,02 ile 0,40 μ Sv/y) aralığındadır (Şekil 3.2, Şekil 3.3). Yetişkinler, çocuklar ve bebekler için $D_{iç}$ doz değerleri sırasıyla (0,15 ile 3,40 μ Sv/y), (0,12 ile 2,59 μ Sv/y) ve (0,03 ile 0,70 μ Sv/y) aralığındadır (Şekil 3.4). Yetişkinler, çocuklar ve bebekler için $D_{iç_mide}$ doz değerleri sırasıyla (0,02 ile 0,41 μ Sv/y), (0,01 ile 0,31 μ Sv/y) ve (~0 ile 0,08 μ Sv/y) aralığındadır (Şekil 3.5).

Çizelge 3.2. Su örneklerinin bazı doz hesapları

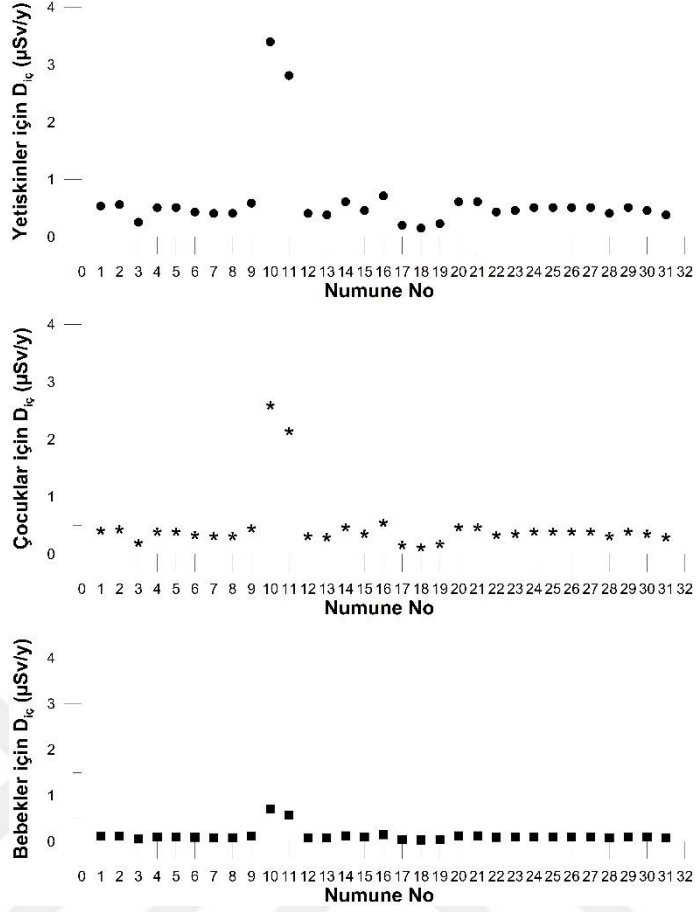
Numune No	D(mSv/y)	D _{iç} (µSv/y)			D _{soluma} (µSv/y)	D _{soluma-akciğer} (µSv/y)	D _{iç-mide} (µSv/y)		
		Yetişkin	Çocuk	Bebek			Yetişkin	Çocuk	Bebek
S1	5,29	0,54	0,41	0,11	0,53	0,06	0,06	0,05	0,01
S2	5,54	0,56	0,43	0,12	0,55	0,07	0,07	0,05	0,01
S3	2,52	0,26	0,20	0,05	0,25	0,03	0,03	0,02	0,01
S4	5,04	0,51	0,39	0,11	0,50	0,06	0,06	0,05	0,01
S5	5,04	0,51	0,39	0,11	0,50	0,06	0,06	0,05	0,01
S6	4,28	0,43	0,33	0,09	0,43	0,05	0,05	0,04	0,01
S7	4,03	0,41	0,31	0,09	0,40	0,05	0,05	0,04	0,01
S8	4,03	0,41	0,31	0,09	0,40	0,05	0,05	0,04	0,01
S9	5,80	0,59	0,45	0,12	0,58	0,07	0,07	0,05	0,02
S10	33,52	3,40	2,59	0,70	3,35	0,40	0,41	0,31	0,08
S11	27,72	2,81	2,14	0,58	2,77	0,33	0,34	0,26	0,07
S12	4,03	0,41	0,32	0,09	0,40	0,05	0,05	0,04	0,01
S13	3,78	0,38	0,29	0,08	0,38	0,05	0,05	0,04	0,01
S14	0,05	0,61	0,47	0,12	0,61	0,07	0,07	0,06	0,02
S15	4,54	0,46	0,35	0,10	0,45	0,05	0,06	0,04	0,01
S16	7,06	0,72	0,55	0,15	0,71	0,09	0,09	0,07	0,02
S17	2,02	0,20	0,16	0,04	0,20	0,02	0,02	0,02	0,01
S18	1,51	0,15	0,12	0,03	0,15	0,02	0,02	0,01	~0
S19	2,27	0,23	0,18	0,05	0,23	0,03	0,03	0,02	0,01
S20	6,05	0,61	0,47	0,13	0,61	0,07	0,07	0,06	0,02
S21	6,05	0,61	0,47	0,13	0,61	0,07	0,07	0,06	0,02
S22	4,28	0,43	0,33	0,09	0,43	0,05	0,05	0,04	0,01
S23	4,54	0,46	0,35	0,10	0,45	0,05	0,06	0,04	0,01
S24	5,04	0,51	0,39	0,11	0,50	0,06	0,06	0,05	0,01
S25	5,04	0,51	0,39	0,11	0,50	0,06	0,06	0,05	0,01
S26	5,04	0,51	0,39	0,11	0,50	0,06	0,06	0,05	0,01
S27	5,04	0,51	0,39	0,11	0,50	0,06	0,06	0,05	0,01
S28	4,02	0,41	0,31	0,09	0,40	0,05	0,05	0,04	0,01
S29	5,04	0,51	0,39	0,11	0,50	0,06	0,06	0,05	0,01
S30	4,54	0,46	0,35	0,10	0,45	0,05	0,06	0,04	0,01
S31	3,78	0,38	0,29	0,08	0,38	0,05	0,05	0,04	0,01
Ortalama	6,21	0,63	0,45	0,13	0,62	0,08	0,08	0,06	0,02



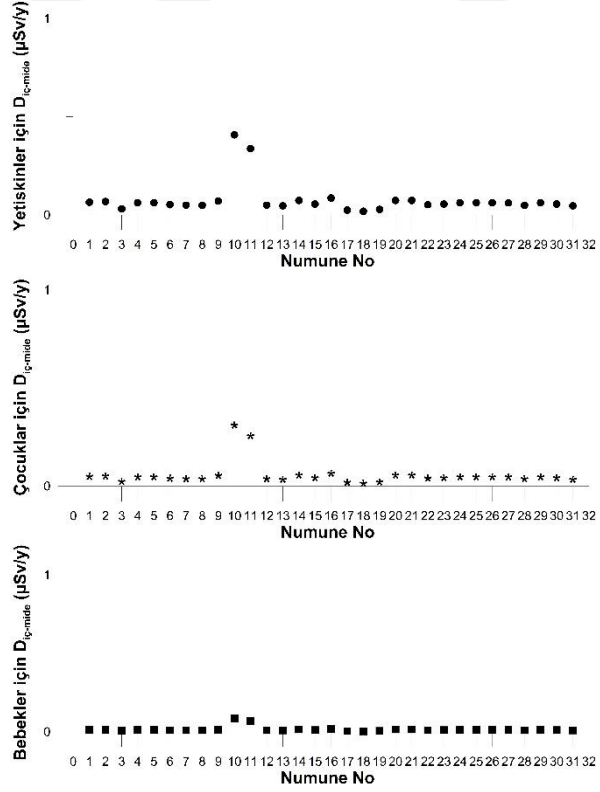
Şekil 3.2. D doz değerlerinin değişimi



Şekil 3.3. D_{solüma} ve D_{solüma-akciğer} doz değerlerinin değişimi



Şekil 3.4. Yetişkinler, çocuklar ve bebekler için $D_{İC}$ doz değerlerinin değişimi



Şekil 3.5. Yetişkinler, çocuklar ve bebekler için $D_{İC-mide}$ doz değerlerinin değişimi

Çizelge 3.2 ve Şekil 3.2-Şekil 3.5 incelendiğinde; tüm doz değerlerinin, S10 su örneğinde (Şehitlik Mah./Yenişehir) en yüksek, S18 su örneğinde (Fırat Mah./ Kaya Pınar) ise en düşük değerde olduğu görülmektedir. Su örneklerinde hesaplanan doz değerlerinin, çocuklara ve bebeklere göre yetişkinlerde daha yüksek olduğu görülmüştür. Yetişkinlerin su tüketiminin, çocuklara ve bebeklere göre çok daha fazla olması sebebiyle; bu beklenen bir durumdur.

Çizelge 3.3 incelendiğinde, bu çalışmada elde edilen radon aktivite konsantrasyon değerlerinin ve hesaplanan doz değerlerinin benzer çalışmalar ile karşılaştırıldığı görülmektedir. Bu karşılaştırma sonucunda; elde edilen sonuçların diğer çalışmalardaki sonuçlardan oldukça düşük olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.3. Diyarbakır'daki bazı içme suyu örneklerinin, dünyanın farklı yerlerindeki değerlerinin karşılaştırılması [49-51, 54-63].

	Değerler	Lokasyonlar	Kaynaklar	
²²² Rn (Bq/L)	6,73	Giresun (Türkiye)	[52]	
	9,48	Bursa (Türkiye)	[53]	
	0,35	Kastamonu (Türkiye)	[54]	
	7,76	Kedah (Malezya)	[47]	
	14,19	Karnataka (Hindistan)	[48]	
	352,79	Portugal	[55]	
	20,02	Himalaya (Hindistan)	[56]	
	1,76	Serbia	[57]	
	4,42	Northen Rajasthan (Hindistan)	[58]	
	1,2x10 ⁻³	China	[59]	
	35,5	Romania	[60]	
	6,70	Zonguldak (Türkiye)	[61]	
	11,13	Bitlis (Türkiye)	[49]	
	0,25	Diyarbakır (Türkiye)	Bu çalışma	
	D (mSv/y)	1,05	Bursa (Türkiye)	[53]
		0,01	Kastamonu (Türkiye)	[54]
		2,13	Himalaya (Hindistan)	[56]
0,08		Serbia	[57]	
280,57		Bitlis (Türkiye)	[49]	
6,21		Diyarbakır (Türkiye)	Bu çalışma	

Çizelge 3.3. (Devamı) Diyarbakır'daki bazı içme suyu örneklerinin, dünyanın farklı yerlerindeki değerlerinin karşılaştırılması [49-51, 54-63].

	Değerler	Lokasyonlar	İçmeler
Diç (µSv/y)	17,21	Giresun (Türkiye)	[52]
	19,19	Kedah (Malezya)	[47]
	2,98	Karnataka (Hindistan)	[48]
	2.575,55	Portugal	[55]
	4.200	Himalaya (Hindistan)	[56]
	12	Serbia	[57]
	0,93	Northen Rajasthan (Hindistan)	[58]
	18,67	Bitlis (Türkiye)	[49]
	0,40	Diyarbakır (Türkiye)	Bu çalışma
	Diç_mide (µSv/y)	0,36	Karnataka (Hindistan)
2,24		Bitlis (Türkiye)	[49]
0,05		Diyarbakır (Türkiye)	Bu çalışma
Dsolumun (µSv/y)	4,85	Giresun (Türkiye)	[52]
	35,75	Karnataka (Hindistan)	[48]
	50	Himalaya (Hindistan)	[56]
	4,94	Serbia	[57]
	11,15	Northen Rajasthan (Hindistan)	[58]
	28,06	Bitlis (Türkiye)	[49]
	0,62	Diyarbakır (Türkiye)	Bu çalışma
Dsolumun-akciğer (µSv/y)	4,29	Karnataka (Hindistan)	[48]
	3,37	Bitlis (Türkiye)	[49]
	0,08	Diyarbakır (Türkiye)	Bu çalışma

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada 31 farklı su örneği analiz edildi ve radon aktivite konsantrasyonu ölçümleri ve bazı doz hesaplamaları yapıldı.

(i) Diyarbakır su örneklerindeki ^{222}Rn aktivite konsantrasyon değerleri (ortalama değer: 0,25 Bq/L) genellikle dünyadaki diğer çalışmaların konsantrasyon seviyelerinden daha düşüktür (Çizelge 3.3). Böylece, Diyarbakır içme sularının radon aktivite konsantrasyon değerlerinin genel olarak Türkiye'nin diğer şehirlerine ve diğer ülkelere göre daha düşük olduğunu söyleyebiliriz.

(ii) Bu çalışmadaki tüm doz sonuçları, genellikle referanslardaki diğer çalışmaların değerlerinden daha düşüktür (Çizelge 3.3).

(iii) Bütün doz değerleri ve radon aktivite konsantrasyon değerlerinin, referans alınan değerlerden daha düşük olması sebebiyle; sağlık açısından herhangi bir risk taşımadığı söylenebilir.

(iv) Su örneklerinde hesaplanan doz değerlerinin, çocuklara ve bebeklere göre yetişkinlerde daha yüksek olduğu görülmüştür. Yetişkinlerin su tüketiminin, çocuklara ve bebeklere göre çok daha fazla olması sebebiyle; bu beklenen bir durumdur.

5. KAYNAKLAR

- [1] <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK230654/> (Erişim Tarihi: 18.03.2022)
- [2] Kılıç Ö, 2016. Bitlis'te Yetişen Bazı Tıbbi ve Aromatik Bitkilerde Radon Seviyesinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bitlis.
- [3] https://www.radioactivity.eu.com/site/pages/Natural_Radioactivity.htm (Erişim Tarihi: 19.03.2022)
- [4] <https://academic.oup.com/rpd/article-abstract/152/1-3/2/1597322?login=false> (Erişim Tarihi: 19.03.2022)
- [5] <https://docplayer.biz.tr/105495067-Dr-yuksel-atakan-in-tarihinde-bilimania-sitesinde-yayimlanan-yazisi.html> (Erişim Tarihi: 11.03.2022)
- [6] Akgül HM, Dağistan S, Abubekir H, 2003. Radyasyon ve Toplum. Atatürk Üniversitesi, Dış Hekimliği Fakültesi Dergisi, 13 (1): 44-56.
- [7] Çimen B, Erdoğan M, Oğul R, 2017. İyonlaştırıcı Radyasyon ve Korunma Yöntemleri. Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Dergisi, 43 (2): 139-147.
- [8] Hacısmanoğlu T, 2017. Doğal ve Yapay Radyasyon Kaynakları, Kişisel Doza Katkıları. Sağlık Bilimleri Üniversitesi Gülhane Tıp Fakültesi, Nuci Med Semin 2017 (3): 166-171.
- [9] Mavi B, Akkurt I, 2010. Natural radioactivity and radiation hazards in some building materials used in Isparta. Radiation Physics and Chemistry, 79 (9): 933–937.
- [10] Wang Q, Song J, Xuegang L, Yuan, H, Li N, Cao L, 2015. Environmental radionuclides in a coastal wetland of the Southern Laizhou Bay, China. Marine Pollution Bulletin, 97 (1-2): 506-511.
- [11] Akkaya G, 2011. Bursa ili Toprak Numunelerinde Radyonüklid Dağılımının incelenmesi. Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- [12] Dizman S, 2006. Rize ili ve ilçelerindeki doğal gamma radyoaktivite düzeyinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- [13] Gökharman, FD, Aydın S, Koşar PN, 2016. Radyasyon Güvenliğinde Mesleki Olarak Bilmemiz Gerekenler. SDÜ Sağlık Bilimleri Enstitüsü Dergisi. 7 (2): 35–40.
- [14] <https://www.taek.gov.tr/tr/2016-06-09-00-43-46/1084-yapay-radyasyon-kaynaklari.html> (Erişim tarihi: 21.03.2022)
- [15] https://tr.wikipedia.org/wiki/İyonlaştırıcı_radyasyon (Erişim Tarihi: 21.03.2022)
- [16] <https://www.taek.gov.tr/ogrenci/r04.htm> (Erişim Tarihi: 21.03.2022)

- [17] <http://www.trkd.org.tr/yararli-bilgiler/radyasyon-nedir/642-iyonlastirici-olmayan-radyasyon.html> (Erişim Tarihi: 21.03.2022)
- [18] Öztürk N. 2010. Temel Radyasyon Fiziki Kavramları, Birimler. Türk Radyasyon Onkoloji Derneği Radyofizik Kursu, İstanbul.
- [19] Şahin S, 2004. Kangal (Sivas) Balıklı Kaplıcasının Toplam Alfa ve Toplam Beta Radyoaktivite Seviyelerinin Belirlenmesi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Semineri, Elâzığ.
- [20] Çetinkaya N. 2009. Kütahya İli İçme Sularında Radon ve Radyum Miktarlarının Belirlenmesi. Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans Tezi, Kütahya.
- [21] <https://slideplayer.biz.tr/slide/14215171/> (Erişim Tarihi: 21.03.2022)
- [22]https://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Radyasyon%20%C3%96l%20%C3%A7%20%C3%BCm%20%C3%BC.pdf (Erişim Tarihi: 21.02.2022)
- [23]https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/109198/mod_resource/content/1/GAMMA%20VE%20X-1%20C5%96INLARI.pdf (Erişim Tarihi: 15.02.2022)
- [24] Dönmez S, 2017. Radyasyon Tespiti ve Ölçümü. Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Gülhane Tıp Fakültesi, 172-177.
- [25] <http://teknopasaj.com/haber/78/kbrn-dedektorleri-nedir.html> (Erişim Tarihi: 23.03.2022)
- [26] <https://yakupgunduz.blogspot.com/2015/12/radyolojik-tehditler-radyasyonun.html> (Erişim Tarihi: 25.03.2022)
- [27] <https://docplayer.biz.tr/201037912-Nukleer-fizik-laboratuvari-menekse-senyigit.html> (Erişim Tarihi: 25.01.2022)
- [28] <https://kbrn.afad.gov.tr/kategori-1181-dedektorler.html> (Erişim Tarihi: 25.03.2022)
- [29] <http://www.horizoncruisesinc.com/beats.php?hctin01/sintilasyon-dedektrleri> (Erişim Tarihi: 04.07.2022)
- [30] <https://www.makaleler.com/radon-nedir-ozellikleri-zararlari> (Erişim Tarihi: 27.03.2022)
- [31] Tufaner Fatih, 2018. Edirne İl Merkezinde Ev İçi Radon Konsantrasyonu Ölçümleri. Trakya Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 19 (1): 1-8.
- [32] Çağatay G, Zakir Ç, 1997. Radon kirliliği. Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi, TC Sağlık Bakanlığı Temel Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- [33] Bal Şahin S, Doğru M, 2013. Su ve Toprak Örneklerinde Radon Gazı Yayılımının Mevsimsel Değişiminin İncelenmesi. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 2 (2): 192-196.

- [34] Uludağ Hİ, 2010. Radon Kirliliği ve Halk Sağlığı İlişkisi. Bitirme Tezi, Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi Halk Sağlığı Anabilim Dalı, İzmir.
- [35] Arıkan İH, 2007. Çevresel radyasyonun canlılığın sürdürülebilirliğine etkileri. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- [36] Albayrak N, 2011. Kırıkkale’de (Türkiye) Doğal Radyasyon Kaynaklarının Belirlenmesi ve Gama Doz Oranlarının Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [37]https://www.academia.edu/7527970/Radon_Gaz%C4%B1_ve_Sularda_Radon_%C3%96%C3%A7%C3%BCm%C3%BC (Erişim Tarihi: 01.04.2022).
- [38] Kulalı F, 2009. Topraktaki Radon Konsantrasyonu Ölçümü ve Deprem İlişkisinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- [39] Kapdan E, 2009. Adapazarı Merkezi Kış Dönemi Radon Ölçüm ve Analizleri. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- [40] Kulalı F, 2016. Pamukkale Jeotermal Alanlarında Radon Konsantrasyonu Ölçümü ve Depremle İlişkisinin Araştırılması. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- [41] Ozan SS, Ekinci CE, 2011. Yapılarda Radon Fenomeny. Engineering Sciences, 6 (4): 1590-1602.
- [42] https://www.academia.edu/37208979/pekmez_topragi_docx (Erişim Tarihi: 21.05.2022)
- [43]https://www.researchgate.net/publication/293476913_Diyarbakir_Ili_Hani_Ilcesi'nin_Jeolojik_Ozellikleri (Erişim Tarihi: 21.05.2022)
- [44] Baran M, 2017. Eski Diyarbakır Evleri İklim İlişkisi. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Dergisi, 8 (2): 423-430.
- [45] AlphaGuard (2008). User manual portable radon monitor “AlphaGUARD”, 12/98.Saphymo GmbH Heerstraße 149, D60488. Frankfurt am Main/Germany. <http://www.saphymo.de>.
- [46] AquaKIT (2008). Accessory for radon in water measurement in combination with the radon monitor AlphaGUARD, 12/2008. Saphymo GmbH Heerstraße 149, D60488. Frankfurt Main/Germany, <http://www.saphymo.de>.
- [47] Yalçın S, Tanrıverdi E, Şahin Bal S, Doğru M, 2016. Bitlis Bölgesindeki Sularda Mevsimsel Olarak Radon Aktivitesinin Ölçülmesi. BEBAP 2014.11, Bitlis Eren Üniversitesi, Bitlis

- [48] Clever HL, 1985. Solubility data series. Vol. 2, Pergamon Press, Oxford.
- [49] Ahmad N, Jaafar MS, Alsaffar MS, 2015. Study of radon concentration and toxic elements in drinking and irrigated water and its implications in Sungai Petani, Kedah, Malaysia. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 8: 294–299.
- [50] Shilpa GM, Anandaram BN, Mohankumari TL, 2017. Measurement of ^{222}Rn concentration in drinking water in the environs of Thirthahalli taluk, Karnataka, India. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 10: 262–268.
- [51] Şahin Bal S, Tanrıverdi E, Yalçın S, Doğru M, Özbey F, 2021. The radon concentrations of some waters in Bitlis (Turkey) and their dose estimates. *Environment, Development and Sustainability*, 23: 17650–17667.
- [52] ICRP 1991 (1990). Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Web. Retrieved from <http://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%2060>.
- [53] Yu KN, Guan ZJ, Stokes MJ, Young ECM, 1994. A preliminary study on the radon concentrations in water in Hong Kong and the associated health effects. *Applied Radiation and Isotopes*, 45: 809–810.
- [54] Buyukuslu H, Ozdemir FB, Ozdemir TO, Gokce H, 2018. Indoor and tap water radon (^{222}Rn) concentration measurements at Giresun University campus areas. *Applied Radiation and Isotopes*, 139: 285–291.
- [55] Gurler O, Akar TU, Yalcın S, 2013. Estimation of mean ^{222}Rn concentration in water and in indoor air of Karacabey, Bursa (Turkey). *Fresenius Environmental Bulletin*, 22: 247–251.
- [56] Yalcın S, Gurler O, Tarim AU, Incirci F, Kaynak G, Gundogdu O, 2011. Measurements of radon concentration in drinking water samples from Kastamonu (Turkey). *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 47: 438–445.
- [57] Inacio M, Soares S, Almeida P, 2017. Radon concentration assessment in water sources of public drinking of Covilha's county, Portugal. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 10: 135–139.
- [58] Kandari T, Aswal S, Prasad M, Bourai AA, Ramola RC, 2016. Estimation of annual effective dose from radon concentration along Main Boundary Thrust (MBT) in Garhwal Himalaya. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 9: 228–233.

- [59] Todorovic N, Nikolov J, Forkapic S, Bikit I, Mrdja D, Krmar M, Veskovic M, 2012. Public exposure to radon in drinking water in SERBIA. *Applied Radiation and Isotopes*, 70: 543–549.
- [60] Mittal S, Rani A, Mehra R, 2016. Estimation of radon concentration in soil and groundwater samples of Northern Rajasthan, India. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 9: 125–130.
- [61] Xinwei L, (2006). Analysis of radon concentration in drinking water in Baoji (China) and the associated health effects. *Radiation Protection Dosimetry*, 121: 452–455.
- [62] Moldovan M, Nita DC, Cucos-Dinu A, Dicu T, Bican-Brisan N, Cosma C, 2014. Radon concentration in drinking water and supplementary exposure in Băita-Ștei mining area, Bihor Country (Romania). *Radiation Protection Dosimetry*, 158: 447–452.
- [63] Koray A, Akkaya G, Kahraman A, Kaynak G, 2014. Measurements of radon concentrations in waters and soil gas of Zonguldak, Turkey. *Radiation Protection Dosimetry*, 162: 375–381.

ÖZGEÇMİŞ

