



T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü



İZMİR-MENEMEN VE ÇEVRESİNDEKİ İÇME SULARINDA RADON KONSANTRASYONLARININ BELİRLENMESİ

Yüksek Lisans Tezi

Mesut ALIÇ

Nükleer Bilimler Anabilim Dalı

İzmir
2024

T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

**İZMİR-MENEMEN VE ÇEVRESİNDEKİ İÇME
SULARINDA
RADON KONSANTRASYONLARININ
BELİRLENMESİ**

Mesut ALIÇ

Danışman: Prof. Dr. Murat SAÇ

Nükleer Bilimler Anabilim Dalı
Nükleer Bilimler Yüksek Lisans Programı

İzmir
2024

Mesut ALIÇ tarafından yüksek lisans tezi olarak sunulan “İzmir-Menemen ve Çevresindeki İçme Sularında Radon Konsantrasyonlarının Belirlenmesi” başlıklı bu çalışma EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi’nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 29.08.2024 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

Jüri Başkanı

:

Raportör Üye

:

Üye

:

İmza

.....

.....

.....

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi sunduğum “İzmir-Menemen ve Çevresindeki İçme Sularında Radon Konsantrasyonlarının Belirlenmesi” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

29/08/2024

İmzası

Mesut ALIÇ

ÖZET**İZMİR-MENEMEN VE ÇEVRESİNDEKİ İÇME SULARINDA
RADON KONSANTRASYONLARININ BELİRLENMESİ**

ALİÇ, Mesut

Yüksek Lisans Tezi, Nükleer Bilimler Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Murat SAÇ

Ağustos 2024, 99 sayfa

Günlük hayatta insanların ve diğer canlıların kullandıkları içme sularındaki radyoaktif kirliliklerin başlıca sebebi radyoaktif ^{222}Rn (Radon) elementidir. Renksiz, kokusuz, tatsız özellikteki Radon, doğal uranyumun bozunumu sürecinde oluşur. Radon ve bozunum ürünlerinin kansere yakalanma olasılıklarını artırması ve su kaynaklarına nüfuz etmesi sebebiyle radon seviyelerinin belirlenmesi de insan sağlığı açısından oldukça önemlidir. Bu çalışmada da Menemen ve civarında kullanılan içme sularındaki radon gazı konsantrasyonlarının RAD7 dedektörü kullanılarak tespit edilmesi ve çalışma bölgesinde yaşayan insanların, maruz kaldıkları yıllık etkin doz miktarlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. İzmir-Menemen civarındaki yerleşim yerlerinden alınan 49 su örneğinde radon konsantrasyon değerlerinin dış mekandan alınan içme suları için 0,07 Bq/L ile 47,7 Bq/L arasında, ticari sular için 0 Bq/L ile 0,28 Bq/L arasında değişmekte olduğu tespit edilmiştir. 3 su örneğinde radon aktiviteleri USEPA' nın 11,11 Bq/L limitinin üstünde bulunmuştur. Ayrıca tüm ölçüm değerlerinin Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) belirlediği güvenlik limiti olan 100 Bq/L in oldukça altında kaldığı tespit edilmiştir. Suların tüketiminden kaynaklı yıllık etkin doz ortalaması 9,43 $\mu\text{Sv/y}$ olarak bulunmuştur. Bulunan doz değerinin USEPA' nın 40 $\mu\text{Sv/y}$ ve UNSCEAR' ın 100 $\mu\text{Sv/y}$ olarak belirlediği limitin altında kaldığı görülmüştür. Diğer yandan 3 örnekte hesaplanan doz değerleri USEPA limitinin üstünde, 1 örnekte bulunan doz değeri de UNSCEAR tarafından belirlenen doz limitinin üstünde kalmıştır. Bu tez çalışmasında bulunan radon aktiviteleri ve doz değerleri, Menemen İlçesi ve civarında doğal radyoaktivitenin belirlenmesi gerekliliğini göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Radon, İçme Suyu, Menemen.



ABSTRACT
IN DRINKING WATER IN IZMIR-MENEMEN AND ITS
SURROUNDINGS DETERMINATION OF RADON
CONCENTRATIONS

ALİÇ, Mesut

Master Thesis, Department of Nuclear Sciences

Supervisor: Prof. Dr. Murat SAÇ

August 2024, 99 pages

The main cause of radioactive pollution in drinking water used by humans and other living creatures in daily life is the radioactive ^{222}Rn (Radon) element. Radon, which is colorless, odorless and tasteless, is formed during the decay of natural uranium. Determining radon levels is also very important for human health, as radon and its decay products increase the possibility of cancer and penetrate into water sources. In this study, it was aimed to determine the radon gas concentrations in drinking water used in Menemen and its surroundings using the RAD7 detector and to determine the annual effective dose to which people living in the study area are exposed. In 49 water samples taken from settlements around Izmir-Menemen, radon concentration values ranged between 0.07 Bq/L and 47.7 Bq/L for drinking water taken from outdoors and between 0 Bq/L and 0.28 Bq/L for commercial waters. It has been determined that. Radon activities in 3 water samples were found above the USEPA limit of 11.11 Bq/L. In addition, it was determined that all measurement values were well below 100 Bq/L, which is the safety limit determined by the World Health Organization (WHO). The annual effective dose average due to water consumption was found to be 9.43 $\mu\text{Sv/y}$. It was observed that the dose value found was below the limit set by USEPA as 40 $\mu\text{Sv/y}$ and UNSCEAR as 100 $\mu\text{Sv/y}$. On the other hand, the dose values calculated in 3 samples were above the USEPA limit, and the dose value in 1 sample was above the dose limit determined by UNSCEAR. The radon activities and dose values found in this thesis study showed the necessity of determining natural radioactivity in Menemen District and its surroundings.

Key words: Radon, Drinking Water, Menemen.

ÖNSÖZ

Dünyadaki tüm canlıların çeşitli amaçlarla yeraltı ve yeryüzünde bulunan suları kullanmaları kaçınılmazdır. Bu yüzden günlük hayatta insanların kullanmış oldukları suları özellikle içme, yutma ve besin yoluyla tüketmeleri durumunda su içerisinde bulunan radon ve bozunum ürünlerinin sağlık açısından akciğer, mide vb. kanser türlerine yakalanma konusunda riskli durumlar oluşturduğu bilinmektedir. Daha önce duymuş olduğum radon elementiyle ilk defa danışman hocam Prof. Dr. Murat SAÇ vasıtasıyla yüksek lisans aşamasında karşılaştım ve sonrasında araştırdığım makale ve tezlerden edindiğim bilgilerin konu ile alakalı zihnimde uyandırdığı merak sayesinde radon ile güzel bir bağ kurma fırsatım oldu. Bu tez çalışmasında da ilk kez daha önce belirlenen İzmir İli Menemen İlçesi ve çevresinde yaşayan halkın kullandıkları içme sularındaki radon konsantrasyonlarının tespit edilmesi ve kullanılan bu sulardan maruz kalınan yıllık doz miktarlarının tespit edilmesi amaçlanmıştır. Menemen İlçesi ve çevresinde bulunan yerleşim yerlerinde daha önce belirlenen 49 noktadan içme suları toplanmıştır.

Menemen İlçe merkezi, bağlı bulunan belde, kasaba, köy ve çeşitli mahalleler ile Eski Foça İlçe merkezi ile bağlı bulunan bazı yerleşim yerlerinden toplanan kuyu, kaynak, şebeke ve ticari özellikteki suların analizleri çalışma bölgesinde yapılan bu araştırmanın sağlık riskleri açısından gerekli olduğunu ve içme sularından alınan dozların belirli aralıklarla takip edilmesinin önemli olduğunu göstermiştir.

Yüksek lisans tez çalışmamda özellikle numune toplama sürecinde ulaşım anlamında çeşitli zorluklarla karşılaştım da bu araştırma bilimsel ve duygusal anlamda bana kattığı deneyimler açısından hayatımda önemli bir yer edinmiştir.

İZMİR

29/08/2024

Mesut ALIÇ



İÇİNDEKİLERSayfa

İÇ KAPAK	ii
KABUL ONAY SAYFASI	iii
ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI.....	v
ÖZET	vii
ABSTRACT	ix
ÖNSÖZ	xi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	xiii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xvii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xx
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xxii
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Radyoaktivite Nedir?	3
2.2. Radyoaktif Bozunum Kanunu	6
2.3. Radyoaktif Seriler.....	7
2.3.1. Doğal Radyoaktif Seriler	7

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
2.3.2. Yapay Radyoaktif Seriler	11
2.4. Radyasyon.....	12
2.4.1. İyonlaştırıcı Radyasyonlar	13
2.4.2. İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyonlar	13
2.5. Radyasyon Kaynakları.....	14
2.5.1. Doğal Radyasyon Kaynakları	15
2.5.2. Yapay Radyasyon Kaynakları	17
2.6. Radyasyon Ölçüm Birimleri ve Doz Limitleri	19
2.6.1. Işınlanma Birimi	20
2.6.2. Soğurulma Doz Birimi.....	20
2.6.3. Eşdeğer Doz Birimi	20
2.6.4. Aktivite Birimi.....	21
2.7. Radon Gazı ve Özellikleri	21
2.8. Radon Kaynakları	23
2.8.1. Sularda Radon.....	25
2.9. Radon ve Sağlık	27

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
2.10. Radon Ölçme Yöntemleri	29
2.10.1. Kollektör Yöntemi	30
2.11. Literatür Çalışmaları	31
3. MATERYAL VE YÖNTEM	34
3.1. Çalışma Bölgesinin Tanıtılması	34
3.2. Bölgenin Jeolojik Yapısı	35
3.3. Bölgenin İklim Özellikleri	38
3.4. Çalışma Bölgesi ve Su Örneklerinin Toplanması	39
3.5. RAD7 Radon Ölçüm Dedektörü	40
3.6. Su Örneklerinin Analizi İçin Ölçüm Cihazının Hazırlanması	41
3.7. RAD7 ile Suda Radon Ölçümü	43
3.8. Sıcaklık, pH ve Elektriksel İletkenlik Ölçümü	45
3.9. Sudaki Efektif Doz Tahmini	45
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	46
4.1. Radon ve Radyum Ölçüm Sonuçları	46
4.2. Sıcaklık, pH ve İletkenlik Ölçüm Sonuçları	53

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
4.3. Sularda Radon Aktiviteleri ve Hesaplanan Etkin Dozlar	62
4.4. Sularda Kimyasal Özelliklerin (pH, İletkenlik) Analizi	69
4.5. Ölçüm Sonuçlarının İstatistiksel Analizi	71
4.6. Literatür Karşılaştırması	72
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	74
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	76
TEŞEKKÜR	87
ÖZGEÇMİŞ.....	88

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Alfa (α), beta (β) ve gama (γ) giricilikleri	5
2.2 Bir manyetik alan tarafından α ve β -parçacıkları ile γ -ışınlarının saptırılmalarını gösteren denel düzenek	6
2.3 Dünya genelinde doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozlarının oransal değerleri.....	14
2.4 Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozlarının oransal değerleri	15
2.5 Dünya genelinde yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozlarının oransal değerleri	18
2.6 Toplum ışınlamalarında tipik radyasyon kaynakları	19
2.7 Radon elementinin görünümü	21
2.8 Doğada en çok bulunan iki radon izotopunun bozunma zincirleri.....	23
3.1 İzmir İline bağlı Menemen İlçesinin Coğrafi Haritası.....	35
3.2 İzmir ve çevresine ait basitleştirilmiş jeoloji haritası	36
3.3 Çalışma sahası ve çevresi 1/25.000 ölçekli genel jeoloji haritası	37
3.4 Foça ve yakın çevresinin jeoloji-litoloji haritası	37
3.5 Çalışma Bölgesinin Uydu Görünümü (Menemen ve Çevresi).....	39
3.6 RAD7' nin Rad H ₂ O aksesuarı şematik diyagramı.....	40
3.7 Su örneğinin RAD7 ye bağlanması ve köpürtülmesi	42

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.8 RAD7 Özet Raporu	44
3.9a pH (asitlik ve bazlık derecesi) ölçer HI 8314 Membran	45
3.9b Elektriksel İletkenlik ölçer EC metre	45
3.9c Sıvı sıcaklık ölçüm termometresi	45
4.1 1.Bölge içme sularındaki ortalama radon değerleri grafiksel gösterimi.....	47
4.2 1.Bölge içme sularındaki ortalama radyum değerleri grafiksel gösterimi....	47
4.3 2.Bölge içme sularındaki ortalama radon değerleri grafiksel gösterimi.....	48
4.4 2.Bölge içme sularındaki ortalama radyum değerleri grafiksel gösterimi....	49
4.5 3.Bölge içme sularındaki ortalama radon değerleri grafiksel gösterimi.....	50
4.6 3.Bölge içme sularındaki ortalama radyum değerleri grafiksel gösterimi....	50
4.7 4.Bölge içme sularındaki ortalama radon değerleri grafiksel gösterimi.....	51
4.8 4.Bölge içme sularındaki ortalama radyum değerleri grafiksel gösterimi....	51
4.9 5.Bölge içme sularındaki ortalama radon değerleri grafiksel gösterimi.....	52
4.10 5.Bölge içme sularındaki ortalama radyum değerleri grafiksel gösterimi....	53
4.11 1.Bölge içme sularının sıcaklık değerleri grafiksel gösterimi	54
4.12 1.Bölge içme sularının pH seviyeleri grafiksel gösterimi	54
4.13 1.Bölge içme sularındaki iletkenlik değerleri grafiksel gösterimi.....	54

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.14 2.Bölge içme sularının sıcaklık değerleri grafiksel gösterimi	55
4.15 2.Bölge içme sularının pH seviyeleri grafiksel gösterimi	56
4.16 2.Bölge içme sularındaki iletkenlik değerleri grafiksel gösterimi.....	56
4.17 3.Bölge içme sularının sıcaklık değerleri grafiksel gösterimi	57
4.18 3.Bölge içme sularının pH seviyeleri grafiksel gösterimi	58
4.19 3.Bölge içme sularındaki iletkenlik değerleri grafiksel gösterimi.....	58
4.20 4.Bölge içme sularının sıcaklık değerleri grafiksel gösterimi	59
4.21 4.Bölge içme sularının pH seviyeleri grafiksel gösterimi	60
4.22 4.Bölge içme sularındaki iletkenlik değerleri grafiksel gösterimi.....	60
4.23 5.Bölge içme sularının sıcaklık değerleri grafiksel gösterimi	61
4.24 5.Bölge içme sularının pH seviyeleri grafiksel gösterimi	62
4.25 5.Bölge içme sularındaki iletkenlik değerleri grafiksel gösterimi.....	62
4.26 Ortalama Radon Aktivitelerinin bölgelere göre karşılaştırılması.....	68
4.27 Yıllık Etkin Doz miktarlarının bölgelere göre karşılaştırılması (Fing: $3,5 \times 10^{-6}$).....	68
4.28 Midenin Aldığı Doz miktarlarının bölgelere göre karşılaştırılması	68
4.29 Yıllık Etkin Doz miktarlarının bölgelere göre karşılaştırılması (Fing: $1,23 \times 10^{-5}$)	69

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Uranyum serisi ürünleri ve yarı ömürleri	8
2.2 Uranyumun doğal izotopları	9
2.3 Toryum serisi ürünleri ve yarı ömürleri.....	9
2.4 Aktinyum serisi ürünleri ve yarı ömürleri	10
2.5 Neptünyum serisi ürünleri ve yarı ömürleri.....	11
2.6 Radyoaktif serilerin en kısa ve en uzun yarı ömürlü üyeleri	12
2.7 Dünya genelinde radyasyon kaynaklarından maruz kalınan ortalama radyasyon doz değerleri.....	17
2.8 İyonlaştırıcı radyasyon birimleri ve dönüşüm faktörleri	20
2.9 Radonun özellikleri.....	22
2.10 Radon Konsantrasyon Limitleri.....	28
2.11 Evlerde ve işyerlerinde radon ve ürünleri için önerilen eylem seviyeleri (etkin doz)	29
4.1 1.Bölge içme sularındaki ortalama radon ve radyum değerleri	47
4.2 2.Bölge içme sularındaki ortalama radon ve radyum değerleri	48
4.3 3.Bölge içme sularındaki ortalama radon ve radyum değerleri	49
4.4 4.Bölge içme sularındaki ortalama radon ve radyum değerleri	51
4.5 5.Bölge içme sularındaki ortalama radon ve radyum değerleri	52

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
4.6 1.Bölge içme sularının sıcaklık, pH ve iletkenlik değerleri	53
4.7 2.Bölge içme sularının sıcaklık, pH ve iletkenlik değerleri	55
4.8 3.Bölge içme sularının sıcaklık, pH ve iletkenlik değerleri	57
4.9 4.Bölge içme sularının sıcaklık, pH ve iletkenlik değerleri	59
4.10 5.Bölge içme sularının sıcaklık, pH ve iletkenlik değerleri	61
4.11 Menemen İlçesi ve civarındaki içme sularının ortalama radon aktivitesi, YED ve MAD değerleri	66
4.12 Menemen İlçesi ve civarındaki içme sularının diğer fiziksel ve kimyasal özellikleri	70
4.13 Radon aktivitelerinin diğer çalışmalar ile karşılaştırılması	72
4.14 Türkiye’ de farklı şehirlerdeki benzer çalışmalarda hesaplanan ortalama (ya da min-max) yıllık etkin dozların karşılaştırılması.....	73

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
<i>GHz</i>	Frekans (gigahertz)
<i>mSv</i>	miliSievert
<i>μSv</i>	mikroSievert
<i>kg</i>	kilogram
⁴⁰ <i>K</i>	Potasyum İzotopu
<i>g</i>	gram
<i>ml</i>	mililitre
<i>K</i>	Kelvin
<i>L</i>	litre
<i>pCi</i>	picoCurie
<i>k</i>	kilo
<i>m</i>	metre
<i>m³</i>	metreküp
<i>km²</i>	kilometrekare
%	yüzde
H ₂ O	su molekülü
<i>dk</i>	dakika

μS mikrosiemens

y/Y yıl

H⁺ Hidrojen iyonu

OH⁻ Hidroksil iyonu

Kısaltmalar

IAEA Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu

UNSCEAR Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi

TAEK Türkiye Atom Enerjisi Kurumu

AB Avrupa Birliği

ICRP Uluslararası Radyolojik Korunma Komisyonu

USEPA Birleşik Devletler Çevre Koruma Ajansı

WHO Dünya Sağlık Örgütü

NRPB İngiltere Milli Radyasyondan Korunma Komitesi

KB Kuzey Batı

GD Güney Doğu

YED Yıllık Etkin Doz

MAD Midenin Aldığı Doz

EC Elektriksel İletkenlik (Electrical Conductivity)

1.GİRİŞ

Yeryüzünde ve yeraltında var olan, evrenin oluşumundan beri canlıların çeşitli nedenlerle kullanmış olduğu suların çevresel yollarla kirlenmesi kaçınılmaz olmuştur. İnsanların kullanmış olduğu suların radyoaktif anlamda kirlenmesinin başlıca sebebi radyoaktiviteye sahip olan radon gazıdır.

Günlük yaşamda devamlı radyasyonun etkisinin altında kaldığı bilinen bir gerçektir. Radyoaktif çekirdeklerin kararlı hal alırken yaymış oldukları enerji şeklinde açıklanan radyasyon ile alakalı faaliyetler Henri Becquerel tarafından 1896 senesinde başlatılmıştır. Genel manada radyasyon, yapay radyasyon ile doğal radyasyon şeklinde iki kola ayrılmaktadır. Çevremizde devamlı olarak etkisi altında kaldığımız doğal radyasyonun aşağı yukarı yarısı göz ile görülmeyen ve de duyarlar aracılığı ile algılanamayan tatsız, renksiz ve kokusuz bir gaz niteliğindeki Radon ile radonun kısa vadeli ürünlerinden meydana gelmektedir (Gillmore ve ark. 2002).

Alfa parçacık radyasyonu yayabilen kritik bir soy gaz niteliği taşıyan Radon, aynı zamanda bireylerin maruz kaldığı en büyük doğal radyasyon kaynakları arasında yer almaktadır (UNSCEAR, 1993). Radon, doğal ^{238}U (Uranyum) bozunma zincirinde bulunan ^{226}Ra 'nın (Radyum) radyoaktif dönüşümü neticesinde meydana gelen, yarı ömrü ise 3.82 güne karşılık gelen radyoaktif soy gazlardan bir tanesine karşılık gelmektedir. Bahsi geçen radonun α parçacıkları yayınlayan kısa vadeli radyoaktif ürünleri arasında yer alan ^{214}Po (Polonyum) ile ^{218}Po , insanlarca alınmış olan senelik radyasyon dozuna %90'dan fazla katkı sağlamaktadır (Gillmore ve ark., 2001). Radon havada, toprakta ve de içerisinde yer aldığı suların özelliklerine göre çeşitli derişimlerde olabilmektedir. Radon hem suda çözünabilmekte hem de çözünürlüğü yüksek olan sıcaklıklarda düşüşe geçmektedir (UNSCEAR, 1993).

Doğal ortamda suların saf halde olması mümkün değildir. Su açısından kirletici olan, bu sebepten dolayı da kişi sağlığını tehdit edebilen bir özelliği bulunan öğelerden bir tanesi de suların radyoaktivite düzeyidir. Suyun radyoaktif şekilde kirlenmesi 2 ana yolla olmaktadır. Bu yollardan bir tanesi toprakta ve

atmosferde yer alan doğal radyonüklit temelli, ötekisi de nükleer aktiviteler (nükleer silah denemeler ile reaktör kazaları gibi) ile tıbbi radyoaktif atık temellidir (Kılıç, 2015). Suda bulunan radon konsantrasyonu tuzluluk ile de yakından ilişkilidir ancak etkisi genellikle görmezden gelinir (Schubert ve ark., 2012). Radona insanlar iki yolla maruz kalabilirler. Bu yollar solunum ve sindirim yoludur. Yüksek düzeyde radon barındıran suyun tüketimi ile alakalı şekilde mide ile bütün vücut fazladan radyasyon dozuna maruz kalabilmektedir (Khattak ve ark., 2011). Bilimsel faaliyetler uzun zaman radyasyona maruz kalma durumunun akciğer kanseri ile başka pek çok organ kanserleri tehlikesini yükselttiğini gözler önüne sermiştir (Planiniç, 2002). Doğal radyasyon, uzaydan gelen kozmik ışınlarla yer kabuğunda yer alan ^{232}Th , ^{238}U , ^{226}Ra ile ^{40}K benzeri radyoaktif elementlerden ileri gelmektedir. Doğal radyasyon kaynaklarından alınmış olan radyasyonun aşağı yukarı yarısını radon ile radonun kısa ömürlü ürünleri meydana getirmektedir. Radon kaynaklı maruz kalınmakta olan senelik doz aşağı yukarı 1,3 mSv' e karşılık gelmektedir. Genel manada insanlar yaşamış oldukları ortamın fiziki nitelikleri ile coğrafi koşullara bağlı şekilde senede aşağı yukarı 2,4 mSv' ye karşılık gelecek dozda bir doğal radyasyon ile karşı karşıya kalabilmektedirler (UNSCEAR, 2000; Değerlier, 2007). Bu sebeplerden dolayı radon gazının kaynak suyu, içme suyu, termal sular ve diğer kullanım alanlarında bulunan sulardaki konsantrasyonlarının belirlenmesi, radon seviyelerinin sularda ve diğer ortamlarda hangi etkilere sebep olduğunun anlaşılması oldukça önem arz etmektedir.

Son senelerde Radonun hemen hemen her yerde olduğu bilgisinin yayılması, radyasyona yeni bir perspektif kazandırmıştır ve bahsi geçen tarihten itibaren de bilhassa da açık olmayan ortamlarda Radon yoğunluğunun ölçülebilmesine ilişkin çalışmalar hız kazanmıştır (Akkurt, 2006). İçme suyu standartlarının hem radyoaktif elementler hem de metal ile ağır metaller açısından uluslararası ya da ulusal kuruluşlarca belirlenmiş olan limitlerin altında olması beklenir. Radyoaktivite ile ağır metal konsantrasyonlarının saptanmış seviyelerin daha üzerinde olması, bunun yanında ilgili suların uzun süre boyunca kullanılıyor olması, toplum sağlığını negatif yönlü etkileyebilir. Doğal radyoaktif çekirdekler arasında yer alan ^{222}Rn , bireylerin içme sularını tüketmesiyle karşı karşıya kaldıkları radyasyonun dozunun en önemli nedenidir (Oliveira et al., 2001; Kılıç, 2015).

Bu çalışmada Menemen İlçesi ve mahalleleri ile buraya yakın konumda olan Foça ilçesi' nin bazı beldelerinden alınan içme sularında radon aktiviteleri RAD7-H₂O dedektörü kullanılıp ölçülmüştür. Bunun dışında bahsi geçen suların tüketilmesiyle maruz kalınan senelik efektif dozlar hesaplanmıştır. İnsan sağlığı açısından taşıdığı riskler nedeniyle radyoaktif kirliliğe sebep olan radon ve bozunum ürünlerinin çalışma bölgesindeki sularda hangi konsantrasyonlara sahip olduğu ve bu suların tüketilmesiyle maruz kalınan yıllık etkin dozlar ile ilgili Türkiye ve Dünya' nın çeşitli bölgelerinde yapılan çalışmalardan literatür özeti bölümünde bahsedilmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Radyoaktivite Nedir?

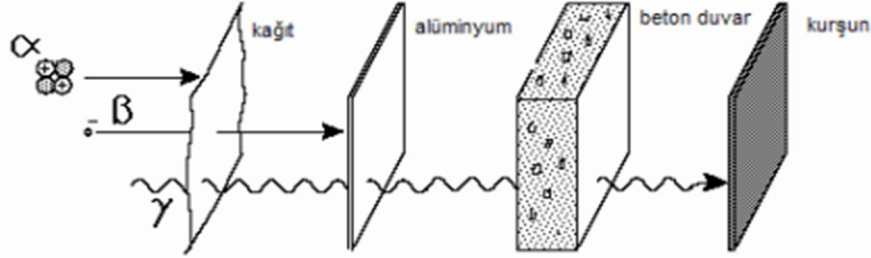
Kararsız olan yani, çekirdeğindeki proton ve nötron sayıları dengeli bir orana sahip olmayan elementlerin, enerji yüklü çeşitli parçacık ya da dalgalar şeklinde ışımlar yaparak başlangıçtakinden kimyasal ve fiziksel açıdan daha kararlı bir başka elemente dönüşmüş olduğu olaya radyoaktivite denilmektedir. Bu olay doğada mevcut bulunan kararsız elementlerde meydana geliyorsa doğal radyoaktivite; kararlı elementlerin, yüklü parçacıklar, nötronlar ya da fotonlar ile bombardıman edilip kararsız duruma getirilmesiyle meydana geliyorsa yapay radyoaktivite olarak tanımlanmaktadır (Aydın, 2016). Radyoaktivite olayı atom çekirdeğinin kararsızlığı ile bağlantılı olduğundan dolayı çekirdek fiziği bakımından atom çekirdeğini incelemek lazımdır. Bu açıdan incelendiğinde, bir atomun çekirdeğinde ki nötronların varlığı protonların birbirini itmesi durumunda çekirdekteki dengeyi artırma açısından önemli atfedilmektedir. Bir çekirdeğin kararlılığı nötron ve proton sayılarının oranının küçük atom çekirdeklerinde yani atom numarası 20 veya daha küçük olanlarda 1 (bir), küçük olmayan yani büyük atom çekirdeklerinde ise nötron ve proton sayılarının oranları 1,5 civarında olmasıyla sağlanmaktadır. Doğada kararlı en ağır çekirdek Bizmut (²⁰⁹₈₃Bi)'dur. Bizmut atomu için nötron ve proton oranı yaklaşık olarak 1,5'tir. Nötron ve proton oranları 1,5 ten büyük (N/Z>1,5) öteki bütün çekirdeklerse kararsızdır yani radyoaktiftir (Özseven, 2019).

Radyoaktif elementler kararlı hale gelebilmek için doğal radyoaktiflik sürecinde çekirdeklerinden alfa (α), beta (β), gama (γ) ışımlarını yapar ve bu ışımlar sonucunda radyasyon enerjisi açığa çıkar. Alfa ışıması ile çıkan enerji alfa (α) radyasyonu, Beta ışıması ile çıkan enerjiye beta (β) radyasyonu ve Gama ışıması ile çıkan enerjiye gama (γ) radyasyonu denilmiştir.

Takvimler 1896 senesini gösterdiği zaman A.H. Becquerel öncülüğünde Radyoaktivite keşfedilmiştir. Henri Becquerel belli floresan tuzlarının güneş ışınları ile aktifleşmesinin ardından yayınlamış oldukları radyasyonlar üzerinde çalışıyor iken tesadüfen siyah kâğıda sarılmış potasyum ile uranyum sülfattan oluşan numuneyi karanlık oda içerisinde fotoğraf levha yanında bırakmıştır (Enge, 1966). Bahsi geçen fotoğraf levhalarının banyo edildikleri zaman ışık karşısında tümüyle korunmuş olmalarına rağmen ışığa maruz kalmışçasına netice vermiş olduklarını açık bir şekilde görmüştür. İlgili deneyi yineleyen Becquerel fotoğraf levhalarının etkilenmesinin floresans ya da X-ışınlarıyla bir alakasının bulunmadığını, yalnızca uranyum elementinin niteliği olduğunu açık bir şekilde göstermiştir. Fotoğraf levhaları üzerinde etkili olan bazı tip radyasyonların uranyum tuzundan yayınlanmış oldukları sonucuna erişmiştir (Tel, 2014).

Becquerel' in keşfinin ardından radyasyonun niteliklerinin çalışılmasına ilişkin önemli çabalar harcanmıştır. İlk çalışmaların büyük bir kısmı William Crokes, Curie' ler, Ernest Rutherford ile Rutherford' un Cambridge'de bulunan arkadaşlarınca yapılmıştır. Doğal radyoaktif maddelerin radyasyonları, girme güçlerine bağlantılı şekilde 3 farklı başlıkta gruplandırılmışlardır. İlk grup, girici kuvvetleri oldukça zayıfları içermektedir. Bunlar kağıt parçasınca dahi durdurulabilmekte, ancak havada yoğun iyonlaşmalara yol açmaktadırlar. İlgili radyasyonlar alfa parçacıkları şeklinde isimlendirilir. Diğer grubu oluşturanların iyonlaştırma kuvvetleri çok daha az oranlardadır fakat alfa parçacıklarından çok daha büyük olan girici-güçleri bulunmaktadır ve yalnızca birkaç mm kalınlığa sahip metal levhalardan dahi kolay bir şekilde geçiş yapabilmektedirler. Bu parçacıklar da beta parçacığı olarak isimlendirilir. Son grupta bulunanlar ise az iyonlaşmaya yol açarlar ancak aynı olmayan maddelerin santimetrelere karşılık gelen kalınlıklarından dahi geçiş yapabilmektedirler. Bunlar da genel kabul gören adı olan gama ışınları ismi ile bilinmektedir. Bahsi geçen ışınlar enerjisi oldukça üst seviyede ve elektromanyetik özelliğe sahip, ışık hızı ile rahatlıkla hareket

edebilen dalgalardır. Alfa ile beta parçacıklarından çok daha yüksek oranlarda giricidirler (Arya, 1989). İlgili radyasyona ait giricilikler aşağıda yer alan Şekil 2.1' üzerinde açık bir şekilde sunulmaktadır.



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

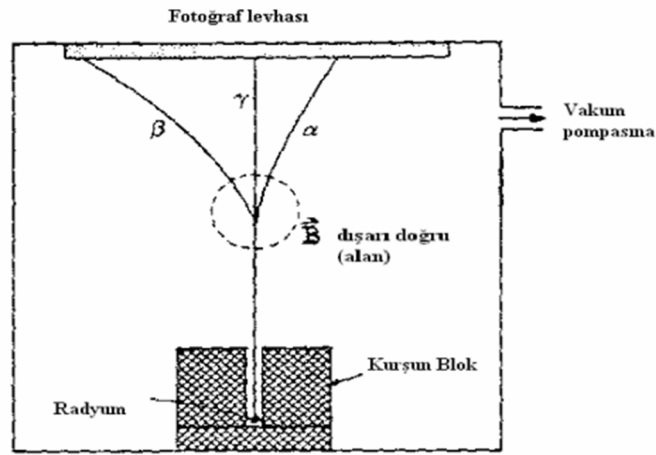
Dışarıdan herhangi bir etki bulunmaksızın bozunabilen elementlere genel manada doğal radyoaktif elementler; ilgili hadiseye ise doğal radyoaktivite adı verilmektedir. Bir başka ifadeyle bozunuma uğramış olan radyoizotop doğada bulunmaktadır ya da doğada yer alan öteki radyoizotopların bozunması neticesinde açığa çıkar (Akyıldırım, 2005).

Doğal radyoaktifliğin dışında laboratuvar ortamında nükleer tepkimeler ile radyoaktif çekirdekler imal edilmektedirler. İlgili olaya ise yapay radyoaktivite adı verilir. İlgili durum ilk defa Al, 1934 yılında Irene Curie ile Pierre Joilot öncülüğünde Po'nun doğal radyoaktif bozunmasından ortaya çıkmış olan α - parçacıklarıyla bombardıman edilmesinin neticesinde ^{30}P 'nin elde edilmesi ile hayata geçirilmiştir. İlgili izotop 2.5 dakika yarı ömürle pozitron yayınlayıp bozunmaktadır (Krane, 2001).

Yapay radyoaktivite ile fisyonun varlığının bulunmasını takip eden süreçte oldukça fazla sayıda yapay radyoaktif maddeler üretilmiştir. Radyoaktif şekilde bilinmekte olan elementler kararsız yapıda oldukları için radyoaktivite niteliğine sahip oldukları bilinmektedir. Kararlı yapıda olmayan bu elementlerin çekirdekleri parçalanır ve sonucunda yeni bir çekirdek ortaya çıkar. Atom çekirdeğinde gerçekleşen bu değişime bozunma denir.

Doğada karşılaşılan radyoaktif elementler β , α ile γ yayınlarak bozunuma uğramaktadırlar. İlgili parçacıklardan betalar negatif yüklü, alfalar pozitif yüklü

ve de gamalar ise yüksüzdür. Parçacıkların ilgili yüklerinin saptanması adına kullanılmakta olan deney düzeneği aşağıda yer alan şekil 2.2’ de açık bir şekilde görülmektedir. Bir manyetik alanca α ile β -parçacıklarıyla γ -ışınlarının saptırılmalarını göstermekte olan denel düzenek üzerinde α -parçacıkları ‘+’ yüklü oldukları için sağ kısma, β -parçacıkları ise negatif yüklü oldukları için sol kısma doğru saparlar. β -parçacıklarının α -parçacıklarına nazaran kütlelerinin oldukça düşük, hızlarının oldukça fazla olmasından dolayı sapma hareketleri de α -parçacıklarından çok daha fazladır. γ -ışınları yüklü olmamalarından dolayı manyetik alanca hiçbir şekilde saptırılmazlar (Arya, 1989).



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

2.2. Radyoaktif Bozunum Kanunu

Doğada bulunan elementlerin bir bölümünün kararlı, bir bölümünün ise kararsız çekirdekleri bulunmaktadır. Kararlı çekirdeklerde nötron ile protonların birbirlerine nükleer kuvvetler ile sıkı sıkıya bağlı olmasından ötürü parçacıkların hiçbirisi çekirdeğin dışına çıkamaz ve bu sayede herhangi bir durumda çekirdeğin dengede olduğu da rahatlıkla ifade edilebilir. Kararsız radyoaktif çekirdeklerse, radyasyon yayınlayıp dengeye erişme eğilimi sergileyecektir. Radyoaktivite dışarıdan etki ile kontrol altında tutulabilecek bir hadise asla değildir ve bunun yanında radyoaktivitenin hiçbir şekilde yavaşlatılması ve de durdurulması mümkün değildir (Togay, 2002).

Kararsız durumda bulunan radyoaktif çekirdeklerin mevcut enerjilerinin bir kısmını ışıma (saçılma) yoluyla dışarıya vererek bulunduğu durumdan daha kararlı bir yapıya gelmelerine Radyoaktif bozunum adı verilir.

2.3. Radyoaktif Seriler

Doğada üçü doğal ve biri ise yapay olarak dört tane radyoaktif seri bulunmaktadır. $Z=81$ ve $Z=92$ arasındaki radyoaktif izotoplar A kütle numaralarına bağlı şekilde bahsi geçen 4 radyoaktif serinin bir tanesinin kapsamında yer alırlar (Arya, 1989).

2.3.1. Doğal Radyoaktif Seriler

Doğada aktinyum, uranyum ile toryum olmak üzere üç adet doğal radyoaktif seri vardır. Bu üç seri de ömrü uzun olan bir element ile başlayıp, bozunmanın en sonunda Pb' un bir izotopu ile son bulurlar. Ayrıca bu üç seri Radon gazının izotopunu içerir ve bunun yanında serilerdeki çekirdeklerin bazılarında α ile β saçarak bozunmaktadırlar.

2.3.1.1 Uranyum Serisi

Uranyum serisi $^{238}_{92}\text{U}$ 'yla başlamaktadır. Beta ile alfa parçacıkları yayınlayıp kurşunun bir izotopu olan kararlı haldeki $^{206}_{82}\text{Pb}$ atomuna dönüşmektedir. İlgili seriye ait kütle numaraları ise $(4n+2)$ biçimindedir (n tamsayı olmak üzere) (Davutoğlu, 2008). Aşağıda yer alan çizelge 2.1 üzerinde uranyum serisinin ürünleriyle yarılanma ömürleri gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. Uranyum serisi ürünleri ve yarı ömürleri (Arya, 1989).

Çekirdek	Yarı Ömür	Yayınladığı Parçacık Türü	Bozunum Ürünleri
^{238}U	$4.5 \cdot 10^9$ yıl	α	^{234}Th
^{234}Th	24.1 gün	β^-	^{234}Pa
^{234}Pa	6.7 saat	β^-	^{234}U
^{234}U	$2.67 \cdot 10^5$ yıl	α	^{234}Th
^{234}Th	$8 \cdot 10^4$ yıl	α	^{226}Ra
^{226}Ra	1620 yıl	α	^{222}Rn
^{222}Rn	3.82 gün	α	^{218}Po
^{218}Po	3.05 dakika	α β^-	^{214}Pb ^{218}At
^{218}At	1.5-2.0 saniye	α β^-	^{214}Bi ^{218}Rn
^{218}Rn	0.019 saniye	α	^{214}Po
^{214}Pb	26.8 dakika	β^-	^{214}Bi
^{214}Bi	19.7 dakika	β^- α	^{214}Po ^{210}Tl
^{214}Po	$15 \cdot 10^{-4}$ yıl	α	^{210}Pb
^{210}Tl	1.32 dakika	β^-	^{210}Pb
^{210}Pb	22 yıl	β^-	^{210}Bi
^{210}Bi	5 gün	β^- α	^{214}Po ^{210}Tl
^{210}Po	138.40 gün	α	^{206}Pb
^{206}Tl	4.2 dakika	β^-	^{206}Pb
^{206}Pb	kararlı	-	-

En ağır doğal element olarak bilinen uranyum atomu 238,03 ağırlığa sahiptir. Çekirdeğinde 146 nötron, 92 proton ile yedi katlı yörüngesinde 92 elektron olup, atom yarıçapıysa 1,43 Å'ya karşılık gelmektedir. Ağır metal niteliğindeki uranyumun yoğunluğu ise 19,1 g/cm³ 'e karşılık gelmektedir. Uranyum, genel manada 1132 °C altında erirken 3818 °C altında kaynamaktadır. Bahsi geçen uranyum çeşitli sıcaklıklar altında çeşitli nitelikler sergiler. Bahsi geçen fark kristal yapısında bulunan değişimden kaynaklanır, bir başka deyişle allotropik (aynı elementin uzayda çeşitli biçimlerde dizilip çeşitli geometrik şekillerdeki kristaller) metaldir. Tabiat içerisinde mevcut olan radyonüklidlerin

büyük kısmı ^{238}U 'in bozunum serisindedir. Doğal olan uranyumun %99,28'lik kısmını ^{238}U meydana getirir. Doğal Uranyumun izotoplarına ait yarı ömürler aşağıda yer alan çizelge 2.2' de görüldüğü şekildedir (Değerlier, 2007).

Çizelge 2.2. Uranyumun doğal izotopları

İzotop	Doğal çokluk (%)	Yarı ömrü (yıl)
$^{238}_{92}\text{U}$	99.280	$4.50 \cdot 10^9$
$^{235}_{92}\text{U}$	0.720	$0.70 \cdot 10^9$
$^{234}_{92}\text{U}$	0.0050	$2.40 \cdot 10^5$

2.3.1.2. Toryum Serisi

Bu başlık altında ele alınacak olan toryum serisi ^{232}Th ile başlamaktadır. Aşağıda yer alan çizelge 2.3 üzerinde de görüldüğü üzere beta ile alfa parçacıkları yayınlayıp kurşunun izotopu niteliğindeki ^{208}Pb 'a dönüşmektedir. İlgili serinin kütle numaralarıysa (4n) biçimindedir.

Çizelge 2.3 Toryum serisi ürünleri ve yarı ömürleri (Arya, 1989).

Çekirdek	Yarı ömür	Yayınladığı parçacık türü	Bozunum ürünleri
^{232}Th	$1.390 \cdot 10^{10}$ yıl	α	^{228}Ra
^{228}Ra	6.70 gün	β^-	^{234}Ac
^{234}Ac	6.130 saat	β^-	^{230}Th
^{230}Th	1.9100 yıl	α	^{226}Ra
^{226}Ra	3.640 gün	α	^{222}Rn
^{222}Rn	5.150 saniye	α	^{218}Po
^{218}Po	0.160 saniye	α	^{218}Pb
^{218}Pb	10.60 saat	β^-	^{214}Bi
^{214}Bi	60.50 saat	β^- α	^{214}Po
^{214}Po	$3 \cdot 10^{-7}$	α	^{210}Tl
^{210}Tl	3.100 dakika	β^-	^{206}Pb
^{206}Pb	kararlı	-	-

2.3.1.3 Aktinyum Serisi

Bu başlık altında ele alınacak olan aktinyum serisi ^{235}U 'yla başlamaktadır. Beta'yla alfa parçacıkları yayınlayıp kurşunun izotopu niteliğindeki ^{207}Pb ' a dönüşmektedir. Bahsi geçen serinin kütle numaraları ise $(4n+3)$ biçimindedir. Bu serinin ürünleri, ilgili ürünlerin yarı ömürleri ile yayınlamış oldukları parçacık çeşitleri aşağıda yer alan çizelge 2.4 üzerinde gösterilmiştir.

Çizelge 2.4. Aktinyum serisi ürünleri ve yarı ömürleri (Arya 1989)

Çekirdek	Yarı Ömür	Yayınladığı Parçacık Türü	Bozunum Ürünleri
^{235}U	$7.150 \cdot 10^8$ yıl	α	^{231}Th
^{231}Th	25.640 saat	β^-	^{231}Pa
^{231}Pa	$3.430 \cdot 10^4$ yıl	α	^{227}Ac
^{227}Ac	21.80 yıl	α β^-	^{227}Th ^{223}Fr
^{227}Th	18.40 gün	α	^{223}Ra
^{223}Fr	21 dakika	β^- α	^{223}Ra ^{219}At
^{223}Ra	11.680 gün	α	^{219}Rn
^{219}At	0.90 dakika	α β^-	^{214}Bi ^{218}Rn
^{219}Rn	3.920 saniye	α	^{215}Po
^{215}Bi	8 dakika	β^-	^{215}At
^{215}Po	$1.830 \cdot 10^{-2}$ saniye	α β^-	^{211}Pb ^{215}At
^{215}At	10^{-4} saniye	α	^{211}Bi
^{211}Pb	36.10 dakika	β^-	^{211}Bi
^{211}Bi	2.160 dakika	β^- α	^{207}Tl ^{211}Po
^{211}Po	0.520 saniye	α	^{207}Pb
^{207}Tl	4.780 dakika	β^-	^{207}Pb
^{207}Pb	kararlı	-	-

2.3.2. Yapay Radyoaktif Seriler

2.3.2.1 Neptünyum Serisi

Doğada var olan radyoaktif bozunma serilerinin dışında bir tane de yapay neptünyum serisi mevcuttur. İlgili radyoaktif serinin yarı ömrü 14 seneye karşılık gelen ^{241}Pu temelli olduğu ve ilgili sebepten dolayı bugün olmasa dahi bir dönem bulunduğu tahmin edilmektedir (Durmuş, 2007). ^{237}Np izotopuyla başlayan ilgili seride doğal olan sadece talyum ile bizmut elementleridir (Çelik, 2013). Neptünyum serisindeki yarı ömürleri oldukça kısa olan elementler de bulunmaktadır (Durmuş, 2007). Neptünyum serisi ürünleri ve onlara ait yarı ömürler çizelge 2.5’ te belirtilmiştir.

Çizelge 2.5. Neptünyum serisi ürünleri ve yarı ömürleri (Arya 1989)

Çekirdek	Yarı Ömür	Yayınladığı Parçacık Türü	Bozunum Ürünleri
^{237}Np	$2.20 \cdot 10^6$ yıl	α	^{233}Pa
^{233}Pa	27.40 gün	β^-	^{233}U
^{233}U	$1.620 \cdot 10^5$ yıl	α	^{229}Th
^{229}Th	7340 yıl	α	^{225}Ra
^{225}Ra	14.80 gün	β^-	^{225}Ac
^{225}Ac	10 gün	α	^{221}Fr
^{221}Fr	4.80 ay	α	^{217}At
^{217}At	0.01850 saniye	α	^{213}Bi
^{213}Bi	47 ay	α	^{209}Tl
^{209}Tl	2.20 dakika	β^-	^{209}Pb
^{209}Pb	3.30 saat	β^-	^{209}Bi
^{209}Bi	$1.90 \cdot 10^{19}$ yıl	α	^{205}Tl
^{205}Tl	kararlı	-	-

Bu doğal radyoaktif serilerin çekirdeklerinin birinci ile sonuncu üyeleriyle yarı ömürlerinin en kısa ile uzun üye bilgileri çizelge 2.6’ da belirtilmiştir.

Çizelge 2.6. Radyoaktif serilerin en kısa ve en uzun yarı ömürlü üyeleri (Akar, 2010).

Seri Adı	İlk Çekirdek	Son Çekirdek	En Kısa Yarı Ömürlü Üye	En Uzun Yarı Ömürlü Üye
Uranyum Serisi	$^{238}_{92}\text{U}$	$^{206}_{82}\text{Pb}$	$15 \cdot 10^{-4}$ saniye	$4.5 \cdot 10^9$ yıl
Toryum Serisi	$^{232}_{90}\text{Th}$	$^{208}_{82}\text{Pb}$	$3.0 \cdot 10^{-7}$ saniye	$1.9 \cdot 10^{10}$ yıl
Aktinyum Serisi	$^{235}_{92}\text{U}$	$^{207}_{82}\text{Pb}$	10^{-4} dakika	$7.15 \cdot 10^8$ yıl
Neptünyum Serisi	$^{241}_{94}\text{Pu}$	$^{209}_{83}\text{Bi}$	0.0185 saniye	$2.2 \cdot 10^6$ yıl

2.4. Radyasyon

Bir atom çekirdeğinin doğal yollarla (kendiliğinden) ya da yapay şekilde enerji verilerek uyarılmasıyla (insan müdahalesi) dışarıya ışıın ya da foton şeklinde enerji saçması olayına radyasyon denir. Etki durumu, enerji, giricilik ve frekans gibi özelliklerine göre farklı karakterde radyasyon çeşitleri doğada bulunabilir.

Radyasyonlar temas ettiği maddeyi iyonlaştıran ya da iyonlaştırmayan olarak iki grupta değerlendirilir;

1. İyonlaştırıcı Radyasyon

- Alfa parçacıkları
- Nötronlar
- X-ışınları
- Gama Işınları
- Beta parçacıkları
- Kozmik ışınlar

2. İyonlaştırmayan Radyasyon

- Kızılötesi ışınlar
- Ultraviyole ışınlar
- Radarlar
- Radyo dalgaları

- e. Baz istasyonları
- a. Yüksek gerilim hatları
- b. Kozmik ışınlar
- c. Cep telefonları
- d. Mikrodalga fırınlar

İlk grubu oluşturan iyonlaştırıcı radyasyon, molekül ile atomlardan elektron koparabilen radyasyonlar arasındadır (Davutoğlu, 2008).

İyonlaştırıcı olmayan radyasyonlar tamamen zararsız olarak kabul edilmez. Örneğin mikrodalga fırında meydana gelen radyasyondan korunulması amacıyla kapak kısmına özel cam konulmuştur (Alakuş, 2013).

2.4.1. İyonlaştırıcı Radyasyonlar

Atom çekirdeği ile etkileşimde bulunacak kadar enerjisi yüksek, beta ile alfa gibi hareketli ve yüklü parçacıkların oluşturdukları etkiye iyonlaştırma (iyonizasyon) adı verilir. Yüksek enerjisi bulunan bu parçacıkların, çekirdek yakınından geçer iken elektron kabuğunda meydana getirdikleri değişimler veya elektronun kabuktan ayrılması iyonlaştırıcı radyasyonun etkileri arasında gösterilebilir.

İlk gruptaki iyonlaştırıcı radyasyon, doğrudan veya dolaylı olarak iki kola ayrılır. Doğrudan iyonlaştırıcılar negatronlar, pozitronlar, protonlar ile ağır yüklü parçacıklardır. İlgili tip radyasyon bulunduğu ortamı çok hızlı iyonlaştırabilir. X-ışını, nötronlar ile gama ışını gibi yüksüz dolaylı iyonlaştırıcı radyasyonlar ise madde ile temas ederek ikincil radyasyon sayesinde ortamı iyonlaştırır. En bilindik iyonlaştırıcı radyasyon çeşitleri; gama ışınları, beta parçacıkları (pozitronlarla negatron), alfa parçacıkları, protonlar, nötronlar ile x-ışınlarıdır (Alp, 2014).

2.4.2. İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyonlar

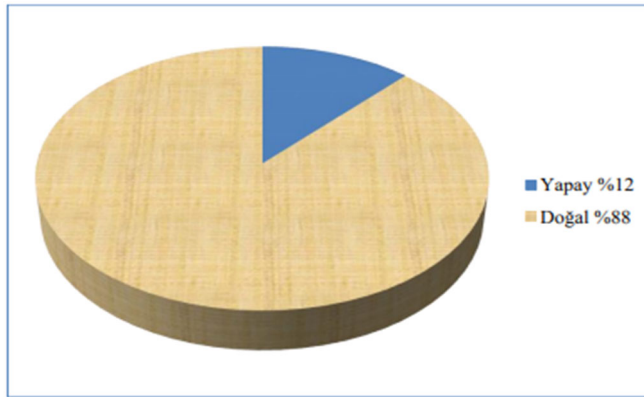
Genel manada ultraviyole ışınları, kızılötesi, mikro dalgalar ile radyo dalgaları benzeri dalga tipli ilgili radyasyon, maddeyle etkileştiği zaman bir

iyonizasyona yol açmaz. Ultraviyole ışınların ana kaynağı ise güneştir. Güneş üzerinden dünyaya gelen ışığın miktarı, bulut durumuna, koruyucu nitelikteki ozon tabakasına, enleme, mevsime ve de deniz seviyesinden yükseklik gibi çeşitli durumlara bağlı olarak değişiklik gösterir. İlgili ışınların maddelerden geçebilmesi fazlaca güçtür ve kolay bir şekilde de önlenebilirler. Infrared radyasyon, yüksek sıcaklığı bulunan cisimlerden çok düşük sıcaklıklara sahip cisimlere aktarılabilen enerji olarak bilinmektedir. Mikro dalgalar, frekansları 1 ile 300 GHz aralığında değişiklik gösteren dalgalardır. İlgili dalgalar uydu ya da mesafeli telefon görüşmeleri, telgraf ile televizyon yayınları ve radar benzeri konumlarda kullanılmaktadırlar (Güler ve Çobanoğlu, 1997).

İyonlaştırıcı nitelik taşımayan radyasyonun niteliği, atomlar ile etkileşime geçebilecek derecede yüksek bir değere sahip olmayan enerji seviyelerindeki elektromanyetik dalgalar atomların yörüngesinde bazı değişimlere yol açmasına karşın, organizmanın üzerinde önemli düzeyde bir hasara yol açmamasıdır (Değerlier, 2007).

2.5. Radyasyon Kaynakları

Etrafımızda yer alan belli başlı radyasyon kaynakları daha önce de bahsedildiği üzere yapay ve doğal olarak iki kola ayrılır. Dünya çapında ilgili radyasyon kaynaklarından ötürü karşı karşıya kalınan radyasyonun dozlarının oransal olarak değerleri aşağıda yer alan şekil 2.3 üzerinde sunulmuştur.



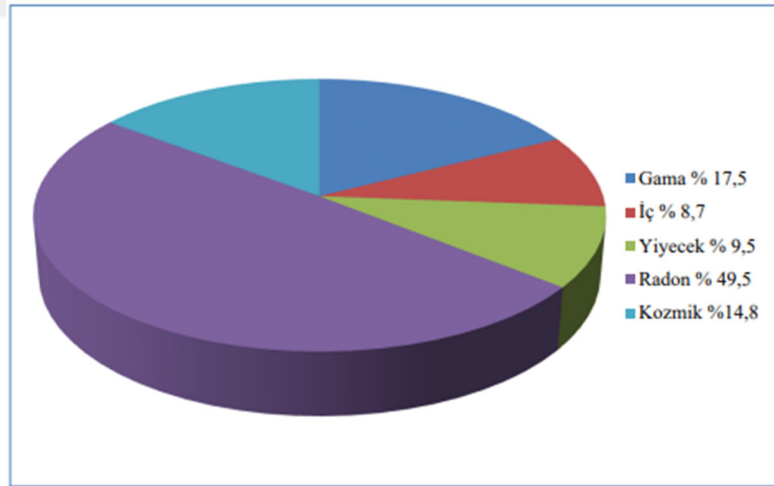
Şekil 2.3. Dünya genelinde doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozlarının oransal değerleri (IAEA, 1996).

2.5.1. Doğal Radyasyon Kaynakları

Doğal kaynaklardan alınmakta olan radyasyonun dozunun en kritik ögesi, radon gazı ile radonun kısa yarı ömürlü bozunma mamülleridir. Radon gazı sebebiyle maruz kalınmış olan doz %50 gibi bir paya sahiptir, aşağı yukarı senelik doz 1.3 mSv'dir. Doğal radyasyon kaynaklarından bazıları aşağıdaki gibi sıralanabilir (UNSCEAR, 1993):

- a) Gama radyasyonu
- b) Yiyecekler
- c) Radon
- d) Vücut içi ışınlama
- e) Kozmik radyasyon

Dünya çapında ilgili doğal radyasyon kaynaklarından dolayı karşı karşıya kalınmış olan radyasyonun dozlarının oransal değerleri aşağıda yer alan Şekil 2.4. üzerinde sunulmuştur.



Şekil 2.4. Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozlarının oransal değerleri (IAEA 1996)

Yaşamakta olduğumuz dünya devamlı şekilde uzaydan yüksek enerjili parçacıklarca bombardıman altındadır. Bahsi geçen yüksek enerjiye sahip parçacıkların önemli kısmı atmosfere ulaşabilen protonlardan oluşmaktadır. Kozmik ışınların derişimi yerin manyetik bölgesi ile yükseklik ile alakalı şekilde değişiklik göstermektedir. Yüklü parçacık niteliğindeki protonlar atmosfer

tabakasına yakınlaştıkça yerde var olan manyetik alanıyla etkileşirler. İlgili sebepten dolayı kozmik ışın yoğunluğu ekvatorlardan kutuplara doğru artar. Bu sebepten dolayı canlıların karşı kalmış olduğu kozmik radyasyon enlem arttıkça buna doğru orantılı olarak artmaktadır. Kozmik ışın kaynaklı yer düzeyindeki senelik etkili doz UNSCEAR raporlarında 0,4 mSv' dir. Bu durum ile beraber yüksek enerjili kozmik ışınlarının proton ile nötronlar atmosferin alt tabakalarında bulunan elementler ile etkileşip trityum, berilyum-7, karbon-14 ile sodyum-22 gibi radyoizotoplar oluşturabilmektedir. Meydana gelen ilgili radyoaktif izotoplar sindirim ve solunum yoluyla iç ışınlamaya yol açarlar. Berilyum-7, trityum, sodyum-22 ile karbon-14 adına ortalama senelik etkin doz değerleri sırasıyla 0,01 μ Sv, 0,03 μ Sv, 0,15 μ Sv ile son olarak da 12 μ Sv şeklinde öngörülmektedir (TAEK, 2009).

Gezeganimizin meydana gelişinden bu zamana kadar bulunan karasal radyonüklitler, bedenimizi gerek iç gerekse de dış ışınlama ile karşı karşıya bırakmaktadır. Bahsi geçen dış ışınlamalar yeryüzündeki ^{238}U ile ^{232}Th serilerine ait radyonüklitler ile ^{40}K radyoizotopundan yayınlanmakta olan gama ışınlarından ileri gelir. İlgili radyonüklitler vücutta bulunmakta, bunun yanında radyasyon yayıp farklı organları iç ışınlamaya da maruz bırakmaktadır. Karasal radyonüklitler toprak ile kaya katmanlarında farklı konsantrasyonlarda var olmaktadır. Bunun ile beraber yer kabuğunun ağırlık açısından %2,4'lük kısmını teşkil eden ^{40}K ' ın aktivite konsantrasyonu çoğunlukla ^{238}U ve ^{232}Th ' den daha büyüktür. UNSCEAR 2000 raporu uyarınca toprakta var olan doğal radyonüklitlerin ortalama aktivite konsantrasyonları ^{232}Th , ^{238}U , ^{226}Ra ile ^{40}K adına sırasıyla 35, 35, 45 ile son olarak 400 Bq/kg' dır (TAEK, 2009).. Aşağıda yer alan çizelge 2.7 üzerinde dünya çapında doğal radyasyonun kaynaklarından alınan yaklaşık radyasyon dozunun değerleri açık bir şekilde sunulmaktadır (TAEK, 2009).

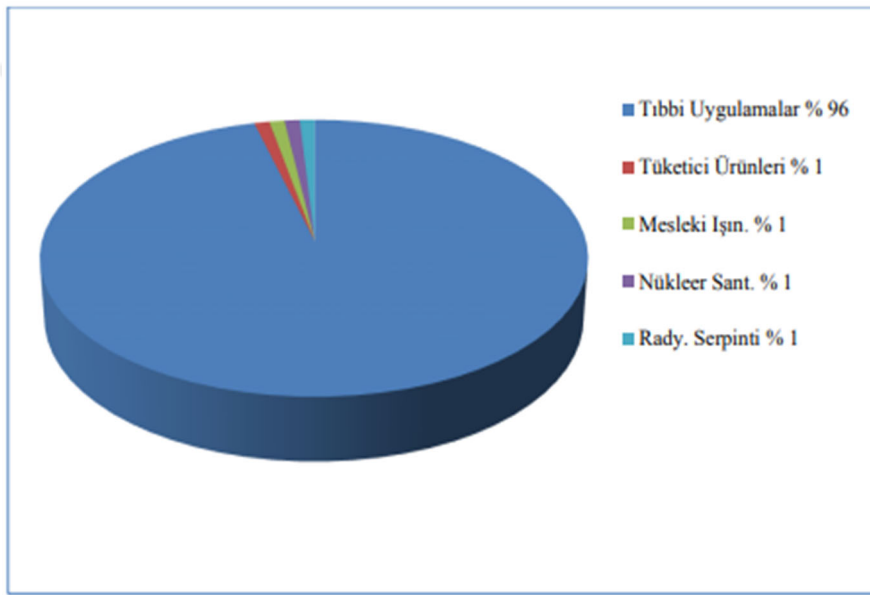
Çizelge 2.7. Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan ortalama radyasyon doz değerleri (TAEK, 2009).

Işınlanma Kaynağı	Yıllık Etkin Doz Değeri (mSv)	
	Ortalama	Değişim Aralığı
Kozmik Radyasyon		
• Foton bileşeni	0,28	
• Nötron bileşeni	0,10	
• Kozmojenik Radyoizotoplar	0,01	
Toplam	0,39	0,3 – 1,0
Yeryüzü Kaynaklı Dış Işınlanma		
• Bina dışı	0,07	
• Bina içi	0,41	
Toplam	0,48	0,3 – 0,6
Solunum Yolu İle Işınlanma		
• Uranyum ve Toryum serileri	0,006	
• Radon (Rn -222)	1,15	
• Toron (Rn -220)	0,10	
Toplam	1,26	0,2 – 10
Beslenme Yolu İle Işınlanma		
• K-40	0,17	
• Uranyum ve Toryum serileri	0,12	
Toplam	0,29	0,2 – 0,8
GENEL TOPLAM	2,4	1 – 10

2.5.2. Yapay Radyasyon Kaynakları

Gelişmiş endüstriyel ekonomiler ile üst düzey hayat standartlarının sürdürülebilir nitelik taşıması adına doğada olmayan radyasyon kaynaklarından bazılarının yapay yollar ile üretilmesi ve de kullanılması kaçınılmaz hale dönüşmüştür. Bahsi geçen kaynaklar, pek çok işin yapılabilme süresini en aza indirmiş ve aynı zamanda maliyetini de düşürmüştür. Bir başka radyasyon türü olan yapay radyasyonun kaynakları da aynı doğal radyasyonun kaynakları misali tüm canlı varlıkların ilgili radyasyonun kaynakları üzerinden belirli oranlarda

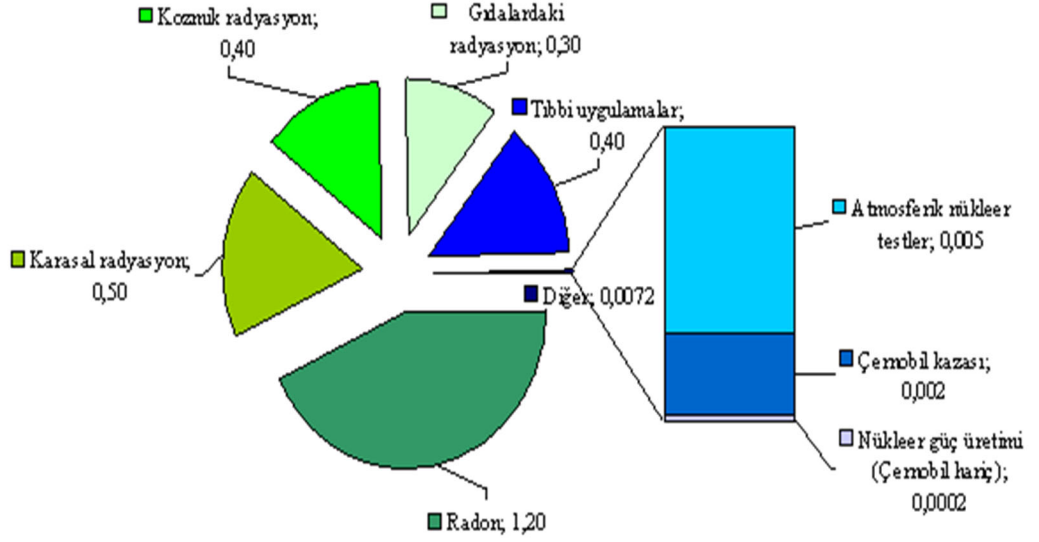
radasyona maruz kalınmasına yol açarlar. Fakat ilgili doz miktarı, gereksinime bağlı şekilde artış gösterse de, doğal kaynaklardan alınmış olan dozdan daha düşük seviyededir. Yapay kaynakların, doğal radyasyon kaynaklarının aksine tamamen denetime tabi tutulmaları da karşılaşılabilecek olan dozun seviyesi yönünden oldukça kritik niteliktedir (Akkurt, 2006). Bilinmekte olan belli başlı yapay radyasyonun kaynakları da aşağıda sunulmuş, ayrıca ilgili kaynaklardan karşı karşıya kalınmış olan radyasyonun dozlarının oransal olarak karşılık geldikleri değerleri ise yine aşağıda görülmekte olan Şekil 2.5. üzerinde sunulmuştur.



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

Dünya üzerinde canlılar yapay olmayan yollardan radyasyona maruz kaldığı gibi yapay şekilde de radyasyona maruz kalmaktadır. Yapay yollardan maruz kalınan radyasyon miktarı dönemin şartları, tıbbi uygulamalar, sanayi gelişimi ve nükleer çalışmalar gibi nedenlerle zaman zaman artış gösterse de bu miktar doğal yollarla maruz kalınan radyasyona oranla çok düşük kalmaktadır.

Yapay ve doğal kaynaklarla yıllık maruz kalınmış olan radyasyon miktarları (mSv/yıl) şekil 2.6. üzerinde sunulmuştur.



Şekil 2.6. Toplum ışınlanmalarında tipik radyasyon kaynakları (mSv/yıl) (UNSCEAR, 2000)

2.6. Radyasyon Ölçüm Birimleri ve Doz Limitleri

İyonlaştırıcı radyasyonlar maddenin içerisinde geçerken, maddenin atomlarıyla etkileşimde bulunarak kendi enerjisini bulunduğu ortama bırakmasıyla absorblayıcı ortam içerisinde meydana gelen ve gözlenebilir olan biyolojik, kimyasal ve de fiziksel etkilerin bir tanesi bir noktada bulunan radyasyon düzeyini tespit etmek için kullanılabilir. Meydana gelen bu etkiler iyonlaştırıcı radyasyonlardan geçen enerjiye değil absorblanan enerjiye bağlıdır (Barış, 2006).

Radyasyon birimlerini genel manada iki başlığa ayırmak olasıdır. Radyoaktif kaynaktan üretilmekte olan radyasyonun miktarını tespit eden aktivite birimleriyle radyasyonun maddelerin üzerinde bulunan etkisi belirleyen soğurulan radyasyon birimleridir. İlgili konu ile alakalı ilk çalışmaları yürütenlerin açığa çıkardığı birimler zaman içerisinde uluslararası çapta kabul görmüş olan SI sisteminde olan birimlere dönüştürülmüştür. Ancak eski birimlerin de halen daha kullanılmasından dolayı aşağıda yer alan Çizelge 2.8.' de SI ile eski birimleri de sunulmuştur.

Çizelge 2.8. İyonlaştırıcı radyasyon birimleri ve dönüşüm faktörleri (Baldık, 2005).

Büyüklik	SI Birimi ve Sembolü	Eski Birimler	Dönüşüm Faktörleri
Işınlanma	Röntgen (C/kg)	Röntgen (R)	0.008690 J/kg (havada) = 1R
Soğurulan Doz	Gray (Gy)	Rad (rad)	1 Gy = 100 rad
Eşdeğer Doz	Sievert (Sv)	Rem (Rem)	1 Sv = 100 Rem
Aktivite	Becquerel (Bq)	Curie (Ci)	1Bq = 2.70×10^{-11} Ci

2.6.1. Işınlanma Birimi

Işınlanma birimi adına kullanılmakta olan özel birim bilindiği üzere Röntgen (R)'dir ve SI sisteminde bulunan karşılığıysa hiç şüphesiz ki Coulomb/kilogram (C/kg)'dır. R, havanın normal olarak nitelendirilebilecek hava koşulları altında kg başına 2.58×10^{-4} C'luk bir elektriksel yük miktarında negatif ile pozitif iyonlar teşkil eden X ile gama ışını miktarına verilen isimdir ($1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$ ve $1 \text{ C/kg} = 3.88 \times 10^{-3} \text{ R}$ dir).

2.6.2. Soğurulma Doz Birimi

Soğurulma doz birimi şeklinde bilinmekte olan rad için SI birim sisteminde Gy tercih edilmektedir. Rad, ışınlanmış olan maddenin 1 kg'lık kısmına 10^{-2} joule'lük enerji vermekte olan radyasyon miktarına verilen isimdir. Soğurulmuş olan enerji parçacık ya da foton olabilir. Gy; Işınlanmış olan maddenin 1 kg'lık kısmına 1 joule'lük enerji vermekte olan radyasyon miktarına verilmektedir ($1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$ olup $1 \text{ Rad} = 10^{-2} \text{ J/kg}$ 'dır).

2.6.3. Eşdeğer Doz Birimi

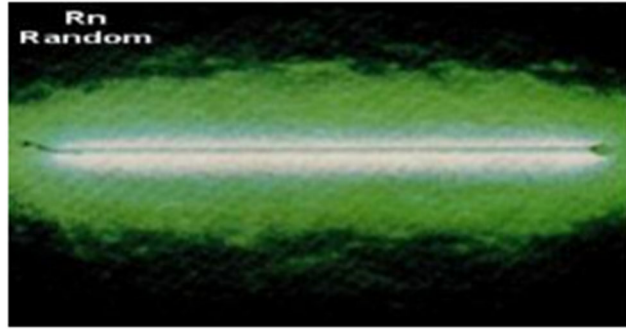
Bu başlık altında ele alınacak olan eşdeğer doz birimi Sievert (Sv)'dir. Sv 1 kilogramda soğurulmakta olan enerjidir ve soğurulan doz şeklinde açıklanmaktadır. Eski birim sisteminde bulunan rad kullanılır ise Sv, rem türünden ölçülmektedir. Daha öncesinde $1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$ verildiği zaman $1 \text{ Sv} = 1 \text{ J/kg}$, şeklinde kabul edilmektedir.

2.6.4. Aktivite Birimi

Aktivite adına kullanılmakta olan özel birim Curie (Ci)'dir, SI sisteminde bulunan karşılığı ise Becquerel (Bq) dir. Ci, 1 saniyede 3.7×10^{10} parçalanma ya da bozunma gösterebilen bir maddenin aktivitesine verilen isimdir. Becquerel ise saniyede 1 parçalanmayı yapabilen çekirdeğin aktivitesi anlamına gelmektedir, $1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$ 'ye karşılık gelmektedir.

2.7. Radon Gazı ve Özellikleri

Alman bir kimyager olan Friedrich Ernst Dorn öncülüğünde 1900 yılında keşfedildiği bilinen Radon, aslında 1898 yılında ünlü fizikçi Rudherford tarafından keşfedildi. Bu elemente Radon adı verilmesinin sebebi Radiumdan sonra keşfedilmiş olmasıdır. Radon, Periyodik Cetvelin Soygazlar adı verilen 8A grubunda yer alan, renksiz, kokusuz, tatsız olup kimyasal tepkimeye girmeyen ve bileşik oluşturmayan en ağır radyoaktif gazdır.



Şekil 2.7 Radon elementinin görünümü (Davutoğlu, 2008).

Şekil 2.7' de görünümü verilen radon elementinin fiziksel ve kimyasal nitelikleri aşağıda görülmekte olan çizelge 2.9 üzerinde açık bir biçimde sunulmuştur.

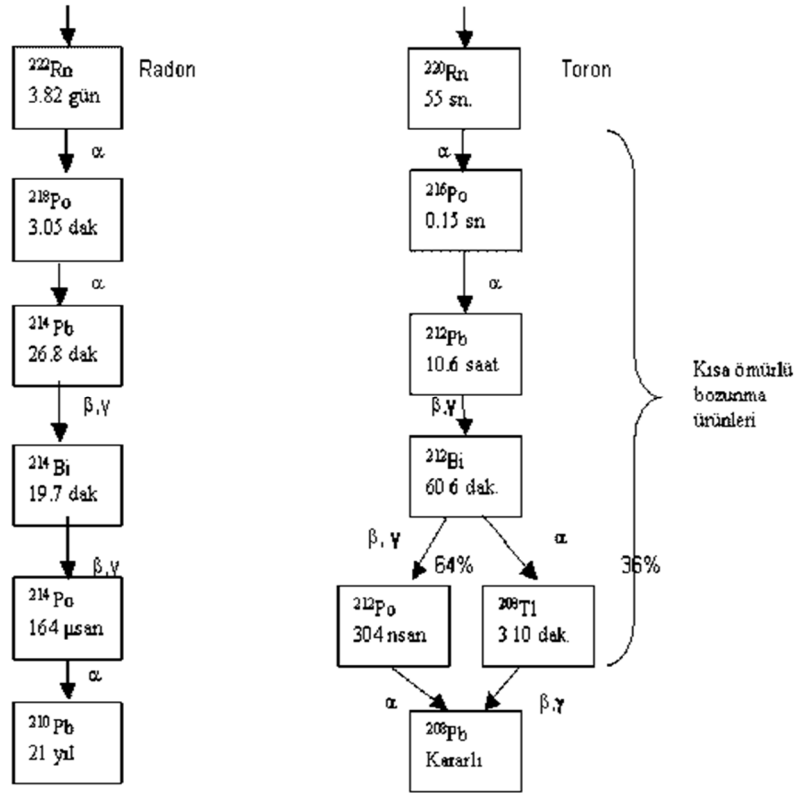
Çizelge 2.9. Radonun özellikleri (Cothorn and Smith, 1987).

İsim	Radon
Sembol	Rn
Atom Numarası	86
Atom Ağırlığı	222 g/mol
Standart Hali	Gaz (Oda koşullarında)
Rengi	Renksiz
Sınıfı	Asal Gaz
Yoğunluğu	0,009730 g/ml
Erime Noktası	-71 °C (202 K)
Kaynama Noktası	-61.70 °C (211.3 K)

Elektron ilgisinin fazlaca düşük, iyonlaşma enerjisinin ise fazlaca yüksek olmasından dolayı ^{222}Rn diğer elementler ile kolay bir şekilde bağ kuramaz. Fakat elektron ilgisi daha yüksek bazı atomlar ile etkileşerek kararlı bileşikler de yapabilir. Organik çözücüler ile suda iyi çözünebilir, çözünürlüğü artış gösteren sıcaklık ile düşüşe geçen; suda bulunan çözünürlüğü 0 °C, 25 °C ile 50 °C’de sırası ile 510, 220 ile 130 $\text{cm}^3 \text{L}^{-1}$ ’e karşılık gelir (UNSCEAR, 1993). Uranyum serisinde bulunan radonun yeraltından havaya geçişi, kayalar ve topraktaki çatlaklar ya da yeryüzüne çıkış yapan sular vasıtasıyla gerçekleşmektedir (Villalba ve ark., 2005).

Bahsi geçen serinin ilgili bölümünde ^{238}U , beş tane radyoaktif çekirdek ile ^{222}Rn ’ye ulaşmaktadır. ^{222}Rn öncesinde gelmekte olan ^{226}Ra (radyum), 1600 senelik yarı ömür ile 3.82 günlük yarı ömrü bulunan ^{222}Rn adına değişmez hızda bir üreteç görevi üstlenmektedir. ^{222}Rn , ^{238}U serisinden meydana gelir iken, ^{220}Rn her zaman ki gibi uranyum izotopu ^{232}Th (toryum)’dan meydana gelir. Radonun bahsi geçen iki kritik izotopu da radyoaktivite özelliği taşır ve de süratli bir bozunuma maruz kalırlar. Esasen ilgili seri uranyum serisi ismi ile bilinen doğal radyoaktif serinin devamını oluşturur. Doğada en fazla yer alan izotop ^{222}Rn arka arkaya 2 defa alfa bozunumu ile ilk olarak ^{218}Po (polonyum) ile ^{214}Pb (kurşun)’a dönüşür. Ardından iki defa gama ile beta bozunmaları ile sırası

ile ^{214}Bi (bizmut) ile ^{214}Po 'ü meydana getirir. Zincirin bitiminde bir alfa bozunumu ile ^{210}Pb oluşur. İlgili zincirde en kararlı 2 çekirdek ^{210}Pb ile ^{220}Rn 'dir. ^{210}Pb 'un yarı ömrü 21 seneye karşılık gelmektedir. Aradaki dört izotopsa fazlaca kısa yarı ömürleri bulunduklarından dolayı aktiviteye katkıları minimumdur. Öteki radon izotopu ^{220}Rn bozunma zincirinde birinci ve ikinci element ^{216}Po ile ^{212}Pb , alfa salınması ile meydana gelir. Ardından beta ile gama salınıp ^{212}Bi türer. Bu noktanın ardından ilgili izotopun iki çeşit bozunmaya uğrama olasılığı bulunmaktadır. Alfa ve beta verip ^{212}Po 'ye bozunur (%64); veyahut alfa verip (talyum) ^{208}Tl 'e bozunur (%36). Bu durumların ikisinde de son ürün kararlı element niteliğindeki ^{208}Pb 'dir. Radon izotoplarının bozunma zinciri ile izotopların yarılanma zamanları aşağıda yer alan şekil 2.8 üzerinde sunulmuştur (Akkurt, 2006).



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

2.8. Radon Kaynakları

Radonun temel kaynağı hiç şüphesiz yer küredir, dünya üzerinde aşağı yukarı 100 ton radon olduğu öngörülmektedir (Saç ve Camgöz, 2005). Radon,

Uranyum serisinin ürünü olan Radyum elementinin toprakta ve kayalarda bozunmasıyla açığa çıkar ve yeryüzüne ulaşır. Atmosfer basıncının düşmesi sonucunda topraktaki hava basıncının da düşmesiyle Radon gazının taşınması kolaylaşır. Yağmurlu havalarda ıslanan topraktaki gözenekler ve boşluklar kapanır, dolayısıyla radonun yukarı yönlü difüzyonu yavaşlar ve toprak yüzeyindeki derişimi azalır. Havadaki sıcaklık artışı ise toprağın kurummasına ve gözeneklerin açılmasına neden olduğundan, radon gazının difüzyonu kolaylaşır ve yüzeydeki derişimi artırır. Radon yoğunluğunun mevsimlere göre değişimi deniz seviyesinden yüksekliğe göre farklılık gösterir. Aynı zamanda dağlık alanlarda sıcaklık ve rüzgar değişimleri de radon miktarını etkileyen faktörlerdir (Davutoğlu, 2008).

İlk kez Paracelsus on altıncı yüzyılda gümüş madeninde çalışmakta olan kişilerin, Almanya'da yer alan Saksonya Eyaleti sınırları içerisinde bulunan Schneeberg kentinde çok daha yüksek oranlarda akciğer rahatsızlığı sebebiyle yaşamını yitirdiği tespit etti. İlgili çalışmayı 17-18. yy da bakır, gümüş ile son olarak kobalt madenlerinde çalışmakta olanlar ile alakalı değerlendirmeler takip etti. Bahsi geçen hastalık 1879 senesinde akciğer kanseri adı ile bilinmeye başladı.

1900' lü senelerde radonlu sularda banyo yapmak sağlık yönünden faydalı bir uygulama şeklinde görülüyordu. Git gide radyum barındıran pek çok ürün pazarlanmaya başladı. Çikolatalı şekerlemeler, diş macunu ve ekmek gibi çeşitli ürünlere radon ilave ediliyordu. Ölçümler ilk defa 1901 senesinde Schneeberg madeninde gerçekleştirildi ve bunun yanında radonunun yüksek konsantrasyonda olduğu tespit edildi. Nihayetinde ilgili tarihten sonra radon ile akciğer kanserinin bağlantısıyla alakalı yaklaşımlar geliştirilmeye başlandı. 1920' li senelerin başında aynı kentteki madenlerde ve öteki maden ocaklarında yürütülen daha kesin faaliyetler bahsi geçen bağlantının varlığını kuvvetlendirdi. Bilhassa Bohemya'da Jachymov alanında yer alan maden yataklarında ilgili faaliyetler detaylı şekilde yürütüldü. Tüm bu çalışmalara karşın olayın net epidemiyolojik bağları ise kurulamamıştı. 1940 lı senelerde uranyum maden faaliyetleri hız kazandı. 1950' li senelere dek radon ölçümleri rutinleşmedi. 1950 li senelerde gerçekleştirilen hayvan deneyleri radonunun farelerin üzerinde bulunan kanserojen etkilerinin tespit edilebilmesini sağladı. Takvimler 1960' lı senelerin

ortalarına geldiğinde yapılan epidemiyolojik faaliyetler radonun bireyler üzerinde bulunan potansiyel karsinojenik ihtimalinin yüksek olduğunu gözler önüne serdi. Madenlerde yüksek doz radyumun olmasına bağlı şekilde bir akciğer türü olan bronkojenik karsinoma geliştiğini iddia eden kaynaklar her geçen gün artış göstermeye başladı (Güler ve Çobanoğlu, 1997).

Dünyanın oluşumundan bu yana canlıların maruz kaldığı doğal radyoizotoplardan biri olan ^{238}U çekirdeğinin bozunum ürünü olan radon gazı toprak ve kayalardaki boşluklardan, yarık ve gözeneklerden difüzyon yoluyla havaya sızarak önemi oldukça büyük bir kapalı ortam kirletici etkeni olmaktadır. Ayrıca suda eriyebilme niteliğine sahip olan radon sudan havaya rahatlıkla karışabilmekte ve termal su kaynaklarından oluşan kapalı havuz sistemlerinde de oldukça fazla yoğunluğa ulaşabilmektedir. Radon kolay nüfuz edebilme özelliği sayesinde bulunduğu katı yapılardan içme sularına, çeşme ve duş sularına, yüzme havuzlarına da karışabilmektedir.

Radon; toprak ile kayalarda, sularda, atmosferde ve de binalarda kullanılmakta olan malzemelerde vardır. Toron ile radonun kısa ömürlü bozunma ürünlerinin yutulması, solunması ya da başka yollar ile insan bedenine girmesi radon ile alakalı sağlık riski teşkil eder. Radyasyon dozunun solunması sebebiyle ortaya çıkan sağlık problemi radon ve ürünlerinin karmaşık bir işlevidir (ICRP, 1987). Radon solunduğu zaman, akciğerde önemli derecede bozulmaya ve zamanla da kanser vakasına yol açar (Özdemir, 2006).

2.8.1. Sularda Radon

Su gereksinimlerini insanlar genel manada yüzey suları ile yer altı suyu kaynaklarından karşılamaktadır. Radon su içerisinde çözünebilir bir özelliğe sahiptir. Yeraltı ile yüzey suları, çeşitli miktarlarda radyum barındıran toprak ile kayalar ile yakın temasta olduğundan dolayı içme ile kullanma sularında radon görülmesi ilginç bir durum değildir. Suda bulunan radon aktivitesi Bq L^{-1} veya pCi L^{-1} birimleriyle ifade edilir. Yer kabuğundaki radyoaktif katmanlar ile teması olan sulardan yerin altında bulunanlar yeryüzünde bulunanlara nazaran radyoaktivite özelliği çok daha fazladır. UNSCEAR, yeryüzü suları adına tipik

^{222}Rn aktivitesinin 40 kBq m^{-3} (1 pCi L^{-1}) seviyesinden çok daha altta bir değere sahip olduğunu ve bunun yanında yer altı sularında tipik ^{222}Rn aktivitesinin $4-40 \text{ kBq m}^{-3}$ aralığında değişiklik gösterdiğini ifade etmektedir (UNSCEAR, 1982). ^{238}U ile ^{232}Th grubundaki radyoaktif elementler yer altı sularında mevcuttur. Bilhassa uranyum serilerinin sahip olduğu radyoaktif elementlerden ^{223}Ra , ^{226}Ra ve ^{222}Ra sağlık açısından önemli risk oluşturlar (Erdoğan, 2010).

İçme suyundaki radyoaktif çekirdekler ^{222}Rn 'nin 2 izotopudur. Bunların bir tanesi; 3,82 günlük yarılanma süresi bulunan ^{226}Ra 'nın soyundan gelen Radon olarak tanınan ^{222}Rn 'dir. Öbürüyse 56 saniye yarı ömürlü ^{224}Ra 'dan kaynaklı Thoron olarak bilinmekte olan ^{220}Rn 'e karşılık gelmektedir. Suyun saklama müddetinin çoğunlukla yalnızca birkaç saat ile gün aralığında olduğu baz alınır, bahsi geçen zaman zarfında ^{222}Rn 'nin birkaç kez bozunmuş yarılanma ömrünün olacağı da rahatlıkla kabul edilebilir. Çeşitli su kaynaklarında bulunan ^{222}Rn 'nin konsantrasyonunu tespit etmek adına yürütülen pek çok çalışma bulunmaktadır. İlgili çalışmalardan bir tanesinde su kaynaklarından bazılarında yüksek kapasiteli çakıl ya da kum döşenmiş kuyular kullanılırken, kaynakların bazılarındaysa, düşük kapasiteli malzemeler tercih edilmiş ve çeşitli ^{222}Rn konsantrasyonu neticeleri elde edilmiştir. Bahsi geçen neticelerin kabul edilebilir nitelikte olması adına ele alınan örnek sayısı çok fazla olmak durumundadır. İlgili noktada halkın kullanmakta olduğu yüzey materyallerinde 100 pCi L^{-1} 'den oldukça az seviyede ^{222}Rn 'derişimi mevcuttur (King et. al., 1982).

Uranyum yataklarının keşfedilmesi adına yürütülen çalışmalarda Radon ölçümleri çoğunlukla memba ile kuyu sularında gerçekleştirilmektedir. Zira ilgili suların kaynağı hiç şüphesiz yer altı sularıdır. Şayet ilgili yeraltı sularının Uranyum yataklarından geçmesi söz konusu ise, ilgili yatağı yıkamakta olan sulara Radium ile Uranyum elementleri çözünmektedir, su içerisinde çözelti şeklinde kalmaktadır. Radonsa, bahsi geçen sular ile içinde bulunan taneciklere absorbe olur. Bu sayede; yeraltı sularının çıkış noktalarında Radium, Uranyum ile Radon varlığı ile karşılaşmak doğaldır. Yeraltı sularının genel manada Uranyum yatakları üzerinden geçiyor olması yeraltı sularında bulunan radon aktivitesinin

yeryüzünde bulunan sulara göre oldukça üst seviyede bulunmasının temel sebebidir (Özdemir, 2006).

Evlerde kullanılmakta olan musluk suları da bütün arındırma işlemlerine karşın belli bir miktar radonu barındırmaktadır. İlgili miktar ev suyunun alınmış olduğu kaynak ile ne derece arıtılmış olduğu ile ilişkilidir. Bunun dışında ev içerisinde kullanılmakta olan bu suların çalkalanması ile püskürtülmesi de radon salınımına yol açar (Akkurt, 2006).

2.9. Radon ve Sağlık

Atmosfere toprak içinden sızmakta olan ve kapalı ortamları kirletici özellikteki radonun radyoaktivitesi oldukça zayıftır. İlgili sebepten dolayı teneffüs edildiği zaman dokulara kimyasal şekilde bağlanmaz. Bunun dışında, dokularda bulunan çözünürlüğü oldukça zayıf olup; yarılanmasını tamamlayamadan akciğerlerden dışarıya atılır. Ancak radon bozunumu ile meydana gelen Bi, Po ile son olarak Pb elementlerinin radyoizotopları niteliğindeki bozunum ürünleri radon benzeri gaz durumunda bulunmadıklarından, toz veya havada bulunan öteki parçacıklara daha kolay yapışır ve de solunum yolu ile insan vücuduna girerler. İlgili parçacıklar bozunmalarını kararlı duruma gelene kadar sürdürürler ve yerleştikleri alanlarda beta, alfa ya da gama bozunumu yoluyla ayrılırlar. Vücuttaki ilgili ışımalardan en kritik olanı alfa bozunumudur. Akciğerlerde beta ve gama ışımalarının tesirleri, alfa parçacıklarının tesirlerine nazaran görmezden gelinebilir seviyededir. Bozunma sürecinin tüm evrelerinde salınan radyasyon, ilk olarak akciğer dokusunda bir hasara, zaman geçtikçe de akciğer kanserine yol açabilir (UNSCEAR, 2000; Özdemir, 2006). İlgili sebepten dolayı radon ile bozunma ürünlerinin teneffüs edilmesi büyük bir sağlık riski teşkil etmektedir.

Radon gazı, EPA ile WHO tarafından “A sınıfı kanserojen madde” şeklinde derecelendirmiştir (Vural, 2004).

Epidemiyolojik faaliyetler, yüksek düzeyde radon ile bozunma ürünleri sebebiyle radyasyona maruz kalan kimselerde akciğer kanserinin yüksek oranlarda olduğunu açık bir şekilde göstermiştir. NRPB (Ulusal Radyolojik Koruma Kurulu), İngiltere’ de bulunan toplamda senelik 41,000 akciğer

kanserinden minimum 2,500 kadarını, ABD Halk Sağlığı Servisiyse senelik akciğer kanseri hastalarının, tütün ürünleri içmeyen kimselerden 5,000, bahsi geçen ürünleri içen kimselerdense 15,000 kadarını, ICRP (1994) ise toplamdaki akciğer kanserleri vakalarının %10' luk kısmını radon ile ilişkilendirmektedir. Fakat ilgili durum yüksek dozda radon ile karşı karşıya kalan tüm insanların akciğer kanseri hastası olacağı manasına karşılık gelmemekte, bunun yanında maruz kalınmayla hastalığın oluşmasının arasında geçen süre seneler boyu devam edebilmektedir.

Sunulmuş olan çizelge 2.10' da, farklı ülkeler ile uluslararası kuruluşlarca benimsenmiş olan kapalı ortamlarda görmezden gelinebilir radon konsantrasyonları gösterilmektedir.

Çizelge 2.10. Radon Konsantrasyon Limitleri (Bq/m³) (TAEK, 2012).

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

Radonun akciğer kanseri üzerindeki etkisi direkt radondan değil de bozunum ürünlerine bağlı olarak gelişmektedir.

Uluslararası Radyasyon Korunma Komitesi' nin radon ile karşı karşıya kalma hususunu ele alarak “Ev ile çalışma ortamında Radon-222'ye karşı korunma” noktasında yayınladığı 65 no'lu raporda radon ile karşı karşıya kalma sınırlandırılıp, sınır değerler önerilmiş ve senelik doz için bir eylem düzeyi saptanmıştır (çizelge 2.11.). Eylem düzeyinin, 3 ile 10 mSv arasında bir değerde sınırlandırılması önerilmiştir. İlgili doz aralığına uygun gelmekte olan radon aktivitesi evlerde 200–600 Bq/m³ (ev ortamında geçirilecek olan zaman 7000 saat, denge faktörü 0,4 kabul edilerek), çalışma ortamlarındaysa 500-1500 Bq/m³ arasında değer saptanması tavsiye edilmiştir (Kapdan, 2009).

Çizelge 2.11. Evlerde ve işyerlerinde radon ve ürünleri için önerilen eylem seviyeleri (etkin doz) (Çelebi, 1995).

Eylem Seviyesi (Etkin Doz)	3 mSv/yıl	10 mSv/yıl
Evler için Eylem Seviyesi (Radon Konsantrasyonu)	200 Bq/m ³	600 Bq/m ³
İş Yeri için Eylem Seviyesi (Radon Konsantrasyonu)	500 Bq/m ³	1500 Bq/m ³

Suda eriyebilme niteliğinin olmasından dolayı radon, bütün canlıların hayatı adına gerekli öğelerin başında bulunan su kaynaklarıyla farklı jeolojik hadiseler neticesinde yeryüzü katmalarındaki boşluklardan kaynaklıp yukarıya çıkan, ılıca ve termal banyo gibi alanlarda tabii tedavi faktörü şeklinde kullanılmakta olan termal özellikteki sulara da bulunabilmektedir. Radon, tedavi amaçlı ilgili sulara giren kişilerin üst deri vasıtasıyla kan içerisine giriş yaparken, suların içme suyu şeklinde kullanılması ile de mide ve bağırsak derisi yolu ile kan dolaşımına dahil olmaktadır (Atakan, 2007).

2.10. Radon Ölçme Yöntemleri

Bugün kullanılmakta olan birçok radon ölçüm yöntemi vardır. İlgili ölçüm yöntemleri farklı şekilde gruplandırılabilir. Radon ile bozunum ürünlerini ölçebilmek adına;

- Aktif ölçüm metodu,
- Pasif ölçüm metodu

olarak iki ana teknik geliştirilmiştir (Urban vd., 1981).

Aktif ölçüm tekniği, pompalar, elektronik sistemler ile güç kaynakları benzeri çeşitli cihazlara ihtiyaç duymaktadır. Aktif sistemde sintilasyon hücreleri, iyon odaları ya da spektroskopik sayım cihazlarına başvurulmaktadır. Pasif ölçüm tekniğindeyse termoluminesans dedektörler ya da katı hal nükleer iz dedektörleri selüloz nitrat ya da alil diglikol karbonat tercih edilir. Pasif alfa dedektörü ile yapılmakta olan radon dozimetreleri üç ayrı yol ile oluşturulabilmektedir. Bahsi geçen yollar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

a-) Dedektörün önündeki filtrenin üstünde yer alan radon ve bozunum maddelerinin toplanmış olduğu gaz iletimli aktif cihazlar ile

b-) Gaz iletiminin olmadığı yayılma yolu ile radon girişi bulunan ağızda kapak olan odacıklar ile

c-) Açık dedektörün üzerinde, havada yer alan radon ile radonun ürünlerinden gelmekte olan alfa parçacıklarının kaydedilmiş olduğu pasif aygıtlar ile.

Radon ölçme yöntemleri, neticelerinin elde edilme süresi ile bağlantılı şekildeyse;

- Kısa vadeli ölçüm yöntemleri
- Uzun vadeli ölçüm yöntemleri şeklinde iki başlık altında ele alınabilmektedir (EPA, 1987).

2.10.1. Kollektör Yöntemi

Bu yöntem radon konsantrasyonu tespiti için kullanılan uzun dönem ölçüm yöntemlerinden biridir.

Kollektör yöntemi radon gazının vakumlanmış kollektör odasına aktarılması neticesinde radon ile ürünlerinin, kap içerisindeki bakır planşette belirli bir süre elektriki potansiyel uygulanıp toplanmasının ardından, alfa sintilasyon sayacında sayılmasıyla yapılan ölçüm tekniğidir (Kumru, 1992).

Bahsi geçen tekniğin temel ilkesi, bir kaptaki örnekteki radonun bozunumuyla meydana gelen radon ürünlerinin kollektör ile kabın arasına uygulanmakta olan potansiyel yardımı ile kollektörün yüzeyinde toplanması ile birikmiş olan ürünlerin toplamdaki alfa aktivitesinin sayımıdır. Bahsi geçen tekniğin ölçüm sistemi üç kısımdan meydana gelir:

Köpürtme şişesi: Basıncılı havanın içinden geçebileceği biçimde dizayn edilen 100 mL 'lik bir köpürtme şişesi ile minimum 30 gün bekletilen basıncılı hava tüpünden meydana gelmektedir. Bu noktada havanın bir aylık süre boyunca bekletilmesinin nedeni havada bulunan radonun bozunmasını sağlayabilmektir. Köpürtme şişesi içerisinde havanın dağılımı sünger benzeri bir pümis taşıyla sağlanmaktadır.

Gaz toplama odacığı: 2.8 L hacme sahip bir çelik kap ile vakumlanarak kapatılabilecek biçimde düzenlenmiş çelik bir kapaktan meydana gelir. Bahsi geçen çelik kapak içerisine 3 cm çapa sahip bakır disk kollektör şekilde asılmıştır. Bu kapağa bir tanesi giriş ötekisi çıkış olarak iki tane vana bağlanmıştır. İlgili odacık vakumlanarak vanalar kapatılır ve nihayetinde işleme hazır hale getirilmektedir.

Sayım sistemi: Alfa sayım dedektörü ve yüksek bir enerji kaynağının oluşturduğu bir sistem olan kollektör metodunda, numunenin çıkmış olduğu istasyondan 100 mL' lik şişelere alınan sular köpürtülerek radonla ürünleri, içerisinde bakır disk olan kollektör odasına aktarılmaktadır, 600 voltluk potansiyel uygulanıp radon ile ürünleri arasında bulunan dengenin sağlanması adına dört saat boyunca bekletilmektedir. Bahsedilen zamanın bitiminde bakır diskin üstünde birikmiş olan radon ile radonun ürünleri dedektörde sayılmaktadır (Barış, 2006).

2.11. Literatür Çalışmaları

Daha önce sulara Radon konsantrasyonlarının belirlenmesi amacıyla Ülkemizde ve Dünyada çok sayıda araştırma yapılmış olup, yapılan araştırmalardan bazıları şu şekildedir;

İstanbul'da Karahan ile diğerlerinin içme suları ile yüzey suları adına yapmış oldukları bir araştırmada radon konsantrasyonu değerlerinin 0.019 Bq/L ve 0.048 Bq/L aralığında değişiklik gösterdiği kaydedilmiştir (Karahan ve ark., 2000).

Tarım ile diğerleri Bursa'da bulunan kuyu suları ile çeşme sularında bulunan radon konsantrasyonu değişimlerini incelemiştir. Bahsi geçen radon konsantrasyonu ölçüm neticeleri, kuyu sularında 1.46-53.64 Bq/L ve çeşme sularında ise 0.91-12.58 Bq/L arasında değişmektedir (Tarım ve ark., 2011).

Al-Masri ile Blackburn İngiltere'de akarsulardan alınmış olan su örneklerinde radon ölçümlerini gerçekleştirmiştir. İlgili ölçümlerin neticelerinin 0.080 Bq/L ve 1.171 Bq/L aralığında değişiklik gösteren değerler olduğunu saptamışlardır (Al-Masri and Blackburn, 1999).

Özdemir, F.B. öncülüğünde 2006 senesinde yapılmış olan bir çalışmada, Afyonkarahisar ile çevresinde bulunan kuyu sularından on farklı kaynaktan alınmış olan su örneklerinin radon konsantrasyon değerleri AB-5R detektörüyle belirlenmiştir. Hesaplanmış olan radon konsantrasyon değerleri genel manada 0,42-28,82 Bq/L aralığında değişmektedir (Özdemir, 2006).

2006 senesinde Barış, C. Tarafından yer altı ve kaplıca sularında radon aktivitelerinin tespiti için yapılmış olan bir araştırmada, İzmir iline bağlı Çeşma ilçesi incelenmiştir. Elde edilen aktivitelerin 0,086 ile 0,493 Bq/L aralığında değişiklik gösterdiği ve ortalama değerin de 0,303 Bq/L'ye karşılık geldiği saptanmıştır. Elde edilmiş olan radon konsantrasyonu değerlerinin EPA' nın önerdiği değerlerin üzerine çıkmadığı gözlenmiştir ve ilgili durum halk sağlığı bakımından tehdit teşkil etmemektedir (Barış, 2006).

2006 senesinde Akkurt, A. tarafından yapılmış olan bir araştırmada, Afyonkarahisar ile civarında bulunan on farklı kaynaktan toplanmış olan termal su örnekleri, AB-5R model radon detektörüyle çözümlenmiştir. İlgili çalışma neticesinde elde edilmiş olan radon konsantrasyonunun 0,085 ile 73,62 Bq/L aralığında değişiklik gösterdiği kaydedilmiştir. Belirlenen radon aktivitelerinin bir kısmının USEPA' nın müsaade ettiği limiti aştığı tespit edilmiştir (Akkurt, 2006).

Kochowska ile arkadaşları Polonya'da 45 ayrı kuyudan almış oldukları suları analiz etmiş ve tüm radon aktivitelerini 12 Bq/L' den az olan değerlerde bulmuşlardır(Kochowska et. al., 2004).

Gosink ile arkadaşlarının ABD'de içme ile kullanım suyunun karşılanmış olduğu pek çok sondaj kuyusunda yaptığı araştırmalarda ^{222}Rn konsantrasyonları ortalama 39.96 Bq/L olarak belirlenmiştir (Gosink et. al., 1990).

Romanya'da Comsa et al. (2008) kuyu suları, yüzey suları ile kaynak suları için radon ölçümlerini gerçekleştirmişlerdir. Kuyu sularında 0,6 kBq/m³, yüzeyde bulunan sularda 0,5 kBq/m³ ve 10 kBq/m³ ve 112,6 kBq/m³ ve son olarak da kaynak sularında 2 kBq/m³ ve 129,3 kBq/m³ değerleri arasında neticelere ulaşmışlardır.

Saç ve diğerleri (1994), kollektör metoduna başvurarak İzmir'in içme ile kullanım sularında ^{222}Rn ile ^{226}Ra konsantrasyonunu saptamışlardır. Bu doğrultuda ^{222}Rn konsantrasyonu düşük aktivite - 5,8 Bq/L aralığında, ^{226}Ra konsantrasyonu ise düşük aktivite - 0,8 Bq/L aralığında bulunmuştur.

Brezilya'da Geraldo vd. (2004), Santos bölgesinde yapmış oldukları bir araştırmada içme sularında bulunan radon konsantrasyonunu tespit edebilmek adına makrofol polikarbon plastik dedektörlere başvurmuşlardır. Radon konsantrasyonu ise 0,30-36 Bq/L aralığında bulmuşlardır.

Yunanistan ile Güney Kıbrıs'da Nikolopoulos et al. (2010), içme suları ile kapalı ortamlarda radon düzeylerini ve ayrıca bunlardan ötürü alınmakta olan senelik dozu saptamışlardır. Bu doğrultuda Güney Kıbrıs'ta kapalı ortamlarda bahsi geçen radon konsantrasyonunun 14-75 kBq/m³ aralığında değişiklik gösterdiği Yunanistan'daki iki şehirde gerçekleştirilen ölçümlerin ise 1,7-161; 14-75 Bq/m³ aralığında değişiklik gösterdiğini tespit etmişler. İçme sularındaysa Güney Kıbrıs'ta 0,3-20 Bq/L, Yunanistan'da bulunan 2 şehirde ise 0,8-24 Bq/L aralığında değişiklik gösterdiği tespit edilmiştir.

Farai ile Sanni Nijerya da 1 sene boyunca 20 ayrı kuyudan almış oldukları örnekleri değerlendirmişler, maksimum örnek alınmış olan kuyunun Rn konsantrasyonunun 15 Bq/L'e karşılık geldiğini açık bir şekilde göstermiştir (Farai and Sanni, 1992).

Almanya' da yürütülen bir araştırmada ^{226}Ra konsantrasyonlarının içme sularında 0,00074- 0,43 Bq/L, yüzey sularında 0,0011-0,057 Bq/L aralığında değişiklik gösterdiği saptanmıştır (Schüttelrope and Kiefer, 1980).

2015 senesinde Topsakal, Ş.E. tarafından yürütülen bir araştırmada Konya Ilgın ilçesindeki fay hattı etrafındaki 7 kuyu,13 doğal kaynak ile ilgili kuyuların beslemiş olduğu 13 tane musluk suyundan alınmış olan numunelerin radon konsantrasyonları AlphaGUARD PQ 2000PRO 23 radon detektörüyle ölçülmüştür. Yer altı sularında ölçülmüş olan radon konsantrasyonları 0.59 ve 58.57 kBq/m³ aralığında bulunmuştur. Radon konsantrasyonu ölçülmüş olan 33 su numunesinin 24'ü USEPA' nın önerdiği 11.1 kBq/m³ lük azami değerinin alt

seviyesinde ölçülmüştür ve ilgili veriler sağlık yönünden herhangi bir sorun teşkil etmemektedir (Topsakal, 2015).

İlgili konuda gerçekleştirilmiş olan son çalışmalardan bir tanesi de, 2014 senesinde Tel, F. tarafından yapılmış olan, Konya' nın Meram, Selçuklu ile Karatay ilçelerinde bulunan 27 ayrı konuttan alınmış olan çeşme sularının kış ve sonbahar mevsimlerinde bulunan radon konsantrasyon değerleri AlphaGUARD radon detektörüyle belirlenmesidir. İlgili ölçümler neticesinde su deposu olan 11 ayrı konuttan alınmış olan örneklerin kış ve sonbahar ortalama radon aktivitesi 3.15 Bq/L olarak saptanırken, su deposu bulunmayan konutlardan alınmış olan su örneklerinde ilgili değer ortalama 10.20 Bq/L şeklinde saptanmıştır. İlgili çalışma neticesinde elde edilmiş olan radon değerlerinin USEPA'nın tavsiye etmiş olduğu limit değerinin üzerine çıkmadığı görülmüş ve halk sağlığı yönünden bir tehdit teşkil etmediği de tespit edilmiştir (Tel, 2014).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Çalışma Bölgesinin Tanıtılması

İlgili tez çalışması için belirlenen Menemen, İzmir ilinin bir ilçesi olup il merkezine yaklaşık 33 km uzaklıkta ve kuzeyde yer almaktadır (şekil 3.1.). İlçenin kuzeyinde Aliğa ve Bergama, güneyinde Çiğli, Karşıyaka, Bornova, batısında Foça ve Karaburun ilçeleri ile doğusunda Manisa ili bulunmaktadır. Nüfusu en son 2022 yılı yapılan sayım itibarıyla 200.904 kişidir. Menemen ovası, çileği, testileri ve diğer çömlekçilik ürünleri ile ünlüdür. Menemen, "38.610365" enlem, "27.069653" boylam coğrafi koordinatları arasında yer almaktadır. Menemen 573 km² yüz ölçümüne sahiptir ve sınırları içinde Ege Denizi kıyı bölgesinde Gediz Deltası bulunmaktadır.

Menemen ovasından geçip Foça İlçesinin güney yakasından denize karışmakta olan Gediz Nehri'nin üzerindeki Emirâlem Regülatörü ile sulama şebekesiyle ova tümüyle sulu tarıma elverişli hale getirilmiştir. Yamanlar dağı Karagöl Mevkiinde memba suyu şeklinde çok fazla kaynak suyu mevcuttur. Menemen' in hayat damarı olarak nitelendirilen Gediz Nehri' nin oluşturmuş olduğu delta, Batı Anadolu Bölgesi'nin en önemli deltası olma özelliğini taşır.

Aşağı Gediz Havza' sında konumlanan Menemen Ovası, doğu yakasında Yamanlar Dağı, batı yakasındaysa Foça dağlık yöresi ile çevrelenmiş durumdadır (Çakanşimşek, 2019).



Şekil 3.1. İzmir İline Bağlı Menemen İlçesinin Coğrafi Haritası

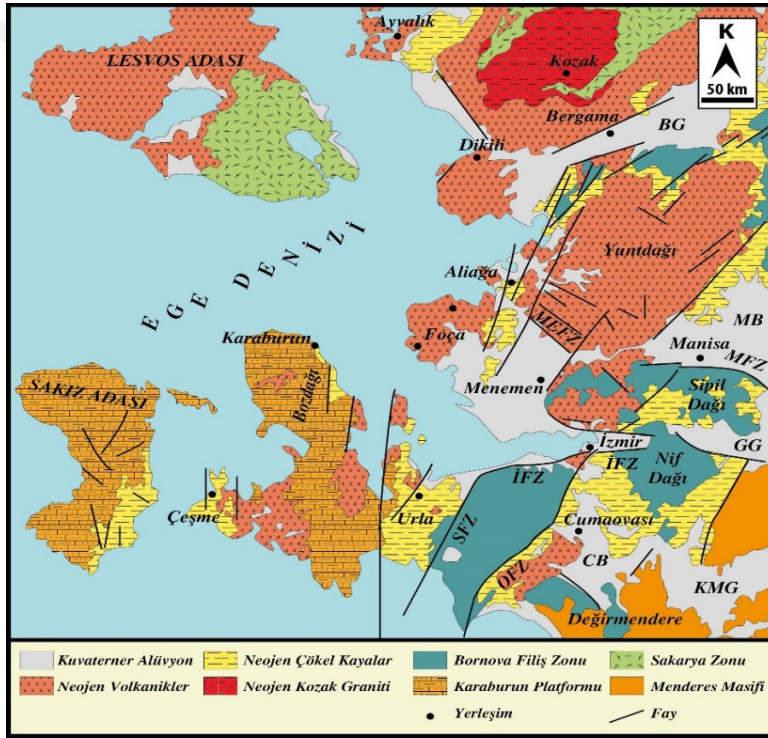
3.2. Bölgenin Jeolojik Yapısı

İzmir ili ile çevresinin jeolojik nitelikleri göz önünde bulundurulduğu zaman Prekambriyen' den bugüne dek oluşmuş farklı yaş ile tipteki kaya birimlerinin yüzlek vermiş olduğu açık bir şekilde görülmektedir (Şengör vd., 1984., Okay ve Siyako, 1991), (şekil 3.2 ve şekil 3.3). Çalışma yapılan alanın kuzey, güney ve batısı çoğunlukla alüvyon yapıdayken doğuda kalan kısmı ise kayalık morfolojiye sahiptir. Menemenin batısında kalan ve çalışma bölgesine dahil olan Foça ilçesi ise çoğunlukla neojen volkanik yapıdadır (şekil 3.4).

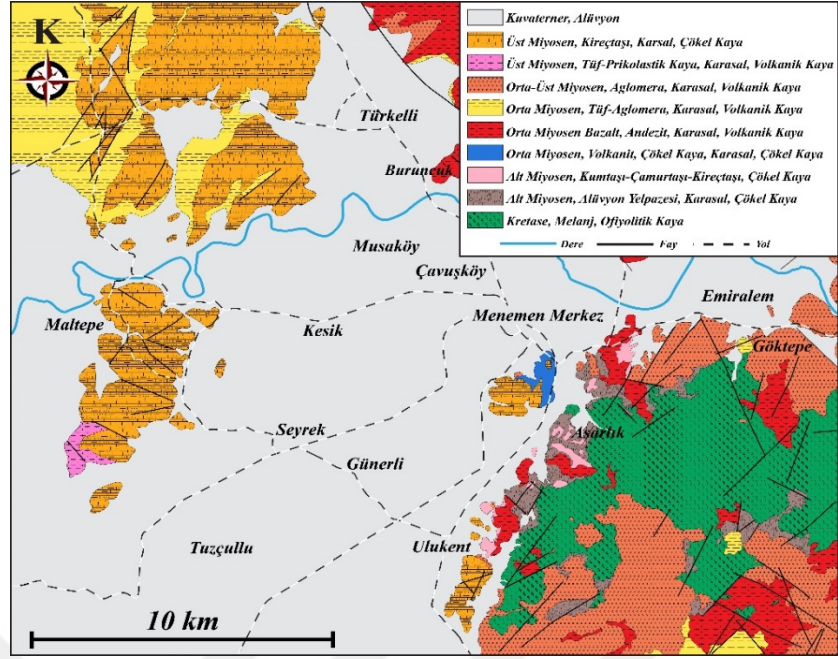
Foça İlçesi ile çevre bölgesinin jeomorfolojik ve de jeolojik yapısı, Anadolu'nun kara hüviyetini kazanmaya başladığı zamana karşılık gelen 40 milyon seneden içinde bulunduğumuz zamana dek yıpranma, aşınma, çökme hadiseleri, kara-deniz arasındaki ilişkiler ile zemin hareketlerinin morfolojiye yansımalarıyla bugünkü halini almıştır. Kalenin yer aldığı, volkanik kayalardan meydana gelen ve yarımada dışındaki bütün yerleşim alanı, çoğunlukla alüvyonların üzerinde konumlanmıştır. Topografik yönden, denize açılan bir çanak biçimindeki Foça İlçesinde genel konut yerleşimi, topografyanın minimum eğime sahip olan alanda bulunmaktadır. İlçenin maksimum yüksekliğe sahip

tepeleri; Kartal Tepe : 435 m, Şaphane Tepe : 450 m ile Kızıldağ Tepe ise; 352 m'dir (Ankaralı, 2008)

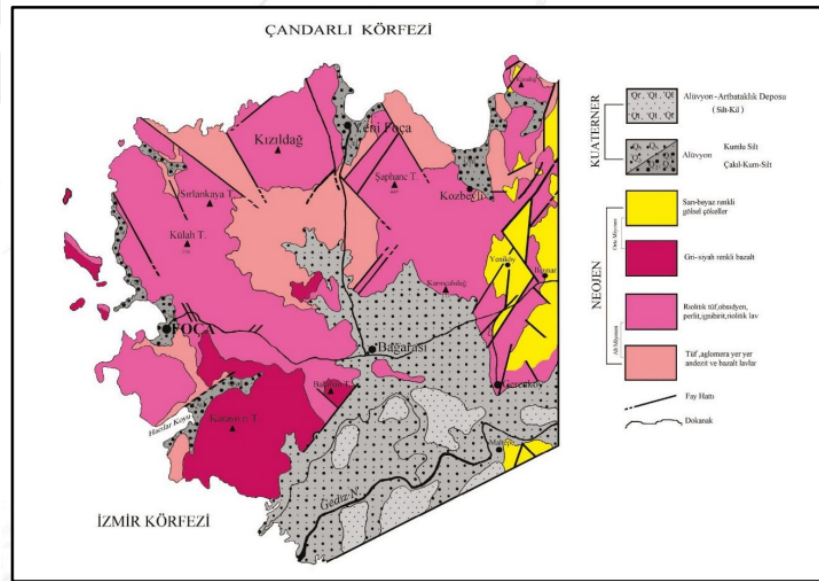
Çalışma bölgesinde yapılmış olan saha çalışmaları ile araştırma sondajı verileri uyarınca; iş alanı jeolojisini genel manada Kuvaterner yaşlı alüvyon birimi teşkil etmektedir. Gediz Delta alanı etrafındaki yüksek kısımlardan gelen akarsuların ağız kısımlarında gözlenen farklı boyutlara sahip birikinti koni ile yelpazeler önem teşkil ederler. Alüvyon yelpazeleri iş sahasında Asarlık Deresi, Hatun Dere ile Koyundere mevki etrafında tespit edilirken, iri bloklu çakıllı kum biriminden meydana geldiği kaydedilmektedir.



Şekil 3.2. İzmir ve çevresine ait basitleştirilmiş jeoloji haritası (Uzel vd., 2012)



Şekil 3.3. Çalışma sahası ve çevresi 1/25.000 ölçekli genel jeoloji haritası (MTA jeoloji haritalarından revize edilerek alınmıştır)



Şekil 3.4. Foça ve yakın çevresinin jeoloji-litoloji haritası (Ankaralı, 2008)

Menemen Ovası Gediz Havzası'nda, Gediz Nehrinin denize dökülmüş olduğu çöküntüdeki delta ovasıdır. Menemen'in üzerinde bulunduğu Gediz grabeni ile deltası oldukça geniş düzlükler teşkil etmektedir. Graben yapısında alüvyon yelpazesi ile nehir çökellerinden meydana gelen Kuvaterner çökelleri, graben kenarında bulunan faylarca kesilip yükseltilmiş ve de basamaklı morfoloji elde etmiştir (Öğdüm, 1983).

Menemen' in kuzey yakasındaki Dumanlıdağ volkan kompleksiyle Gediz nehri taşkın ovasının arasında bulunan ve de KB-GD doğrultulu faylar Menemen fay zone şeklinde adlandırılır. İlgili fay zone ilk defa Şaroğlu ile diğerleri (1987, 1992) öncülüğünde haritalanmış ve de Dumanlıdağ fay zone şeklinde açıklanmıştır. İlgili çalışmada Menemen Fay Zone olarak adlandırma yapılmasının sebebi ilke olarak faya en yakın büyük yerleşim yeri adının kullanılmasıdır. Kabaca birbirine paralel şekilde uzanan K60B genel doğrultulu 4 eğim atımlı normal fay parçasından oluşan fay zoneunun toplamdaki uzunluğu on beş km'dir. Zonda bulunan faylardan Dumanlıdağ zirvesindekilerin tamamı Miyosen yaşlı strato-volkan konisini teşkil eden lavları kesmektedir (Öğdüm, 1983, Eşder vd., 1991).

Çalışma alanında eğim %0 ve %35 arasında değişiklik göstermektedir. İnceleme sahasının çoğunlukla kuzey, batı ve güney kısımları düz ova özelliğindedir, eğimi ise %0 ile 10 arasında değişiklik göstermektedir (Alkan, 2023).

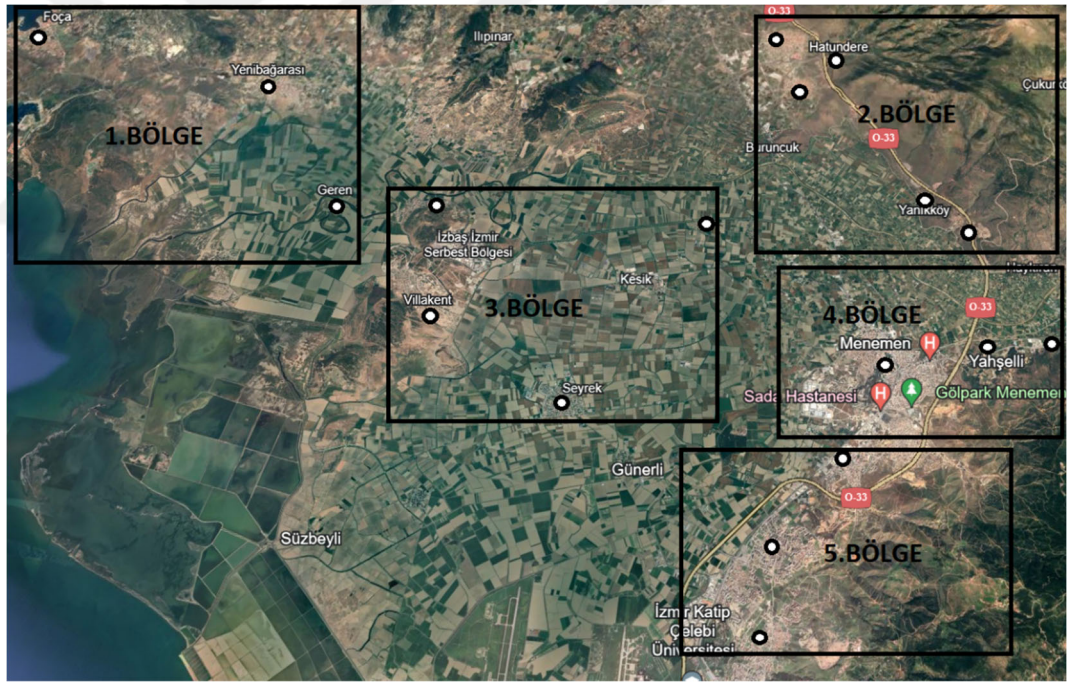
3.3 Bölgenin İklim Özellikleri

Tipik bir Akdeniz iklimi özelliklerini sergileyen çalışma sahası, yazları kurak, sıcak, kışlarıysa ılık, aynı zamanda da yağışlıdır. 1954 ile 2016 senelerini içine alan iklim verileri uyarınca senelik toplam yağışlar yaklaşık olarak 543.4 mm'e kaşılık gelirken, ortalama sıcaklık ise 17.0 °C'e karşılık gelmektedir, maksimum sıcaklığa sahip ay 27.1 °C olarak temmuz ayıyla maksimum serinliğe sahip ay 7.9 °C'yle ocak ayı olarak tespit edilmiştir. Ortalama nispi nem %57.8'e karşılık gelirken, ortalama buharlaşma ise yaklaşık 1520 mm ve de ortalama rüzgar hızıysa 3 m/s seviyesinin altında olarak bulunmuştur (UTAEM, 2017).

Çalışma bölgesi içerisinde yer alan Eski Foça' da tümüyle Akdeniz iklimi hakimdir. Kışları yağışlı, ılık, yazlarıysa sıcak ve kurak geçmektedir. Üç taraftan serin deniz havası almaktadır. Yaz mevsimindeki ayların ortalama sıcaklığı 26 °C ve deniz suyu sıcaklığıysa 22 °C'dir. Yaz mevsiminin maksimum sıcaklığa sahip ayları Temmuz ile Ağustostur. (Kültür ve Turizm Bak., 2024). Foça'nın aşağı yukarı %50'lik kısmı Kızılçam ormanlarıyla kaplı haldedir. Flora ağırlıklı şekilde makiden oluşmaktadır.

3.4. Çalışma Bölgesi ve Su Örneklerinin Toplanması

Bu çalışma kapsamında yapılan planlamalar doğrultusunda su örneklerinin toplanması için Menemen ilçe merkezi ve çevresinde bulunan mahalle/köy ve kasaba gibi yerleşim yerleri çoğunlukta olmak üzere, Foça İlçesi (Eski Foça) ve ilçeye bağlı bazı yerleşim yerleri belirlenmiştir. Şekil 3.5’ de 5 bölgeye ayrılarak işaretlenmiş şekilde gösterilen yerleşim yerlerinde ve civarında ikamet eden halkın içme suyu ihtiyaçlarını karşılamak suretiyle kullandıkları kuyu suyu, dağlardan gelen bazı kaynak suları ve belediye tarafından karşılanan iç mekan ve dış mekanda bulunan su kaynakları ile evlerde kullanılan (ticari damacana suyu) ve marketlerde satılan ticari sular seçilmiştir. Oturulan meskenlerde belediye tarafından sağlanan içme suları insanlar tarafından genellikle arıtma cihazları kullanılarak tüketildiği için örnekler arıtılmış su olarak alınmıştır.



Şekil 3.5. Çalışma Bölgesinin Uydu Görünümü (Menemen ve Çevresi)

Şekil 3.5’ te belirtilen konumlardaki yerleşim yerleri ve civarında bulunan toplam 49 noktadan alınan içme suları toplanırken pet şişenin içi alınacak su ile birkaç kez çalkalanarak temizlenmiş ve üzerinde hava kalmayacak şekilde doldurularak radon gazı kaçışını önlemek amacıyla ağzıları sıkı bir şekilde kapatılmıştır. Marketlerden alınan ticari sular için 500 ml lik satılan plastik şişeler tercih edilmiştir. Örnek olarak alınacak suyun hava ile temas etmemiş olması önemlidir.

RAD7' de alfa radyasyonunun elektrik sinyaline doğrudan dönüşümünü (alfa yakalama) sağlayan ve genelde silikon malzemeye sahip bir katı-hal alfa dedektörü bulunmaktadır. Bu katı-hal dedektörü ile alfa tanecığının enerjisi elektronik olarak belirlenebilir. Bu sayede üretilmiş olan radyasyonun radona ait hangi bozunum ürününden (^{218}Po , ^{214}Po vs.) kaynaklandığını doğru bir şekilde tespit etmek mümkündür. Ayrıca bu dedektör fiziki anlamda oldukça sağlam yapıda olmasından dolayı avantajlıdır. Havayı çekme veya numuneyi tutma gibi uygulamalarda büyük bir avantaj sağlayan bu teknik Alfa Spektroskopisi olarak bilinir. Bu cihazla aynı zamanda radon ölçümü yapılan suyun radyum değeri de belirlenebilir. Radyum değerinin ölçülebilmesi için suyun 1-2 hafta bekletilmesi gerekir. Bu durumda ölçülecek aktivite değeri radyum aktivitesidir.

Bir su örneğinden elde edilen değer doğruluğunu ve güvenilirliğini etkileyen en önemli faktör örnekleme tekniğidir. Alınan suyun muhtemelen düzensiz havalanması ve radonun bir kısmının kaybı nedeniyle $\pm\%10$ ile $\pm\%20$ arasında bir sapma beklenebilir. Bu sapma değeri numune alımı esnasında yapılacaklara azami dikkat edilerek $\pm\%5$ in altına çekilebilir.

3.6. Su örneklerinin analizi için ölçüm cihazının hazırlanması

Su örneklerinin analizi için RAD7 Rad-H₂O Suda radon ölçüm cihazının hazırlama prosedüründe belirtilen aşamalara göre gerekli bağlantılar yapılarak ölçüme hazır hale getirilmesi gerekmektedir. Cihazın kurulumu; yazıcılı RAD7, havalandırıcı kapaklı su şişesi ile havalandırıcı kapağına bağlanan ve imbik standındaki bir kelepçeyle desteklenen kurutucu tüpü olmak üzere 3 bileşenden oluşur. Hazırlık aşamasında ise yapılacaklar şöyledir;

1. İlk olarak RAD7 cihazı açılır. Ölçüm işlemleri öncesinde cihaz içerisinde bulunan nem değerinin, radon sonuçlarının doğru ve güvenilir şekilde elde edilebilmesi için Purge işlemi ile yaklaşık %6-%9 referans aralığına getirilmesi gerekmektedir. Bunun için cihazın giriş filtresi (inlet) kısmına nem tutucu hortum bağlanır. Daha sonra menü-test-purge seçimi yapılarak nem azaltma işlemi başlatılır. Purge işlemi yaklaşık 15-20 dk sürer ve bu süre içerisinde cihaz, test- test status kısmından nem (RH) değeri kontrol

edilerek belirtilen referans aralığına gelindiğinde numuneler için ölçüme hazır duruma gelmiş olur.

2. Purge işleminden sonra cihazın ölçüme uygun hale getirilmesi için menü kısmından,
 - **Protocol:** Wat250 (250 mL lik şişe kullanıldığı için)
 - **Cycle:** 00:05
 - **Rcycle:** 04
 - **Mode:** Wat 250
 - **Thoron:** Off
 - **Pump:** Grab
 - **Tone:** Geiger
 - **Format:** Short
 - **Units:** pCi/L °C, seçimleri yapılır.
3. Cihaz menüsünün ayarlanmasından sonra ölçüm yapılacak su örneği, 250 mL lik cam şişeye üzerinde hava kalmayacak şekilde doldurulur ve ağzı havalandırıcı kapak ile sıkıca kapatılarak, kapalı hava borusu sistemi ile RAD7' ye bağlanır. Ayrıca radon konsantrasyonunun doğru belirlenmesi için kapalı hava sistemine hava kurutucu tüp eklenir.

Böylece şekil 3.7.' de gösterildiği gibi RAD7 ve numune ölçüme hazır hale gelmiş olur.



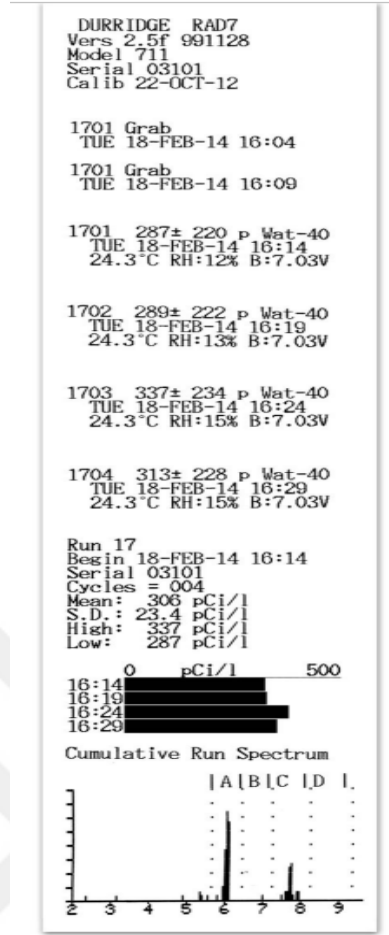
Şekil 3.7. Su örneğinin RAD7 ye bağlanması ve köpürtülmesi

3.7. RAD7 ile Suda Radon Ölçümü

Cihaz ölçüm için başlatıldıktan (start) sonra hava, su boyunca dolaşıp köpürtmeyi sağlar ve denge durumu olana kadar örnekten radon gazı çıkarılmasını sağlar. Sistem yaklaşık 5 dakika sonra köpürtme işlemini bitirerek denge durumuna ulaşır ve bundan sonra daha fazla radon çıkarılamaz. Sonrasındaki 5 dakikalık havalandırma işleminden sonra suda bulunan radonun %94' ünden fazlası ayrıştırılarak RAD7 ye gönderilmiş olmaktadır. Sistem 5 dakika beklemesinin ardından kendine ait yazıcı bir ara rapor vermektedir ve de sayıma başlamaktadır. Sayım beşer dakikadan 4 periyot sürer ve her sayım periyodundan sonra sistem ara rapor sunar. Otuz dakikalık sayım bitiminde RAD7, hepsi 5 dakikadan oluşan 4 periyot bitimindeki ortalama radon konsantrasyonuna bağlı bir özet rapor yazdırır. Özet Raporun içeriğinde;

- ▶ RAD7 çalışma numarası (örn; Run 10)
- ▶ Ölçümün tarih ve saati (Begin)
- ▶ Cihazın seri numarası (Serial)
- ▶ Testteki döngü sayısı (Cycles)
- ▶ Ortalama Radon değeri (Mean)
- ▶ Standart Sapma (S.D.)
- ▶ En yüksek ve en düşük değer (High/Low)
- ▶ Çubuk grafik,

bilgileri yer alır. RAD7-H₂O ye ait özet rapor örneği aşağıda yer alan şekil 3.8 üzerinde açık bir şekilde sunulmuştur.



Şekil 5 RAD H2O çıktısı

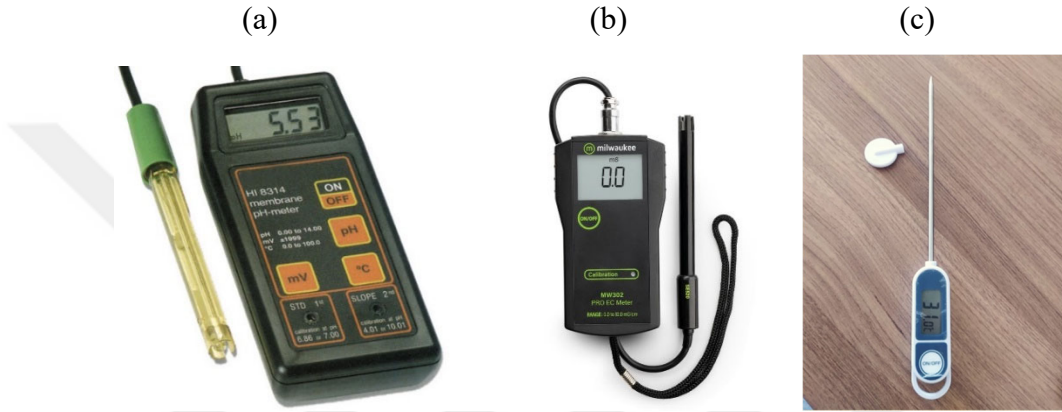
Şekil 3.8. RAD7 Özet Raporu

Toplanan suların pCi/L olarak tespit edilen radon konsantrasyonları daha sonra Bq/L' ye çevrilerek hesaplanmıştır.

RAD-H₂O tekniği, hava ile su hacminin sabit ve bunun yanında akış hızına bağımlı olmadığı kapalı döngü havalandırma şeması tercih edilir. Kullanılan bu kapalı sistemde sudan çıkartılmış olan radon yüzdesi oldukça yüksek olup, örneğin 40 mL' lik suda %99 ve de 250 mL' lik bir suda %94 seviyesindedir. Bu değer kısmen oda sıcaklığına bağlı olmakla birlikte genelde %90' ın üzerindedir. RAD7 cihazı radon ve bozunum ürünlerinin konsantrasyonlarının tespit edilmesi için laboratuvarlarda uzun süre boyunca tercih edilmektedir. Sıvı sintilasyon dedektörleri kadar hassas olan ve bunun yanında da doğru neticeler sunan RAD7 diğer cihazlara nazaran daha (10 pCi/L $\approx$ 370 Bq/m³' in altında deteksiyon limiti ile) duyarlıdır.

3.8. Sıcaklık, pH ve Elektriksel İletkenlik Ölçümü

Menemen ve civarında bulunan 49 noktadan alınan her bir içme suyu için ayrı ayrı pH (asitlik, bazlık derecesi) değeri şekil 3.9. (a)' da gösterilen HI 8314 Membran pH ile, iletkenlik (elektriksel iletkenlik) değeri ise şekil 3.9. (b)' de gösterilen EC metre ile ölçülmüştür. Suların sıcaklık ölçümleri de bulundukları kaynaktan alındıkları esnada şekil 3.9. (c)' de gösterilen sıvı sıcaklık ölçüm termometresi ile yapılmıştır.



Şekil 3.9. a) pH (asitlik ve bazlık derecesi) ölçer HI 8314 Membran, b) Elektriksel İletkenlik ölçer EC metre, c) Sıvı sıcaklık ölçüm termometresi

3.9. Sulardaki Efektif Doz Tahmini

İçme sularında tüketilmesiyle vücudun maruz kaldığı radon radyoaktif yapıda olması sebebiyle insan sağlığı bakımından önem barındırmaktadır. İlgili tez çalışması için belirlenen yerleşim yerlerindeki insanların içme sularını yeme ve yutma yoluyla tüketmesi sonucunda vücudun maruz kaldığı radon miktarının yıllık efektif doz tahmini denklem 3.1. de görüldüğü şekli ile bulundu.

$$YED = CW \times CRW \times DCW \quad (3.1)$$

YED : İçme suyu sebebiyle bir senelik süre zarfından maruz kalınmakta olan doz.

CW : Bir sene süresince kullanılmış olan tahmini suyun miktarı (730 L/Y).

DCW : USEPA için tavsiye edilmiş olan doz dönüşüm etkeni ($3,5 \times 10^{-9}$ Sv/Bq).

CRW : Sudaki ^{222}Rn konsantrasyonu

USEPA: (Limit Değer: 40 $\mu\text{Sv/yıl}$, $F_{\text{ing}} = 3,5 \times 10^{-6}$ mSv/Bq)

Daha önce sulara yapılan radon tespiti çalışmalarında radon miktarının yüksek olmasının mide kanserine yakalanma konusunda risk oluşturabileceği belirtildiğinden, kullanılan içme sularının vücuda alındıktan sonra doğrudan mideye geçmesi sebebi ile midemizin almış olduğu doz miktarını saptamak oldukça büyük bir öneme sahiptir. İlgili nedenden dolayı denklem 3.2 yardımı ile midenin maruz kalacak olduğu senelik doz bulunmuştur.

$$MAD = DW \times WT \quad (3.2)$$

Bu noktada MAD midemizin almış olduğu yıllık etkin doz değeri, WT' yse mide için doz belirlemede tercih edilen ağırlık faktörüdür ($W T=0,12$) (Prasad, 2008). Doz belirlemeleri için başvuru ağırlık faktörü, ICRP' nin 1993 senesinde yayımladığı raporundan alınmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu tez çalışması için, 25.05.2023 ile 15.02.2024 tarihleri arasında İzmir Menemen İlçesi ile civarında bulunan Şekil 3.4' te belirtildiği gibi 5 bölgeye ayrılarak işaretlenen ve daha önce belirlenmiş noktalarda bulunan yerleşim yerlerindeki içme suyu kaynaklarından, evlerde kullanılan içme sularından (arıtma sistemi ve damacana suyu) 500 ml' lik pet şişelere su örnekleri alınmıştır. Ayrıca belirlenen noktalarda piyasada satılan ve bölgede yaşayan insanların tükettiği ticari içme sularından ölçüm için 500 ml' lik şişelerde satılanlar tercih edilmiştir. Toplanan tüm içme suları Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü Radon Laboratuvarı' na götürülerek en geç 24 saat içerisinde Şekil 3.3. te gösterilen ölçüm tekniğine uygun olarak RAD7-H₂O dedektöründe radon ve radyum konsantrasyonları ölçülmüştür. Ayrıca bölgede yaşayan halkın kullandıkları içme sularından yeme ve yutma yoluyla maruz kaldıkları yıllık etkin doz miktarı ile su kullanımı sonucunda midenin maruz kalmış olduğu senelik etkin doz miktarı bulunmuştur.

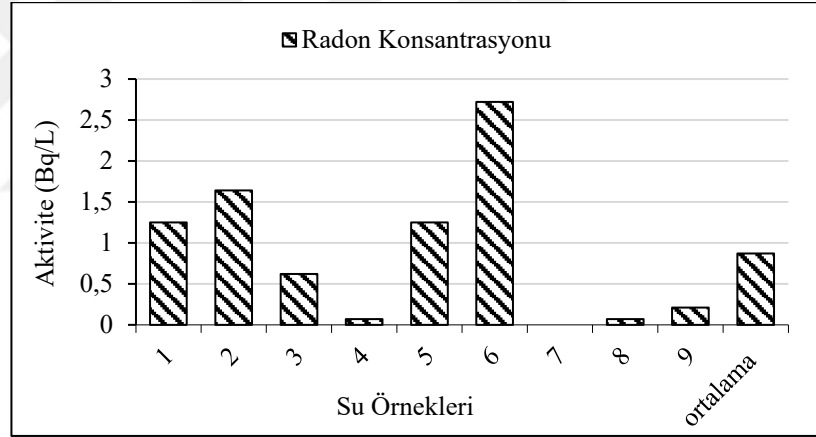
4.1. Radon ve Radyum Ölçüm Sonuçları

Çalışma alanındaki; Eski Foça, Bağarası ve Gerenköy yerleşim yerlerinin bulunduğu 1. Bölgedeki 9 noktadan alınan içme sularındaki ortalama ²²²Rn ve

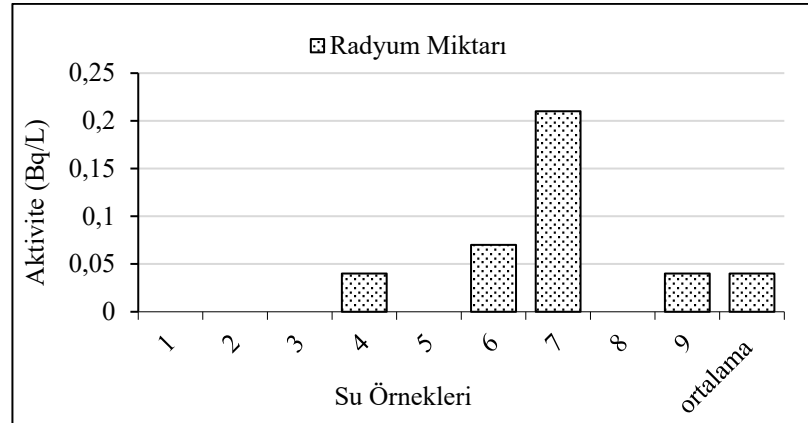
^{226}Ra değerleri aşağıda yer alan çizelge 4.1, şekil 4.1 ile 4.2 üzerinde açık bir şekilde sunulmuştur.

Çizelge 4.1. 1.Bölge içme sularındaki ortalama radon ve radyum değerleri

1. Bölge (Eski Foça, Bağarası, Gerenköy)	Ort. Radon Aktivitesi Bq/L	Ort. Radyum Aktivitesi Bq/L
1	1,25	0,00
2	1,64	0,00
3	0,62	0,00
4	0,07	0,04
5	1,25	0,00
6	2,72	0,07
7	0,00	0,21
8	0,07	0,00
9	0,21	0,04
Bölge Ort.	0,87	0,04



Şekil 4.1. 1.Bölge içme sularındaki ortalama radon değerleri grafiksel gösterimi



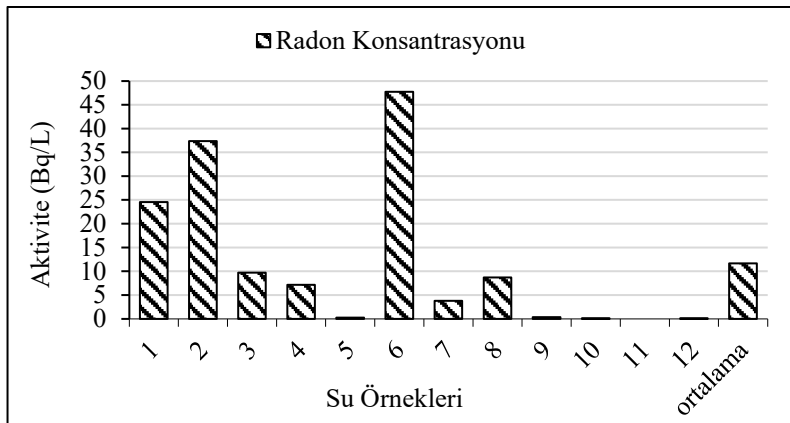
Şekil 4.2. 1.Bölge içme sularındaki ortalama radyum değerleri grafiksel gösterimi

Çizelge 4.1, şekil 4.1 ile 4.2 üzerinde verilen değerler incelendiği zaman bölgedeki ortalama ^{222}Rn konsantrasyonunun 0,00 Bq/L ile 2,72 Bq/L aralığında değişiklik gösterdiği ve bunun yanında bölgenin radon ortalamasının 0,87 Bq/L' e karşılık geldiği görülmüş olup, bölgedeki içme sularının ortalama ^{226}Ra değerlerinin 0 Bq/L - 0,21 Bq/L arasında seyrettiği ve bunun yanında bölgenin radyum ortalamasının 0,04 Bq/L' e karşılık geldiği tespit edilmiştir.

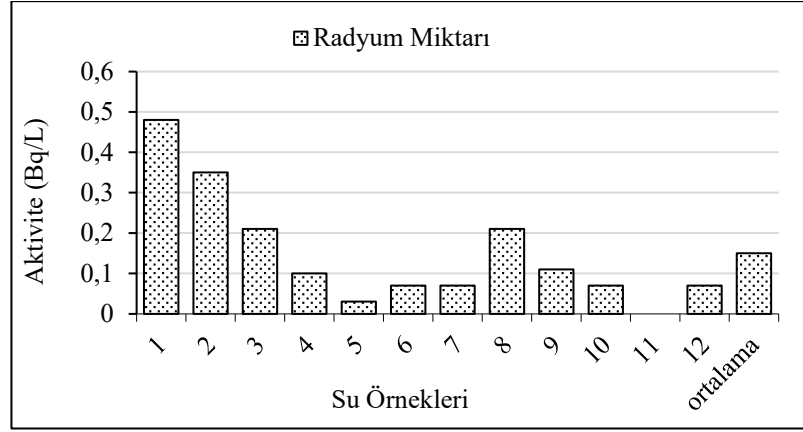
Helvacı, Hatundere, Türkelli, Yanıkköy ve Belen Mahallelerinin bulunduğu 2. Bölgedeki 12 noktadan toplanan içme sularının ortalama ^{222}Rn ve ^{226}Ra değerleri çizelge 4.2, şekil 4.3 ile 4.4 üzerinde açıkça gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. 2.Bölge içme sularındaki ortalama radon ve radyum değerleri

2. Bölge (Helvacı, Hatundere,Türkelli,Y anıkköy,Belen)	Ort. Radon Aktivitesi Bq/L	Ort. Radyum Aktivitesi Bq/L
1	24,53	0,48
2	37,37	0,35
3	9,70	0,21
4	7,14	0,10
5	0,24	0,03
6	47,73	0,07
7	3,77	0,07
8	8,69	0,21
9	0,35	0,11
10	0,10	0,07
11	0,00	0,00
12	0,10	0,07
Bölge Ort.	11,65	0,15



Şekil 4.3. 2.Bölge içme sularındaki ortalama radon değerleri grafiksel gösterimi



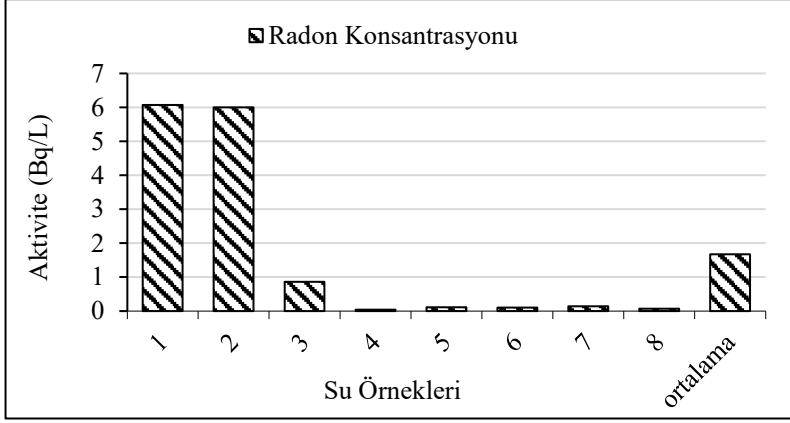
Şekil 4.4. 2.Bölge içme sularındaki ortalama radyum değerleri grafiksel gösterimi

Çizelge 4.2, şekil 4.3 ile 4.4 üzerinde verilen değerler incelendiği zaman bölgedeki ortalama ^{222}Rn konsantrasyonunun 0,00 Bq/L - 47,73 Bq/L aralığında değiştiği ve bölgenin radon ortalamasının 11,65 Bq/L olduğu görülmüş olup, bölgedeki içme sularının ortalama ^{226}Ra değerlerinin 0,00 Bq/L ve 0,48 Bq/L arasında seyrettiği ve bunun yanında bölgenin radyum ortalamasının 0,15 Bq/L olduğu tespit edilmiştir.

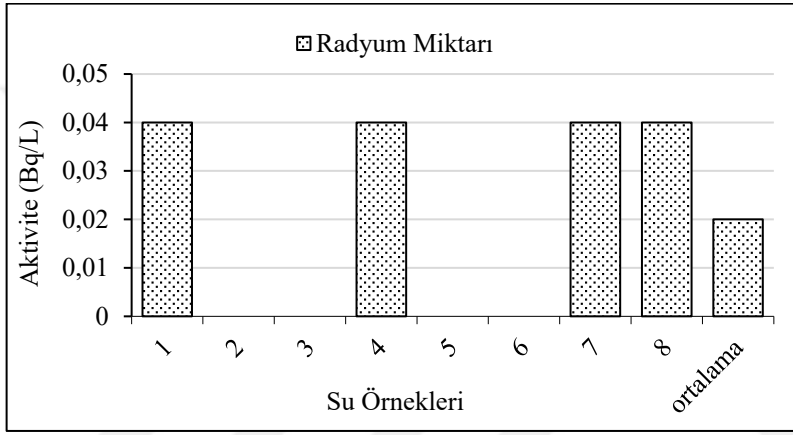
Maltepe, Villakent, Seyrek, Günerli ve Çavuşköy mahallelerinin bulunduğu 3. Bölgedeki 8 noktadan toplanan içme sularının ortalama ^{222}Rn ve ^{226}Ra değerleri çizelge 4.3, şekil 4.5 ile 4.6 üzerinde açıkça gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. 3.Bölge içme sularındaki ortalama radon ve radyum değerleri

3. Bölge (Maltepe, Seyrek, Villakent, Günerli, Çavuşköy)	Ort. Radon Aktivitesi Bq/L	Ort. Radyum Aktivitesi Bq/L
1	6,07	0,04
2	6,00	0,00
3	0,86	0,00
4	0,04	0,04
5	0,11	0,00
6	0,10	0,00
7	0,14	0,04
8	0,07	0,04
Bölge Ort.	1,67	0,02



Şekil 4.5. 3.Bölge içme sularındaki ortalama radon değerleri grafiksel gösterimi



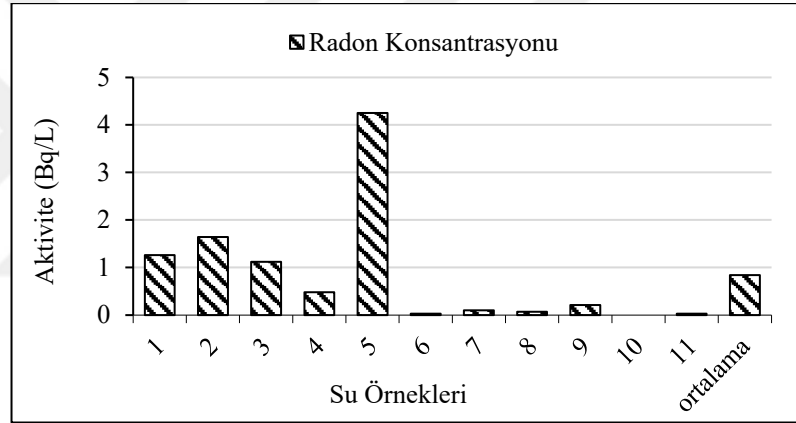
Şekil 4.6. 3.Bölge içme sularındaki ortalama radyum değerleri grafiksel gösterimi

Çizelge 4.3, şekil 4.5 ile 4.6 üzerinde verilen değerler incelendiği zaman bölgedeki ortalama ^{222}Rn konsantrasyonunun 0,07 Bq/L - 6,07 Bq/L aralığında değişiklik gösterdiği, bunun yanında bölgenin radon ortalamasının 1,67 Bq/L olduğu görülmüş olup, bölgedeki içme sularının ortalama ^{226}Ra değerlerinin 0,00 Bq/L - 0,04 Bq/L arasında seyrettiği, bunun yanında bölgenin radyum ortalamasının 0,02 Bq/L'e karşılık geldiği tespit edilmiştir.

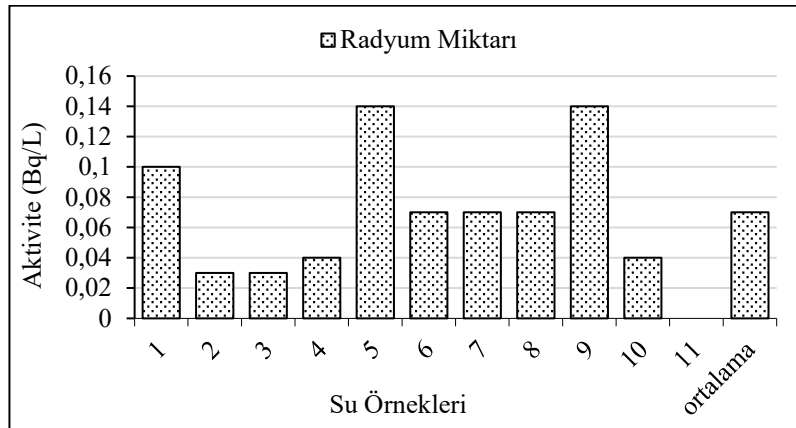
Menemen Merkez ile Yahşelli ve Göktepe Mahallelerinin bulunduğu 4. Bölgedeki 11 noktadan toplanan içme sularının ortalama ^{222}Rn ve ^{226}Ra değerleri çizelge 4.4, şekil 4.7 ile 4.8 üzerinde sunulmuştur.

Çizelge 4.4. 4.Bölge içme sularındaki ortalama radon ve radyum değerleri

4. Bölge (Menemen Merkez, Yahşelli ve Göktepe)	Ort. Radon Aktivitesi Bq/L	Ort. Radyum Aktivitesi Bq/L
1	1,26	0,10
2	1,64	0,03
3	1,12	0,03
4	0,48	0,04
5	4,25	0,14
6	0,03	0,07
7	0,10	0,07
8	0,07	0,07
9	0,21	0,14
10	0,00	0,04
11	0,03	0,00
Bölge Ort.	0,84	0,07



Şekil 4.7. 4.Bölge içme sularındaki ortalama radon değerleri grafiksel gösterimi



Şekil 4.8. 4.Bölge içme sularındaki ortalama radyum değerleri grafiksel gösterimi

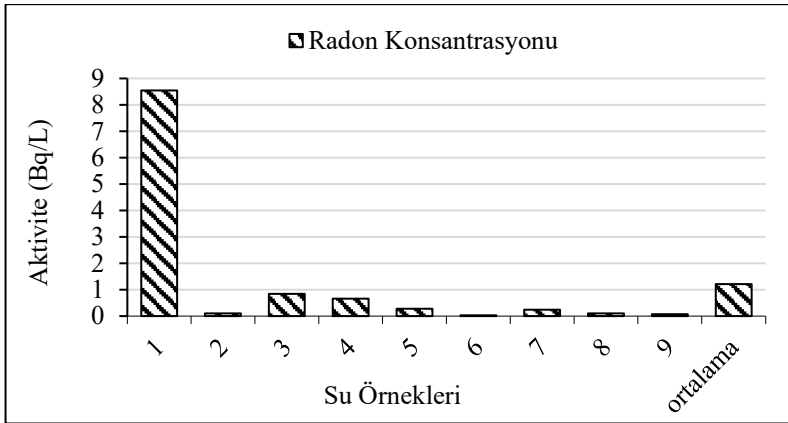
Çizelge 4.4, şekil 4.7 ile 4.8 üzerinde verilen değerler incelendiği zaman bölgedeki ortalama ^{222}Rn konsantrasyonunun 0,00 Bq/L - 4,25 Bq/L arasında

değişiklik gösterdiği, bunun yanında bölgenin radon ortalamasının 0,84 Bq/L'e karşılık geldiği görülmüş olup, bölgedeki içme sularının ortalama ^{226}Ra değerlerinin 0,00 Bq/L - 0,14 Bq/L arasında seyrettiği, bunun yanında bölgenin radyum ortalamasının da 0,07 Bq/L'ye karşılık geldiği tespit edilmiştir.

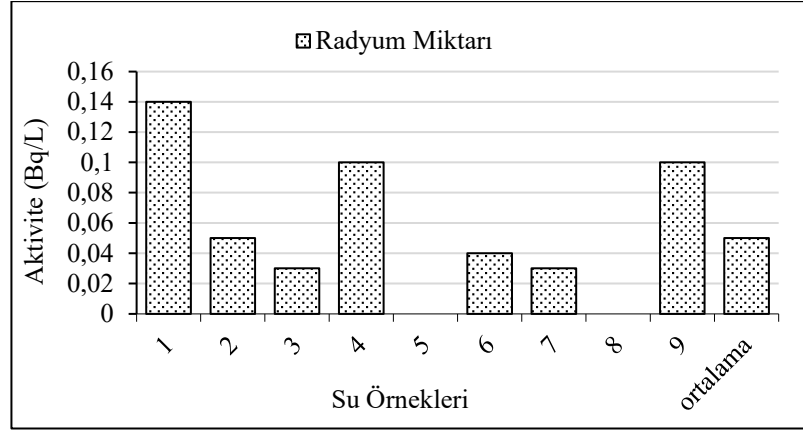
Son olarak Koyundere, Egekent-2 ve Ulukent yerleşim yerlerinin bulunduğu 5. Bölgedeki 9 noktadan toplanan içme sularının ortalama ^{222}Rn ve ^{226}Ra değerleri çizelge 4.5, şekil 4.9 ile 4.10 üzerinde sunulmuştur.

Çizelge 4.5. 5.Bölge içme sularındaki ortalama radon ve radyum değerleri

5. Bölge (Koyundere, Egekent-2, Ulukent)	Ort. Radon Aktivitesi Bq/L	Ort. Radyum Aktivitesi Bq/L
1	8,54	0,14
2	0,10	0,05
3	0,84	0,03
4	0,66	0,10
5	0,28	0,00
6	0,03	0,04
7	0,24	0,03
8	0,10	0,00
9	0,07	0,10
Bölge Ort.	1,21	0,05



Şekil 4.9. 5.Bölge içme sularındaki ortalama radon değerleri grafiksel gösterimi



Şekil 4.10. 5.Bölge içme sularındaki ortalama radyum değerleri grafiksel gösterimi

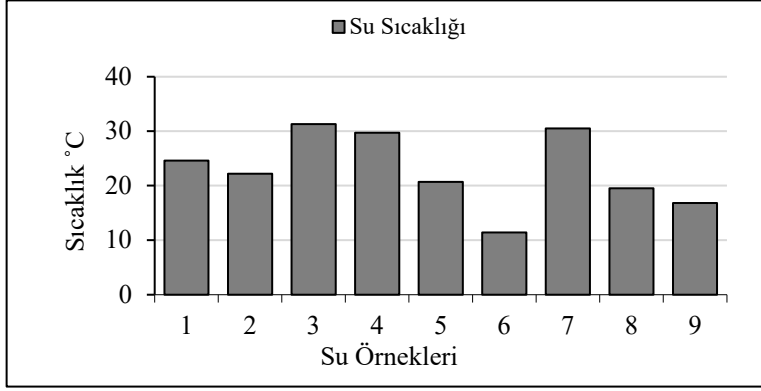
Çizelge 4.5, şekil 4.9 ile 4.10 üzerinde verilen değerler incelendiği zaman bölgedeki ortalama ^{222}Rn konsantrasyonunun 0,03 Bq/L ile 8,54 Bq/L aralığında değişiklik gösterdiği, bunun yanında bölgenin radon ortalamasının 1,21 Bq/L'ye karşılık geldiği görülmüş olup, bölgedeki içme sularının ortalama ^{226}Ra değerlerinin 0,00 Bq/L-0,14 Bq/L arasında seyrettiği, bunun yanında bölgenin radyum ortalamasının 0,05 Bq/L'ye karşılık geldiği tespit edilmiştir.

4.2. Sıcaklık, pH ve İletkenlik Ölçüm Sonuçları

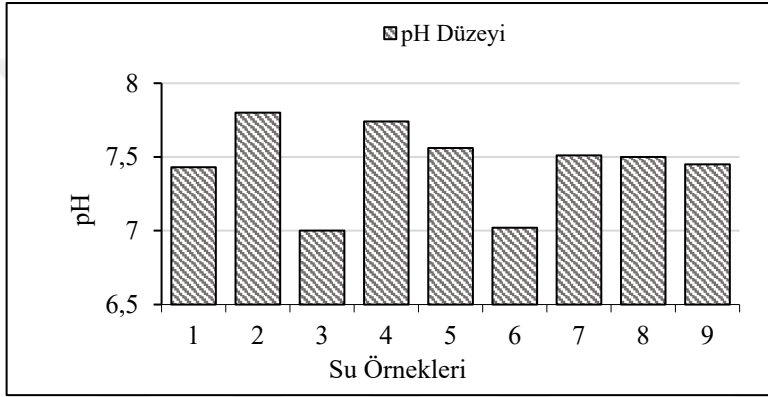
Eski Foça, Bağarası ve Gerenköy yerleşim yerlerinin bulunduğu 1. Bölgedeki 9 noktadan alınan içme sularının sıcaklık, pH ve iletkenlik değerleri çizelge 4.6, şekil 4.11, 4.12 ile son olarak 4.13 üzerinde sunulmuştur.

Çizelge 4.6. 1.Bölge içme sularının sıcaklık, pH ve iletkenlik değerleri

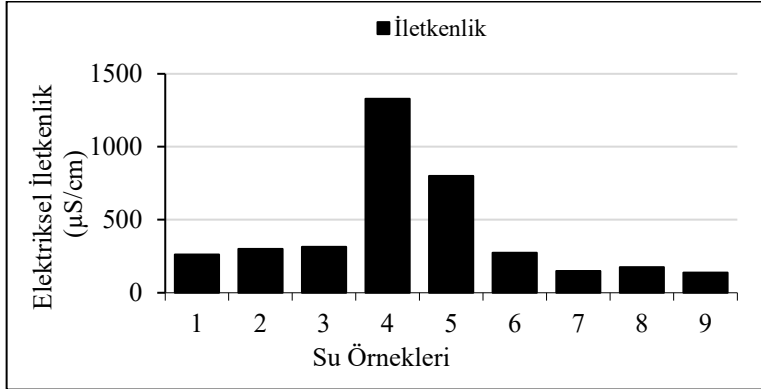
1. Bölge (Eski Foça, Bağarası, Gerenköy)	Su sıcaklığı °C	pH Düzeyi	İletkenlik µS/cm
1	24,60	7,43	261,00
2	22,20	7,80	300,00
3	31,30	7,00	314,00
4	29,70	7,74	1328,00
5	20,70	7,56	800,00
6	11,40	7,02	273,00
7	30,50	7,51	148,10
8	19,50	7,50	174,90
9	16,80	7,45	137,30



Şekil 4.11. 1.Bölge içme sularının sıcaklık değerleri grafiksel gösterimi



Şekil 4.12. 1.Bölge içme sularının pH seviyeleri grafiksel gösterimi



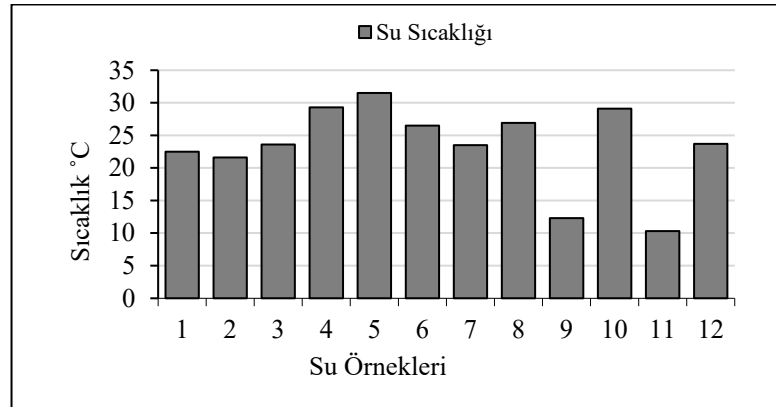
Şekil 4.13. 1.Bölge içme sularındaki iletkenlik değerleri grafiksel gösterimi

Çizelge 4.6, şekil 4.11, 4.12 ile 4.13 üzerinde verilmiş olan değerler incelendiğinde suların pH seviyesinin 7,00 ile 7,80 arasında, elektriksel iletkenliklerinin ise 137,30 µS/cm ile 1328,00 µS/cm arasında seyrettiği tespit edilmiş olup, bölgeden toplanan içme sularının en düşük 11,40 °C ve en yüksek 31,30 °C sıcaklığa sahip olduğu belirlenmiştir.

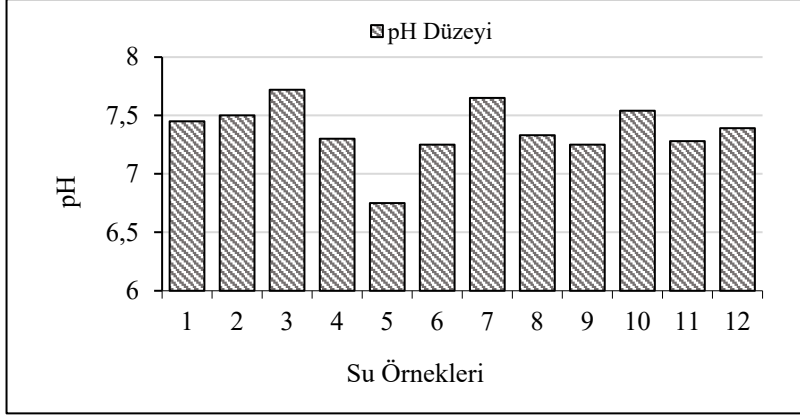
Helvacı, Hatundere, Türkelli, Yanıkköy ve Belen Mahallelerinin bulunduğu 2. Bölgedeki 12 noktadan toplanan içme suyu numunelerinin sıcaklık, pH ve iletkenlik değerleri çizelge 4.7, şekil 4.14, 4.15 ile son olarak 4.16 üzerinde açık bir şekilde gösterilmiştir.

Çizelge 4.7. 2.Bölge içme sularının sıcaklık, pH ve iletkenlik değerleri

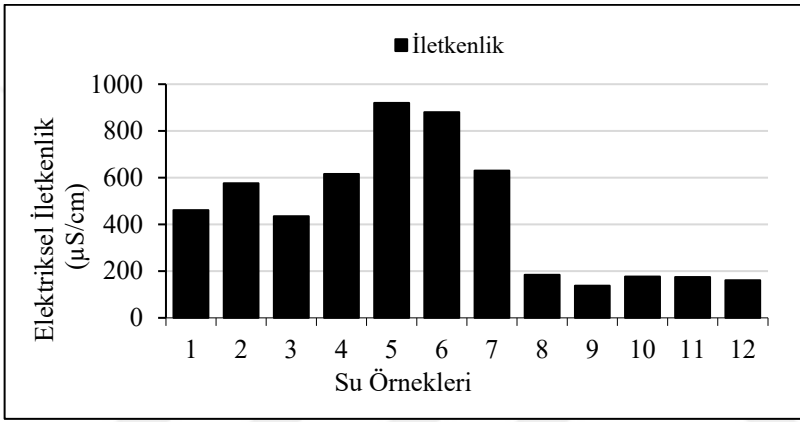
2. Bölge (Helvacı, Hatundere,Türkelli, Yanıkköy,Belen)	Su Sıcaklığı °C	pH Düzeyi	İletkenlik µS/cm
1	22,50	7,45	461,00
2	21,60	7,50	576,00
3	23,60	7,72	435,00
4	29,30	7,30	616,00
5	31,50	6,75	920,00
6	26,50	7,25	880,00
7	23,50	7,65	630,00
8	26,90	7,33	184,20
9	12,30	7,25	137,30
10	29,10	7,54	176,80
11	10,30	7,28	174,90
12	23,70	7,39	161,00



Şekil 4.14. 2.Bölge içme sularının sıcaklık değerleri grafiksel gösterimi



Şekil 4.15. 2.Bölge içme sularının pH seviyeleri grafiksel gösterimi



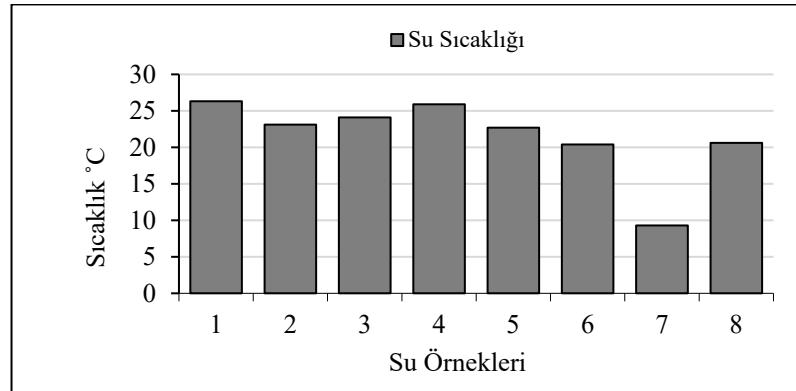
Şekil 4.16. 2.Bölge içme sularındaki iletkenlik değerleri grafiksel gösterimi

Çizelge 4.7, şekil 4.14, 4.15 ile son olarak 4.16 üzerinde verilen değerler incelendiğinde suların pH seviyesinin 6,75 ile 7,72 arasında, elektriksel iletkenliklerinin ise 137,30 $\mu\text{S/cm}$ ile 920,00 $\mu\text{S/cm}$ arasında seyrettiği tespit edilmiş olup, bölgeden toplanan içme sularının en düşük 10,30 °C ve en yüksek 31,50 °C sıcaklığa sahip olduğu belirlenmiştir.

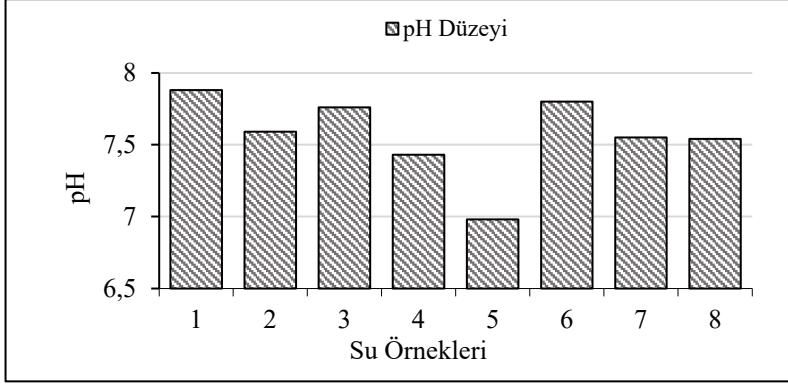
Maltepe, Villakent, Seyrek, Günerli ve Çavuşköy mahallelerinin bulunduğu 3. Bölgedeki 8 noktadan toplanan içme suyu numunelerinin sıcaklık, pH ve iletkenlik değerleri çizelge 4.8, şekil 4.17, 4.18 ile son olarak 4.19 üzerinde açık bir şekilde gösterilmiştir.

Çizelge 4.8. 3.Bölge içme sularının sıcaklık, pH ve iletkenlik değerleri

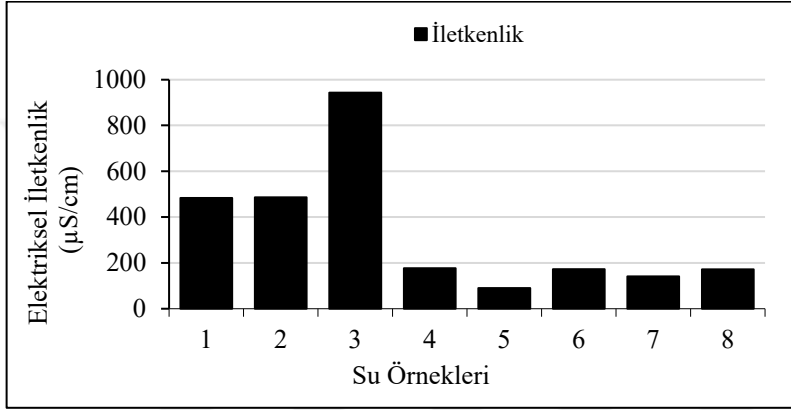
3. Bölge (Maltepe, Seyrek, Villakent, Günerli, Çavuşköy)	Su Sıcaklığı °C	pH Düzeyi	İletkenlik µS/cm
1	26,30	7,88	483,00
2	23,10	7,59	486,00
3	24,10	7,76	943,00
4	25,90	7,43	176,60
5	22,70	6,98	90,20
6	20,40	7,80	172,70
7	9,30	7,55	141,10
8	20,60	7,54	171,40



Şekil 4.17. 3.Bölge içme sularının sıcaklık değerleri grafiksel gösterimi



Şekil 4.18. 3.Bölge içme sularının pH seviyeleri grafiksel gösterimi



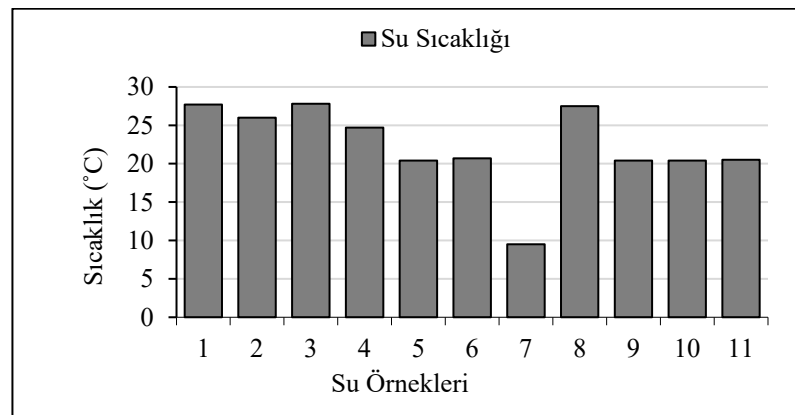
Şekil 4.19. 3.Bölge içme sularındaki iletkenlik değerleri grafiksel gösterimi

Çizelge 4.8, şekil 4.17, 4.18 ve son olarak da şekil 4.19 üzerinde verilen değerler incelendiği zaman suların pH seviyesinin 6,98 ile 7,88 arasında, elektriksel iletkenliklerinin ise 90,20 $\mu\text{S/cm}$ ile 943,00 $\mu\text{S/cm}$ arasında seyrettiği tespit edilmiş olup, bölgeden toplanan içme sularının en düşük 9,30 °C ve en yüksek 26,30 °C sıcaklığa sahip olduğu belirlenmiştir.

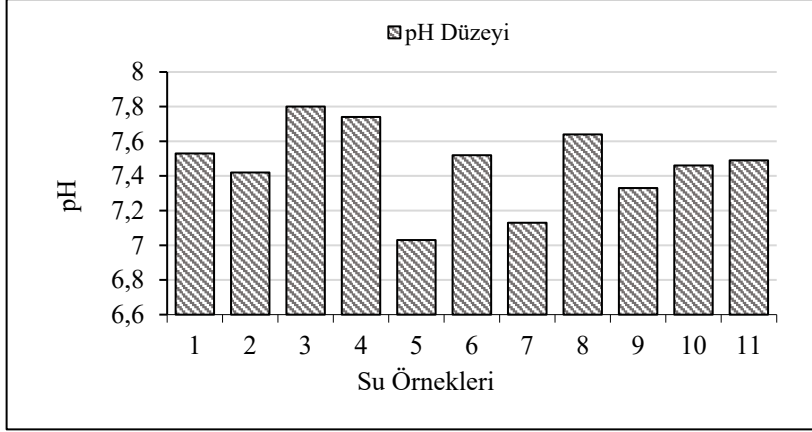
Menemen Merkez ile Yahşelli ve Göktepe Mahallelerinin bulunduğu 4. Bölgedeki 11 noktadan toplanan içme suyu numunelerinin sıcaklık, pH ve iletkenlik değerleri çizelge 4.9, şekil 4.20, 4.21 ve 4.22 üzerinde sunulmuştur.

Çizelge 4.9. 4.Bölge içme sularının sıcaklık, pH ve iletkenlik değerleri

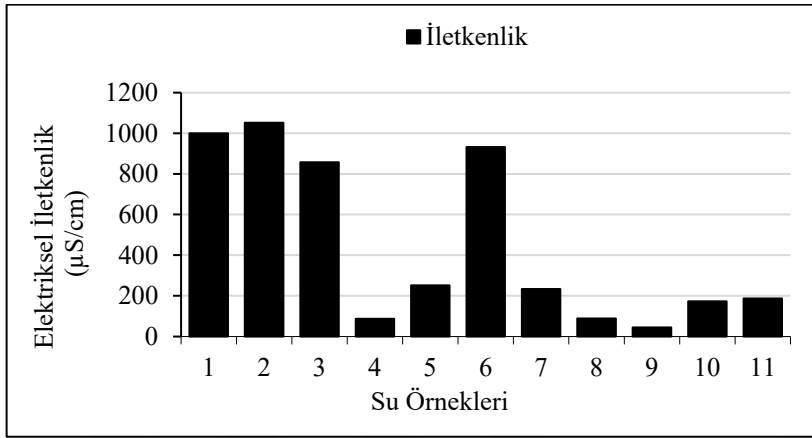
4. Bölge (Menemen Merkez, Yahşelli ve Göktepe)	Su Sıcaklığı °C	pH Düzeyi	İletkenlik µS/cm
1	27,70	7,53	1000,00
2	26,00	7,42	1052,00
3	27,80	7,80	857,00
4	24,70	7,74	86,70
5	20,40	7,03	251,00
6	20,70	7,52	932,00
7	9,50	7,13	233,00
8	27,50	7,64	88,40
9	20,40	7,33	44,00
10	20,40	7,46	172,30
11	20,50	7,49	187,00



Şekil 4.20. 4.Bölge içme sularının sıcaklık değerleri grafiksel gösterimi



Şekil 4.21. 4.Bölge içme sularının pH seviyeleri grafiksel gösterimi



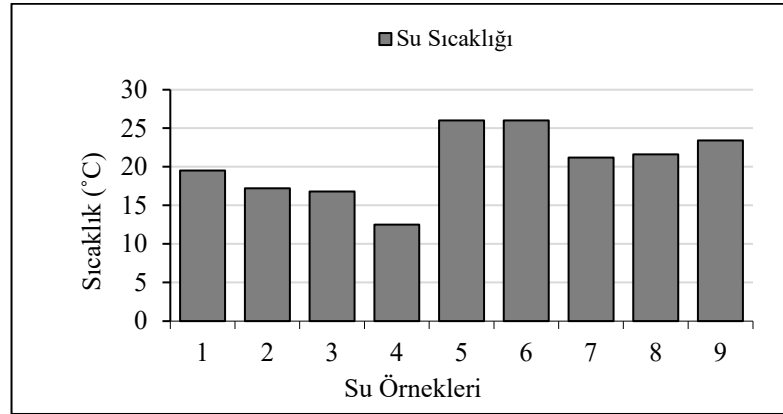
Şekil 4.22. 4.Bölge içme sularındaki iletkenlik değerleri grafiksel gösterimi

Çizelge 4.9, şekil 4.20, 4.21 ile son olarak 4.22 üzerinde verilmiş olan değerler incelendiği zaman suların pH seviyesinin 7,03 ile 7,80 arasında, elektriksel iletkenliklerinin ise 44,00 $\mu\text{S/cm}$ ile 1052,00 $\mu\text{S/cm}$ arasında seyrettiği tespit edilmiş olup, bölgeden toplanan içme sularının en düşük 9,50 °C ve en yüksek 27,80 °C sıcaklığa sahip olduğu belirlenmiştir.

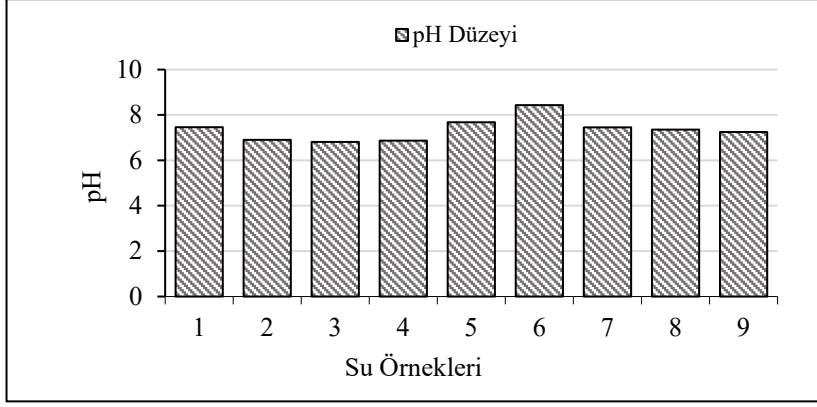
Son olarak Koyundere, Egekent-2 ve Ulukent yerleşim yerlerinin bulunduğu 5. Bölgedeki 9 noktadan toplanan içme suyu numunelerinin sıcaklık, pH ve iletkenlik değerleri çizelge 4.10, şekil 4.23, 4.24 ile son olarak 4.25 üzerinde açıkça sunulmuştur.

Çizelge 4.10. 5.Bölge içme sularının sıcaklık, pH ve iletkenlik değerleri

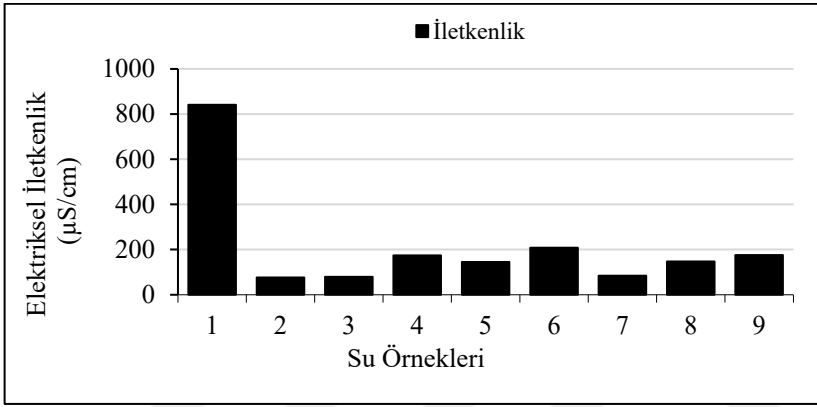
5. Bölge (Koyundere, Egekent-2, Ulukent)	Su Sıcaklığı °C	pH Düzeyi	İletkenlik µS/cm
1	19,50	7,46	841,00
2	17,20	6,90	75,70
3	16,80	6,81	78,90
4	12,50	6,87	173,60
5	26,00	7,68	144,70
6	26,00	8,43	208,00
7	21,20	7,45	83,40
8	21,60	7,35	146,90
9	23,40	7,25	175,30



Şekil 4.23. 5.Bölge içme sularının sıcaklık değerleri grafiksel gösterimi



Şekil 4.24. 5.Bölge içme sularının pH seviyeleri grafiksel gösterimi



Şekil 4.25. 5.Bölge içme sularındaki iletkenlik değerleri grafiksel gösterimi

Çizelge 4.10, şekil 4.23, 4.24 ve son olarak da 4.25 üzerinde verilmiş olan değerler incelendiğinde suların pH seviyesinin 6,81 ile 8,43 arasında, elektriksel iletkenliklerinin ise 75,70 $\mu\text{S/cm}$ ile 841,00 $\mu\text{S/cm}$ arasında seyrettiği tespit edilmiş olup, bölgeden toplanan içme sularının en düşük 12,50 °C ve en yüksek 26 °C sıcaklığa sahip olduğu belirlenmiştir.

4.3. Sularda Radon Aktiviteleri ve Hesaplanan Etkin Dozlar

İnceleme alanında, 25.05.2023 ile 15.02.2024 tarihleri arasında 49 noktadan toplanan su numuneleri için bölgede yaşayan halkın gözle görülür bir kısmının doğal kaynak sularını, azımsanmayacak bir kısmın da ticari içme sularını tercih etmesi sebebiyle özellikle doğal kaynak suları ile piyasada satılan ticari içme suları tercih edilmiştir. Ayrıca bölgedeki bazı yerleşim yerlerinde şebeke ya da kuyu sularını arıtma vasıtasıyla tüketen bazı evlerden içme suyu numuneleri de alınmıştır.

Çizelge 4.11' de belirtildiği gibi tüm çalışma bölgesinden toplanan içme sularının ortalama radon aktivitelerinin 0,00 Bq/L ile 47,73 Bq/L aralığında değiştiği görülmüştür. Ayrıca tablo 5.2' de belirtildiği gibi ortalama radyum aktivitelerinin 0,00 Bq/L - 0,48 Bq/L aralığında değişiklik gösterdiği kaydedilmiştir. Ortalama radon aktivitelerinin kaynak sularında 0,07 Bq/L- 47,73 Bq/L aralığında değiştiği, arıtma sularında 0,03 Bq/L - 8,69 Bq/L arasında değiştiği, bunun yanında ticari sularda ise 0,00 Bq/L - 0,28 Bq/L aralığında değiştiği görülmüştür. Arıtma sularının ortalama radon aktivitelerine bakıldığında, şebeke arıtma sularının en düşük 0,03 Bq/L, en yüksek 0,84 Bq/L değerinde olduğu fakat kuyu arıtma suyunun 8,69 Bq/L değere sahip olduğu görülmüş olup, bu kuyu suyunun bulunduğu 2. bölge 8. nokta olan Hatundere Mahallesinin Dumanlı Dağın eteğinde konumlanmış olması, bu suyun dağın yapısında bulunan toprak ve kaya kütlelerindeki radon gazının içerisine nüfuz ettiği bir yer altı suyu olması ve şebeke suları gibi herhangi bir arındırma işleminden geçmemiş olması, diğer arıtma sularına göre oldukça yüksek aktiviteye sahip olmasına sebep olmuştur denilebilir. Ticari suların kaynak sularına göre oldukça düşük radon aktivitesine sahip olduğu görülmüş olup, su firmaları tarafından çeşitli arındırma işlemlerine tabi tutulmaları buna sebep gösterilebilir.

Helvacı, Hatundere, Türkelli, Yanıkköy ve Belen Mahallelerinin bulunduğu 2. Bölge' nin Dumanlı Dağ eteğinde ve uzantısında konumlanmasından dolayı dağdaki toprak ve kaya kütlelerinde bulunan radonun sulara nüfuz etmesi, ayrıca bu bölgenin Dumanlı Dağ Fay Zonu üzerinde bulunmasının toplanan su numunelerindeki radon aktivitesinin oldukça yüksek değerlerde çıkmasına sebep olduğu düşünülmektedir. Ayrıca 5. Bölgedeki Ulukent 9 Eylül Mahallesinden 1 numaralı örnekte ölçülen radon değeri o bölgedeki diğer sulardan oldukça yüksek bulunmuştur. Bu suyun toprak ve kayaların yoğun olduğu yamanlar dağı bölgesinden gelmesi, bu toprak ve kaya kütlelerinde bulunan radonun suya nüfuz etmesinin yüksek radon değeri bulunmasına sebep olacağı söylenebilir. Diğer yandan 3. Bölgede bulunan Çavuş köy' den alınan 1 ve 2 numaralı suların kuyu suyu olması ve yeraltı sularının yüzeyde bulunan sulara göre çok fazla kaya ve toprakla temas etmesinin o bölgedeki diğer sulardan daha yüksek radon ölçülmesine sebep olduğu söylenebilir.

Menemen ve çevresindeki içme sularının ortalama radon konsantrasyonlarına bakıldığında; kaynak suları için en düşük aktivitenin 0,07 Bq/L değere sahip 1. bölgedeki 1 numaralı su olduğu ve en yüksek aktivitenin 47,73 Bq/L değere sahip 2. Bölgedeki 6 numaralı su olduğu görülmüştür. Arıtma suları için en düşük aktivitenin 0,03 Bq/L değere sahip 4. Bölgedeki 6 numaralı su olduğu ve en yüksek aktivitenin 8,69 Bq/L değere sahip 2. Bölgedeki 8 numaralı su olduğu görülmüştür. Ticari sular için de en düşük aktivitenin 0,00 Bq/L değere sahip 1. Bölge 7 numaralı, 2. Bölge 11 numaralı ve 4. Bölge 10 numaralı sularda ve en yüksek aktivitenin 0,28 Bq/L değere sahip 5. Bölge 5 numaralı suda olduğu görülmüştür. Bölgedeki tüm suların ortalama radon aktivitesi 3,69 Bq/L olarak belirlenmiştir.

Bulmuş olduğumuz Radon konsantrasyonları değerleri Radyum konsantrasyonları değerlerinin çok daha üzerinde çıkmıştır. İlgili durumun nedeni; Kayaç ve toprakta bulunan Radon su içerisine nüfuz ederken, su içerisinde eriyebilen radyum yerin altında bulunan sulara nüfuz edemediğinden absorplanarak toprağa geçer. Sulardaki en kritik doğal radyoaktif madde niteliğindeki Radiumun kaynağını sulardan geçmiş olduğu kütlelerdeki radyoaktif maddeler teşkil etmektedir. Sulardaki Radon gazının kaynağını sularda çözünen Radium tuzları teşkil etmektedir. Ancak suların bazıları barındırdıkları Radium tuzu yoğunluğu nazaran çok daha fazla yoğunluklara sahip olan Radon gazı barındırmaktadır. İlgili suların çok fazla Radon konsantrasyonu barındırmaları, kayalardan geçişleri esnasında çatlaklardan sızmış olan Radon gazından ileri gelmektedir. İlgili durum Radium tuzlarının sadece temas halinde olan sular içerisinde süzülüp çözünmesine başlanabilmektedir (Alkan ve Göksel, 1975, Davis ve Watson, 1990).

ABD Çevre Koruma Ajansı içme amacıyla kullanılmakta olan sular açısından suda bulunan radon konsantrasyonunu güvenlik sınırı en fazla 11.11 Bq/L olmasını önermektedir (USEPA, 1991). Fakat, WHO (Dünya Sağlık Örgütü), içme amacıyla kullanılmakta olan sular adına radon konsantrasyon düzeyinin en yüksek değerinin 100 Bq/L olmasını önermektedir (WHO, 1993). Bu tez çalışması için 5 bölgeye ayrılan Menemen İlçesi ve civarındaki 49 noktadan toplanan içme sularından 3 örnekte bulmuş olduğumuz değerler, USEPA'nın

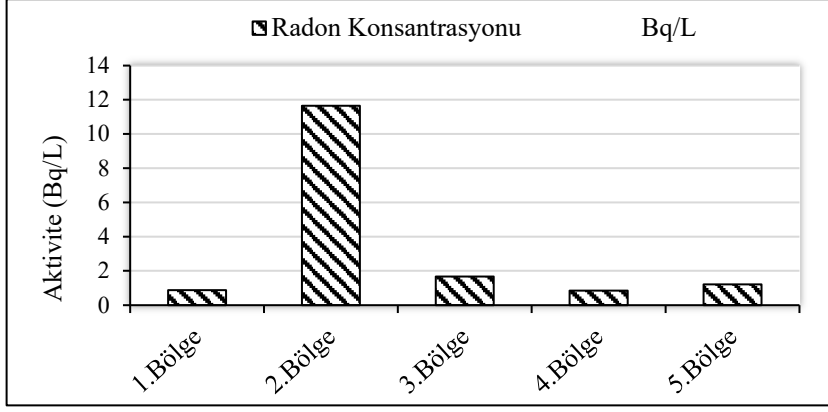
tavsiye etmiş olduğu güvenlik limitin üzerinde, ancak WHO tarafından saptanmış olan 100 Bq/L limitinin de altındadır. Ayrıca sadece 1 örnekte ölçülen radon değeri BM Radyasyon Etkisi Komitesi (UNSCEAR)' in belirlediği 40 Bq/L limitinin üstünde bulunmuştur. Böylece tüm içme suyu aktivitelerinin WHO tarafından belirlenen 100 Bq/L limitinin altında kaldığı tespit edilmiştir.

Radon konsantrasyonunun suların bazılarında yüksek çıkması şu şekilde açıklığa kavuşturulabilir; Yeraltı sularının yüzeye çıkmasının öncesinde kayaların üstünde hareket etmektedir. Bahsi geçen sular kayalardan bu şekilde küçük parçalar koparmaktadırlar. Şayet yeraltında radyoaktif üründen çok fazla miktarda bulunuyorsa, bu ürünün yüzeye sular aracılığı ile taşınması olasıdır. Bu noktada radon konsantrasyonunun çok fazla çıkması yarılanması çok daha zaman alan radyoaktif özelliğe sahip başka bir kararsız atomun ilgili kaynak etrafında olabileceğini açık bir şekilde gözler önüne sermektedir (Çetinkaya, 2009). İnceleme alanındaki tüm su numunelerinin ortalama radon aktiviteleri ile bölgede yaşayan insanların kullandıkları içme suları sebebiyle maruz kaldıkları Senelik Etkin Doz ile Midenin Aldığı Doz değeri aşağıda yer alan çizelge 4.11 üzerinde görüldüğü şekildedir.

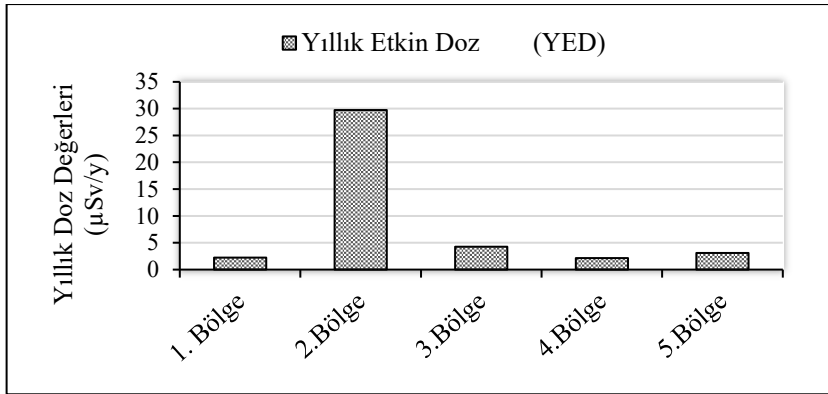
Çizelge 4.11. Menemen İlçesi ve civarındaki içme sularının ortalama radon aktivitesi, YED ve MAD değerleri

Bölge/Örnek Numarası	Suyun Özelliği	Ort. Radon Aktivitesi $\pm$ SH (Bq/L)	YED μ Sv/y (İçme ve Yutma)	MAD μ Sv/y
1/1	Kaynak Suyu	1,25	3,19	0,38
1/2	Kaynak Suyu	1,64	4,18	0,50
1/3	Kaynak Suyu	0,62	1,60	0,19
1/4	Kaynak Suyu	0,07	0,18	0,02
1/5	Kaynak Suyu	1,25	3,19	0,38
1/6	Kaynak Suyu	2,72	6,95	0,83
1/7	Ticari Su	0,00	0,00	0,00
1/8	Ticari Su	0,07	0,18	0,02
1/9	Ticari Su	0,21	0,53	0,06
2/1	Kaynak Suyu	24,53	62,67	7,52
2/2	Kaynak Suyu	37,37	95,48	11,45
2/3	Kaynak Suyu	9,70	24,76	2,97
2/4	Kaynak Suyu	7,14	18,24	2,19
2/5	Kaynak Suyu	0,24	0,62	0,07
2/6	Kaynak Suyu	47,73	121,90	14,60
2/7	Kaynak Suyu	3,77	9,64	1,16
2/8	Kuyu S. Arıtma	8,69	22,20	2,66
2/9	Kaynak Suyu	0,35	0,88	0,10
2/10	Ticari Su	0,10	0,27	0,03
2/11	Ticari Su	0,00	0,00	0,00
2/12	Ticari Su	0,10	0,26	0,03
3/1	Kaynak Suyu	6,07	15,50	1,86
3/2	Kaynak Suyu	6,00	15,30	1,84
3/3	Kaynak Suyu	0,86	2,19	0,35
3/4	Ticari Su	0,04	0,09	0,01
3/5	Ticari Su	0,11	0,28	0,03
3/6	Ticari Su	0,10	0,26	0,03
3/7	Ticari Su	0,14	0,35	0,04
3/8	Ticari Su	0,07	0,18	0,02
4/1	Kaynak Suyu	1,26	3,21	0,38
4/2	Kaynak Suyu	1,64	4,19	0,50
4/3	Kaynak Suyu	1,12	2,88	0,34
4/4	Şebeke S. Arıtma	0,48	1,24	0,15
4/5	Kaynak Suyu	4,25	10,87	1,30
4/6	Şebeke S. Arıtma	0,03	0,09	0,01
4/7	Kaynak Suyu	0,10	0,26	0,03
4/8	Ticari Su	0,07	0,18	0,02
4/9	Ticari Su	0,21	0,53	0,06
4/10	Ticari Su	0,00	0,00	0,00
4/11	Ticari Su	0,03	0,09	0,01
5/1	Kaynak Suyu	8,54	21,80	2,62
5/2	Şebeke S. Arıtma	0,10	0,26	0,03
5/3	Şebeke S. Arıtma	0,84	2,13	0,25
5/4	Kaynak Suyu	0,66	1,68	0,20
5/5	Ticari Su	0,28	0,71	0,08
5/6	Ticari Su	0,03	0,09	0,01
5/7	Ticari Su	0,24	0,62	0,07
5/8	Ticari Su	0,10	0,26	0,03
5/9	Ticari Su	0,07	0,18	0,02

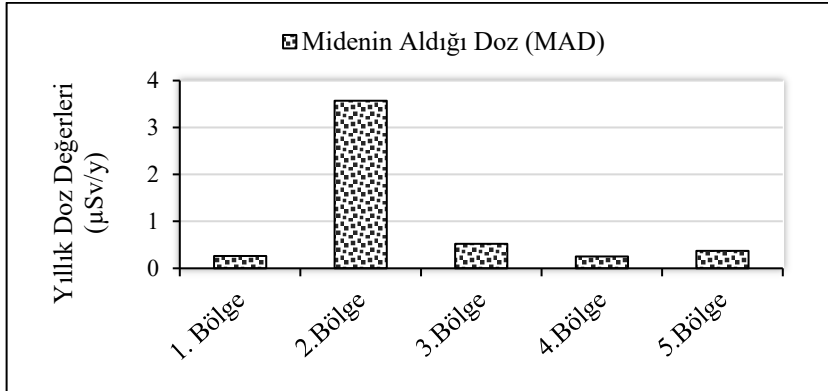
Çizelge 4.11.' deki verilerin bölgelere göre karşılaştırılması şekil 4.26, 4.27 ve son olarak 4.28 üzerinde grafiksel şekilde sunulmuştur. Buna göre ortalama radon aktivitesi en yüksek olan 11,65 Bq/L değere sahip 2. Bölge ve en düşük olan 0,84 Bq/L değere sahip 4. Bölgedir. Diğer yandan etkin doz değerleri USEPA tarafından önerilmiş olan doz katsayısına ($Fing = 3,5 \times 10^{-6}$ mSv/Bq) başvurulmuş ve hesaplanmıştır. 1. Bölge için 0,00 $\mu\text{Sv/y}$ ile 6,95 $\mu\text{Sv/y}$ değişim aralığında olan etkin doz ortalaması 2,22 $\mu\text{Sv/y}$, 1. Bölge için 0,00 $\mu\text{Sv/y}$ ile 6,95 $\mu\text{Sv/y}$ değişim aralığında olan etkin doz ortalaması 2,22 $\mu\text{Sv/y}$, 2. Bölge için 0,00 $\mu\text{Sv/y}$ ile 121,90 $\mu\text{Sv/y}$ değişim aralığında olan etkin doz ortalaması 29,74 $\mu\text{Sv/y}$, 3. Bölge için 0,09 $\mu\text{Sv/y}$ ile 15,50 $\mu\text{Sv/y}$ değişim aralığında olan etkin doz ortalaması 4,27 $\mu\text{Sv/y}$, 4. Bölge için 0,00 $\mu\text{Sv/y}$ ile 10,87 $\mu\text{Sv/y}$ değişim aralığında olan etkin doz ortalaması 2,14 $\mu\text{Sv/y}$ ve 5. Bölge için 0,09 $\mu\text{Sv/y}$ ile 21,80 $\mu\text{Sv/y}$ değişim aralığında olan etkin doz ortalaması 3,08 $\mu\text{Sv/y}$ olarak hesaplanmıştır. Yıllık maksimum etkin doz ortalaması 29,74 $\mu\text{Sv/y}$ olarak Helvacı, Hatundere, Türkelli, Yanıkköy ve Belen Mahallelerinin bulunduğu 2. Bölge' de ve yıllık minimum etkin doz ortalaması 2,14 $\mu\text{Sv/y}$ olarak Menemen Merkez, Yahşelli ve Göktepe Mahallelerinin bulunduğu 4. Bölge' de hesaplanmıştır. Menemen İlçesi ve civarında ortalama etkin doz değerleri 0,00 $\mu\text{Sv/y}$ ile 121,90 $\mu\text{Sv/y}$ arasında değişmekte olup, çalışma bölgesinin tamamında Yıllık Etkin Doz ortalaması 9,43 $\mu\text{Sv/y}$ olarak belirlenmiştir. Tablo 4.11' de verilen etkin doz değerlerinden 2. Bölge' den alınan 1,2 ve 6 numaralı örneklerde hesaplanan değerler EPA tarafından önerilen 40 $\mu\text{Sv/y}$ limit değerinin üzerinde kalmış olup, diğer ölçümler bu limit değeri aşmamaktadır. Diğer yandan 2. Bölgede etkin doz ortalaması diğer bölgelerden oldukça yüksek çıkmış olup, 5 bölge için ayrı ayrı hesaplanan Yıllık Etkin Doz ortalamalarının EPA tarafından belirlenen 40 $\mu\text{Sv/y}$ limit değerini aşmadığı tespit edilmiştir. Etkin doz değerleri WHO tarafından belirlen etkin doz limit değeri ($Fing: 1,23 \times 10^{-5}$) baz alındığında inceleme alanının yıllık etkin doz ortalaması 33,11 $\mu\text{Sv/y}$ olarak hesaplanmış ve 2. Bölgede bulunan 1,2 ve 6 numaralı sular hariç bütün sularda etkin dozlar limit değeri 100 $\mu\text{Sv/y}$ altında kalmış olup, hesaplanan ortalama doz değerlerinin bölgelere göre grafiksel gösterimi şekil 4.29' te verilmiştir.



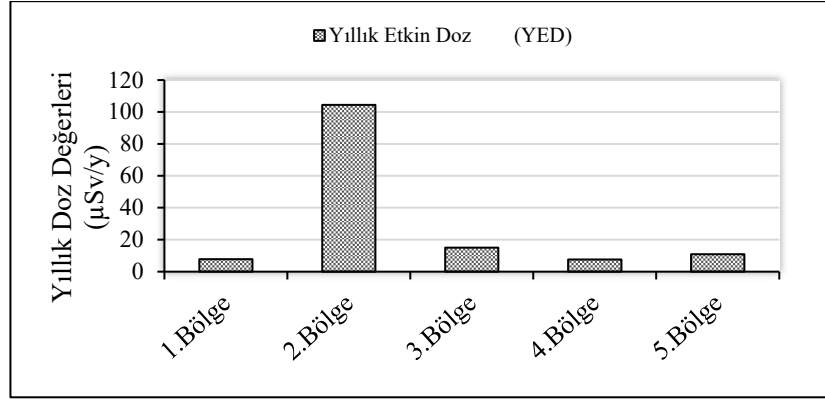
Şekil 4.26. Ortalama Radon Aktivitelerinin bölgelere göre karşılaştırılması



Şekil 4.27. Yıllık Etkin Doz miktarlarının bölgelere göre karşılaştırılması (Fing = $3,5 \times 10^{-6}$)



Şekil 4.28. Midenin Aldığı Doz miktarlarının bölgelere göre karşılaştırılması



Şekil 4.29. Yıllık Etkin Doz miktarlarının bölgelere göre karşılaştırılması (Fing: $1,23 \times 10^{-5}$)

4.4. Sularda kimyasal özelliklerin (pH, İletkenlik) Analizi

Bir çözeltiye ait pH değeri çözeltide bulunan H^+ iyonu ile OH^- iyonu derişimlerinin oranıyla ilişkilidir. Bunun yanında H^+ iyonu konsantrasyonunun logaritmik değerinin negatif karşılığı alınıp bulunmaktadır. Şayet H^+ derişimi OH^- derişiminin üzerindeyse madde asidik; bir başka deyişle pH değeri 7,00'nin altındadır. Şayet OH^- derişimi H^+ derişiminin üzerindeyse madde bazik; bir başka deyişle pH değeri 7,00'nin üzerindedir. Şayet OH^- ile H^+ iyonlarının miktarı eşit ise, maddenin pH'ı 7'dir ve nötraldir. Elektrometrik ile kalorimetrik yöntemlere başvurularak pH değerleri bulunmaktadır. Bunun dışında sulu çözeltilerde gerçekleşmiş olan pek çok kimyasal hadisede büyük bir rol üstlenen H^+ iyonlarının aktivitesi ile bağlantılı olan ORP de ölçülebilir fiziksel niteliklerdedir ve volt/milivolt birimi ile tanımlanmaktadır. Ancak ölçümde her koşulda sisteme bilindik redoks potansiyeli bulunan bir elektrodun bağlanması lazımdır ki aksi durumda elektrodun potansiyeli yalnız başına hesaplanamaz. ORP değeri referans alınmış olan elektroda göre de E altında indis olarak ifade edilir. Sularda ölçülmüş olan bir başka nitelikse iletkenliktir, çözeltinin elektrik akımını geçirme karşısında göstermiş olduğu direnç ya da akımı geçirme becerisidir ve birimi de Siemens'tir. Sularda çözünebilen tuzların miktarının daha az olmasından dolayı ölçülmesi umulan iletkenlik değerinin fazlaca küçük bir değeri bulunmaktadır. İlgili sebepten dolayı iletkenlik 10^{-6} 'yla çarpılıp μS şeklinde belirtilir (Saç, 1994; Güloğlu, 2007).

Bu çalışmada toplanmış olan içme sularının EC, pH ile sıcaklık ölçümleri konularında dijital ölçüm cihazına (HI 8314 Membran pH ile EC metre)

başvurulmuştur. Ölçümler yapılmadan hemen önce cihazın kalibrasyonu pH' 4 ile 7'ye karşılık gelen tampon çözeltileri ile yapılmıştır. Her bir ölçümün başında pH elektrodu su numunesinin bulunduğu kaba konulmadan önce saf su yardımıyla temizlenmiştir ve bunun yanında H^+ iyon konsantrasyonu ile oluşan potansiyel farkı uyarınca ayarlanan cihaz göstergesinden direkt suyun hem pH hem de EC değerleri ölçülmüş olup, çizelge 4.12' de görüldüğü üzere elektriksel iletkenlik değerleri 44,00 $\mu S/cm$ ile 1328,00 $\mu S/cm$ aralığında iken pH seviyeleri 6.75-8.43 aralığında değişmektedir. Ticari sular ile arıtma sularının elektriksel iletkenlik değerleri kaynak sularına göre daha düşük değerlerde ölçülmüş olup, bu suların çeşitli arıtma işlemlerine tabi tutulması bunun sebebi olarak görülmüştür. Su numunelerinin ortalama radon ve radyum değerleri, pH, elektriksel iletkenlik ve sıcaklık değerleri arasındaki korelasyonlar sonraki bölümde (4.6) analiz edilmiştir.

Çizelge 4.12. Menemen İlçesi ve civarındaki içme sularının diğer fiziksel ve kimyasal özellikleri

Bölge/Örnek Numarası	Sıcaklık °C	Radyum Aktivitesi (Bq/L)	pH	Elektriksel İletkenlik ($\mu S/cm$)
1/1	24,60	0,00	7,43	261,00
1/2	22,20	0,00	7,80	300,00
1/3	31,30	0,00	7,00	314,00
1/4	29,70	0,04	7,74	1328,00
1/5	20,70	0,00	7,56	800,00
1/6	11,40	0,07	7,02	273,00
1/7	30,50	0,21	7,51	148,10
1/8	19,50	0,00	7,50	174,90
1/9	16,80	0,04	7,45	137,30
2/1	22,50	0,48	7,45	461,00
2/2	21,60	0,35	7,50	576,00
2/3	23,60	0,21	7,72	435,00
2/4	29,30	0,10	7,30	616,00
2/5	31,50	0,03	6,75	920,00
2/6	26,50	0,07	7,25	880,00
2/7	23,50	0,07	7,65	630,00
2/8	26,90	0,21	7,33	184,20
2/9	12,30	0,11	7,25	137,30
2/10	29,10	0,07	7,54	176,80
2/11	10,30	0,00	7,28	174,90
2/12	23,70	0,07	7,39	161,00
3/1	26,30	0,04	7,88	483,00
3/2	23,10	0,00	7,59	486,00
3/3	24,10	0,00	7,76	943,00
3/4	25,90	0,04	7,43	176,60
3/5	22,70	0,00	6,98	90,20
3/6	20,40	0,00	7,80	172,70
3/7	9,30	0,04	7,55	141,10
3/8	20,60	0,04	7,54	171,40
4/1	27,70	0,10	7,53	1000,00
4/2	26,00	0,03	7,42	1052,00
4/3	27,80	0,03	7,80	857,00

Çizelge 4.12' nin devamı...

Bölge/Örnek Numarası	Sıcaklık °C	Radyum Aktivitesi (Bq/L)	pH	Elektriksel İletkenlik (µS/cm)
4/4	24,70	0,04	7,74	86,70
4/5	20,40	0,14	7,03	251,00
4/6	20,70	0,07	7,52	932,00
4/7	9,50	0,07	7,13	233,00
4/8	27,50	0,07	7,64	88,40
4/9	20,40	0,14	7,33	44,00
4/10	20,40	0,04	7,46	172,30
4/11	20,50	0,00	7,49	187,00
5/1	19,50	0,14	7,46	841,00
5/2	17,20	0,05	6,90	75,70
5/3	16,80	0,03	6,81	78,90
5/4	12,50	0,10	6,87	173,60
5/5	26,00	0,00	7,68	144,70
5/6	26,00	0,04	8,43	208,00
5/7	21,20	0,03	7,45	83,40
5/8	21,60	0,00	7,35	146,90
5/9	23,40	0,10	7,25	175,30

4.5. Ölçüm Sonuçlarının İstatistiksel Analizi

Çalışma sahasındaki içme sularında radon, radyum, sıcaklık, pH ve iletkenlik arasındaki korelasyon araştırıldığında, bulunan değerler normal dağılıma uymadığı için aralarındaki ilişkiyi bulmak için Spearman's rho testi uygulanmıştır. Radon ve radyum arasında pozitif, orta düzeyde ve anlamlı bir korelasyon gözlenmiştir ($r=0,437$, $p<0,05$). Bu durum radon konsantrasyonu arttıkça radyum konsantrasyonunun da arttığını ifade etmektedir. Radon ve diğer parametreler arasında ise anlamlı olmayan zayıf korelasyonların mevcut olduğu görülmüştür. Radyum ile sıcaklık, pH ve iletkenlik arasında ise negatif, zayıf ve istatistiksel olarak anlamlı olmayan korelasyon mevcuttur ($r=-0,244$; $r=-0,186$; $r=-0,152$, $p>0,05$).

Diğer yandan bölgedeki ticari sularda radon, radyum, sıcaklık, pH ve iletkenlik arasındaki korelasyon araştırıldığında, bulunan değerler normal dağılıma uymadığı için aralarındaki ilişkiyi bulmak için burada da Spearman's rho testi uygulanmıştır. Radon ve iletkenlik arasında negatif, orta düzeyde ve anlamlı bir korelasyon gözlenmiştir ($r=0,648$, $p<0,01$). Bu durum radon konsantrasyonu arttıkça iletkenliğin azalma eğiliminde olduğunu ya da tam tersi iletkenlik arttıkça radon konsantrasyonunun azalma eğiliminde olduğunu ifade etmektedir. Radon

konsantrasyonu radyum, sıcaklık ve pH ile zayıf ve anlamlı olmayan negatif korelasyonlar içermektedir ($r=-0,102$; $r=-0,116$; $r=-0,026$, $p>0,05$). Ayrıca ticari sulardaki radyum konsantrasyonu ve sıcaklık arasında orta düzeyde pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı olmayan bir korelasyon bulunmaktadır ($r= 0,403$, $p>0,05$).

4.6. Literatür Karşılaştırması

Menemen İlçesi ve çevresinde ölçülen radon konsantrasyonları çizelge 4.13' te görüldüğü gibi, Türkiye' de ve yurt dışında yapılan benzer çalışmalar ile kıyaslanmıştır.

Çizelge 4.13. Radon aktivitelerinin diğer çalışmalar ile karşılaştırılması

²²² Rn Aktivitesi (Bq/L) Kaynak Suyu	Referans	Ülke/Şehir
2,8-46,62	Kumar et al. (2017)	Hindistan
10,2-68,9	Nita et al. (2013)	Romanya
3,3-10,70	Al- Bataina et al. (1997)	Ürdün
3,10-187,3	Moldovan et al. (2014)	Romanya
2-14	Lebed et al. (2018)	Ukrayna
0,10-576	Horvath et al. (2000)	Venezuela
0,390-0,470	Marques et al. (2004)	Brezilya
280-2164	Sobakin (2018)	Yakutistan
0,46-49,6	Abdallah et al. (2007)	Lübnan
0,085-44,57	Akkurt et al. (2006)	Afyon
1,0-5,4	Kumru et al. (2006)	Denizli
0,390-1,170	Öner et al. (2009)	Amasya
0,74-59,65	Yakut et al. (2013)	Sakarya
0,334-7,810	Erdoğan et al.(2016)	Osmaniye
0.704-76,24	Özer et al. (2019)	Bursa
0.07-47,73	Bu çalışma (2024)	İzmir

Çizelge 4.13' ten de anlaşılacağı üzere bu çalışmada kaynak sularında ölçülen radon konsantrasyon değerleri Bursa (Özer et al. (2019)), Sakarya (Yakut et al. (2013)), Afyon (Akkurt et al. (2006)), Lübnan (Abdallah et al. (2007)),

Romanya (Nita et al. (2013)) ve Hindistan’ da (Kumar et al. (2017)) ölçülen değerlerle karşılaştırılabilir seviyede olup, Romanya (Moldovan et al. (2014)), Venezuela (Horvath et al. (2000)) ve Yakutistan’ da (Sobakin (2018)) yapılan çalışmalarda ölçülen değerlerin üst limitinden oldukça düşük kalmıştır. Diğer çalışmalarda bulunan değerler ise ölçtüğümüz radon değerlerinden düşük kalmıştır.

Çalışma bölgesindeki kullanılan sularda radondan kaynaklı yıllık etkin doz ortalamasının Türkiye genelinde yapılan benzer çalışmalarla karşılaştırılması çizelge 4.14 üzerinde açık bir şekilde gösterilmiştir.

Çizelge 4.14. Türkiye’ de farklı şehirlerdeki benzer çalışmalarda hesaplanan ortalama (ya da min-max) yıllık etkin dozların karşılaştırılması

YED $\mu\text{Sv/y}$	Referans	Şehir
56,03	Duran et al (2017)	Samsun-Rize
1,11	Tarım et al. (2011)	Bursa
0,2	Karahan et al. (2000)	İstanbul
Min-Mak; 1,76-17,71	Gündoğan (2016)	Kilis
Min-Mak; 0,8-49,09	Yalçın et al. (2011)	Kastamonu
9,0	Baykara ve Doğru (2006)	Elazığ
9,3	Yarar et al. (2000)	Tekirdağ
Min-Mak; 0,37-19,85	Erdoğan et al. (2017)	Konya
Min-Mak; 0,17-3,67	Tel et al. (2009)	Konya
Min-Mak: 0,42-2,52	Erdoğan (2015)	Osmaniye
1,92	Yakut et al. (2013)	Sakarya
3,0	Yığıtoğlu et al. (2010)	Tokat
Min-Mak; 0,91-3,24	Koray et al. (2014)	Zonguldak
74	Yalın et al. (2007)	Afyon
5,87	Öner et al. (2009)	Amasya
9,43*	Bu çalışma (2024)*	İzmir*

Çizelge 4.14’ ten de anlaşılacağı üzere bu tez çalışmasında hesaplanan yıllık etkin doz ortalaması Türkiye’ deki diğer çalışmalarda belirlenen etkin dozların büyük çoğunluğundan yüksektir. Elazığ (Baykara ve Doğru (2006)) ve Tekirdağ’

da (Yarar et al. (2000)) hesaplanan etkin dozlar bu çalışmamızdaki ile oldukça yakın değerlerdedir. Diğer yandan Afyon (Yalım et al. (2007)), ve Samsun-Rize' de (Duran et al (2017)) hesaplanan etkin dozların çalışmamızda belirlenen ortalama etkin doz değerinden çok yüksek olmasının, Afyon' da yapılan çalışmanın kuyu suları ile Samsun-Rize' de yapılan çalışmanın ise termal sular ile yapılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Suyun radyolojik açıdan ele alınması ile doğal radyasyon düzeylerinin tespit edilmesi kişi sağlığını direkt olarak ilgilendirdiğinden dolayı oldukça büyük öneme sahiptir. Dünya çapında radyasyondan dolayı ortalama maruz kalınmakta olan 2.7 mSv değerindeki senelik etkin dozun %80' lik kısmından çoğundan doğal radyasyon kaynakları ile doğal kaynaklar sebebiyle alınmış olan radyasyonun aşığı yukarı %50'lik kısmındansa, direkt olarak sorumlu olan radondur (IAEA, 1996; TAEK, 2009).

İlgili tez çalışmasında, radonun α (alfa) bozunumu sonucu oluşan ürünlerinin radon gazının su kaynaklarının içerisinde bulunması ve kansere yakalanma olasılıklarını artırmasından dolayı insan sağlığı açısından oldukça önem arz etmesi sebebiyle, Menemen ilçesi ve civarındaki içme sularında radon konsantrasyonları tespit edilerek bu bölgede yaşayan insanların yıllık ne kadar dozda radon a maruz kaldıkları hesaplanmıştır. Bunun için Menemen İlçesi ve civarında bulunan ve daha önceden belirlenen 49 noktadan alınan su örneklerinin radon konsantrasyonları RAD7-H₂O dedektörü kullanılarak belirlenmiştir.

Toplanan su numunelerindeki radon konsantrasyonları 0,00 Bq/L - 47,73 Bq/L aralığında olup, çalışma bölgesi genelindeki ortalama radon aktivitesi 3,69 Bq/L olarak hesaplanmıştır. Bulunan radon seviyeleri WHO tarafından önerilen 100 Bq/L limit değerinin aşağısındadır. Öte yandan inceleme alanındaki 3 noktada (2. Bölgedeki 1,2 ve 6 numaralı sular) Birleşmiş Milletler Çevre Koruma Ajansı' nın (USEPA) önerdiği 11 Bq/L olan sınır değeri aşılmıştır.

Çalışma bölgesinde içme sularının tüketimiyle vücuda alınan radon ve bozunum ürünlerinden kaynaklı yıllık etkin doz ortalaması 9,43 μ Sv/y olarak

bulunmuştur. Bulunan doz değerinin USEPA' nın 40 $\mu\text{Sv/y}$ ve UNSCEAR' ın 100 $\mu\text{Sv/y}$ olarak belirlediği limitin altında kaldığı görülmüştür. Diğer yandan 3 örnekte (2. Bölgedeki 1,2 ve 6 numaralı sular) hesaplanan doz değerleri USEPA limitinin üstünde, 1 örnekte (2. Bölgedeki 1 numaralı su) bulunan doz değeri de UNSCEAR tarafından belirlenen limitinin de üstünde kalmıştır. Sonuç olarak bu çalışmada bulunan radon aktiviteleri ve doz değerleri, Menemen İlçesi ve civarında doğal radyoaktivitenin belirlenmesi gerekliliğini göstermiştir.

Çalışmada ölçülmüş olan radon düzeyleri ve hesaplanmış olan senelik etkin doz değerleri hem Türkiye hem de Dünyadaki benzer araştırmalar ile kıyaslanmıştır. Çalışılmış olan su örneklerinin büyük bir kısmının radyolojik açıdan güvenli olduğu ifade edilebilir, fakat 3 su örneğinde (2. Bölgedeki 1,2 ve 6 numaralı sular) hesaplanan radon aktiviteleri ve bu suların kullanımına bağlı yıllık etkin doz değerleri USEPA limitlerinin üzerinde olduğundan içilmemesi ve içilmesi durumunda ise yıl içerisinde ne miktarda kullanıldığının takip edilmesi önerilir. Ölçüm değerleri diğer bölgelerden oldukça yüksek bulunan, Dumanlıdağ eteğinde ve uzantısında konumlanmış Helvacı, Hatundere, Türkelli, Yanıkköy ve Belen Mahallelerinin bulunduğu 2. Bölge' de geliştirilecek projelerle içme sularının radon aktiviteleri düşürülebilir ve bu bölgenin jeolojik yapısı itibarıyla geniş kapsamlı çalışmalar planlanabilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Abdallah, S.M., Habib, R.R., Nuwayhid, R.Y., Chatila, M., and Katul, G.,** 2007, Radon measurements in well and spring water in Lebanon. *Radiation measurements*, 42(2):298-303 pp.
- Akar Tarım, U., et. al.,** 2011, Evaluation of radon concentration in well and top waters in Bursa, *Radiation Protection Dosimetry*, doi:10.1093, 1-6 pp.
- Alakuş, F.,** 2013, Bursa İli Kaynak Sularında Radon Gazı Radyoaktivitesinin Ölçülmesi, Yüksek Lisans Tezi, Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yozgat, 50 s.
- Al-Bataina, B.A., Ismail, A.M., Kullab, M.K., Abumurad, K.M., and Mustafa, H.,** 1997, Radon measurements in different types of natural waters in Jordan, *Radiation Measurements*, 28(1-6):591-594 pp.
- Al-masri, M.S., and Blackburn, R.,** 1999, Radon-222 And Related Activities In Surface Waters Of The English Lake District, *Applied Radiation and Isotopes* 50, 1137-1143 p.
- Alkan, H., ve S. A. Göksel.,** 1975, Türkiye kaplıca ve maden sularının doğal radyoaktiviteleri, sulara radon tayini, Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi, TBTA KV Bilim Kongresi, İstanbul.
- Alp, M.S.,** 2014, Batman İlindeki Sulara Radon Konsantrasyonunun Tayini, Yüksek Lisans Tezi, Bingöl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bingöl, 83 s.
- Akar, Ü.,** 2010, Bursa-Çekirge Bölgesi Termal Sularında Radon Konsantrasyonunun Tayini, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 89 s.
- Akkurt, A.,** 2006, Afyon Jeotermal Sularında Radon (Rn-222) Aktivitesi Tayini, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar, 57 s.
- Akyıldırım, H.,** 2011, Ağır Betonların Nükleer Radyasyon Zırhlama Özelliklerinin Araştırılması, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 95 s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Altay, T., ve Çifter, C.,** 1996, Tritiyum Laboratuvarı El Kitabı, DSİ TAKK Dairesi Başkanlığı, İZ-963, Ankara, 55s.
- Ankaralı, A.,** 2008, Foça Yakın Çevresinde Araziden Yararlanma ve Yörede Araziden Yararlanma Bilincinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Eğitim Bilimler Enstitüsü, İzmir, 218s (yayımlanmamış).
- Arya, A.P.,** 1989, Çekirdek Fizikinin Esasları, (Çev. Y. Şahin), Aktif Yayıncılık, Erzurum, 407 s.
- Atakan, Y.,** 2007, “Bol Radonlu İçmeler ve Halk Sağlığı”, <http://www.ekolojistler.org/bol-radonlu-icmeler-ve-halk-sagligi-dr.yuksel-atakan.html>
- Aydın, M.F.,** 2016, Adıyaman Şehir Merkezinin Doğal Radyoaktivite Düzeyinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, 152 s.
- Bal, S. Ş., Kılıç, Ö., ve Gönültaş, F.,** 2016, Bitlis kaynak sularında radon konsantrasyonunun belirlenmesi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21 (3):302-306 s.
- Baldık, R.,** 2005, Gökgöl ve Cehennemagzı Mağaraları ile Amasra Taşkömürü İşletmesi’nde Radon-222 Ölçümü, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak, 81s.
- Barış, C.,** 2006, İzmir-Çeşme Yeraltı-Termal Suları ve Çevresindeki Topraklarda Radyoaktivite Araştırmaları, Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa, 70 s.
- Baykara, O., and Dogru, M.,** 2006, Measurements of radon and uranium concentration in water and soil samples from East Anatolian Active Fault Systems (Turkey), *Radiation Measurements*, 41(3):362-367 pp.
- Comsa, C., Moldovan, M., Dicu, T., and Kovacs, T.,** 2008, Radon In Water From Transylvania (Romania), *Radiation Measurements*, 43(8): 1423-1428 p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Cothorn, C.R. and Smith, J.E.**, 1987, Environmental radon, Environmental Science Research, Vol. 35, A Division of Plenum Publishing Corporation 233 Spring Street, Newyork, 363p.
- Çakanşimşek, D.**, 2019, İzmir İli Menemen İlçesi Seyrek Mahallesi 273 Ada 4, 5, 6 ve 7 Parsellere İlişkin 1/25.000 Ölçekli İzmir Bütünü Çevre Düzeni Plan Değişikliği Açıklama Raporu, Çakanşimşek Planlama Ltd. Şti., İzmir, 23 s.
- Çelik, F.**, 2013, Uranyum Geri Kazanımı İçin Çok Tabakalı Nanoreaktörlerin Sentezi ve Karakterizasyonu, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 163 s.
- Çelebi, N.**, 1995, Çevresel Örneklerde Uranyum, Radyum ve Radon Ölçüm Tekniklerinin Geliştirilmesi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 95 s.
- Çetinkaya, H.**, 2009, Kütahya İli İçme Sularında Radon ve Radyum Miktarlarının belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya, 84 s.
- Çile, S.**, 2004, Soma ve Tavşanlı Yeraltı Linyit Maden Ocaklarında Radon Gazı Konsantrasyon Seviyelerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, İstanbul, 63 s.
- Davis, R.M., and Watson, J.E.**, 1990, Influence fo 226Ra concentration in surrounding rock on 222Rn concentration in ground water. *Health physics* (1958), 58(3):369-371 pp.
- Davutoğlu, H.**, 2008, Radon Gazını Ölçme Metotları, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya, 62 s
- Değerlier, M.**, 2007, Adana İli ve Çevresinin Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Saptanması ve Doğal Radyasyonların Yıllık Etkin Doz Eşdeğerinin Bulunması, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 175 s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Duran, S.U., Kucukomeroglu, B., Damla, N., Taskin, H., Celik, N., Cevik, U., and Ersoy, H.**, 2017, Radioactivity measurements and risk assessments of spa waters in some areas in Turkey. *Isotopes in Environmental and health Studies*, 53(1):91-103 pp.
- Durmuş, B.**, 2007, İzmit Körfezi' nde ^{137}Cs Ve ^{210}Po Radyonüklidlerinin Seviyelerini ve Ürünlere Toprakdan Transfer Faktörlerini Saptanmak, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Durrani, S.A., İliç, R.**, 1997, Radon Measurements by Etched Track Detectors. Applications in Radiation Protection, Earth Sciences, and The Environment, World Scientific Publ. Co., Ltd., London, 416 p.
- Enge, H.A.**, 1966, Introduction to Nuclear Physics, Addison-Wesley Publishing Company, Inc, USA, 582 s.
- EPA**, 1987, United States Environmental Protection Agency, Radon Reference, Manual.
- Erdoğan, T.**, 2010, Uşak ve Çevresindeki Derin Kuyu Sularında Radon Aktivitesinin Tayini, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon, 105 s.
- Erdoğan, M.**, 2015, Osmaniye ve Çevresindeki içilebilir ve İşlenebilir sularda Radon (Rn-222) Konsantrasyonun Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ortak Yüksek Lisans Tezi, 80 s.
- Erdogdu, M., Damla, N., Kara, A., Sahan, H., Isik, U., Tel, E., and Sahan, M.** 2016, Spatial distribution of ^{222}Rn concentrations and dose estimations in various waters. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 22(4):927-940 pp.
- Eşder, T., Yakabağ, A., Sarıkaya, H. ve Çiçekli, K.**, 1991, Aliğa (İzmir) Yöresinin Jeolojisi ve Jeotermal Enerji Olanakları, Rapor No:9467, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara, (yayımlanmamış).

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Farai, I.P., and Sanni A.O.**, 1992, ^{222}Rn in ground water in Nigeria (a Survey), *Health Physics*, 62(1): 96-98 p.
- Garcia, M., and Leon, G.**, 1988, Madurga, Hardcover, Measurements and Their Application to Environmental Radioactivity, Proceedings, 577 p.
- Geraldo, A.D.C.F.**, Floresta Estadual de Assis, C.P. 104, 19802-970 – Assis, SP – Brasil CRIA – Centro de Referência em Informação Ambiental”, Av. Romeu Tórtima, 388 – 13084-520 – Campina, SP – Brasil, 2004.
- Gesell, E. T.**, 1997, Environmental Radioactivity From Natural, Industrial and Military Sources: From Natural, Industrial and Military Sources, Academic Press, 2 p.
- Gillmore, G.K., Phillips, P., Denman, A., Sperrin, M., and Pearce, G.**, 2001, Radon levels in abandoned metalliferous mines, *Ecotoxicol Environ Saf.*, 49:281-292 pp.
- Gillmore G.K., Phillips P.S., Denman A.R., and Gilbertson D.D.**, 2002, Radon in the Creswell Crags Permian limestone caves, *Journal of Environmental Radioactivity*, 62(2):165–179 pp.
- Gosink, T.A., Baskaran, M., and Holleman, D.F.**, 1990, Radon in the human body from drinking water, *Health Physics*, 59(6):919-920 pp.
- Gönen, E.**, 2012, Edirne İlinin Çevresel Radyoaktivitesinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, 68s.
- Güler, Ç., ve Çobanoğlu, Z.**, 1997, Radon Kirliliği. T. C. Sağlık Bakanlığı, Sağlık Projesi Genel Koordinatörlüğü, Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi, No:44, Ankara.
- Güloğlu, A.**, 2007, Çeşme Bölgesinde Aktif Fay Hatlarındaki Kaplıcalarda Radon Anomalileri ile Sismik Aktiviteler Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 12-23 s.,61 s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Gümüş, A.**, 2021, Afyonkarahisar il merkezindeki bazı çeşme sularında radon (^{222}Rn) konsantrasyonlarının belirlenmesi ve mevsimsel değişiminin incelenmesi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21:35-45 s
- Gündoğan, A.**, 2016, Kilis ili sularında radon gazı ölçümü, Kilis 7 Aralık Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 63 s.
- Horvath, A., Bohus, L.O., Urbani, F., Marx, G., Piroth, A., and Greaves, E.D.**, 2000, Radon concentrations in hot spring waters in northern Venezuela, *Journal of environmental radioactivity*, 47(2):127-133 pp.
- IAEA**, 1996, International Atomic Energy Agency, Radiation Safety, IAEA Division of Public Information, 96-00725.
- ICRP, I.**, 1993, Publication 65: Protection Against Radon-222 at Home and at Work, Ann, ICRP, 23: 2 p.
- İçhedef, M.**, 2011, Radon Difüzyon Hızının Farklı Büyük Toprak Gruplarına Göre Değişimlerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 124 s (yayımlanmamış).
- Kapdan, E.**, 2009, Adapazarı Merkezi Kış Dönemi Radon Ölçüm ve Analizleri, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2s., 6s., 28s., 32-42s., 48-53s.
- Karahan, G., Öztürk, N., and Bayülken, A.**, 2000, Natural radioactivity in various surface waters in İstanbul, *Water Research*, 34(18):4367-4370 pp.
- Kayakökü, H.**, 2018, Van Gölü Batı ve Kuzey Kıyısında Radyoaktivite, Radon ve Ağır Elementlerin Analizi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 153 s.
- Khattak, N.U., Khan, M.A., Shah, M.T., and Javed, M.W.**, 2011, Radon concentration in drinking water sources of the Main Campus of the University of Peshawar and surrounding areas, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 290:493-505 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Kılıç, Ö.**, 2015, Bitlis Kaynak Sularında Radon Seviyelerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Semineri, Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye.
- King, P.T., Michel, J., and Moore, W.S.**, 1982, Ground water geochemistry of, ^{228}Ra , ^{226}Ra and ^{222}Rn , *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 46(7):1173-1182 pp.
- Kochowska, E., Mazur, J., Kozak, K., and Janik, M.**, 2004, Radon in well waters in the Kraków area, *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 40(3):207-212 pp.
- Koray, A., Akkaya, G., Kahraman, A., and Kaynak, G.**, 2014, Measurements of radon concentrations in waters and soil gas of Zonguldak, Turkey. *Radiation Protection Dosimetry*, 162(3):375-381 pp.
- Krane, K.S.**, 2002, Nükleer Fizik, (Çev. B. Şarer), Palme Yayıncılık, 2, Ankara, 839 s.
- Kumar, A., Vij, R., Sarin, A., and Kanwar, P.**, 2017, Radon and uranium concentrations in drinking water sources along the fault line passing through Reasi district, lesser Himalayas of Jammu and Kashmir State, India, *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 23(7):1668-1682 pp.
- Kumru, M.N.**, 1992, Determination of radium-226 in environmental samples by the collector chamber method, *International Journal of Radiation Applications and Instrumentation, Part A. Applied radiation and isotopes*, 43(8):1031-1034 pp.
- Kültür ve Turizm Bakanlığı**, Foça, <https://tanitma.ktb.gov.tr/TR-22852/foca.html> (Erişim tarihi : 15 Temmuz 2024)
- Lebed, O.O., Myslinchuk, V.O., Trusheva, S.S., Mandyhra, Y.M., and Lysytsya, A.V.**, 2018, Radon in the spring water of the Zdolbuniv Region, Ukraine, *Ukrainian Journal of Ecology*, 8(3):83-91 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Marques, A.L., Dos Santos, W., and Geraldo, L.P.,** 2004, Direct measurements of radon activity in water from various natural sources using nuclear track detectors, *Applied radiation and isotopes*, 60(6):801-804 pp.
- Moldovan, M., Benea, V., Niță, D.C., Papp, B., Burghel, B.D., Bican-Brișan, N., and Cosma, C.,** 2014, Radon and radium concentration in water from North-West of Romania and the estimated doses. *Radiation protection dosimetry*, 162(1-2):96-100 pp.
- Nikolopoulos, D., et al.,** 2010, Investigation of the exposure to radon and progeny in the thermal spas of Loutraki, results from measurements and modelling, *Science of The Total Environment*, Greece, 408- 495-504 pp.
- Nita, D.C., Moldovan, M., Sferle, T., Ona, V.D., and Burghel, B.D.,** 2013, Radon concentrations in water and indoor air in north-west regions of Romania. *cancer*, 2(3).
- Okay, A.İ., and Siyako, M.,** 1991, The New Position of the İzmir–Ankara Neo-Tethyan Suture Between İzmir and Balıkesir, In: Turgut S. (Ed.), *Tectonics and Hydrocarbon Potential of Anatolia and Surrounding Regions*, Ozan Sungurlu Symposium Proceedings, 333–355 pp.
- Oliveira, J., Mazzilli, B.P., Sampa, M.H.O., and Bambalas, E.,** 2001, Natural radionuclides in drinking water supplies of Sao Paulo state, Brezil and consequent population doses, *Journal of Environmental Radioactivity*, 53:99-109 pp.
- Öğdüm, F.,** 1983, Menemen dumanlıdağ volkan konisi ve kalderasının jeomorfolojisi-evrimi, *Jeomorfoloji Dergisi*, 11:45-52 s.
- Öner, F., et al.,** 2009, The measurements of radon concentrations in drinking water and the Yeşilırmak River water in the area of Amasya in Turkey. *Radiation protection dosimetry* 133(4): 223-226 pp.
- Özdemir, F.B.,** 2006, Afyon ve Çevresindeki Kuyu Sularında Radon (Rn-222) Aktivitesi Tayini, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Afyonkarahisar, 112 s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Özer, Y.**, 2019, Bursa'daki Orhaneli Termik Santrali Çevresindeki Sularda Radon Seviyesinin ve Yıllık Etkin Dozların Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 42 s.
- Özseven A.**, 2019, Isparta Eğirdir Gölünde Doğal Radyoaktivite Tayini ve Yaşam Boyu Kanser Riski Açısından Değerlendirilmesi, Doktora tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 86s.
- Planiniç, J., Radolić, V., and Lazanin**, 2001, Temporal variations of radon in soil related to earthquakes, *Applied Radiation and Isotopes*, vol. 55 (2): 267–272 pp.
- Prasad, G., Prasad, Y. Gusain, G.S., and Ramola, R.C.**, 2008, Measurement of radon and thoron levels in soil, water and indoor atmosphere of Budhakedar in Garhwal Himalaya, *Radiation Measurements*, 43:375-379 pp.
- Saç, M.**, 1994, İzmir İli İçme ve Kullanım Sularında Radyoaktivite ve Veriler Arasında Korelasyon Analizleri, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 69 s.
- Saç, M.M., ve Camgöz, B.** 2005, İzmir' de Sismik Aktiviteler ile Radon Konsantrasyonları Arasındaki Korelasyonun İncelenmesi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 7(3):47-54 s.
- Schubert, M., Paschke, A., Lieberman, E., and Burnett, W.C.**, 2012, Air-water partitioning of Rn-222 and its dependence on water temperature and salinity, *Environ. Sci. Technol.*, 46:3905-3911 pp.
- Schüttelrope H., and Kiefer, H.**, 1980, The Ra-226 Contamination of the Black Forest and the Radioecology Behavior of Radium, Kortsrute Nuclear Research Center, Main Division of Safety/Radioecology, Federal Republic of Germany, IAEA-SM, 257:38 p.
- Sobakin, P.I.**, 2018, Radon in surface and ground waters of the Elkon uranium region in Southern Yakutiya, *Atomic Energy*, 125(2):133-138 pp.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö., ve Boray, A.**, 1987, Türkiye' nin Diri Fayları ve Depremsellikleri, MTA Raporu, 8174, Ankara, 394 s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Şaroğlu, F., Emre, Ö., ve Kuşçu, İ.,** 1992, Türkiye Diri Fay Haritası, 1:2,000,000 ölçekli, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Şengör, A.M.C., Satır, M., and Akkök, R.,** 1984, Timing of tectonic events in the Menderes Massif, Western Turkey: implications for tectonic evolution and evidence for Pan-African basement in Turkey. *Tectonics*, 3 (1):693–707 pp.
- TAEK,** 2009, Doğal Radyasyon Kaynakları, <https://www.tenmak.gov.tr/2016-06-09-00-43-46/1087-dogal-radyasyon-kaynaklari.html> (Erişim T: 10 Tem. 2024)
- TAEK,** 2012, Teknik Rapor, Kapalı ortamlarda radon gazı.
- Tel, F.,** 2014, Konya’ nın Çeşme Sularında Radon (Rn-222) Konsantrasyonu Değişimlerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 74 S.
- Togay, Y.E.,** 2002, Radyasyon ve Biz, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Yayınları, Ankara, 37s.
- Topsakal, Ş.E.,** 2015, Konya’ nın Ilgın İlçesinde Bulunan Ilgın Fay Hattı Civarındaki Yer Altı Sularında ve Toprak Gazında Radon Aktivite Seviyelerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 51 s.
- Tüysüz, M.Z.,** 2004, CO-60 Teleterapi Kaynağı İçin Monte Carlo Yöntemiyle Uygun Zırh Tasarımı, Harran Üni. Fen-Edebiyat Fak. Bitirme Ödevi, 46 s.
- UNSCEAR,** 1982, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Sources, Effects, and Risk of Ionizing Radiation.
- UNSCEAR,** 1993, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and Effects of Ionizing Radiation United Nations, New York. Annex A.
- UNSCEAR,** 2000, Sources and Effects of Ionizing Radiation, Vol. 1.
- Urban, M., and Piesch, E.,** 1981, Low level environmental radon dosimetry with a passive track etch detector device. *Radiation protection dosimetry*, 1(2):97-109 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Usluer, A.**, 2018, Tekirdağ'ın Çorlu Bölgesindeki Toprak ve İçme Sularındaki Doğal Radyoaktivitenin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- UTAEM**, 2017, Uluslararası Tarımsal Araştırma ve Eğitim Merkezi, Meteoroloji İstasyonu Kayıtları, Menemen.
- Villalba, L., et. al.**, 2005, Radon concentrations in ground and drinking water in the State of Chihuahua, *Journal of Environmental Radioactivity* 80(2):139-151 pp.
- Vural, S.M.**, 2004, Yapı Ürünlerindeki Radonun Yapı Biyolojisi Açısından İrdelenmesi, 2. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi, İstanbul.
- Yakut, H., Tabar, E., Zenginerler, Z., Demirci, N., and Ertugral, F.**, 2013, Measurement of ^{222}Rn concentration in drinking water in Sakarya, *Radiation protection dosimetry*, 157(3):397-406 pp.
- Yalcin, S., Gurler, O., Akar, U. T., Incirci, F., Kaynak, G., and Gundogdu, O.**, 2011, Measurements of radon concentration in drinking water samples from Kastamonu, *Isotopes in environmental and health studies*, 47(4):438-445 pp.
- Yalim, H. A., Sandıkcioglu, A., Ünal, R., and Orhun, Ö.**, 2007, Measurements of radon concentrations in well waters near the Akşehir fault zone in Afyonkarahisar, *Radiation Measurements*, 42(3):505-508 pp.
- Yarar, Y., Günaydı, T., and Kam, E.**, 2005, A radon survey in some regions of Turkey. In International Congress Series (Vol. 1276, pp. 385-386). Elsevier Science.
- Yiğitoğlu, I., Öner, F., Yalim, H. A., Akkurt, A., Okur, A., and Özkan, A.**, 2010, Radon concentrations in water in the region of Tokat city in Turkey. *Radiation protection dosimetry*, 142(2-4):358-362 pp.

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans Öğrenimim boyunca desteğini ve bilimsel tecrübesini her zaman hissettiren, tez çalışmamı nihayete erdirebilmem için her konuda yardımcı olan ve insanı değerler konusunda kendisinden çok şey öğrendiğim, tez konusunun belirlenmesinden neticelenmesine kadar geçen süre zarfında bilgi ve birikimleriyle bana yol gösteren, danışmanım Prof. Dr. Murat SAÇ hocama, göstermiş olduğu ilgi, alaka ve emeklerinden ötürü teşekkürlerimi sunuyorum.

Çalışmalarımın başından itibaren her aşamada desteklerini benden eksik etmeyen Dr. Öğr. Üyesi Caner TAŞKÖPRÜ hocama ve su örneklerinin laboratuvar ölçümleri noktasında başından sonuna kadar benden yardımını esirgemeyen yüksek lisans öğrencisi İlayda SAPMAZ arkadaşşıma teşekkürlerimi sunuyorum.

Su örneklerinin toplanması aşamasında bana eşlik eden ve tez çalışmam süresince desteklerini bana hissettiren Menemen R/Açık Ceza İnfaz Kurumu Psiko-Sosyal Yardım Servisinde uzun süredir birlikte çalıştığım değerli mesai arkadaşlarıma, tezin hazırlanmasında tecrübelerini benimle paylaşan ve hiçbir zaman desteğini esirgemeyen ağabeyime minnettarım.

Son olarak tez çalışmalarım tamamlanana kadar göstermiş oldukları sabır, fedakârlık ve desteklerinden ötürü can eşime ve biricik kızşıma teşekkürlerimi ve sevgilerimi iletiyorum.

29/08/2024

İmzası

Mesut ALIÇ

ÖZGEÇMİŞ

İlkokul, ortaokul, lise ve üniversite öğrenimini Balıkesir Merkez Altıeylül İlçesi'nde bitirdi. 2006 senesinde kazanmış olduğu Balıkesir Üniversitesi Necatibey Eğitim Fakültesi Fen Bilgisi Öğretmenliği Bölümünden 2011 yılında mezun oldu. 2021 yılında Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü'nde yüksek lisansa başladı. Çalışma hayatında; 2011-2012 eğitim ve öğretim yılında Balıkesir Açı Dersaneleri'nde Fen ve Teknoloji Öğretmenliği, 2012-2013 eğitim ve öğretim yılında ise Balıkesir İli İvrindi İlçesi'ne bağlı M.E.B. Gümeli Ortaokulu'nda Ücretli Fen ve Teknoloji Öğretmenliği ile Matematik Öğretmenliği görevlerini icra etti. Sonrasında 2015 Mayıs ayında başlayan Adalet Bakanlığı Ceza ve Tevkifevleri Genel Müdürlüğü Menemen R Tipi Kapalı ve Açık Ceza İnfaz Kurumu'ndaki İnfaz ve Koruma Memurluğu görevine halen devam etmektedir.