



TEKİRDAĞ'IN ÇORLU BÖLGESİNDEKİ TOPRAK VE İÇME SULARINDAKİ DOĞAL
RADYOAKTİVİTENİN BELİRLENMESİ

Ali USLUER

Yüksek Lisans Tezi

Fizik Anabilim Dalı

Nisan-2018

TEKİRDAĞ'IN ÇORLU BÖLGESİNDEKİ TOPRAK VE İÇME SULARINDAKİ DOĞAL
RADYOAKTİVİTENİN BELİRLENMESİ

Ali USLUER

Dumlupınar Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliği Uyarınca
Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Doç. Dr. Kaan MANİSA

Nisan-2018

KABUL VE ONAY SAYFASI

Ali USLUER'in YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “TEKİRDAĞ’IN ÇORLU BÖLGESİNDEKİ TOPRAK VE İÇME SULARINDAKİ DOĞAL RADYOAKTİVİTENİN BELİRLENMESİ” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

06/04/2018

Prof. Dr. Önder UYSAL
Enstitüsü Müdürü, Fen Bilimleri Enstitüsü

Prof. Dr. Atalay KÜÇÜKBURSA
Bölüm Başkanı, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü

Doç. Dr. Kaan MANİSA
Danışman, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü

Sınav Komitesi Üyeleri

Doç. Dr. Kaan MANİSA
Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Dumlupınar Üniversitesi

Doç. Dr. Mehmet ERDOĞAN
Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, Selçuk Üniversitesi

Doç. Dr. Mustafa Emre KANSU
Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Dumlupınar Üniversitesi

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Bu tezin hazırlanmasında Akademik kurallara riayet ettiğimizi, özgün bir çalışma olduğunu ve yapılan tez çalışmasının bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olduğunu, çalışma kapsamında teze ait olmayan veriler için kaynak gösterildiğini ve kaynaklar dizininde belirtildiğini, Yüksek Öğretim Kurulu tarafından kullanılmak üzere önerilen ve Dumlupınar Üniversitesi tarafından kullanılan İntihal Programı ile tarandığını ve benzerlik oranının %7 çıktığını beyan ederiz. Aykırı bir durum ortaya çıktığı takdirde tüm hukuki sonuçlara razı olduğumuzu taahhüt ederiz.

Doç. Dr. Kaan MANİSA

Ali USLUER

TEKİRDAĞ'IN ÇORLU BÖLGESİNDEKİ TOPRAK VE İÇME SULARINDAKİ DOĞAL RADYOAKTİVİTENİN BELİRLENMESİ

Ali USLUER

Fizik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2018

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Kaan MANİSA

ÖZET

Doğal radyonüklidlerin solunum yoluyla (çoğunlukla radon) alınması ve yutulması nedeniyle, karasal radyasyon, kozmik radyasyon ve dahili (iç) radyasyon olmak üzere üç ana kaynağı olan doğal radyasyon, toplam radyasyon dozuna en büyük katkıyı yapar. Karasal radyasyon kaynakları; zemini, kayaları, havayı, yapı malzemelerini ve içme suyu kaynaklarını içerir. Vücudumuzdaki iç radyasyon, ne yediğimize, ne içtiğimize ve nefes aldığımız havaya bağlıdır. Doğal radyoaktivitenin en önemli kısmı, başta U-238, Th-232 ve K-40 olmak üzere, topraktaki karasal gama ışını radyasyonundan kaynaklanmaktadır.

Bu çalışmada, Tekirdağ-Çorlu bölgesinden toplanan 11 toprak örneğindeki U-238, Th-232 ve K-40 doğal radyoaktivite analizi NaI(Tl) gama ışını spektroskopi sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. U-238, Th-232 ve K-40'ın aktivite konsantrasyonlarından, toplam absorbe edilen açık hava gama ışını doz oranları ve ilgili yıllık etkin doz oranları belirlenmiştir. Aynı zamanda, radon gazı analizleri için su örnekleri Tekirdağ-Çorlu ilçesinden toplanmıştır. Toplanan su örneklerinin radon konsantrasyonları, AlphaGUARD PQ 2000PRO radon detektörü kullanılarak ölçülmüştür.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar UNSCEAR-2000 raporu ve literatürdeki diğer çalışmalarla karşılaştırılmıştır.

Anahtar kelime: İçme Suyu, Potasyum, Radon, Toprak, Toryum, Uranyum.

DETERMINATION OF NATURAL RADIOACTIVITY IN SOILS AND DRINKING WATER IN THE REGION OF ÇORLU OF TEKİRDAĞ PROVINCE

Ali USLUER

Physics Department, M.S Thesis, 2018

Thesis Supervisor: Assoc. Doç. Dr. Kaan MANİSA

SUMMARY

Natural radiation, which has three major sources: terrestrial radiation, cosmic radiation and internal radiation, makes the largest contribution to the total radiation dose because of the intake of natural radionuclides through inhalation (mainly radon) and ingestion. Terrestrial radiation sources include the ground, rocks, air, building materials and drinking water supplies. Internal radiation is in our body because of what we eat and drink, and the air we breathe. The most significant part of natural radioactivity mainly from U-238, Th-232 and K-40 in soil arises from the terrestrial gamma-ray radiation.

In this study, the analysis of natural radioactivity from U-238, Th-232 and K-40 in 11 soil samples collected from the province of Tekirdağ-Çorlu was carried out using a NaI(Tl) gamma-ray spectroscopy system. From the activity concentrations of U-238, Th-232 and K-40 the total absorbed outdoor gamma-ray dose rates and the corresponding annual effective dose rates were determined. Also, water samples for radon-gas analyses were collected from the town of Tekirdağ-Çorlu. The radon concentrations of collected water samples were measured using the AlphaGUARD PQ 2000PRO radon detector.

The results obtained in this study were compared with the UNSCEAR-2000 report and the other studies found in literature.

Keywords: Drinking Water, Potasyum, Radon, Soil, Torium, Uranium.

TEŞEKKÜR

Lisans öğrenimim ve sonrasında her aşamada bana büyük destek veren ve daima yanımda olan danışman hocam Doç. Dr. Kaan MANİSA'ya saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma Dumlupınar Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Müdürlüğü tarafından desteklenmiş olup, proje yürütücüsü Doç. Dr. Kaan MANİSA'ya ve projeme destek veren değerli hocalarım Doç. Dr. Mehmet ERDOĞAN, Prof. Dr. Latife ŞAHİN YALÇIN, Araş. Gör. Dr. Hakan ÇETİNKAYA ve projemdeki çalışmalarında yardımcı olan arkadaşım Ulaş IŞIK'a teşekkür ederim.

Arazi çalışmaları sırasında yardımını esirgemeyen Araş. Gör. Dr. Hakan ÇETİNKAYA, Ulaş IŞIK, Ümit DOĞAN'a teşekkür ederim.

Örneklerin elenmesi sırasında yardımını esirgemeyen arkadaşım Ulaş IŞIK'a teşekkür ederim.

Tez çalışmam süresince bana destek olan Dr. Ahmet BİÇER'e teşekkür ederim.

Yardımlarından dolayı Çorlu ilçe çevre müdürlüğüne teşekkür ederim.

Hayatımın her aşamasında beni destekleyen, bana daima güvenen ve bugünlerime gelmeme vesile olan annem, babam ve ablama sonsuz teşekkür ederim.

Bu tez araştırmasına destek sağlayan Dumlupınar Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine (Proje No: 2014/31) teşekkür ederim.

Ali USLUER

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xii
1.GİRİŞ	1
2. RADYOAKTİVİTE VE RADYASYON	5
2.1 Doğal Radyasyon	5
2.2 Yapay Radyasyon	6
2.3 Radyasyon Birimleri	8
3. KARASAL RADYASYON VE RADYOAKTİF SERİLER	9
3.1 Alfa Parçacıkları	12
3.2 Beta Parçacıkları	12
3.3 Gama Işınları.....	13
3.4 X Işınları	13
3.5 Nötronlar	13
3.6 Radyasyondan Korunma	14
3.7 Karasal Radyasyon ve Topraktaki Doğal Radyoaktivite	14
3.7.1 Sudaki doğal radyoaktivite.....	16
3.7.2 Sularda belirlenen radyoaktivite limitler.....	17
3.7.3 Doğal radyasyon kaynağı radon.....	17
4. NaI(Tl) DETEKTÖRÜNÜN YAPISI VE ÇALIŞMA PRENSİBİ	21
4.1 Foto Çoğaltıcı Tüp	22
4.2 Elektronikler.....	25
4.3 NaI(Tl) Detektörünün Çalışma Prensibi	25
4.4 Yöntem.....	26
4.5 Toprak Numunelerinin Hazırlanması.....	26

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
4.6 Topraktaki Radyoaktivite Hesabı.....	26
4.7 Topraktaki Radyoaktivite İçin Soğurulmuş Doz Hesabı.....	27
4.8 Radyoaktif Çekirdekler İçin Etkin Doz Hesabı.....	27
4.9 Havadaki Gama Radyasyonunun Ölçüm Hesabı	28
5. ALPHAGUARD CİHAZININ ÇALIŞMA PRENSİBİ	29
5.1 Detektörün Dış Yapısı.....	31
5.2 Detektörün İç Yapısı	36
5.3 Yöntem.....	39
5.3.1 Numune alma	39
5.3.2 Numunelerin ölçümü için detektörün hazırlanması	39
5.3.3 AlphaGUARD PQ 2000PRO Detektörü ile Sudaki Radonun Ölçümü.....	40
5.4 Sudaki Radonun Hesaplanması.....	41
5.4.1 Ortalama radon konsantrasyonu hesaplanması	42
5.4.2 Standart hata hesaplaması	42
6. DENEYSEL ARAŞTIRMA SONUÇLARI.....	43
6.1 Kuyu Sularına Ait Veriler	46
6.2 Kaynak Sularına Ait Veriler.....	48
6.3 Kuyu ve Kaynak Sularına Ait Ölçüm Sonuçları	50
6.4 Toprak Analizi Sonuçları	51
7. SONUÇ VE TARTIŞMA	54
KAYNAKLAR DİZİNİ	55
ÖZGEÇMİŞ	59

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Doğal radyasyonun kaynaklarının dağılımı.	6
2.2. Yapay radyasyon kaynaklarının dağılımı.	7
2.3. Doğal ve yapay radyasyon doz oranlarının dağılımı.	7
3.1. Radyum (Uranyum) serisinin bozunum şeması.	9
3.2. Toryum serisinin bozunum şeması.	10
3.3. Aktinyum serisinin bozunum şeması.	11
4.1. Fotoçoğaltıcı tüpün şeması.	23
4.2. Detektörün şematik diyagramı ve kaynak kabı.	24
4.3. NaI(Tl) gama spektroskopisi sistemi.	25
5.1. AlphaGUARD PQ 2000PRO detektörü.	29
5.2. AlphaGUARD ile hava, su, toprak ve yapı malzemelerinde radon ölçümü.	30
5.3. AlphaGUARD cihazının ön görünüşü ve boyutları.	32
5.4. AlphaGUARD cihazının arka görünüşü ve boyutları.	33
5.5. AlphaGUARD cihazının alttan görünüşü ve boyutları.	34
5.6. AlphaGUARD cihazının sol yandan görünüşü ve boyutları.	35
5.7. AlphaGUARD cihazının sağ yandan görünüşü ve boyutları.	36
5.8. AlphaGUARD detektörünün iyonizasyon çemberinin gösterimi.	37
5.9. AlphaGUARD'ın sinyal işleme biriminin blok diyagramı.	38
5.10. Sudaki radon ölçümü için kullanılan düzenek.	40
5.11. Radon katsayısının sıcaklıkla değişim grafiği.	42
6.1. Kaynak suları örnekleme alanları.	43
6.2. Kaynak suları örnekleme alanları.	44
6.3. Kuyu suları örnekleme alanları.	45
6.4. Toprak numunesi alınan bölgeler.	51
6.5. Toprak numunesi alınan bölgeler.	52

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Hindistan, İran, Brezilya ve ülkemizdeki bazı konumlardaki yıllık radyasyon dozu	7
2.2. Radyasyon türleri	8
3.1. İzin verilen yıllık doz sınırları	14
3.2. Topraktaki yıllık radyasyon dozu	15
3.3. Topraktaki yıllık radyasyon dozu	15
3.4. Okyanuslardaki radyoaktivite değeri	17
3.5. İçme sularındaki alfa ve beta radyoaktivite limitleri	18
3.6. Toplam alfa ve beta aktivitesinin belirlenmesi	19
4.1. 238U, 232Th ve 40K'ın gama ışını bozunma olasılıkları ve enerjileri	27
6.1. Belediye konutları kuyusuna ait bilgiler	46
6.2. Emlak konutları kuyusuna ait bilgiler	46
6.3. Bahçelievler 1. kuyusuna ait bilgiler	47
6.4. Kıvançevler kuyusuna ait bilgiler	47
6.5. Bahçelievler 4. kuyusuna ait bilgiler	48
6.6. Bahçelievler 3. kuyusuna ait bilgiler	48
6.7. Süleymaniye camii hayratına ait bilgiler	48
6.8. Çukur çeşmeye ait bilgiler	49
6.9. Çoban çeşmeye ait bilgiler	49
6.10. Hürriyet çeşmesine ait bilgiler	49
6.11. Paşa çeşmesine ait bilgiler	49
6.12. Hacı Hanife ve Ali Yaman hayratına ait bilgiler	50
6.13. AlphaGUARD radon algılama sistemiyle elde edilen su analizi sonuçları	50
6.14. Toprak numunesi alınan bölgeler.	52
6.15. Ludlum 2241-3RK detektörü ve 3x3 NaI(Tl) detektörü toprak analizi	53

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
N	Nötron
P	Proton
e ⁻	Elektron
$\bar{\nu}$	Anti nötrino
ν	Nötrino
α	Alfa
β^-	Beta eksi bozunması
β^+	Beta artı bozunması
EC	Elektron Yakalama
γ	Gama
eV	Elektronvolt
keV	Kilo Elektronvolt
MeV	Mega Elektronvolt
Ci	Curie
R	Röntgen
Sv	Sievert
Bq	Becquerel
Gy	Gray
Å	Angstrom
Nm	Nanometre
J	Joule

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
HPGe	Yüksek Saflıktaki Germanyum Detektörü
Dps	Saniyedeki Bozunma Sayısı
Dpm	Dakikadaki Parçalanma Sayısı
ICRU	Uluslararası Radyasyon Birimleri Komitesi
EM	Elektromanyetik
SI	Uluslar Arası Birim Sistemi
GM	Geiger Müller Sayacı
WHO	Dünya Sağlık Örgütü
PET	Pozitron Yayımlayıcı Tomografi
ALARA	As Low As Reasonable Achievable Prensibi
AC	Analog
DC	Dijital
TEÜL	Tavsiye Edilmiş Üst Limitin Değeri
MEÜL	Müsaade Edilmiş Üst Limitin Değeri
ÇKA	Çok Kanallı Analitazör
PMT	Foto Çoğaltıcı Tüp
ICRP	Uluslararası Radyolojik Korunma Komisyonu
YDE	Yıllık Etkin Doz
EPA	Çevre Koruma Ajansı
UNSCEAR	B.M. Radyasyon Etkisi Komitesi

1.GİRİŞ

Evrenin oluşumundan itibaren insanlık daima doğal ve yapay radyasyona maruz kalmıştır. Doğal radyasyonun kaynakları hava, su ve yer kürenin kendisidir. Ayrıca dış uzaydan gelen kozmik ışınları da doğal radyasyondur.

Dış uzaydan dünyamıza ulaşan kozmik ışınların büyük bölümü atmosfer tarafından tutulurken dünyamıza ulaşan azami kısım ise radyasyona neden olmaktadır. Doğal radyasyonun bağımlı olduğu bazı değişkenler vardır. Bunlardan bir tanesi yükseltidir. Örneğin günlük yaşamda deniz seviyesinde bulunan bir kişiye kıyasla dağın zirvesine tırmanmış olan bir dağcının maruz kaldığı doz'a bakıldığında zirvedeki dağcının deniz seviyesine göre 20 kat daha fazla radyasyona maruz kaldığı görülür. Benzer şekilde fosil yakıtlardan dolayı atmosfere büyük oranda radyasyon yayılır. Yakıt olarak kullanılmadan önce bu radyasyon yayımlanmazken yakıt olarak kullanıma başlandığında doğadaki radyasyon oranında artış görülür.

Tükettiğimiz besinlerde de radyasyona rastlamak mümkündür. Sebze ve meyvelere oranla kabuklu yiyeceklerde bulunan radyasyon oranı daha fazladır. Dolayısıyla kabuklu yiyecekleri fazlaca tüketen bireylerde maruz kalınan radyasyon miktarı daha fazladır. Doğal radyasyonu arttıran en önemli etkenlerden bir tanesi de yer kabuğunda yoğun olarak bulunan radon gazıdır. Radon gazı insan sağlığı açısından oldukça zararlıdır. Nitekim insan vücuduna solunum yoluyla alındığında ve akciğerlerle temas ettiğinde buradaki tüm dokulara zarar vererek insan vücudunu yüksek oranda radyasyona maruz bırakmış olur. Radon gazının sindirim veya solunumla vücuda alınması tehlike arz eder.

Doğal radyasyonun yanı sıra insanlar yapay radyasyona da maruz kalmaktadır. Yapay radyasyon kaynakları değişen ve gelişen bilim neticesinde insan kaynaklı oluşmaktadır. Her geçen gün insanların yapay radyasyona maruz kalma miktarı artmaktadır, buna istinaden ülkemiz ve dünyanın çeşitli bölgelerinde su ve topraktaki ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K 'ın ölçümleri yapılmaktadır.

İzmir ilinde yapılan çalışmalarda kollektör yöntemiyle içme ve kullanım sularında ^{222}Rn ve ^{226}Ra konsantrasyonu ölçülmüştür. Bu ölçüm sonucunda ^{222}Rn konsantrasyonu düşük aktivite 5,8 Bq/L arasında, ^{226}Ra konsantrasyonu düşük aktivite 0,8 Bq/L arasında bulunmuştur (Saç, 1994).

Brezilya’da Guarani yer altı su kaynaklarında yapılan çalışmalarda radyum ve radon konsantrasyonlarını sırasıyla 0,05-57,6 Bq/L ve 0,01-1,49Bq/L aralığında saptanmıştır. Yine bu çalışmada radon ve radyum-226 aktivitelerinin sırasıyla 14,62 Bq/L ve 0,185 Bq/L olduğu ölçülmüştür (Lima ve Bonotto, 1996).

Suudi Arabistan’da belirlenen Jeddah bölgesinde gerçekleştirilen çalışmalarda ise radon konsantrasyonunun 1,54-9,92 Bq/L aralığında olduğunu saptanmıştır. İçme suyunun sindirimi sonucu gelen doz katkısını ise sırasıyla 4,52-26,07 mSv/yıl ve 4,31-26,07 mSv/yıl olarak ölçülmüştür (Tayyeb vd., 1998).

İstanbul’da gerçekleştirilen çalışmada farklı bölgelerden 105 toprak örneği alınmış ve bu örneklerin ölçümlerini yapmak üzere saflık oranı yüksek germanyum detektörü (HPGe) kullanılmıştır. ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K ’ın ortalama aktivite konsantrasyonları sırasıyla 21, 37 ve 342 Bq/kg olarak belirlenmiş, havada bulunan soğurulmuş gama dozunun ortalama oranı 65 nGy/h olarak ölçülmüştür. Elde edilen bu ölçümler kullanılarak İstanbul’da yaşamını sürdüren bir bireyin maruz kaldığı yıllık değer ortalamasının etkin eşdeğer dozu 80 μSv civarında bulunmuştur (Karahan ve Bayulken, 1999).

Hindistan’da gerçekleştirilen farklı bir çalışmada ise gama ışıını spektroskopisi yardımıyla, Punjab ve Himachal Pradesh’de uygun görülen 10 değişik bölgeden alınan toprak örneklerinde meydana gelen doğal karasal radyoaktif çekirdekler ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K için soğurulmuş gama dozu oranları ve aktivite konsantrasyonları hesaplanmıştır. Bu bölgelerde ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K ’ın ortalama aktivite yoğunlukları sırası ile 56,74 Bq/kg, 87,42 Bq/kg ve 143,04 Bq/kg olarak ölçülmüş ve soğurulmuş gama dozlarının ortalama oranları 26,16 nGy/h, 54,46 nGy/h ve 5,92 nGy/h olarak hesaplanmıştır (Singh vd., 2004).

Manisa’da yapılan bir çalışmada Manisa ili merkezinde 64 bölgeden toplanan toprak örneklerinin doğal radyoaktif çekirdek aktivite konsantrasyonları 3x3 NaI(Tl) gama spektroskopi sistemi kullanılarak ölçülmüştür. Toprak örneklerindeki ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K ’ın ortalama aktivite konsantrasyonları sırasıyla 29, 27 ve 340 Bq/kg olarak bulunmuş ve havadaki soğurulmuş doz oranı ortalama 57 nGy/h olarak hesaplanmıştır. Dışsal karasal gama radyasyonundan kaynaklanan yıllık etkin eşdeğer dozu ortalama 66 μSv olarak bulunmuştur (Ereeş vd., 2005).

Çanakkale Kestanbol’da yapılan çalışmada 9 farklı bölgeden alınan topraklardaki aktivite konsantrasyonları HPGe detektörü kullanılarak belirlenmiştir. ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K radyoaktif çekirdeklerinin ortalama aktivite konsantrasyonları sırasıyla 192, 115 ve 1207 Bq/kg

olarak hesaplanmıştır. Soğurulmuş gama dozu oranı 219 nGy/h olarak ve halkın maruz kalacağı yıllık etkin doz 269 μ Sv olarak bulunmuştur (Merdanoğlu ve Altınsoy, 2006).

Himalaya’da yapılan çalışmalarda ise kaynak sularında ve kuyu sularında radon konsantrasyonunu 1- 624 Bq/L arasında ölçülmüştür (Prasad vd., 2008).

Kütahya merkez ilçesinde yapılan bir çalışmada 20 farklı bölgeden toplanan örneklerin aktivite konsantrasyonları 3x3 NaI(Tl) sintilasyon detektörü kullanılarak bulunmuştur. Toprak örneklerindeki ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K ’ın ortalama aktivite konsantrasyonları sırasıyla, 33, 32 ve 255Bq/kg olarak hesaplanmıştır. Havada soğurulmuş gama dozu oranı 46 nGy/h olarak ve Kütahya merkez yerleşkesinde yaşayan bir kişinin maruz kalacağı yıllık etkin eşdeğer doz 57 μ Sv olarak bulunmuştur (Şahin ve Çavaş, 2008).

Hindistan’ın Himalaya bölgesinde yapılan çalışmalarda ise toprak ve suda radon konsantrasyonunu analizi yapılmış. Topraktaki radon konsantrasyonu 1,10 sudaki radon konsantrasyonu ise 31,8 Bq/m³ ve 8-3047 Bq/L aralığında ölçülmüş (Prasad vd., 2008).

Avusturya’da yapılan bir çalışmada ise 350 ayrı içme suyu kaynağında radon ve radyoizotop araştırması yapılmıştır. İlk olarak 205 su kaynağından alınan örnek analiz edilmiş, sonrasında ise konsantrasyon yoğunluğunun fazla çıktığı bölgelerde jeolojik yapı dikkate alınarak (jeolojik faylar, granit kayalar) 145 su kaynağı örneği daha alınarak analizi yapılmıştır. 205 örneğin analiz sonucunda radon konsantrasyonu 12 Bq/L, 145 örnekte ise 100 Bq/L tespit edilmiş (Gruber vd., 2009).

Trabzon’da yapılan çalışmada belirlenen 222 noktadan toplanan toprak örneklerinin aktivite konsantrasyonları HPGe detektörü kullanılarak belirlenmiştir. ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K ’ın aktivite konsantrasyonları sırasıyla 41, 35 ve 437 Bq/kg olarak, havadaki soğurulmuş gama dozu oranı 59 nGy/h olarak ve karasal gama radyasyonundan dolayı yıllık etkilenilen etkin eşdeğer doz 72 μ Sv/y olarak hesaplanmıştır. Bunlara ilaveten dışsal gama doz oranı ölçümleri, taşınabilir NaI detektörü kullanılarak gerçekleştirilmiş ve sonucunda yıllık etkin doz 66 μ Sv/y olarak hesaplanmıştır (Kurnaz vd., 2011).

Bu tez çalışmasında ise Tekirdağ-Çorlu’daki farklı bölgelerden su ve toprak numuneleri alınarak içerdikleri radon yoğunluk seviyeleri ölçülmüş ve elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

Bu çalışmada ikinci bölümde radyoaktivite ve radyasyon üzerinde durulmuştur. Üçüncü bölümde karasal radyasyon, sulardaki radyoaktivite ve radyoaktif seriler üzerinde durulmuştur. Dördüncü bölümde NaI(Tl) detektörü çalışma prensibi açıklanmıştır. Beşinci

bölümde AlphaGuard cihazının çalışma prensibi açıklanmıştır. Altıncı bölümde ise deneysel çalışmaların sonuçları verilmiştir. Son olarak yedinci bölümde sonuçlar tartışılmıştır.



2. RADYOAKTİVİTE VE RADYASYON

Radyoaktiflik bir maddenin çekirdeğindeki proton ve nötron sayısının miktarı ile bağdaştırılabilir. Atomun çekirdeği incelendiğinde şayet nötron sayısı proton sayısından fazla ise atom kararlı yapıdadır ve kararlı olma eğilimindedir. Madde kararlı hale dönüşmek için bazı ışımlar geçirir, bunlar alfa, beta ve gama ışımlarıdır. Işıma sırasında madde parçalanır, bu şekilde kararlı hale gelebilmek için parçalanmış maddelere radyoaktif madde denir (Değerlier, 2007).

Radyasyonun insanlar üzerinde meydana getirdiği olumsuzluklar söz konusudur. Radyasyon olarak tabir ettiğimiz kavramın nedeni farklı maddelerden yayınlanan ışınlardır. Başka bir şekilde söylemek gerekirse ışıyım yapabilen radyoaktif maddelerden yayınlanan alfa, beta, gama ışınları radyasyonu oluşturan etkenlerdir. Yine uzayda beliren elektromanyetik dalgaların da hepsi radyasyon olarak adlandırılır. Bu nedenle radyasyon kaynaklarını daha kolay inceleyebilmek adına iki başlık altında ele alınır (Değerlier, 2007).

2.1. Doğal Radyasyon

Doğal radyasyonun birbirinden farklı etkenlerinden bahsedilebilir. Fakat en büyük etkeni yer kabuğunda yoğun halde bulunmakta olan ^{226}Ra 'dur. ^{226}Ra 'nın toprakta bozunmasıyla birlikte yoğun şekilde radon gazı açığa çıkar. Radon gazının yanı sıra farklı bozunma maddeleri de açığa çıkar ancak yeryüzüne ulaşan yalnızca radon gazıdır (Gönen, 2012).

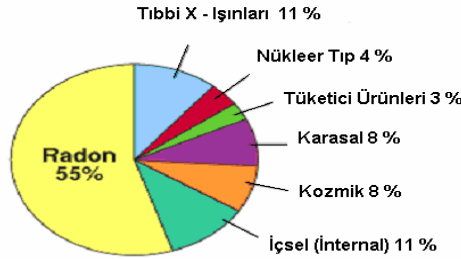
Yerkürede yaşayan canlı gruplarının radyasyon ile etkileşimi çok eskiye dayanmaktadır. İlk canlının yerkürede nefes almaya başladığı an bu etkileşim başlamıştır. Bu nedenle insan oğlu bugüne dek yerküreden yayınlanan doğal radyasyona maruz kalmakla birlikte güneşten yayınlanan kozmik ışınlar da maruz kalmaktadır. Dünyanın ilk oluşumundan bu yana doğada bulunan radyoaktif elementler var olmaktadır. İlk andan bu yana radyoaktif elementlerin var olması sonucunda ise insanoğlunun radyasyondan kaçınması mümkün değildir. Günümüzde insanoğlunun geliştirdiği bilim neticesinde nükleer silah kullanımı artmış ve radyasyonda da belirgin artış görülmektedir. İnsanlığın maruz kaldığı radyasyon miktarının belirlenmesinde hesaba katılan bazı etkenler bilinmektedir. Bunlardan bazıları; bölgenin suyu, havası, toprağı, kutuplara olan uzaklığı, mevsimler (Gönen, 2012).

Yaşanılan yerin toprağı incelendiğinde yine burada ki tarımsal faaliyetlerde radyasyon oranını etkilemektedir. Bölgede kullanılan tarımsal ilaçlar ve gübrenin yapısı topraktaki radyasyona katkıda bulunmaktadır. Benzer şekilde kar, yağmur, yüksek ve alçak basınç

değerleri, rüzgarın yönü gibi etkenlerde radyasyon miktarını etkileyen nedenler arasında sayılabilir. İnsanlar hayatın bir parçası olarak bu etkenlerden dolayı radyasyona maruz kalmaktadırlar. Benzer şekilde hayvancılık faaliyetleri de yine radyasyona katkı getiren nedenler arasında sayılabilir (Gönen, 2012).

Doğal radyasyonun bir diğer nedeni ise fosil yakıtlardır. Fosil yakıtlarda doğal ve uzun ömürlü radyoaktif madde bulunmaktadır. Yakıt olarak bulunması durumunda bir sorun teşkil etmiyorken bu yakıtın kullanılması sonucunda havaya salınan radyasyon sonrasında ise toprağa düşerek azda olsa doğal radyasyona kaynaklık etmektedir. Fosil yakıtların doğada oluşması milyarlarca yıl sürmektedir, bu süreçten dolayı doğadaki radyasyona fosil yakıtlarında katkısı olmaktadır. Benzer şekilde bu yakıtların kullanım oranı da bu katkıyı tetikler (Eisenbud, 1987).

Toprak, hava ve su dışında tükettiğimiz besinlerden de doğal olarak radyasyona maruz kalırız. Bunlar içerisinde en yoğun radyasyon kabuklu besinlerde bulunmaktadır. Dolayısıyla kabuklu besinleri fazlaca tüketen insanlar ortalama dozun üzerinde radyasyona maruz kalırlar. Toprak yapısı bu nedenle önemli bir etkidir. Şekil 2.1’de maruz kalınan doğal radyasyon kaynaklarının dağılımı gösterilmiştir (NCRP Report, 1977).

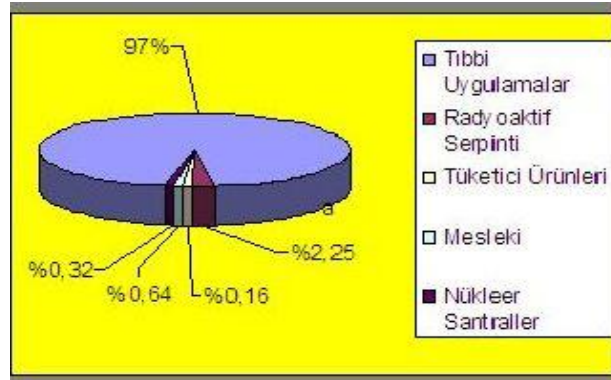


Şekil 2.1. Doğal radyasyonun kaynaklarının dağılımı (NCRP Report, 1977).

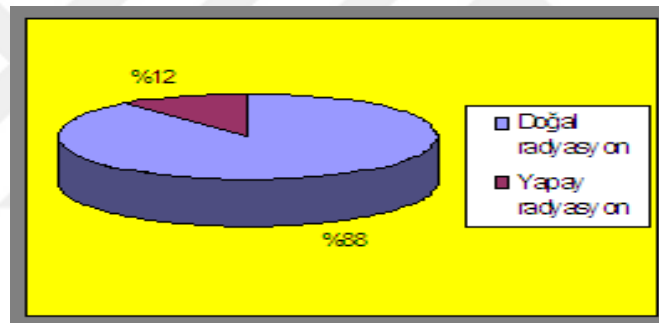
2.2. Yapay Radyasyon

İnsanoğlu gündelik yaşamını daha kolay hale getirebilmek için bazı bilimsel adımlar atmış ve bilimsel gelişmelere katkıda bulunmuştur. Bu bilimsel gelişmeler ise yapay radyasyona kaynaklık etmektedir. Bu bilimsel buluşlar sayesinde işler daha kısa, daha ucuz, daha verimli ve daha basit halledilmiştir. Yapay radyasyonda doğal radyasyon gibi belirli bir değerin üzerinde ise insan sağlığını olumsuz etkileyen bir etkidir. Ancak yapay radyasyon insan kaynaklı olduğu için miktarı kontrol edilebilir ölçüdedir, doğal radyasyon kadar insanlığı etkilemez. Yapay radyasyonun başlıca kaynakları tıbbi, zirai, nükleer santraller, x ışınları, yapay radyoaktif

maddelerdir (Eisenbud, 1987). Şekil 2.2’de ve Şekil 2.3’de radyasyon kaynaklarının dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Yapay radyasyon kaynaklarının dağılımı (NCRP Report, 1977).



Şekil 2.3. Doğal ve yapay radyasyon doz oranlarının dağılımı (NCRP Report, 1977).

Çizelge 2.1’de Türkiye ve dünyada farklı bölgelerde yıllık ortalama radyasyon doz miktarı verilmiştir (Karahan, 1997).

Çizelge 2.1. Hindistan, İran, Brezilya ve ülkemizdeki bazı konumlardaki yıllık radyasyon dozu.

Bölge	Yıllık Doz (mSv/yıl)
Mersin(Akkuyu)	0,53
Ankara	0,44
Iğdır(Alican)	0,88
Çanakkale	1,23
Kars(Digor)	1,58
Hindistan(Kerela)	15,80
İran(Ramsar)	148,92
Brezilya(Guarapari)	788,40

2.3. Radyasyon Birimleri

Radyasyonun meydana getireceği etki; radyasyon türüne, süresine ve doz hızına bağlıdır. Bir çalışma esnasında sonuçları yorumlayabilmek açısından radyasyon dozunun bilinmesi gereklidir. Bu nedenle her şeyden önce radyasyon dozunun belirlenebilmesi için ölçme yöntemi ve birimleri belirlenmelidir. Uluslararası radyasyon birimi ICRU'ya göre Curie(Ci), Röntgen(R) ve Rad olarak tanımlanmıştır (Gollnick, 1988). Bu tanımlama 1971 yılında uluslararası birim sistemi (SI) tarafından kabul edilmiştir.

1 Bq = 1 Saniyedeki bozunma sayısı

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

Aktivite: Birim zamandaki bozunmaya uğrayan çekirdek sayısına denir.

Soğurulmuş doz: Madde tarafından maruz kalınan miktarı ifade eder ve yeni birimi Gray'dir.

Gray (Gy) = Soğurulmuş doz için kullanılan yeni birimdir(eski birimi Rad) ve soğurucu madde tarafından kg başına 1 joule enerji alınması olarak tanımlanmıştır. 1 Gy100Rad'aeşittir.

Rad = Soğurulmuş dozun eski birimidir. Maddenin gram başına 100 erg enerji alması olarak tanımlanmıştır.

Eşdeğer doz: Tüm vücudun maruz kaldığı radyasyonun biyolojik ölçüsü olarak tanımlanır. Eski birimi Rem ve yeni birimi ise Sievert'tir. Soğurulmuş doz Q kalite faktörüyle çarpılırsa eşdeğer doza ulaşılır. Q kalite faktörü Çizelge 2.2'de verilmiştir (Noz ve Maquire, 2007).

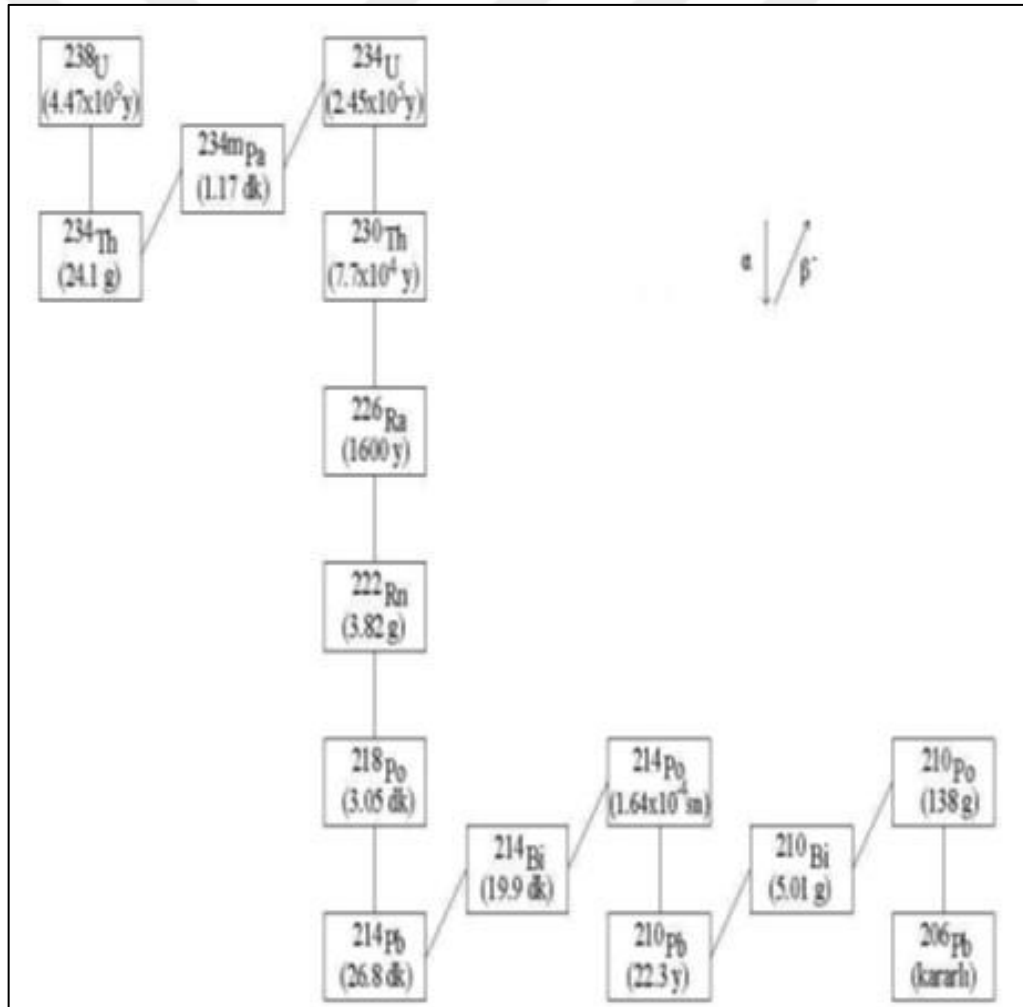
Etkin doz: İnsan vücudunda belli bir organın maruz kaldığı radyasyon miktarıdır, birimi Sievert'tir.

Çizelge 2.2. Radyasyon türleri.

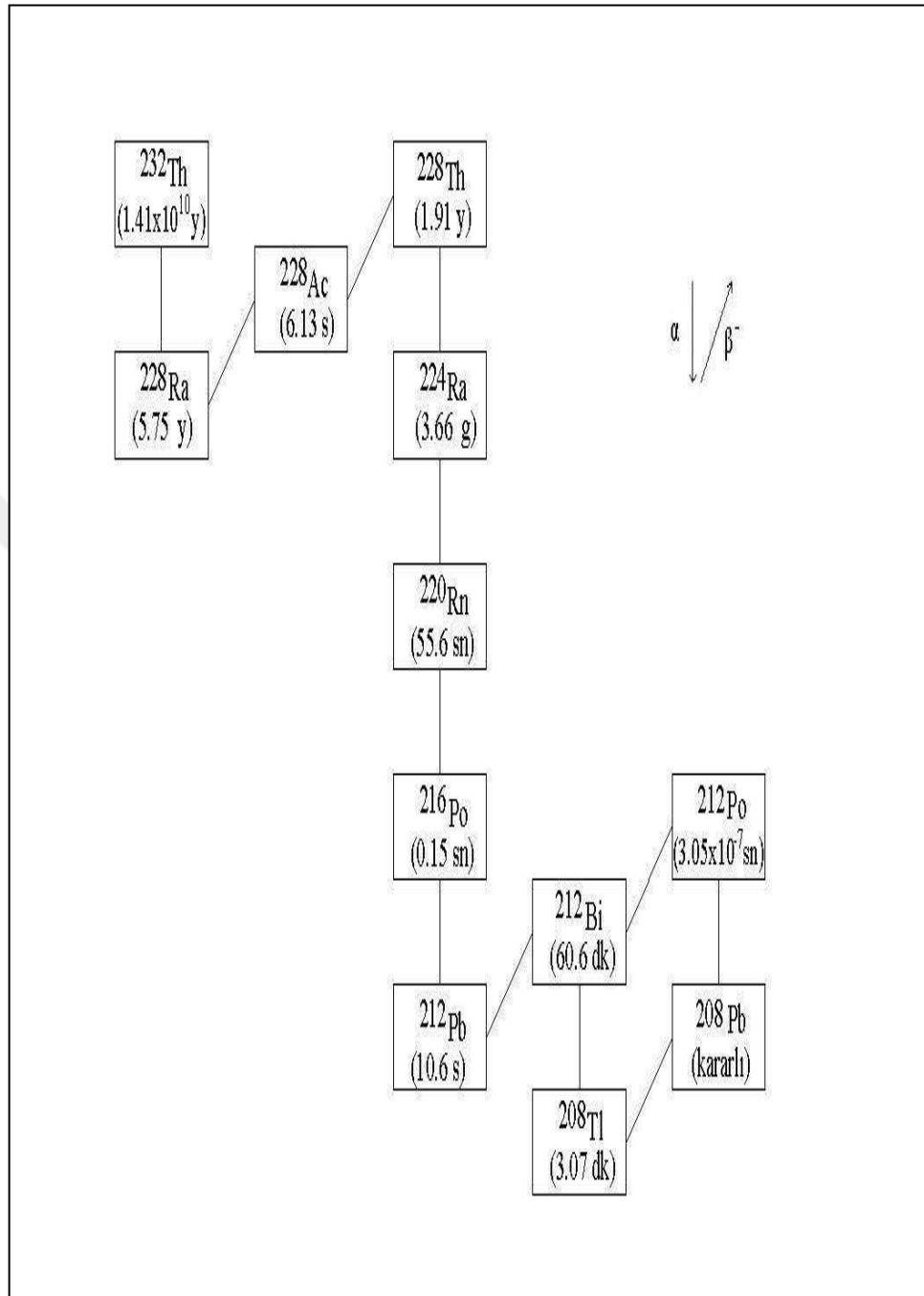
Radyasyon Türü	Kalite Faktörü
X ve gama Işınları	1
Elektronlar ve beta parçacıkları	1
Nötronlar, enerjileri<10KeV	3
Nötronlar, enerjileri>10KeV	10
Alfa Parçacıkları	20

3. KARASAL RADYASYON VE RADYOAKTİF SERİLER

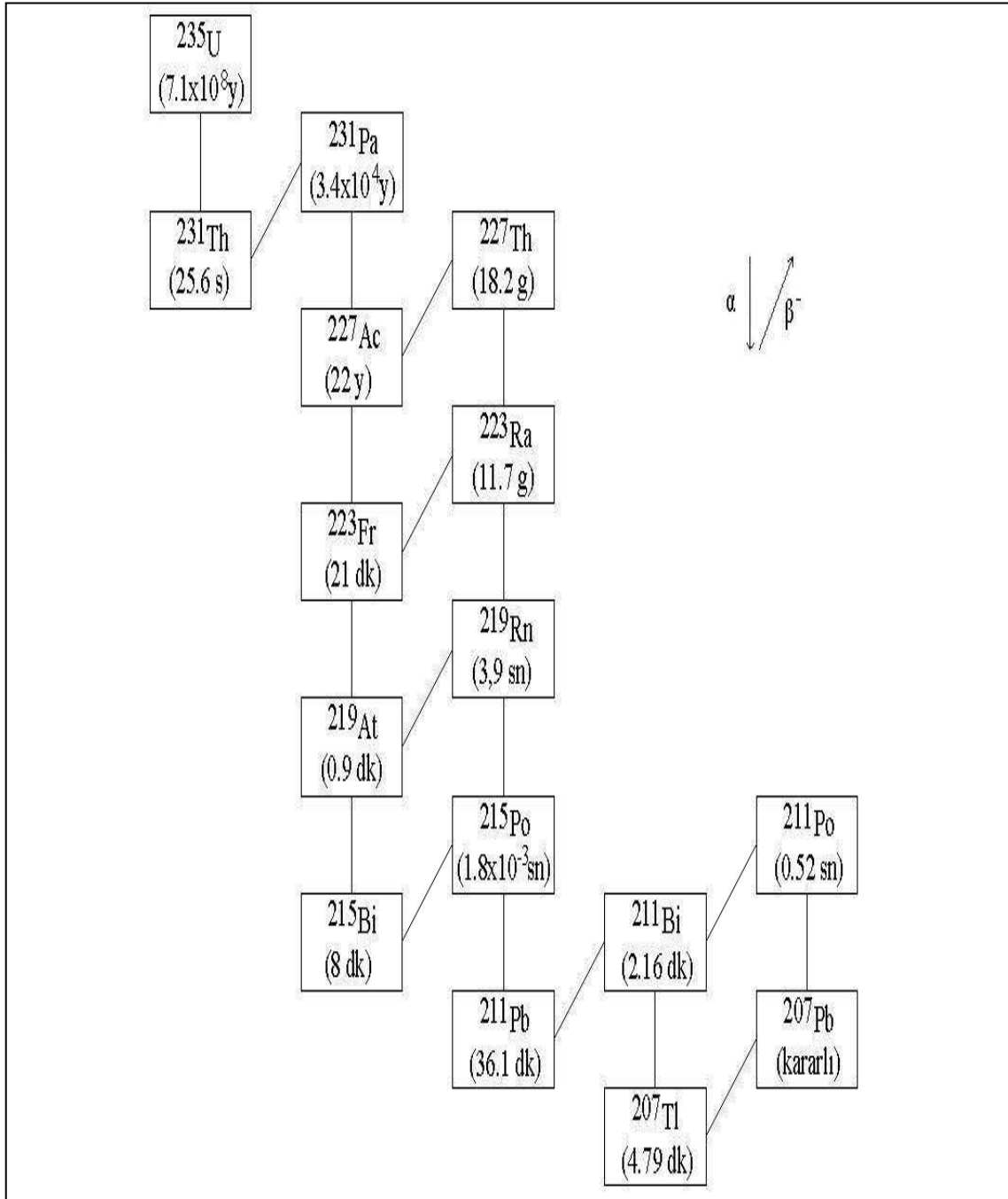
Karasal radyasyon yaşam sürdürdüğümüz evrenin ilk gününden bu yana vardır. Buna bağlı olarak da doğal radyoaktif elementler de aynı şekilde evrenin ilk gününden bu yana vardır. Doğal radyoaktif elementleri yarı ömürleri oldukça uzundur, bu elementler iki farklı grupta incelenmektedirler. Bunlar; doğada tek başına bulunan radyoaktif elementler ve doğal radyoaktif serisi bozunum içinde bulunan elementler. Topraktaki radyoaktivitenin kaynağı olan radyoizotoplar ^{235}U (Aktinyum Serisi), ^{238}U (Uranyum Serisi), ^{232}Th (Toryum Serisi)'dir (Gönen, 2012). Bu radyoaktif serilerin bozunum ürünleri Şekil 3.1'de, Şekil 3.2'de ve Şekil 3.3'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Radyum (Uranyum) serisinin bozunum şeması (NCRP 97, 1988).



Şekil 3.2. Toryum serisinin bozunum şeması (NCRP 97, 1988).



Şekil 3.3. Aktinyum serisinin bozunum şeması (NCRP 97, 1988).

Karasal kökenli olup doğada tek başına bulunan radyoizotoplar ise ^{40}K , ^{226}Ra , ^{238}U 'dur. İnsan bu radyoaktif elementlerden vücudunda bulunan ^{40}K 'dan ötürü belli bir dozda radyasyona maruz kalır.

Radyasyon madde etkileşimine göre 2 kategoriden oluşur. Bunlar; iyonlaştırıcı etki yapan radyasyon ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyonlardır (Murray, 2001). Bir atomun

yörüngesindeki elektronlardan bir veya daha fazlasının koparak serbest hale geçmesine iyonizasyon denir. Madde ile etkileşip maddede iyonlaşma meydana getiriyorsa ise iyonlaştırıcı radyasyon denir. İyonlaştırıcı radyasyona örnek olarak:

- X Işınları: Akciğer filmi
- Nötronlar: Toprakta yoğunluk hesaplamaya yarayan cihazlar
- Alfa Parçacıkları: Uranyum atomunun parçalanması sonucu oluşan parçacık
- Beta Parçacıkları: İyot-31 Nükleer tıp
- Gama Işınları: Kobalt-60 Kanser tedavisi

İyonlaştırıcı olmayan radyasyona verilebilecek örnekler:

- Radyo dalgaları
- Cep Telefonu: Baz istasyonundan yayınlanan dalgalar
- Görünür Işık
- Mikrodalgalar

Karasal kökenli olup doğada tek başına bulunan radyoizotoplar ise ^{40}K , ^{226}Ra , ^{238}U 'dur. İnsan bu radyoaktif elementlerden vücudunda bulunan ^{40}K 'dan ötürü belli bir dozda radyasyona maruz kalır (Noz ve Maquire, 2007).

3.1. Alfa Parçacıkları

Alfa parçacığı iki nötron ve iki protondan oluşmuş olan helyum çekirdeğidir. Yapısında elektron barındırmadığından pozitif yüklüdür. Atom numarası 83'ten büyük olan atomlar sıkça alfa parçacığı yakalarlar. Bu bir bozunma olayıdır. Alfa parçacıkları yoğun biçimde iyonlaşarak enerjilerini kaybederler. Alfa parçacığını hareket ederken durdurmak çok kolaydır oldukça ince cisimler ile dahi durdurulabilir fakat sindirim sonucu, solunum sonucu veya yaralı haldeyken vücuda girmesi durumundaki tehlikesi oldukça büyüktür (Knoll, 1979).

3.2. Beta Parçacıkları

Kararsız atomlardan yayımlanan parçacıklardır. İki çeşit beta parçacığı vardır. Yayımlanan bu parçacıklar pozitif veya negatif yüke sahip olabilirler. Pozitif yüke sahip ise β^+ (Pozitron), negatif yüklü ise β^- (elektron) olarak isimlendirilir. Beta parçacıkları ve alfa parçacıklarının belli bir kütlesi olduğu için madde içinden geçmekteyken iyonlaşmaya neden

olmaktadırlar. Fakat beta parçacıkları alfa parçacıklarından daha girici ve daha hafiftir. Beta parçacıklarından korunmak için plastik veya alüminyumdan yapılmış zırh yeterlidir (Knoll, 1979).

3.3. Gama Işınları

Gama ışınları elektromanyetik spektrum içerisinde yer alan elektromanyetik bir dalgadır. Mikrodalga ve X ışınları ile benzerlik gösterir fakat enerjisi her ikisinden de daha fazladır. Alfa parçacığı ve beta parçacığı geçirmiş bir çekirdek henüz kararlı hale ulaşamadıysa üzerindeki fazla enerjiden kurtulmak adına gama ışını geçirerek kararlı halde döner. Gama ışınlarının girişkenliği çok fazladır, havada kilometrelerce yol alabilirler. Ancak beton veya kurşun gibi ağır metaller ile durdurulabilirler (Martin ve Harbison, 2006).

3.4. X Işınları

X ışınları da gama ışınları gibi elektromanyetik spektrum serisi içerisinde yer alan elektromanyetik dalgalardır. Hızlandırılmış elektronların ani durdurulması ile X ışınları oluşur. Giricilikleri oldukça yüksektir ve canlı dokulardaki tahribi oldukça büyüktür. X ışınları tıpta oldukça yaygın kullanılır. Röntgen tüpleri yardımıyla X ışınları elde edilebilir. Bu tüpte yüksek potansiyel altında hızlandırılan ışınlar anot yüzeye çarparlar. Hızla anti anot yüzey yakınından geçen elektronlar radyasyon yayınlılar, bu da X ışınlarını oluşturur (Martin ve Harbison, 2006).

3.5. Nötronlar

Özel olarak üretilmedikçe nükleer reaksiyonların uzağında karşılaşılması pek mümkün değildir. Nötronlar nükleer reaksiyon neticesinde oluşan yüksüz parçacıklardır. Bu nedenle elektronlarla değil de çekirdekle etkileşirler. Kurşun gibi ağır metallerle dahi durdurulamazlar çünkü giricilikleri çok yüksektir. Kalın beton, parafin ve su nötrona zırh olarak kullanılabilir (Magill ve Galy, 2005).

3.6. Radyasyondan Korunma

Radyasyondan korunmanın en etkin yolu alınan önlemlerdir. Tabi ki önlem ne kadar erken alınırsa o derecede faydalı olacaktır. Alınabilecek tüm önlemlere karşın insanlar belli oranda radyasyon dozuna maruz kalmaktadır.

Maksimum doz: Uluslararası Radyolojik Korunma Komisyonu (ICRP)'ye göre bir insan ömrü boyunca insan da aşırı genetik bir etki meydana getirmeyen ve ayrıca önemli bir rahatsızlık oluşturmeyen durum olarak tanımlanmaktadır. Bu maksimum doz kontrol altında çalışanlar ile takipte olmayan çalışanlar için değişken değerlerde saptanmaktadır (ICRP, 1993). Bu durum müsaade edilen etkin doz olarak da tanımlanır. ICRP'nin verilerine göre radyasyonlu ortamda çalışan bireylerin maruz kaldığı doz yıllık 20 mSv'i geçmemeli ve yıllık maksimum 50 mSv olmalıdır. Radyasyon altında çalışmayan toplum üyeleri için ise bu doz oranı 1 mSv civarı olmalı ve üzerine çıkmamalıdır. Bu dozlara doğal ve tıbbi uygulamalardan ek olarak gelen dozlar dahil değildir (Kam, 2004). ALARA(As Low As Reasonable Achievable) prensibince insanlar tarafından soğurulan radyasyon dozu miktarı mümkün oldukça az olmalıdır. İnsanların maruz kaldığı doz oranı Çizelge 3.1'de verilen değerlerden çok olamaz.

Çizelge 3.1. İzin verilen yıllık doz sınırları (UNSCEAR, 1988).

		Radyasyon Görevlileri	Halk
Etkin Doz	Yıllık Ortalama	20 mSv/yıl	1 mSv/yıl
	Tek Yıl	50 mSv/yıl	5 mSv/yıl
Eşdeğer Doz	Göz	150 mSv/yıl	15 mSv/yıl
	Cilt	500 mSv/yıl	50 mSv/yıl
	El-Ayak	500 mSv/yıl	50 mSv/yıl

3.7. Karasal Radyasyon ve Topraktaki Doğal Radyoaktivite

Evrenin jeolojik yapısı irdelendiğinde hemen hemen tüm katmanlarında kayaçların yer aldığı gözlenmiştir. Bu kayaçların yapısında ise ^{238}U , ^{40}K , ^{232}Th bulunmaktadır. Topraktaki radyasyonun kaynağı ise bu radyoaktif elementlerdir. Radyoaktif elementler daha çok volkanik, tuz ve granit yapılarında yüksek yoğunlukta bulunmaktadır. Bu kayaçlarda bulunan radyoaktif elementler zamanla doğal olaylar sonucu aşınır, uflanır ve de yağmur sularıyla birlikte belli mesafelerde taşınması sonucu toprağa karışırlar. Ayrıca dönem dönem topraktaki verimi

arttırmak amacıyla tarımla uğraşan insanların kullandığı suni gübreler içerisinde bulunan ^{32}P topraktaki radyoaktifliği arttırmaktadır. Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3’de topraktaki yıllık radyasyon dozu şiddetleri verilmektedir (NCRP Report, 1977).

Çizelge 3.2. Topraktaki yıllık radyasyon dozu (NCRP Report, 1977).

Kaya Tipi	Çekirdek	Doz Şiddeti (mSv/Saat)
Volkanik Kayalar	^{226}Ra	2,4
	^{238}U	2,6
	^{232}Th	3,7
	^{40}K	3,5

Çizelge 3.3. Topraktaki yıllık radyasyon dozu (NCRP Report, 1977).

Volkanik Kayalar		Çekirdek	Doz Şiddeti (mSv/saat)
Tortul Kaya	Kumtaşı	^{226}Ra	1,3
		^{238}U	0,7
		^{232}Th	0,8
		^{40}K	1,5
Tortul Kaya	Tabakalı	^{226}Ra	2,0
		^{238}U	0,7
		^{232}Th	3,1
		^{40}K	3,6
Tortul Kaya	Kalkerli	^{226}Ra	0,7
		^{238}U	0,8
		^{232}Th	0,4
		^{40}K	0,4

3.7.1. Sudaki doğal radyoaktivite

Canlı yaşamının temel kaynağı olan su vazgeçilmezimizdir. Yaşamımızın devamı için su kadar suyun temizliği ve sağlıklı oluşu da önemlidir. İnsanlık artan su ihtiyacına karşın yer üstü sularının azalışıyla birlikte yer altı sularına da yönelmiş haldedir. Yer altı sularını ise oluşturan etken yine yer üstü kaynaklıdır. Yağmur suları süzülerek yer altına inmektedir. Yer altı sularının sağlık açısından iyi temizlenmiş olması gerekmektedir buna istinaden bu sulardaki kimyasal ve radyoaktif değerler ölçülmelidir.

Yer altı sularının sağlık açısından kullanımında en önemli kriterlerinden bir tanesi radyoaktif özelliğinin ölçülmesidir. Bu nedenle öncelikle suyun alfa ve beta konsantrasyonu ölçülmeli ve bu konsantrasyon yüksek ise bu seviye belirlenmelidir. Suyun kullanımını belirleyen en önemli etken budur. Bu radyoaktivitenin nedeni olan element araştırılmalıdır. Yer altı suları geçtikleri kayalarındaki radyoaktif elementleri çözerek suya karışmasına neden olurlar ve su bu şekilde radyoaktif özellik kazanmaktadır. Yer altı sularında çoğunlukla ^{40}K , ^{235}U , ^{238}U , ^{235}Th radyoaktif elementlerine rastlanmaktadır. Ayrıca ^{226}Ra 'nın bozunmasıyla açığa çıkan radon gazı yer altı sularında oldukça yoğun bulunmaktadır. Finlandiya da sondaj kuyularının bulunduğu Helsinki bölgesinde ^{222}Rn konsantrasyonu 0,22 kBq/L ile 44,4 kBq/L arasında ölçülmüştür (International Commission of Radiological Protection, 1977). Doğal radyoaktif ürün olan alfa, suyun uranyum ve toryumla etkileşimi sonucunda radyoaktifliğini arttırmaktadır. Uranyum, radon, radyum ve toryumun yoğun olarak bulunduğu kayalar granit kayalar, organik madde tortulları, karbonatlı tortullar, kum taşları vs. olarak söylenebilir. Sulardaki radyoaktif madde konsantrasyonu ana kaya yapısına bağlıdır (Kumru vd., 2002).

^{226}Ra 'nın insan vücudunda birikmesinin nedeni içme suları kaynaklıdır. Yer yüzündeki sularda ise ^{226}Ra konsantrasyonu azdır. Bu konsantrasyon 4-18 Bq/m³ (0,1-0,5 pCi) civarındadır. Genel olarak yaşadığımız şehirlerde kullanılan sular yer altı kaynaklıysa bu sularda uranyum, toryum, ^{226}Ra ve ^{225}Ra bulunabilir ayrıca bulunma durumu yer altının jeolojik yapısına da bağlıdır. Sulardaki radyum insanın içerisinde önemli miktarda yer tutar, sindirim sonucu açığa çıkan radyumun bulunduğu yer ise yumuşak dokular ve kemik iliğidir (UNSCEAR, 1993).

Çizelge 3.4'de okyanuslardaki radyoaktivite değerleri verilmiştir (Gönen, 2012).

Çizelge 3.4. Okyanuslardaki radyoaktivite değeri (NCRP Report, 1977).

Çekirdek	Hesaplama Kullanılan Aktivite	Okyanuslardaki Çekirdeklerin Aktiviteleri		
		Pasifik	Atlantik	Tüm Okyanus
Uranyum	0,9 pCi/L (33 mBq/L)	6×10^8 Ci (22 EBq)	3×10^8 Ci (11 EBq)	$1,1 \times 10^9$ Ci (41 EBq)
Potasyum 40	300 pCi/L (11 Bq/L)	2×10^{11} Ci (7400 EBq)	9×10^{10} Ci (3300 EBq)	$3,8 \times 10^{11}$ Ci (14000 EBq)
Tritiyum	0,016 pCi/L (0,6 mBq/L)	1×10^7 Ci (370 PBq)	5×10^6 Ci (190 PBq)	2×10^7 Ci (740 PBq)
Karbon 14	0,135 pCi/L (5 mBq/L)	8×10^7 Ci (3 EBq)	4×10^7 Ci (1,5 EBq)	$1,8 \times 10^8$ Ci (6,7 EBq)
Rubidyum 87	28 pCi/L (1,1 Bq/L)	$1,9 \times 10^{10}$ Ci (700 EBq)	9×10^9 Ci (330 EBq)	$3,6 \times 10^{10}$ Ci (1300 EBq)

3.7.2. Sularda belirlenen radyoaktivite limitleri

Radyoaktivite limit belirleme işlemleri ilk olarak insanların faydalandığı kaplıca sularında yapılmıştır. Bu çalışmalar neticesinde elde edilen verilere bakılarak radyasyonun canlılar üzerindeki biyolojik etkileri ICRP tarafından yeni çıkarımlara ulaşılmasına vesile olmuştur (International Commission of Radiological Protection, 1977). Bunun sonucunda radyasyona dair bir eşik doz değeri saptanmamış ve ilgili bölgede yaşayan halkın küçük miktarlarda da olsa sürekli olarak radyasyona maruz kalması uzun vadede sağlık bozucu bir etken olarak belirlenmiştir. Bu nedenle insanların küçük dozlarda da olsa maruz kaldıkları radyasyon değerlerini tayin etme işlemlerine yoğunlaşmıştır (OECD Nuclear Energy, 1979).

EPA ve WHO'ya göre içme sularındaki tavsiye edilen alfa radyoaktivite değeri 0,5Bq/L, beta aktifliği için ise 1.0Bq/L olarak belirlenmiştir (WHO, 2011). İçme suları için belirlenen bu değerler ise ülkemiz standartlarına uygun bulunup 1984 yılında aynen kabul edilmiştir. Kabul edilen rapor numarası TS-226'dır. İçme sularındaki Alfa ve Beta Radyoaktivite limitleri Çizelge 3.5 ve Çizelge 3.6'da verilmiştir (WHO, 2011).

TEÜL: Tavsiye Edilmiş Üst Limit Sınırı

MEÜL: Müsaade Edilmiş Üst Limit Sınırı

Çizelge 3.5. İçme sularındaki alfa ve beta radyoaktivite limitleri (WHO, 2011).

Radyoaktivite	Dünya Sağlık Örgütü (WHO)			TSE	İSKİ
	TEÜL 1984	TEÜL 1971	MEÜL 1971	MEÜL 1984	MEÜL 1984
Toplam Alfa	0,1 Bq/l	0,11 Bq/l	0,37 Bq/l	0,1 Bq/l	0,1 Bq/l
Toplam Beta	1,0 Bq/l	1,10 Bq/l	3,70 Bq/l	1,0 Bq/l	1,0 Bq/l

3.7.3. Doğal radyasyon kaynağı radon

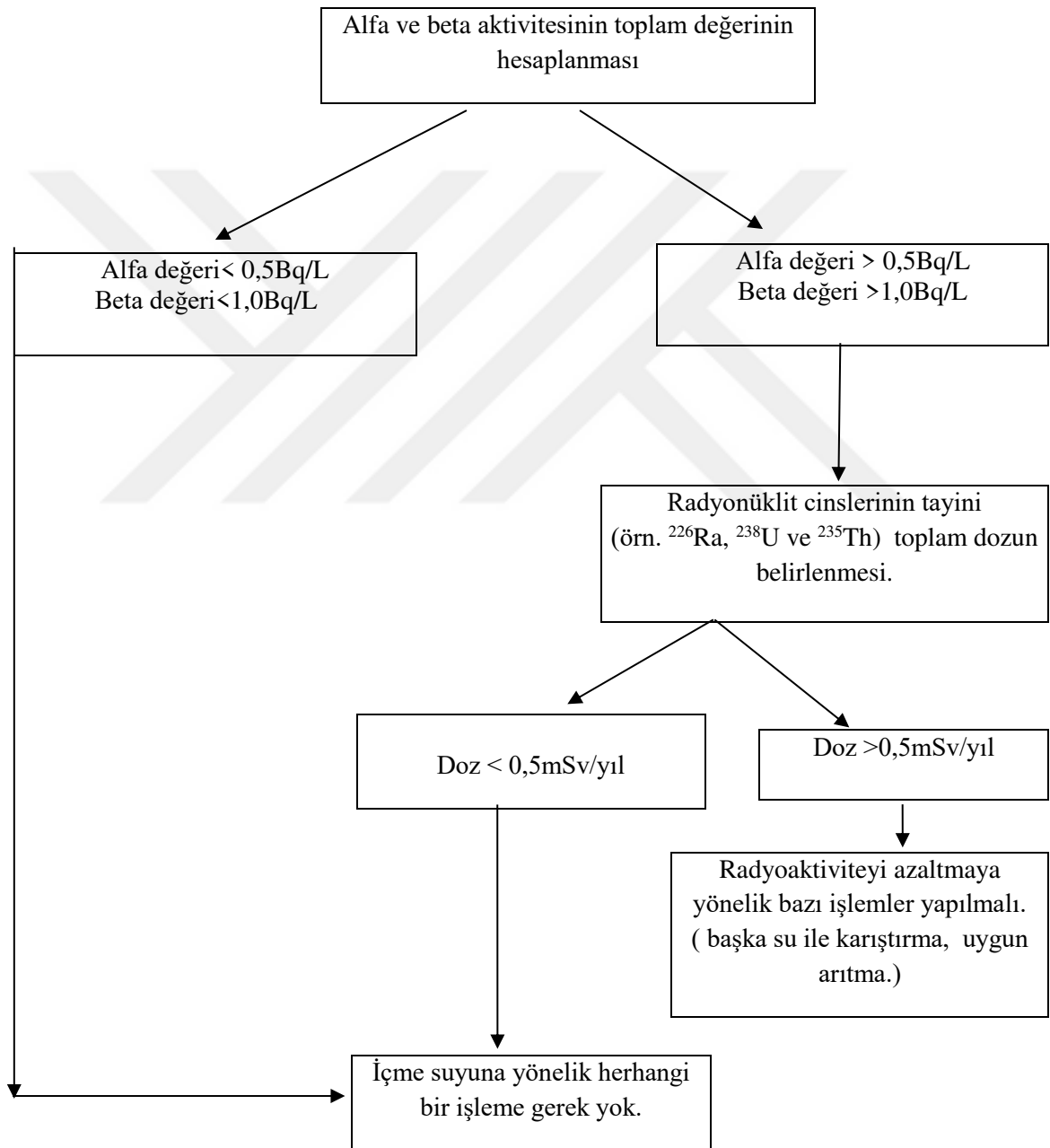
Radon elementi atom ağırlığı 222 ve atom numarası 86 olmakla birlikte renksiz, kokusuz, tadı algılanmayan ayrıca gözle görülemeyen bir soy gazdır. Radon 3,82 gün yarı ömre sahiptir, ayrıca hidrojen gazı ve havadan ağırlık olarak daha fazladır (BEIR VI, 1999).

Radonun üç tane doğal radyoaktif izotopu vardır. Bunlar kütle numaraları sıra ile verilen 219, 220, 222 olan aktinon, toron ve radon'dur. Aktinon (^{219}Rn) izotopunun yarı ömrü 3,96 s, toron izotopunun yarı ömrü 55,6 s ve radon izotopunun yarı ömrü 3,82 gündür. Yarı ömürlere bakıldığında toron ve aktinonun yarı ömürleri saniyeler mertebesinde olduğundan dolayı ayrıca doğada bulunma olasılıkları da çok düşük olduğu için asıl element radon olarak geçmektedir (Durrani ve Ilic, 1997).

Radon toprak, çimento, taş, yer altı suları ve yapı malzemelerinde doğal olarak bulunmaktadır. Ayrıca gaz olduğu için bulunduğu ortama rahatça yayılabilmekte ve renksiz, kokusuz olduğu için fark edilmesi de oldukça güçtür. Dolayısıyla yer altı çatlaklarından kolaylıkla doğaya ve de atmosfere yayılmaktadır. Radon gazının kolayca atmosfere geçebilmesi bazı değişkenlere bağlıdır bu değişkenler şu şekilde sıralanabilir; toprak kirlilik oranı, topraktaki gözenek miktarı, toprak yapısı, toprağın nemlilik miktarı, toprağın su geçirgenliği ve toprağın hava geçirgenliği. Araştırma yapılan bölgenin jeolojik alt yapısına bakıldığında şayet kayalar da kırıklar var ise veya bölge toprağı fazla kurak ise topraktaki kırılma miktarı daha çok olacak ve atmosfere sızan radon miktarında artış gözlenecektir. Gerçekleştirilen bazı çalışmalarda atmosfere sızan radon gazı düzenli aralıklarla ölçülmüştür. Bazı zaman dilimlerinde radon

gazında belirgin bir artış görülmüş ve bu artışın ölçüldüğü bölgeler genellikle kırıklı yer yapısı ve fay hattına sahip olan bölgelerdir. Ölçüm sonuçları atmosferdeki radon gazı artışının doğrudan gerçekleşen depremlerle ilgili olduğunu ortaya koyan çalışmalar da mevcuttur (Otton vd, 1995).

Çizelge 3.6. Toplam alfa ve beta aktivitesinin belirlenmesi.



Elde edilen sonuçlar WHO (2011)'in verileriyle kıyaslanarak şayet radyoaktivite değeri toplam alfa ve toplam beta konsantrasyonundan az ise içme suyu kullanıma uygundur fakat bu konsantrasyon daha fazla ise içme suyu kullanıma uygun değildir. Bu durumda ise radyoaktivitenin kaynağı saptanmak üzere çalışmalar yapılarak bu kaynağın ise limit değerlerin ne kadar üzerinde olduğu tespit edilir. İçme suyuna uygun hale getirebilmek için radyoaktivite değerini azaltmak için çalışmalar yapılabilir. Radyoaktivite değeri mevsimlere göre değişkenlik gösterir. Dolayısıyla tüm yıl dikkate alınarak ortalama doz hesaplanmalı ve karar buna göre verilmelidir (Dilaver vd., 2002).

Radon sulara çözülebilir. Radon gazı radyoaktif bir soygazdır. Havadan yaklaşık sekiz kat ağırdır. Radon ve bozunum ürünleri alfa radyasyonu ile yayılır. Özellikle P_{0-214} ve P_{0-218} yüksek enerjili alfa radyasyonu yayılır. Radon ve bozunum ürünleri solunduğu zaman akciğerler için risk oluşturur. Sigaradan sonra akciğer kanserinin ikinci nedeni olarak bilinir. Suda çözünme özelliğinden dolayı da mide ve sindirim sistemi ekstra radyasyona maruz kalır ve kanser riski oluşturmaktadır (UNSCEAR REPORT, 2000).

4. NaI(Tl) DETEKTÖRÜNÜN YAPISI VE ÇALIŞMA PRENSİBİ

1948’de yapılan çalışmayla ilk kez Robert Hofstadter içerisinde erimiş talyum iyodür eklenmiş halde bulunan sodyum iyodür kristalini açıklamıştır. Üretilen çok büyük sintilasyon ışığı çıktısı modern olan organik malzemeler ile kıyaslanmıştır. Bu keşif ise bu alandaki çalışmaları yoğunlaştırarak gama radyasyonu sintilasyon spektrometresinin kullanımını yaygınlaştırarak arttırmıştır. Yapılan sintilasyon çalışmaları son dört yüz yıl içerisindeki en detaylı ve faydalı çalışmalardır. Büyük parçalar (külçeler) yüksek oranda saflıkta sodyum iyodürün içerisinde aktivite edici olarak 10^{-3} mol civarında talyum eklenip üretilmektedir. Sintilatörler ise yüksek oranda sıkıştırılıp veya farklı şekillerde küçük kristaller ile birlikte üretilmektedir. NaI(Tl) belli bir süre havayla temas eder ve nemlenirse su emilimi sonucunda sağlıklı sonuçlar veremeyebilir, bozulabilir. Bu nedenden dolayı kristallerin hava ile olan ilişkisi kesilerek kutuya kapatılmış olmalıdır (Knoll, 2010).

Yapılan son çalışmalardan bu yana sintilasyon detektörleri (farklı kristalleri olan), özellikle NaI(Tl) detektörü, mühim fiziksel deneylerde rol almıştır. Bu deneylerden bazıları pozitronyumun (e^+ , e^- atom), Pound ve Rebka’nın yerçekimsel kırmızıya kayma deneyi müonları, Mossbauer spektroskopisi, pozitron yayımlayıcı tomografinin (PET) ve astronomik gama ışını patlamalarının keşfini kapsamaktadır.

NaI(Tl)’nin keşfi tesadüf veya kazara gerçekleşmemiş olup aksine akıl yürütme ve yolunda giden şans büyük etken olmuştur. Sintilasyon’a 19.yy’ da epeyce hakim olunmuş ve yine bu yüzyılda Rutherford yaptığı alfa saçılması deneyinde ZnS(Ag) kristallerini kullanma yoluna gitmiştir.

Sintilatörler sıvı, gaz ve kristal halde bulunabilmektedirler. Hofstadter’in 1948’de NaI(Tl) detektörünü keşfetmesiyle gama algılama sintilatörleri geliştirilmiştir. Hofstadter, naftalin kristalini kullanarak Hartmut Kallmann’ın uyguladığı tekniği uygulamıştır. Bu teknikte detektörün foto çoğaltıcı tüpünün önüne yerleştirilen sintilasyon malzemesinin kristalle etkileşen gama ışınları ile herhangi bir ışık üretilmesi olayıdır. Hofstadter, Alman araştırmacıların yapmış olduğu alkali-halit kristallerinin ışıltamasıyla yazılmış olan makaleleri irdelemiş ve NaI üzerine yoğunlaşarak çalışmaya karar vermiştir. Çünkü NaI hakkında bilinen bilgiler oldukça kısıtlıdır ve kristal güçlü şekilde soğurma gerçekleştiriyor ayrıca foto çoğaltıcı tam etkin olarak algılama gerçekleştiremediği dalga boyu bölgesinde bir ışık yayımladığı biliniyor. Çeşitli kristal tozlarının sintilasyon testlerinin karşılaştırılması

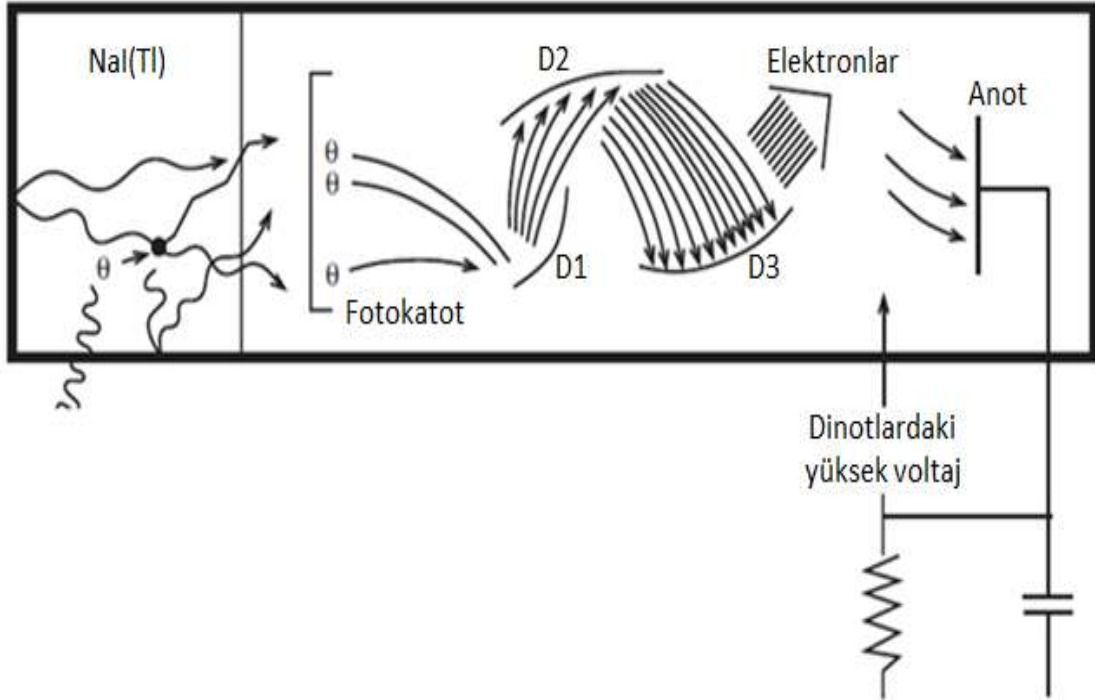
sonucunda, NaI(Tl) kristallerinin diğer kristallere göre daha etkin olduğu sonucuna varılmıştır (Peterson, 1996).

NaI(Tl)'nin en belirgin özelliği onun iyi derecede ışık vermesidir. Detektörün elektronlara ve de gama ışınlarına karşı olan reaksiyonu nedeniyle önemli enerji çeşitliliği gözlenmesine neden olmaktadır. Bu, normal sayılan bir gama ışını spektroskopisi için standart sintilasyon malzemesi olarak uygun kabul edilebilir. Çeşitli boyutta ve şekilde üretilir. Kristaller oldukça kırılgan olurlar ve mekanik, ısı şoku ile kolaylıkla zarar görebilirler (Knoll, 2010).

NaI yalıtkan olan bir kristaldır, yani valans bandındaki doluluk ile iletim bandındaki boşluğun enerji ayrımının büyük oluşu bu şekilde ifade edilir. Gama tarafından üretilmiş olan bu enerjiye sahip elektronlar kristal içerisinde diğer elektronlar ile çarpışarak üretilmiş olan boşluk-elektron çiftlerinin enerjilerinin yok olmasına vesile olurlar. Bu boşluk-elektron çiftlerinin yeniden birleşmesi durumu örgü titreşimlerindeki ısı şeklinde ışık yayılımı ile son bulur. (Peterson, 1996).

4.1. Fotoçoğaltıcı Tüp

Rutherford ve arkadaşları çıplak gözleri yardımıyla ZnS fosforundan çıkan ışımaları görebilmişlerdir. Bireysel ışık çıkışlarını görebilmek imkansız olmamasına karşın oldukça zordur. 1930'lu yıllarda elektron akımını bireysel ışığa dönüştürebilen bir tüp icat edilebilmiştir. Ve akabinde bu tüp 1969-1970'lerde ancak televizyon kamerası olarak kullanılmaya başlanabilmiştir. NaI(Tl)'deki ışımaları gözlemleyebilmek için bu tüp kullanılmıştır. Bu tipik bir foto çoğaltıcı tüptür, Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Fotoçoğaltıcı tüpün şeması (Peterson,1996).

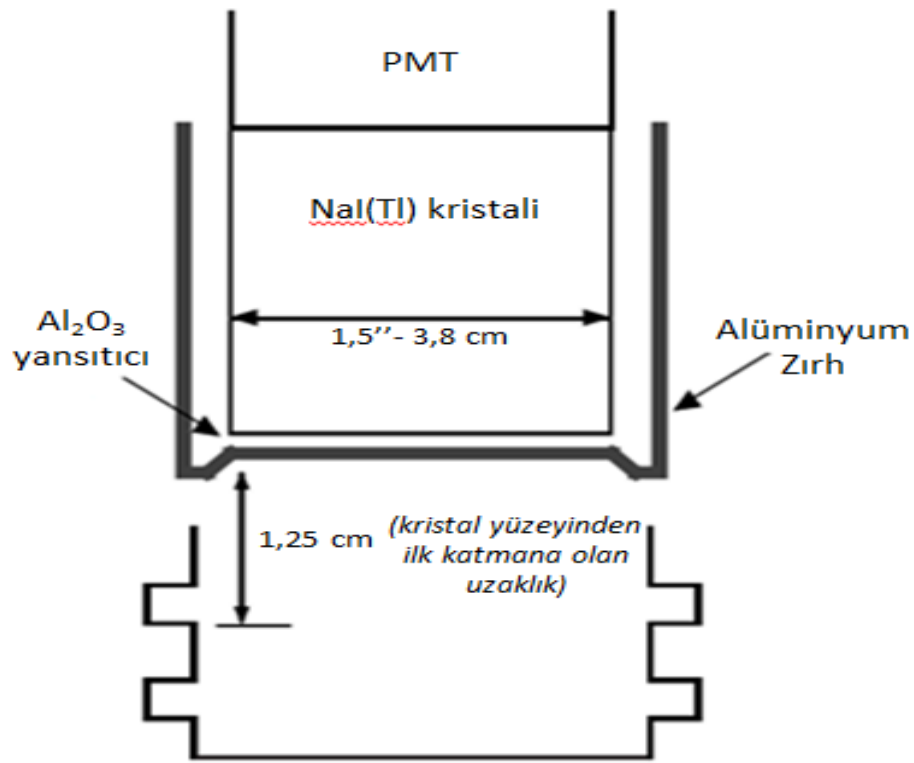
NaI(Tl) ışıdamaları için, dalga boyu menzili 415 nm dolaylarındadır. Foto elektron ilk dinot ve foto katot arasında hızlandırılarak, 10-100 eV aralığında kinetik enerji ile dinota çarpmaktadır. İlk dinotun yüzeyinde gerçekleşen çarpışmada olay elektronu için birkaç elektron üretilmektedir. Bu elektronlar ikinci dinota hızlandırılır, bu zaman zarfında son elektronlar anotta toparlanana dek her bir dinotta olay tekrarlanır. Genel olarak çoğaltma faktörü 700-1000 Volt arasında potansiyel fark uygulandığında artar.

Foto çoğaltıcı tüpte gerçekleşen bütün olay fotonlarının %20'si foto katotta ancak bir elektron üretebilmektedir. İlk dinot ve anot tarafından toparlanan verim uygulanmış potansiyele bağlı olarak değişebilmektedir. Bireysel olan tüm dinotların potansiyeli direnç zinciriyle anot ve foto katot arasında dağılmış olan potansiyel farkı belirler. Bu direnç zinciri genel olarak foto çoğaltıcı tüpe bağımlı kaldırılabilir olarak yerleştirilip yeniden şekillendirilebilir. Bazı dirençler ise bir ya da daha çok potansiyelin dış ayarını yapabilmek için değişkenlik gösterir.

Anotta elektrik yüküne dönüştürülecek olan foton pulsunun sonlu zamana ihtiyacı vardır. Foto çoğaltıcı pulsta giriş pulsu ile çıkış pulsunun aynı olabilmesi için bozunma zamanındaki artışlar minimize edilebilir (Peterson, 1996).

Puls genişlik çözünürlüğü algılama sistemine bağlı olarak gama ışınları tarafından üretilen fotonların toplamıyla ilişkilidir. Talyum iyonları tarafından her yöne yayımlanan fotonlar foto çoğaltıcı tüpte ışığı oldukça yansıtmak için yansıtıcı teflon kullanırlar.

Foto çoğaltıcı tüpü dışsal olarak etkileyen manyetik alanlar, çoğaltma faktörünü ciddi şekilde farklılaştırılabilir (arttırabilir). Foto çoğaltıcı tüpü çevrelemiş olan manyetik koruma önemlidir. Detektörün tamamı foto çoğaltıcıya ışık geçmesini önlemek amacıyla alüminyum kılıfla çevrenir, Şekil 4.2’de verilmiştir (Peterson, 1996).



Şekil 4.2. Detektörün şematik diyagramı ve kaynak kabı (Peterson, 1996).

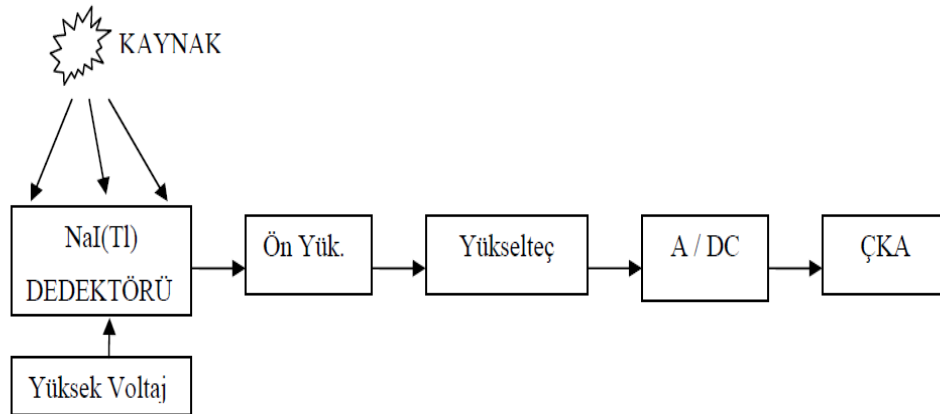
4.2. Elektronikler

Anot üzerinde toplanabilecek yük tek bir sintilasyon pulsundan olursa oldukça küçüktür. Bir ön yükselteç anot ve ön yükseltici arasındaki toplanan kapasitans üzerindeki yükü boşaltır. Ön yükselteç dediğimiz elaman voltajı anottan çıkış pulsuna dönüştürmek için kullanılır. Ön yükseltici puslar düşük birer direnç gibi davranır. Ön yükselticinin oluşturduğu çıkış voltajı ön yükselticinin girişine aktarılmış olan toplam yük ile doğru orantılıdır.

Ön yükseltici çıkışı genel olarak birkaç onluk volta sahiptir. Analog dönüştürücü üzerindeki giriş voltajı 0-8volt arasında kullanılmak üzere güçlendirilmiş olmalıdır.

Bu nedenle kullanılan yükselteçler voltaj pulsunun farklı bozunma zaman sabitini tanımlayan AC birleşimidir. Zaman sabiti en iyi puls yüksekliğine ulaşılabilir şekilde ayarlanır. AC birleşimi voltaj pulsunun sıfır olması şartıyla sonuç verecektir.

Çok kanallı analizörler pulsu genel olarak yükselten yapıdadırlar ve bu yükselen pulsları kayıt eden birçok dijital kanal vardır. Bu kanallar vasıtasıyla pulslar hafızaya alınırlar. Farklı kanallar farklı enerji seviyelerine karşılık gelirler (Peterson, 1996). Şekil 4.3’de NaI(Tl) gama spektroskopisi sistemi verilmiştir (Lim ve Abernethy, 2005).



Şekil 4.3. NaI(Tl) gama spektroskopisi sistemi (Lim ve Abernethy, 2005).

4.3. NaI(Tl) Detektörünün Çalışma Prensipleri

Radyoaktif kaynak vasıtasıyla oluşturulan radyasyonun detektör ile etkileşimi sağlanarak hapsedilen(soğurulan) enerjiyle orantılı şekilde akım darbesi oluşturulur. Oluşturulan bu akım puls yükselticiler kullanılarak voltaj pulsuna çevrilir(dönüştürülür),

şekillendirilir, yükseltilir ve de çok kanalı bulunan analizöre iletilir. Analizör yardımıyla sayısal hale çevrilen veriler çok kanallı analizöre bağlı uygun giriş/çıkış cihazı ile değerlendirilmek amacıyla dışarı alınır.

4.4. Yöntem

Çorlu ilçesi üzerinde yaşayan insan nüfusu göz önüne alınarak 11 farklı bölgeden toprak numunesi alınarak analizleri yapılmıştır. Örnek alma işlemi gerçekleştirilirken Ludlum detektörü kullanılarak havadaki gama radyasyonu dozu ölçülerek bununla birlikte numune alınan bölgelerin enlem, boylam değerleri de kaydedilmiştir. Ölçüm yapılırken detektör yerden 1m yüksekte tutulmuştur.

4.5. Toprak Numunelerinin Hazırlanması

Toplanmış numunelerin her biri kurutulduktan sonra 1 mm² aralıklı elek yardımıyla elenmiştir. Elenen toprak numuneleri hava almayacak şekilde tasarlanmış olan 1 litrelik marinelli beaker kaplara doldurularak hemen ardından hava almayacak şekilde kaplar kapatılmış ve kabın üzerine doldurulduğu tarih ve bölge ismi not düşülmüştür.

Paketlenen kaplar radyoaktif dengeye ulaşması amacıyla 30 gün boyunca bekletilmiştir. Bekleme süresi tamamlandıktan sonra her bir kaptaki numune için detektör yardımıyla 10000 saniye süreli ölçüm işlemleri gerçekleştirildi (Şahin vd., 2016).

4.6. Topraktaki Radyoaktivite Hesabı

Topraktaki ²³⁸U, ²³²Th, ⁴⁰K çekirdeklerinin radyoaktiviteleri hesaplanmıştır. E enerjisi ve kütle başına aktiflik Bq/kg biriminde hesaplanırken ifade şekli aşağıda belirtilmiştir:

$$A_{Ei} = \frac{N_{Ei}}{\varepsilon_E \cdot t \cdot \gamma_d \cdot M_s} \quad (4.1)$$

N_{Ei} = E enerjisine sahip pikin altında kalan alandaki pik sayısı

ε_E = E enerjisindeki dedekte etme verimi

t= sayım süresi

γ_d = E enerjisinde bir geçiş için belirli olan çekirdeğin gama ışıını bozunma olasılığı

M_s =Ölçüm işlemi gerçekleştirilen örneğin kg cinsinden kütlesi (Tzortzis ve Tsertos, 2003).

Radyoaktif bir çekirdeğin bozunma ürünlerine bakıldığında eğer birden fazla fotopik çıkıyorsa bunların ortalaması alınarak çekirdek aktivitesi olarak ifade edilir. (Tzortzis ve Tsertos, 2003).

Topraktaki ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K 'ın gama ışını bozunma olasılıklarıyla enerjileri çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K 'ın gama ışını bozunma olasılıkları ve enerjileri (IAEA, 2008).

Radyoaktif Çekirdek	Enerji (keV)	Bozunma Olasılığı (γ_d)
^{238}U (^{214}Pb)	295,2	18,28
^{238}U (^{214}Pb)	352	35,34
^{238}U (^{214}Bi)	1764,5	15,17
^{232}Th (^{212}Pb)	238,6	43,6
^{232}Th (^{212}Tl)	2614,5	99,79
^{40}K	1460,8	10,66

4.7. Topraktaki Radyoaktivite İçin Soğurulmuş Doz Hesabı

Doğal yollar ile oluşan radyoaktif çekirdekler eşit olarak katkılanırsa doz oranları D (nGy/h) biriminde aşağıdaki formül ile hesaplanır (Tzortzis ve Tsertos, 2003).

$$D = A_i \cdot C_F \quad (4.2)$$

D= Soğurulmuş doz

A_i = Ağırlıklı ortalaması alınan çekirdeğin radyoaktivitesi

C_F = Doz dönüşüm faktörü (Tzortzis ve Tsertos, 2003).

4.8. Radyoaktif Çekirdekler İçin Etkin Doz Hesabı

Bölgede yaşayan bireylerin maruz kalacağı etkin doz miktarı aşağıdaki formül ile hesaplanabilmektedir.

$$ADE = D \cdot 8760 \cdot 0,2 \cdot 0,7 \cdot 10^{-3} \quad (4.3)$$

ADE (μ Sv/y) = Yıllık etkin doz

D = Soğurulmuş doz

8760(saat) = 365,25(gün) x 24(saat) = Maruz kalma süresi

0,2 = Meşguliyet faktörü

0,7 (Sv/Gy) Dönüşüm Faktörü (UNSCEAR Report, 2000)

4.9. Havadaki Gama Radyasyonunun Ölçüm Hesabı

Her toprak örneği alınan noktada Ludlum detektörü yardımıyla havadaki gama radyasyon değeri ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları detektörden μ R/h biriminde okunmuştur.

Havadaki soğurulmuş doz birimi olan nGy/h birimine geçebilmek için μ R/h birimi için aşağıdaki dönüşüm kullanılmıştır.

$$1 \mu \text{ R/h} = 8,7 \text{ nGy/h}$$

Yıllık etkin doz ifadesinin hesabı için aşağıda verilen denklem kullanılmıştır.

$$YED (\text{hava}) = D \cdot 0,2 \cdot 0,7 \text{ Sv/Gy} \quad (4.4)$$

Burada D nGy/h birimindeki soğurulmuş dozdur, yıllık etkin dozun birimi Sv/Gy'dir (UNSCEAR Report, 1993).

5. ALPHAGUARD CİHAZININ ÇALIŞMA PRENSİBİ

Bu tez için radon konsantrasyonu ölçümlerinde AlphaGUARD PQ200PRO kullanılmıştır. ^{222}Rn 'den kaynaklanan radyasyonu ölçmek için kullanılan taşınabilir el detektörüdür. Alfa kaynaklı radyasyon maddeyi iyonize ettiği için kullanılan detektör buna uygun bir iyonizasyon odalı cihaz olarak tarif edilebilir. İyonizasyon odası silindir şekline benzemekle birlikte yapısında paslanmaz çelik bulunduran ve besleme gerilimi DC gerilimi 750 V olan sistem olarak açıklanır (Akyıldırım, 2005).

Detektörün toplam hacmi 0,62 litredir, fakat bunun ancak 0,52 litrelik bölümü verimli olabilecek şekilde kullanılabilir.

AlphaGUARD detektörü ile uzun zaman alan ölçümler yapmak mümkündür. Detektör ölçümler gerçekleşirken güç kaynağına direkt bağlanmalıdır. Buna alternatif olarak ise herhangi bir aksiliğe önlem olarak güç kaynağının arızalanması veya elektrik kesintileri için detektörde bulunan yüksek verimli pillerin yardımıyla belirlenen ölçüm ayarına bağlı olarak detektör 10 gün boyunca ölçüm yapabilmektedir. AlphaGUARD Şekil 5.1'de verilmektedir.

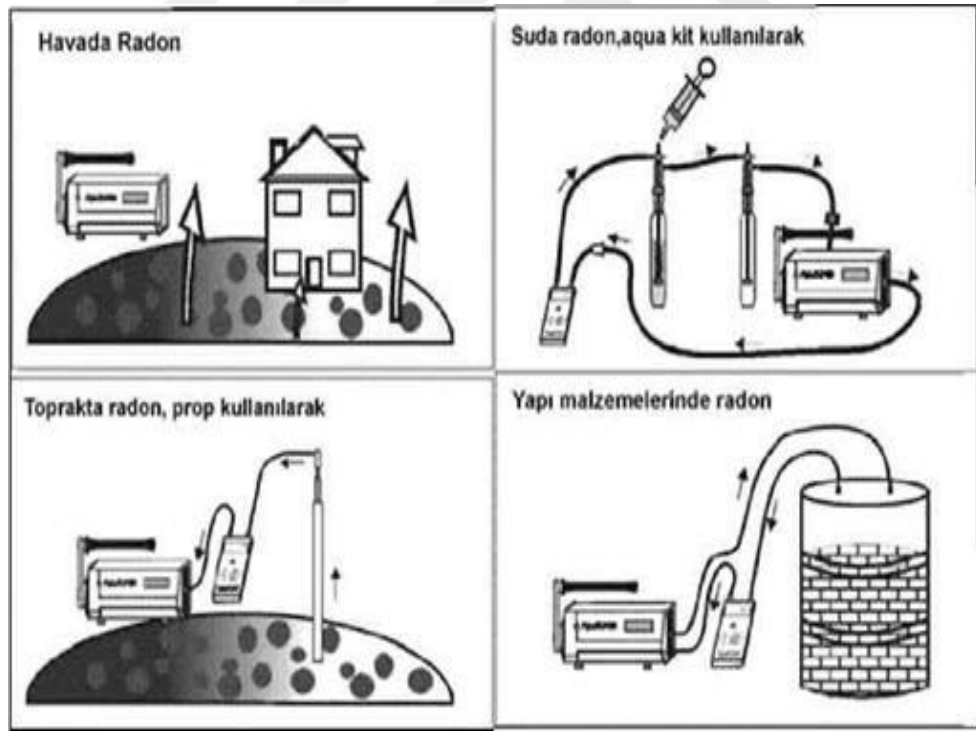


Şekil 5.1. AlphaGUARD PQ 2000PRO detektörü (Saphymo GmbH, AlphaGUARD el kitabı, 2014).

Radon konsantrasyonu ölçümleri AlphaGUARD detektörüyle $2-2.10^6 \text{ Bq/m}^3$ arasında yapılabilir. Aralığın bu kadar geniş olmasına karşın %3'lük kendisinden gelen mevcut bir doğruluk hata payı bulunabilmektedir.

Cihaz ile zamana ve amaca bağımlı olarak akış modu ile difüzyon moduyla beraber iki farklı biçimde ölçümler gerçekleştirilebilir. Zaman alan ve de devamlı olması istenen ölçmelerde difüzyon modu kullanılmaktadır. Detektör bu moddayken verileri 1 saat veya 10 dakikalık aralıklarla düzenli olarak kayıt eder. Akış modundayken ise durum biraz farklıdır. Verileri kaydetme aralığı 1 dk yada 10 dk olarak ayarlanır. Bu modun avantajı ise daha az sürede daha fazla veriye ulaşmak için kullanılır.

AlphaGUARD cihazıyla topraktaki, havadaki, sudaki ve hatta bazı yapı malzemelerinin radon konsantrasyonu belirlenmektedir. Havada gerçekleştirilen radon ölçümlerinde ek olarak ekipmana ihtiyaç duyulmaz fakat su, yapı malzemeleri ve topraktaki radon konsantrasyonunu ölçerken ek olarak ekipman kullanmak gerekir. Bu ekipman şekil 5.2’de gösterilmiştir. Ek olarak AlphaGUARD radon konsantrasyonu eş zamanlı şekilde sıcaklık $-15 - +60$ °C aralığında ve atmosfer basıncı ise 800 – 1050 mbar aralığında ayrıca nem oranı ise % 0-% 99 rH aralığında olmalıdır. Bu şekilde 3 ayrı parametreyi de ölçebilmektedir.



Şekil 5.2. AlphaGUARD ile hava, su, toprak ve yapı malzemelerinde radon ölçümü.

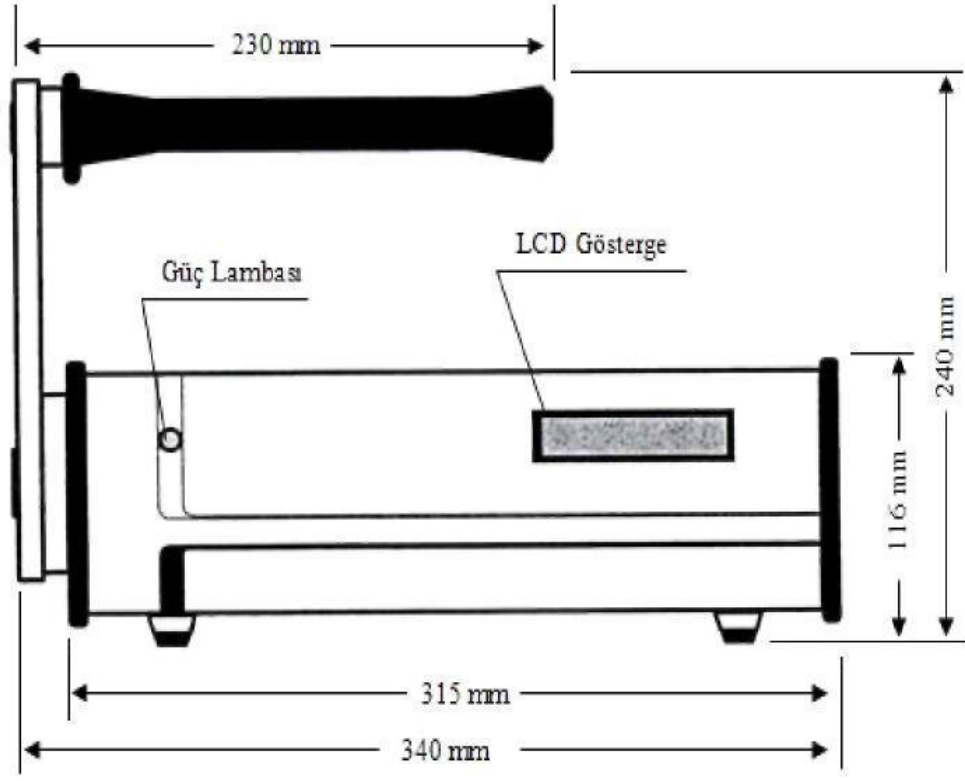
AlphaGUARD geniş bir bilgi toplama detektörü olmakla birlikte toplanan bu verilerin kayıt altına alınması açısından önemli bir işleve sahiptir. Derlenen verilerin yorumlanması maksadıyla detektör veri yorumlama yazılımıyla eşzamanlı olarak çalışır.

Ayrıca numune alınan alanda aktif şekilde ölçümler yapılırken bu ölçümlerdeki değişimleri gözlemleyebilmek için detektör bilgisayara bağlanabilir.

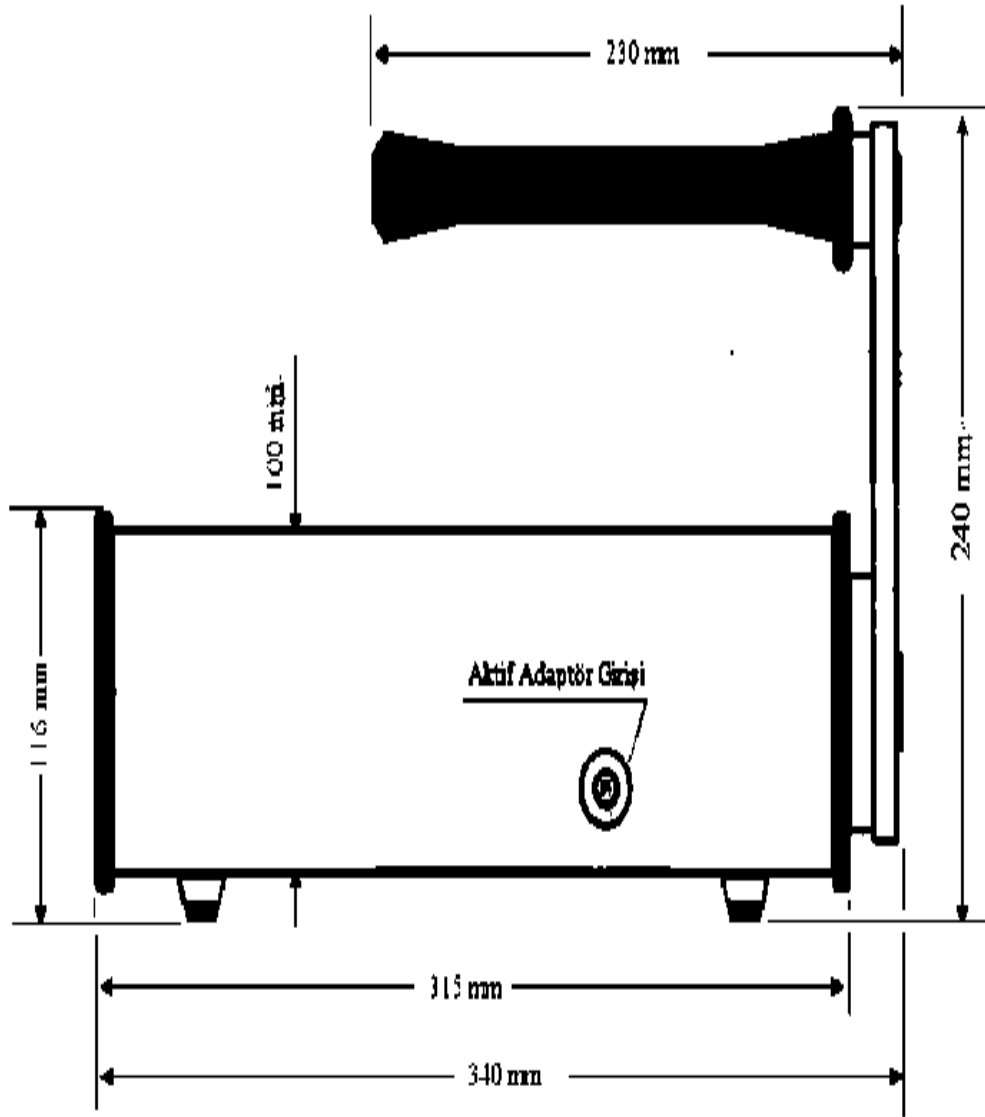
AlphaGUARD havayı emme pompası yardımıyla detektör iyonlaşma odasına çeker. Emme neticesinde ise iyonlaşma odasına giren ^{222}Rn iyonizasyona yol açarak elektrik sinyalleri oluşmasını sağlar. Emme olayı devamlı gerçekleşirken açığa radonun ek ürünleri de çıkar bu ürünleri ise filtre plakasının diğer bir yüzüne yerleştirilen alfa hassasiyetli TN-WL-02 yardımıyla hesaplanır (Akyıldırım, 2005). Yapılmış olan ölçümlerin tamamında elde edilen veriler yani oluşturulan sinyaller AlphaGUARD PQ 2000PRO detektörünün Counter-Module sayan bölümüne TTL olarak iletilir ayrıca detektörün kalibrasyon verileri de kullanılarak yazılım yardımıyla mantıklı verilere çevrilir.

5.1. Detektörün Dış Yapısı

AlphaGUARD detektörünün kullanışlı olması açısından bileşenleri oldukça dayanıklı olan Alüminyum metalinden yapılmıştır. Aşağıda belirttiğim şekillerde AlphaGUARD detektörünün farklı boyutlardaki görünüşleri verilmiştir. Cihazın ön kısmında iki ayrı LCD gösterge ve de güç lambası yer almaktadır. Şekil 5.3’de AlphaGUARD cihazının ön görünüşü verilmiştir. Şekil 5.4’de ise AlphaGUARD cihazının arka görünümü verilmiştir.

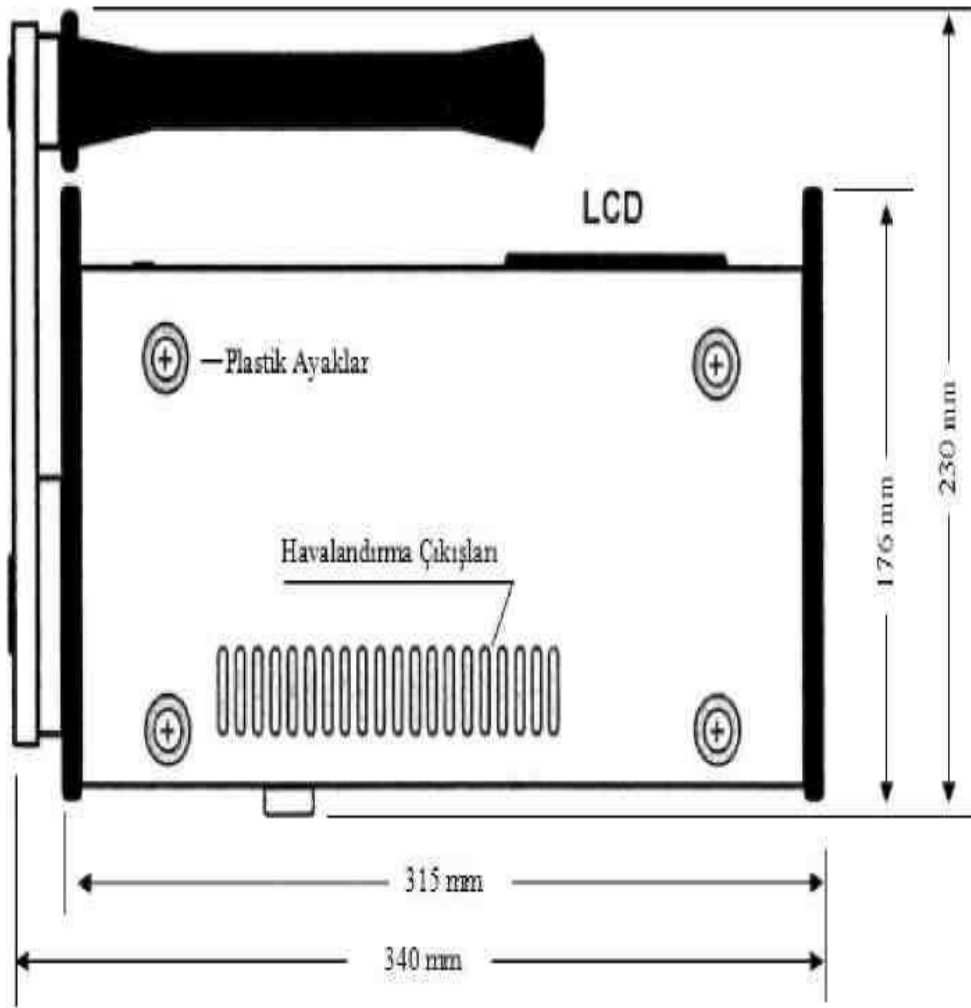


Şekil 5.3. AlphaGUARD cihazının ön görünüşü ve boyutları (Saphymo GmbH, AlphaGUARD el kitabı, 2014).



Şekil 5.4. AlphaGUARD cihazının arka görünüşü ve boyutları (Saphymo GmbH, AlphaGUARD el kitabı, 2014).

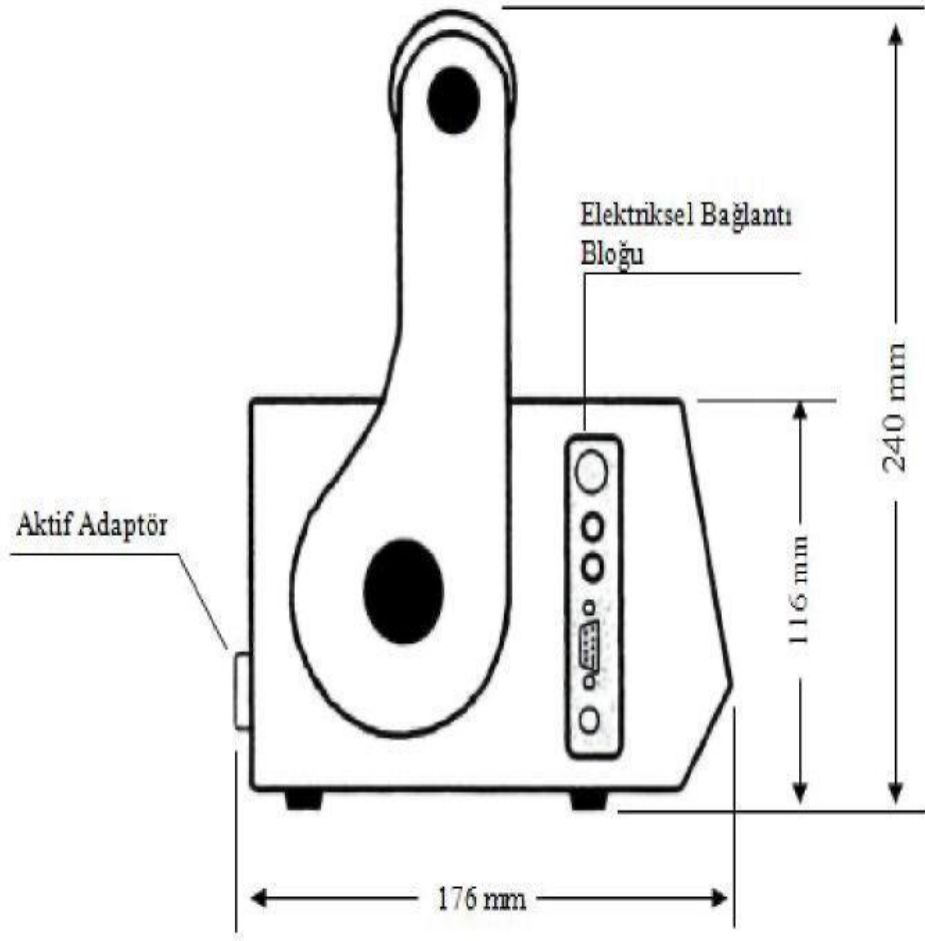
Cihazın ardında bir vida deliği bulunmaktadır, bu vida yuvası iyonizasyon odası ile etkin olan hava pompası arasındaki bağlantıyı sağlamakla birlikte detektöre hava girişi buradan olmaktadır. Cihazın kullanışlılığı açısından detektörün en önemli kısımlarından biri olarak söylenebilir. AlphaGUARD detektörünün şekillerde görüldüğü gibi ön ve arkada bulunan aksamaları ebat olarak farklılık göstermektedir. Dedektörün alttan görünüşünü de Şekil 5.5'te gösterilmiştir.



Şekil 5.5. AlphaGUARD cihazının alttan görünüşü ve boyutları (Saphymo GmbH, AlphaGUARD el kitabı, 2014).

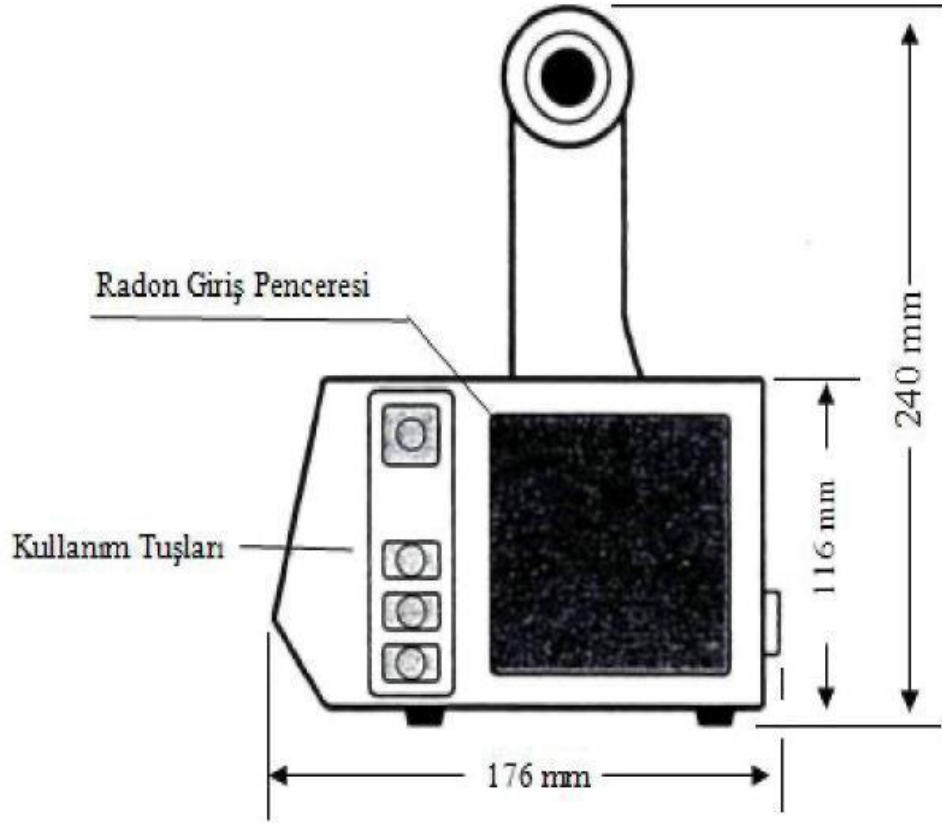
Detektörün aşağı kısmında bulunan alüminyum gövde yerle temas etmesin diye burada iki adet plastik ayak bulunmaktadır. Ayrıca havalandırma çıkışlarında burada bulunmaktadır. Ek olarak burada bulunan fan yardımıyla zaman alan ölçümlerde hava akımı yine buradan sağlanarak cihazın ısınması engellenmektedir (Akyıldırım, 2005).

AlphaGUARD detektörünün taşıma kolu tarafında elektrik bağlantıları yer almaktadır. Burada harici sensörün bağlantısı için soket ve 2 tane 4mm'lik soket yer almakla birlikte PC bağlantısını sağlamak için bir adet adaptör girişi yer almaktadır (Şekil 5.6).



Şekil 5.6. AlphaGUARD cihazının sol yandan görünüşü ve boyutları (Saphymo GmbH, AlphaGUARD el kitabı, 2014).

Detektörün sağ kısmında ise kontrolü sağlamak amacıyla bulunan tuş takımı Şekil 5.7'deki gibidir.

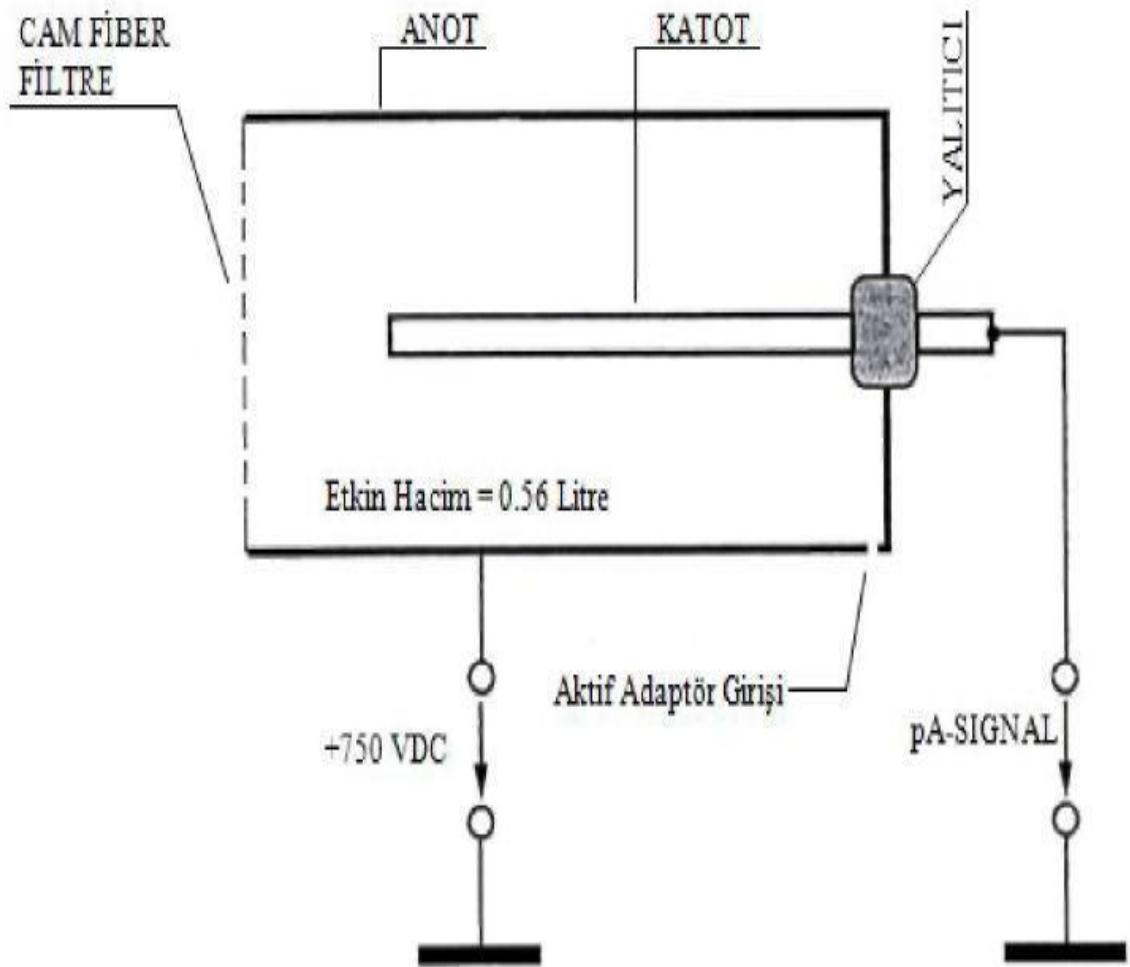


Şekil 5.7. AlphaGUARD cihazının sağ yandan görünüşü ve boyutları (Saphymo GmbH, AlphaGUARD el kitabı, 2014).

5.2. Detektörün İç Yapısı

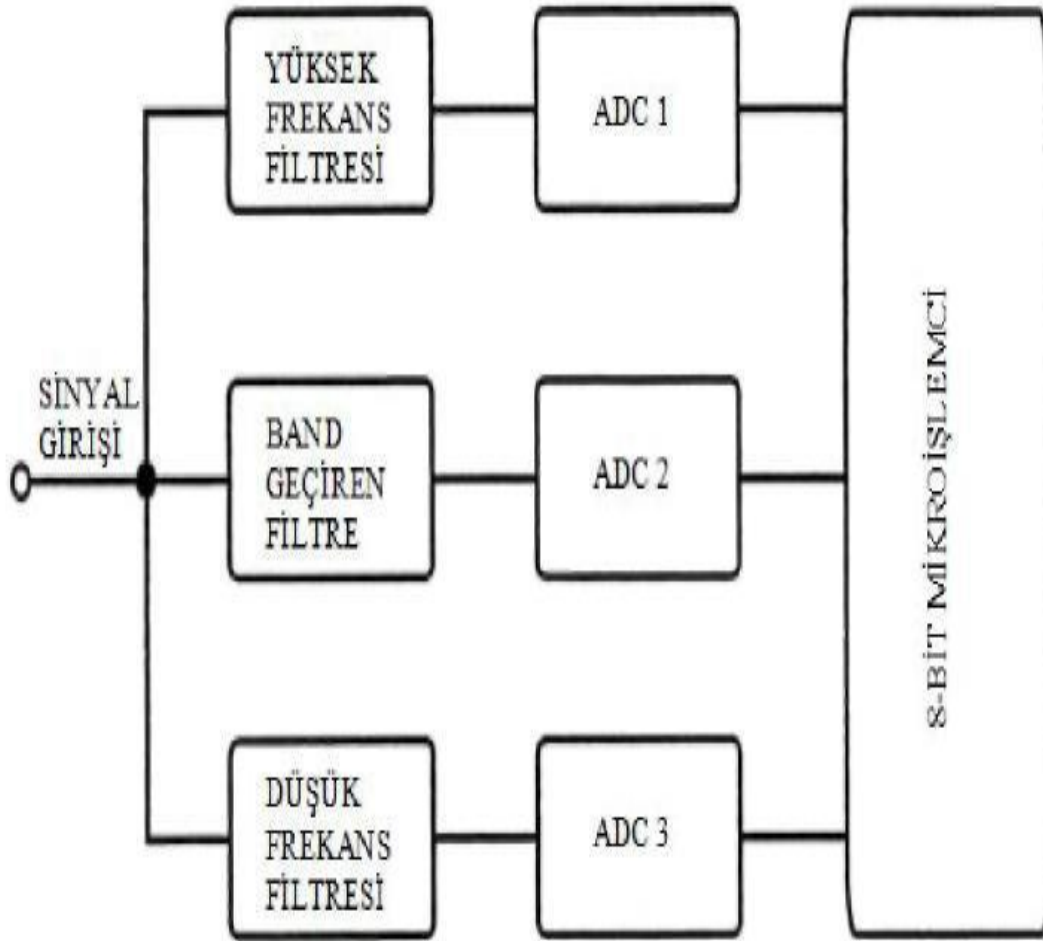
Cihazın içeriğinde alüminyum korumasının alt kısmında ölçüm yapılmasını gerçekleştiren detektör ve detektörden ulaşan sinyalleri irdeleyerek, anlamlandırıp sayısal verilere çeviren işlem bölümü burada bulunmaktadır.

AlphaGUARD detektörüne hava girişi iyonizasyon çemberi içerisinde bulunan filtre yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Bu kısımda radon bozunum ürünlerinin içeri girmesi engellenir ve yalnızca gaz haldeki ^{222}Rn 'nin geçişine izin verilir. Ayrıca filtre burada tozların birikerek kirlenme meydana getirmesini de engellemektedir. AlphaGUARD'a ait iyonizasyon çemberi Şekil 5.8'de ki gibidir.



Şekil 5.8. AlphaGUARD detektörünün iyonizasyon çemberinin gösterimi (Saphymo GmbH, AlphaGUARD el kitabı, 2014).

AlphaGUARD'ın elektronik birimi detektör tarafından dönüştürülen elektrik sinyallerinin işlenmesinde görev alan bölümdür. Sayısal işlemler birimi birbiri ile bağımsız olan 3 ayrı bölümden oluşmaktadır. Her kanalın kendine has dijital dönüştürücüsü vardır. Böylelikle devreye gelen 3 ayrı sinyal aynı zamanda anlamlandırılarak tahlil edilebilmektedir. Bu birime ait bölüm Şekil 5.9'da verilmektedir.



Şekil 5.9. AlphaGUARD'ın sinyal işleme biriminin blok diyagramı (Saphymo GmbH, AlphaGUARD el kitabı, 2014).

İlk kanal detektörün spektroskopik kanalıdır. Bu kısımda sinyaller hem atma derinliğine göre hem de atma şekline göre anlamlandırılır. Anlamlandırılan veriler kısa zaman aralıklarıyla örneklendirilerek detektör devresinin son kısmı olan kontrol birimi yardımıyla işlenir.

İkinci kanalda ise yalnızca yüksek radon seviyelerinde devreye girer. Burada akım seviyesindeki iyonizasyon ölçülmektedir.

Üçüncü kanalda ise doğru akım ölçümü gerçekleştirilmektedir (Akyıldırım, 2005). Tüm bu işlemler neticesinde gerçek olan radon yoğunluğu belirlenerek her radon değeri 50 milyon matematiksel işlem ile sonuca bağlanır (Akar, 2010).

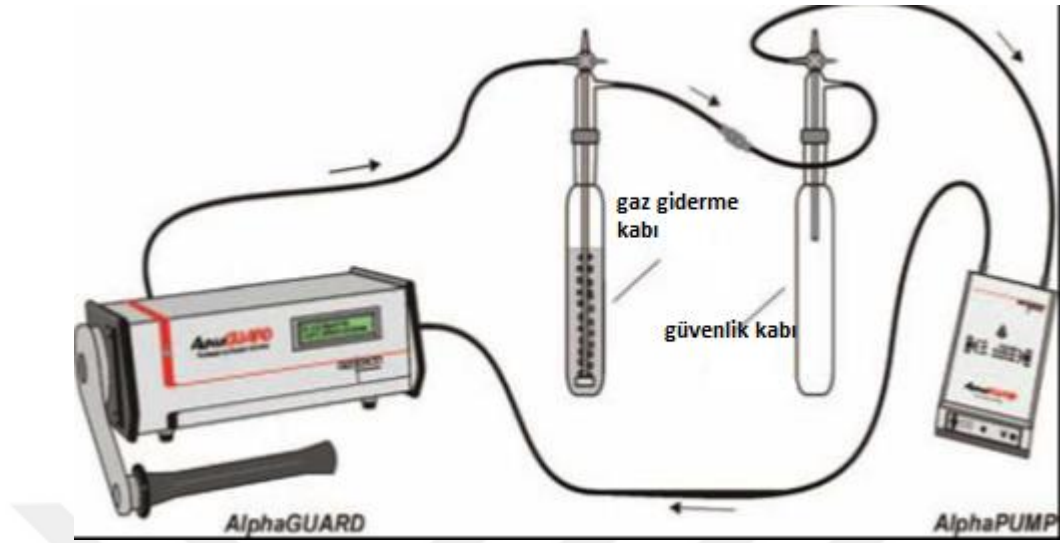
5.3. Yöntem

5.3.1. Numune alma

Numune alırken 500 mililitrelik plastik kaplar kullanılmıştır. Kaynaklardan su temin edilmeden önce su yaklaşık olarak 5 dakikalık bir süreç boyunca akıtılmış böylelikle temiz su örneği alınmıştır. Temiz su örneği alımı tamamlandıktan sonra kaptaki su ağzına kadar gelmiş ve radon gazının çıkışını engellemek amacıyla şişelerin her birinin kapağı su halen akarken kapatılmıştır. Alınan su numuneleri 30 dakika içerisinde detektöre götürülerek ölçümler gerçekleştirilmiştir.

5.3.2. Numunelerin ölçümü için detektörün hazırlanması

Suda bulunan radon gazının belirlenmesi için detektöre ek aparat kullanılmıştır. AquaKIT pompa ile detektörden oluşan sistem Şekil 5.10'da verilmiştir.



Şekil 5.10. Sudaki radon ölçümü için kullanılan düzenek.

5.3.3. AlphaGUARD PQ 2000PRO Detektörü ile Sudaki Radonun Ölçümü

- 1) Şekilde verilen ölçüm düzeneği kuruldu.
- 2) AlphaGUARD detektörünün ölçüm aracı açılarak ve ölçme ayarı olarak “1 min FLOW” seçilir. Böylece kısa süreli bir dakikalık aralıklarla ölçümler kaydedilebilir.
- 3) Arıtma şişesini doldurmadan evvel ortamda boş şişe ile 10 dakikalık ölçüm gerçekleştirilir. Bu ölçüm değeri doğal fon değeridir(C_0 değeri).
- 4) Arıtma şişesinin başlığı ve güvenlik şişesinin başlığı saat 3’e gelecek şekilde çevrilir.
- 5) Tüp, ölçüm yapılacak olan su numunesiyle doldurulur.
- 6) Doldurulan tüp bağlantının baş kısmına takılmak suretiyle su numunesi yavaşça doldurulur.
- 7) Arıtma şişesinin ve güvenlik şişesinin başlıkları hızlıca biçimde saat 6 yönünde çevrilir.
- 8) Ardından plastik enjektör arıtma şişesinin bağlantı başlığından ayrılır.
- 9) Pompa 0.3 L/min seviyesine ayarlanarak açılır ve ölçüm başlatılır.
- 10) 10 dakika süren bir döngü işlemi sonucunda pompa kapatılır fakat detektörün 20 dakika daha radon ölçümünü gerçekleştirebilmesi için açık kalması gerekir.

11) Ölçümü yapılan numune şişesi boşaltılarak düzenek tekrardan kurulur. Detektörün arka kısmında bulunan tüp bağlantısı kesilir.

12) Ardından ölçüm düzeneğinin kurumuyla birlikte düzenek ortam havasıyla temizlenir.

13) Ölçüm düzeneğinin temizlenme işlemi radon konsantrasyonu ile ortamın radon konsantrasyonu eşitleninceye dek devam eder. Bunun neticesinde yeni bir ölçüm için işlemler tekrardan başlatılır.

14) Ölçüm müddetinde numunelerden elde edilen verilerin yorumlanabilmesi için AlphaGUARD bilgisayara bağlanır ve analiz programı yardımıyla (DATA EXPERT) veriler yorumlanır (Akar, 2010).

5.4. Sudaki Radonun Hesaplanması

Ölçüm sonucunda AlphaGUARD cihazından elde ettiğimiz veriler suyun içerisinde ki gerçek radon konsantrasyonunu göstermemektedir. Bunun nedeni ise radonun cihaz içerisinde az da olsa hava ile sürüklenmesinden dolayı havanın bu değere katkısı vardır. Bu katkıdan dolayı radon konsantrasyon hesabı aşağıdaki formül ile yapılmaktadır.

$$C_{water} = \frac{C_{air} \left(\frac{V_{system} - V_{sample}}{V_{sample}} + k \right) - C_0}{1000} \quad (5.1)$$

Burada,

C_{water} : Alınan su örneğindeki radon konsantrasyonu (Bq/L);

C_{air} : Ölçüm sonunda cihazda belirlenen yoğunluk değeridir (Bq/m³);

C_0 : Doğal fonun yoğunluğu (Bq/m³);

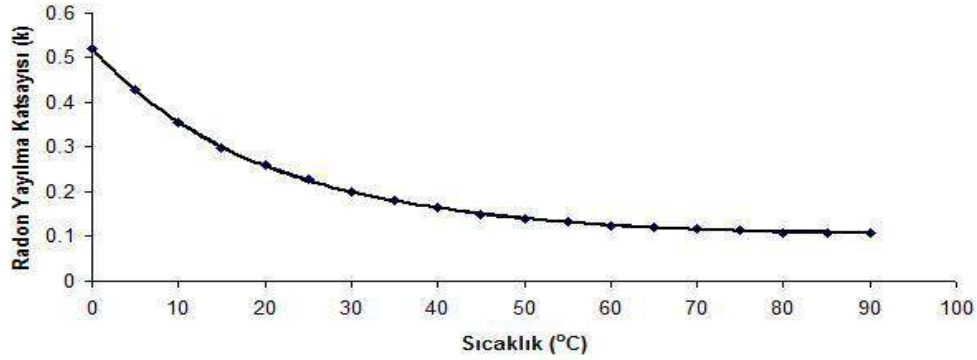
k : Radon yayılım katsayısı;

V_{sample} : Su örneğinin hacmi (mL);

V_{System} : Ölçüm düzeneğinin toplam hacmi (mL).

(k) Radon yayılım katsayısı sıcaklıkla ters orantılı olarak değişmektedir. Sıcaklığın artmasıyla k değeri azalmaktadır. k , radonun sıvı fazındaki kontrasyon değerinin gaz fazındaki

kontrasyon değerine bölümü şeklinde tanımlanır. Radon konsantrasyonunun sıcaklık değişim grafiği şekil 5.11’de verilmiştir.



Şekil 5.11. Radon katsayısının sıcaklıkla değişim grafiği.

5.4.1. Ortalama radon konsantrasyonu hesaplanması

Her bir su kaynağı için farklı zaman dilimlerinde belli aralıklarla üç su numunesi alınarak ortalamalarıyla hesaplama gerçekleştirildi. Bu hesaplama aşağıdaki denklem ile yapıldı.

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^N \frac{X_i}{N} \quad (5.2)$$

5.4.2. Standart hata hesaplaması

Ortalama radon konsantrasyon hesabını gerçekleştirdikten sonra karışan hata payını bulmak için aşağıdaki standart sapma denklemini kullanıldı.

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N-1}} \quad (5.3)$$

Standart sapma belirlendikten sonra ölçüme karışan standart hatayı bulmak için;

$$S.H = \frac{\delta}{\sqrt{N}} \quad (5.4)$$

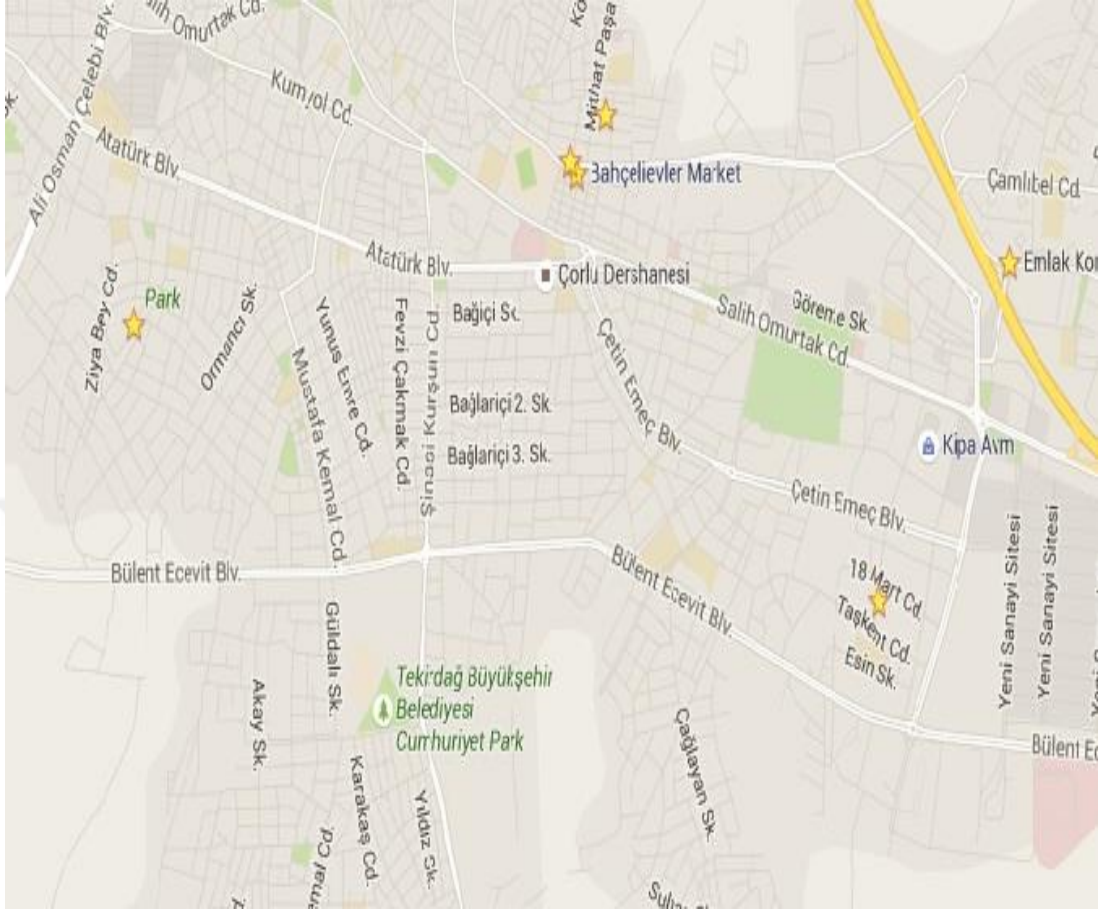
Denklemini kullanıldı (Akar, 2010).

6. DENEYSEL ARAŞTIRMA SONUÇLARI

Tekirdağ'ın Çorlu ilçesinde içme sularının genellikle kuyu sularından karşılandığı saptanmıştır. Bunun yanı sıra kaynak sular da bulunmaktadır. Çorlu ilçesinde 6 ana kuyudan şehre su dağılımı gerçekleştirilmektedir. Yine 6 adet kaynak su bulunmaktadır. Bu çalışmada 6 adet ana kuyu ve 6 adet kaynak suları incelenmiştir. Şekil 6.1'de, Şekil 6.2'de ve Şekil 6.3'de örnek alınan bölgeler işaretlenmiştir.



Şekil 6.1. Kaynak suları örnekleme alanları.



Şekil 6.2. Kaynak suları örnekleme alanları.



Şekil 6.3. Kuyu suları örnekleme alanları.

Tekirdağ büyükşehir belediyesinden kuyuların jeolojik yapısını içeren belgeler alındı ve belgelerden elde edilen veriler ile çizelgeler oluşturuldu.

Kuyu suları ve kaynak suları numuneleri için AlphaGUARD detektörü kullanılarak gerçekleştirilen ölçümlerin ortalama değerleri;

- 1) Her ölçüm öncesinde detektör on dakika çalıştırılarak C_0 yani doğal fon değeri hesaplandı ve kaydedildi.
- 2) Ölçüm neticesinde detektörde beliren radon konsantrasyon değeri yani C_{air} değeri kaydedildi.
- 3) ‘‘T’’ yani ortalama sıcaklık kaydedildi.
- 4) Denklem 5.1 kullanılarak su örneğinin radon konsantrasyonu hesaplanarak kaydedildi.

5) Her üç ölçüm için hesaplanan C_{water} değerlerinin aritmetik ortalaması alındı ve ortalama radon konantrasyonu yani C_{ort} hesaplanarak kaydedildi.

6) Standart hata hesaplandı ve kaydedildi.

Bu veriler kullanılarak her bir kuyu için verilerle birlikte çizelgeler oluşturuldu.

6.1. Kuyu Sularına Ait Veriler

1- Belediye Konutları Kuyusu

Çizelge 6.1. Belediye konutları kuyusuna ait bilgiler.

Kyunun Jeolojik Yapısı	Kyunun Derinliği	Kyunun Koordinatı	Radon Akt. (Bq/L)	Etkin Doz mSv/yıl
0-224m kum + kil	380 m	41°8,728' K 27° 49,923 D	37,55	0,0075
224-240m kil				
240-264m kum + çakıl				
264-304m kum				
304-332m kum + çakıl				
332-380m kum				

2-Emlak Konutları Kuyusu

Çizelge 6.2. Emlak konutları kuyusuna ait bilgiler.

Kyunun Jeolojik Yapısı	Kyunun Derinliği	Kyunun Koordinatı	Radon Akt. (Bq/L)	Etkin Doz (mSv/yıl)
0-220m kum + kil	400 m	41°9,636' K 27° 51,004 D	62,20	0,012
220-244m kil				
244-272m kum + çakıl				
272-312m çakıl				
312-340m kum + çakıl				
340-400m kum + çakıl				

3- Bahçelievler 1. Kuyusu

Çizelge 6.3. Bahçelievler 1. kuyusuna ait bilgiler.

Kuyunun Jeolojik Yapısı	Kuyunun Derinliği	Kuyunun Koordinatı	Radon Akt. (Bq/L)	Etkin Doz (mSv/Yıl)
0-224m Kum + kil	380 m	41°9,498' K 27° 49,296 D	43,31	0,0094
224-240m Kil				
240-264m Kum + çakıl				
264-284m kum				
284-332m Kum + çakıl				
332- 380m kum				

4- Kıvanç Evler Kuyusu

Çizelge 6.4. Kıvançevler kuyusuna ait bilgiler.

Kuyunun Jeolojik Yapısı	Kuyunun Derinliği	Kuyunun Koordinatı	Radon Akt. (Bq/L)	Etkin Doz (mSv/Yıl)
0-212m kum + kil	324 m	41°9,199' K 27° 47,483 D	22,03	0,0044
212-240m kil				
240-256m kum + çakıl				
256-304m kum				
304-312m kum + çakıl				
312-324m kum				

5- Bahçelievler 4. Kuyu

Çizelge 6.5. Bahçelievler 4. kuyusuna ait bilgiler.

Kyunun Jeolojik Yapısı	Kyunun Derinliği	Kyunun Koordinatı	Radon Akt. (Bq/L)	Etkin Doz (mSv/Yıl)
0-220m Kum + kil	400 m	41°9,496' K 27° 49,4 D	63,92	0,0127
220-244m kil				
244- 272m Kum + çakıl				
272-308m kum				
308-336m Kum + çakıl				
336-400m kum				

6- Bahçelievler 3. Kuyu

Çizelge 6.6. Bahçelievler 3. kuyusuna ait bilgiler.

Kyunun Jeolojik Yapısı	Kyunun Derinliği	Kyunun Koordinatı	Radon Akt. (Bq/L)	Etkin Doz (mSv/yıl)
0-216m Kum + kil	380 m	41°9,496' K 27° 49,4 D	26,46	0,0052
216-244m kil				
244- 264m Kum + çakıl				
264-304m kum				
304-332m Kum + çakıl				
332-380m kum				

6.2. Kaynak Sularına Ait Veriler

1- Süleymaniye Camii Hayratı

Çizelge 6.7. Süleymaniye camii hayratına ait bilgiler.

Kuyu Adı	Kuyu Koordinatı	Radon Akt. (Bq/L)	Etkin Doz (mSv/yıl)
Süleymaniye Camii Hayratı	41°9,635' K 27° 48,084 D	18,06	0,0036

2- Çukur Çeşme

Çizelge 6.8. Çukur çeşmeye ait bilgiler.

Kuyu Adı	Kuyu Koordinatı	Radon Akt. (Bq/L)	Etkin Doz (mSv/yıl)
Çukur Çeşme	41°9,616' K 27° 47,884 D	15,37	0,0030

3- Çoban Çeşme

Çizelge 6.9. Çoban çeşmeye ait bilgiler.

Kuyu Adı	Kuyu Koordinatı	Radon Akt. (Bq/L)	Etkin Doz (mSv/yıl)
Çoban Çeşme	41°9,348'K 27° 47,921 D	16,45	0,0032

4- Hürriyet Çeşmesi

Çizelge 6.10. Hürriyet çeşmesine ait bilgiler.

Kuyu Adı	Kuyu Koordinatı	Radon Akt. (Bq/L)	Etkin Doz (mSv/yıl)
Hürriyet Çeşmesi	41°9,677' K 27° 48,178 D	24,33	0,0048

5- Paşa Çeşmesi

Çizelge 6.11. Paşa çeşmesine ait bilgiler.

Kuyu Adı	Kuyu Koordinatı	Radon Akt. (Bq/L)	Etkin Doz (mSv/yıl)
Paşa Çeşmesi	41°9,578' K 27° 48,167 D	15,43	0,0030

6- Hacı Hanife ve Ali Yaman Hayratı

Çizelge 6.12. Hacı Hanife ve Ali Yaman hayratına ait bilgiler.

Kuyu Adı	Kuyu Koordinatı	Radon Akt. (Bq/L)	Etkin Doz (mSv/yıl)
Hacı Hanife ve Ali Yaman Hayratı	41°9,496' K 27° 48,276 D	19,06	0,0038

Yıllık etkin doz hesabı yapılırken ilgili kaynaklardan kullanım miktarı 60 litre olarak alınmıştır (UNSCEAR REPORT, 2000).

6.3. Kuyu ve Kaynak Sularına Ait Ölçüm Sonuçları

Çizelge 6.13. AlphaGUARD radon algılama sistemiyle elde edilen su analizi sonuçları.

KAYNAK	RADON AKTİVİTESİ	DERİNLİK	KOORDİNAT
Belediye Konutları	37,55±4,90 Bq× lt ⁻¹	380 m	41°8,728' K 27° 49,923 D
Emlak Konutları	62,20±0,32 Bq×lt ⁻¹	400 m	41°9,636' K 27° 51,004 D
Bahçelievler 1. Kuyu	47,31±2,55 Bq×lt ⁻¹	380 m	41°9,498' K 27° 49,296 D
Kıvanç Evler Kuyu	22,03±1,23 Bq×lt ⁻¹	324 m	41°9,199' K 27° 47,483 D
Bahçelievler 4. Kuyu	63,92±1,05 Bq× lt ⁻¹	400 m	41°9,496' K 27° 49,4 D
Bahçelievler 3. Kuyu	26,46 ± 0,30 Bq× lt ⁻¹	380 m	41°9,492' K 27° 49,055 D
	DOĞAL KAYNAK SUYU		
KAYNAK	RADON AKTİVİTESİ	KOORDİNAT	
Süleymaniye Camii Hayratı	18,06±0,86 Bq × lt ⁻¹	41°9,635' K / 27° 48,084 D	
Çukur Çeşme	15,37±0,45 Bq × lt ⁻¹	41°9,616' K / 27° 47,884 D	
Çoban Çeşme	16,45±1,00 Bq × lt ⁻¹	41°9,348' K / 27° 47,921 D	
Hürriyet Çeşmesi	24,33±1,26 Bq × lt ⁻¹	41°9,677' K / 27° 48,178 D	
Paşa Çeşmesi	15,43±0,86Bq × lt ⁻¹	41°9,578' K / 27° 48,167 D	
Hacı Hanife ve Ali Yaman Hayratı	19,06±0,03 Bq × lt ⁻¹	41°9,496' K / 27° 48,276 D	

6.4. Toprak Analizi Sonuçları

Toprak analizi için Tekirdağ'ın Çorlu ilçesinin 11 farklı bölgesinden numune alınmıştır. Alınan numunelerin incelemesi Ludlum 2241-3RK Radon Algılama Detektörüyle ve 3x3 NaI(Tl) detektörü ile gerçekleştirilmiştir. Toprak numunesi alınan bölgeler ve koordinatları Şekil 6.4'de, Şekil 6.5'de, Çizelge 6.14'de ve Çizelge 6.15'de belirtilmiştir. Çizelge 6.15'de ise toprak analiz sonuçları verilmiştir.



Şekil 6.4. Toprak numunesi alınan bölgeler.



Şekil 6.5. Toprak numunesi alınan bölgeler.

Çizelge 6.14. Toprak numunesi alınan bölgeler.

Bölge 1	Reşadiye Muhtarlık Parkı	41°09'06"N 27°47'57"D
Bölge 2	Kıvanç Parkı	41°09'41"N 27°47'44 D
Bölge 3	Cumhuriyet Parkı Yanı	41°09'29N 27°47'53 D
Bölge 4	Havuzlar	41°10'25N 27°51'53 D
Bölge 5	Bağlar	41°09'42N 27°48'56 D
Bölge 6	Çorlu Türkgücü Arası	41°06'57N 27°48'25 D
Bölge 7	Belediye Konutları	41°09'02N 27°49'44 D
Bölge 8	Devlet Hastanesi Civarı	41°08'33N 27°50'05 D
Bölge 9	Önerler	41°08'41N 27°51'00 D
Bölge 10	Emlak Konutları	41°10'01N 27°53'39 D
Bölge 11	Bahçeli Evler	41°09'25N 27°49'26 D

Çizelge 6.15. Ludlum 2241-3RK detektörü ve 3x3 NaI(Tl) detektörü toprak analizi.

Örnekleme Noktaları	K-40 (Bq/kg)	U-238 (Bq/kg)	Th-232 (Bq/kg)	Gama doz oranı ölçümü (µR/h)	Yıllık etkin doz (µSv/y)	
					Hava	Toprak
1	705,1	10,3	10,7	12	128	95,3
2	518,9	17,5	11,6	11	117,4	86,3
3	636,1	20,7	9,0	11	117,4	97,9
4	692,2	9,1	9,2	12	128	90,5
5	879,6	13,1	8,3	12	128	112,2
6	725,5	<MDA	12,3	13	138,7	45,8
7	615,3	<MDA	10,3	11	117,4	41,9
8	738,3	18	9,4	10	106,7	105,5
9	657,2	21,2	8,9	11	117,4	100,4
10	648,6	24,7	9,5	13	138,7	104,3
11	664	17,8	13,5	13	138,7	103,4
Ortalama	680	13,8	10,24	11,7	125,1	89,4

Detektörün en düşük belirleyebileceği aktivite U-238 için 5,1 Bq/kg; Th-232 için 1,3 Bq/kg; K-40 için 20,8 Bq/kg olarak belirlenmiştir.

7. SONUÇ VE TARTIŞMA

Tekirdağ ilinin Çorlu ilçesinde gerçekleştirdiğimiz çalışmada 6 adet kuyu ve 6 adet kaynak suyu olmak üzere toplam 12 su örneği toplanmış ve incelenmiştir. Bu incelemenin amacı deney sonuçlarının yorumlanarak insan sağlığını açısından bir risk teşkil edip etmediğini ortaya koymaktır.

Çorlu genelinde sudaki Radon aktivitesi belirlenmiş ayrıca yine bölgedeki topraklarda Potasyum, Uranyum ve Toryum konsantrasyonu belirlenmiştir. Ve bu belirleme sonuçları çizelge 6.13, 6.14 ve 6.15’de verilmiştir. Buna göre topraktaki konsantrasyon değerleri Potasyum için 680 Bq/kg, Uranyum için 13,8 Bq/kg ve Toryum için 10,24 Bq/kg olarak bulunmuştur. Çalışma bölgesinde toprak için U-218, Th-232 ve K-40 aktiviteleri Bq/kg biriminde hesaplanmıştır. U-218 aktivitesi 9,1 – 24,7 Bq/kg aralığında, Th-232 aktivitesi 8,3 – 13,5 Bq/kg aralığında ve K-40 aktivitesi ise 518,9 – 879,6 Bq/kg aralığında ölçülmüştür. U-238 aktivitesi en düşük olarak havuzlar bölgesinde, en yüksek olarak ise emlak konutları bölgesinde ölçülmüştür. Th-232 aktivitesi en düşük bağlar bölgesinde en yüksek ise Bahçelievler bölgesinde rastlanmıştır. K-40 aktivitesi en düşük kıvanç park bölgesinde en yüksek ise bağlar bölgesinde ölçülmüştür. Bu farklılıkların nedeni bölgenin jeolojik yapısıyla ilgili olabilir.

UNSCEAR yani Birleşmiş Milletler Radyasyon Etkisi Komitesine göre Potasyum, Uranyum ve Toryum için dünya genelinde belirlenmiş olan değerler; 400 Bq/kg, 35 Bq/kg, 45 Bq/kg’dır (UNSCEAR REPORT, 2000).

Belirlenen aktivite değerleri U-218 için dünya ortalaması 35 Bq/kg’dır. Tüm örnekleme noktalarımız bu değer altında kaldığından dolayı U-218 yönünden risk teşkil etmeyebilir (UNSCEAR REPORT, 2000). Belirlenen aktivite değeri Th-232 için dünya ortalaması 45 Bq/kg’dır. Tüm örnekleme noktalarımız bu değer altında kaldığından dolayı Th-232 yönünden risk teşkil etmeyebilir (UNSCEAR REPORT, 2000). Belirlenen aktivite değerleri K-40 için dünya ortalaması 400 Bq/kg’dır. Tüm örnekleme noktalarımız bu değer üzerinde kaldığından dolayı K-40 yönünden risk teşkil edebilir (UNSCEAR REPORT, 2000).

UNSCEAR’ın verileriyle deney verilerimizi kıyasladığımızda Potasyum değerinin daha yüksek olduğu, Uranyum değerinin UNSCEAR değerinden düşük olduğu ve aynı şekilde Toryum değerinin de UNSCEAR değerinden düşük olduğu görülmektedir.

K-40’a örnek bazında bakıldığında tüm bölgelerin UNSCEAR değerini aştığı gözlemlenmektedir. Değerin yüksek çıkmasını bölgenin kayaç yapısına bağlayabiliriz. Bölge

yüksek potasyum ihtiva eden kayaç yapısına sahip olmasıyla birlikte bölgenin tarım arazisi olarak yoğun şekilde kullanılması da büyük bir etkidir. Bu nedenle K-40 değeri fazla çıkmıştır.

U-238'a baktığımızda ise tüm bölgeler için UNSCEAR değerinden daha düşük ölçümler görülmüştür. Yani Uranyum açısından insan sağlığını sekteye uğratacak herhangi bir risk teşkil etmeyebilir.

Th-232'a baktığımızda ise tüm bölgelerin UNSCEAR tarafından belirlenen değer altında kaldığı gözlemlenmektedir. Sonuca baktığımızda Toryum değerinin insan sağlığı için bir risk teşkil etmeyebilir.

Potasyum, Uranyum ve Toryum aktivitesinden yararlanılarak yıllık etkin doz hesaplamaları yapılmıştır. Çorlu ilçesi genelinde yapmış olduğumuz çalışmalar neticesinde topraktaki ortalama yıllık doz 89,4 $\mu\text{Sv/y}$ olarak ölçülmüştür.

Ludlum 2241-3RK taşınabilir el detektörü ile detektör yerden 1 metre yüksekte tutularak havadaki gama radyasyonu ölçümleri yapılmıştır. Havadaki ortalama yıllık doz 125,1 $\mu\text{Sv/y}$ olarak ölçülmüştür.

Su için Radon aktivitesi Bq/L biriminde hesaplanmıştır. Radon aktiviteleri 15,37 – 63,92 Bq/L aralığında ölçülmüştür. Radon aktivitesi en düşük çukurçeşme kaynağında ölçülürken, en yüksek Bahçelievler 4. kuyuda ölçülmüştür. Bahçeli evler 4. kuyunun Radon aktivitesinin en fazla çıkmasının nedeni kuyunun diğer kuyulara göre daha derin olmasıyla ilgili olabilir.

Sağlık örgütleri tarafından belirlenen içme sularındaki konsantrasyon limiti; A.B.D. Çevre Koruma Ajansı (USEPA) içme sularındaki radon için üst sınırı 11 Bq/L olarak, B.M. Radyasyon Etkisi Komitesi (UNSCEAR) 40 Bq/L olarak, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ise 100 Bq/L'dir. Çorluda USEPA üst sınırı olan 11 Bq/L'yi tüm incelenen tüm kuyu ve kaynak suları aşmaktadır. UNSCEAR üst limiti olan 40 Bq/L'yi ise emlak konutları, bahçeli evler 1. kuyu, bahçelievler 4. kuyu aşarken incelenen hiçbir kaynak suyu bu limiti aşmamıştır. WHO üst limiti olan 100 Bq/L'ye bakıldığında ise incelenen kuyu ve kaynak sularının hiç birinin bu limiti aşmadığı görülmektedir.

Çorluda incelenen kuyu sularında Radon aktivitesi 22-63 Bq/L arasında iken incelenen kaynak sularındaki Radon aktivitesi 15-24 Bq/L arasında hesaplanmıştır. Bu farklılaşmanın nedeni yerel risk hesaplamalarının farklılaşmasından kaynaklanmaktadır. Limiti aşan kuyuların kayaç yapısının da etkisinin olduğu dikkate alınmalıdır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Akar, Ü., (2010), Bursa Çekirge bölgesinin termal sularında radon konsantrasyonu tayini, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

Akyıldırım, H., (2005), Isparta ilinde radon yoğunluğunun ölçülmesi ve haritalandırılması, Yüksek Lisans tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

BEIR VI, 1999, Committee on Health Risks of Exposure to Radon, Health Effects of Exposure to Radon, National Academy Press, Washington, D.C.

C.S.Lim, D.A. Abernethy, (2005). On-line coal analysis using fast neutroninduced gamma-rays, Applied Radiation and Isotopes, Vol.63(5):697-704

Değerlier M., (2007), Adana ili ve çevresinin çevresel doğal radyoaktivitesinin saptanması ve doğal radyasyonların yıllık etkin doz eşdeğerinin bulunması, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

Dilaver, A. T., Çifter, C., Altay, T., (2002), Türkiye’deki içme ve kullanma sularının radyoaktivite yönünden kalitesinin belirlenmesi, Hidrolojide İzotop Tekniklerinin Kullanılması Sempozyumu, T.C Enerji Ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı, s. 301- 318, Adana.

Durrani, S.A. and Ilic, R., (1997), Radon Measurements by Etched Track Detectors: Applications in Radiation Protection, Earth Sciences and the Environment, World Scientific, New Jersey, U.S.A., 387.

Eisenbud, M., (1987), Environmental Radioactivity: from Natural, Industrial, and Military Sources, *Academic Pres*, San Diego.

Ereeş, F.S., Aközcan, S., Parlak Y., Çam, S., (2005), Assessment of dose rates around Manisa (Turkey), Radiation Measurements 41, s. 598-601.

G.F. Knoll, (1989), Radiation Detection and Measurement, 2nd ed, (Wiley, NY).

Gollnick, D. A., (1988), Basic radiation protection technology, Pacific Radiation.

Gönen E., (2012), Edirne ilinin çevresel radyoaktivitesinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.

Gruber, V.,Maringer, F.J. ve Landstetter, C., (2009), Radon and other natural radionuclides in drinking water in Austria: Measurement and assessment, Applied Radiation and Isotopes, 67(5):913-917.

ICRP, (1991), Recommen Dations of the International Comission on Radiological Protection. ICRP Publication 60, Ann ICRP 21 (1-3).

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

ICRP, (1993), Publication 65, International Commission on Radiological Protection, Adopted by the Commission in September. Vol. S, No : 3.

Kam E., (2004), Tekirdağ'ın çevresel doğal radyoaktivitesinin tayini, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Karahan, G. ve Bayulken, A., (1999), Assessment of gamma dose rates around Istanbul (Turkey), Journal of Environmental Radioactivity 47, s. 213-221, İstanbul.

Karahan G., (1997), İstanbul'un çevresel doğal radyoaktivitesinin tayini ve doğal radyasyonların yıllık etkin doz eşdeğeri, Doktora Tezi, s. 118, İstanbul.

Knoll, G.F., (1979), Radiation Detection and Measurement, John Wiley & Sons, Inc. USA.

Kumru, M. N., Aydın, B., Bakaç, M., (2002), Gediz Nehri'nden Ege Denizi'ne taşınan doğal radyoaktivitenin (Radyum) belirlenmesi, Ekoloji Çevre Dergisi, Cilt:10, Sayı:43, s. 22-25.

Kurnaz, A., Kucukomeroglu, B., Damla, N. ve Cevik U., (2011), Radiological maps for Trabzon, Turkey, Journal of Environmental Radioactivity 102, s. 393-399.

Lima, J. L. N., Bonotto, D. M., (1996), Etapas analíticas para mensuração de radônio- 222 e usona avaliação da radioatividade das águas de, Aguas da Prata (sp), Geochim. Brasiliensis 10 (2), s. 283-295.

Magill J., Galy J., (2005), Radyoaktivite Radyonüklid Radyasyon.

Martin, A. and Harbison, S., 2006, *An Introduction to Radiation Protection*, Hodder Arnold and Hachette UK Company, Fifth Edition.

Merdanoğlu, B. ve Altınsoy, N., (2006), Radioactivity concentration and dose assessment for soil samples from Kestanebol granite area, Turkey, Radiation Protection Dosimetry 121, 4, s. 399-405.

Murray, R. L., (2001), Nuclear Energy, Fifth edition, Butterworth-Heinemann.

NCRP Report 45, (1977), National Council on Radiation Protection and Measurement No.45, Natural Background Radiation in the U.S. Soil Radioactivity.

NCRP 97, (1988), National Council on Radiation Protection and Measurements: Measurements of Radon and Radon Daughters in Air, NCRP Report No:97.

Noz, M. E., and Maguire, Jr. G. Q., (2007), Radiation Protection in The Health Sciences, and, Edition, World Scientific Publishing Co, Pte. Ltd., Singapore 596224.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

OECD Nuclear Energy, (1979), Report of a Group of Expert, No.48761.

Otton, J.K., Gundersen, L.C.S. and Schumann, R.R., 1995, U.S. Department of The Interior/U.S. Geological Survey.

Prasad, Y., Prasad, G., Choubey, V.M. ve Ramola, R.C, (2008), Geohydrological control on radon availability in ground water, Radiation Measurements, xxx, s. 1–5.

Peterson R. S., The University of the South, Experimental Gamma Ray Spectroscopy and Investigations of Environmental Radioactivity.

Şaç, M.M., (1994), İzmir ili içme ve kullanım sularında Rn-222 ve Ra-226 konsantrasyonlarının belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü, s. 69, İzmir.

Saphymo Gmbh, AlphaGUARD el kitabı, (2014), Almanya.

Singh, S., Rani, A. ve Mahajan, R.K., (2004), ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K analysis in soil samples from some areas of Punjab and Himachal Pradesh, India using gamma ray spectrometry, Radiation Measurements 39, s. 431-439.

Şahin, L. ve Cavas, M., (2008), Natural radioactivity measurements in soil samples of central Kutahya (Turkey), Radiation Protection Dosimetry 131, 4, s. 526-530, Kutahya.

Şahin L., Hafizoğlu N., Çetinkaya H., Manisa K., Bozkurt E., ve Biçer A., (2016), Assessment of radiological hazard parameters due to natural radioactivity in soils from granite-rich regions in Kutahya Province, Turkey, s. 212-221.

Tayyeb, Z. A., Kinsara, A.R. ve Farid, S.M., (1998), A Study on the Radon Concentrations in Water in Jeddah (Saudi Arabia) and the Associated Health Effects, s. 97-104.

Tzortzis, M. ve Tsertos, H., (2003), Gamma Radiation Measurements and Dose Rates in Commercially Used Natural Tiling Rocks (Granites), UCY-PHY-02/02.

UNSCEAR, (1993), United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Sources, Effects, and Risks of Ionizing Radiation. United Nations sales publication No. E. 94. IX. 2. New York.

UNSCEAR, (1988), United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: Sources, Effects, and Risks of Ionizing Radiation, United Nations sales publication No.E.88, IX.7, New York.

WHO, (2011), Guidelines for Drinking Water Quality, fourth edition, World Health Organization, Geneva, Switzerland.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : USLUER Ali
Doğum tarihi ve yeri : 09.09.1990 Simav
email : usluerali@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Dumlupınar Üniversitesi	2018
Lisans	Dumlupınar Üniversitesi	2012
Lise	Mimar Sinan Lisesi	2007

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2011	Uğur Dershanesi	Fizik Stajyer Öğretmeni
2012-2018	Kavram Dershanesi	Fizik Öğretmeni (Devam Ediyor)

Yabancı Dil

İngilizce