

**T.C.
KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KASTAMONU-İNEBOLU İLÇESİNİN DOĞAL RADYASYON
SEVİYESİNİN BELİRLENMESİ**

Savaş TÜRKDOĞAN

Danışman Doç. Dr. Aybaba HANÇERLİOĞULLARI
Jüri Üyesi Yrd. Doç. Dr. Aslı KURNAZ
Jüri Üyesi Yrd. Doç. Dr. Javad RAHEBİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI**

KASTAMONU –2017

TEZ ONAYI

Savaş TÜRKOĞAN tarafından hazırlanan " Kastamonu -İnebolu İlcesinin Doğal Radyasyon Seviyesinin Belirlenmesi" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde savunulmuş ve oy birliği ile Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman

Doç. Dr. Aybaba HANÇERLİOĞULLARI
Kastamonu Üniversitesi

Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Aslı KURNAZ
Kastamonu Üniversitesi

Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Javad RAHEBİ
Türk Hava Kurumu Üniversitesi

24/02/2017

Enstitü Müdür V.

Prof. Dr. Temel SARIYILDIZ

TAAHHÜTNAME

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildirir ve taahhüt ederim.

Savaş TÜRKDOĞAN



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KASTAMONU-İNEBOLU İLÇESİNİN DOĞAL RADYASYON SEVİYESİNİN BELİRLENMESİ

Savaş TÜRKDOĞAN
Kastamonu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Ana Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Aybaba HANÇERLİOĞULLARI

Bu çalışma İnebolu ilçesindeki (turizm sahası) çevresel radyoaktivite seviyesi ölçümlerinin sonuçlarını sunmaktadır. Çalışma alanındaki 13 bölgeden toplanan toprak ve sahilden toplanan 12 kum numunelerindeki ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve fisyon ürünü ^{137}Cs radyoaktivite konsantrasyonları belirlenmiştir. Emilen ortalama gamma dozu ve yıllık etkin gama dozu, doğal radyoaktivitenin radyolojik tehlikelerini bu radyonüklitlerin ölçülen konsantrasyonlarını temel alarak değerlendirmek için ayrı ayrı ölçülmüş ve sırasıyla toprak numuneleri için $112,90 \text{ nGy h}^{-1}$ ve $138,46 \mu\text{Sv y}^{-1}$, kum numuneleri için $75,19 \text{ nGy h}^{-1}$ ve $92,22 \mu\text{Sv y}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Sonuç İnebolu'nun yüksek bir doğal radyoaktivite değerine sahip olmadığını göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: İnebolu, Kastamonu, Çevresel radyoaktivite

2017, 64 sayfa

Bilim Kodu: 202

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

DETERMINATION OF NATURAL RADIATION IN THE TOWN İNEBOLU-KASTAMONU

Savaş TÜRKOĞAN
Kastamonu University
Institute of Science
Department of Physics

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Aybaba HANÇERLIOĞULLARI

This paper presents the measurement results of environmental radioactivity levels for İnebolu district (tourist area), Kastamonu-Turkey. The radioactivity concentrations of ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K and the fission product ^{137}Cs in soil samples collected from 13 region surroundings of study area and in 12 beach sand samples collected from along the coast of İnebolu were determined. To evaluate the radiological hazard of the natural radioactivity, based on the measured concentrations of these radionuclides, the mean absorbed gamma dose and the annual effective dose were evaluated separately, and found to be $112.90 \text{ nGy h}^{-1}$ and $138.46 \text{ } \mu\text{Sv y}^{-1}$ for soil samples and 75.19 nGy h^{-1} and $92.22 \text{ } \mu\text{Sv y}^{-1}$ for beach sand samples, respectively. The results show that İnebolu has not high background.

Keywords: İnebolu, Kastamonu, Environmental radioactivity

2017, 64 pages

Science Code: 202

TEŞEKKÜR

Bu alıőmanın yapılmasında ve sonuçlandırılmasında bana yardımcı olan Kastamonu Üniversitesi Fen Edebiyat Fakóltesi Fizik Bölümü öğretim üyesi ve danışman hocam Doç. Dr. Aybaba HANERLİÖGULLARI'na öncelikle teşekkür ederim. Ayrıca çalıőmalarım boyunca değerli bilgilerinden ve yardımlarından yararlandığım Fizik bölümü tüm öğretim üyelerine teőekkürlerimi bir borç bilirim. Özellikle deneysel çalıőmalarım ve ölçümlerde sürekli yardımcı olan sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Aslı KURNAZ'a ayrıca teşekkür ederim.

Savaş TÜRKDOĞAN

Kastamonu, Őubat, 2017

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	x
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ.....	xi
GRAFİKLER DİZİNİ	xii
HARİTALAR DİZİNİ	xiii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiv
TABLolar DİZİNİ.....	xv
1. GİRİŞ	1
1.1. Radyasyon Nedir?	1
1.2. Radyasyon Türlerinin Sınıflandırılması.....	2
1.3. İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon	4
1.4. İyonlaştırıcı Radyasyon	4
1.4.1. Alfa Parçacığı	5
1.4.2. Beta Parçacığı	6
1.4.3. Gama Işınımı.....	6
1.4.4. Nötron Radyasyonu.....	7
1.5. Radyasyon Kaynakları.....	8
1.5.1. Doğal Radyoaktif Kaynaklar	9
1.5.1.1. <i>Kozmik radyasyon</i>	9
1.5.1.2. <i>Yerküre Radyasyonu</i>	9
1.5.1.3. <i>İçsel radyasyon</i>	11
1.5.2. Yapay/İnsan Yapımı Kaynaklar.....	11
1.5.2.1. <i>Medikal (tıbbi) kaynaklar</i>	12
1.5.2.1.1. <i>Radyografi</i>	12
1.5.2.1.2. <i>Nükleer tıp ile görüntüleme ve tedavi</i>	13
1.5.2.1.3. <i>Radyoterapi</i>	14
1.5.2.2. <i>Kullanıcı ürünleri</i>	15

1.5.2.2.1. Endüstride kullanılan kaynaklar	16
1.5.2.2.2. Günlük kullanım ürünleri	16
1.5.2.2.3. Araştırmalarda kullanılan kaynaklar	17
1.5.2.3. Nükleer santral kazaları	17
1.6. Radyasyon'un İnsanlara Ulaşması	19
1.6.1. İçsel Işınlanma	20
1.6.1.1. Solunum yoluyla içsel ışınlanma	21
1.6.1.2. İngesyon (yutma) yoluyla içsel ışınlanma	21
1.6.2. Dışsal Işınlanma	22
1.7. Radyasyonun Ölçülmesi	22
1.7.1. Dedektörler	23
1.7.1.1. Gaz dolu dedektörler	23
1.7.1.2. İyon odası.....	24
1.7.1.3. Orantılı sayaçlar	24
1.7.1.4. Geiger-Müller dektörü.....	25
1.7.1.5. Sintilasyon dedektörleri	25
1.7.1.6. Yarı iletken dedektörler.....	26
1.7.2. Dozimetreler	26
1.7.3. Kullanım Alanlarına Göre Radyasyon Ölçüm Cihazları	27
1.7.3.1. Kontaminasyon monitörleri	27
1.7.3.2. Doz hızı ölçerler	28
1.7.3.3. Alan monitörleri	28
1.7.3.4. Spektrometreler	28
1.7.4. Cihaz Seçimi, Kontrolü ve Kalibrasyonu	28
1.8. Radyasyonun İnsan Sağlığına Etkileri.....	29
1.8.1. Radyasyon Maruziyetinin Bazı Görülebilir Etkileri Nelerdir?.....	30
1.8.2. Radyasyon İnsan Dokusunu Nasıl Etkiler?	30
2. MATERYAL VE METOD	32
2.1. Bölgenin Özellikleri	32
2.2. Örnek Toplama ve Hazırlık	33
2.3. Sintilasyon Dedektörü	35
2.3.1. Gama Spektrometresinin Bileşenleri.....	36
2.4. Yüzey Toprağı ve Kum Numunelerindeki Radyoaktivite	37

2.5. Çevresel Gamma Dozu.....	39
2.6. Radyolojik Etkilerin Hesaplanması.....	39
2.7. Spektrum İçin Pik Alanı Hesaplaması.....	40
3. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	42
3.1. Numunelerdeki Radyasyon Parametrelerinin Hesaplanması.....	44
3.1.1. Havada Absorbe Edilen Doz Oranı (D)	44
3.1.2. Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri (AEDE).....	45
3.1.3. Radyum Eşdeğer Aktivitesi ($R_{a_{eq}}$).....	45
3.1.4. Dış Tehlike İndeksi (Hex)	45
3.1.5. Gama Aktivite Konsantrasyonu İndeksi (I_γ)	45
3.2. Toprak Örneklerine İlişkin Gamma Spektrometrisi Sonuçları	47
3.3. Havadaki Gamma Emilmiş Dozlar	51
3.4. Toprak ve Kum Örneklerinin Porozitesi ve Bulk Yoğunlukları	52
3.5. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Ölçümler	55
4. SONUÇLAR.....	58
KAYNAKLAR.....	60
ÖZGEÇMİŞ.....	64

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler:

Bq	Becquerel (Radyoaktivite Birimi)
D	Havadaki Soğrulan Doz Hızı
Gy	Gray (Absorbe Edilen Doz Birimi)
Hex	Dış Tehlike Endeksi
I	Gama Işın Şiddeti
n	Nano
Req	Radyum Eşdeğer Aktivitesi
Sv	Sievert, (Eşdeğer Doz Birimi)
M	Mikro

Kısaltmalar:

ADC	Analog Sayısal Dönüştürücü
AYKR	Artan Yaşam Boyu Kanser Riski
HpGe	Yüksek Saflıkta Germanyum
HV	Yüksek Voltaj Filtresine Sahip Güç Kaynağı
IAEA	International Atomic Energy Agency
ICRP	International Commission on Radiological Protection
MA	Yükseltici
MCA	Çok Kanallı Analizör
MDA	Minimum Dedekte Edilebilir Aktivite.
NCRP	National Council on Radiation Protection and Measurements
PA	Ön Yükseltici
TAEK	Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
UNSCEAR	United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic
WHO	World Health Organization
YEDE	Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri
YGDE	Yıllık Ganodal Doz Eşdeğeri
SEM	Taramalı elektron mikroskobu

FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

	Sayfa
Fotoğraf 1.1. Göğüs Bölgesi Röntgeni	13
Fotoğraf 1.2. Nükleer Tıp ile Görüntüleme.....	14
Fotoğraf 1.3. Radyoterapi Cihazı.....	15
Fotoğraf 1.4. X-şını Güvenlik Sistemi	17
Fotoğraf 2.1. İnebolu İlçesinin Kıyıda Görünümü	32
Fotoğraf 2.2. NaI(Tl) Sintilasyon Detektörünün Görünümü	38
Fotoğraf 3.1. 5kV ta 691µm büyütülmüş 3 nolu toprağın SEM fotoğrafı	56
Fotoğraf 3.2. 5kV ta 82,91µm büyütülmüş 4 nolu toprağın SEM fotoğrafı	57
Fotoğraf 3.3. 5kV ta 14,5 büyütülmüş 14 nolu kumun SEM fotoğrafı	57

GRAFİKLER DİZİNİ

	Sayfa
Grafik 1.1. Radyasyon Kaynakları ve Yüzdeleri.....	8
Grafik 2.1. Gama pik alanının hesaplanmasında kullanılan parametreler	41
Grafik 3.1. Toprak Örneklerinin U-238 Aktivite Konsantrasyonları	47
Grafik 3.2. Toprak Örneklerinin Th-232 Aktivite Konsantrasyonları.....	48
Grafik 3.3. Toprak Örneklerinin Cs-137 Aktivite Konsantrasyonları	48
Grafik 3.4. Toprak Örneklerinin K-40 Aktivite Konsantrasyonları	48
Grafik 3.5. Toprak ve Kum Örneklerinin Aktivite Konsantrasyonları	50
Grafik 3.6. Dünya ve İnebolu Aktivite Konsantrasyonlarının Karşılaştırılması	50
Grafik 3.7. Risk Aktivite Konsantrasyonlarının Çubuk Karşılaştırılması	52
Grafik 3.8. Kum ve Toprak Porozitelerinin Dağılımı.....	54

HARİTALAR DİZİNİ

	Sayfa
Harita 2.1. İnebolu İlçesinin Harita Görünümü.....	33
Harita 2.2. Toprak, Kum Örneklerinin Hazırlanmış Lokasyon Haritası.....	35



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Elektromanyetik Dalga Spektrumu	3
Şekil 1.2. Radyasyon çeşitlerinin sınıflandırılması	3
Şekil 1.3. Uranyum elementinin alfa parçacığının bozunumu	5
Şekil 1.4. Radyum228 elementinin beta parçacığının bozunumu	6
Şekil 1.5. Çeşitli parçacıkların radyasyon durdurulma şemaları	7
Şekil 1.6. Dünyadaki yapay radyasyon kaynaklarının oranı	11
Şekil 1.7. Radyasyonun İnsanlara Ulaşma Mekanizması	20
Şekil 1.8. Gaz Dolu Dedektörlerin Çalışma Prensipleri	24
Şekil 1.9. Orantılı Sayaç	25
Şekil 1.10. İyonize Radyasyona Uğramış Bir Hücreden Kanserin Oluşumu.....	31

TABLolar DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 1.1. Toprakta Bulunan Doğal Radyonüklitler	10
Tablo 2.1. İnebolu Toprak ve Kum Numuneleri Koordinatları.....	34
Tablo 2.2. Bazı radyoaktif elementlerin E_{γ} ve f_{γ} Değerler	39
Tablo 3.1. İnebolu Kum ve Topraklarındaki Radyonüklit Aktivite Konsantrasyonları	42
Tablo 3.2. İnebolu Deniz Suyu ve Kaynak Sulardaki Radon Aktiviteleri.....	43
Tablo 3.3. Kastamonu-İnebolu İlçesi Kum ve Toprakta Radyasyon Tehlike Parametreleri.....	46
Tablo 3.4. Kum ve Toprak Radyoaktivite Konsantrasyonu Dağılımı ($Bq\ kg^{-1}$)	49
Tablo 3.5. İnebolu'da Havadaki Emilmiş Doz Oranları (ADRA) ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri (AEDE).....	51
Tablo 3.6. İnebolu İlçesine Ait Toprak ve Kum Örneklerinin Yoğunluk ve Porozitesi	53

1. GİRİŞ

İnsanlar her gün yer, hava, su, binalar, materyaller, evren ve hatta vücutlarındaki elementlerden kaynaklanan doğal fon radyasyonuna maruz kalmaktadırlar. Topraktaki doğal radyoaktif elementlerin ^{238}U ve ^{232}Th elementlerinin radyoaktif bozunum serilerinin üyelerinden ve ^{40}K 'dan, türediği gözlemlenmiştir [1]. Doğal kaynakların yanı sıra, nükleer silah testleri ve nükleer santral kazaları sonucunda oluşan serpintiden dolayı ^{137}Cs gibi yapay radyonüklidler de bulunabilir. Doğal kaynaklardan ortaya çıkan gamma fon radyasyonu dozunun değerlendirilmesi özel bir önem taşır, zira insanların maruz kaldığı harici dozun en büyük kısmı doğal radyasyondan kaynaklanmaktadır [2]. Bu dozlar doğal radyonüklidler olan ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K toprak, kum ve taşlardaki konsantrasyonlarına bağlı olarak değişkenlik gösterirler.

Dünyanın birçok yerinde doğadaki doğal ve yapay radyonüklidlerin konsantrasyon ölçümleri yapılmıştır. Ancak, Türkiye'nin Karadeniz Bölgesinde bulunan İnebolu hakkında radyonüklidlerin aktivite konsantrasyonlarının dağılımına dair bir veri tabanı oluşturulabilecek yeterli sayıda çalışma bulunmamaktadır. Bu sebeple, İnebolu bölgesinden toplanan plaj kumu ve toprak numunelerindeki doğal ve yapay radyonüklid konsantrasyon dağılımını ve bu radyonüklidlerin radyolojik etkilerini ölçmek, değerlendirmek ve anlamak için bu çalışma yürütülmüştür. Bu veri aynı zamanda gelecekteki muhtemel çevre kirliliğini değerlendirilmesinde de yararlı olacaktır.

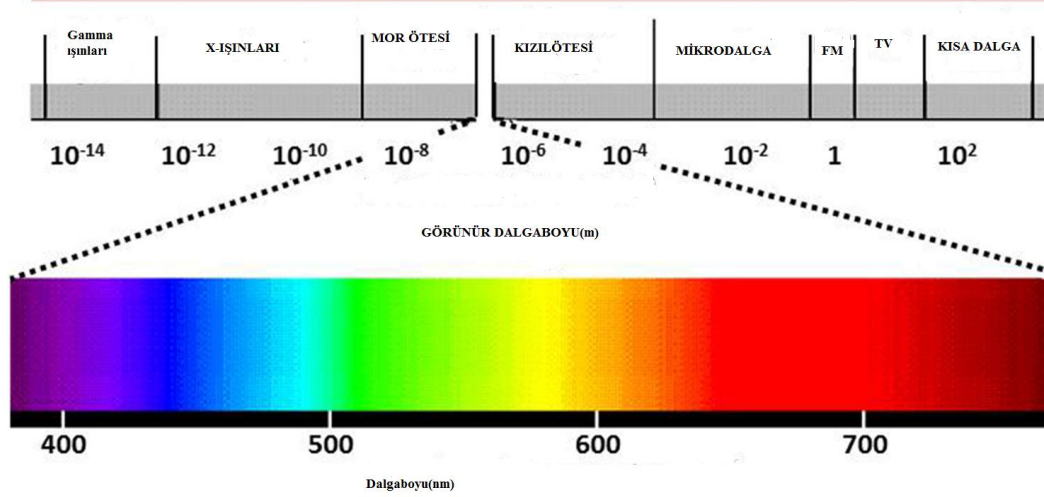
1.1. Radyasyon nedir?

Enerjinin elektromanyetik dalgalar halinde veya parçacıklar şeklinde maddesel ortamda veya boşlukta yayılması radyasyon diğer bir deyişle ışınım olarak adlandırılır. Görünür ışık, mikrodalgalar, kızıl ötesi ışık radyodalgaları, X-ışınları, tüm elektronik cihazlardan yayılan elektromanyetik dalgalar, radyoaktif maddelerden kaynaklanan alfa, beta ve gama parçacıkları çevremizde var olan radyasyon çeşitlerine örnektir. Radyoaktiflik (radyoaktivite) kararsız atom çekirdeklerinin ışınım yaparak kararlı atomlar haline gelme eğilimidir. Radyoaktiflik genellikle,

uranyum, toryum plütonyum gibi ağır elementlerde ortaya çıkan bir reaksiyon türüdür. Fransız bilim adamı Henri Becquerel'in yaptığı çalışmalarda uranyum tuzunu incelediğinde yaydığı radyoaktif parçacıkların karanlık ortamda fotografik bir levhada oluşturduğu karalamaları gözlemlemesi nedeni ile onun onuruna SI birim sisteminde radyoaktivite birimi Becquerel olarak kabul edilmiştir. Radyoaktif bozunma reaksiyonları sonucunda birçok parçacıklar ve enerji açığa çıkar. Nükleer fisyon yani kararsız halde bulunan ağır çekirdeklerin parçalanarak daha hafif çekirdeklere dönüşerek kararlı hale gelmeleri sonucu radyoaktif ışınlar oluşur. Radyoaktif tepkime süreçleri atom altı seviyelerde gerçekleştiği için ne zaman ve ne şekilde gerçekleşeceği belirsizlikler içeren bir olaydır. Radyoaktif bozunmaya uğrayan maddelerin kütleleri zamanla azalır ve radyoaktif bir maddenin çekirdeklerinin yarıya düşmesi için geçen süre bu elementin yarı-ömrü adlandırılır.

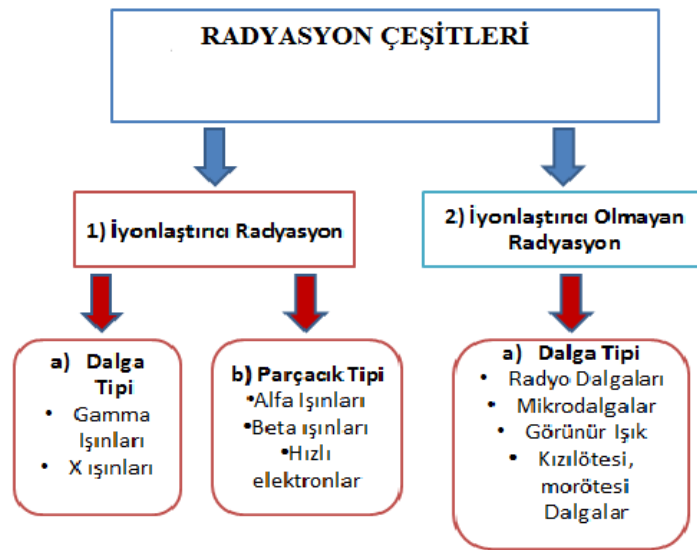
1.2. Radyasyon Türlerinin Sınıflandırılması

Radyasyon türleri temelde iki gruba ayırabiliriz; parçacık tipi ve dalga tipi olarak. Parçacık tipine örnek olarak alfa, beta ve serbest nötronlar gösterilebilir. Belli bir kütleyle sahip olan bu parçacıklar yüksek hızlarla hareket ederler ve bazıları yüklü bazıları ise nötr olurlar. Dalga tipi ışınalara ise görünür ışık, radyo dalgaları X-ışınları, gama ışınları yani elektromanyetik dalga spektrumunda bulunan tüm ışınlar girer. Şekil 1.1'de Elektromanyetik Dalga Spektrumu verilmiştir. Radyoaktif ışınlar için diğer bir sınıflandırma ise iyonlaştırıcı olup olmamalarına bakılarak yapılır. İyonlaştırıcı radyasyon çeşitleri yüksek enerjiye sahip ışınlardan oluşurken iyonlaştırıcı olmayan radyasyon türleri ise nispeten daha düşük enerjilere sahiptirler. İyonlaştırıcı radyasyon türlerine örnek olarak alfa parçacığı, beta parçacığı, serbest nötron, X-ışınları ve gama ışınları iyonlaştırıcı radyasyon türleridir. Radyo dalgaları, mikrodalgalar, kızılötesi dalgalar ve görünür ışık ise iyonlaştırıcı olmayan radyasyon sınıfına girmektedir. Radyasyon ışınları bir çok farklı yolla gerçekleşebilir. Oluşma şekline bağlı olarak farklı enerji seviyelerine ve fiziksel özelliklere sahiptirler.



Şekil 1.1. Elektromanyetik Dalga Spektrumu

Atomlardaki uyarılmış elektronların temel hale dönerken yayınladıkları fotonlar, yüklü parçacıkların ivmeli hareketleri sonucu oluşan elektromanyetik dalgalar, kararsız radyo aktif maddelerin kararlı hale geçerken gerçekleştirdikleri çekirdek bozunmaları sonucu açığa çıkan alfa, beta, gama ışınları ya da yıldızlarda gerçekleşen nükleer füzyon tepkimeleri evrenimizdeki radyasyonun kaynaklarıdır. Radyasyon çeşitlerinin sınıflandırılması Şekil 1.2’de gösterilmektedir.



Şekil 1.2. Radyasyon çeşitlerinin sınıflandırılması

1.3. İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon

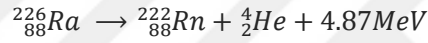
Düşük frekanslı elektromanyetik dalgalarının taşıdığı enerjiler küçük olduğu için atomları ve molekülleri iyonlaştıracak düzeyde değildir. Başka bir deyişle fotonların taşıdığı enerji atomlardan elektronları kopararak iyonlaştıracak seviyede değildir. Bu tür radyasyonlara görünen ışık, kızılötesi ışınlar ve radyo dalgaları iyonlaştırıcı olmayan radyasyona örnektir. Yüksek frekanslı iyonlaştırıcı elektromanyetik dalgalar, canlılardaki DNA ve genetik organellerini kapsayan biyolojik dokların molekül yapılarını değiştirerek kalıcı zararlara yol açabilir. Canlılarda hücrelerde bu türden yıkıcı etkilerin olabilmesi için hücrelerin x-ışınları ve gama ışınları gibi yüksek enerjili elektromanyetik dalgalara maruz kalması gerekir [3]. Canlıların iyonlaştırıcı olmayan elektromanyetik dalgalara uzun süre maruz kalmalarının iki farklı türde sonuçları oluşabilir. Bu etkileri ısıl etkiler ve ısıl olmayan etkiler olarak adlandırılabilir. Canlıların beden tarafından soğrulan elektromanyetik enerjinin ısıya dönüşmesi sonucu vücut sıcaklığını arttırması ısıl etki olarak tanımlanır. Günlük hayatta kullanılan mobil telefonların yayınladığı elektromanyetik dalgalar sonucu oluşabilecek sıcaklık artışı insan vücudu için zararlı olacak seviyelerde değildir. İnsan vücudu bu küçük sıcaklık artışını kan dolaşımı ve diğer mekanizmalar aracılığı ile kolayca normal seviyelere indirebilir. Mobil telefonların kullanılmaları sonucu beyinde oluşabilecek sıcaklık artışı ortalama 0,1 °C civarındadır [4].

1.4. İyonlaştırıcı Radyasyon

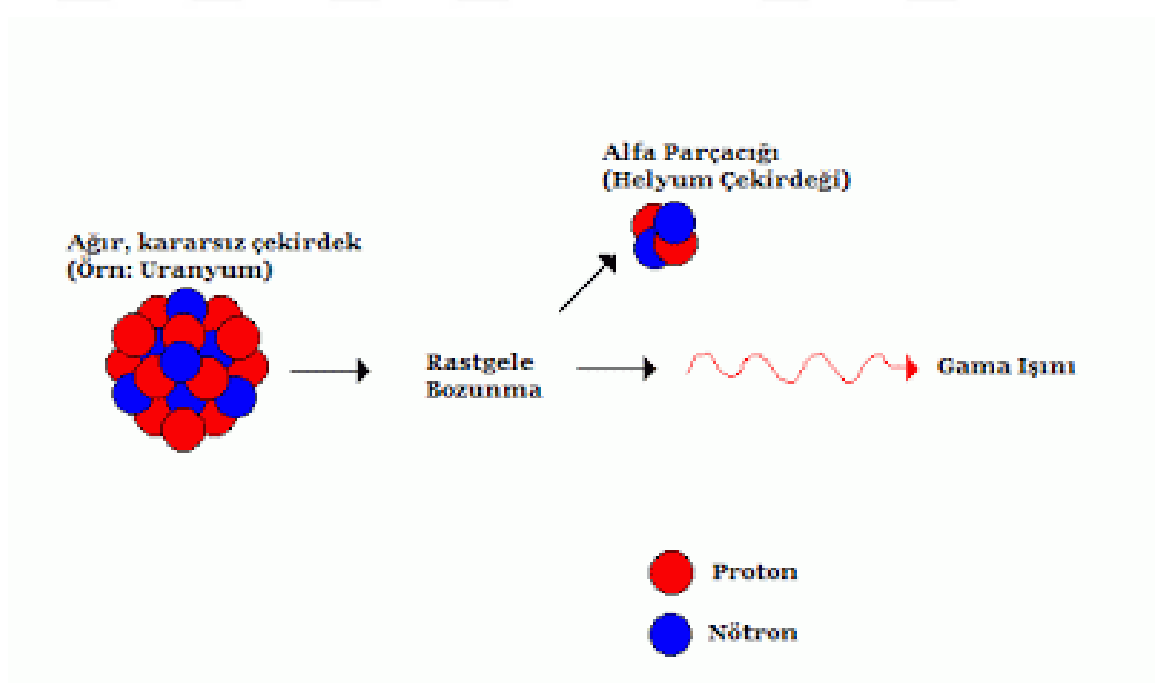
İyonlaştırıcı radyasyon, etkileşime girdiği maddesel ortamdaki atomların elektronlarını kopararak yüklü parçacıklar (iyonlar) açığa çıkaran radyasyon türüdür. Yüklü parçacıkların oluşması yani iyonizasyonun gerçekleşmesi canlı veya cansız her tür madde yapısında gerçekleşebilir. Gerekli önlemler alınmazsa iyonlaştırıcı radyasyon canlılara ve biyolojik yaşama çok büyük zararlar verebilecek sonuçları olabilir. Genel olarak beş iyonlaştırıcı radyasyon çeşidinden bahsedilebilir. Bunlar, Alfa parçacıkları, Beta parçacıkları, X ışınları, Gama ışınları ve Nötronlar olarak sıralanabilirler [5].

1.4.1. Alfa Parçacığı

Alfa parçacığı iki proton ve iki nötrondan oluşan bir helyum çekirdeğinden oluşan pozitif yüklü bir parçacıktır. Görece ağır bir parçacık olduğu için madde içerisine nüfuz edecek kadar güce sahip değildir. İnce bir kâğıt parçası alfa parçacığını durdurabilecek engelleyici özelliğe sahiptir. Atom numarası 83'ten büyük olan bütün izotopların radyoaktif olduğu için böyle izotoplar kararlı yapıya sahip olmak için atom ve kütle numaralarını küçültmek ister. Bunun gerçekleşmesi çekirdeğin bölünerek daha hafif atomlara dönüşmesi veya çekirdekten alfa parçacığı yayılması ile olur. Atom çekirdeğinden alfa saçılması sonrasında atom numarası 2, kütle numarası ise 4 azalır. Bu ışınımın en yaygın örneği $^{226}_{88}\text{Ra}$ olup Q-değeri 4.87 MeV'dir [6].



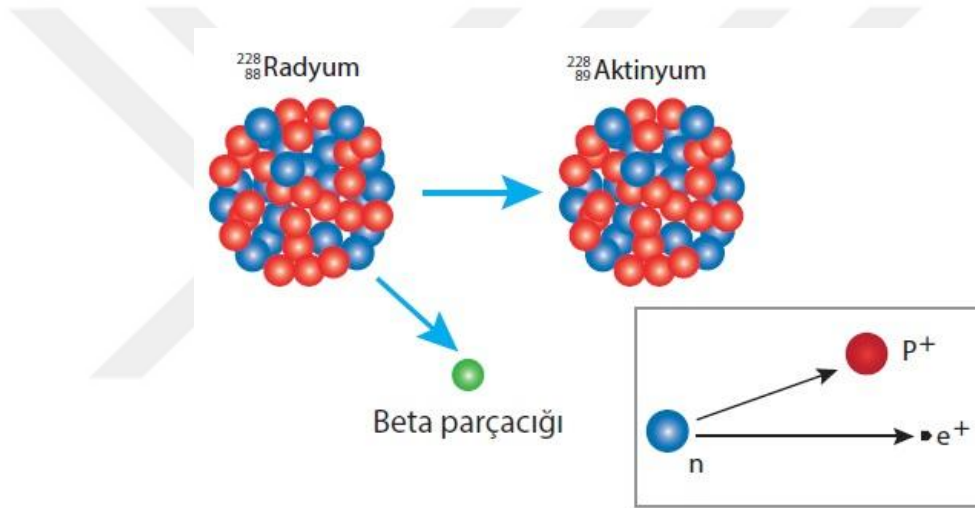
Benzer bir durumda Uranyum-238 alfa bozunması geçirerek Toryum-234 elementine dönüşmesi durumunda ortaya çıkar. Bu bozunma biçimi Şekil 1.3'de verilmiştir.



Şekil 1.3. Uranyum elementinin alfa parçacığın bozunumu

1.4.2. Beta Parçacığı

Bazı radyoaktif atom çekirdeklerinin kararlı hale gelmek için yüksek hızlı ve enerjili elektron veya pozitronlarını ışına yaparak çekirdek dışına atması olarak tanımlanabilir. Beta parçacıkları temelde yüksek hızlı elektron ve pozitronlardır. Beta parçacıklarının oluşmasına beta çözünmesi denir, elektron ile pozitron oluşumuna göre β^- ve β^+ olarak adlandırılır ve alfa parçacıklarından farklı olarak tek bir parçacıktan oluşurlar. Beta ışınımı yapan radyoaktif bir atom çekirdeğinin, atom numarası 1 birim artar, ancak bu çekirdeğin kütle numarası değişmez. Şekil 1.4'de Radyum-228 elementinin beta parçacığı bozunumu gösterilmiştir.



Şekil 1.4. Radyum-228 elementinin beta parçacığı bozunumu

Beta parçacıkları ortamdaki atomlarla Coulomb etkileşmesi yaparak iyonlaşmaya yol açar ve enerjisini kaybeder. Beta radyasyonunun alfa parçacığına göre sahip olduğu elektriksel yükü ve kütlesi daha küçük olduğu için girdiği maddesel ortam içinde nüfuz etme gücü daha fazladır. Bu nedenle alfa parçacıklarına göre durdurulmaları daha zordur. İnce bir alüminyum plaka bu parçacıkların durdurulması için yeterlidir.

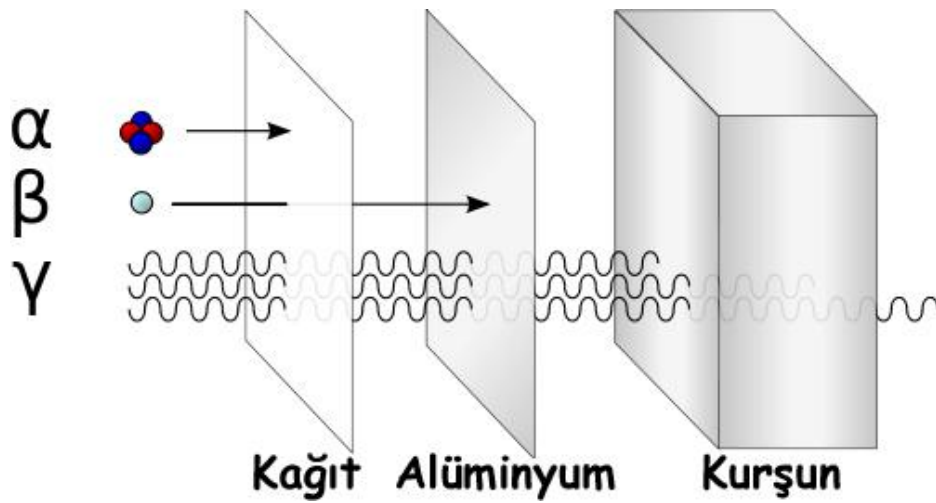
1.4.3. Gama ışınımı

Radyoaktif çekirdekler tarafında kararlı hale gelmek için yayımlanan yüksek enerjili elektromanyetik dalgalarıdır. Alfa ya da beta bozunması yapan radyoaktif çekirdeklerin enerji seviyesi bozunmadan sonra hala yüksek ise, çekirdek kararlı hale

gelebilmek için gama ışınımı yaparak enerjisini azaltır. Gama bozunması çekirdekten dışarıya yükü ve kütlesi olan herhangi bir parçacık atılmadığı için çekirdeğin proton ve nötron sayısı aynı kalır. Gama ışınları madde içerisinden geçerken, başlıca üç farklı etkileşme yaparak içinde bulunduğu ortama enerjisini aktarır. Bu etkileşmeler sırasıyla Compton saçılması, çift oluşumu ve fotoelektrik olayıdır. Gama ışınları dar bir ışın demeti olarak geçerse, bu üç etkileşme türünden herhangi biri nedeni ile doğrultu değiştirerek veya soğrularak ışın demetinden kaybolur [7]. Gama ışınımı yüksek enerjili elektromanyetik dalga olduğu için maddesel ortamlara nüfuz etme gücü çok yüksektir. Gama radyasyonunu durdurmak için çok kalın ve yoğun maddesel ortama ihtiyaç vardır, bu amaçla genellikle kurşun plakalar kullanılır. Gama radyasyonun elektrik yükü olmadığı için elektriksel ve manyetik alanda sapmaya uğramazlar.

1.4.4. Nötron radyasyonu

Nötron parçacığı çekirdekteki nükleer tepkimeler sonucunda yayımlanır. Nötron radyasyonu elektriksel yüke sahip olmadığı için elektriksel ve manyetik alanlarda sapmaya uğramazlar ve bulunduğu ortam içindeki yüklü parçacıklarla Coulomb etkileşmesine girmezler. Nötron parçacıkları bir atom çekirdeği ile çarpışma yolu ile etkileşmeye girerek enerjilerini kaybederler. Şekil 1.5’de alfa, beta, gama ve nötron parçacıklarının radyasyon durdurma şemaları gösterilmiştir.

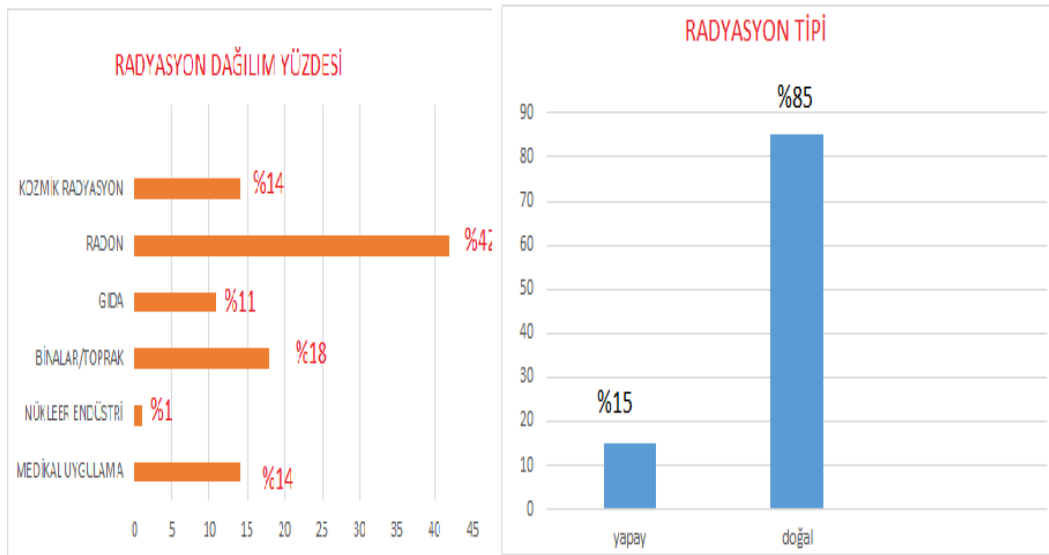


Şekil 1.5. Çeşitli parçacıkların radyasyon durdurulma şemaları

1.5. Radyasyon Kaynakları

Canlı yaşamın dünyada ilk oluşumundan itibaren tüm canlı organizmalar radyasyona maruz kalmıştır çünkü canlı yaşam formlarının oluşabilmesi için radyasyon vazgeçilmez temel unsurlardan biridir. Doğal ve yapay radyasyon kaynakları çevremizde her an bulunmaktadır. İnsan ve diğer tüm canlıların bedenleri belli bir düzeyde de olsa radyoaktif maddeler içermektedir. Radyasyon ve radyoaktif maddeler bir yüz yıldan biraz uzun bir süre önce varlıkları anlaşılmış ve insanlar tarafından çeşitli alanlarda kullanılmaya başlanmıştır. Radyoaktif maddelerden başta tıp, endüstriyel sanayi, enerji üretimi, silah sanayi gibi çok geniş kullanım alanlarında faydalanılır.

Günlük yaşamımızda çok farklı yapay ve doğal radyasyon kaynaklarından yayımlanan radyasyona maruz kalmaktayız. Bunlardan bazıları kozmik ışınlar, güneşten dünyamıza ulaşan ışınlar, bedenimizdeki çeşitli radyoaktif izotoplar ve toprakta bulunan radyoaktif elementlerin bozunması gibi doğal kaynaklar nedeniyle oluşur. Diğerleri ise medikal (tıbbi) x-ışınları, endüstriyel sanayide kullanılan gama ışınları nükleer reaktörlerden kaynaklanan radyasyon gibi yapay kaynaklar olarak sıralanabilir. Grafik 1.1 'de radyasyon kaynakları ve yüzdeleri verilmiştir [8].



Grafik 1.1. Radyasyon Kaynakları ve Yüzdeleri

1.5.1. Doğal Radyoaktif Kaynaklar

Doğada kendiliğinden var olan yaşamımızın her anında maruz kaldığımız radyasyon kaynaklarıdır. Canlıların maruz kaldığı radyasyonun yaklaşık % 85'lik bölümü doğal kaynaklardan yayılan radyasyondur. Bütün canlıların maruz kaldığı genellikle zararsız olan bu radyasyon, çevresel, fon ya da arka alan radyasyonu olarak adlandırılır. Doğal radyasyonu oluşturan kaynaklar üç başlıkta toplanabilir bunlar; kozmik radyasyon, yer küre radyasyonu ve içsel radyasyon olarak isimlendirilir.

1.5.1.1. Kozmik radyasyon

Dünya atmosferi güneşten ve galaksilerden kaynaklanan yüksek enerjili proton ve nötron parçacıkları ile sürekli bombardmana maruz kalmaktadır. Bu parçacıkların enerjileri 1 MeV ile 10^4 MeV arasında değişmektedir [9]. Dünyanın atmosferi ve manyetik alanı yeryüzündeki canlı hayatı zararlı kozmik radyasyondan koruma gibi bir işlevi vardır. Bu nedenle kozmik radyasyona hangi yükseklikte maruz kaldığına bağlı olarak alınan dozun seviyesini etkiler. Yükseklere çıktıkça atmosfer kalınlığı ve manyetik alanın şiddeti azalır. Kozmik radyasyon atmosferde bulunan gaz atomlarını etkiler ve bu etkileşim sonucu müonlar ve pionlar gibi parçacıklar oluşur [10].

1.5.1.2. Yerküre radyasyonu

Yerkürede doğal olarak bulunan radyoizotopların bozunmaları sonucu oluşan radyasyondur Bu bozunmalar sonucu ortaya çıkan gama ışınları nedeniyle tüm canlılar dış kaynaklı radyasyona maruz kalır. Binalar taş ve topraktan yapıldıkları için düşük seviyede de olsa radyoaktif özellik taşırlar. Böylece insanlar binaların dışında olduğu kadar, bina içinde de benzer şekilde radyasyona maruz kalırlar.

Gama ışınımı yapan U-238 ve Th-232 serileri ile K-40 dış kaynaklı radyasyon dozunu etkileyen temel bozulmaları oluşturur. Yerkabuğunda bulunan bu üç element ve bunların izotopları insanların maruz kaldığı radyasyonun önemli kısmını oluşturmaktadır. Üst kabukta bulunan K-40, yaklaşık 3ppm ortalama konsantrasyona, granit kayalarda bulunan Th-232, 10-15 ppm ortalama

konsantrasyona, uranyumun üç farklı izotopu da granit yapılarda toplamda 3-4 ppm ortalama konsantrasyona sahiptir. Uranyum elementinin üç farklı izotopunun bulunma yüzdeleri sırasıyla U-238 için 99,274 %, U-235 için 0,7205 % ve U-234 için 0,0056 % seviyelerindedir [11]. Yer altındaki kaya ve toprak katmanlarında bulunan uranyum U-238 bazı elementlerin uzun radyoizotop bozunma serisinin başlangıç kaynağıdır ve bozunmaya uğrayarak kararlı kurşuna kadar dönüşür. Bu bozunma serisinin ilk ürünleri arasında yer alan Rn-222 radon radyoizotopu zamanla havaya karışır ve bozunmaya devam eder. Benzer şekilde radyoaktif toryum (Th-232) elementi de başka bir radyoaktif bozunma serisinin başlamasına kaynaklık eden maddedir. K-40 ağırlıklı olarak yer kabuğunun % 2,4' ünü oluşturur ve aktivite konsantrasyonu U-238 ve Th-232' ye göre daha büyüktür [12]. Tablo 1.1'de toprakta bulunan doğal radyonüklitlerin UNSCEAR-2015 raporlarında tespit edilen konsantrasyonları verilmiştir.

Tablo 1.1. *Toprakta Bulunan Doğal Radyonüklitler*

Radyonüklit Konsantrasyonu (Bq /kg)				
	K-40	U-238	Ra -226	Th -232
Değişim Aralığı	140-850	16-110	17-60	11-64
Ortalama	400	35	35	45

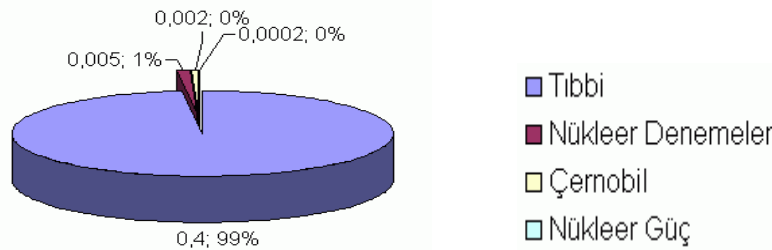
Doğal radyasyon kaynaklarından alınan gama radyasyonun yıllık toplam etkin doz değeri ortalama 0,48 mSv'dir. İnsanların yaşadıkları bölgelere bağlı olarak aldıkları doz bu ortalamanın altında yada üzerinde olabilir. Dünyanın bazı bölgeleri radyoizotop konsantrasyonu bakımından yüksek değerler içeren toprak yapısına sahiptir. Bu özelliğe sahip bölgelerin başında Hindistan'ın Kerala bölgesi, Fransa ve Brezilya'nın bazı bölgeleri yer alır. Bu bölgelerde alınan doz dünya ortalamasının yaklaşık 20 katına kadar çıkabilir [13].

1.5.1.3. İçsel radyasyon

Canlılar, bedenlerinde bulunan K-40 ve C-14 gibi elementlerden dolayı sürekli radyasyona maruz kalmaktadır, bu içsel radyasyon olarak adlandırılır. İçsel radyasyon kaynaklanan maruz kalınan doz miktarları farklı bölgelerde yaşayan kişilere göre değişir. İçsel radyasyon nedeni ile alınan doz miktarları kozmik ve yer kabuğundaki radyonüklitlerden alınan doz miktarlarına göre daha düşüktür. İç radyasyon dozu ölçülemez; alınan miktarın tahmini /ölçülen verilerine, organdaki tahmini/ölçülen miktarlara veya vücuttan atılan miktara dayanarak hesaplanır [14].

1.5.2. Yapay İnsan Yapımı Kaynaklar

Yeryüzünde yaşayan tüm canlılar doğal (fon) radyasyona her an maruz kalırlar. Ancak radyoaktivitenin keşfi ve kullanımı ile birlikte yapay kaynaklı radyasyona da maruz kalmaktadırlar. Yapay radyasyon kaynakları nedeni ile maruz kalınan radyasyon doz miktarı insanların yaşadığı bölgeye, günlük hayatlarında kullandıkları cihazlara ve nükleer tıp tedavilerinde geçirdiği zamana bağlı olarak değişiklik gösterir. Nükleer tıp teknolojileri ile tedavi edilen hastaların ışınlanma düzeyi normalden çok daha fazladır. Aynı şekilde bu tür tedavilerin yapıldığı merkezlerde nükleer tıp kullanılan ilaçları hazırlayıp hastalara vermekle görevlendirilen doktorlar ve sağlık personelleri normalde günlük yaşamlarında maruz kaldıklarından daha fazla radyasyona maruz kalabilirler. Yapay radyasyon kaynakları elektronik cihazlar, tıbbi tedavi teknolojileri, nükleer denemeler, nükleer santraller, sanayide kullanılan radyo aktif maddeler olarak sıralayabiliriz. Şekil 1.6'da yapay radyasyon kaynaklarının oranı verilmiştir [15].



Şekil 1.6. Dünyadaki yapay radyasyon kaynaklarının oranı

1.5.2.1. Medikal (tbbi) kaynaklar

İnsanların maruz kaldığı yapay kaynaklardan alınan radyasyonun büyük bir bölümü nükleer tıp da kullanılan tedavi yöntemlerinden kaynaklanmaktadır. Medikal uygulamalar sonucu açığa çıkan radyasyon miktarı bu tedavinin uygulandığı hastalar için çok önemlidir. Çünkü bu tür radyoterapi ve nükleer tıp tedavilerinin uygulanması sırasında hastalar yüksek dozda iyonlaştırıcı x-ışınına ve gama ışını gibi zararlı radyasyona maruz kalırlar. Özellikle kanser tedavisi gibi hastalıkların tanı ve tedavisinde alınan doz miktarları, günlük hayatımızda karşılaştığımız insan yapımı cihazlardan kaynaklanan radyasyona bağlı olarak maruz kalınan doz miktarına kıyasla çok daha fazladır.

1.5.2.1.1. Radyografi

Radyografi de kullanılan teknik temelde yüksek enerjili radyasyondan faydalanarak opak ve heterojen yapısı olan insan vücudu gibi sistemleri görüntüleme yöntemidir. Bu uygulamada yaygın olarak kullanılan radyasyon türleri x-ışınları ve gama ışınlarıdır. Röntgen, tomografi ve bilgisayarlı tomografidir medikal alanda en çok kullanılan yöntemlerin başında gelir. İlk olarak iç organların görüntülenmesinde başvurulan x-ışını üreten kaynaktan istenilen enerji seviyesinde radyasyon elde edilir. Daha sonra bu radyasyon görüntülenmek istenen bölgeye gönderilir, bu ışınlar maddesel ortamdaki atomlarla etkileşerek çeşitli seviyelerde saçılmalara ve enerji kayıplarına uğrar bu sayede bu bölgenin görüntüsü elde edilir. Nükleer tıpta tanı ve tedavi amacı ile kullanılan kaynaklar nedeniyle hastaların maruz kaldığı radyasyon miktarı içinde oranı en büyük olan x-ışınlarıdır. Fotoğraf 1.1'de bu yöntemin kullanıldığı göğüs bölgesi röntgen görüntüsü verilmiştir.

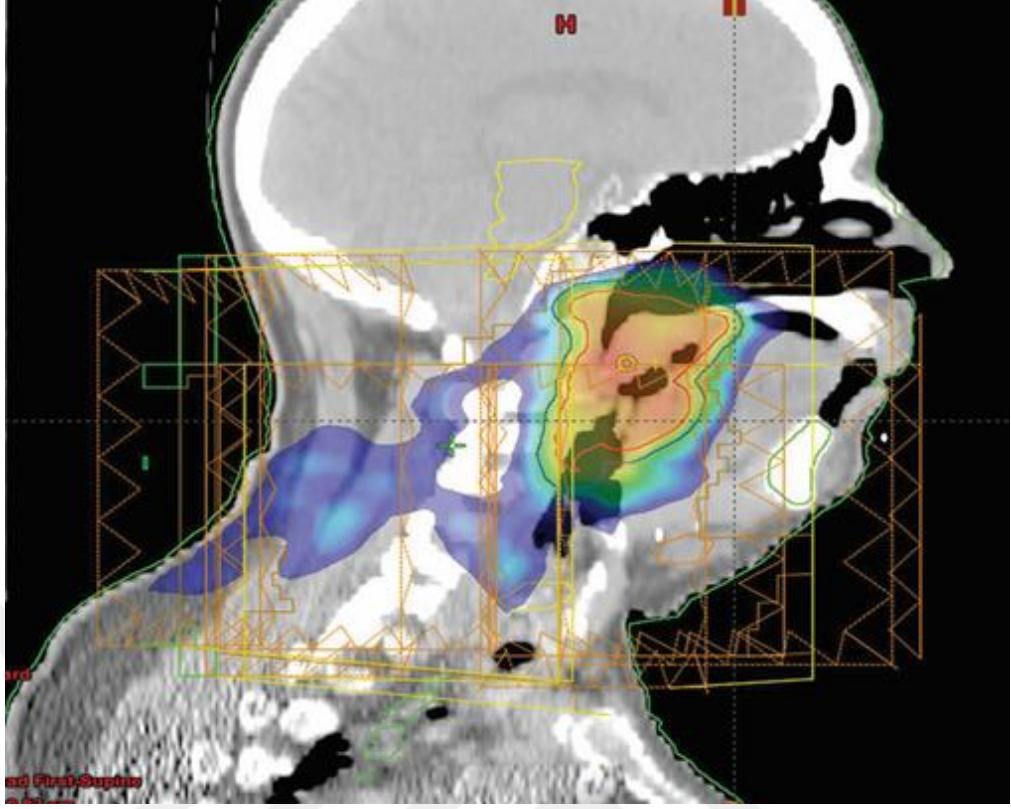


Fotoğraf 1.1. Göğüs Bölgesi Röntgeni

Radyografi kullanılarak görüntü alınan bölümler arasında diş, bacak, kalp, kafa, kol ve akciğer vardır. Bu görüntüleme yöntemi ile vücut tarafından alınan toplam radyasyon dozu, medikal x-ışınları kullanımı sonucu maruz kalınan toplam radyasyon dozunun % 15'ini oluşturur. Son yıllarda teknolojik gelişmeler sayesinde daha hassas düşük radyasyon yayan cihazların üretilmesi ve daha iyi filtreleme yöntemlerinin geliştirilmesiyle bu tedavi sürecinde ortaya çıkacak zararlı durumlar en aza indirilerek hastaların radyasyondan korunmaları sağlanmaktadır.

1.5.2.1.2. Nükleer tıp ile görüntüleme ve tedavi

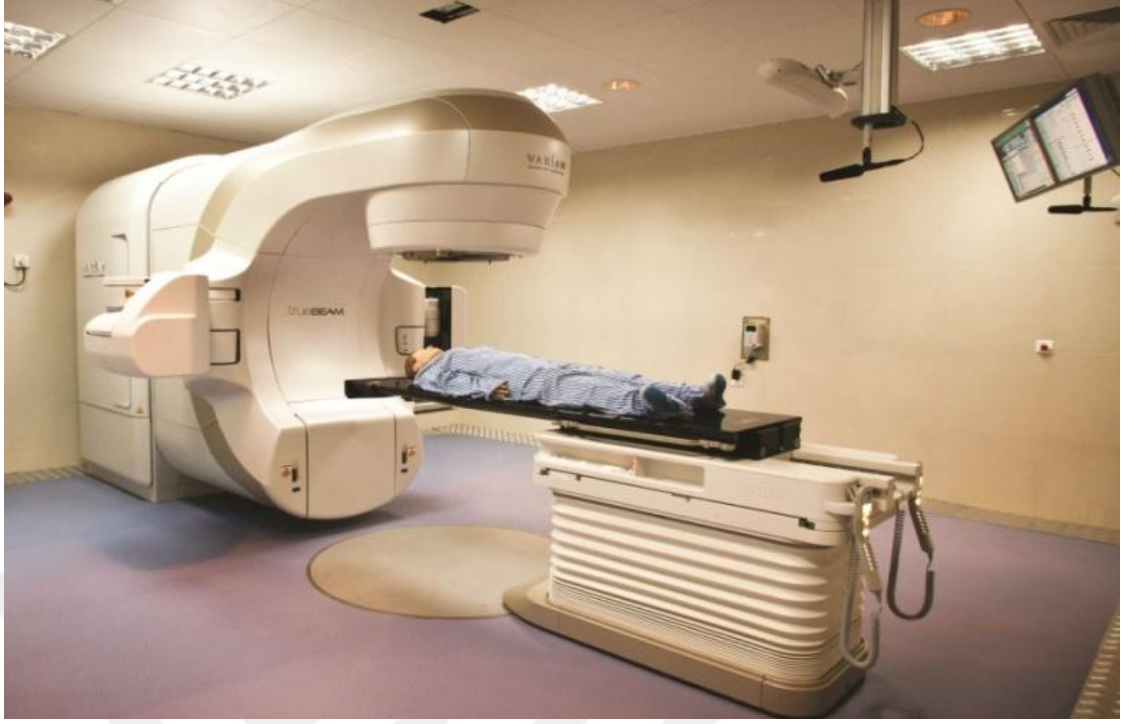
Bu metodun temelinde teşhis konmak istenen belirli organlardaki bazı faaliyetleri tanılamak için hasta vücudundaki incelenmek istenen organ ve dokuya radyoaktif çekirdekler konması işlemidir. Bu yöntem aynı zamanda kanserli dokulardaki zararlı hücrelerin yok edilmesi için radyoaktif maddelerin vücuttaki organlar üzerinde kullanıldığı nükleer tıp uygulamalarındandır. Bu görüntüleme yöntemi en basit haliyle şu şekildedir; radyoaktif madde gerekli dozda, görüntülenmek istenen dokuya ilaç kullanılarak yerleştirilmesidir. Radyoaktif özelliğe sahip ilaç vücut içerisinde organlara dağıldıkça radyasyon görüntüleyici kameralar sayesinde incelenir. Fotoğraf 1.2'de nükleer tıp görüntüleme yöntemi ile elde edilen görüntü verilmektedir.



Fotoğraf 1.2. Nükleer Tıp ile Görüntüleme

1.5.2.1.3. Radyoterapi

Radyoterapi genellikle kanser tedavisinin son aşamasında başvuru olan bir yöntemdir. Bu tedavide kullanılan gama ışınları genellikle Kobalt-60 izotopları kullanılarak elde edilir. Yüksek enerjili gama ışını demetleri kanserli dokudaki tümörleri öldürerek çoğalmalarını engellemek için hedeflenen bölgeye yüksek miktarda gönderilir. Bu tedavi sırasında kanserli dokularla birlikte sağlıklı hücrelerde zarar görülebilir. Bu nedenle radyoterapi en son başvuru olan tedavi türüdür. Fotoğraf 1.3’de hastanelerdeki radyoterapi de kullanılan tıbbi cihaz görülmektedir.



Fotoğraf 1.3. Radyoterapi Cihazı

Düşük dozlarda iyonize radyasyonun etkilerinin kapsamını nitelendirmek oldukça güçtür. Bunun sebeplerinden birisi latent periyodun uzun olmasıdır. İyonlaştırıcı radyasyonun etkilerinin saptanması için özellikle sağlık çalışanlarında geniş çaplı izlem çalışmalarının yapılması önerilmektedir [16].

Radyoterapi cihazları da her geçen gün gelişen teknoloji sayesinde daha hassaslaşmıştır yani yalnızca zararlı hücreleri radyasyona maruz bırakıp etrafındaki sağlıklı hücrelerin zarar görmelerini en aza indirecek şekilde geliştirilmiştir.

1.5.2.2. Kullanıcı ürünleri

Tıbbi radyasyon kaynakları dışında günlük yaşantımızda maruz kaldığımız ortalama radyasyon miktarı, toplamda maruz kalınan radyasyon miktarlarının çok küçük bir kısmını oluşturur. Radyasyon yayan teknolojik araçların sayısı çok fazla ve çeşitlilikte olduğu için neredeyse tüm sektörlerde karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle kullanılan ürünlerden kaynaklanan ışınlanmalar oldukça önemlidir. Endüstri sektöründe kullanıcı ürünlerden kaynaklanan radyasyonla ilgili bazı örnekler aşağıda bahsedilmiştir.

1.5.2.2.1. Endüstride kullanılan kaynaklar

Radyoaktif ışımalara neden olan birçok radyoaktif madde endüstriyel alanda sıkça kullanılmaktadır. Aşağıda bu tür maddelerin kullanıldığı endüstri kollarından bazıları sıralanmıştır:

- Demir, çelik ve kâğıt üretiminin yapıldığı fabrikalarda ürünlerin inceliğini ayarlamak için radyonüklit kalınlık ölçmelerinden faydalanılır.
- Çimento, kâğıt ve çeşitli yapı malzemelerinin üretiminin yapıldığı sektörlerde yüksek miktarda hazırlanan karışımların oranlarının kontrolünde radyonüklitler kullanılır.
- Araç üretiminin yapıldığı otomotiv sektöründe üretilen parçaların aşınma testlerinde bazı radyonüklitler kullanılmaktadır.
- Beton köprülerde taşıyıcı kabloların dayanıklılık ölçümleri yapılırken radyonüklitlerden faydalanılır.
- Jeolojik araştırmalarda, petrol ve maden sektörlerinde kayaların yoğunluk ve kimyasal elementlerini saptamakta nükleer ölçüm cihazları kullanılmaktadır.

1.5.2.2.2. Günlük kullanım ürünleri

Her gün kullanmak durumunda kaldığımız birçok araç gereç ve elektronik ürün düşük miktarda da olsa radyasyon kaynağı olarak kabul edilebilir. Çevremizde sıklıkla bulunan bu türden kaynaklardan bazıları aşağıda sıralanmıştır.

- Fosforlu oyuncak ve saatler
- Sigara tütünü
- Televizyon, bilgisayar ve tabletler
- Floresan aydınlatma araçları başlatıcıları
- Kontrol noktalarındaki güvenlik sistemleri
- Yapı ve yol inşaat malzemeleri

Gündelik hayatımızda kullandığımız bu tür ürünlerden alınan radyasyon miktarı medikal alanda kullanılan cihazlardan alınana göre çok düşük miktardadır [17]. Fotoğraf 1.4’de günlük yaşantımızda karşılaştığımız X-ışını güvenlik sistemi görülmektedir.



Fotoğraf 1.4. X-ışını Güvenlik Sistemi

1.5.2.2.3. Araştırmalarda kullanılan kaynaklar

Radyasyon kaynakları akademik çalışmaların yapıldığı üniversite laboratuvarlarında ve bazı araştırma kuruluşlarında sıkça kullanılmaktadır. Radyasyon kaynaklarının kullanıldığı çeşitli araştırma alanlarından bazıları Nükleer Fizik, Madencilik, Metalurji, Biyoloji, Nükleer Tıp, Tarım, Jeoloji ve Kimya gibi bölümlerdir. Bu alanlarda yapılan çalışmalar sonucunda daha ileri yöntem ve teknikler ortaya çıkmaktadır. Özellikle nükleer fizik ve nükleer santral çalışmalarında ışınımı yüksek radyoaktif maddeler sıklıkla kullanılmaktadır. Bu alanlarda çalışan bilim adamı ve mühendislerin yüksek dozda radyasyona maruz kalma riski fazladır.

1.5.2.3. Nükleer santral kazaları

Temelde nükleer santraller zenginleştirilmiş radyo nükleitlerden nükleer fisyon yoluyla elde edilen nükleer enerjinin önce ısı ve daha sonra tribünler aracılığı ile elektrik enerjisine çevrilmesi prensibine dayanır. Bu santrallerde yaşanabilecek kazalara karşı her türlü tedbir önceden ve çok detaylı araştırmalar sonucu alınmalıdır. Herhangi bir kaza sonucu oluşacak radyoaktif kirlilik nükleer santral ve çevresindeki

tüm canlı yaşama büyük zararlar verebilecek boyutlara ulaşabilir. Bu radyoaktif kirlenme genellikle radyoaktif gaz ve parçacık bulutlarının havaya karışarak çevreye nüfuz etmesi sonucu gerçekleşir. En büyük tehlike öncelikle radyasyon bulutunun en yoğun olduğu kaza bölgesinin yakınında bulunan ve radyasyona yüksek oranda maruz kalan insanlar içindir.

Ukrayna'nın Kiev şehrine 130 km uzaklıkta bulunan Çernobil Nükleer Santralının RBMK-1000 tipi 4 nükleer reaktörü vardı. Kazanın olduğu yıllarda santralin yakın çevresinde tahminen 115000-135000 arasında insan yaşamaktaydı. Santralde başlayan yangını kontrol altına almak için gönderilen itfaiye elemanları da dahil olmak üzere çalışanların ilk gün içerisinde yaklaşık 20000 mSv doz radyasyon almış olabilecekleri tahmin edilmektedir. 1986 Haziran ayının sonuna gelindiğinde çoğu santral çalışanı 28 kişi hayatını kaybetmiştir. Bölgede yapılan çalışmalarda yaklaşık 200000 insan katılmıştır. Burada yapılan çalışmalara katılan kişiler ortalama 100 mSv doz almıştır. Radyasyonun yayıldığı bölgede kirlenmeye neden olan radyasyonun büyük kısmı yarı ömrü İyot-131 ve Sezyum-137 elementinden kaynaklanmıştır. Yaklaşık olarak 1,8 EBq İyot-131, 0,085 EBq Sezyum-137 salınımına neden olmuştur. Beyaz Rusya, Rusya ve Ukrayna gibi yakın ülkelerde yaşayan yaklaşık 5 milyon insanın bulunduğu bölgedeki toprakta aktivite yaklaşık 37 kBq/m² Sezyum-137 olarak hesaplanmıştır [18]. Bu kazanın neden olduğu geniş çaplı nükleer kirlenmeden ülkemizde etkilenmiştir. Kaza sonrası yayılan nükleer bulutun Türkiye nin kuzey bölgelerinde ve Trakya da yarattığı etkileri bazı kurumlar tarafından da tespit edilmiştir. Edirnenin Eskikadın, İsmailce, Kapıkule ve Büyükdoğanca en çok maruz kalan bölgelerdir. En yüksek Uzunköprü ilçesinden alınan örnekte bulunmuştur. Elif Gönen tarafından Edirne ili ve çevresinde 46 farklı noktadan alınan toprak numuneleri üzerinde yapılan çalışmada bu bölgede Çernobil kazası sonucu ¹³⁷Cs kontaminasyonunun etkilerinin sürdüğü görülmektedir [19].

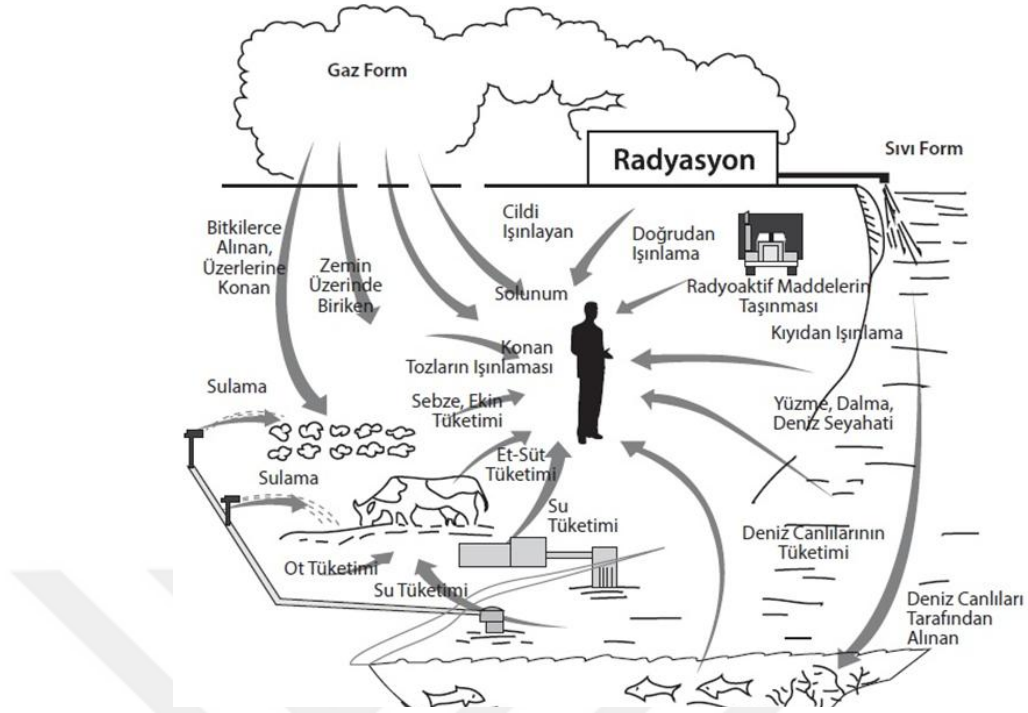
Fukushima Nükleer Santrali, Japonya'nın Fukushima şehri yakınlarında deniz kenarında inşa edilmiştir. 11 Mart 2011 tarihinde Sendai kentinden 130 km açıktaki meydana gelen 9,0 büyüklüğündeki deprem sonrasında oluşan tsunami dalgaları, tarihteki en büyük ikinci nükleer santral kazasının burada olmasına neden olmuştur. 31 Aralık 2011 tarihinde Tepco tarafından, 11 Mart tarihinde kaza bölgesinde çalışan

ve yüksek dozda radyasyona maruz kalan 19594 kişi üzerinde araştırmalar yapılarak ölçümler yapılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre 167 personel 100 mSv üzeri doz almıştır ve 167 kişiden 135 kişi 100-150 mSv arası, 23 kişi 150-200 mSv arası, 3 kişi 200-250 mSv arası ve 6 kişi de 250 mSv üzeri doz almıştır. Fukushima'daki kazada radyasyon nedeniyle kısa dönemde ölüm vakası ve akut radyasyon hastalıkları görülmemiştir [20].

Nükleer Santrallerde kaza olasılığı radyolojik olaylara oranla daha düşüktür orandadır ancak yarattığı sonuçlar çok daha büyük insan kitlelerini ve bölgeleri etkilemektedir. Diğer bir radyo aktif kirlenme kaynağı ise nükleer silah denemeleri sonucu açığa çıkan ve havaya yayılan radyo aktif serpinterlerdir. Ancak 1960'lı yılların başlarında başlayan Amerika ve Sovyetler Birliği arasında yapılan anlaşmalar sayesinde bu yolla oluşan radyoaktif kirlenme günümüze kadar azalma göstermiştir. Günümüzde nükleer santraller nükleer fisyon ile çalışmaktadırlar. Nükleer füsyon reaksiyonlarında açığa çıkan enerji çok yüksek sıcaklıkta gerçekleştiği için kontrol edilememektedir bu yüzden füsyon reaktörleri aktif olarak henüz kullanılamamaktadır [21].

1.6. Radyasyonun İnsanlara Ulaşması

İnsanlar çok farklı şekillerde radyasyon ve radyoaktif maddelere maruz kalabilirler. Şekil 1.7'de radyasyonun insanlara ulaşma mekanizmaları görülmektedir. Radyasyon ve radyasyon kaynaklarının canlıların bedenine ne şekilde ulaştığına bağlı olarak, farklı organlar farklı şekilde radyasyona maruz kalır ve farklı biyolojik etkiler ortaya çıkar.



Şekil 1.7. Radyasyonun İnsanlara Ulaşma Mekanizmaları

Radyasyona genellikle iki şekilde maruz kalınır. Bunlardan birincisi içsel ışınlanma ve diğeri de dışsal ışınlanma olarak tanımlanabilir. Işınlanma yollarına, süresine ve ne tür bir radyoaktif maddeden yayıldığına bağlı olarak biyolojik etkileri değişiklikler gösterir. Ayrıca radyasyona maruz kalan kişilerin yaşı, cinsiyeti ve vücudunun hangi bölgesinin radyasyona maruz kaldığı oluşacak biyolojik etkilerin derecesini belirlemede önemli bir etkiye sahiptir.

1.6.1. İçsel Işınlanma

Çeşitli yollarla vücuda giren radyoaktif maddelerin vücudun içinden ışınlaması olarak tanımlanabilir. Genellikle dışarıdan radyoaktif bir madde iki farklı yolla vücuda alınır:

- Solunum yolu
- Yutma

1.6.1.1. Solunum yoluyla içsel ışınlanma

İnsanların solunum yaparak nefes alıp vermeleri sonucu havadaki radyoaktif maddeler akciğere aracılığı ile vücudun içine girerler. Radyoaktif maddeler ile karışmış toz, hava veya radon gibi radyoaktif gazlar solunum yoluyla vücuda alındığında içsel ışınlanmanın ana kaynağı olur. Radyoaktif parçacıklar akciğerlerde yerleşebilir ve uzun zaman burada kalabilir. Bu tür radyonüklitler vücut içerisinde kaldığı sürece radyoaktif bozunma geçirerek içsel ışınlanmaya neden olur. Alfa ve beta ışınımı yapan kaynaklarının solunumu sonucu oluşan ışınlanma insanların en çok zarar gördüğü içsel ışınlanmadır. Alfa ve beta parçacıkları etrafında bulunan canlı hürelere büyük miktarda enerji aktarmak suretiyle, gen dizilimlerine ve hücre içinde buluna organellere zarar verebilir. Canlı dokularda oluşan bu türden bir hasarın kansere ya da mutasyona yol açma olasılığı oluşur. Solunum yoluyla oluşabilecek içsel radyasyondan korunmak için dikkate alınması gereken noktalar şunlardır [22].

- Havada ve toprakta oluşacak radyoaktif kirlenmeler
- Radon konsantrasyonundaki seviye
- Gaz olan diğer radyoizotopların seviyesi (Tritiyum, Karbon-14)
- Endüstriyel uygulamalarda açığa çıkacak nükleer atıklar

1.6.1.2. İngesyon (yutma) yoluyla içsel ışınlanma

Radyoaktif bir maddenin ağızdan alınması ile başlar. Sindirim sürecinde de devam eder. Bu yolla gerçekleşen ışınlanmada dokularda en fazla yıkıcı etkiyi yaratanlar beta ve alfa parçacıkları yayan kaynaklardır.

Radyoaktif maddenin türü ve yarı-ömrüne bağlı olmakla birlikte, ingesyon yoluyla ışınlanma tüm sindirim basamaklarında devam eden bir süreçtir; bazı radyoizotoplar karaciğere, böbreklere, vücuttaki diğer organlara bazen kemiklere kadar nüfuz edebilir. Vücuttan kısa sürede atılabile yarı-ömrüleri kısa olan radyoaktif maddelerin yıkıcı etkileri daha az gözlemlenir.

İngesyon yoluyla ışınlanmaya maruz kalmamak için şunlara dikkat edilmelidir:

- Radyoaktif maddeler karışmış olan sular içilmemelidir
- Radyoaktif maddelerin kirlettiği topraklarda yetiştirilen ürünleri tüketmemek
- Radyoaktif maddelerin karıştığı sular kullanılarak üretilen gıdaların tüketilmemesi
- Radyoaktif maddelerden etkilenmiş hayvanların tüketilmemesi
- Radyoaktif kirliliğe maruz kalmış deniz ve akarsulardan yakalanan balık ve deniz mahsullerinin tüketilmemesi [23].

1.6.2. Dışsal Işınlanma

Vücudun dışarıdaki radyoaktif maddelerden yayınlanan ışımalara maruz kalması dışsal ışınlanma olarak adlandırılabilir. Günlük hayatımızda fon radyasyonu, insanların yol açtığı yapay radyasyon yani vücut dışından gelen her tür ışınlanmalar bu türden ışınlanmalar olarak kabul edilir. Dışsal radyasyon kaynağının türüne, maruz kalınma süresine ve aktivitesine bağlı olarak yol açacağı etkiler farklılıklar göstermektedir.

- Alfa parçacıklarının yol açacağı zararlar sınırlıdır. Çünkü alfa parçacıkları deriyi geçemez ancak açık yaraların olduğu dokular risk altındadır.
- Beta ışınmasının alfa parçacıklarına göre daha zararlı etkileri vardır. Yeterince uzun süre maruz kalındığında deri dokusunda yanmaya ve göz rahatsızlıklarına neden olabilir.
- Enerjisine ve kaynağın aktivitesine bağlı olarak en zararlı etkiyi gama ışınları gösterir. Dışsal ışınlanma düzeyinin en yüksek olduğu durumlar nükleer santral kazaları ve nükleer saldırılardır.

1.7. Radyasyonun Ölçülmesi

Herhangi bir ortamdaki radyasyonun hangi oranlarda bulunduğunu belirlemek ve ölçümlemek için geliştirilmiş dedektörlere ihtiyaç duyulur. Radyasyon duyu organlarımızla algılanabilir bir fiziksel etkiye sahip değildir. Bu nedenle olası kazalarda ya da nükleer saldırılar sonucu oluşacak kirlenmenin ölçülmesinde veya akademik alanlarda yapılan ölçüm çalışmalarında farklı türde dedektörler

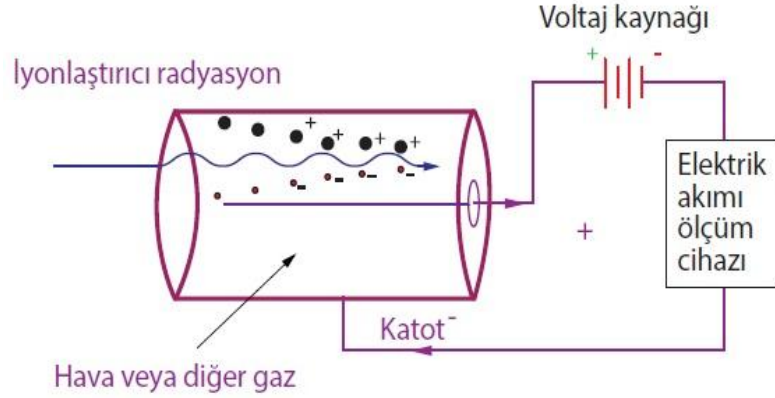
kullanılması gerekir. Ölçülmek istenilen radyasyonun türüne, ölçüm yapılacak yere ve çalışma prensibine bağlı olarak geliştirilmiş çok çeşitli dedektörler bulunmaktadır.

1.7.1. Dedektörler

Radyo aktif kaynaklardan yayınlanan radyasyonu ya da soğrulan dozu ölçmek ve ışınım türlerini belirlemek amacıyla üretilmiş mobil cihazlardır. Dedektörler aynı zamanda radyoaktif kaynağın belirlenmesi ve miktarının ölçülmesinde de kullanılan laboratuvar araçlarıdır [24]. Dedektörlere ulaşan radyasyon cihaz içerisinde çeşitli şekillerde iyonlaştırma ve uyarma mekanizmaları sonucu elektrik sinyalleri oluşturur, dedektörlerin temel çalışma prensipleri bu şekilde gerçekleşir. Yaygın olarak kullanılan dedektör çeşitleri aşağıda verilmiştir [25].

1.7.1.1. Gaz dolu dedektörler

Bu dedektörlerin temeldeki çalışma ilkesi iyonlaştırıcı ışınların gaz ile dolu ortamda sebep olduğu iyonlaşmaların ölçülmesine dayanır. Şekil 1.8'de gaz dolu dedektörlerin temel yapısı gösterilmektedir. İyonlaştırıcı radyasyonun açığa çıkardığı gaz iyonları elektriksel yüke sahiptir. Pozitif ve negatif elektrotlar sayesinde gaz iyonlarına potansiyel fark uygulandığında dedektör içinde zıt yönlerde hareket ederler. Yüklü iyonların hareketi sonucu dedektör içinde bir elektrik akımı meydana gelir ve bu akıma duyarlı aygıtlarla hesaplanır. Oluşan bu elektrik akımının şiddetine bağlı olarak radyasyon ölçümü yapılır. Elektrotlar arasında uygulanan potansiyel farkına bağlı olarak tasarlanmış farklı dedektör türleri vardır [26].



Şekil 1.8. Gaz Dolu Dedektörlerin Çalışma Prensibi

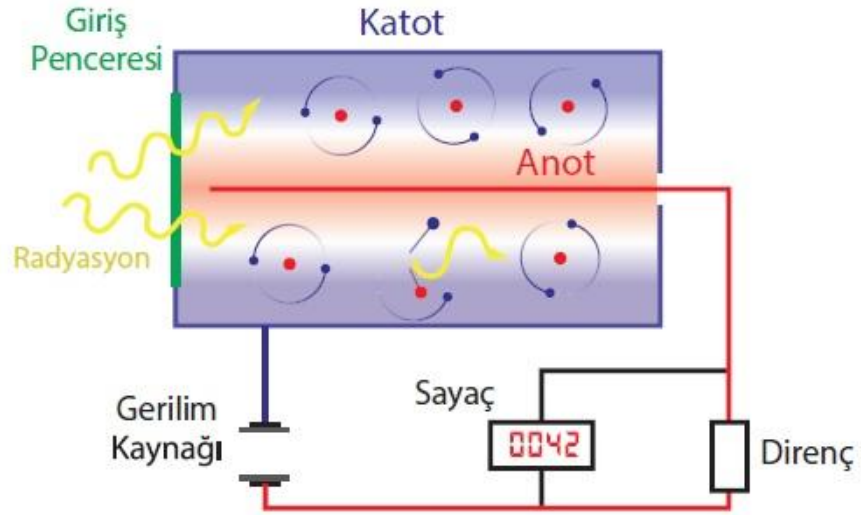
1.7.1.2. İyon odası

İyon odası gaz-dolu bir tüpe benzer, radyasyonun içeri ulaşabileceği bir aralık, tüpün ortasından geçen iletken bir tel, gösterge paneli ve güç kaynağından oluşur. Merkezden geçen iletken tel kaynak tarafından devamlı olarak pozitif elektrikle yüklenir böylece telin negatif yüklü gaz iyonlarının hareket etmesini sağlar. İyon odasında merkezden geçen tele uygulanan potansiyel fark diğer dedektörlerde göre daha küçüktür. Bu tür dedektörler genellikle medikal alanda doz hızı ölçümünde ışınlanma düzeyinin belirlenmesi amacıyla radyasyon alan dedektörü ve cep dozimetresi olarak kullanılır.

1.7.1.3. Orantılı sayaçlar

Bu dedektörler tasarım ve çalışma prensibi bakımından iyon odasına dedektörleriyle benzerlik gösterirler. İki dedektör arasındaki temel fark orantılı sayaçlarda daha yüksek potansiyel fark kullanılmasıdır. Şekil 1.9'da orantılı Sayaçların yapısı verilmiştir. Uygulanan yüksek gerilim nedeniyle gaz iyonlarının oluşturduğu elektrik akımı, ayrı bir radyasyon sayımına olanak verecek kadar yükseltir. Bu dedektörler ışınımın enerjisi belirlememize de olanak sağlar. Orantılı sayaçlarda, dedektör içi ilk iyonlaşma düzeyi ve buna bağlı olarak oluşan elektrik akımı doğru orantılıdır. Farklı enerji düzeylerine sahip radyasyon kaynaklarının neden olduğu iyonlaşma sonucu elde edilen elektrik akım şiddetleri de birbirlerinden farklı olacaktır. Bu sayede

farklı radyasyon kaynaklarından gelen ışınımların enerjilerinin ayırt edilmesi mümkün olur.



Şekil 1.9. Orantılı sayaç

1.7.1.4. Geiger-Müller dedektörleri

Geiger-Müller dedektörleri de tıpkı orantılı sayaçlar gibi yüksek potansiyel fark altında çalışan iyon odalarıdır. Kullanılan yüksek gerilim nedeniyle Geiger-Müller dedektörleri gaz odasına giren radyasyonun enerji seviyesinden bağımsız olarak bir elektrik sinyali yaratır. Dedektöre giren her bir iyonlaştırıcı parçacık dedektörün içinden geçerken bir tür çığ boşalmasına yol açtığı plato voltajı kullanılır. GM sayaçları genellikle beta parçacıkları ya da gama radyasyonu gibi iyonlaştırıcı radyasyonun sayılmasında tercih edilir [27].

1.7.1.5. Sintilasyon dedektörleri

Sintilasyon dedektörleri, radyasyonun dedektör içerisindeki kristal yapıdaki maddenin atomlarını uyarması sonucu açığa çıkan görünür ışığın yarattığı etkiden faydalanılarak ortamdaki radyasyonun belirlenmesinde kullanılan bir dedektör çeşididir. Sintilasyon dedektörlerinin başlıca bileşenleri kristal yapıya sahip madde, fotokatot ve dinotlardır. Gama radyasyonun kristal madde ile etkileşmesi sonucu

kristal yapıdan ışık yayımlanır. Bu fotonlar fotokatoda çarparak elektronların kopmasına neden olur. Koparılan fotoelektronlar uygulanan yüksek potansiyel fark ile dedektör tüpü içine yönlendirilerek burada dinotlara çarpmaları sağlanır. Dinotlara çarpan her bir fotoelektron, daha fazla elektronun koparılmasına yol açar ve elektron sayısı katlanarak artar. Daha sonra bu elektron kümesi tüpün ucunda bulunan anot üzerinde toplanır. Elektronların tüpün içerisindeki bu hareketi sonucu elektrik akımı meydana gelir. Oluşan elektrik akımı hassas aygıtlar aracılığı ile ölçülerek tüpe giren radyasyonun enerji seviyesi hakkında istenilen değerler elde edilir. Sintilasyon dedektörleri alan radyasyon ölçümlerinde, radyoaktif serpintilerin belirlenmesi çalışmalarında ve nükleer santrallerde kontrol amacıyla sıklıkla kullanılırlar [28].

1.7.1.6. Yarı iletken dedektörleri

Yarı iletken dedektörlerin çalışma şekli temelde gaz-dolu dedektörler ile benzemektedir. Ancak bu dedektörlerde gaz yerine yarı iletken katı maddeler kullanılmaktadır. Dedektöre ulaşan iyonlaştırıcı radyasyonun etkisiyle katı maddelerin atomlarındaki elektronlar harekete geçer ve bu etki ile kristal yapıya sahip yarı iletken maddede boşluklar ortaya çıkar. Bu olay bir bakıma iyonlaştırıcı ışımaların etkisiyle pozitif yüklü gaz moleküllerinin oluşumu ile aynıdır. Yarı iletken maddenin uçları arasına uygulanan gerilimin etkisi ile elektronlar ve boşluklar harekete geçer. Elektronların hareketi sonucu oluşan elektrik akımı diğer dedektörlerde olduğu gibi duyarlılığı yüksek aygıtlarla ölçülür ve bu değerlere bağlı olarak radyasyonla ilgili bilgiye ulaşılır.

1.7.2. Dozimetreler

Yüksek radyasyona kirliliğinin olduğu alanlarda çalışan kişilerin can güvenliğini sağlamak amacıyla doz ölçümü ve değerlendirmesi yapılması hayati önem taşımaktadır. Bu amaçla dozimetrik bir metot uygulanmaktadır. Bu sistem gereyince değerlendirmeler resmi kurumlar tarafından önceden belirlenen limit doz değerlerine bağlı olarak yapılır. Ölçümler ise dozimetre olarak adlandırılan ve eşdeğer radyasyon dozu ölçümü yapabilen cihazlarla yapılmaktadır.

Yaygın olarak kullanılan dozimetreler, özel olarak tasarlanmış bir kılıfa(taşıyıcı) konulmuş bir dedektör'den oluşmaktadır. Dedektör ortamdaki radyasyondan elde edilen verilerin farklı etkileşim metotlarıyla kaydedilmesini sağlar. Farklı maddelerden farklı kalınlıklarda tasarlanan kılıf(taşıyıcı) ise değişik radyasyon türlerinden ve farklı enerji seviyelerinde alınan dozların ayrı ayrı tespit edilmesine yarar. Bu nedenle beden, deri veya gözlerdeki eşdeğer dozun ve deri altındaki dokulardaki etkin dozların ölçülmesine olanak sağlayan çeşitli kalınlık ve yoğunluklarda filtreler kullanılır.

Bu cihazlar gama ışını, x-ışınları, beta ve nötron parçacıklarının ışınım doz ölçümlerini yapmak için kullanılmaktadır. Kullanılacak olan dozimetre ölçülen değerler ışınımın türüne, enerji seviyesine, ölçüm mesafesine, açısına ve dozimetrenin tepki süresine göre değişir.

1.7.3. Kullanım Alanlarına Göre Radyasyon Ölçüm Cihazları

1.7.3.1. Kontaminasyon monitörleri

Radyoaktif maddelerin kullanıldığı alanlarda olası bir kazada veya önceden tedbir amaçlı olarak çalışan personele veya çalışma bölgesindeki yüzeylere radyo aktif maddenin bulaşıp bulaşmadığını veya hangi miktarda bulaştığını ölçümleyen araçtır. Bu cihazlar herhangi bir kirlenme tespit ettiğinde erken uyarı vererek önlem alınmasını ve kirlenmenin yayılmasını önlemeye yardım eder. Bu cihazlar radyo aktif kirlenme riskinin yüksek olduğu çalışma alanlarında hayati önem taşımaktadır.

Uygun monitörler kullanılarak ortamdaki alfa, beta parçacıkları ve gama ışınları miktarı ölçülür. Elde edilen veriler doğrultusunda alfa izotopları için 0,37 Bq/cm² beta izotopları için 3,7 Bq/cm² değerlerinden fazla olması durumunda radyoaktif bulaşma olduğu sayılmaktadır.

1.7.3.2. Doz hızı ölçerler

Doz hızı ölçerler, dedektör ve dozimetrelerde kullanılan aynı çalışma prensipleri geçerlidir. Bu cihazlar ortamdaki radyasyon doz hızını ölçer ve ölçüm değerlerinin birimi olarak mR/saat, mSv/saat kullanılır. Doz hızı ölçerler radyoaktif kirlenmelerin olduğu nükleer kaza, saldırı gibi durumlarda ilk müdahalede bulunacak ekibin sıkça kullandığı ölçüm araçlarıdır. Bu araçlarda kullanılan dedektörlerin özelliklerine bağlı olarak belli bir tip radyasyon ölçümü yapabilirler. Bu radyasyon türleri gama ışını, alfa, beta parçacıkları veya nötronlar olabilirler.

1.7.3.3. Alan monitörleri

Bu cihazlar ortamın radyasyon seviyesini belirlemek için kullanılır. Genellikle içlerimde Geiger-Müller dedektörü kullanılan radyasyon ölçüm cihazlarıdır. Alan monitörleri ortamdaki radyasyon doz hızını ölçer ve bu değer belli seviyeye ulaştığında sesli ve görüntülü sinyal göndererek devamlı ölçüm yapar.

1.7.3.4. Spektrometreler

Spektrometreler radyoaktif kaynaktan yayımlanan radyasyonun enerji düzeyini ölçümleyen ve enerji farklılıklarını sayım dağılımı biçiminde gösteren ölçüm cihazlarıdır. Bu cihaz temel olarak iki bölümden oluşurlar. Birinci bölüm radyasyonun belirlenip enerji seviyelerinin ölçüldüğü sintilasyon kristali veya yarı iletken maddeden yapılmış olan bölümdür. Cihazı oluşturan diğer bölüm ise ölçümlerde alınan verilerin elektrik sinyaline dönüştürüldüğü bölümdür.

1.7.4. Cihaz Seçimi, Kontrolü ve Kalibrasyonu

Ölçümlerde kullanılacak dedektörlerin seçimi önemlidir ve bu seçim yapılırken dikkat edilmesi gereken kriterler vardır. Dikkate alınması gerekenlerin başında kullanım alanına uygunluktur. Diğer bir unsurda ölçülmek istenilen radyasyonun tek tip olup olmadığıdır. Ölçülmek istenilen parçacık türüne uygun dedektör seçimi önemlidir. Beta parçacıklarını ölçmek için tasarlanmış bir dedektör gama ölçümünde işe yaramayacaktır. TAEK'in mevzuatları incelendiğinde radyasyon tehlikesi olan

bölgelerde zorunlu olarak kontroller ve ölçümler yapılması gerektiği görülmektedir. Bu mevzuatlarda uygun dedektörün seçiminde ve kullanımında yardımcı bilgilere de yer verilmiştir. Uygulama alanının yanında kullanılacak dedektörün seçiminde dikkate alınması gereken hususlardan bazıları aşağıda sıralanmıştır:

- Gösterge paneli (Analog, dijital)
- Ölçüm aralığı
- Görsel uyarım
- Ses sinyalleri
- Pil Ömrü ve tipi
- Dışardan gelen etkilere karşı dayanıklılığı
- Tepki zamanı
- Verimliliği
- Ağırlık ve ebatları

Cihaz kullanılmaya başlandıktan sonra belirli aralıklarla kontrollerinin ve bakımlarının yapılması gerekir. Periyodik aralıklarla pil durumu, fon radyasyonu okuma değeri ve kalibrasyonu yapılmalıdır.

1.8. Radyasyonun İnsan Sağlığına Etkileri

İyonlaştırıcı etkiye sahip alfa, beta gama ve nötron partikülleri ile X-ışınlarından oluşur. Bu tür iyonlaştırıcı radyasyonlar iyon odaları, Geiger-Müller sayacı, sintilasyon sayaçları veya floresan ekranlar gibi detektörlerle aracılığı ile belirlenebilir. İyonlaştırıcı radyasyonun hücreler ve doku sistemlerini etkileyerek insan sağlığı üzerinde olumsuz sonuçlara yol açabilir. Somatik ve genetik boyutta ortaya çıkan bu etkilerden en fazla dikkat edilmesi gerekenler; Hematopoetik, Gastrointestinal ve Nörovasküler tipteki akut radyasyon hastalıklarına neden olanlardır. İç ve dış radyasyonun neden olduğu bu tür zararlı etkilerden korunmak gerekli tedbirlerin alınması gerekir. Dış radyasyona karşı korunmada mesafe, maruz kalma süresi ve zırhlama dikkat edilmesi gereken en önemli unsurlardır.

İyonlaştırıcı radyasyonun yüksek dozlarının yol açtığı zararlarla bilinmesine karşın düşük dozlu radyasyonun etkileri hakkında kesin bulgular olmadığı için belirsizlikler

vardır. Bugüne kadar yapılan çalışmalar bu konudaki belirsizliklerin ortadan kaldırılması için henüz yeterli değildir. Düşük dozlardaki radyasyon canlılar üzerinde uzun yıllar sonra ortaya çıkabilecek kansere ve genetik özelliklerinin şifrelendiği DNA da rahatsızlıklarına yol açabilir [29].

1.8.1. Radyasyon Maruziyetinin Bazı Görülebilir Etkileri Nelerdir?

İnsan vücudu 10 Sv ve üzerindeki radyasyon dozlarına kısa sürede maruz kalırsa hücreler iç organlar, dokular kalıcı olarak zarar görür ve vücut için hayati öneme sahip sistemler çalışmaz hale gelebilir

Bulantı, kusma, cilt ve derin doku yanıkları, bağışıklık sisteminin zayıflaması gibi akut (iveğen) sağlık etkileri çok uzun süreler içinde kendisini gösterebilir.

Yüksek radyasyonun neden olduğu gözlemlenebilen etkileri “deterministik (belirlenimci) etki” olarak adlandırılır. Bu tür etkilerin gözlenebilmesi için belli maruz kalınan radyasyonun belli eşik değerlerin üzerinde olması gerekir, aksi takdirde bu etkiler gözlemlenemez. Gerekli korunma önlemlerini alarak maruz kalınan radyasyon dozları ve doz hızlarını bu eşik değerlerinin altına indirip deterministik etkilerin oluşmasını engellemek olasıdır [30].

1.8.2. Radyasyon İnsan Dokusunu Nasıl Etkiler

Canlı bedenleri farklı özelliklere sahip birçok hücreden oluşmaktadır. Vücudumuzu oluşturan mide, karaciğer, kas ve kemikler gibi farklı organ ve dokuları oluşturan hücreler vardır. Hücre çekirdeğinde bulunan kromozomlar yapılarında genetik bilgiyi bulduran ipliğe benzer yapılardır. Kromozomlar hücrelerin gelişimini, çoğalmalarını ve hangi fonksiyonları yerine getireceğini belirleyen genetik materyaldir. Radyasyon sonucu hücrelerin genetik yapıları bozulursa kanser riski ortaya çıkar. Şekil 1.10’da iyonize radyasyona uğramış bir hücreden kanser oluşumu verilmektedir. İyonlaştırıcı radyasyona maruz kalan hücrenin DNA yapısı bozulursa, hücreler kontrolsüz üremeye başlamasına neden olur. Üreme organları bu türden bir

radasyona maruz kalırsa genler zarar görür ve bu bozukluk sonraki genlere aktarılarak mutasyona (değişim, kalıtsal gen değişimi) neden olabilir.



Şekil 1.10. İyonize Radyasyona Uğramış Bir Hücreden Kanser Oluşumu

Kanser ve genetik mutasyonlar stokastik (olasılıksal) etki olarak adlandırılır. Stokastik etkilerin ortaya çıkma olasılıkları maruz kalınan radyasyonun dozuna bağlı olarak değişir. Yüksek dozda radyoaktif ışımaya maruz kalmak stokastik etkilerin görülme olasılığını artırır. Bu etkilerin ortaya çıkmasında kişilerin yaşlarında önemli bir rol oynar. Küçük yaşta maruz kalınan radyasyonun yol açtığı kansere yakalanma ihtimali, aynı dozda radyasyona maruz kalan yetişkin bireylere göre çok daha fazladır. Deterministik etkiye yol açacak eşik değerinden daha düşük seviyede dozda radyasyona maruz kalan hücre ve DNA yapısı zarar görebilir ancak bu durum vücuda kısa dönemde gözlemlenebilir bir zarar vermeyebilir. Böyle bir durumda oluşacak etkiler stokastik yani olasılıksaldır ve oluşabilecek hücre hasarı belirlenebilir.

Uzun yıllar yapılan araştırma ve gözlemler sonucu ulaşılan epidemiyolojik bulgular (özellikle nükleer saldırı ve kazalara maruz kalan hastalar üzerinde yapılan çalışmalarda) kanser riskin maruz kalınan dozla doğru orantılı değiştiğini göstermektedir. 100 mSv'den küçük dozlarda hücre hasarı riski tespit edilmiştir. Yapılan araştırmalar sonucu, 50-100 mSv aralığında oluşabilecek kanser risk değerlendirmeleri belirlenmiştir. Cenin ve küçük çocukların radyasyona karşı duyarlılığı yetişkinlere nazaran daha fazladır. Ceninin maruz kaldığı 100-500 mSv arasındaki radyasyon dozu gelişiminin ileri aşamalarında düşük zekâyâ neden olabilir [31].

2. MATARYAL VE METOD

2.1. Bölgenin Özellikleri

İnebolu ilçesi Karadeniz Bölgesi'nin Batı Karadeniz bölümünün kıyı gerisinden başlayarak yükselen ve deniz kıyısına paralel uzanan İsfendiyar (Küre) dağlarının kuzeyinde kurulmuştur. Fotoğraf 2.1, İnebolu ilçesinin kıyıdan görünümü verilmiştir. Yaklaşık olarak 4100 km²'lik alana sahiptir. Koordinatları 42 derece kuzey paraleli ile 34 derece doğu meridyeninin kesiştiği noktanın yaklaşık 25 km batısındadır. 89 km Karadeniz'le uzun bir kıyı şeridi olan ilçenin doğuda Abana ve Bozkurt, batıda Cide, güneyde ise Devrekâni, Küre ve Azdavay ilçelerine komşudur. Harita 2.1'de İnebolu ilçesinin haritası görülmektedir. Yaklaşık 22000 kişinin yaşamakta olduğu ilçe de halk tarım ve hayvancılıkla uğraşmaktadır. Maden yatakları açısından zengin bir bölgedir.



Fotoğraf 2.1. İnebolu ilçesinin kıyıdan görünümü



Harita 2.1. İnebolu ilçesinin harita görünümü

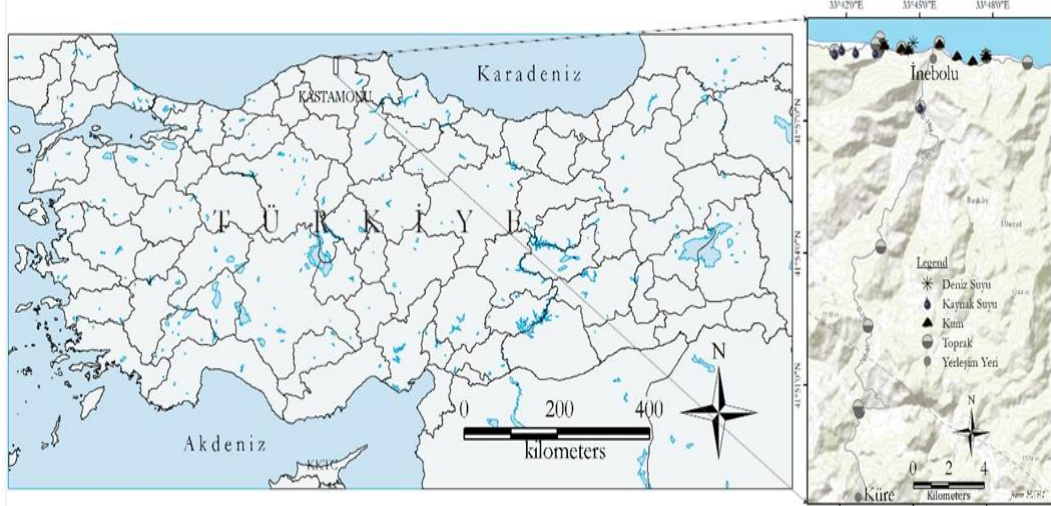
2.2. Örnek Toplama ve Hazırlık

İnebolu'nun sahil bölgesinden 12 plaj kumu numunesi ve çalışma alanının çevresinden 13 toprak numunesi alınmıştır. Taş, çimen ve odun parçaları örnekten çıkarılmış ve numuneler 1-1,5 kilogramlık plastik poşetlere konulmuştur. Daha sonrasında bu numuneler Kastamonu Üniversitesi Fizik Departmanı Nükleer Fizik Laboratuvarına getirilmiştir. Tüm numuneler kurutulmuş, elenmiş ve 150 mililitrelik silindirik plastik konulmuşlardır. Tartıldıktan sonra ağızları sıkıca kapatılıp parafilm ile iyice sızdırmaz hale getirilmiştir. Ra ve bozunma ürünlerinin dengeye ulaşmaları için 1 ay süreyle bekletilmişlerdir. Tablo 2.1' de Kastamonu bölgesi İnebolu ilçesine ait toprak ve sahil boyunca alınmış kum numunelerinin koordinatları gösterilmiştir. Yine aynı bölgeden alınan 5 kaynak suyu ve 6 deniz suyu numuneleri 1000ml lik içleri temizlenerek kurutulmuş plastik kaplara konularak ağızları kapatılmıştır. Daha sonra Kastamonu Üniversitesi Fizik Departmanı Nükleer Fizik Laboratuvarına getirilmiştir. Bir gün sonra Alphagurd Pro2000 portatif dedektör kullanılarak ölçümler yapılmıştır.

Tablo 2.1. İnebolu toprak ve kum numuneleri koordinatları

Sayı	Numune	Kuzey Koordinat	Doğu koordinat
1	Toprak	N39.52.4034'	E32.49.4196'
2	Toprak	N41.50.4093'	E33.42.7122'
3	Toprak	N41.50.5215'	E33.42.6456'
4	Toprak	N41.52.3660'	E33.43.0206'
5	Toprak	N41.54.1695'	E33.43.5129'
6	Toprak	N41.57.3590'	E33.45.0730'
7	Toprak	N41.58.6017'	E33.41.5342'
8	Toprak	N41.58.9072'	E33.43.3840'
9	Toprak	N41.58.6225'	E33.43.3292'
10	Toprak	N41.58.7692'	E33.43.2211'
11	Kum	N41.58.7600'	E33.43.5403'
12	Kum	N41.58.7512'	E33.43.5302'
13	Kum	N41.58.7600'	E33.43.5522'
14	Kum	N41.58.7580'	E33.43.5628'
15	Kum	N41.58.6923'	E33.44.2639'
16	Toprak	N41.58.7000'	E33.44.2812'
17	Kum	N41.58.6718'	E33.44.5696'
18	Kum	N41.58.6692'	E33.44.5591'
19	Kum	N41.58.6692'	E33.44.5511'
20	Kum	N41.58.6692'	E33.45.8227'
21	Toprak	N41.58.6692'	E33.45.8219'
22	Kum	N41.58.5403'	E33.46.5475'
23	Kum	N41.58.4356'	E33.47.1909'
24	Kum	N41.58.5498'	E33.47.7526'
25	Toprak	N41.58.5374'	E33.47.7526'

Harita 2.2' de toprak, kum ve su örneklerinin koordinatlarına bağlı olarak hazırlanmış lokasyon haritası verilmiştir.



Harita 2.2. Toprak, Kum ve Su Örneklerinin Hazırlanmış Lokasyon Haritası.

2.3. Sintilasyon Dedektörleri

Bu dedektörlerin yapısında sintilatör olarak işlev gören bir madde ve bunun hemen arka tarafına monte edilmiş foton çoğaltıcı tüp bulunmaktadır. İyonlaştırıcı radyoaktif ışınların sintilasyon (pırıldama) fosforu olarak adlandırılan katı, sıvı veya gaz halindeki farklı maddelerle etkileşmeye girmesi sonucunda kullanılan bu maddeleri iyonlaştırır veya uyarır. İyonlaştırıcı radyasyonla etkileşime giren madde atomları iyonlaşmayıp yalnızca uyardığında uyarılan elektronlar tekrar eski enerji düzeylerine dönerken görünür dalga boyunda ışımaya yaparlar. Sintilasyon fosforlarının yayımlanan fotonlar, foton çoğaltıcı tüpler aracılığı ile bir araya getirilerek, gerilim etkisi yaratabilecek bir darbe haline gelir. Bu foton demetinin yarattığı darbe etkisinin genliği radyasyonun sahip olduğu enerjisi ile doğru orantılıdır. Sintilasyon dedektörleri ölçümünde parçacıkların sayımı ve enerjilerinin ayrımı amacıyla kullanılır. Bu tür dedektörlerde kullanılan foton çoğaltıcı ve sintilasyon fosforu istenildiğinde farklı bir madde ile değiştirilebilmektedir. Bu özelliği sayesinde gerektiğinde istenilen türde radyasyonların ölçümü yapılabilir.

2.3.1. Gama Spektrometresinin Bileşenleri

Dedektörler

Yüklü parçacıkların ve radyasyonun madde ile etkileşmesi bu parçacıkların tespit edilebilmelerini sağlamaktadır. Bu amaçla en yaygın kullanılan materyal gazlardır ve Geiger-Müller sayacı gazların kullanıldığı ilk detektör örneklerinden biridir. Ayrıca dedektörlerde sıvılar (örneğin sıvı Argon) ve katı maddelerde kullanılmaktadır. Yüklü parçacıkların ve elektromanyetik ışınların yollarına çıkan atomları iyonlaştırma kapasiteleri vardır, bu sayede oluşan serbest elektrik yükleri doğrudan sayılarak radyasyon tespit edilebilir [32]. Gama ışınlarının ölçülmesinde kullanılan yarı-ileken dedektörlerinin gama radyasyonunu ölçümlemede kullandığı temel mekanizma şöyle özetlenebilir. Dedektöre ulaşan foton sintilasyona neden olan kristalle etkileşerek enerjisini maddeyi oluşturan atomlara ve moleküllere aktarır. Meydana gelen bu etkileşmeler kristal maddenin yapısında elektron-delik çiftleri (elektron- hole) oluşmasına yol açar ve dedektöre uygulanan yüksek gerilimin oluşturduğu elektrik alanının etkisiyle diyotlara sürüklenir. Dedektöre ulaşan gama ışınlarının taşıdığı enerjisi ile orantılı olarak biriken bu elektriksel yük içerisinde ölçülebilen bir voltaj pulsunun (darbesi) oluşmasına neden olur. Oluşan bu pulslar dedektörde bulunan analizörlerde ölçülebilen bir gerilim yaratır.

Yüksek Voltaj Ünitesi

Radyasyonun yarattığı elektron-delik çiftlerinin bir yönde ilerleyerek birikmesini sağlamak için gerekli olan elektrik alanını oluşturmak üzere kullanılan ve 5000 V'a kadar gerilim üreten bölümdür.

Preamplifikatör (Önyükselteç)

Dedektörde radyasyonun kristal madde ile etkileşmesi sonucu oluşan ilk akım yükü darbesini daha sonra amplifikatörde algılanabilecek hale getiren, akım yükü ile orantılı voltaj darbesine çeviren ünitedir.

Amplifikatör (Yükselteç)

Preamplifikatörden yükseltilecek iletilen ilk akım yükü darbesini, darbe yüksekliği analizi yapılabilecek seviyelere çıkaracak ve bu yolla daha iyi ayırt edilebilir enerji ayrılmalarını gerçekleştirecek şartları sağlayan birimdir. Dış manyetik alana maruz kalan foto çoğaltıcı tüpte çoğaltma faktörünü bu alanların etkisi sonucu değişebilir. Bu da yapılan ölçümün hatalı olmasına neden olabilir. Bu nedenle foto çoğaltıcı tüpün dış manyetik alandan izole edilmesi yapılacak ölçümün sağlıklı olması bakımından önemlidir. Dedektörün tamamı foto çoğaltıcıya ışık sızmasını önlemek amacı ile bir alüminyum kılıf ile sarılmalıdır [33].

Çok Kanallı Analizör (ÇKA)

Bu analizörler yaygın olarak darbe yüksekliği yapan cihazlardır. Bu üniteyi oluşturan ve en önemli fonksiyona sahip bileşen analog/dijital dönüştürücüdür. Bu üniteye ulaşan her analog darbe dijital dönüşürülerek genliği ile orantılı olan bir hafıza kanalına yerleştirilir. Her bir kanal belirlenmiş bir enerji seviyesine karşılık gelir ve sayım süresince gelen darbelerin birikmesine bağlı olarak pikler oluşturur. Belirli periyotlarla bu ünitenin verim ve enerji kalibrasyonu, aktiviteleri ve yayınladıkları gama enerjileri düzeyleri önceden belirlenmiş standart kaynaklar kullanılarak yeniden yapılmalıdır. Bu işlem için kullanılan radyoaktif kaynaklar ^{137}Cs , ^{60}Co , ^{152}Eu gibi maddelerdir. Cihazın kalibrasyonu düzenli ve doğru şekilde yapılmaz ise sağlıklı ölçümler gerçekleştirilemez. Gama radyasyonu spektroskopisinde en sık kullanılanlar; NaI ve HPGe, Yarı İletken Dedektörler, ayrıca NE213, NE10A Organik Sintilatörlerdir.

2.4. Yüzey Toprağı ve Kum Numunelerindeki Radyoaktivite

Bölgedeki toprak ve plaj kumundaki doğal radyoaktivite ORTEC 3 x 3 inch NaI(Tl) Işıldama (Scintillation) detektörü kullanılarak gamma ışını spektrometresiyle ölçülmüştür. Fotoğraf 2.2'de NaI (Tl) Sintilasyon dedektörünün görünümü (ORTEC 3 x 3inç) verilmektedir.



Fotoğraf 2.2.NaI (TI) Sintilasyon dedektörünün görünümü

^{137}Cs 'den elde edilen 662 keV gamma ışınları için ulaşılabilir en iyi çözünürlük tipik olarak % 8'dir. Detektör 22 cm çapında ve 7 cm kalınlığındaki silindirik kurşun koruma haznesine yerleştirilmiştir. Sinyal işleme ve veri analiz sistemi bir bilgisayarla eşlenmiş ve görüngenel analiz ScintiVision programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Spektrometrenin verimlilik ve enerji kalibrasyonu için IAEA gamma-ışını spektrometresi referans materyalleri olan RGU-1, RGTh-1 ve RGK-1 kullanılarak yapılmıştır [34].

Ölçümlerin kalite güvencesi ise ^{133}Ba , ^{109}Cd , ^{57}Co , ^{22}Na , ^{137}Cs , ^{54}Mn ve ^{60}Co içeren ve 80 ila 1400 keV arasında foton emisyon pikleri üreten kalibrasyon kaynakları kullanılarak gerçekleştirilen periyodik kalibrasyonlarla ve numune ölçümlerini tekrarlayarak tesis edilmiştir [35]. Tablo 2.2' de bazı radyoaktif elementlerin E_γ ve f_γ değerleri verilmiştir.

Tablo 2.2. Bazı radyoaktif elementlerin E_γ ve f_γ değerleri

Çekirdek	Yarılanma süresi($T_{1/2}$)	E_γ (KeV)	f_γ (sn ⁻¹)
Am241	432,70 yıl	59,54	0,390
Co57	271,80 gün	122,06	0,855
Co57	271,80 gün	136,47	0,106
Co60	5,27 yıl	1173,24	0,999
Co60	5,27 yıl	1173,24	0,999
Cs137	30,10 yıl	661,67	0,851
Mn54	312,10 yıl	843,84	0,999
Na22	1,61 yıl	1274,52	0,999

Bu çalışmada, uranyum, toryum ve potasyum miktarını saptamak için sırasıyla ²¹⁴Bi'nin 1,76 MeV ve 1,12 MeV pikleri, ²⁰⁸Tl'nin 2,62 MeV pikleri ve ⁴⁰K'nin 1,46 MeV pikleri kullanılmıştır.

2.5. Çevresel Gamma Dozu

Çevresel gamma dozu ölçümleri taşınabilir G-M tüpleri kullanılarak toprak ve kum numunelerinin toplandığı aynı 73 konumda gerçekleştirilmiştir. Her noktada, yerden 1 m yükseklikte 100 s'de bir ölçüm yapılmıştır. Her numune bölgesinde beş ölçüm yapılmış ve bu ölçümlerin ortalaması alınmıştır. Gamma radyasyon seviyesinin hem yeryüzüne ait hem de kozmik ışın bileşenlerini kapsayan sonuçlar $\mu\text{R h}^{-1}$ olarak kaydedilmişlerdir. Daha sonra bu ölçüm değerleri $8,7 \text{ nGy } \mu\text{R}^{-1}$ 'lık dönüşüm katsayısı kullanılarak nGy h^{-1} 'ye dönüştürülmüştür (Roentgen'in tanımını itibariyle).

2.6. Radyolojik Etkilerin Hesaplanması

Doğal radyonüklidlerinin havadaki emilmiş doz oranına (D) katkısı ²³⁸U, ²³²Th ve ⁴⁰K'nin doğal özgül aktivite konsantrasyonlarına bağlıdır. Yeryüzüne ait gamma radyasyonu ve radyonüklit konsantrasyonları arasında doğrudan bir ilişki vardır. Eğer bir radyonüklit aktivitesi bilinmekteyse, onun yerden 1 m yükseklikteki maruz kalma dozu oranı aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanabilir. Bu çalışmada İnebolu çevresinden toplanmış 13 toprak ve 12 plaj kumu numunesindeki doğal ve yapay radyonüklidlerin aktivite konsantrasyonları gamma ışını spektroskopisiyle

belirlenmiştir. Bu sonuçlar kullanılarak emilmiş gamma dozu ve yıllık efektif doz hesaplanmıştır. Dış mekân gamma dozları toprak ve kum numunelerinin toplandığı aynı alanlarda taşınabilir G-M tüpüyle ölçülmüş ve bu ölçümler kullanılarak yıllık efektif dozlar tespit edilmiştir. Mevcut çalışmanın sonuçları radyoaktif kirliliğin etkileriyle ilgili öngörüler için kıymetli bir veri tabanı olacaktır.

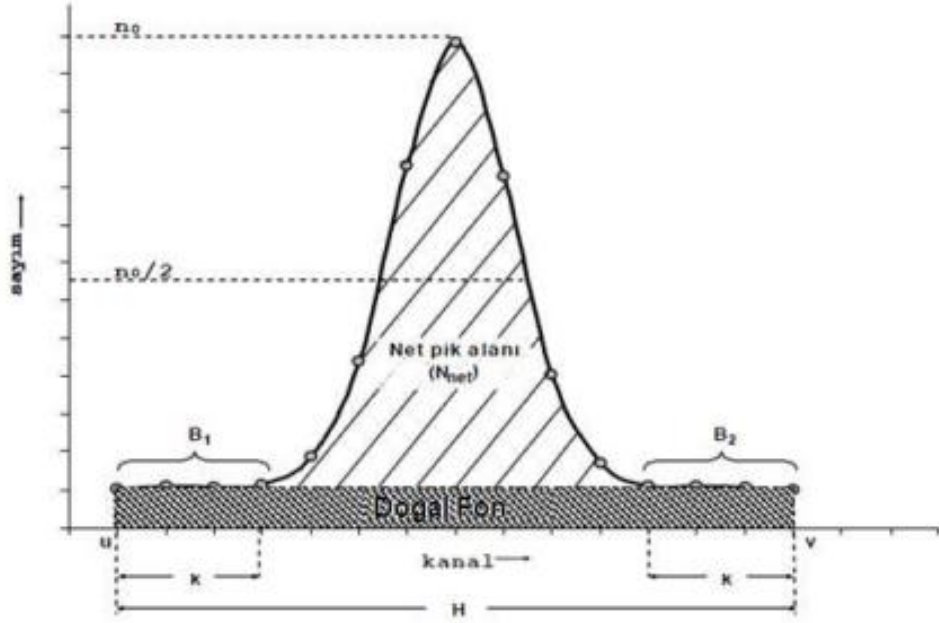
$$D \text{ (nGy/h)} = 0,462A_U + 0,604A_{Th} + 0,0417A_K \quad (1)$$

D yerden 1 m yükseklikteki doz oranı, A_U , A_{Th} ve A_K sırasıyla ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K 'nin aktivite konsantrasyonlarıdır. ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K 'nin dönüşüm katsayıları sırasıyla 0,462, 0,604 ve 0,0417 Bq kg⁻¹ başına nGy h⁻¹'dir. Yıllık efektif dozları tahmin edebilmek için havadaki emilen dozdan efektif doza yapılan matematiksel dönüşümün katsayısı ve dış mekân kullanımı katsayısı (outdoor occupancy factor) göz önünde bulundurulmalıdır. UNSCEAR raporlarında [2], havadaki emilen doz yetişkinlerin uğradığı efektif doza yapılan matematiksel olarak dönüştürülürken dönüşüm katsayısı 0,7 Sv Gy⁻¹, dış mekân kullanımı katsayısı ise 0,2 (ve iç mekân kullanımı katsayısı 0,8) olarak kullanılmıştır. Bu sebeple yıllık efektif doz aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmıştır;

$$AEDE(\mu\text{Sv y}^{-1}) = D \text{ (nGy h}^{-1}) \times 8760 \text{ (h year}^{-1}) \times 0,2 \text{ (veya } 0,8) \times 0,7 \text{ Sv/Gy} \times 10^{-3} \quad (2)$$

2.7. Spektrum İçin Pik Alanı Hesaplanması

İncelenilen enerjideki pik grafiğinin sürekli Compton arka-alan fonunun üzerinde kalan alana fotopik alan yani toplam sayım olarak tanımlanır [36]. Bu hesaplama biçimi yaygın adıyla Covell yöntemi olarak bilinmektedir. Hesaplama yöntemi temelde ölçülen pik alanının hesaplamasına dayanır. Önce ilgilenilen pikin uç noktalarındaki kanal sayısı belirlenir. Daha sonra, ayrı ayrı her kanalda biriken sayımların toplamından Compton fonunun alanı çıkarılarak net pik alanı hesaplanır. Grafik 2.1'de belirlenen örnek bir pik kullanılarak alan net alan hesaplamasının nasıl yapılacağı gösterilmiştir.



Grafik 2.1. Gama pik alanının hesaplanmasında kullanılan parametreler

$$\text{Net Pik Alanı} = \text{Toplam Alan} - \text{Doğal Fon Alanı}$$

Gerektiğinde tek ve net bir şekilde belirgin (girişimsiz) görünen pikin net alanından, ayrı bir ölçümden alınan seçilen pike ait doğal arka-alan değeri çıkarılır. Bu şekilde yapılan net alan hesaplanması, belirgin olmayan yani girişim yapan piklere uygulanmaz. Girişim nedeniyle belirgin olmayan piklerin net alanları bulunabilmesi için daha farklı hesaplama ve işlemlerin yapılmasını gerektirir [38]. Ölçümler sonucu elde edilen radyonüklitlerin aktivitelerini hesaplamak için dedektör verimi de hesaba katılmalıdır. Aktivite hesaplanırken aşağıdaki ifadeden yararlanılmıştır.

$$\text{Aktivite} = \frac{\text{Net Alan}}{\text{Sayım Süresi} \times \text{Numune Miktarı} \times \text{Bolluk} \times \text{Verim}}$$

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Kastamonu-İnebolu İlçesinden alınan toprak ve kum örneklerinin yapılan spektrometrik analizleri sonucunda, toprak ve kum örneklerinde bulunan radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonları belirlenmiş olup sonuçlar Tablo 3.1'de verilmektedir. Su örneklerinin analizleri Kastamonu üniversitesi Fizik Bölümü, Nükleer Fizik araştırma laboratuvarında bulunan Alphaguard Pro2000 portatif radon monitörü kullanılarak yapılmıştır. Analizleri tamamlanan kaynak ve deniz suyuna ait radon aktivite değerlerine ait bulunan sonuçlar Tablo 3.2'de verilmektedir.

Tablo 3.1. *İnebolu kum ve topraklarındaki radyonüklit aktivite konsantrasyonları*

Numune no	Numune çeşidi	U238 (Bq/kg)	Th232 (Bq/kg)	K40 (Bq/kg)
1	Kum	63,80±5,87	55,0±2,5	358,1±44,3
2	Kum	33,75±4,31	22,4±3,8	353,2±34,8
3	Kum	55,50±6,29	46,5±6,7	244,8 ±42,8
4	Kum	54,95±2,47	45,7±3,9	269,0±37,5
5	Kum	64,30±3,39	47,7±3,0	444,9±36,6
6	Kum	55,45±3,11	41,1±3,6	314,6±32,7
7	Kum	69,20±3,25	52,6±3,1	369,8±33,9
8	Kum	57,00±4,60	52,5±5,1	334,2±34,8
9	Kum	101,10±6,15	75,6±5,7	396,2±54,0
10	Kum	80,20±5,30	56,2±4,4	558,3±39,4
11	Kum	46,20±4,03	39,3±4,8	674,3±40,2
12	Kum	50,9±4,31	44,9±4,4	450,6±36,4
13	Toprak	60,90±4,10	48,5±3,7	298,2±29,4
14	Toprak	63,10±4,95	92,7±7,2	841,0±47,5
15	Toprak	87,85±7,78	81,4±7,6	810,4±53,0
16	Toprak	110,10±5,80	78,7±4,6	863,1±53,5
17	Toprak	111,20±5,94	87,6±5,6	944,9±49,2

18	Toprak	88,00±4,74	78,8±5,8	556,4±55,0
19	Toprak	92,05±4,24	106,7±5,4	986,5±49,4
20	Toprak	72,20±5,02	58,7±4,4	502,3±45,4
21	Toprak	60,90±5,30	43,5±4,5	451,5±44,6
22	Toprak	57,30±5,37	53,2±5,4	1029,6±47,8
23	Toprak	86,20±3,96	73,6±4,9	717,9±49,6
24	Toprak	82,55±5,52	71,1±5,8	744,1±46,3
25	Toprak	63,20±7,14	58,8±7,4	694,8±56,2
SONUÇ		70,35	59,95	561,77

Doğal yeryüzü ve kozmik kaynaklarından yayılan radyasyon nedeni ile canlıların aldıkları eşdeğer doza en fazla katkısı ^{222}Rn elementi yapmaktadır. ^{222}Rn , Uranyum bozunmaları sonucu ortaya çıkan bir radyonüklit ürün olduğu için radon konsantrasyonu yer kabuğu üzerinde bölgeden bölgeye değişiklikler gösterir [39].

Tablo 3.2. İnebolu Deniz Suyu ve Kaynak Sulardaki Radon Aktiviteleri

No	Örnek	$^{222}\text{Rn}(\text{Bq}/\text{m}^3)$
1	Kaynak su	130±32
2	Kaynak su	970±97
3	Kaynak su	1080±1
4	Kaynak su	1080±110
5	Deniz suyu	599±90
6	Deniz suyu	546±70
7	Kaynak su	438±73
8	Deniz suyu	415±68
9	Deniz suyu	362±67
10	Deniz suyu	295±56
11	Deniz suyu	259±44
Ortalama	Deniz suyu	526±75

Yine çalışma bölgelerimizde toprak ve kum örneklerinin alındığı aynı noktalarda yerinde ölçümlerle yerden 1 m yüksekte toplam gama dozları portatif G-M sayacı ile belirlenmiştir. Yeryüzünde ölçülen çevresel doğal gama radyasyonları karasal ve uzaydan yeryüzüne ulaşan kozmik (yıldızlar, süpernovalar, yıldızlar vb.) radyasyondan kaynaklanmaktadır. Bu nedenle ölçülen gama radyasyon seviyesi çalışılan alanın toprak, kaya yapısına ve coğrafi konumuna bağlı olarak farklılıklar gösterir. Toprakta ve kayalarda bulunan radyonüklitlerin konsantrasyonu dış gama radyasyonunun seviyesini belirleyen en önemli karasal kaynaklardır. Araştırma alanından alınan toprak ve kum numunelerinde tespit edilen radyoaktivite konsantrasyon değerlerine bağlı olarak hesaplanacak olan gama radyasyon doz değerlerinin ve yıllık etkin doz eşdeğerlerinin, G-M sayacı kullanılarak elde edilen değerlerle karşılaştırılma yapılabilmektedir.

3.1. Numunelerdeki Radyasyon Parametrelerinin Hesaplanması

3.1.1. Havadan Absorbe Edilen Doz Oranı (D)

Absorbe edilen doz oranına doğal radyonüklitlerin katkısı doğal radyonüklit olan ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K 'in ve spesifik aktivitelerine bağlıdır. Gama radyasyon seviyesini belirleyen en büyük etki karasal radyonüklitlerden gelmektedir. Radyonüklit konsantrasyonları ve karasal gama radyasyonu arasında doğrudan bir bağlantı vardır. Eğer radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonları biliniyor ise yerden 1 m yükseklikte, bunlardan kaynaklanan insanların maruz kaldıkları doz oranları da aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanabilmektedir [40].

$$D \text{ (nGy/h)} = 0,427A_{\text{U}} + 0,662A_{\text{Th}} + 0,0432A_{\text{K}} \quad (3)$$

Burada D yerden 1 m yükseklikteki doz oranıdır. A_{U} , A_{Th} ve A_{K} sırasıyla ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarıdır. D için Uluslararası tavsiye edilen değer 57 nGy/h olarak belirlenmiştir [41].

3.1.2. Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri (AEDE)

Yıllık etkin doz eşdeğerini hesaplamak için, havadan absorbe edilen doz oranı (D), ev dışında geçirilen süre için dönüşüm katsayısı (0,2) ve yetişkinlerin havadan aldıkları etkin doz için dönüşüm katsayısı (0,7 Sv/Gy) kullanılarak elde edilmiş olan formülden yararlanılır [41].

$$AEDE (\mu\text{Sv/y}) = D (\text{nGy/h}) \times 8760 (\text{h/year}) \times 0,2 \times 0,7 \text{ Sv/Gy} \times 0,001 \quad (4)$$

Dış gama radyasyonundan kaynaklanan yıllık etkin doz eşdeğeri (AEDE) için dünya ortalama değeri 70 $\mu\text{Sv/year}$ olarak belirlenmiştir [40].

3.1.3. Radyum Eşdeğer Aktivitesi (Ra_{eq})

Radyum eşdeğer aktivitesi tehlike indeksi olarak yaygın biçimde kullanılan bir parametredir. Bu parametre aşağıda verilen formül ile hesaplanmaktadır [42].

$$Ra_{eq}(\text{Bq/kg}) = A_{Ra} + 1,43 A_{Th} + 0,077 A_K \quad (5)$$

Radyum eşdeğer aktivitesi için tavsiye edilen maksimum değer 370 Bq/kg olarak belirlenmiştir [42]

3.1.4. Dış Tehlike İndeksi (H_{ex})

Dış tehlike indeksi H_{ex} Krieger (1981) tarafında önerilen model kullanılarak hesaplanmaktadır. Dış tehlike indeksini hesaplamada kullanılan formül aşağıda verilmektedir.

$$H_{ex} = A_{Ra}/370 + A_{Th}/259 + A_K/4810 \leq 1 \quad (6)$$

3.1.5. Gama Aktivite Konsantrasyonu İndeksi (I_γ)

Gama aktivitesi konsantrasyon indeksi (I_γ) aşağıdaki formülden yararlanılarak hesaplandı [43].

$$I_{\gamma}(\text{Bq/kg}) = A_U/150 + A_{\text{Th}}/100 + A_K/1500 \quad (7)$$

Hesaplamaları tamamlanan radyasyon tehlike parametreleri Tablo 3.3'de verilmektedir. Ayrıca yine aynı tabloda yerden 1 m yüksekte yerinde yapılan ölçümlerle belirlenen havadaki toplam gama dozu ve bu doz kullanılarak hesaplamam yıllık etkin doz eşdeğeri de verilmektedir. Tablodan da anlaşılacağı üzere toprak ve kum örneklerinden hesaplanan gama dozu ve yıllık etkin doz eşdeğeri değerleri, G-M sayacı ile yerinde yapılan ölçümler sonucu elde edilen aynı değerler ile uyum içerisinde dir.

Tablo 3.3. *Kastamonu-İnebolu İlçesi Kum ve Toprakta Radyasyon Tehlike parametreleri*

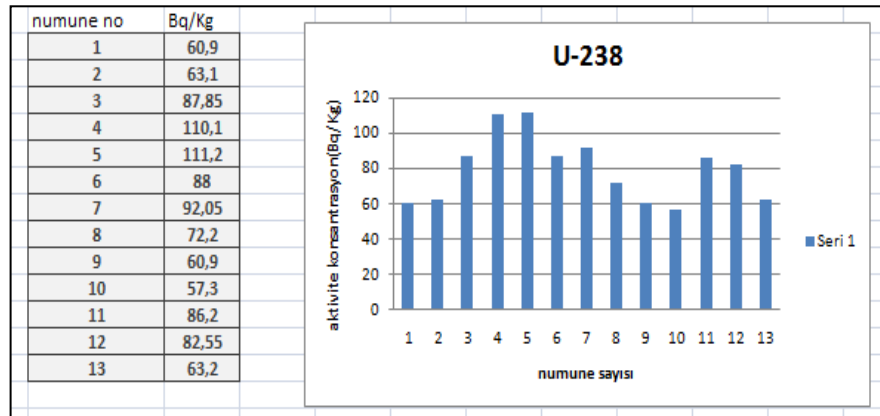
Numune no	Numune çeşidi	Dölçülen (nGy/h)	AEDE (µSv/y)	D hesaplanan (nGy/h)	AEDE hesaplanan (µSv/y)	Raeq (Bq/kg)	Hex (≤1)	Iy (Bq/kg)
1	Kum	1,0	128	79,12	97,04	142,53	0,46	1,21
2	Kum	74,82	91,	44,5	54,57	65,86	0,25	0,68
3	Kum	78,3	96,	65,06	79,79	122,07	0,38	0,99
4	Kum	95,7	117	65,34	80,13	120,38	0,39	1,00
5	Kum	91,35	112	78,25	95,97	132,59	0,45	1,20
6	Kum	86,13	105	64,48	79,07	114,3	0,37	0,99
7	Kum	121,8	149	80,34	98,54	144,49	0,47	1,23
8	Kum	104,4	128	73,53	90,18	132,15	0,43	1,13
9	Kum	135,72	166	110,33	135,31	209,29	0,65	1,69
10	Kum	121,8	149	95,57	117,21	160,64	0,55	1,47
11	Kum	95,7	117	74,87	91,83	102,48	0,42	1,15
12	Kum	91,35	112	70,92	86,98	115,18	0,40	1,09
13	Topra	95,7	117	70,86	86,9	130,05	0,41	1,09
14	Topra	147,9	181	124,64	152,86	195,74	0,70	1,91
15	Topra	165,3	202	126,41	155,03	204,33	0,72	1,94
16	Topra	147,9	181	136,40	167,28	222,72	0,78	2,09
17	Topra	165,3	202	146,29	179,41	236,55	0,84	2,25
18	Topra	113,1	138	113,78	139,54	200,76	0,66	1,75
19	Topra	182,7	224	152,56	187,10	244,71	0,87	2,34
20	Topra	130,5	160	91,39	112,08	156,22	0,53	1,4
21	Topra	87,0	106	74,31	91,13	123,18	0,43	1,14
22	Topra	156,6	192	104,16	127,75	133,45	0,57	1,60
23	Topra	139,2	170	116,54	142,93	191,53	0,67	1,79
24	Topra	156,6	192	114,46	140,38	82,63	0,65	1,76
25	Topra	118,32	145	95,93	117,65	147,36	0,54	1,47
Sonuç	Ortal	116,17	147	94,802	116,27	153,25	0,54	1,46

Burada A_U , A_{Th} ve A_K sırasıyla ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K 'nin spesifik aktivite konsantrasyonları (Bq/kg) değerleridir. Bu formül doğal radyonüklitlerden kaynaklanan γ radyasyonunun tehlike sınırını belirlemek için kullanılmaktadır. I_γ için dünya ortalama değeri 1 Bq/kg olarak belirlenmiştir [44].

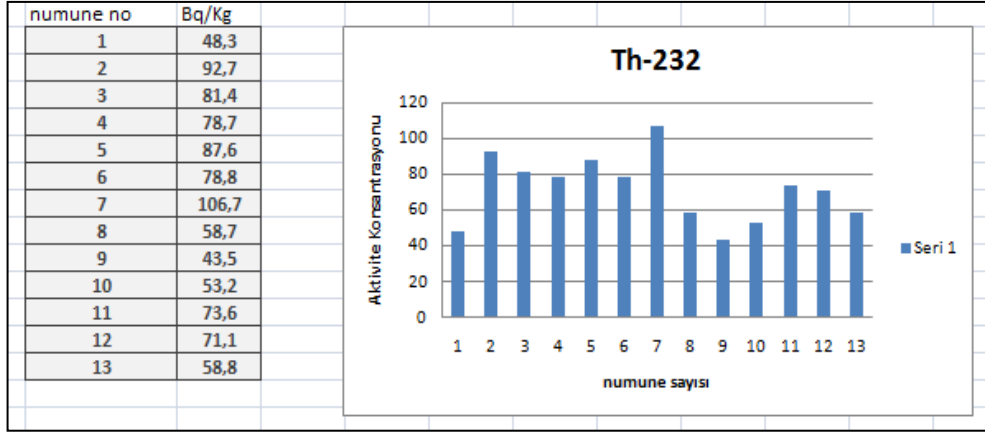
3.2. Toprak Örneklerine İlişkin Gamma Spektrometrisi Sonuçları

Nükleer Fizik Laboratuvarında yapılan ölçümlerde kum ve toprak numuneleri için ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs 'nin aktivite konsantrasyonu sonuçları tespit edilmiştir. ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs 'nin aktivite konsantrasyonları tüm toprak numuneleri için 57-111, 44-107, 298-1030 ve 4-10 Bq kg⁻¹ aralıklarında sırasıyla 80, 72, 726 ve 6 Bq kg⁻¹ 'ya denk gelen ortalama değerlerle saptanmışlardır. Ayrıca, bu radyonüklit aktiviteleri kum numuneleri için sırasıyla 34-101, 22-76, 245-674 ve 4-17 Bq kg⁻¹ aralıklarında saptanmışlardır.

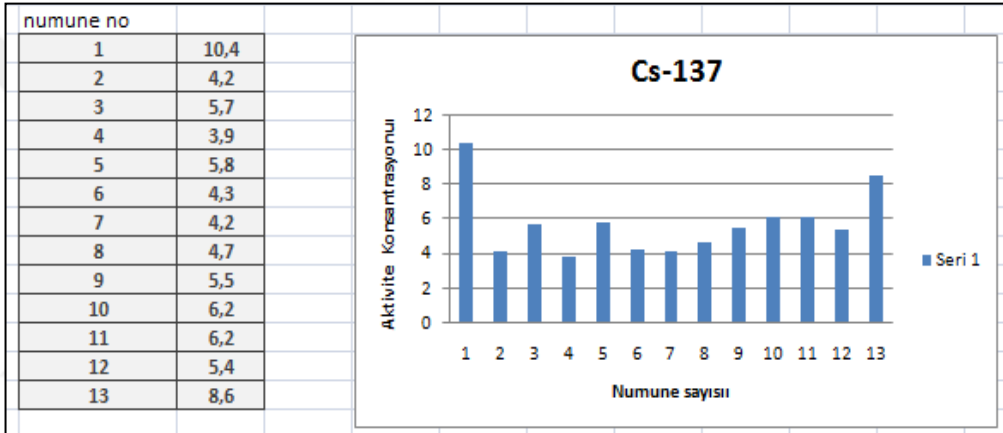
Bu radyonüklitlerin ortalama aktivite konsantrasyonları ise 61, 48, 397 ve 7 Bq kg⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Literatürde ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K 'nin aktivite konsantrasyonlarının dünya genelinde ortalama olarak sırasıyla 35, 30 and 400 Bq kg⁻¹ olduğu belirtilmektedir [2]. Sonuçlardan görülebildiği gibi, ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs 'nin toprak numunelerindeki ortalama aktivite konsantrasyonu değerleri dünya ortalamalarının hayli üzerindedirler (Tablo 3.4). Kum numuneleri için ise ^{238}U ve ^{232}Th 'nin aktivite konsantrasyonu değerleri sırasıyla dünya ortalamasından 1,74 ve 1,6 kat daha büyük iken, ^{40}K dünya ortalamasına oldukça yakındır (Grafik 3.1-3.6).



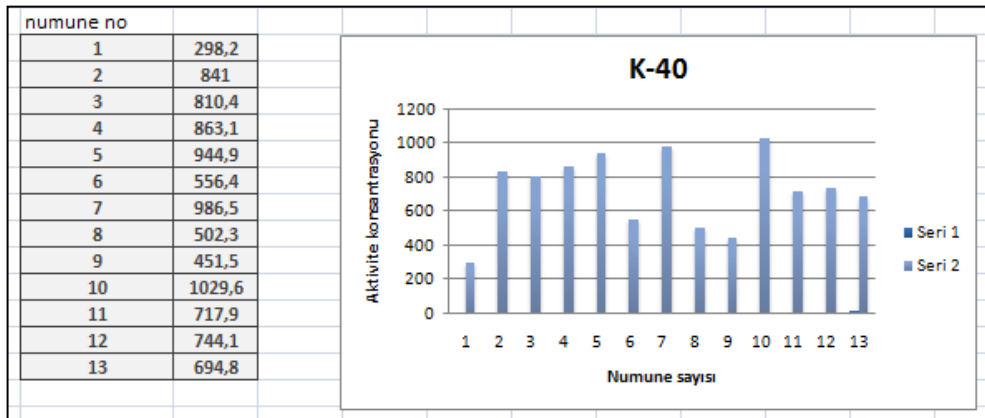
Grafik 3.1. Toprak örneklerinin U-238 aktivite konsantrasyonları



Grafik 3.2. Toprak örneklerinin Th-232 aktivite konsantrasyonları



Grafik 3.3. Toprak örneklerinin Cs-137 aktivite konsantrasyonları

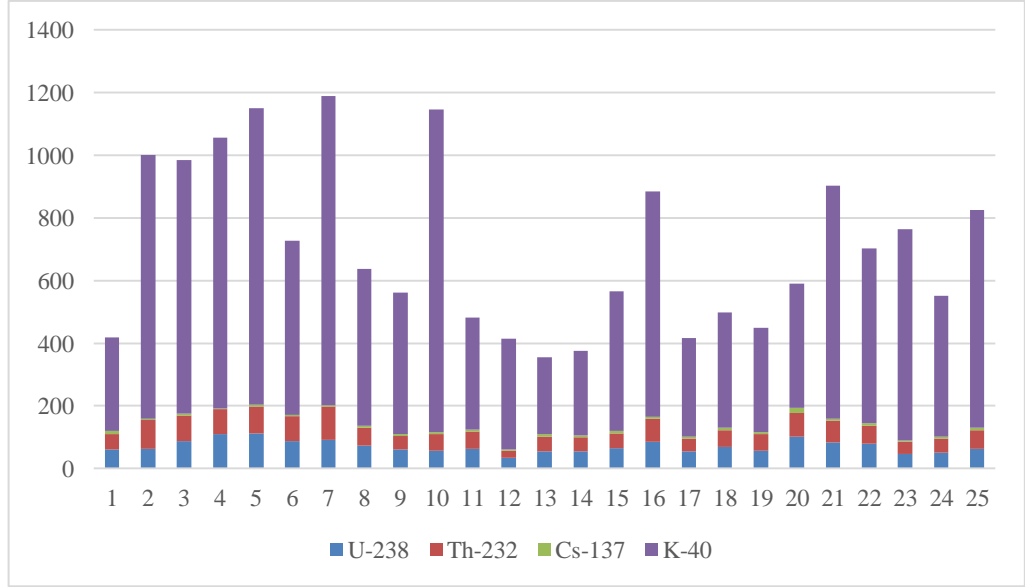


Grafik 3.4. Toprak örneklerinin K-40 aktivite konsantrasyonları

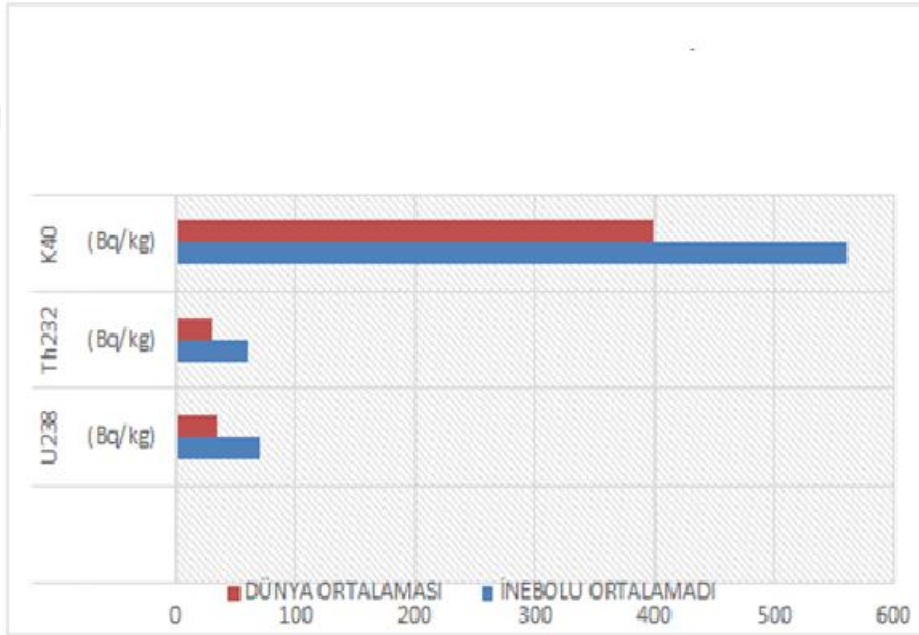
Bu çalışmadaki toprak ve taş numunelerindeki ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs 'nin aktivite konsantrasyonları baz alınarak havadaki ortalama emilen gamma dozu oranları sırasıyla $112,90 \text{ nGy h}^{-1}$ ve $75,19 \text{ nGy h}^{-1}$, yani 59 nGy h^{-1} olan dünya ortalamasından daha yüksek olarak belirlenmiştir [2]. Ayrıca, yeryüzüne ait gamma radyasyonundan kaynaklanan toprak ve kum numunelerindeki ortalama yıllık etkin dozlar sırasıyla $138,46 \mu\text{Sv y}^{-1}$ ve $92,22 \mu\text{Sv y}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Bunu yanı sıra, bu değerlerin dünya ortalaması olan $70 \mu\text{Sv y}^{-1}$ 'den daha büyük ancak kabul edilebilir en yüksek seviye olan 1 mSv y^{-1} 'den oldukça düşük olduğu tespit edilmiştir [45].

Tablo 3.4. Kum ve toprak radyoaktivite konsantrasyonu dağılımı

	^{238}U	^{232}Th	^{40}K	^{137}Cs
Toprak				
	57,3-111,2	43,5-106,7	298,2-1029,6	3,9-10,4
Ortalama ($\pm\text{SS}$)	79,66 \pm 1,13	71,78 \pm 1,21	726,21 \pm 6,73	5,78 \pm 0,18
Ortanca	82,55	18,57	220,91	1,87
Stand. Sap.	18,41	127,76	533,48	18,71
Kum				
	33,75-101,1	22,4-75,6	244,8-674,3	4,2-17,1
Ortalama ($\pm\text{SS}$)	61,03 \pm 1,26	48,29 \pm 1,19	397,33 \pm 5,91	7,12 \pm 0,18
Ortanca	56,25	47,1	363,95	5,85
Stand.Sap.	17,16	12,48	121,56	3,51



Grafik 3.5. Toprak ve Kum örneklerinin aktivite konsantrasyonları



Grafik 3.6. Dünya ve İnebolu aktivite konsantrasyonlarının karşılaştırılması

3.3. Havadaki Gamma Emilmiş Dozlar

Dış mekân gamma emilmiş dozları bir G-M tüpü kullanılarak (D) ölçülmüş, yıllık etkin doz eşdeğerleri (AEDE) ise bu ölçümler kullanılarak hesaplanmıştır. Tablo

3.5’de İnebolu’da havadaki emilmiş doz oranları (D) ve yıllık etkin doz eşdeğerleri (AEDE) verilmiştir. Toprak ve kum ortalama gamma dozları sırasıyla 138,93 nGy h⁻¹ ve 100,12 nGy h⁻¹ olarak bulunmuş, ortalama yıllık efektif doz karşılıkları da sırasıyla 170,39 µSv y⁻¹ ve 122,79 µSv y⁻¹ olarak hesaplanmışlardır. Bu değerler dünya ortalaması olan 80µSv y⁻¹ ‘den daha yüksektir [2]. Radyasyon ölçüm cihazıyla tespit edilen emilmiş gamma doz oranı ile dış ortamlar için toprak ve kum numunelerinden hesaplanan radyonüklid değerleri arasında iyi bir uyum vardır.

Tablo 3.5. İnebolu’da havadaki emilmiş doz oranları (D) ve yıllık efektif doz karşılıkları (AEDE).

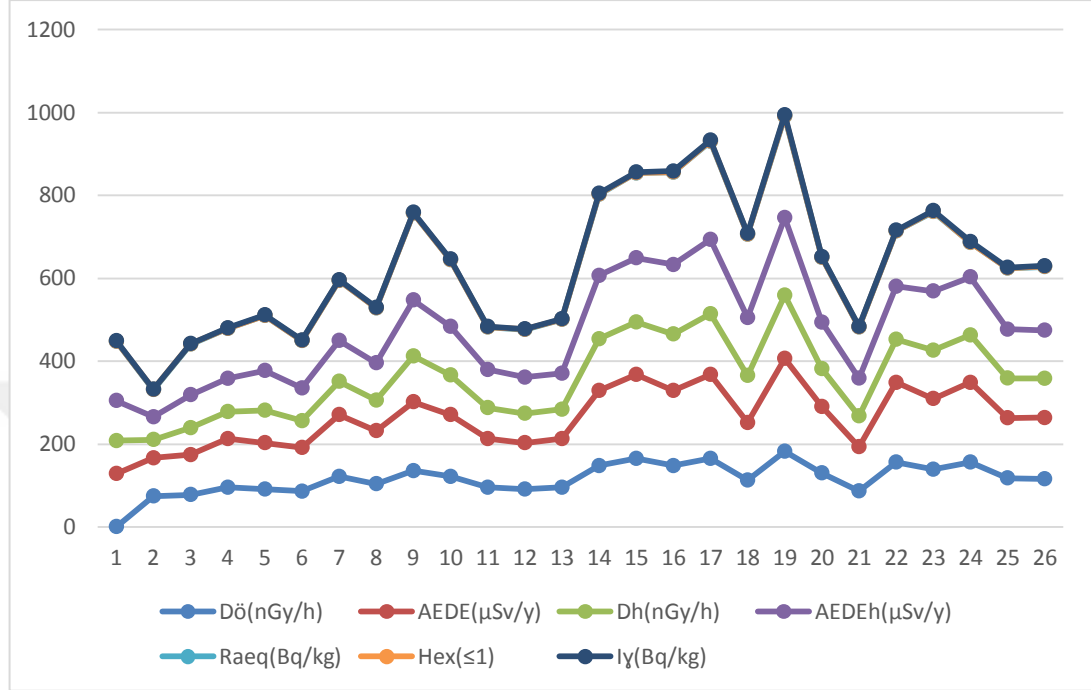
	Havadaki emilmiş doz oranları (nGy h ⁻¹)			Yıllık efektif doz karşılıkları (µSv y ⁻¹)		
	Radyasyon ölçüm cihazı ölçümü	Toprak radyoaktivitesi	Kum radyoaktivite si	Radyasyon ölçüm cihazı ölçümü	Toprak radyoaktivitesi	Kum radyoaktivite si
Aralık	20,88- 826,50	18,78-677,21	24,56-436,19	25,61- 1013,62	2 3,03-830,53	30,12- 534,94
Ortalama	205,25	172,98	152,06	251,72	212,14	186,49
Medyan	156,60	134,78	101,67	192,05	165,29	124,69
Standart sapma	162,31	127,39	112,85	199,06	156,23	138,40

Daha önce yapılan bazı çalışmalarda elde edilen ölçüm sonuçlarından biri Adana ilinde yapılan çalışmadır. Bu çalışmada bölgedeki çeşitli noktalardan alınan havada ölçülen soğurulmuş doz hızları 22,9 nGy/h ile 145nGy/h aralığında değişmektedir ve ortalama değeri ise 65,6 nGy/h olarak hesaplanmıştır [46].

İstanbul ilinde gerçekleştirilen diğer bir çalışmada havada ölçülen soğurulmuş gama doz hızları ortalaması 64,7 nGy/h olarak ve Tekirdağ ilindeki çalışmada ise havada ölçülen soğurulmuş gama doz hızları ortalaması 43,27 nGy/h olarak hesaplanmıştır [47].

Yine Tekirdağ ilinde gerçekleştirilen başka bir araştırmada ¹³⁷Cs ortalama aktivite konsantrasyonu 5,17 Bq/kg olarak bulunmuştur [48].

Grafik 3.7’de yapılan ölçümler sonucu elde edilen bulgulara bağlı olarak hesaplanan risk aktivite konsantrasyonlarının çubuk grafiğinde karşılaştırılması verilmiştir.



Grafik 3.7. Risk aktivite konsantrasyonlarının grafik karşılaştırılması

3.4. Toprak ve Kum Örneklerinin Porozitesi ve Bulk Yoğunlukları

Yeryüzünün büyük bir kısmını kaplayan toprak kayaların ve organik maddelerin geniş çaptaki ayrışma, ufalanma ve parçalanmaları sonucu ortaya çıkan ürünlerinden meydana gelmiştir. Toprak örtüsü içerisinde birçok canlı organizma barındıran ve bitkilerin yetişebileceği zemini sağlayarak gerekli besin ve mineral kaynağı görevi görür. Topraklar kimyasal özelliklerine göre toprak ana materyali iki farklı gruba ayrılır. Bunlar:

- 1) Mineral Ana Materyal
- 2) Organik Ana Materyal

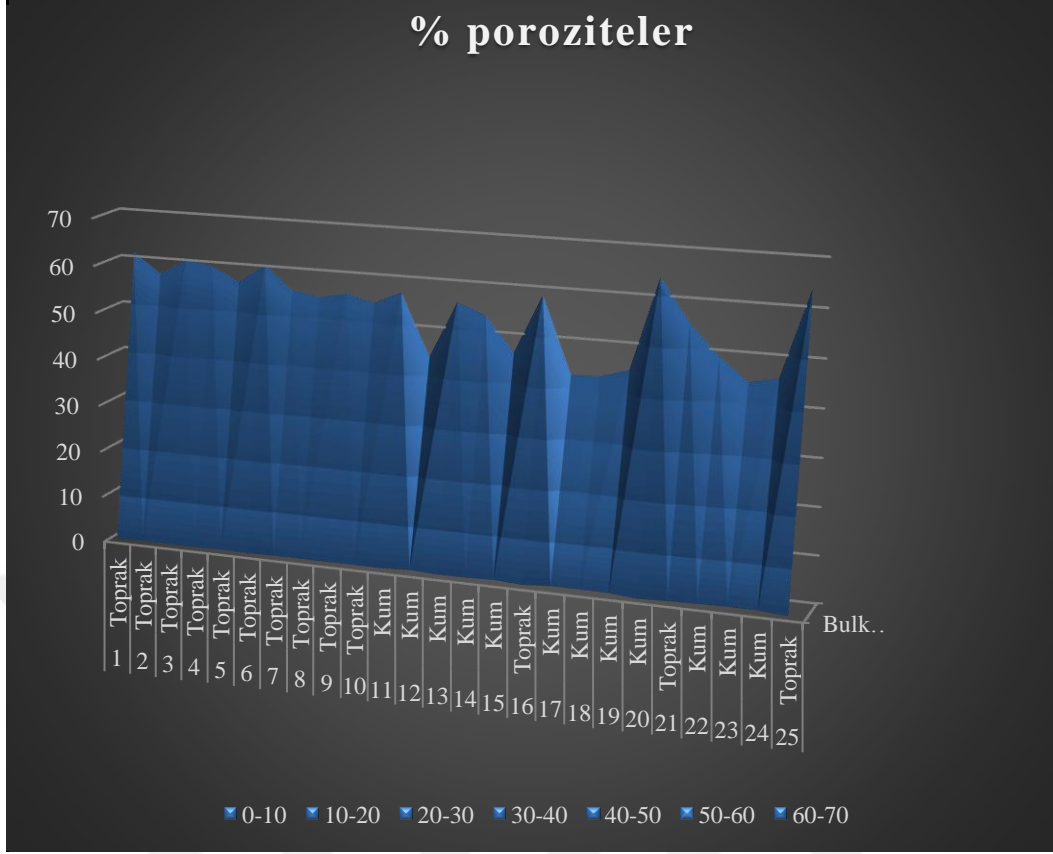
Tablo 3.6.’da İnebolu ilçesi ve çevresinden toplanan toprak ve kum numunelerinin laboratuvar ortamında yapılan ölçümler sonrası elde edilen yoğunluk ve porozite değerleri verilmiştir (Grafik 3.8).

Tablo 3.6. İnebolu ilçesine ait toprak ve kum örneklerinin yoğunluk ve porozitesi

Örnek Sayısı	Örnek Tipi	Bulk Yoğunluğu(gr/cm ³)	% Porozite
1	Toprak	1,03	60,967
2	Toprak	1,15	56,71
3	Toprak	1,06	59,98
4	Toprak	1,08	59,10
5	Toprak	1,16	56,21
6	Toprak	1,06	60,19
7	Toprak	1,18	55,33
8	Toprak	1,21	54,32
9	Toprak	1,18	55,49
10	Toprak	1,22	54,08
11	Kum	1,15	56,61
12	Kum	1,50	43,65
13	Kum	1,18	55,50
14	Kum	1,24	53,29
15	Kum	1,43	45,99
16	Toprak	1,10	58,34
17	Kum	1,53	42,40
18	Kum	1,52	42,65
19	Kum	1,47	44,41
20	Kum	0,96	63,88
21	Toprak	1,19	54,95
22	Kum	1,36	48,76
23	Kum	1,48	43,98
24	Kum	1,45	45,35
25	Toprak	0,96	63,83

Kum tanecikleri 0,02 ve 2,0 mm arasında değişen çapa sahip, sert ve tanecikli yapısı olan küçük taş ve toprak yapılarıdır. Kumun özellikleri,

- Temelde kumun yapısı kuvarstan oluşmuştur (SiO₂)
- Taneciklerin çapları Silt ve Kilden daha büyüktür.
- Toprak strüktüründe toprağın ana iskelet yapısını meydana getirir.
- Toprak oluşumunda etkisi temelde fizikseldir bir etkidir.



Grafik 3.8. Kum ve Toprak Porozitelerin Dağılımları

Katı ve tanecikli yapıya sahip olduğu için toprağın iskelet yapısını oluşturur ve toprak strüktürünü ayakta tutmaya yarar. Kum taneciklerinin yüzeyi elektriksel olarak yüksüz olduğu için fizikokimyasal özelliğe sahip değildir.

Porozite basitçe gözenek hacmi olarak da adlandırılabilir. Topraktaki toplam gözenek hacmi strüktür oluşurken mikro agregatlar arasında mikro porlar, makroagregatlar arasında da makro porlar oluşmaktadır. Porozite, makroporların ve mikroporların hacimlerinin toplamının bütün toprak hacmindeki oranı ile hesaplanır.

$$\text{Porozite \%} = 100 - (\text{toprağın hacim ağırlığı/toprağın özgül ağırlığı}) \times 100 \quad (8)$$

Toprağın porozitesi değeri o toprağın bazı fiziksel özelliklerine bağlı olarak değişir. Bunlar tekstürü, strüktürü ve hacim ağırlığı gibi özelliklerdir. Porozite miktarını belirleyen diğer bir önemli etkende toprağın ne oranda organik madde içerdiğidir. Yapısında kil, silt bulunduran ya da organik madde bakımından zengin topraklarda

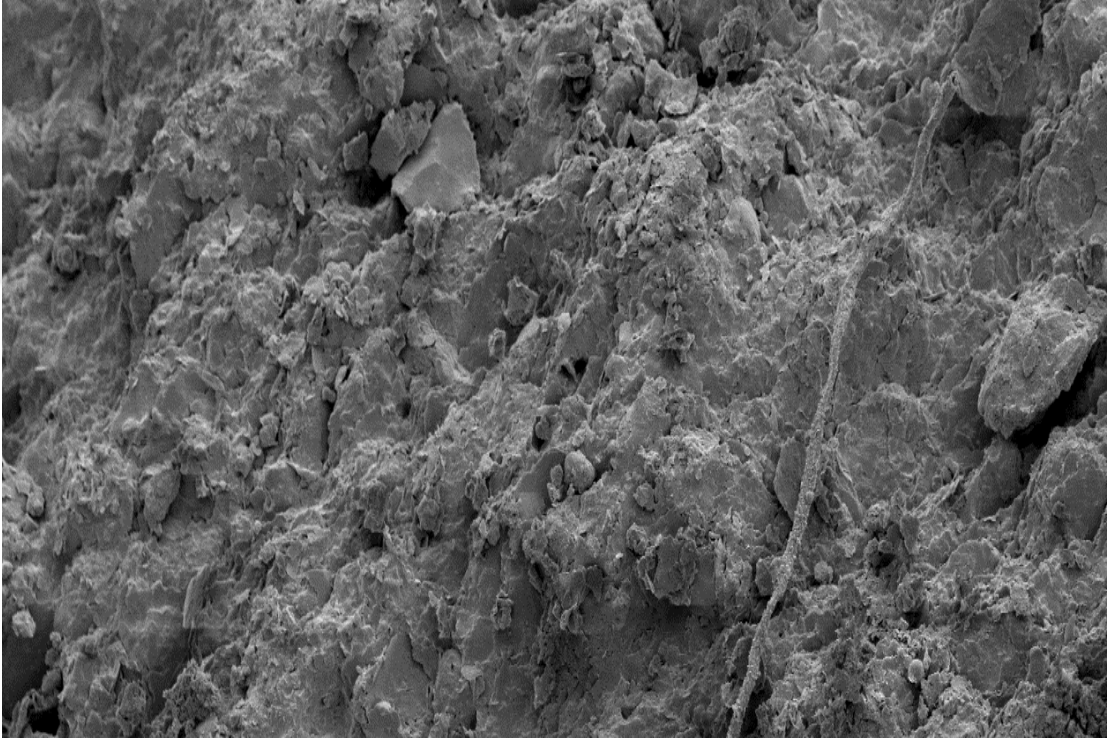
porozite değeri çok yüksektir. Bu tür topraklarda mikro ve makro agragat oluşumu ve bunun sonucu olarak mikropor ve makropor oluşumu diğer toprak çeşitlerine göre çok daha yüksek miktarlarda olur. Toprağın üzerine etki eden basınç ve terden olan derinliği de poroziteyi etkiler. Örneğin kumlu yapıya sahip üst tabakalarda porozite % 35 – 50 arasında değişiklik gösterir. Yüzeyin altında sıkışmaya maruz kalmış topraklarda ise porozite yaklaşık % 25 seviyelerine kadar iner.

İçinde boşluk bulunmayan 1 cm³ hacme sahip toprağın gram olarak ağırlığına özgül ağırlık denir. Toprağın özgül ağırlığı hesaplanırken yalnızca toprak parçacıklarının kütlesi ve hacimleri dikkate alınır. Bu nedenle her toprak çeşidinin özgül ağırlığının değişmeyen bir değeri vardır. Bu nedenle porozite değeri toprak parçacıkları arasındaki boşlukların azalması veya artmasından etkilenmez. Topraktaki organik madde miktarı ve mineralojik yapı poroziteyi doğrudan belirleyen faktörlerdir. Mineral açıdan zengin topraklarda özgül ağırlık 2,60–2,75 g/cm³ değerleri arasında değişir. Ortalama yaklaşık olarak 2,65 g/cm³ olarak alınabilir. Mineral maddelerin yoğunluğu organik maddelerden daha fazla olduğu için toprak içindeki organik madde miktarı arttıkça toprağın özgül ağırlığı düşer. Daha fazla organik madde içeren üst toprağın özgül ağırlığı bu sebeple alt topraktan daha azdır. İçerisinde yüksek oranda organik bileşen içeren mineral toprakların özgül ağırlığı 2,40 g/cm³ 'e kadar düşebilir.

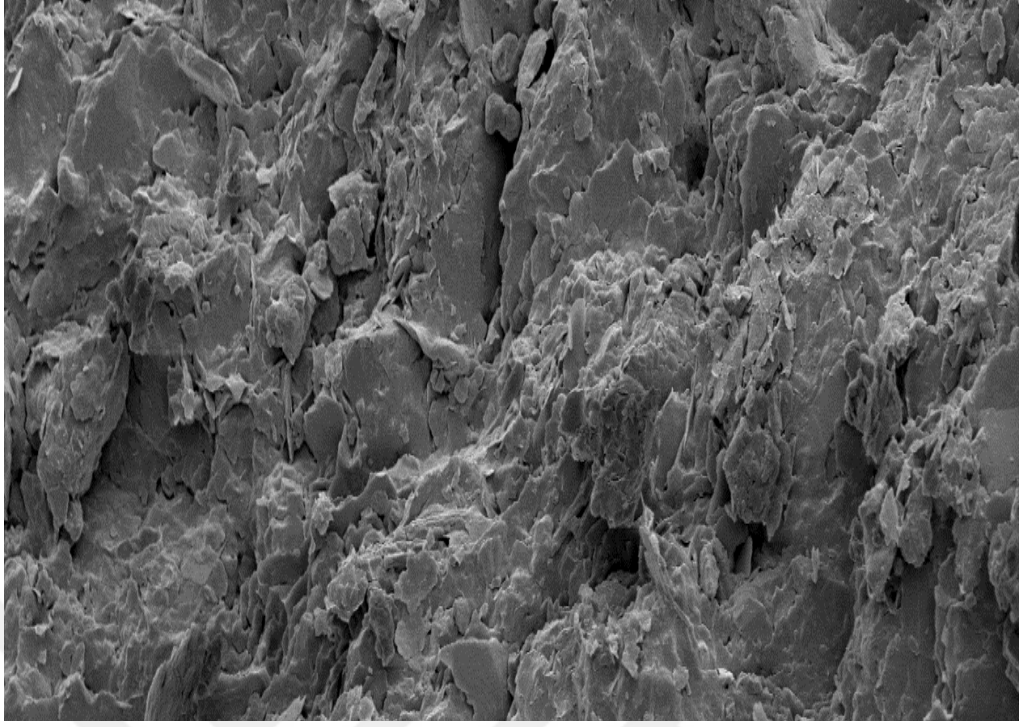
3.5. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Ölçümleri

Bu çalışmada İnebolu ilçesinden alınan farklı toprak ve kum numunelerin yapısal özellikleri incelenmiştir. Numunelerin yapısal karakterizasyonu taramalı elektron mikroskobu (SEM) ölçümleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Taramalı elektron mikroskobunda (SEM), yüksek gerilim altında hızlandırılan elektronların toprak örneği üzerine odaklanması ile elektron demetinin toprak yüzeyinde taratılması esnasında elektron ve toprak atomları arasında meydana gelen çeşitli etkileşimler sonucunda ortaya çıkan etkilerin uygun dedektörlerle tespit edilen sinyaller çeşitli amlifikatörler aracılığı ile güçlendirilir. Daha sonra bu sinyaller bir katot ışınları tüpünün ekranına gönderilerek görüntü elde edilir. Fotoğraf 3.1, Fotoğraf 3.2 ve Fotoğraf 3.3' de İnebolu bölgesinden alınan toprak numunelerinin farklı oranlarda

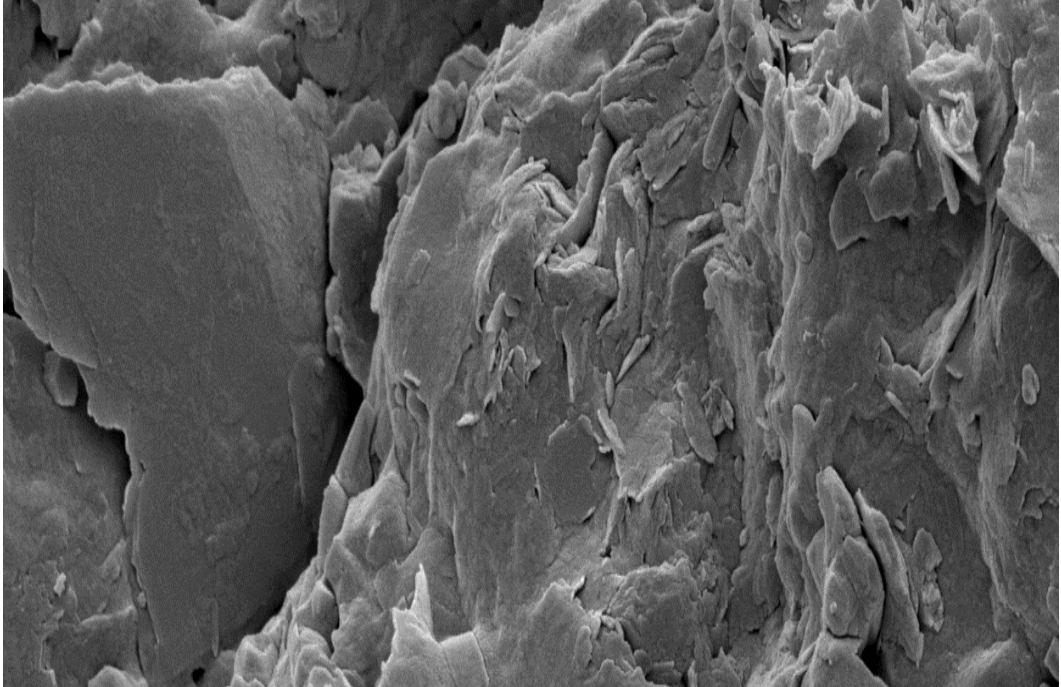
büyütülmüş SEM fotoğrafları verilmiştir. En son üretilen görüntüleme teknolojilerinde algılayıcılara ulaşan sinyaller dijital sinyallere dönüştürülüp bilgisayar ekranına gönderilerek görüntü alınır. Toplanan kum ve toprak örneklerinin SEM görüntülemeleri Carl Zeiss Evo 50 EP elektron mikroskobu kullanılarak yapılmıştır.



Fotoğraf 3.1. 5kV ta 691µm büyütülmüş 3 nolu toprağın SEM fotoğrafı



Fotoğraf 3.2. 5kV ta 82,91 μ m büyütülmüş 4 nolu toprağın SEM fotoğrafı



Fotoğraf 3.3. 5kV ta 14,5 büyütülmüş 14 nolu kumun SEM fotoğrafı

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada Kastamonu ili İnebolu çevresinden toplanmış 13 toprak ve 12 plaj kumu numunesindeki doğal ve yapay radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonları gamma ışını spektroskopisiyle belirlenmiştir. Bu sonuçlar kullanılarak emilmiş gamma dozu ve yıllık etkin doz hesaplanmıştır. Dış mekân gamma dozları toprak ve kum numunelerinin toplandığı aynı alanlarda taşınabilir G-M tüpüyle ölçülmüş ve bu ölçümler kullanılarak yıllık efektif dozlar tespit edilmiştir. Mevcut çalışmanın sonuçları radyoaktif kirliliğin etkileriyle ilgili öngörüler için kıymetli bir veri tabanı olacaktır. Toplanmış olan 25 toprak ve kum örneğinin yapılan radyometrik analizleri sonucunda belirlenen ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K doğal radyo nüklitlerinin aktivite konsantrasyonları, bu konsantrasyonlardan yararlanılarak hesaplanan gama dozu, yıllık etkin doz eşdeğerleri, radyum eşdeğer aktiviteleri, dış tehlike indeksleri ve gama aktivite konsantrasyon indeksi Tablo 2 ve 4'de verilmektedir. Tüm veriler incelendiğinde ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K için ortalama aktivite konsantrasyonları sırasıyla $70,35\pm 6,37$, $59,95\pm 5,94$ ve $561,77\pm 49,50$ Bq kg⁻¹ olarak belirlenmiştir. Bu radyonüklitler için uluslararası literatürde dünya ortalama değerleri yine sırasıyla 35, 30 ve 400 Bq kg⁻¹ olarak verilmektedir [41]. İnebolu toprak ve kumlarındaki ortalama ^{238}U aktivitesi dünya ortalamasından 2,35 kat daha büyük, ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları ise, aynı radyonüklitlerin dünya ortalaması değerlerinden sırasıyla 1,99 ve 1.41 kat daha yüksektir. Yapay bir radyonüklit olan ^{137}Cs , çalışma bölgesindeki hiçbir toprak ve kum örneğinde gözlenmemiştir. Çalışmada, en yüksek ^{238}U aktivitesi toprak örneklerinde 111,20Bq/kg, kum örneklerinde ise 101,10 Bq kg⁻¹ olarak bulunmuştur. Sonuçlardan görüleceği gibi ^{238}U aktivitesinin toprak örneklerindeki ortalama değeri, kum örneklerindeki ortalama değerinden 1,18 kat daha yüksektir. En yüksek ^{232}Th aktivitesi toprak örneklerinde 106,8 Bq/kg, kum örneklerinde ise 75,7 Bq/kg olarak bulunmuştur. ^{232}Th aktivitesinin hem toprak hem de kum örneklerindeki ortalama değeri, ^{232}Th radyonükliti için dünya ortalaması olarak belirlenen 30 Bq/kg değerinden yüksektir. ^{232}Th aktivitesinin toprak örneklerindeki ortalama değeri, kum örneklerindeki ortalama değerinden de 1,42 kat daha yüksektir. Belirlenen bu radyonüklitlerin spesifik aktiviteleri kullanılarak çalışma bölgesi için hesaplanan, radyum eşdeğer aktivitesi, dış tehlike indeksi ve gama aktivite konsantrasyon indeksi gibi radyolojik parametreler Tablo 3.4

incelendiğinde, çalışma bölgesi için hesaplanan değerlerin literatürde verilen sınır değerleri aşmadığı görülmüştür. Bu veriler ışığında inebolu ilçesi topraklarında belirlenen radyonüklitlerin, insan sağlığını tehdit edebilecek düzeyde aktivite konsantrasyonuna sahip olmadığı sonucuna varılmıştır. Sulardaki radon konsantrasyonunun uluslararası tavsiye edilen güvenlik sınırı 4-40 Bq/L olarak belirlenmiştir [49].Yine literatürde sulardaki radon konsantrasyonu açısından maksimum kirlilik seviyesi 11,1 Bq/L olarak belirlenmiştir [50]. Tablo 3.2’de verilen su örneklerinin radon konsantrasyonları incelenecek olursa, çalışma bölgesindeki sularda radon konsantrasyonu 130-1080 Bq/m³ yani 0,012-1,008 Bq/L arasında değişim gösterdiği ve ortalama radon konsantrasyonunun sularda 526,7 Bq/m³ yani yaklaşık 0,53 Bq/L olduğu görülmektedir. Tüm bu veriler ışığında, çalışma bölgesinden toplanan su örneklerinin içme suyu amacıyla kullanılmasının, radon konsantrasyonu açısından güvenli olduğu sonucuna varılmıştır. Çevresel örneklerdeki doğal ve yapay radyonüklitlerin aktivitelerinin belirlenmiş olması ileride doğabilecek herhangi bir Çernobil nükleer kazası benzeri durumda radyasyon takibi açısından ve insan sağlığına yönelik radyolojik risklerin değerlendirilmesi bakımından çok faydalı olacaktır. Ayrıca, Türkiye’de yüksek dozlu doğal radyoaktivite bölgelerinin belirlenmesinde, düşük doz radyasyon risklerinin daha ayrıntılı değerlendirilebilmesinde ve bunlara bağlı olarak radyasyon sınır değerlerinin tayin edilmesi amacıyla bu tip taban seviye radyasyon düzeylerinin belirlenmesine yönelik yürütülen çalışmalar devam ettirilmelidir. Toplanan toprak numuneleri üzerinde laboratuvarda yapılan araştırmalar sonucu mineral topraklarda özgül ağırlık 2,60–2,75 g/cm³ arasında değişir. İnebolu ilçesinin toprağının özgül ağırlığının ortalaması 2,65 g/cm³ olarak ölçülmesi mineral bakımından zengin bir toprak yapısına sahiptir olduğunu göstermektedir. Bu sonuçlar bölgenin toprak yapısı hakkında bir fikir edinilmesine yardımcı olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Çetiner, M. A., & Gündüz, H., Ilgar, A. (2011). *Radiation Physich Chemistry*, 80, 704–709.
- [2] UNSCEAR (2000). *United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation Sources.*, Corrigendum for Annex C ,volume 1-2.
- [3] Pak, N.K. (2001). *Tübitak-Bilten. 4.*,Uzay. Tubitak.Gov.tr.
- [4] Van Leeuwev, G.M., Lagendijk J.J, Van Leersum B.J., Zwamborn A.P., Hornsleth S.N., Kotte A.N.(1999). “Calculation of chance in braintemperatures due to exposure to a mobile phone”. *Physics in Medicine and Biology*, 44, 2367-2379.
- [5] Radyasyon çeşitleri, 02/10/2016 tarihinde <http://www.taek.gov.tr/ogrenci/r02.htm> adresinden alınmıştır.
- [6] Martin, J. E.(2013). Radyasyon ve Radyasyondan Korunma Fizigi. *Palme Yayıncılık*, Ankara, 94.
- [7] Peterson,R.,S. (1996). *Experimental Gamma Ray Spectroscopy and Investigations of Enviromental Radioactivity*. The University of the South, 19.
- [8] U.S. National Regulatory Commission, Sources of Radiation. 08/11/2016 tarihinde <http://www.nrc.gov/about-nrc/radiation/around-us/sources.html> adresinden alınmış.
- [9] Harrison R.M. (2001). *Pollution: Causes, Effects and Control*. Fourth Edition The University of Birmingham ,UK, 484.
- [10] U.S. National Regulatory Commission, *Natural Background Sources - Cosmic Radiation*, Erişim tarihi: 11/09/2016.
- [11] Harrison R.M.(2001). *Pollution: Causes, Effects and Control*. Fourth Edition. The University of Birmingham, UK. 485.
- [12] Doğal radyasyon kaynakları. <http://www.taek.gov.tr/bilgi-kosesi/184-radyasyonla-birlikte-yasiyoruz/501-dogal-radyasyon-kaynaklari.html>, Erişim tarihi: 04/09/2016.
- [13] Doğal radyasyon kaynakları. [taek.gov.tr/bilgi-kosesi/184-radyasyonla-birlikte-yasiyoruz/501-dogal-radyasyon-kaynaklari.html](http://www.taek.gov.tr/bilgi-kosesi/184-radyasyonla-birlikte-yasiyoruz/501-dogal-radyasyon-kaynaklari.html), Erişim tarihi: 05/09/2016.

- [14] Martin, J.E.(2013). Radyasyon Ve Radyasyondan Korunma Fizigi. *Palme Yayıncılık* Ankara. 425.
- [15] Yapay radyasyon kaynakları. 08/09/2016 tarihinde <http://www.taek.gov.tr/bilgi-kosesi/184-radyasyonla-birlikte-yasiyoruz/502-yapay-radyasyon-kaynaklari.html> .
- [16] Şenlik, B. (2010). Ankarada bir üniversite hastanesinde iyonlaştırıcı radyasyon kaynakları ile çalışan sağlık çalışanlarında iyonlaştırıcı radyasyonun olası sağlık etkilerinin belirlenmesi. Uzmanlık tezi. Ankara, 83
- [17] U.S. National Regulatory Commission, *Man Made Sources*. <http://www.nrc.gov/about-nrc/radiation/around-us/sources/man-made-sources.html>, Erişim tarihi: 07/23/2016.
- [18] Chernobyl Accident 1986. <http://www.world-nuclear.org/info/Safety-and-Security/Safety-of-Plants/Chernobyl-Accident/>, Erişim tarihi: 02/07/2016
- [19] Gönen, E. (2012). Edirne İlinin Çevresel Radyoaktivitesinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. *Tekirdağ Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü*, 66.
- [20] Fukushima Accident. <http://www.world-nuclear.org/info/Safety-and-Security/Safety-of-Plants/Fukushima-Accident/>, Erişim tarihi: 02/07/2016.
- [21] Nükleer Enerji Nedir. http://taek.gov.tr/ogrenci/bolum1_01.html, Erişim tarihi: 27/09/2019
- [22] U.S.Environmental Protection Agency, Exposure Pathways. <http://www.epa.gov/radiation/understand/pathways.html> , Erişim tarihi: 12/19/2016.
- [23] U.S. Environmental Protection Agency. Pathways. <http://www.epa.gov/radiation/understand/pathways.html>, Erişim tarihi : 12/09/2016.
- [24] Martin, J.E. (2013). *Radyasyon ve radyasyondan Korunma Fizigi*. Palme Yayıncılık, Ankara, 557.
- [25] Knoll, G.F. (2000). *Radiation Detection and Measurement*. Wiley, 131.
- [26] Powsner, R.A., Powsner, E.R. (2006). *Essential Nuclear Medicine Physics*. Blackwell Publishing, 38.
- [27] Martin, J.E. (2013). *Radyasyon ve radyasyondan Korunma Fizigi*. Palme Yayıncılık, Ankara, 560.
- [28] Knoll, G.F. (2000). *Radiation Detection and Measurement*. Wiley, 223.

- [29] Dalcı, D., Dörter, G., Güçlü, A.(2005). Radyasyon Hasarlarının Tanı Ve Tedavisi. *ÇNAEM Radyasyon Güvenliği Raporları Serisi*. No:2, ISBN: 975–8898–01–9. İstanbul.
- [30] Radyasyondan Korunma.
http://www.arpansa.gov.au/radiationprotection/Basics/health_ion.cfm, Erişim tarihi: 07/10/2016
- [31] RadyasyondanKorunma.,(2016) ,
http://www.arpansa.gov.au/radiationprotection/Basics/health_ion.cfm, Erişim tarihi: 09/22/2016.
- [32] Dr. Lutz G.(2007).*Semiconductor Radiation Detectors Device Physics*. Book-1. ISBN: 978-3-540-71678-5 (Print) 978-3-540-71679-2 (Online)
- [33] Peterson R. S.(1996). Experimental Gamma Ray Spectroscopy and Investigations of Enviromental Radioactivity. *The University of the South*, 63.
- [34] IAEA *Technical Reports Series* No:295. (1989). ISBN:92-0-125189-0.
- [35] Kurnaz, A., Küçükömeroğlu, B., Damla, N., Çevik, U., *Envirmental Journal (2011)*,*Radioactivity*. 102, 393-399.
- [36] Customization Tools Manual Genie-2000. (2004). Maestro-32 Software User's Manual.
- [37] Değerlier, M. (2007). Adana İli Ve Çevresinin Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Saptanması ve Doğal Radyasyonların Yıllık Etkin Doz Eşdeğerlerinin Bulunması. Doktora Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü*, ADANA, 156.
- [38] United Nations Scientific Committe on the Effects of Atomic Radiation. (1988). *Report to the General Assembly*, with Annexes.57.
- [39] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. *UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly*, with scientific annexes, Volume I.
- [40] Beretka, J., & Mathew P. J. (1985). Natural Radioactivity of Australian Building Materials, Industrial Wastes and by Products, *Health Physics*, 48: 87-95.
- [41] Isinkaye M.O. (2008). Radiometric assessment of natural radioactivity levels of bituminous soil in Agbabu, southwest Nigeria Article in *Radiation Measurements*, 127.
- [42] ICRP. (1991). International Commission on Radiological Protection, Pergamon Press, ICRP Publication 60, Ann. ICRP 21 (1-3), Oxford .

- [43] Değerlier, M. (2007). Adana İli Ve Çevresinin Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Saptanması Ve Doğal Radyasyonlarının Yıllık Etkin Doz Eşdeğerlerinin Bulunması. Doktora Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 153.
- [44] Karahan, G. (1997). İstanbul'un Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Tayini ve Doğal Radyasyonların Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri. Doktora Tezi, *İstanbul Üniversitesi*, İstanbul.
- [45] Kam E. (2004). Tekirdağ'ın Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Tayini. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi*, İstanbul. 112.
- [46] United Nations Scientific CommiSee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR1993). Report to the General Assembly, with scientific annexes. *United Nations sales publication*, E.94.IX.2. United Nations, New York.
- [47] United States Environmental Protection Agency (USEPA). (1994). Report to the United States Congress on Radon in Drinking Water, Mul media Risk and Cost Assessment of Radon. *United States Environmental Protection Agency*.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Savaş Türkdoğan
Doğum Yeri ve Yılı : Selim/Kars 07/06/1974
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : savaş-turk-doğan@hotmail.com



Eğitim Durumu

Lise : Keçiören Lisesi
Lisans : Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü
Yüksek Lisans : Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı

Mesleki Deneyim

İç Yeri : Bilfen Çayyolu Anadolu Lisesi
İç Yeri : Alfa Akademi Koleji
İç Yeri : Tümay Dersaneleri