T.C.
KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KASTAMONU İLİ DOĞANYURT - CİDE İLÇELERİ TOPRAK VE SAHİL KUMU NUMUNELERİNDEKİ DOĞAL RADYASYON SEVİYESİNİN BELİRLENMESİ

Ahmet Timur DEMİRYUĞURAN

Danışman	**Doç. Dr. Aslı KURNAZ**
Jüri Üyesi	**Prof. Dr. Haluk KORALAY**
Jüri Üyesi	**Doç. Dr. Aybaba HANÇERLİOĞULLARI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANA BİLİM DALI

KASTAMONU – 2018

TEZ ONAYI

Ahmet Timur DEMİRYUĞURAN tarafından hazırlanan "**Kastamonu İli Doğanyurt-Cide İlçeleri Toprak ve Sahil Kumu Numunelerindeki Doğal Radyasyon Seviyesinin Belirlenmesi**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde savunulmuş ve **oy birliği** ile Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Fizik Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman	Doç. Dr. Aslı KURNAZ Kastamonu Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	Prof. Dr. Haluk KORALAY Gazi Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	Doç. Dr. Aybaba HANÇERLİOĞULLARI Kastamonu Üniversitesi	.....

25/06/2018

Enstitü Müdür V.	Doç. Dr. Mehmet Altan KURNAZ	.....

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.



Ahmet Timur DEMİRYUĞURAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KASTAMONU İLİ DOĞANYURT - CİDE İLÇELERİ TOPRAK VE SAHİL KUMU NUMUNELERİNDEKİ DOĞAL RADYASYON SEVİYESİNİN BELİRLENMESİ

Ahmet Timur DEMİRYUĞURAN
Kastamonu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Ana Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Aslı KURNAZ

Çalışmada, Kastamonu ili Doğanyurt – Cide ilçelerinden toplanan 60 adet toprak ve sahil kumu numuneleri gama spektrometresi yöntemiyle analiz edilmiştir. Yapılan radyometrik analizler sonucunda ^{238}U, ^{232}Th ve ^{40}K doğal radyonüklidlerinin aktivite konsantrasyonları hesaplanmıştır. Bulunan değerlerin dünya ortalamalarının altında olduğu görülmüştür. Bu konsantrasyonlardan yararlanılarak radyum eşdeğer aktiviteleri, dış tehlike indeksleri ve gama aktivite konsantrasyon indeksleri tespit edilmiştir.

Ayrıca G-M sayacı ile yerinde ölçüm yapılmıştır. Bu ölçümler kullanılarak yerinde havadaki emilmiş gama dozu ve yıllık efektif doz ile ^{238}U, ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklitlerinin aktiviteleri kullanılarak hesaplanan havadaki emilmiş gama dozu ve yıllık efektif doz tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kastamonu, Doğanyurt, Cide, Çevresel radyoaktivite

2018, 54 sayfa
Bilim Kodu: 202

ABSTRACT

MSc. Thesis

DETERMİNATİON OF THE NATURAL RADİATİON LEVEL İN SAMPLES OF SOİL AND BEACH SAND İN DOĞANYURT-CİDE DİSTRİCTS OF KASTAMONU

Ahmet Timur DEMİRYUĞURAN
Kastamonu University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Physics

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Aslı KURNAZ

60 pieces of soil and beach sand samples which are collected in Doğanyurt-Cide districts of Kastamonu Province were analyzed by gamma spectrometry method in this study. As a result of the radiometric analyzes, the activity concentrations of ^{238}U, ^{232}Th and ^{40}K natural radionuclides were calculated. It is seen that the values found are below the world average. The radium equivalent activities, external hazard indices and gamma activity concentration indicies were determined the benefit of the concentration.

Also, the measurements were done on site by G-M counter. Using these measurements, air-absorbed gamma dose and annual effective dose were specified on site. Also using ^{238}U, ^{232}Th and ^{40}K radionuclides activities, air-absorbed gamma dose and annual effective dose have been calculated.

Key Words: Kastamonu, Doğanyurt, Cide, Environmental radioactivity

2018, 54 pages
Science Code: 202

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yapılmasında ve tamamlanmasında bana yardımcı olan Kastamonu Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü öğretim üyesi ve danışman hocam Doç. Dr. Aslı KURNAZ'a en içten teşekkürümü sunarım. Dersler ve çalışmalarım boyunca değerli bilgilerinden ve yardımlarından faydalandığım Fizik Bölümü'nün tüm öğretim üyelerine de teşekkür ederim. Numune toplamada yardımcı olan arkadaşım Hasan UZUN'a, tez yazarken bilgilerine danıştığım Murat ÖZCAN'a, çevirilerde yardımcı olan ablam Saba ALKANAT ve eniştem Murat ALKANAT'a ayrıca teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Ahmet Timur DEMİRYUĞURAN
Kastamonu, Haziran, 2018

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv
ABSTRACT v
TEŞEKKÜR vi
İÇİNDEKİLER vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ ix
ŞEKİLLER DİZİNİ x
TABLOLAR DİZİNİ xi
1. GİRİŞ 1
1.1. Radyoaktivite Nedir? 1
1.2. Radyoaktivite Ve Oluşumu 2
1.2.1. Atom Yapısı 2
1.2.2. Radyoaktivitenin Keşfi 3
1.2.3. Radyoaktivite 4
1.2.3.1. *Aktiflik* 5
1.2.3.2. *Yarı Ömür* 6
1.3. Radyoaktif Bozunumlar 7
1.3.1. Radyoaktif Bozunum Kanunu 7
1.3.2. Doğal Radyoaktif Bozunumlar 7
1.3.2.1. *Alfa Bozunum* 8
1.3.2.2. *Beta Bozunum* 9
1.3.2.3. *Gama Işınlanması* 10
1.3.3. Radyoaktif Denge 11
1.3.4. Doğal Radyasyon Kaynakları 13
1.3.4.1. *Kozmik Radyasyon* 13
1.3.4.2. *Karasal Radyasyon (Terrestrial)* 14
1.3.5. Yapay Radyasyon Kaynakları 18
1.3.5.1. *Medikal Kaynaklar* 18
1. 3.5.1.1. *Radyografi* 19
1.3.5.1.2. *Nükleer tıp uygulamaları* 19

1.3.5.1.3. *Radyoterapi* 19
1.3.5.2. Kullanıcı Ürünleri 20
1.3.5.2.1. *Endüstride kullanılan kaynaklar* 20
1.3.5.2.2. *Tarım sektöründe kullanılan kaynaklar* 21
1.3.5.2.3. *Hayvancılık sektöründe kullanılan kaynaklar* 21
1.3.5.2.4. *Günlük kullanım ürünleri* 22
1.3.5.2.5. *Araştırmada kullanılan kaynaklar* 22
1.4. Radyoaktivitenin Zararları 23
1.5. Radyoaktiviteden Faydalanma Yolları 26
2. MATERYAL VE METOD 28
2.1. Numune Toplanan Bölgenin Özellikleri 28
2.2. Numune Toplama ve Hazırlık 29
2.3. Sintilasyon Dedektörü 31
2.4. Çevresel Gama Dozu 33
2.5. Radyolojik Etki Hesabı 34
3. BULGULAR 35
3.1. Toprak ve Kum Örneklerindeki ^{238}U, ^{232}Th ve ^{40}K'nın Aktivite Konsantrasyonları 35
3.2. Havadaki Gama Emilmiş Doz Ölçümleri 41
3.3. Toprak ve Kum Örnekleri İçin Radyasyon Tehlike Parametreleri 43
4. SONUÇ 47
KAYNAKLAR 50
ÖZGEÇMİŞ 54

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Bq	Becquerel (Radyoaktivite Birimi)
D	Havadaki Emilmiş Doz
Gy	Gray (Absorbe Edilen Doz Birimi)
Sv	Sievert (eşdeğer Doz Birimi)
Hex	Dış Tehlike İndeksi
I	Gama Işın Şiddeti
Req	Radyum Eşdeğer Aktivitesi
n	Nano
μ	Mikro
HpGe	Yüksek Saflıkta Germanyum
ADC	Analog Sayısal Dönüştürücü
MCA	Çok Kanallı Analizör
ICRP	International Commission on Radiological Protection
TAEK	Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
UNSCEAR	United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic

FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

Sayfa

Fotoğraf 1. HpGe sintilasyon dedektörü görünümü…… 32

GRAFİKLER DİZİNİ

Sayfa

Grafik 1. Doğanyurt ilçesi numunelerindeki ^{238}U aktivite konsantrasyonları… 36
Grafik 2. Doğanyurt ilçesi numunelerindeki ^{232}Th aktivite konsantrasyonları… 37
Grafik 3. Doğanyurt ilçesi numunelerindeki ^{40}K aktivite konsantrasyonları…. 37
Grafik 4. Cide ilçesi numunelerindeki ^{238}U aktivite konsantrasyonları…….. 39
Grafik 5. Cide ilçesi numunelerindeki ^{232}Th aktivite konsantrasyonları…..…. 40
Grafik 6. Cide ilçesi numunelerindeki ^{40}K aktivite konsantrasyonları……..... 40

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1. Alfa bozunum 8
Şekil 2. Beta bozunum 10
Şekil 3. α, β ve ɣ'ların maddeye nüfuz yetenekleri 11
Şekil 4. Kozmik radyasyonun dünyamızda yer alan küresel radyasyon kaynaklarına oranı 14
Şekil 5. Radon gazının ev ortamında dengelenmesi 16
Şekil 6. Radyasyonun zararlı etkileri ……..…… 25
Şekil 7. Gama spektrometre sisteminin blok şeması…… 31

TABLOLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 1. Doğal radyoaktif bozunumlar …….…. 10
Tablo 2. Bölgelere göre doğal radyasyon seviyesinin yıllık dağılımı..... 18
Tablo 3. Değişik gıda gruplarının 500 gramında bulunan potasyum-40 miktarları ……..…….. 21
Tablo 4. 70 kg ağırlığındaki bir insan vücudunda bulunan izotop miktarı……. 21
Tablo 5. Radyasyon dozuna göre gözlemlenen etkiler…… 29
Tablo 6. Doğanyurt ilçesi toprak ve kum numuneleri koordinatları……..... 34
Tablo 7. Cide ilçesi toprak ve kum numuneleri koordinatları……. 35
Tablo 8. Standart kaynağın özellikleri…….. 39
Tablo 9. Doğanyurt ilçesi toprak ve kum numuneleri ^{238}U, ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları…….……... 41
Tablo 10. Cide ilçesi toprak ve kum numuneleri ^{238}U, ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları…….…… 44
Tablo 11. Doğanyurt numuneleri için (D) ve (AEDE) değerleri……..... 47
Tablo 12. Cide numuneleri için (D) ve (AEDE) değerleri…….. 48
Tablo 13. Doğanyurt numuneleri için radyasyon tehlike parametreleri…….. 50
Tablo 14. Cide numuneleri için radyasyon tehlike parametreleri……..... 51
Tablo 15. Aktivitelerin dünya ortalamaları ile karşılaştırılması……... 54
Tablo 16. Ortalama radyasyon tehlike parametreleri……...… 55

1. GİRİŞ

1.1. Radyoaktivite Nedir?

Dünyanın 4500 milyon yıl önce oluştuğu ve oluştuğundan bu yana radyoaktif olduğu bilinmektedir. Öyle ki dünyanın yaşı radyoaktifliğinin detaylı araştırılmaları sonrasında hesaplanabilmektedir. Yerküremizde doğal olarak bulunan radyasyon hava, su toprakta hatta yediğimiz besinlerde yer almakta kısacası her yerdedir ve yaşamımız boyunca sayısız kez radyasyona maruz kalmaktayız (L'Annunziata, 2012; Benson, 2002).

Radyoaktivite Henri Becquerel tarafından keşfedileli bir yüzyılı aşkın süre geçmiş, bu keşif fiziğin, kimyanın ve biyolojinin birleşip birlikte gelişeceği ve köklerinin bilimin neredeyse tüm disiplinlerine kadar uzanacağı yeni bir alanına kapı açmıştır. Günümüzde birçok doğal radyonüklitler keşfedilmiş ya da suni olarak üretimi mümkün hale gelmiştir böylece radyoaktivite eczacılığın, tarımın, çevrenin, endüstrinin ve gücün içerisinde kendisine yer bulmuştur. Nükleer radyasyon ve radyoaktivitenin kaynakları, yani radyonüklitler, günlük hayatımızın en gerekli parçalarından biri haline gelmiştir. Yediğimiz yemeklerin niceliği ve niteliği, sağlığımız, ortalama ömür süremizin uzaması büyük çoğunlukla radyoaktif kaynaklara ve bu kaynakların tıpta, biyolojide, tarımda, endüstride ve elektrikteki kullanımlarından kaynaklanmaktadır (L'Annunziata, 2012).

Radyoaktivite çıplak gözle görmesek bile hayatımızın her alanında yer almaktadır. Radyoaktif kaynaklardan tıptan, biyolojiye, tarımdan, çevreye kadar pek çok alanda faydalanılmakta doğru kullanılması halinde hayatımızı zenginleştiren bir unsura dönüşmektedir (Benson, 2002). Öte yandan radyasyonun insan sağlığına karşı yarattığı tehdit radyasyonun kullanım alanları açısından tartışmalar yaratmaktadır.

Çalışma kapsamında radyoaktivite, keşif aşamasından günümüze kadar çok yönlü bir şekilde ele alınacak, radyoaktivitenin hayatımızdaki yeri ve yer alma biçimi açıklanacaktır. Ayrıca radyoaktivitenin zararlı ve yararlı yönleri incelenerek, radyoaktivitenin kullanımına yönelik yeni çalışmalar için öneriler sunulması hedeflenmektedir.

1.2. Radyoaktivite ve Oluşumu

1.2.1. Atom Yapısı

Atom; evrendeki tüm maddelerin fiziksel ve kimyasal özelliklerini içinde bulunduran, maddenin en küçük yapı taşı olarak tanılanmaktadır. Atom kelimesi Yunanca "atomos" kelimesinden türemiş olup, kelime anlamı olarak bölünemez anlamı taşımaktadır (Hady, El-Seyed, Ahmed ve Hussein, 1994). "Atomos" olgusunun milattan önce 460 yılına Yunan felsefeci Democritus'a dayandığı bilinmektedir. Democritus atom fikrini şekillendirirken kendine şu soruyu sormuştur: Eğer bir maddeyi yarıya bölerseniz ve sonrasında tekrar yarıya bölerseniz, artık bölemeyeceğiniz raddeye gelene kadar kaç kez bölmeniz gerekmektedir? Democritus bu bölünmenin bir şekilde son bulacağını ve maddenin olabilecek en küçük halinin elde edebileceğini düşünmüştür. Bu fikirden hareketle atom kavramı ortaya çıkmış ve maddenin en küçük hali olarak açıklanmıştır (Van Melsen, 2004).

Democritus aynı zamanda atomun yapısı ve özellikleri üzerine çalışmalar yapmış ve sonuç olarak şu hipotezleri sunmuştur:

- Atomlar sayıca sonsuzlardır, nitelik olarak kesinlikle özdeşlerdir, ve ayrılıkları yalnızca büyüklükleri ve şekillerindedir. Gördüğümüz maddelerin birbirinden farklı olmasının sebebi, maddeyi oluşturan atomların sayı ve diziliş biçimlerinin farklı olmasıdır. Maddedeki değişimlerim sebebi, atomların dizilişlerindeki değişimlere dayalıdır.
- Hareket atomların ilkel bir özelliğidir. Atomun kendileri gibi, bu hareketleri de sonsuz ve bozulmazdır. Bu yüzden atomlar durmaksızın hareket halindedir, ama bu hareketleri basınç ve darbeyle değiştirilebilir (Van Melsen, 2004).

Günümüzde atom yapısına ilişkin araştırmalar, atomların "nükleus" adı verilen çekirdekler taşıdıklarını ortaya koymaktadır. Atom çekirdeğinin temel taşları ise proton (p) ve nötrondur (n). Çekirdeğin etrafında proton sayısına eşit sayıda elektron yer almaktadır. Pozitif yüklü proton ile yüksüz nötron tanecikleri yaklaşık eşit kütlededir ve negatif yüklü elektron, diğer ikisine kıyasla çok daha küçük bir kütleye

sahiptir. Bir elektron, bir protondan neredeyse 2.000 kat daha hafif olmasına rağmen, negatif yüklü bir elektron pozitif yüklü bir proton kadar güçlüdür, bu yüzden yükleri birbirini dengede tutmaktadır. Atomların çoğunda protonların toplam sayısı elektronlara eşittir, böylelikle pozitif ve negatif yükler birbirini etkisiz hale getirir; böyle atomlara "nötr atom" denilmektedir (Karam ve Stein, 2009).

Atomun keşfi radyoaktivite ve radyasyonun bulunmasına önayak olmuştur, bunun sebebi atomların radyoaktivitenin yapı taşları olmasıdır. Bu nedenle atomun yapısının anlaşılması radyoaktivitenin kaynağını ve doğasını kavramak açısından önemlidir (Faden, Lederer ve Moreno, 1996).

1.2.2. Radyoaktivitenin Keşfi

1895 yılında Roentgen tarafından X-Ray'in keşfedilmesinin ardından, Henri Becquerel bu konuda çalışmalar yürütmeye başlamış ve çalışmaları esnasında karanlıkta parlayan uranyum tuzunun X-Ray üretebileceğine dair yanlış bir fikre kapılmıştır. Becquerel, uranyum tuzlarının yeterince güneşte bırakılırsa, X-ışınları çıkaracağına dair bir hipotez geliştirmiş ve bu hipotezini kanıtlamak amacı ile uranyum tuzlarını üstü siyah kağıtlar ile kaplanmış fotoğraf camlarının üstüne yerleştirerek güneşte bırakmıştır. Fakat havanın bulutlu olması nedeniyle Becquerel deneyini ertelemek durumunda kalmış ve havanın açılmasını beklemek amacı ile fotoğraf camları üzerine hazırladığı uranyum tuzlarını çekmeceye kaldırmıştır. Birkaç gün sonrasında Becquerel fotoğraf camlarını banyo ettirdiğinde çıkan sonuç tarihi değiştirici nitelikte olmuştur. Uranyum tuzu çekmece içinde karanlık ortamda olmasına rağmen, fotoğraf camlarını karartmayı başarmıştı. Daha sonra Becquerel deneylerini tekrarlamaya devam ettiğinde, aslında güneşe gerek olmadığını ve uranyum tuzlarının kendiliğinden ışın yaydığını keşfetmiştir (Gamow, 2011). Becquerel ilk olarak bu ışınları X ışınlarına benzer görünmez bir ışın olarak tanımladı. Böylece söz konusu ışınlar, 1898 yılına kadar Becquerel ışınları olarak adlandırıldı. Daha sonra 1898'de Marie Curie ve eşi Pierre Curie'nin çalışmaları sonucunda bu terim daha genel bir isim olan radyoaktivite olarak anılmaya başlanmıştır. Curie yaptığı araştırmalarda, öncelikle toryum tuzlarının söz konusu ışınları yayabildiğini bulmuş, ardından polonyum elementini keşfederek bu

elementin de ışın yaydığını anlamış ve bu ışınlara "radyoaktivite" (etkinlik yayma) adını vermiştir. Böylece Marie ve Pierre Curie hem radyoaktivite olgusunu dünyaya kazandırmışlar hem de bu sayede 1903 yılında Nobel ödülü almışlardır (Curie, 1905).

1.2.3. Radyoaktivite

Etrafımızda gördüğümüz her şey çeşitli elementlerden veya onların bileşiklerinden meydana gelmektedir. Bir elementin herhangi bir tepkimeye girebilen en küçük parçası atomdur. Atomlar ise protonlar ve nötronların oluşturduğu bir çekirdek ve bu çekirdeğin etrafında dönen elektronlar oluşmaktadır. Atom çekirdeklerinde bulunan nötronların sayısının protonların sayısına oranı hafif elementlerden ağır elementlere doğru bir artış göstermektedir. Ağır elementler, kararsız oldukları ve kararlı hale gelmek istedikleri için fazla enerjilerini dışarı atmaya çalışırlar. Bu enerji atımı sırasında ise radyasyon yayarak enerjilerini harcarlar ve daha küçük atomlara dönüşürler. Radyoaktif bozunma adı verilen bu olay esnasında çekirdekten parçacıklar ve enerji dalgaları ortaya çıkmakta, bu yolla enerji vermeye çalışan elementler ise radyoaktif elementler olarak tanımlanmaktadır (Dilaver, Çifter ve Altay, 1998).

Radyoaktivite; "atom çekirdeğinin moleküller ve elektromanyetik ışımalar yayarak spontane bir biçimde parçalanması" olarak tanımlanmaktadır. Başka bir deyişle; radyoaktivite, radyasyonun spontane bir biçimde yayılımına verilen isimdir (Faden v.d., 1996). Radyasyonu ise kararsız durumda olan ve daha kararlı bir duruma geçmek için enerji vermesi gereken bir atom çekirdeğinin, etrafa yaydığı enerji molekülleri alarak açıklamak mümkündür. (Faden vd. 1996; L'Annunziata, 2012).

Radyoaktif elementlerin ışınlamalarından doğan iki çeşit radyasyon bulunmaktadır (L'Annunziata, 2012):

- İyonlaştırıcı Radyasyon; iyonlarını girdiği ortama ayrıştıran radyasyon tiplerine denir. İki tip iyonlaştırıcı radyasyon vardır;
    1. Elektromanyetik radyasyonlar: Gama ışınları ve X ışınları.
    2. Parçacıklı Radyasyon: Alfa ışınları ve Beta ışınları.

- İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyonlar:
  1. Optik Radyasyonlar : Ultraviyole ışınları
  2. EMR (Annunziata, 2005)

Radyoaktiviteyle olan ilişkimiz Becquerel'in 1896'da radyoaktiviteyi keşfinden yalnızca birkaç sene sonra başlamıştır. Daha sonra 20. yüzyılın başlarında Marie ve Pierre Curie radyumun kanser tedavisinde kullanımına öncülük etmesiyle radyoaktivite farklı bir boyut kazanmıştır. Marie ve Pierre Curie'nin bu çalışması aynı zamanda nükleer enerjinin ilk barışçıl kullanımı ve modern nükleer tıbbın başlangıcı olarak kabul edilmiştir (Pasachoff, 1996).

1.2.3.1. *Aktiflik*

Aktiflik, radyoaktif maddenin saniyedeki bozunma sayısı ya da bozunma hızı olarak tanımlanmaktadır. Aktiflik "bozunma/s" veya "dN/dt" olarak açıklanırken SI birimi "becquerel" olarak ifade edilmekte ve bir nükleer bozunma; Becquerel (Bq) olarak sembolize edilmektedir. Bir diğer ışıma birimiyse Curie'dir. "Curie" SI öncesi kullanılan radyoaktivite birimi olup kısaca "Ci" ile sembolize edilmekte bir Ci; $3{,}7.10^{10}$ Bq'e tekabül etmektedir (Ivanovich, 1982; Botkin ve Keller, 1988).

Numunenin saniyedeki bozunmaların sayısı basit bir örnekte; $\frac{dN}{dt} = -\lambda N = -\lambda N_0 e^{-\lambda t}$

Buna göre bir t zamandaki aktivite; $\frac{dN}{dt} = \left(\frac{dN}{dt}\right)_0 e^{-\lambda t}$

t=0 anındaki aktivite ise; $\left(\frac{dN}{dt}\right)_0 = -\lambda N_0$ şeklinde açıklanmaktadır (Botkin ve Keller, 1988).

1.2.3.2. *Yarı Ömür*

Radyoaktif atomların ya da nüklitlerin her birinin belli bir oranda ve hızda parçalanmasına yarı-ömür denilir. Başka bir deyişle; radyoaktif maddeyi oluşturan atomların yarısının diğer bir elemente dönüşmesi için geçmesi gereken süredir (Schauer ve Linton, 2009). Radyoaktiflerin yarı ömürleri, saniyenin milyonda biri kadar kısa olabileceği gibi, milyonlarca yıl kadar uzun da olabilir. Bir yarı ömür geçtikten sonra radyoaktif maddenin miktarı yarılanır, iki yarı ömür geçtiğinde başlangıçta elimizde bulunan miktarın çeyreğine varılır, üç yarı ömür sonrasındaysa 8'de 1'ine varılır ve bölünüm böylece devam eder. Yarı ömür "T", bozunma sabiti ise "λ" olarak ifade edilmekte, bu durumda $T=0,693/\lambda$ eşitliği şeklinde açıklanmaktadır (Karam ve Stein, 2009).

Radyoaktif izotopların yarım ömürleri, ebeveyn izotopun kız izotopa bölünmesi için gereken zamanın yarısıdır. Her bir radyoaktif izotop, bir saniyeden daha azdan süreden başlayıp milyonlarca yıla kadar kendi yarı ömrüne sahiptir. Radyoaktif denge, radyoaktif izotopun bozunma oranının, izotopun üretim oranına eşit olmasına denir. Eğer bozunma sabitini, (λ) bozunma sabiti bir saniyedeki radyoaktif aktivitedir, bozunmaya uygun atomlarla (N) çarparsak, radyoaktif bozunma oranını buluruz (Timashev, 2015).

Radyoaktif parçalanma ve yarı-ömür hakkındaki ölçümler ilk kez Ernest Rutherford tarafından hesaplanmıştır. Toryumun belli bir izotopunun bozulumunu gözlemlediği yazısını Henri Becquerel'in radyoaktivitenin varlığını ilk kez belirttiği yazısından 4 yıl sonra, yani 1900 yılında yayınlamıştır. Rutherford radyoizotop parçalanmasının oranını, radyasyonun havada zamanın fonksiyonu olarak üreteceği iyonlaşma seviyesinden ölçmüştür (Rutherford, 1903).

1.3. Radyoaktif Bozunumlar

1.3.1. Radyoaktif Bozunum Kanunu

Atomun dıştan bir etki olmadan bozunarak daha küçük parçalara bölünmesine ve bu bölünme sırasında ışıma yapmasına radyoaktiflik, bu tür ışıma yapan elementlere de radyoaktif atom denmektedir. Bir atom çok fazla enerjiye sahip olduğunda, bu enerjiden kurtulma eğilimi göstermektedir. Atomun da bir arada kalabilmesi için doğru sayıda nötrona ve protona sahip olması gerekmektedir: Eğer atomda nükleustaki proton sayısına göre çok fazla, ya da çok az nötron bulunuyorsa, atom ya bir protonunu nötrona, ya da bir nötronunu protona çevirir. Bir atom çoğunlukla bu iki görevi aynı anda yerine getirebilmekte bu durum ise **"**radyoaktif bozunum" olarak ifade edilmektedir (Gamow, 2011).

Radyoaktif durumda olan ve radyasyon yayan atom çekirdeğinin molekülleri yayma süreciyse radyoaktif bölünme veya radyoaktif bozunum olarak tanımlanmaktadır. Radyoaktif çekirdekler, kararlı nötron ve proton oranlarına ulaşana kadar "radyoaktif çekirdek bozunması" adı verilen bir süreçle radyasyon ortaya çıkarırlar. Radyoaktif özelliği, elementlerin bileşiklerinde de görülebilir (Krane, 2001; Aytekin, 2017). Radyoaktif bozunma istatistiksel bir durum olup, çekirdeğin ne zaman bozunacağı bilinememektedir (Krane, 2001).

1.3.2. Doğal Radyoaktif Bozunumlar

Radyoaktif elementler, radyoaktif ışımalar sayesinde farklı kararlı elementlere dönüşmektedirler. Kararsız çekirdek yapısına sahip olan elementler, kararlı bir çekirdek yapısına ulaşmak için alfa, beta ve elektron yakalaması şeklinde bozunmaya uğrayarak ışıma yapmaktadırlar. Bozunma sürecindeki radyoaktif çekirdekler radyasyon ışınları yaymakta, bu ışınlar ise alfa (α), beta (β) ve gamma (γ) olarak adlandırılmaktadır (Tablo 1.) (Karam ve Stein, 2009). Radyoaktif elementler; alfa, beta, gama bozunumlarından birini veya birkaçını yayınlayabilmektedir (Turhan, 2008).

Tablo 1. *Doğal Radyoaktif Bozunumlar*

Radyasyon Türü	**Varlığı**	**Ağırlığı**	**Elektrik Yükü**	**Zararı**
Alfa	2 nötron ve 2 protondan oluşan bir nesne	Çok ağır- bir elektronun 8,000 katı, bir nötron ya da	+2	Vücudun içinde çok zararlı, vücut dışında zararsız
Beta	Bir elektron	Çok hafif- tek bir nötron ya da protonun 1/2000'i kadar	+1 ya da -1	Yüksek miktarlarda zararlı, küçük miktarlarda zararsız
Gama	Işın formundaki bir enerji	Yok	Yok	Yüksek miktarlarda zararlı, küçük miktarlarda zararsız

1.3.2.1. *Alfa Bozunum*

Radyoaktif çekirdekte hem nötron hem de proton fazlalığından kaynaklı bir kararsızlık olması halinde, çekirdek iki proton ve iki nötrondan olusan bir alfa parçacıgı yayımlayarak bozunum gerçekleştirir (Şekil 1.) (Aydın, 2016). Alfa parçacığı yayınlanan çekirdeklerin kütle numarası 4, atom numarası 2 azalır (Özdemir, 2006).



Şekil 1. Alfa bozunum

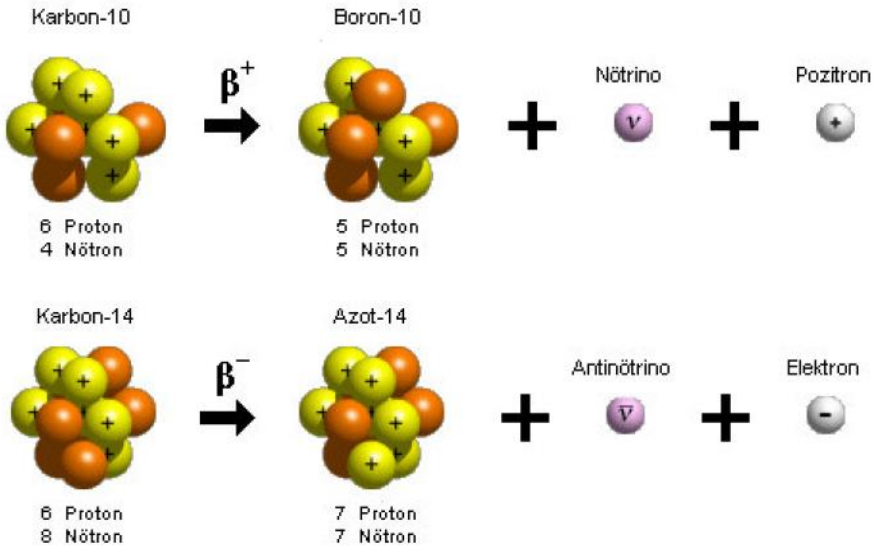
Yapısal olarak helyum ($^{4}_{2}He$) çekirdeğiyle eş değer olan alfa parçacığı, Yunan Alfabesindeki "α" harfi ile belirtilir. Alfa parçacığı 2 proton ve 2 nötrondan meydana gelmektedir ve pozitif yüklüdür (Holmes-Siedle ve Adams, 1993). Radyum, uranyum ve plütonyum gibi ağır elementler, bozulum sırasında bir protonu bir nötrona çevirmekten daha çok şey yaparlar. Bu elementler proton ve nötronları küme olarak çıkarmaya eğilimlilerdir, işte çıkan bu 2 proton ve 2 nötron parçacığı alfa parçacıklarıdır. Alfa bozunumu ile açığa çıkan $^{226}_{88}Ra$ ana çekirdeği, $^{222}_{86}Rn$ 'den farklıdır. Bir elementin bu şekilde diğerine dönüşmesi olayına transmutasyon denir (Forster v.d., 2002).

Alfa parçacıkları 1899 yılında Rutherford tarafından keşfedilmiştir. Sonrasında Rutherford ve Royd tarafından gerçekleştirilen spektroskopik çalışmalar ışığında alfa parçacığının helyum atomunun çekirdeğine eşit olduğunu göstermişlerdir. Fakat alfa parçacıkları ağır ve iyonlaştırıcı parçacıklardan oluşmakta olup oldukça tehlikeli niteliktedirler. Bu tehlike DNA için de geçerlidir. Alfa radyasyonu DNA'ya beta ve gama radyasyonundan daha çok zarar vermektedir. Yani, alfa radyasyonunun 1 rad'ının kansere sebep olma oranı, beta ve gama radyasyonunun 1 rad'ından daha fazladır. Bu farklılıklar her tür radyasyonun nitelik faktörüyle ilgilidir (Forster v.d., 2002).

1.3.2.2. *Beta Bozunum*

Bir nötron hiç elektrik yüküne sahip değildir, bir protonsa pozitif yüke sahiptir, ama atom sahip olduğu toplam elektrik yükünü değiştiremez. Bu yüzden nötron, pozitif yüklü proton ve negatif yüklü elektron olarak iki moleküle ayrılır. Protonun pozitif elektrik yükü ve elektronun negatif yükü birbirini dengeler. Beta Yunan Alfabesindeki "β" harfi ile sembolize edilir. Pozitif yüklü elektronlar "b+" ile, negatif yüklü iyonlar ise "b-" işaretiyle sembolize edilirler. Çekirdekteki enerji fazlalığı proton fazlalığından meydana geliyorsa b+, nötron fazlalığından meydana geliyorsa b- çıkar. Ve atomu terk eden elektron bir sorunu daha çözer: bu durum atomun fazladan enerjisini çıkarmasına da yardımcı olur. Kısacası, sadece bir elektronu atarak atom aynı anda iki problemini birden çözebilir. Elektronun

bırakılmasıyla ortaya çıkan bu türden radyasyona beta radyasyonu veya beta bozunumu adı verilir (Şekil 2.) (L'Annunziata, 2012, Aydın, 2016).



Şekil 2. Beta bozunum

1.3.2.3. *Gama Işınlanması*

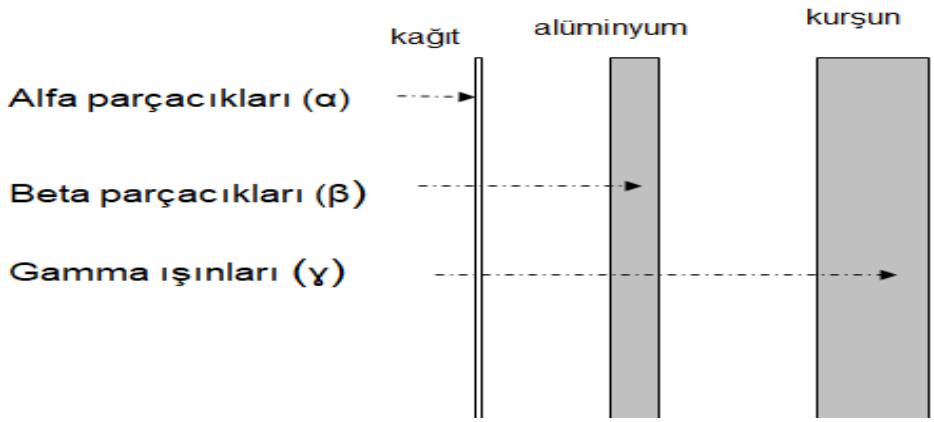
Alfa (α) ya da beta (β) parçacığı çıkardıktan sonra çekirdek çok yüksek enerji yayar ve kararsız durumdadır, gama ışını yayarak enerji seviyesini düşürür. Bunun sonucu olarak bu yüksek enerjili çekirdekler, enerjilerini yayıp rahatlamak için gama (γ) ışını yayarlar. Alfa ve beta bozunmaları çoğu zaman devamlarında gama bozunmasını da getirir. Gama ışınları parçaçık ya da tanecik olarak değil, yüksek enerjili ışınlar olarak bulunurlar. Yeryüzünde doğal olarak oluşan potasyum-40 gibi radyoizotopların gama bozunması doğal gama ışını kaynağıdır (L'Annunziata, 2012). Bir radyoaktif ana çekirdekten alfa (α), beta (β) ve gamma (γ) bozunmaları sonucu yavru çekirdekler oluşturan seriler, "radyoaktif seriler" olarak tanımlanır. (Turhan, 2008). Gama ışımasının dinamiği aşağıdaki şekilde gösterebilir (L'Annunziata, 2012).

$^{226}_{88}Ra \rightarrow {}^{222}_{86}Rn + {}^{4}_{2}He$ Yüksek enerjili hal

$^{222}_{86}Rn \rightarrow {}^{222}_{86}Rn + \gamma$ Düşük enerjili hal

$^{226}_{88}Ra \rightarrow {}^{222}_{86}Rn + {}^{4}_{2}He + \gamma$ Toplam Çekirdek ifadesi

Kısacası gama bozunması hiçbir zaman tek başına meydana gelmemekte olup, bir dizi radyoaktif bozunma (alfa ve beta bozumaları) sonucu ışınlanmaktadır. (Şekil 3.) Bu radyoaktif bozunmalar sonucunda ortaya oluşan gama (γ) ışınları, elektromanyetik radyasyon sınıfında değerlendirilmektedir. Gama ışıması sonucunda atomun atom veya kütle numarasında herhangi bir değişiklik olmamakta, dolayısıyla yeni bir atom meydana gelmemektedir (Özdemir, 2006; Doğan, 2011; Aytekin, 2009).



Şekil 3. α, β ve ɣ'ların maddeye nüfuz yetenekleri

1.3.3. Radyoaktif Denge

Bir elementin izotopu nötronları ve protonları arasındaki denge uygun olmadığı için kararsız olduğunda, taneciklerinden birini çıkarır, ve böylelikle yeni bir izotop oluşur. Ebeveyn izotop parçalanır ve kız izotopa dönüşür. Bazen kız izotop da kararsız olabilir ve o da bozunmaya başlar (Timashev, 2015). Radyoaktif denge geçici ve sürekli denge olmak üzere ikiye ayrılır (Aydın, 2016):

Geçici denge: Ana çekirdeğe 1 dersek ve bu çekirdeğin λ_1 bozunma sabitiyle, bozunma sonucu oluşan çekirdeği ise 2 olarak adlandırır ve bunun da λ_2 bozunma sabitiyle bozunduğunu düşünürsek;

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10}\left(e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}\right)$$

denklemi olarak ifade edebiliriz. Bu ifadeden yola çıkarak; $\lambda_2 < \lambda_1$ olduğunda yeterli derecede uzun bir zaman sonunda $e^{-\lambda_1 t}$ ifadesi, $e^{-\lambda_2 t}$ ifadesine göre ihmal edilebilir olacağından;

$$N_2 = N_{10} \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_2 t}$$

denklemi elde edilebilecektir. Bu durum ise; yine belli bir zaman geçtikten sonra birinci ürün elementinin kendisi için belirlenmiş olan λ_2 bozunma sabitiyle bozunacağı anlamına gelir ve bu durum geçici denge olarak ifade edilir.

Sürekli Denge: Ana çekirdeğe 1 dersek ve bu çekirdeğin λ_1 bozunma sabitiyle, bozunma sonucu oluşan çekirdeği ise 2 olarak adlandırır ve bunun da λ_2 bozunma sabitiyle bozunduğunu düşünürsek; $\lambda_1 << \lambda_2$ durumunda, $e \approx 1$ ve $\lambda_2 - \lambda_1 = \lambda_2$ olarak belirtebiliriz. Böylece;

$$N_2 = N_{10} \frac{\lambda_1}{\lambda_2}\left(1 - e^{-\lambda_2 t}\right)$$

denkleminden bahsedebiliriz. Ürün çekirdeğinin miktarı, zamanın artmasına bağlı olarak $e^{-\lambda_2 t}$ terimi sıfıra gideceğinden bir denge durumuna yaklaşır ve denge durumunda ;

$$\lambda_1 N_{10} = \lambda_2 N_2$$

ifadesi ortaya çıkar. λ_1 çok küçük olduğundan $\lambda_1 N_1 \approx 0$ olacaktır. Buradan ana çekirdeğin çok büyük yarı ömre sahip olduğu anlaşılır ve bu durum sürekli denge şeklinde açıklanmaktadır.

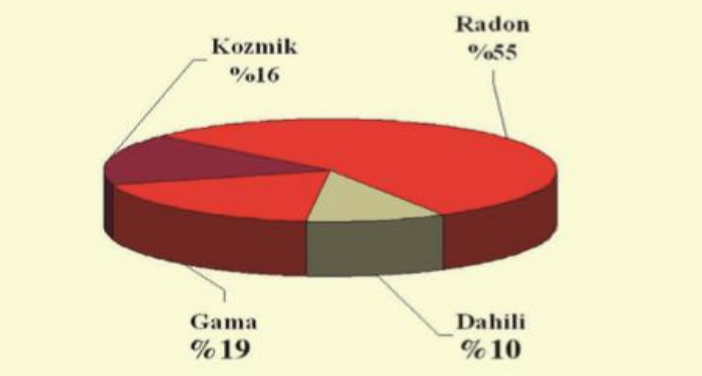
1.3.4. Doğal Radyasyon Kaynakları

Radyasyon her yerdedir. Doğada radyasyonun birden çok kaynağı vardır, toprak ve kayaların içindeki uranyum, toryum ve potasyum elementlerinde bulunurlar. Uranyum ve toryum çürüdüğünde, radon, radyum ve başka bir çok radyoaktif madde ortaya çıkarırlar. Radyasyon aynı zamanda kemiklerimizin içindeki potasyumdan da gelir. Bütün bu doğal kaynaklar dünyanın farklı yerlerindeki insanlara farklı dozlarda radyasyon yayarlar (Valković, 2002).

Çevremizdeki herkes radyoaktiftir. Bu yüzden, çevremizdeki neredeyse her şeyde de bulunmaktadır. Dünyamızda bulunan şeyler radyoaktif olduğu gibi, dünya dışındaki her şey daha da radyasyon bulundurmaktadır. Bir madde, doğal olarak X-ray gibi yüksek-enerji cisimcikleri içeriyorsa, o madde radyoaktiftir. Bu yüksek enerji partikülleri radyasyondur ve dünya üzerindeki her şey içinde çok küçük de olsa yüksek-enerji partikülü barındıran maddeler taşır (Karam ve Stein, 2009).

1.3.4.1. *Kozmik Radyasyon*

Kozmik ışınları, dünyamızın dış atmosferine ulaşan ve belli miktarda içeri sızan yüksek enerjili protonlar olarak açıklamak mümkündür. Atmosferden içeri giren bu kozmik ışınlar, ışık hızına yakın bir hızla tüm dünyaya ışıma yapmakta ve dünyada yaşayan tüm canlılara ulaşmaktadır. Bu durum kozmik radyasyon olarak adlandırılmaktadır. Kozmik radyasyon; protonlar, alfa parçacıkları ve yüksek enerjili diğer parçacıkların karışımından oluşmaktadır. Dünya atmosferi, içeri giren ve yüzeye doğru yayılmaya çalışan kozmik ışınları engellemeye çalışan bir görev üstlenmekte ve kozmik ışınlanmaları büyük ölçüde azaltmaktadır. Kozmik ışınların dünyamız ile girdiği bu etkileşim sonucunda radyasyon yağmuru şeklinde bir tepkime oluşmakta ve böylece manyetik alan meydana gelmektedir. Oluşan manyetik alan, dünyanın kendi manyetik alanındaki farklılıklarla birleşerek, çeşitli düzeylerde etkilere yol açmaktadır (Şekil 4.) (Hacıosmanoğlu, 2017).



Şekil 4. Kozmik radyasyonun dünyamızda yer alan küresel radyasyon kaynaklarına oranı

Yer seviyesine ulaşan kozmik ışınların oluşturduğu radyasyon seviyesinin yıllık etkin dozu, Birleşmiş Milletler Bilimsel Komitesi (UNSCEAR) tarafından ortalama 0,4 mSv olarak hesaplamıştır (Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, 2009). Amerika kıtası için yıllık kozmik radyasyon seviyesi 0,3 mSv olarak hesaplanmıştır. Günlük hayatta kozmik ışınlar nedeni ile maruz kaldığımız radyasyon dozunun dünya ortalaması ise 0,39 mSv/y olarak belirlenmiştir (Canadian Nuclear Safety Commission, 2017). Bunun nedeni kozmik radyasyonun, enlem ve yüksekliğe göre değişiklik göstermesidir. Yükseklik arttıkça kozmik radyasyon seviyesi de artış göstermektedir. Buna göre; dağ tepesinde bulunan veya uçakla yol alan kişi, deniz seviyesinde bulunan birine oranla daha fazla kozmik radyasyona maruz kalmaktadır. Örneğin; bir pilot uçuş süresi boyunca denizde yol alan bir kaptandan yaklaşık 20 kat daha fazla radyasyondan etkilenmektedir (Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, 2009).

1.3.4.2. *Karasal Radyasyon (Terrestrial)*

Dünya oluşumunda birçok radyoaktif madde rol oynamıştır. Bu radyoaktif maddelerin bir kısmı kısa yarı ömürlü olup tükenirken, uzun yarı ömürlü olanlar hala varlığını korumaktadır. Yeryüzünde doğal olarak oluşan radyonüklitler; uranyum, toryum olarak yer almakta bu radyonüklitlerinin bozunumundan ise radon bulunmaktadır (Thorne, 2003).

Dünyamızda bulunan doğal radyasyon seviyesinin artmasına neden olan en önemli etken; yerkabuğunda yaygın olarak ve çok miktarda bulunan radyum elementinin

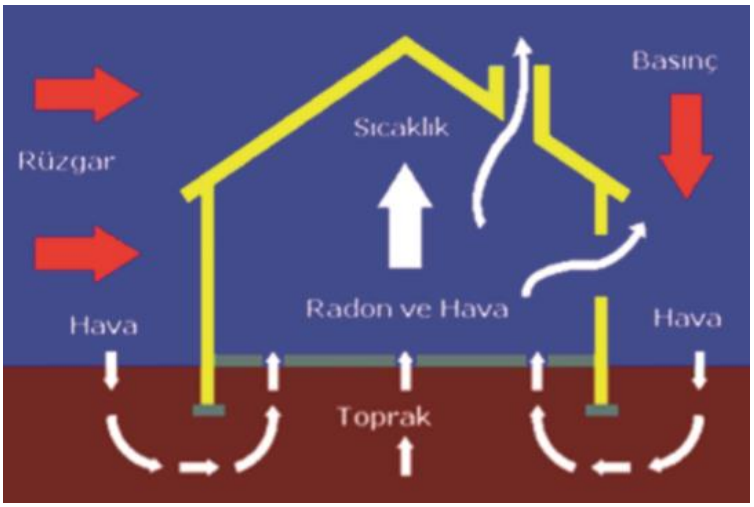
(Ra226) bozunması esnasında açığa çıkan radon gazıdır. Radon gazı, kimyasal olarak hiç bir tepkimeye girmemiş olması sebebiyle soygaz olarak adlandırılmaktadır. Kayalarda ve toprakta doğal olarak bulunan radon bir insanın doğal ve yapay yoldan yıllık olarak maruz kalabileceği radyasyon dozunun %8'ini oluşturmaktadır (Thorne, 2003). Dünya genelinde maruz kalınan radon gazı seviyesinin ortalama 1,2 mSv olduğu tahmin edilmektedir. (Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, 2009).

Radon gazı dünya atmosferinin doğal parçası olup, topraktan havaya doğru salınmakta ve salınım sırasında seyrelmesi nedeniyle sorun teşkil etmemektedir. Ancak seyrelme gerçekleşmez ise zararlı hale gelmektedir. Doğal radyasyonun sağlık üzerinde zararlı etkisi bulunmamakla birlikte radon gazı bu durumun dışına çıkabilmektedir. Radon gazı birikiminin zararlı etkilerinin ortadan kaldırılması için bina havalandırması çok önemlidir. Ayrıca bina ısı yalıtımında kullanılan materyaller radon gazının bina dışı ve içindeki orantısının bozulmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle radon gazının yoğunluğu binadan binaya, bölgenin jeolojik yapısına ve coğrafi değişimlere göre farklılık gösterebilmektedir (Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, 2009). Tablo 2'de bölgelere göre değişen doğal radyasyon oranları verilmektedir.

Tablo 2. *Bölgelere Göre Doğal Radyasyon Seviyesinin Yıllık Dağılımı*

Mersin (Akkuyu)	0,53 mSv/yıl
Ankara	0,44 mSv/yıl
Iğdır	0,88 mSv/yıl
Kars	1,58 mSv /yıl
Hindistan (Kerela)	15,80 mSv/yıl
İran (Ramsar)	148,92 mSv/yıl
Brezilya	788,40 mSv/yıl
Uludağ	1,23 mSv/yıl
Erzurum	1,4 mSv/yıl
Çanakkale	1,23 mSv/yıl

Günümüzde kapalı alanlar nedeniyle alınan doğal radyasyon seviyesinin yıllık 5 mSv'ye kadar çıkabildiği tespit edilmiştir. Bu düzeyin düşürülmesi ve doğal radyasyonun etkilerinin azaltılması için çeşitli öneriler sunulmaktadır. Coğrafi bölgelere göre değişiklik gösteren radon gazının dengelenmesi ve insanlar üzerinde olumsuz etkilerinin ortadan kaldırılması amacı ile Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu ve Uluslararası Radyolojik Korunma Komisyonu tarafından dünya genelinde enlem düzeylerinin (Bqm^{-3}) kullanılması önerilmektedir. Enlem düzeyleri, evlerdeki radon gazı değişimi ortalama düzeyinin on katı olan 200-600 Bq/m^3 aralığında yer almalıdır. Ayrıca yüksek düzeyde radon seviyesi tespit edilen evlerde çözüm olarak, bina altındaki basıncın azaltılarak yerden hava girişinin önlenmesi sunulmaktadır. Söz konusu önlemlerin uygulanması ile radon seviyesinin düşürülmesi mümkündür. Yeni inşa edilen binalarda ise yüksek gaz konsantrasyonundan kaçınmak ve radon gazının olumsuz etkilerinden kurtulmanın mümkün olduğu anlaşılmıştır (Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, 2009). Şekil 5'te bu evlerin havalandırma modeli gösterilmektedir.



Şekil 5. Radon gazının ev ortamında dengelenmesi

Uranyum, toryum ve bunların bozunum sonucu ortaya çıkan radyasyon etrafımızda hemen her yerdedir. Radyoaktif elementler, kozmik olarak dünyamızda ve toprakta yer almasının yanı sıra hava da bulunmaktadır. Bu nedenle radon gibi bazı radyoaktif maddeler soluma yolu ile insan vücuduna girmektedir. Ayrıca fosil yakıtlarda bulunan radyoaktif elementler dolaylı yoldan yine havaya karışmaktadır. Bu

elementler yakıt içerisinde tamamen zararsızken, yakıldıklarında havaya karışarak aktivite olurlar. Fosil yakıtlardan yayılan radyasyon hava yoluyla solunmasa bile toprağa geri dönerek doğal radyasyon seviyesinde artış meydana getirmektedir. Toprak içerisinde bulunan uranyum (U-238) ve toryum (Th-232) konsantrasyonlarının hava içerisinde yol açacağı aktivite değeri 1 – 2 μBq /m^3 olup, özellikle sanayi bölgelerinde ve kış aylarında havada bulunan kül parçacıkları içerisinde uranyum konsantrasyonu fazlaca bulunabilmektedir (Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, 2018).

Havada ve toprakta bulunan yüksek miktardaki radyoaktif elementler pek çok besine de yayılmakta oradan da vücudumuza girmektedir. Yiyeceklerle vücudumuza giren en yaygın radyoaktif elementler Potasyum 40 (K-40) ve Karbon 14 (C-14)'dür. Bu elementlerin insan vücuduna girişi dolayısıyla vücutta oluşan radyasyon düzeyi, yaşanılan bölgeye ve beslenme alışkanlığına göre değişiklik göstermektedir. Tablo 3.'te çeşitli gıdaların 500 gr'ında bulunan K-40 miktarları verilmektedir (Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, 2018; Hacıosmanoğlu, 2017).

Tablo 3. *Değişik gıda gruplarının 500 gramında bulunan potasyum-40 miktarları*

Yiyecek	**Bq/500 gr**
Kırmızı Et	56
Havuç	63
Patates	63
Muz	65
Lima Fasulyesi	86
Brezilya Fındığı	103

Vücudumuza giren radyoaktif elementler nedeniyle maruz kaldığımız iç ışınlanma dozunun yıllık dünya ortalaması 0,23 mSv olarak belirtilmektedir (Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, 2018). İnsan vücuduna bitkisel ve hayvansal gıdalar yoluyla ortalama 40 Bq/kg'lik radyoaktivite girmektedir. Tablo 4.'te insan vücuduna giren radyoaktif izotop miktarı verilmektedir (Hacıosmanoğlu, 2017).

Tablo 4. *70 kg ağırlığındaki bir insan vücudunda bulunan izotop miktarı*

İzotop	Radyoaktivite miktarı(Bq)
Uranyum	2,32
Toryum	0,213
Potasyum-40	4,0
Radyum-226	1,13
Karbon-14	3,7
Trityum	234
Polonyum-210	403,5

İnsan vücudundan doğal radyasyondan kaynaklanan etkin radyasyon dozu yıllık ortalama 2,4 mSv olarak belirtilmekte olup, bu dozların coğrafi koşullara, beslenme alışkanlıklarına ve alınan önlemlere bağlı olarak büyük ölçüde değişebilir olduğu da vurgulanmaktadır. Örneğin bazı ülkelerde etkin doz oranı yıllık 10 mSv'nin üzerine çıkarken, bazı bölgelerde ise radon gazı seviyesinin yüksek olduğu binalar nedeniyle bireysel dozlar yılda 100 mSv'ye ulaşabilmektedir (Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, 2018).

1.3.5. Yapay Radyasyon Kaynakları

Yapay kaynaklardan alınan radyasyon dozu kişinin gündelik yaşamına ve tıbbi uygulamalarda geçirdiği süreçlere (tanılama ve tedavi) büyük ölçüde bağlıdır. Örneğin radyoterapi tedavisi gören bir hastanın ışınlanma düzeyi normalden çok daha fazladır. Yalnızca tıbbi süreçler değil, kişilerin iş ortamı da alınan doz miktarlarını etkileyebilir. Mesela, hastanede nükleer tıp ilaçlarını hazırlayıp hastaya vermekle görevli olanlar normal hayatlarında maruz kaldıklarından daha çok radyasyona maruz kalabilirler.

1.3.5.1. Medikal Kaynaklar

Yapay kaynaklardan alınan radyasyonun büyük bir bölümü medikal kaynaklıdır. Medikal kaynaklı radyasyon, tanılama için kullanılan x-ışınına veya tanılama ve tedavi için kullanılan radyoterapi ve nükleer tıp uygulamalarına maruz kalan hastalar

için özel önem arz eder. Medikal uygulamalardan alınan doz miktarları diğer insan yapımı kaynaklardan alınan doz miktarına kıyasla daha fazladır.

1.3.5.1.1. Radyografi

Radyografi, enerjisi görünür ışıktan yüksek elektromanyetik radyasyonu kullanarak, insan vücudu gibi opak ve heterojen yapıya sahip objelerin iç yapısını görüntüleme tekniğidir. En çok kullanılan elektromanyetik radyasyon tipi x-ışınlarıdır, x-ışınından sonra en çok gama ışınları kullanılmaktadır. En sık kullanılan radyografi metotları röntgen, tomografi ve bilgisayarlı tomografidir.

1.3.5.1.2. Nükleer tıp uygulamaları

Nükleer tıp uygulamaları, uzmanların kritik organlardaki belli faaliyetleri tanılamaları için hasta vücuduna verilen radyoaktif çekirdekler sayesinde teşhis koymalarını ve içermektedir. Aynı zamanda bazı dokulardaki zararlı hücrelerin bertaraf edilme işlemi için radyoaktif maddelerin vücuda verilmesi işlemi de nükleer tıp uygulamalarındandır. Radyoaktif madde, tanı gerektiren organa yerleşecek bir ilaçla birlikte vücuda verilir. Radyoaktif kaynağa sahip ilacın organ içindeki dağılımı radyasyon görüntüleyici kameralar sayesinde incelenir. Uygulamalarda en sık kullanılan radyoaktif çekirdek (radyonüklit) Teknesyum-99m'dir. Bu radyonüklitin tercih edilmesinin nedeni; kolay elde edilebilmesi, yaklaşık altı saat gibi uygun bir yarı-ömrünün olması ve vücudun beyin, karaciğer, böbrek gibi çok farklı organları ile ilgili teşhisler için uygulanan ilaçlar ile birlikte kullanılabilir olmasıdır. Teknesyum-99 m'ni yanı sıra, İyot-131 ve Sezyum-137 de uygulamaya bağlı olarak kullanılmaktadır.

1.3.5.1.3. Radyoterapi

Radyoterapi, kanser tedavisi amacıyla uygulanır. Radyoterapi uygulamaları için sıklıkla Kobalt-60 izotopu kaynaklı gama ışını demetleri kullanılır. Radyoterapide kanserli dokudaki tümörleri öldürmek ya da zararlı hücreleri etkisiz hale getirmek için dokunun yüksek miktarda radyasyon ile ışınlanması gerekir. Bu ışınlanma, terapi uygulanan hastanın vücudunun sağlıklı dokuları için tehlikeli olabilir. x-ışını

görüntüleme cihazlarında olduğu gibi radyoterapi cihazları da gün geçtikçe iyileştirilmektedir. Yalnızca ilgili dokuyu radyasyona maruz bırakıp çevresindeki sağlıklı hücrelerin ışınlanmasını en aza indirmek için çalışmalar yapılmaktadır.

1.3.5.2. Kullanıcı Ürünleri

Medikal olmayan kaynaklardan alınan ortalama radyasyon miktarı, maruz kalınan tüm radyasyon miktarlarının oldukça küçük bir kısmını oluşturmaktadır. Ancak, radyasyon kaynakları içeren uygulamaların sayısı oldukça fazladır ve bu uygulamalar hemen hemen her sektörde karşımıza çıkmaktadır. (TAEK, *Nükleer Tekniklerin Uygulamaları*)

1.3.5.2.1. Endüstride kullanılan kaynaklar

Radyasyon kaynakları endüstride sıkça kullanılır. Endüstride radyasyon kaynakları kullanımını içeren uygulamaların bir kısmı aşağıda sıralanmıştır:

- Çelik ve kağıt üretiminde kalınlığı ayarlamak için radyonüklit kalınlık iğneleri kullanılmaktadır.
- Çimento ve kağıt sektörlerinde büyük kütleli karışımların kontrolünde radyonüklitler kullanılmaktadır.
- Otomotiv sektöründe parça aşınmaları ile ilgili testlerde uygun radyonüklidler kullanılmaktadır.
- Kömür endüstrisinde radyonüklitler kullanılarak kömürde bulunan ve asit yağmurlarına sebep olan kükürt ve azot miktarları ölçülmektedir.
- Kabloların taşıdığı beton köprülerde mukavemet ölçümleri için radyonüklitler kullanılmaktadır.
- Nükleer ölçüm aygıtları kayaların yoğunluk ve kimyasal elementlerini saptamakta kullanılmaktadır. Benzer aygıtlarla petrol ve maden aramaları da yapılmaktadır.

Çok farklı uygulamalarda, mesela fosillerin yaşının belirlenmesinde, Karbon-14 ile yaş tayini yöntemi uygulanmaktadır.

1.3.5.2.2. Tarım sektöründe kullanılan kaynaklar

Tarım sektöründe radyoaktif çekirdekler sıkça ve çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Bazı örnekler aşağıda sıralanmıştır:

Üretim sırasında gübreleme miktarının en uygun hale getirilmesi için radyonüklitler kullanılmaktadır. Radyoaktif çekirdekler eklenmiş gübrelerin takibi ile her bitkiye yalnızca gerektiği kadar gübre verilmesi sağlanmaktadır.

Sulama düzeninin uygun olması ürünlerin verimliliği açısından hayatidir. Bu düzenleme için tarım arazisindeki toprağın su ihtiyacı nötron kaynakları kullanılarak belirlenir.

Tarımda kullanılan kimyasalların miktarının uygunluk kontrolü için radyoaktif izotoplar kullanılmaktadır.

Bazı tarıma zararlı böcek türlerinin erkek cinsleri ışınlanarak çoğalmalarının önüne geçilmektedir.

Üretim kalitesini artırmak adına tohumların mutasyon geçirmeleri sağlanmaktadır. Bu amaçla en çok kullanılan radyasyon tipleri x-ışını, gama ışını ve hızlı nötronlardır.

Yiyeceklerin üretilmesinden sonra korunması için de radyasyon kullanılır. Türkiye de dahil olmak üzere birçok ülkede, bozulmalarını engellemek üzere farklı besinler radyasyonla ışınlanmaktadır. Ülkemizde ışınlanan ürünlerin paketlerinde, ışınlandıklarına dair uyarıların bulunması zorunludur.

1.3.5.2.3. Hayvancılık sektöründe kullanılan kaynaklar

Besin olmayan ürünler de işaretçi radyonüklitler ile takip edilmektedir, böylece bu ürünlerin sindirim sistemine (ve faaliyetine) etkileri araştırılmaktadır.

1.3.5.2.4. Günlük kullanım ürünleri

Gündelik yaşamımızda kullandığımız çeşitli ürünlerde radyasyon kaynakları bulunabilmektedir. Bunlardan bazıları şunlardır: (U.S. National Regulatory Commission, *Man Made Sources*)

Fosforlu saatler, Tütün, Televizyonlar, Floresan lambaların başlatıcıları, x-ışını güvenlik sistemleri, Gaz ve kömür gibi yakıtlar, Fener mantoları, Yapı ve yol inşaat malzemeleri…

Bu ürünlerdeki radyasyon miktarı medikal kaynaklarla kıyaslandığında sebep oldukları radyasyon maruziyeti yok denecek kadar azdır.

1.3.5.2.5. Araştırmada kullanılan kaynaklar

Üniversiteler ve diğer araştırma merkezlerinde radyasyon kaynakları araştırma amaçlı olarak kullanılmaktadır. Radyasyon kaynakları ile ilgili araştırma yapılan alanlardan bazıları şunlardır:

Fizik, Madencilik, Metalurji, Biyoloji, Tıp, Tarım, Çevre, Jeoloji, Kimya

Araştırmalar sonunda radyasyon uygulamaları içerebilen yeni metotlar ve hatta yeni ürünler geliştirilebilir. Araştırma alanları günlük kullanım ürünlerinden uydulara, çevre uygulamalarından medikal araçlara kadar farklılık gösterebilir.

1.4. Radyoaktivitenin Zararları

Radyasyonun insan sağlığı üzerinde radyasyon yanıkları, genetik bozukluklar, doğal yaşam süresinin kısalması ve kanser gibi bilinen pek çok zararlı etkisi bulunmaktadır (ICRP, 1993). İnsan vücuduna giren radyasyon atom ve molekülleri uyararak, vücut içerisinde çeşitli tepkimelere neden olmaktadır. Söz konusu tepkimeler vücutta fiziksel, kimyasal ve biyolojik değişimlere neden olmaktadır. Bu değişimler kısa bir süre içerisinde görülebileceği gibi ortaya çıkması uzun zaman da alabilmektedir. Örneğin radyasyon yanıkları yüksek etkin doza maruz kalma ile eş zamanlı görülmekte ancak lösemi ve kemik kanseri için vücuda giren radyasyonun yaklaşık 2 yıllık bir gizlenme süreci bulunmaktadır. Vücutta bir tümör kitlesinin belirginleşmesi söz konusu olduğunda ise bu süre 10 yılı bulabilmektedir (Cohen, 1996).

Radyasyonun canlı organizmada meydana getirdiği olumsuz etkilerin bazı değişkenlere göre şekillendiğini söylemek mümkündür. Bu değişkenleri ise şu şekilde sıralayabiliriz (Ünlü, 2009):

- Radyasyon türüne göre,
- Radyasyon dozuna ve dozun hızına göre,
- Radyasyon enerjisine göre,
- Radyasyonun dokulardaki dağılımına göre,
- Ve dokuların radyasyona karşı duyarlılığına göre oluşabilmektedir.

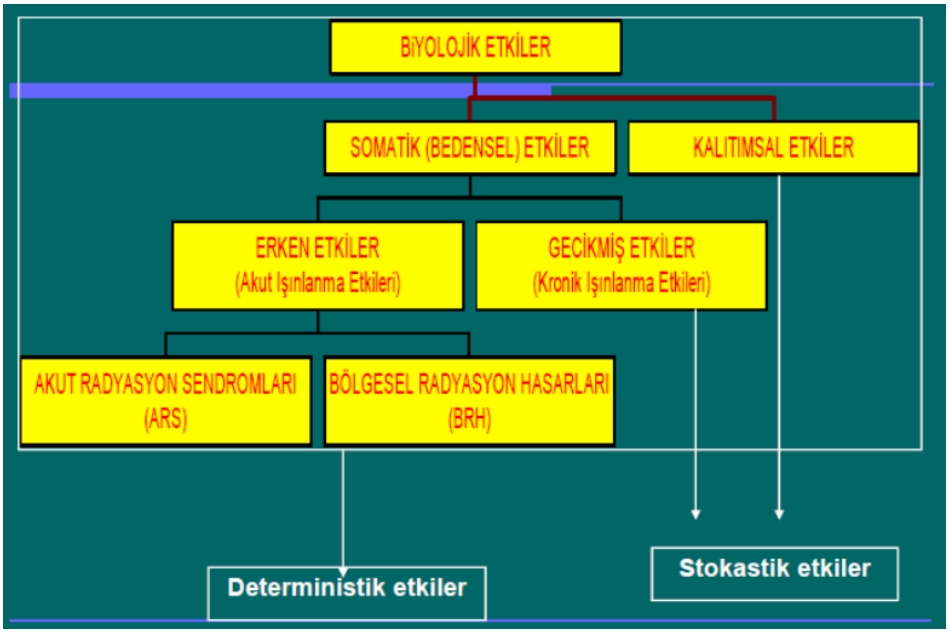
Radyasyonun açtığı zararlar, maruz kalınan doza göre değişiklik göstermekte olup, her canlı organizmada da farklılık gösterebilmektedir. Biyolojik etkiler alınan doza bağlı olarak bir saat, birkaç hafta hatta yıllar içinde kendini gösterebilmektedir(Şeker ve Çerezci, 1997). Tablo 5.'de Radyasyon insan sağlığı üzerindeki etkileri radyasyon dozuna göre verilmiştir (Dağdaş, 2010).

Tablo 5. *Radyasyon dozuna göre gözlemlenen etkiler*

Doz (Rem) (1rem=0.01Sv)	Gözlenen Klinik Etkiler
0 – 25	Gözlenen klinik etki yok
25 -100	Kan tablosunda meydana gelebilecek değişiklikler dışında gözlenebilen etki yok
100-200	Yorgunluk ve iştahsızlık Mide bulantıları ve 3 saat içinde kusmalar Kan tablosunda orta derecede değişiklikler Kan yapıcı organlar dışında birkaç hafta içinde iyileşme
2000 – 600	2 saat veya daha kısa sürede kusmalar (300 Rem ve üzerinde doz alanlarda) İç kanamalar ve enfeksiyon Kan tablosunda büyük değişiklikler 2 hafta içinde saç dökülmesi (300 Rem ve üzerinde doz alanlarda) Alınan radyasyon dozuna bağlı olarak bir ay ile bir yıl arasında % 20 - % 100 oranında iyileşme
600 – 1000	1 saat veya daha kısa sürede kusmalar Kan tablosunda büyük değişiklikler İç kanama ve enfeksiyon 2 ay içinde % 80 - % 100 oranında ölüm gerçekleşecek. Sağ kalanların ise iyileşmesi oldukça uzun sürecektir.

Birkaç saatten başlayarak birkaç hafta içerisinde ortaya çıkan etkiler genelde yüksek dozda radyasyon teması ile akut olarak meydana gelmekte, bunlara kısa süreli somatik veya deterministik etkiler adı verilmektedir. Düşük doz radyasyona maruz kalmanın etkileri ise yıllarca kendini gizleyebilmekte olup, bu etkiler kronik etkiler veya stokastik etkiler olarak açıklanmaktadır. Kronik etkiler zaman içinde insan vücudunda genetik olumsuz etkilere neden olmaktadır. Radyasyon nedeniyle hasar görmüş hücreler üreme yoluyla döllenir ve böylece hasarlı hücreler gelecek nesillere aktarılmış olur. Bu tip etkilere stokastik etkiler adı verilir (Şeker ve Çerezci, 1997).

Doğal radyasyon olarak bilinen, hava, su ve toprakta yer alan radyasyonun dozu düşük olması nedeniyle etkisi en az olduğu bilinmektedir. Ancak buna rağmen organizmanın duyarlılığına göre değişmekle birlikte uzun vadede olumsuz etkileri olduğu uzmanlar tarafından vurgulanmaktadır (Şekil 6) (Hammer ve ark., 2009; Ünlü, 2009).



Şekil 6. Radyasyonun zararlı etkileri

Deterministik etkiler; "Işınlama dozunun vücudun herhangi bir doku veya organında fonksiyon kaybına neden olacak sayıda hücrenin ölümü ve üremesinin durması sonucunda ortaya çıkan etkilerdir." Stokastik etkiler ise; "Hücrede meydana gelen sabit değişikliklerin hücre bölünmesi ile yeni hücrelere geçmesi sonucunda kişinin kendisinde veya bu olayın üreme hücrelerinde meydana gelmesi halinde gelecek kuşaklarda ortaya çıkması olasılığı" olarak tanımlanmaktadır (Ünlü, 2009).

Uzun sürede ortaya çıkan stokastik etkilerin en bilineni kanserdir. 20. Yüzyılda nükleer bir felaket olarak dünya tarihine geçen Çernobil kazası ardından radyasyon kullanımı ve tehlikesi dünya gündemine oturmuştur. Çernobil kazasının ardından görülen kalıcı etkiler radyasyonun zararlarını ortaya koymuştur. 2007 yılında Türk Tabipleri Birliği tarafından gerçekleştirilen bir araştırma; Türkiye'de Çernobil'den en çok etkilenen bölge olan Karadeniz Bölgesi'ndeki Hopa'da ölümlerin % 47,9 unun kansere bağlı olarak gerçekleştiğini ortaya koymuştur (İstanbul Tabip Odası, 2008).

1.5. Radyoaktiviteden Faydalanma Yolları

Radyasyon dünyamızda doğal olarak bulunmakta, toprak, su, hava ve yediğimiz besinler yoluyla vücudumuza geçmektedir. Radyasyon doğal olarak bulunuşunun yanı sıra yapay olarak da kullanılmaktadır. Radyasyon denince akla her ne kadar nükleer santraller ve bombalar gelse de radyasyonun iyi amaçlı kullanımı da mümkündür (Daşdağ, 2010).

Radyoaktivite görmesek bile hayatımızın her alanında yer alır. Radyoaktif kaynakların yararlı kullanımları ve bu kaynaklardan çıkan enerjilerin kullanımları sayısızdır. Bu kullanımlar, tıptan, biyolojiye, tarımdan, çevreye kadar onlarca spektrumu içerir. Radyoaktif kaynaklar ve nükleer enerjinin doğru kullanımı hayatımızı birçok aşamada zenginleştirir (Benson, 2002).

İyi amaçlı radyasyon kullanımının en başında medikal uygulamalar gelmektedir. Tıpta görüntüleme amaçlı kullanılan radyasyon, en sık kullanılan iyi amaçlı radyoaktivitedir. Görüntüleme yapılacak olan alana x ışını yolu ile düşük dozda radyasyon verilmek sureti ile vücut filmleri alınmaktadır. Günümüzde hastanelerde x ve gamma ışınları hastalıkların tanı ve tedavisinde önemli bir rol oynamakta, hali hazırda sunulan tomografi, röntgen ve gamma kameraları gibi hizmetler radyasyon sayesinde kullanılabilmektedir (ICRP, 2007; Demir, 2008).

Radyasyon yer kürenin ve doğal hayatın bir parçası olarak kabul edilmekte ve ilk keşfinden bu yana fizik çalışmalarına ilham olmaktadır. Bu alanda yapılan çalışmalar sonucunda radyasyon kullanılan bir olgu haline dönüşmüş ve bugün özellikle medikal uygulamalarda radyoaktiviteden sıklıkla faydalanılır olmuştur (Parker, 1992). Radyoaktiviteden yararlanmamız yalnızca tıp alanı ile sınırlı değildir, bunun yanı sıra sanayi, ziraat, elektronik gibi alanlarda pek çok amaçla radyoaktivite kullanılmaktadır. Gama ışınlarından tıbbi cihaz ve gıdaların sterilize edilmesi için kullanılırken, uçak gövdesi ve doğalgaz borularında yapılan kaynak yerlerinde radyoaktivite önemli rol oynamaktadır. Arkeoloji alanında çıkarılan kazıların yaş tayininde ise C-14'den faydalanılmaktadır. Ayrıca kanser tanı ve tedavisinde kullanılan iyot, en önemli radyoaktif elementtir (Akbulut, 2009).

Radyasyona yönelik genel kanı tehlikeli olduğu yönünde olsa da bazı kaynaklar bunun aksini savunmaktadır. Buna göre; eğer radyasyon konusu dikkatle ele alınırsa insanların bu konuda korkacak bir şeyi olmadığı yönündedir. Doğru ve kontrollü bir kullanım güdülmesi halinde radyasyonun son derece yararlı olabileceği ve iyi amaçlarla kullanılabileceği vurgulanmaktadır (Parker, 1992). Ancak şu bir gerçektir ki, radyasyonun kontrollü olarak kullanılmasına ve dozu güvenlik sınırları içinde tutulmasına rağmen, sağlık açısından tamamen zararsız olduğu söylenememekte ve hangi insana ne kadar etki edeceği tam olarak açıklanamamaktadır. Röntgende kullanılan düşük dozlu x ışınlarının göğüs, guatr ve akciğer başta olmak üzere kansere yol açtığı ileri sürülmektedir (Gilbert, 2009).

Kısacası radyasyondan hastalıkların tedavisi başta olmak üzere pek çok alanda iyi bir amaç için faydalanmak mümkün ve dahi zorunlu iken, bir yanı ile uzun vadede sağlığa zararlı etkiler yaratabilme riski de bulunmaktadır. Bu yönü ile radyasyonun yararlı mı yoksa daha çok zararlı mı olduğu halen tartışma konusudur (Dedic ve Pranjic, 2009; Hammer v.d., 2009).

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Numune Toplanan Bölgenin Özellikleri

Cide İlçesi Karadeniz Bölgesi batı bölümünde Kastamonu İl sınırları içinde yer alan Kastamonu'ya bağlı bir ilçedir. İlçe Topraklarını kuzeyde Karadeniz, kuzeydoğuda Doğanyurt, Doğuda Şenpazar, güneyde Azdavay ve Pınarbaşı ilçeleriyle batıda Bartın iline bağlı Kurucaşile ilçesiyle sınırlıdır.
İlçenin sınırları doğusunda Gemi Dağı'na ulaşır ve Gölboğazı Deresine' ne kadar uzanır. Güneybatıya yönelen sınır Himmet Çayı vadisi takip ederek Valay Çayını enine keser ve Şehriban deresi vadisi yönünde ilerler. Bu doğrultuda ilerleyen sınır Karakuş dağının kuzeyinde Zeytinlik Tepeye (1282m) kadar ulaşır ve batıya yönelerek dolinlerle delik deşik olmuş Şeh dağını geçerek Devrekani (Kocaçay) Çayını enine keser. Batıya doğru Kaleburnu Tepesi (1078 m), Halla Tepesi (1231m), Ayıcık Tepesi üzerinden geçen sınır Kulaksız geçidini aşarak kuzeybatıya sapar, Karakaya Tepesi (1443 m) kuzey batısından Kez boğazını geçerek kuzeye yönelir. Kemrelik Tepesi (1220 m) doğusundan itibaren Yol Deresi vadisini takip ederek İnce Burun batısından Karadeniz' e ulaşır. Cide ilçesi 11 km'lik kesintisiz plajı, Gideros, Aydos, Denizkonak, Uğurlu, Çayyaka, Akbayır ve İlyasbey sahilleri ile denize girmeye elverişlidir.

Doğanyurt İlçesi Karadeniz Bölgesi batı bölümünde Kastamonu İli'ne bağlı, doğusunda İnebolu, batısında Cide, güneybatısında Şenpazar, güneyinde Azdavay ve Küre ilçeleri ve kuzeyinde de Karadeniz ile çevrilidir. İlçe merkezi sahil kesiminde kurulmuş olup, dağlık ve engebeli bir arazi yapısına sahiptir. İlçe topraklarını Küre Dağları'nın uzantıları engebeli yapmaktadır. Ormanlık ve dağlık bir bölge olması nedeniyle bir çok dere oluşarak Meset Çayı ilçe merkezinden geçerek Karadeniz'e dökülmektedir. İl merkezine İnebolu İlçesi üzerinden 121 km mesafededir. İlçede Karadeniz iklimi hakimdir. Her mevsim yağış almaktadır. Sahil kesiminden hemen sonra yükselmeye başlayan dağ silsilesi kış mevsiminin soğuk etkisinin ilçe merkezini etkilemesini önlemektedir.

2.2. Numune Toplama ve Hazırlık

Doğanyurt İlçesinden 22, Cide İlçesinden 38 toprak ve plaj kumu numunesi alınmıştır. Numuneler taş ve bitki parçalarından arındırılıp 1-1,5 kilogramlık plastik poşetlere konulmuştur. Numuneler Kastamonu Üniversitesi Fizik Bölümü Nükleer Fizik Laboratuvarına getirilmiştir. Burada kurutma, eleme ve 150 mililitrelik silindirik plastik kaplara konulmuştur. Tartıldıktan sonra ağızları parafilm ile sızdırmaz hale getirilmiştir. Ra ve bozunma ürünlerinin dengeye ulaşmaları için bir ay süreyle bekletilmiştir. Toplanan numuneler Kastamonu Üniversitesi Merkez Laboratuvarında bulunan yüksek hassasiyetli germanyum dedektörü ile analiz edilmiştir. Tablo 6.'de Kastamonu İli Doğanyurt İlçesi, Tablo 7.'de ise Kastamonu İli Cide İlçesine ait toprak ve kum numunelerinin koordinatları gösterilmiştir.

Tablo 6. *Doğanyurt ilçesi toprak ve kum numuneleri koordinatları*

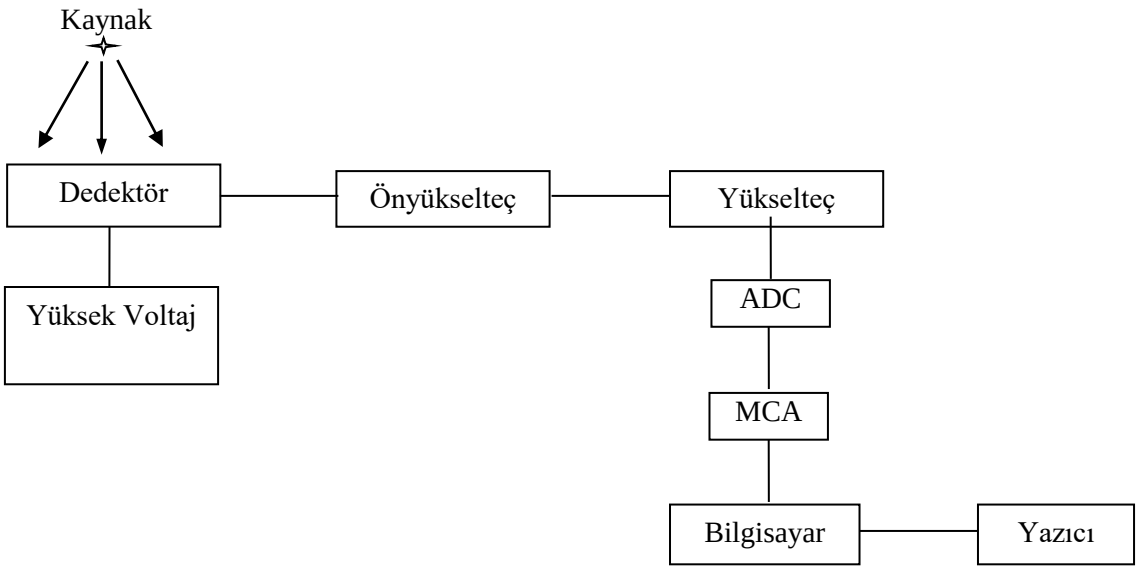
Sayı	Numune	Kuzey Koordinat	Doğu Koordinat
1	Toprak	N41.90275	E33.45975
2	Toprak	N41.90570	E33.44372
3	Toprak	N41.92457	E33.43160
4	Toprak	N41.95758	E33.44779
5	Toprak	N41.97233	E33.45865
6	Toprak	N41.97433	E33.44815
7	Toprak	N41.97341	E33.46238
8	Toprak	N41.99204	E33.44566
9	Toprak	N42.00366	E33.45499
10	Toprak	N42.00662	E33.45830
11	Kum	N42.00742	E33.46093
12	Kum	N42.00678	E33.46158
13	Toprak	N41.99784	E33.46542
14	Toprak	N42.00247	E33.48085
15	Toprak	N42.00149	E33.49940
16	Kum	N41.99965	E33.53160
17	Kum	N41.99963	E33.53206
18	Kum	N42.00043	E33.52872
19	Toprak	N41.99789	E33.53139
20	Toprak	N41.99195	E33.52977
21	Toprak	N42.00699	E33.43723
22	Toprak	N42.01284	E33.38597

Tablo 7. *Cide ilçesi toprak ve kum numuneleri koordinatları*

Sayı	Numune	Kuzey Koordinat	Doğu Koordinat
1	Toprak	N42.00990	E33.36570
2	Toprak	N42.00489	E33.36492
3	Toprak	N42.01549	E33.34008
4	Toprak	N41.99454	E33.30011
5	Kum	N41.89822	E32.98258
6	Kum	N41.89758	E32.98254
7	Toprak	N41.89575	E32.98213
8	Toprak	N41.89744	E32.98270
9	Kum	N41.89425	E32.97824
10	Kum	N41.89322	E32.97757
11	Kum	N41.89278	E32.97671
12	Kum	N41.89149	E32.97400
13	Kum	N41.89078	E32.97230
14	Kum	N41.88970	E32.96968
15	Kum	N41.88961	E32.96802
16	Kum	N41.88872	E32.96537
17	Toprak	N41.88820	E32.96542
18	Kum	N41.88684	E32.95959
19	Kum	N41.88580	E32.95604
20	Kum	N41.88442	E32.95149
21	Kum	N41.87796	E32.92897
22	Toprak	N41.87751	E32.92820
23	Kum	N41.87521	E32.91998
24	Kum	N41.87196	E32.90934
25	Toprak	N41.86289	E32.88725
26	Toprak	N41.853302	E32.937105
27	Toprak	N41.785408	E32.878134
28	Toprak	N41.87938	E32.94122
29	Toprak	N41.90175	E33.02450
30	Toprak	N41.88079	E33.08195
31	Toprak	N41.87950	E33.05664
32	Toprak	N41.88147	E33.04823
33	Toprak	N41.86195	E33.04549
34	Toprak	N41,951172	E33,176482
35	Toprak	N41,932007	E33,094208
36	Toprak	N41,912576	E33,021450
37	Kum	N41,99977	E33,53118
38	Kum	N41,99984	E33,53071

2.3. Sintilasyon Dedektörü

Çalışmada numunelerinin radyoaktivite analizleri için, Kastamonu Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında bulunan çok kanallı gama spektroskopisi kullanılmıştır. Gamma spektroskopik ölçümler 1460,8 keV'de 1,9 keV rezülüsyona ve % 50' lik relatif verime sahip olan ORTEC, GEM50P4-83 model yüksek saflıkta coaxial Ge dedektörü kullanılarak yapılmıştır. (Fotoğraf 1.) Dedektör, önyükselteç, spektroskopi yükselteci, analog sayımları elektronik sinyallere dönüştüren ADC sistemi, çok kanallı analizörden (MCA) oluşmaktadır. Şekil 7.'de sistemin blok şeması verilmektedir.



Şekil 7. Gama spektrometre sisteminin blok şeması



Fotoğraf 1. HpGe sintilasyon dedektörü görünümü

Bilgisayar hafızasında toplanan spektrumların analiz edilebilmeleri için, hangi kanalın hangi enerjiye karşılık geldiğinin bilinmesi gerekir. Böylece numunede bulunan radyoaktif çekirdek türleri bulunabilir. Enerji kalibrasyonunun yapılabilmesi için önceden enerjileri bilinen çekirdeklerden oluşmuş standart bir kaynağa (kaynaklara) ihtiyaç vardır. Enerji ve verim kalibrasyonu için enerjileri 80–1400 keV arasında değişen ^{109}Cd, ^{57}Co, ^{133}Ba, ^{22}Na, ^{137}Cs, ^{54}Mn, ve ^{60}Co'ın piklerini içeren standart nokta kaynaklar kullanıldı. Tablo 8.'de kalibrasyon için kullanılan standart kaynağa ait bilgiler verilmektedir.

Tablo 8. *Standart kaynağın özellikleri*

İzotoplar	Enerji (keV)	Yarı-ömür (gün)	Bolluk (%)
^{133}Ba	81	3830	33
^{109}Cd	88	464	3,72
^{57}Co	122,1	271	86
^{57}Co	136,5	271	11
^{133}Ba	276,4	3830	6,9
^{133}Ba	302,8	3830	19
^{133}Ba	356	3830	62
^{133}Ba	383,8	3830	8,7
^{22}Na	511	946	180
^{137}Cs	661,6	11022	85
^{54}Mn	834,8	313	100
^{60}Co	1173,2	1922	100
^{22}Na	1274,5	946	100
^{60}Co	1332,5	1922	100

Enerji kalibrasyonu için dedektöre belli bir mesafede konulan standart kaynağın spektrumu elde edilerek enerjilerin hangi kanallara geldiği tespit edilmiştir.

Dedektör verimi, dedektörde sayılabilir büyüklükte puls üreten fotonların sayısının, dedektöre gelen fotonların sayısına oranı ya da dedektörde sayılabilir büyüklükte puls üreten fotonların yüzdesi olarak tanımlanır. Dedektörün saydığı gama sayımlarının gerçek değerini bulabilmek için dedektöre ait verim düzeltmesinin yapılması gerekir. Verim tayini için IAEA-RGK-1 (Potassium Sulfate), IAEA-RGTh-1 (Thorium Ore), IAEA-RGU-1 (Uranium Ore) standart kaynakları kullanmıştır.

2.4. Çevresel Gama Dozu

Çevresel gamma dozu ölçümleri taşınabilir G-M tüpleri kullanılarak toprak ve kum numunelerinin toplandığı aynı koordinatlarda gerçekleştirilmiştir. Her noktada, yerden 1 metre yükseklikte 100 saniyede bir ölçüm yapılmıştır. Her numune bölgesinde 5 ölçüm yapılmış ve bu ölçümlerin ortalaması alınmıştır. Gamma

radyasyon seviyesini hem yeryüzüne ait hem de kozmik ışın bileşenlerini kapsayan sonuçlar μRh^{-1} olarak kaydedilmişlerdir. Daha sonra bu ölçüm değerleri 8,7 nGy/μRh'lık dönüşüm katsayısı kullanılarak $nGyh^{-1}$ dönüştürülmüştür.

2.5. Radyolojik Etki Hesabı

Doğal radyonüklitlerinin havadaki emilmiş doz oranına D katkısı ^{238}U, ^{232}Th ve ^{40}K'nin doğal özgül aktivite konsantrasyonlarına bağlıdır. Yeryüzüne ait gamma radyasyonu ve radyonüklit konsantrasyonları arasında doğrudan bir ilişki vardır. Eğer bir radyonüklit aktivitesi bilinmekte ise onun yerden 1 metre yükseklikteki maruz kalma dozu oranı aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanabilir. Bu araştırmada Doğanyurt ve Cide çevresinden toplanmış 60 numunedeki doğal ve yapay radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonları gamma ışını spektroskopisi ile belirlenmiştir. Bu sonuçlar kullanılarak emilmiş gamma dozu ve yıllık efektif doz hesaplanmıştır. (UNSCEAR 1993)

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

A_U, A_{Th} ve A_K sırasıyla ^{238}U, ^{232}Th ve ^{40}K'nin aktivite konsantrasyonlarıdır. Dönüşüm katsayıları ise sırasıyla 0,462, 0,604 ve 0,0417 Bq/kg başına nGy/h dir. Yıllık efektif dozları tahmin edebilmek için havadaki emilen dozdan efektif doza yapılan matematiksel dönüşümün katsayısı ve dış mekan kullanımı katsayısı göz önünde bulundurulmuştur. Havadaki emilen doz yetişkinlerin uğradığı efektif doza yapılan matematiksel olarak dönüştürülürken dönüşüm katsayısı 0,7 Sv/Gy, dış mekan katsayısı ise 0,2 olarak kullanılmıştır. Buna göre yıllık efektif doz değeri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır. (UNSCEAR 1993)

$$AEDE(\mu Sv/y) = D(nGy/h)*8760(h/year)*0{,}2*0{,}7Sv/Gy*10^{-3}$$

3. BULGULAR

Kastamonu ili Doğanyurt ve Cide ilçelerinden alınan toprak ve kum numunelerinin yapılan spektrometrik analizleri sonucunda bulunan radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonları, Kastamonu Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında bulunan ORTEC HpGe dedektörü kullanılarak her bir örnek 50000 sn'lik sürelerle sayılmıştır. Örneklerde bulunan ^{238}U, ^{232}Th ve ^{40}K doğal radyoaktif izotopların aktivite konsantrasyonları, havadan absorbe edilen doz oranı (D) ve yıllık etkin doz eşdeğeri (AEDE) ile radyasyon tehlike parametreleri hesaplanmıştır.

3.1. Toprak ve Kum Örneklerindeki ^{238}U, ^{232}Th ve ^{40}K'nın Aktivite Konsantrasyonları

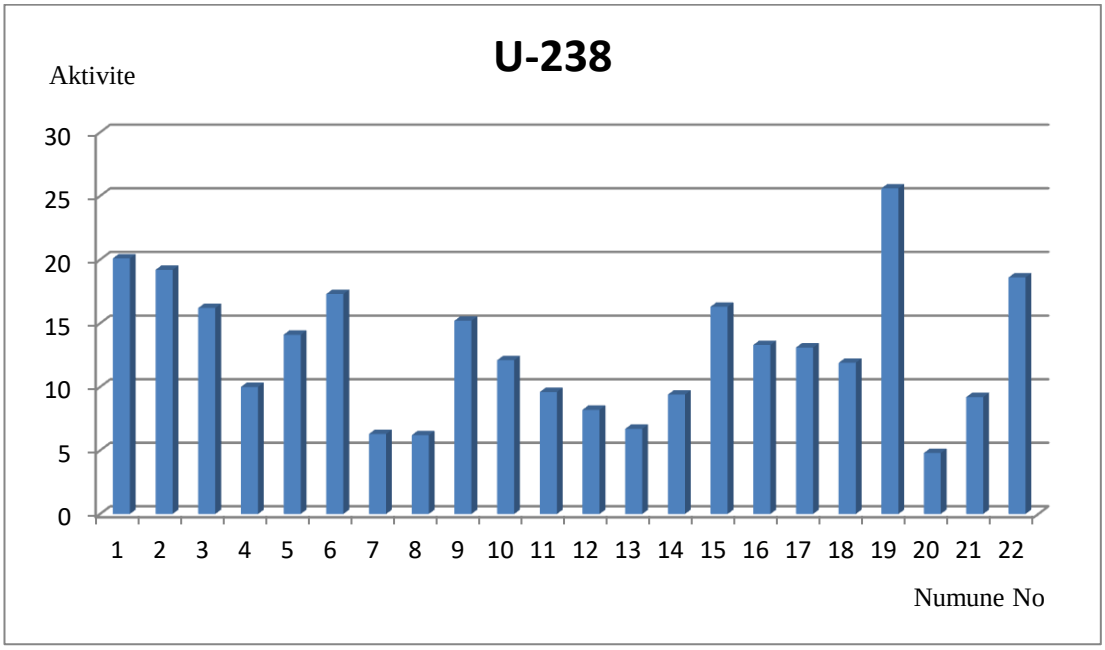
Doğanyurt ve Cide ilçelerinden alınan toprak ve kum numunelerinin yapılan spektrometrik analizleri sonucunda bulunan radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonları belirlenmiş olup sonuçlar Tablo 9. ve Tablo 10.'da verilmiştir.

Tablo 9. *Doğanyurt ilçesi toprak ve kum numuneleri ^{238}U, ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları*

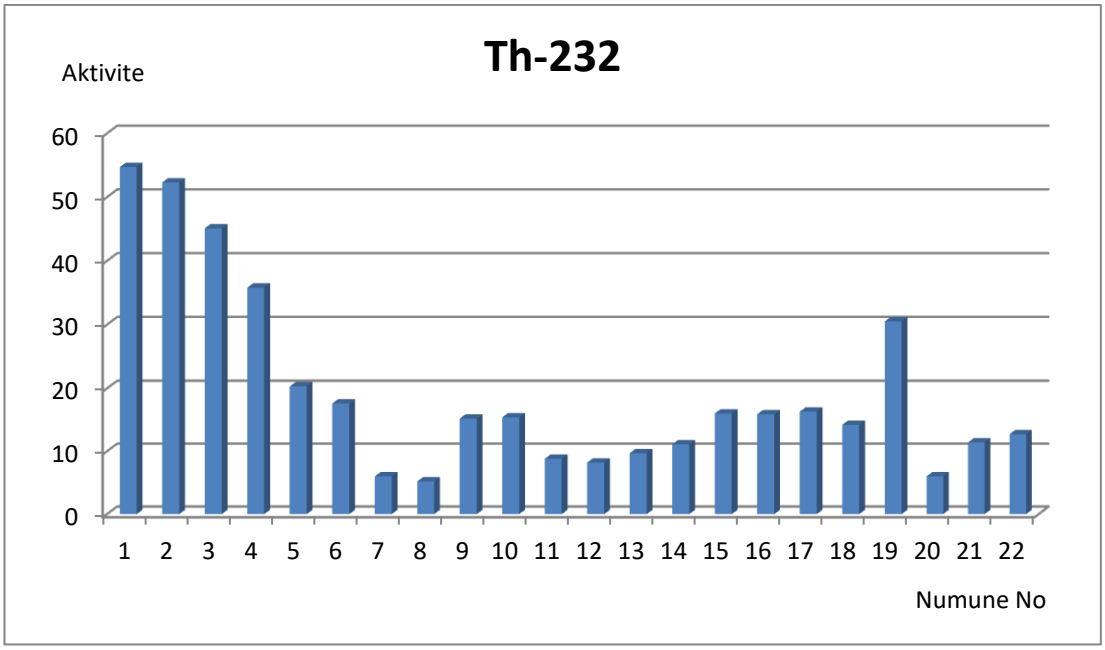
Numune No	Numune Türü	^{238}U (Bq/kg)	^{232}Th (Bq/kg)	^{40}K (Bq/kg)
1	Toprak	20,1±1,1	54,7±5,1	385,7±6,6
2	Toprak	19,2±0,9	52,3±4,3	392,7±6
3	Toprak	16,2±1,1	45,1±4,8	316,3±6
4	Toprak	10±0,8	35,8±4,3	372,5±6,4
5	Toprak	14,1±1	20,3±2,5	379,6±6,5
6	Toprak	17,3±1	17,6±2,3	403,9±6,6
7	Toprak	6,3±0,6	6±0,9	152,8±4,1
8	Toprak	6,2±0,6	5,2±1	320,8±6,7
9	Toprak	15,2±1	15,2±2,6	189,1±4,5
10	Toprak	12,1±1	15,4±0,9	333,2±6,4
11	Kum	9,6±0,7	8,8±1,4	366,5±5,6
12	Kum	8,2±0,6	8,3±1,1	344,3±5,6
13	Toprak	6,7±0,7	9,7±1,5	286,5±5,7

Tablo 9'un Devamı

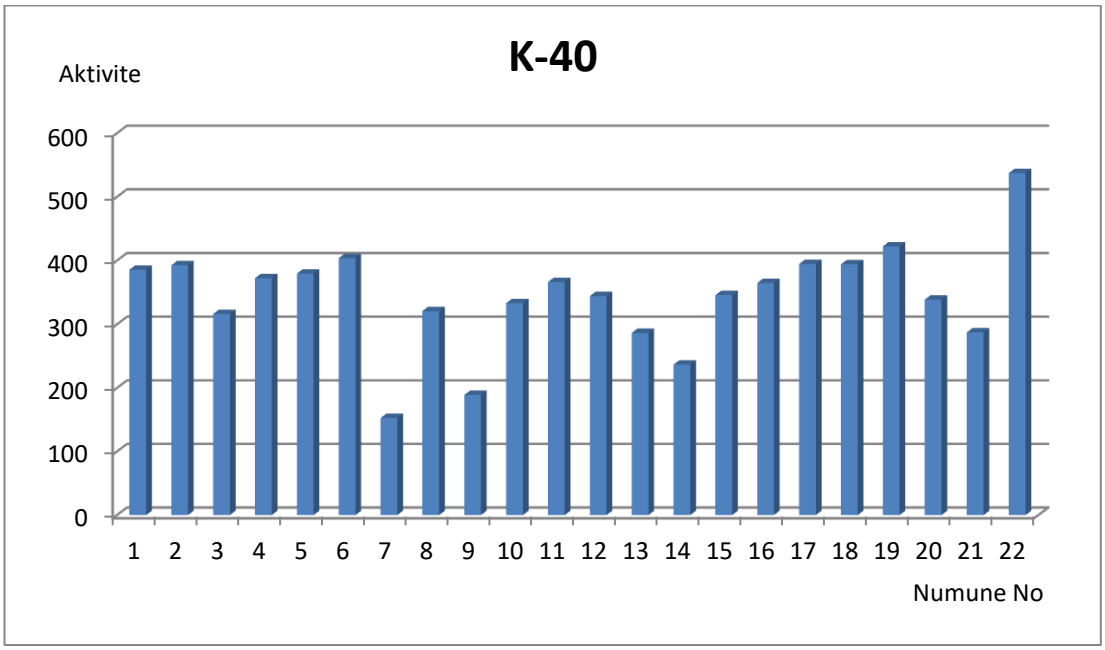
14	Toprak	9,4±0,8	11,1±1,8	236,8±6,8
15	Toprak	16,3±1	15,9±1,9	345,9±5,9
16	Kum	13,3±0,8	15,9±1,4	364,9±5,6
17	Kum	13,1±0,8	16,3±2,1	394,7±6,1
18	Kum	11,9±0,7	14,2±1,9	394,2±5,7
19	Toprak	25,6±1,3	30,5±3,4	422,3±7,3
20	Toprak	4,8±0,5	6±0,9	338,8±6,5
21	Toprak	9,2±0,9	11,4±1,7	287,3±5,8
22	Toprak	18,6±1,1	12,7±1,6	537,5±7,8



Grafik 1. Doğanyurt ilçesi numunelerindeki ^{238}U aktivite konsantrasyonları



Grafik 2. Doğanyurt ilçesi numunelerindeki ^{232}Th aktivite konsantrasyonları



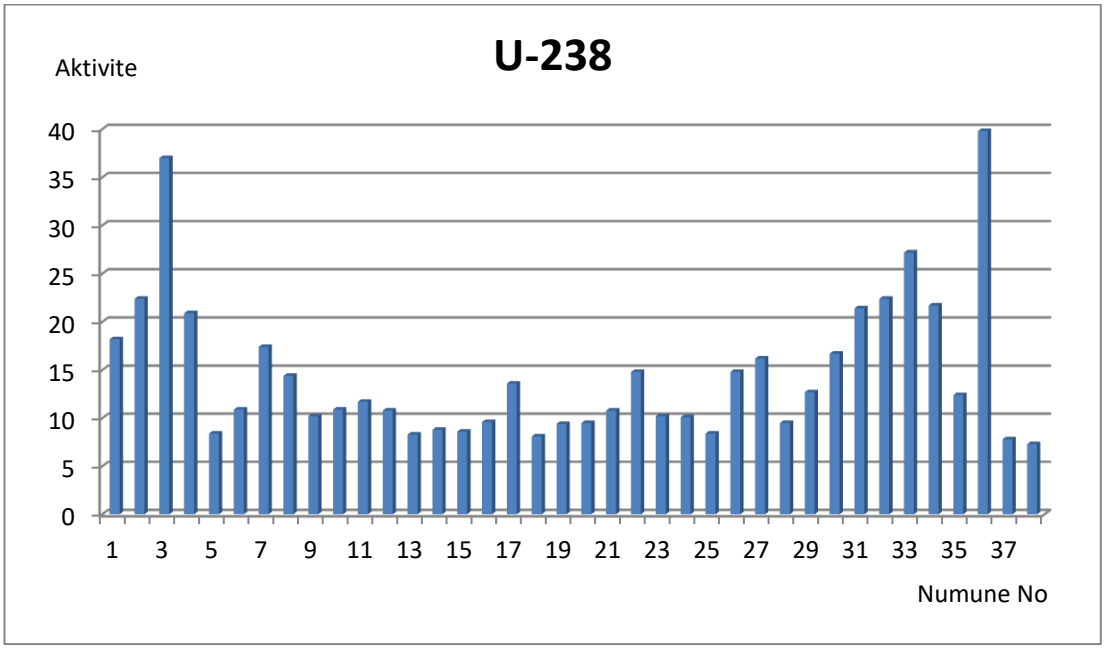
Grafik 3. Doğanyurt ilçesi numunelerindeki ^{40}K aktivite konsantrasyonları

Tablo 10. *Cide ilçesi toprak ve kum numuneleri ^{238}U, ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları*

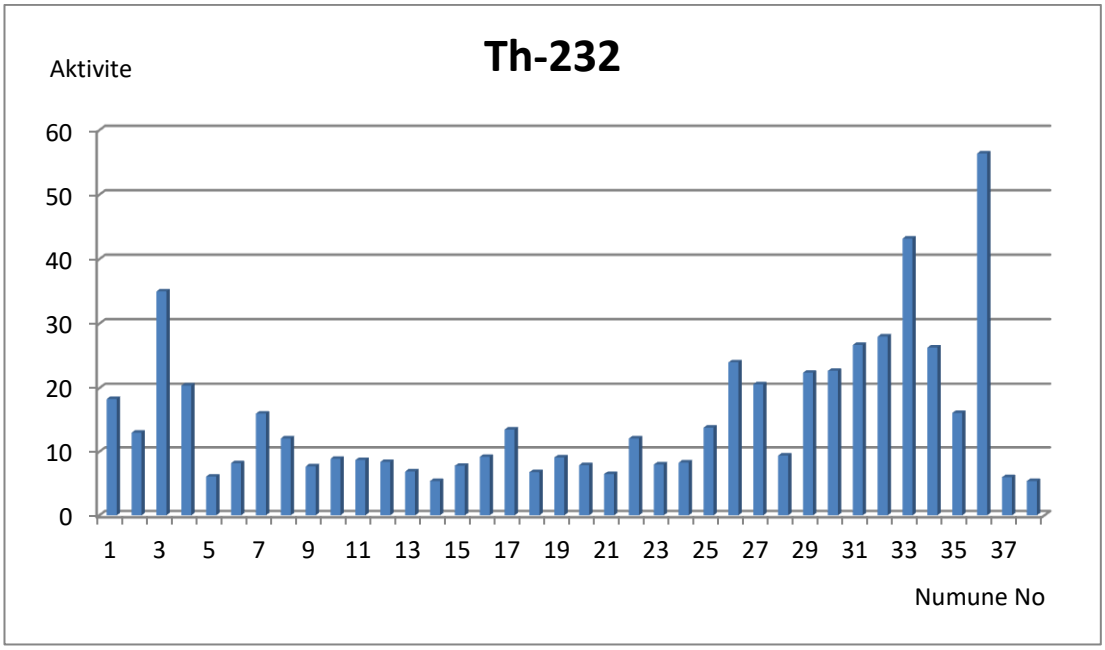
Numune No	**Numune Türü**	**^{238}U (Bq/kg)**	**^{232}Th (Bq/kg)**	**^{40}K (Bq/kg)**
1	Toprak	18,2±1,1	18,3±1,9	454,8±7
2	Toprak	22,4±1,2	13±2,1	531,3±13,2
3	Toprak	37±1,6	35±3,4	264,5±5,6
4	Toprak	20,9±1,2	20,4±2,6	318,4±6,1
5	Kum	8,4±0,7	6,1±1,1	138±3,3
6	Kum	10,9±0,7	8,2±1,1	74,5±2,6
7	Toprak	17,4±1	16±1,6	220,4±5,5
8	Toprak	14,4±0,9	12,1±1,2	172±4,1
9	Kum	10,2±0,7	7,7±1	156,9±3,3
10	Kum	10,9±0,7	8,9±1,3	204,7±3,7
11	Kum	11,7±0,7	8,7±1	191,7±3,7
12	Kum	10,8±0,7	8,4±1,2	154,8±3,4
13	Kum	8,3±0,6	6,9±1	171,1±3,4
14	Kum	8,8±0,6	5,4±0,8	131,9±3
15	Kum	8,6±0,6	7,8±1	157,1±3,3
16	Kum	9,6±0,7	9,2±1,4	163±3,4
17	Toprak	13,6±0,9	13,5±1,4	206,5±4,5
18	Kum	8,1±0,6	6,8±0,9	61,7±3
19	Kum	9,4±0,6	9,1±1	188±3,8
20	Kum	9,5±0,6	7,9±1,2	174,6±3,5
21	Kum	10,8±0,6	6,5±0,7	141,2±3,1
22	Toprak	14,8±0,9	12,1±1,4	211,4±4,4
23	Kum	10,2±0,7	8±1	168,3±3,5
24	Kum	10,1±0,6	8,3±1	182,6±3,7
25	Toprak	8,4±0,7	13,8±1,6	299±6
26	Toprak	14,8±1	24±3	520,9±8
27	Toprak	16,2±1	20,6±1,8	513,9±7,9
28	Toprak	9,5±0,7	9,4±1,2	189,1±4,3
29	Toprak	12,7±1	22,4±3	447,2±7,3
30	Toprak	16,7±1	22,7±3	428,5±7

Tablo 10'un Devamı

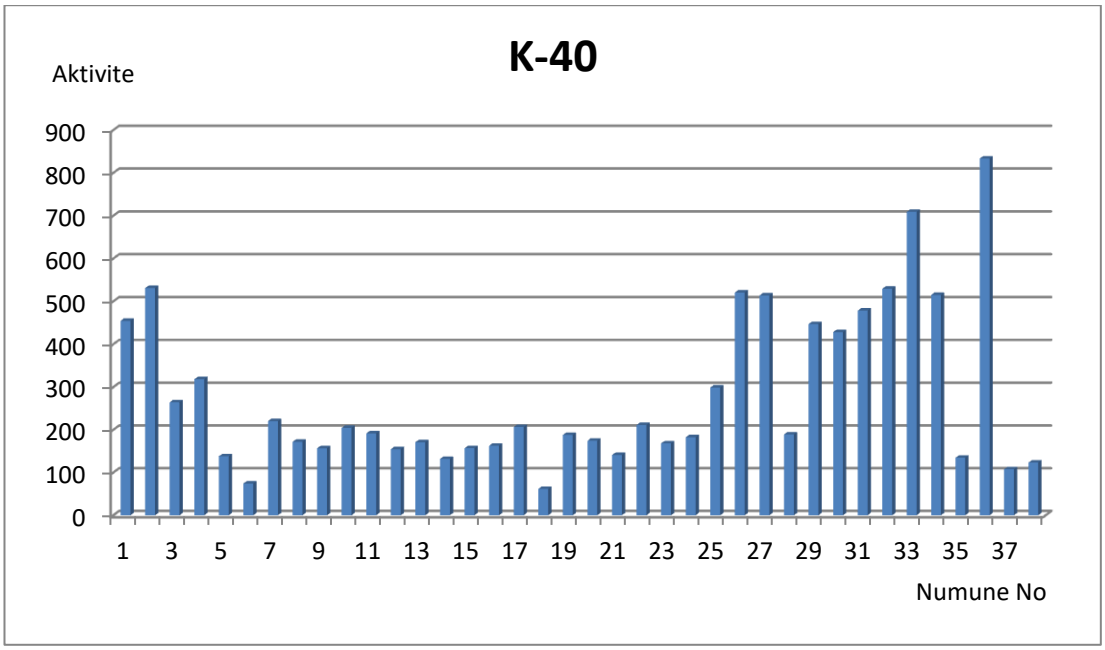
31	Toprak	21,4±1,2	26,7±3,3	478,6±7,8
32	Toprak	22,4±1,2	28±3,2	529,8±8,1
33	Toprak	27,2±1,2	43,2±3,9	709,4±9
34	Toprak	21,7±1,2	26,3±3	515,2±8,4
35	Toprak	12,4±0,9	16,1±2,1	134,8±5,6
36	Toprak	39,8±1,5	56,4±4,4	833,5±10,6
37	Kum	7,8±0,6	6±0,8	107,8±2,9
38	Kum	7,3±0,6	5,4±0,8	123,4±3,1



Grafik 4. Cide ilçesi numunelerindeki ^{238}U aktivite konsantrasyonları



Grafik 5. Cide ilçesi numunelerindeki ^{232}Th aktivite konsantrasyonları



Grafik 6. Cide ilçesi numunelerindeki ^{40}K aktivite konsantrasyonları

3.2. Havadaki Gama Emilmiş Doz Ölçümleri

Havadaki gama dozu ölçümleri G-M sayacı kullanılarak 22 adet Doğanyurt ve 38 adet Cide ilçeleri numunelerinin toplandığı koordinatlarda, yerinde ölçülerek µR/h olarak kaydedilmiştir. Bu ölçüm değerleri 8.7 nGy/µRh lık dönüşüm katsayısı kullanılarak $nGyh^{-1}$ dönüştürülmüş, havadan absorbe edilen doz oranı (D) ve yıllık etkin doz eşdeğeri (AEDE) hesaplanmıştır. (Tablo 11. ve Tablo 12.)

Tablo 11. *Doğanyurt numuneleri için (D) ve (AEDE) değerleri*

Numune No	Numune Türü	µR/h	D (nGy/h)	AEDE (µSv/y)
1	Toprak	21	182,7	224,06
2	Toprak	23	200,1	245,40
3	Toprak	21	182,7	224,06
4	Toprak	18	156,6	192,05
5	Toprak	15	130,5	160,05
6	Toprak	14	121,8	149,38
7	Toprak	12	104,4	128,04
8	Toprak	17	147,9	181,38
9	Toprak	14	121,8	149,38
10	Toprak	21	182,7	224,06
11	Kum	9	78,3	96,03
12	Kum	11	95,7	117,37
13	Toprak	9	78,3	96,03
14	Toprak	8,9	77,43	94,96
15	Toprak	15	130,5	160,05
16	Kum	15	130,5	160,05
17	Kum	25	217,5	266,74
18	Kum	8,4	73,08	89,63
19	Toprak	18	156,6	192,05
20	Toprak	10,2	88,74	108,83
21	Toprak	22	191,4	234,73
22	Toprak	13	113,1	138,71

Tablo 12. *Cide numuneleri için (D) ve (AEDE) değerleri*

Numune No	**Numune Türü**	**µR/h**	**D (nGy/h)**	**AEDE (µSv/y)**
1	Toprak	11,5	100,05	122,70
2	Toprak	15	130,5	160,05
3	Toprak	21	182,7	224,06
4	Toprak	22	191,4	234,73
5	Kum	7,9	68,73	84,29
6	Kum	12,2	106,14	130,17
7	Toprak	14,8	128,76	157,91
8	Toprak	14	121,8	149,38
9	Kum	5,5	47,85	58,68
10	Kum	11	95,7	117,37
11	Kum	11	95,7	117,37
12	Kum	21	182,7	224,06
13	Kum	14,9	129,63	158,98
14	Kum	13	113,1	138,71
15	Kum	8,3	72,21	88,56
16	Kum	13	113,1	138,71
17	Toprak	10,7	93,09	114,17
18	Kum	13	113,1	138,71
19	Kum	20	174	213,39
20	Kum	14	121,8	149,38
21	Kum	15,6	135,72	166,45
22	Toprak	18	156,6	192,05
23	Kum	17	147,9	181,38
24	Kum	6	52,2	64,02
25	Toprak	10,9	94,83	116,30
26	Toprak	18	156,6	192,05
27	Toprak	17	147,9	181,38
28	Toprak	17	147,9	181,38
29	Toprak	16	139,2	170,71

Tablo 12‘nin Devamı

30	Toprak	20	174	213,39
31	Toprak	18	156,6	192,05
32	Toprak	14,5	126,15	154,71
33	Toprak	16,5	143,55	176,05
34	Toprak	17,5	152,25	186,72
35	Toprak	18	156,6	192,05
36	Toprak	15	130,5	160,05
37	Kum	15	130,5	160,05
38	Kum	15	130,5	160,05

3.3. Toprak ve Kum Örnekleri için Radyasyon Tehlike Parametreleri

Doğanyurt ve Cide örnekleri için radyasyon tehlike parametreleri Tablo 13. ve Tablo 14.’de verilmiştir. Havadan absorbe edilen doz oranı (D) ve yıllık etkin doz eşdeğeri (AEDE) Bölüm 2.5’deki formüle göre hesaplanmış ve yerinde yapılan ölçüm değerleriyle karşılaştırılmıştır.

Radyum eşdeğer aktivitesi tehlike indeksi aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır. Radyum eşdeğer aktivitesi (Ra_{eq}) için tavsiye edilen maksimum değer 370 Bq/kg olarak belirlenmiştir.

$$Ra_{eq}(Bq/kg) = A_{Ra} + 1{,}43A_{Th} + 0{,}077A_{K}$$

Dış tehlike indeksi H_{ex} , Krieger (1981) tarafından önerilen model kullanılarak aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$H_{ex} = \frac{A_{Ra}}{370} + \frac{A_{Th}}{259} + \frac{A_K}{4810} \leq 1$$

Gama aktivite konsantrasyonu indeksi (I_γ) aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır. Gama aktivite konsantrasyonu indeksi dünya ortalama değeri 1 Bq/kg'dır.

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

Tablo 13. *Doğanyurt numuneleri için radyasyon tehlike parametreleri*

Numune No	**Numune türü**	**D (nGy/h)**	**AEDE (µSv/y)**	**D (nGy/h)**	**AEDE (µSv/y)**	**Ra_{eq} (Bq/kg)**	**H_{ex} (≤ 1)**	**Iγ Bq/kg**
		Yerinde Ölçüm		**Topraktan Hesaplanan**				
1	Toprak	182,7	224,06	61,46	75,37	128,02	0,35	0,94
2	Toprak	200,1	245,40	59,79	73,32	124,23	0,34	0,91
3	Toprak	182,7	224,06	50,44	61,86	105,05	0,28	0,77
4	Toprak	156,6	192,05	44,06	54,04	89,88	0,24	0,67
5	Toprak	130,5	160,05	35,86	43,98	72,36	0,20	0,55
6	Toprak	121,8	149,38	36,49	44,75	73,57	0,20	0,56
7	Toprak	104,4	128,04	13,26	16,27	26,65	0,07	0,20
8	Toprak	147,9	181,38	19,95	24,46	38,34	0,10	0,31
9	Toprak	121,8	149,38	24,72	30,32	51,50	0,14	0,38
10	Toprak	182,7	224,06	29,76	36,49	59,78	0,16	0,46
11	Kum	78,3	96,03	25,76	31,59	50,40	0,14	0,40
12	Kum	95,7	117,37	23,87	29,27	46,58	0,13	0,37
13	Toprak	78,3	96,03	21,66	26,56	42,63	0,12	0,33
14	Toprak	77,43	94,96	21,59	26,48	43,51	0,12	0,33
15	Toprak	130,5	160,05	32,43	39,77	65,67	0,18	0,50
16	Kum	130,5	160,05	31,97	39,21	64,13	0,17	0,49
17	Kum	217,5	266,74	33,44	41,01	66,80	0,18	0,51
18	Kum	73,08	89,63	31,51	38,65	62,56	0,17	0,48
19	Toprak	156,6	192,05	49,37	60,54	101,73	0,27	0,76
20	Toprak	88,74	108,83	20,66	25,33	39,47	0,11	0,32
21	Toprak	191,4	234,73	23,89	29,29	47,62	0,13	0,37
22	Toprak	113,1	138,71	39,57	48,53	78,15	0,21	0,61
ORTALAMA		**134,65**	**165,14**	**33,25**	**40,78**	**67,21**	**0,18**	**0,51**

Tablo 14. *Cide numuneleri için radyasyon tehlike parametreleri*

Numune No	**Numune türü**	**D (nGy/h)**	**AEDE (μSv/y)**	**D (nGy/h)**	**AEDE (μSv/y)**	**Ra_{eq} (Bq/kg)**	**H_{ex} (≤ 1)**	**Iγ Bq/kg**
		Yerinde Ölçüm		**Topraktan Hesaplanan**				
1	Toprak	100,05	122,70	39,53	48,48	79,39	0,21	0,61
2	Toprak	130,5	160,05	41,12	50,43	81,90	0,22	0,63
3	Toprak	182,7	224,06	50,40	61,80	107,42	0,29	0,77
4	Toprak	191,4	234,73	36,18	44,38	74,59	0,20	0,56
5	Kum	68,73	84,29	13,59	16,66	27,75	0,07	0,21
6	Kum	106,14	130,17	13,30	16,31	28,36	0,08	0,20
7	Toprak	128,76	157,91	27,54	33,78	57,25	0,15	0,42
8	Toprak	121,8	149,38	21,59	26,48	44,95	0,12	0,33
9	Kum	47,85	58,68	16,23	19,91	33,29	0,09	0,25
10	Kum	95,7	117,37	19,39	23,78	39,39	0,11	0,30
11	Kum	95,7	117,37	19,04	23,35	38,90	0,11	0,29
12	Kum	182,7	224,06	16,86	20,68	34,73	0,09	0,26
13	Kum	129,63	158,98	15,50	19,01	31,34	0,08	0,24
14	Kum	113,1	138,71	13,03	15,98	26,68	0,07	0,20
15	Kum	72,21	88,56	15,62	19,16	31,85	0,09	0,24
16	Kum	113,1	138,71	17,23	21,13	35,31	0,10	0,26
17	Toprak	93,09	114,17	23,67	29,02	48,81	0,13	0,36
18	Kum	113,1	138,71	10,63	13,03	22,57	0,06	0,16
19	Kum	174	213,39	18,16	22,27	36,89	0,10	0,28
20	Kum	121,8	149,38	16,83	20,64	34,24	0,09	0,26
21	Kum	135,72	166,45	15,01	18,41	30,97	0,08	0,23
22	Toprak	156,6	192,05	23,46	28,77	48,38	0,13	0,36
23	Kum	147,9	181,38	16,92	20,75	34,60	0,09	0,26
24	Kum	52,2	64,02	17,70	21,70	36,03	0,10	0,27
25	Toprak	94,83	116,30	25,64	31,44	51,16	0,14	0,39
26	Toprak	156,6	192,05	44,71	54,83	89,23	0,24	0,69
27	Toprak	147,9	181,38	42,76	52,43	85,23	0,23	0,66
28	Toprak	147,9	181,38	18,45	22,63	37,50	0,10	0,28

Tablo 14’ün Devamı

29	Toprak	139,2	170,71	39,57	48,53	79,17	0,21	0,61
30	Toprak	174	213,39	40,67	49,88	82,16	0,22	0,62
31	Toprak	156,6	192,05	47,49	58,24	96,43	0,26	0,73
32	Toprak	126,15	154,71	50,99	62,53	103,23	0,28	0,78
33	Toprak	143,55	176,05	70,86	86,90	143,60	0,39	1,09
34	Toprak	152,25	186,72	48,93	60,01	98,98	0,27	0,75
35	Toprak	156,6	192,05	21,78	26,71	45,80	0,12	0,33
36	Toprak	130,5	160,05	90,34	110,79	184,63	0,50	1,39
37	Kum	130,5	160,05	11,96	14,67	24,68	0,07	0,18
38	Kum	130,5	160,05	12,02	14,74	24,52	0,07	0,18
ORTALAMA		**127,94**	**156,90**	**28,54**	**35,01**	**58,21**	**0,16**	**0,44**

4. SONUÇ

Çalışmada Kastamonu ili Doğanyurt ve Cide ilçelerinden toplanmış 60 adet toprak ve kum numuneleri gama ışın spektroskopisi yöntemiyle HpGe dedektörü kullanılarak incelenmiştir. Yapılan radyometrik analizler sonucunda ^{238}U, ^{232}Th ve ^{40}K doğal radyonüklitlerinin aktivite konsantrasyonları hesaplanmıştır. Bu konsantrasyonlardan yararlanılarak radyum eşdeğer aktiviteleri, dış tehlike indeksleri ve gama aktivite konsantrasyon indeksleri tespit edilmiştir. Ayrıca numunelerin toplandığı yerlerde G-M sayacı kullanılarak gama dozu ölçülmüştür. Bu ölçümler kullanılarak havadaki emilmiş gama dozu ve yıllık efektif doz tespit edilmiştir. Bu değerler, toprak ve kum numunelerdeki ^{238}U, ^{232}Th, ^{40}K doğal radyonüklitlerinin aktiviteleri ile hesaplanan emilmiş gama dozu ve yıllık efektif doz ile Tablo 16.' da karşılaştırılmıştır. Tüm veriler incelendiğinde ^{238}U, ^{232}Th ve ^{40}K doğal radyonüklitlerinin ortalama aktivite konsantrasyonları Tablo 15.'de Bq/kg olarak hesaplanmıştır. Bu radyonüklitler için uluslararası literatürde dünya ortalama değerleri ^{238}U için 35, ^{232}Th için 30, ^{40}K için ise 400 Bq/kg olarak verilmektedir. (ICRP 1991)

Tablo 15. *Aktivitelerin dünya ortalamaları ile karşılaştırılması*

Numune türü	**^{238}U (Bq/kg)**	**^{232}Th (Bq/kg)**	**^{40}K (Bq/kg)**
Doğanyurt Toprak	13,37±0,91	21,46±2,44	335,39±6,21
Doğanyurt Kum	11,22±0,72	12,7±1,58	372,92±5,72
Doğanyurt Toplam	12,30±0,82	17,08±2,01	354,16±5,97
Cide Toprak	19,10±1,07	22,50±2,46	398,96±7,02
Cide Kum	9,52±0,64	7,52±1,02	149,52±3,32
Cide Toplam	14,31±0,86	15,01±1,74	274,24±5,17
Toprak Toplam	16,24±0,87	19,27±2,23	367,18±6,62
Kum Toplam	10,37±0,68	10,11±1,3	261,22±4,52
Toplam Ortalama	13,32±0,78	14,69±1,77	314,2±5,57
Dünya Ortalaması	35	30	400

Çalışmada en yüksek ^{238}U aktivitesi toprak numunelerinde 39,8 Bq/kg, kum numunelerinde 13,3 Bq/kg olarak bulunmuştur. Sonuç olarak ^{238}U aktivitesi toprak numunelerinde kum numunelere göre daha fazladır. Fakat dünya ortalamalarının altındadır. En yüksek ^{232}Th aktivitesi toprak numunelerinde 56,4 Bq/kg, kum numunelerinde 16,3 Bq/kg olarak bulunmuştur. ^{232}Th aktivitesi toprak numunelerinde kum numunelere göre daha fazladır. Fakat dünya ortalamalarının altındadır. En yüksek ^{40}K aktivitesi toprak numunelerinde 833,5 Bq/kg, kum numunelerinde 394,7 Bq/kg olarak bulunmuştur. ^{40}K aktivitesi toprak numunelerinde kum numunelere göre daha fazladır. Fakat dünya ortalamalarının altındadır.

Çalışma bölgesi için radyonüklitlerin spesifik aktiviteleri kullanılarak radyasyon tehlike parametrelerinin ortalamaları Tablo 16.'da verilmiştir.

Tablo 16. *Ortalama radyasyon tehlike parametreleri*

Numune Türü	**Ölçüm Türü**	**D (nGy/h)**	**AEDE (μSv/y)**	**Ra_{eq} (Bq/kg)**	**H_{ex} (≤ 1)**	**Iγr Bq/kg**
Doğanyurt Toprak	Yerinde Ölçüm	139,25	170,78			
Doğanyurt Toprak	Hesaplanan Değer	34,41	42,20	69,89	0,19	0,53
Doğanyurt Kum	Yerinde Ölçüm	119,02	145,96			
Doğanyurt Kum	Hesaplanan Değer	29,31	35,95	58,09	0,16	0,45
Doğanyurt Toplam	Yerinde Ölçüm	129,14	158,37			
Doğanyurt Toplam	Hesaplanan Değer	31,86	39,08	63,99	0,18	0,49
Cide Toprak	Yerinde Ölçüm	141,55	173,59			
Cide Toprak	Hesaplanan Değer	40,28	49,40	81,99	0,22	0,62
Cide Kum	Yerinde Ölçüm	112,81	138,35			
Cide Kum	Hesaplanan Değer	15,50	19,01	31,78	0,09	0,24
Cide Toplam	Yerinde Ölçüm	127,18	155,97			
Cide Toplam	Hesaplanan Değer	27,89	34,21	56,89	0,16	0,43
Tavsiye edilen değerler		57	70	370	<1	<1

Bu çalışmada Doğanyurt ve Cide ilçelerinden toplanan numuneler analiz edilerek çevresel doğal radyoaktivite belirlenmeye çalışılmıştır. Böyle çalışmaların teşvik edilmesi veya artırılarak devam etmesi radyasyon takibi ve insan sağlığına yönelik radyolojik risklerin değerlendirilmesi bakımından faydalı olacaktır. Yakın geçmişte meydana gelen Çernobil nükleer kazası gibi durumların tekrarı veya diğer durumlarda çevre etkileri geniş veri tabanı sayesinde daha etkili ve isabetli olarak hesaplanabilecektir. Ülkemizde yapımına başlanan Mersin ve Sinop nükleer enerji santrallerinden özellikle Sinop ilinin Kastamonu'ya yakınlığı düşünüldüğünde böyle çalışmaların önemi daha da artmaktadır. Ayrıca Türkiye'de yüksek dozlu doğal radyoaktivite bölgelerinin belirlenmesi, düşük doz radyasyon risklerinin daha ayrıntılı değerlendirilmesi ve radyasyon sınır değerlerinin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmalara bu tip taban seviye radyasyon düzeylerinin belirlenmesi çalışmaları fayda sağlayacaktır ve devam ettirilmelidir.

KAYNAKLAR

Abdel Hady, E.E., El-Seyed, A.M.A., Ahmed, A.A. and Hussein, A.Z. (1994). Natural radioactivity of basement younger granite rocks from the eastern desert. Radiat. Phys. Chem. Vol. 44, no.1/2, pp.223-224.

Akbulut, U. (2009). Radyoaktivite Nedir? Nasıl Keşfedildi? ODTÜ Kimya Bölümü http://www.uralakbulut.com.tr/wp-content/uploads/2009/11/radyoaktivite.pdf Erişim Tarihi: 05.04.2018.

Aydın, M.F. (2016). Adıyaman Şehir Merkezinin Doğal Radyoaktivite Düzeyinin Belirlenmesi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Doktora Tezi.

Aytekin, H. (2017). Radyasyon Fiziği, Ders Notları. Bülent Ecevit Üniversitesi Fen-Ed. Fak. Fizik Bölümü. http://fizik.beun.edu.tr/wp-content/wp-content/uploads/2013/02/F%C4%B0Z444-RADYASYON-F%C4%B0Z%C4%B0%C4%9E%C4%B0-DERS-NOTLARI-Uyumluluk-Modu-1.pdf Erişim Tarihi: 02.04.2018.

Benson, R. S. (2002). Use of radiation in biomaterials science. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, 191(1-4), 752-757.

Botkin, D. and Keller. E. (1988). Environmental Science, John Willey Sons.

Canadian Nuclear Safety Commission, (2017). Radiation Doses. http://nuclearsafety.gc.ca/eng/resources/radiation/introduction-to-radiation/radiation-doses.cfm Erişim Tairihi: 20.03.2018.

Cohen, B. (1996). Çok Geç Olmadan", Tübitak Yayınları, Ankara.

Curie, P. (1905). Radioactive substances, especially radium. Nobel lecture, 6.

Daşdağ, S. (2010). İyonlaştırıcı radyasyonlar ve kanser. Dicle Tıp Dergisi, 37(2).

Dedic S. ve Pranjic N. (2009). Lung cancer risk from exposure to diagnostic x- rays. Health Med; 3:307-13.

Demir, M (2008). Nükleer Tıp Fiziği ve Klinik Uygulamaları. Bayrak Ofset Matbaacılık Ltd Şti. İstanbul.

Doğan, B. (2011). Cr-39 Nükleer İz Dedektörleri İle Iğdır İlinde Kapalı Ortamlarda 222Rn Aktivite Konsantrasyonu Tayini Ve Ölçümlerin İstatistiksel Değerlendirilmesi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi.

Faden, R. R., Lederer, S. E. and Moreno, J. D. (1996). US medical researchers, the Nuremberg Doctors Trial, and the Nuremberg Code: A review of findings of the Advisory Committee on human radiation experiments. JAMA, 276(20), 1667-1671.

FEMA, Radiological Emergency Management - Independent Course.

Forster, L., Forster, P., Lutz-Bonengel, S., Willkomm, H. ve Brinkmann, B. (2002). Natural radioactivity and human mitochondrial DNA mutations. Proceedings of the National Academy of Sciences, 99(21), 13950-13954.

Gamow, G. (2011). Atomic energy in cosmic and human life: fifty years of radioactivity. Cambridge University Press.

Gilbert, E.S. (2009). Radiation-related risk of solid cancers appears to persist throughout life. Int J Radiation Biol; 85:467-82.

Hacıosmanoğlu, T. (2017). Doğal ve Yapay Radyasyon Kaynakları, Kişisel Doza Katkıları, Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Gülhane Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, Derleme. Nucl Med Semin 2017 (3), 166-171.

Hammer GP, Seidenbusch MC, Schneider K, et al. (2009). A Cohort Study of Childhood Cancer Incidence after Postnatal Diagnostic X-Ray Exposure. Radiation Res, 171:504-12.

Holmes-Siedle, A., and Adams, L. (1993). Handbook of radiation effects.

ICRP (2007). Publication 105. Radiation protection in Medicine. Annals of ICRP 2007; 37:1-5.

ICRP (International Commission on Radiological Protection), (1993). Protection Against Radon at Home and at Work, İnternational Commission on Radiological Protection, ICRP Pablication 65, Pergamon Press, Oxford.

ICRP (International Commission on Radiological Protection), (1991). Protection Radiological Protection, ICRP Pablication 60, Pergamon Press, Oxford.

İstanbul Tabip Odası, (2008). Türk tabipleri birliği nükleer santral istemiyor. http://www.istabip.org.tr/icerik/turk-tabipleri-birligi-nukleer-santral-istemiyor/ Erişim Tarihi: 25.04.2018.

Karam, P. A. ve Stein, B. P. (2009). Radioactivity (Science Foundations). New York: Chelsea House.

Krane, S. K. (Edit: Sarer, B.). 2001. Nukleer Fizik 1. Cilt Ders Kitabı, Birinci Baskı, Palme Yayın Dağıtım Ltd. Şti., Ankara.

L'Annunziata, M. F. (Ed.). (2012). Handbook of radioactivity analysis. Academic Press.

Özdemir, F.B. (2006). Afyon Ve Çevresindeki Kuyu Sularında Radon (Rn-222) Aktivitesi Tayini, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi.

Parker, W. J. ve Parker, E. R. (1992). U.S. Patent No. 5,090,043. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Pasachoff, N. (1996). Marie Curie and the Science of Radioactivity. New York: Oxford University Press.

Rutherford, E. (1903). XV. The magnetic and electric deviation of the easily absorbed rays from radium. The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science, 5(26), 177-187.

Schauer, D. A. and Linton, O. W. (2009). National Council on Radiation Protection and Measurements report shows substantial medical exposure increase. Radiology, 253(2):293-6.

Şeker, S. ve Çerezci, O. (1997). Çevremizdeki Radyasyon ve Korunma Yöntemleri, Boğaziçi Üniversitesi Yayınları, İstanbul.

Timashev, S. F. (2015). Radioactive decay as a forced nuclear chemical process: Phenomenology. Russian Journal of Physical Chemistry A, 89(11), 2072-2083.

Thorne, M. C. (2003). Background radiation: natural and man-made. Journal of Radiological Protection, 23(1), 29.

Turhan, A. (2008). Borlamanın paslanmaz çeliğin radyasyon zırhlama özelliğine etkisinin araştırılması. Doctoral dissertation, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (2009). Radyasyon, İnsan ve Çevre: Bilgi Dokümanları TAEK http://www.taek.gov.tr/tr/belgeler-formlar/yayinlar/bilgi-dokumanlari/Radyasyon-%C4%B0nsan-ve-%C3%87evre/lang,tr-tr/ Erişim Tarihi: 20.03.2018.

Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (2018). Doğal Radyasyon Kaynakları: Bilgi Dokümanları TAEK http://www.taek.gov.tr/tr/2016-06-09-00-43-46/1087-dogal-radyasyon-kaynaklari.html Erişim Tarihi: 20.03.2018.

TAEK, Nükleer Tekniklerin Uygulamaları, http://www.taek.gov.tr/bilgi-kosesi/171-nukleer-tekniklerin-uygulamalari/

UNSCEAR (United Nations scientific committee on the effects of atomic radiations). (1991,1993). Sources and effects of ionizing radiation, report to the general

assembly, annexures, vol. 1, Annex B: Exposures from natural radiation sources, United Nations, New York.

U.S. National Regulatory Commission, Man Made Sources, http://www.nrc.gov/about-nrc/radiation/around-us/sources/man-made-sources.html.

Ünlü, B. (2009). Radyasyon Güvenliği: Eğitim Materyali http://www.emo.org.tr/ekler/57f72f1ce384ee5_ek.pdf Erişim Tarihi: 12.04.2018.

Van Melsen, A. G. (2004). From atomos to atom: The history of the concept atom. Courier Corporation.

ÖZGEÇMİŞ



Adı Soyadı : Ahmet Timur DEMİRYUĞURAN
Doğum Yeri ve Yılı :İstanbul / 1975
Medeni Hali :Bekar
Yabancı Dili :İngilizce
E-posta :tdemiryuguran@hotmail.com

Eğitim Durumu

Lise : Şişli Endüstri Meslek Lisesi
Lisans : İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü
Yüksek Lisans :Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı

Mesleki Deneyim

İş Yeri : 10 Aralık Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi