

**T.C.  
NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**NEVŞEHİR İLİNDE KANSER YOĞUNLUĞU GÖZLENEN  
YERLEŞİM BİRİMLERİNİN YÜZEY TOPRAKLARININ  
RADYOLOJİK AÇIDAN İNCELENEREK YILLIK ETKİN  
DOZ EŞDEĞERLERİNİN BULUNMASI**

**Tezi Hazırlayan  
Halil BAŞARAN**

**Tez Danışmanı  
Doç. Dr. Meltem DEĞERLİER GUIOT**

**Fizik Anabilim Dalı  
Yüksek Lisans Tezi**

**Mayıs 2019  
NEVŞEHİR**



**T.C.  
NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**NEVŞEHİR İLİNDE KANSER YOĞUNLUĞU GÖZLENEN  
YERLEŞİM BİRİMLERİNİN YÜZEY TOPRAKLARININ  
RADYOLOJİK AÇIDAN İNCELENEREK YILLIK ETKİN  
DOZ EŞDEĞERLERİNİN BULUNMASI**

**Tezi Hazırlayan  
Halil BAŞARAN**

**Tez Danışmanı  
Doç. Dr. Meltem DEĞERLİER GUIOT**

**Fizik Anabilim Dalı  
Yüksek Lisans Tezi**

**Mayıs 2019  
NEVŞEHİR**

Doç.Dr. Meltem DEĞERLİER GUIOT danışmanlığında **Halil BAŞARAN** tarafından hazırlanan “**Nevşehir İlinde Kanser Yoğunluğu Gözlenen Yerleşim Birimlerinin Yüzey Topraklarının Radyolojik Açıdan İncelenerek Yıllık Etkin Doz Eşdeğerlerinin Bulunması**” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalında **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

24 / 05 / 2019

## JÜRİ

Başkan : Doç. Dr. Erhan ESER



Üye : Dr. Öğr. Üyesi Hilal İNCEBAY



Üye : Doç. Dr. Meltem DEĞERLİER GUIOT



## ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 03.07.2019 tarih ve 2019-40-397 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

05.07.2019  
Prof. Dr. Şahlan ÖZTÜRK  
Enstitü Müdürü



## TEZ BİLDİRİM SAYFASI

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada yer alan bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu ve bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.



Halil BAŞARAN

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim ve tez çalışmam süresince tüm bilgilerimi benimle paylaşmaktan kaçınmayan, her türlü konuda desteğini benden esirgemeyen ve tezimde büyük emeği olan, bilgi dağarcığıma çok şey katan Sayın Hocam Doç. Dr. Meltem DEĞERLİER GUIOT'a,

Maddi ve manevi olarak her zaman desteklerini hissettiren deđerli AİLEME,

Teknik ve idari yardımlarından dolayı Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Rektörlüğü'ne, Fen-Edebiyat Fakültesi Dekanlığı'na, Fizik Bölüm Başkanlığı'na teşekkür ederim.

**NEVŞEHİR İLİNDE KANSER YOĞUNLUĞU GÖZLENEN YERLEŞİM  
BİRİMLERİNİN YÜZEY TOPRAKLARININ RADYOLOJİK AÇIDAN  
İNCELENEREK YILLIK ETKİN DOZ EŞDEĞERLERİNİN BULUNMASI**

**(Yüksek Lisans Tezi)**

**Halil BAŞARAN**

**NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Mayıs 2019**

**ÖZET**

Bu çalışmada Nevşehir İline bağlı kanser yoğunluğunun fazla görüldüğü bazı yerleşim birimlerinin yüzeysel toprağı radyolojik açıdan incelenmiş ve yüksek değere sahip olanlarının mineralojik yapısını belirlemek amacıyla X ışını difraksiyon analizleri yapılmıştır. Toprak örneklerinin ortalama değerleri  $^{226}\text{Ra}$  için 45.75 Bq/kg,  $^{232}\text{Th}$  için 49.65 Bq/kg ve  $^{40}\text{K}$  için 572.36 Bq/kg olarak bulunmuştur. Ayrıca her bir örnek için havada soğurulmuş doz oranları, yıllık etkin doz eşitlikleri, radyum eşdeğer aktivite indisi, iç ve dış ışınlama indisleri, temsili gama seviye indisi, alfa ve gama indisleri ve yaşam boyu kanser riskleri hesaplanmıştır. Ortalama havada soğurulmuş gama doz oranı 74.67 nGy/h, yıllık etkin doz eşdeğeri 0.09 mSv/y, radyum eşdeğer aktivite indisi 159.65 Bq/kg, dış ışınlama indisi 0.4, iç ışınlama indisi 0.6, temsili gama seviye indisi 1.18, alfa indisi 0.23, gama indisi 0.6 ve yaşam boyu kanser riski  $0.32 \times 10^{-3}$  olarak hesaplanmıştır.

***Anahtar Kelimeler: Nevşehir, Doğal Radyoaktivite, Gama, Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri, Kanser Riski***

**Tez Danışmanı: Doç.Dr. Meltem DEĞERLİER GUIOT**

**Sayfa Adeti:68**

**RADIOLOGICAL INVESTIGATION OF SURFACE SOILS AND  
ASSESSMENT OF ANNUAL EFFECTIVE DOSES OF INTENSE CANCER  
REGIONS IN NEVSEHIR**

**(M.Sc. Thesis)**

**Halil BAŞARAN**

**NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ UNIVERSITY  
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

**May 2019**

**ABSTRACT**

In this work, It was investigated some regions as radiological where densely encounter cancer illness and ones which have high results were analyzed as mineralogical by X-ray diffraction method. Average values are found out 45.75 Bq/kg for  $^{226}\text{Ra}$ , 49.65 Bq/kg for  $^{232}\text{Th}$ , 572.36 Bq/kg for  $^{40}\text{K}$ . Besides absorbed gamma dose rates in air, annual effective doses, radium equivalent activity, internal and external hazard indexes, representative gamma level index, alpha and gamma index and excess life time cancer risks were calculated for each soil samples. Mean values are calculated 74.67 nGy/h for absorbed gamma dose rates in outdoor air, 0.09 mSv/y for annual effective doses, 159.65 Bq/kg for radium equivalent activity, 0.4 for external hazard index, 0.6 for internal hazard index, 1.18 for representative gamma level index, 0.23 for alpha index, 0.6 for gamma index and  $0.32 \times 10^{-3}$  for excess life time cancer risks.

***Key Words: Nevsehir, Natural Radioactivity, Gamma, Annual Effective Dose Equivalent, Cancer Risk***

**Thesis Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Meltem DEĞERLİER GUIOT**

**Page Number : 68**



## İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY SAYFASI .....	i
TEZ BİLDİRİM SAYFASI .....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	v
İÇİNDEKİLER .....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	ix
1. BÖLÜM .....	1
GİRİŞ .....	1
2. BÖLÜM .....	3
2. GENEL BİLGİLER .....	3
2.1. Radyoaktivite.....	3
2.1.1. Radyoaktif Bozunma Kanunu .....	9
2.1.1.1. Kalıcı Denge.....	10
2.1.1.2. Kısa Süreli Denge.....	11
2.1.1.3. Bozunma Çeşitleri .....	11
2.1.1.3.1. Alfa ( $\alpha$ ) Bozunması .....	13
2.1.1.3.3. Gama Bozunması .....	18
2.2. Gama Işınının Madde İle Etkileşimi.....	19
2.2.1. Fotoelektrik Olay.....	19
2.2.2. Compton Olayı .....	20
2.2.3. Çift Oluşumu .....	21

2.3.	Doğal Radyoaktivite.....	22
2.3.1.	Kozmojenik Kaynaklar .....	22
2.3.1.1.	Birincil Radyasyonlar.....	24
2.3.1.2.	İkincil Radyasyonlar.....	25
2.3.2.	Karasal Kaynaklar .....	25
2.4.	Düşük Doz İyonize Radyasyonun Biyolojik Etkileri .....	27
2.4.1.	Genetik Etkiler .....	27
2.4.2.	Kanserojen Etkiler.....	28
2.4.3.	Embriyo ve Fetüs Üzerindeki Etkisi .....	28
2.4.4.	İnsan Hücresi Üzerine Etkileri .....	29
2.4.4.1.	Hücre Zarına Etkisi .....	29
2.4.4.2.	Sitoplazmaya Olan Etkisi .....	29
2.4.4.3.	Hücre Çekirdeğinde Meydana Getirdiği Etki.....	29
2.5.	Çevresel İyonize Radyasyona Maruz Kalma Yolları .....	29
2.6.	Radyoaktif Nüklitlerin İnsan Vücudu İçerisinde İzlediği Yollar .....	31
3.	BÖLÜM .....	34
3.	MATERYAL VE METOD.....	34
3.1.	Deneylerde Kullanılan Detektörler .....	34
3.1.1	Yarı İletken Detektörlü Sayıcılar.....	34
3.1.1.1.	Gama Spektrometrik Analiz Sistemi.....	35
3.1.1.3.	Örneklerin Gama Spektrometrik Analiz İçin Hazırlanması .....	37
3.1.2.	X Işını Kırınım .....	38

3.1.2.1.	X Işını Kırınımı Analizi İçin Örneklerin Hazırlanması.....	39
4.	BÖLÜM .....	40
4.	BULGULAR VE TARTIŞMALAR .....	40
4.1.	Radyum Eşdeğer Aktivite İndisi ( $R_{aeq}$ ).....	44
4.2.	Havada Soğurulan Gama Doz Oranı .....	46
4.3.	Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri .....	47
4.4.	Dış ve İç Işınlama İndisleri.....	49
4.5.	Temsili Gama Seviye İndisi .....	50
4.6.	Alfa İndisi.....	51
4.7.	Gama İndisi .....	52
4.8.	Yıllık Gonadal Doz Esitliği (AGDE) .....	54
4.9.	Yaşam Boyu Kanser Riski.....	54
4.10.	Farklı Vücut Doku Ve Organlarındaki Etkin Doz Oranı.....	55
4.11.	Toprak Örnekleri İçin X Işını Kırınımı .....	56
5.	BÖLÜM .....	58
5.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	58
	KAYNAKÇA.....	64
	ÖZGEÇMİŞ .....	68

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1	Doğal kaynaklardan dolayı oluşan ortalama radyasyon dozu.....	2
Tablo 2.1	Doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından alınan örneklerin normal bir bölgedeki ortalama yıllık etkin doz eş değerleri.....	4
Tablo 2.2	Doğal bozunum türleri .....	12
Tablo 2.3.	Türkiye’de toprakta ölçülen radyoaktivite ve dünya ortalaması .....	26
Tablo 2.4.	Doğal radyasyonun sonucu olarak ortaya çıkan doz oranları .....	27
Tablo 2.5.	Bazı yiyeceklerde bulunan potasyum ve radyum oranları. ....	31
Tablo 3.1.	Canberra HpGe gama spektrometresinin standart kalibrasyon kaynağı.....	37
Tablo 4.1.	Alınan toprak örneklerindeki Ra-226, Th-232, K-40 ve Cs-137 aktivite konsantrasyon değerleri .....	41
Tablo 4.2.	<sup>226</sup> Ra, <sup>232</sup> Th, <sup>40</sup> K ve <sup>137</sup> Cs için hesaplanan istatistiki değerler.....	44
Tablo 4.3.	Toprak örnekleri için hesaplanan radyum eşdeğer aktivite indisleri (Ra <sub>eq</sub> ), gama doz oranları (D <sub>R</sub> ), yıllık etkin doz eşdeğerleri.....	45
Tablo 4.4.	İç, dış ışınlama indisi, temsili gama seviyesi, alfa ve gama indisi değerleri	48
Tablo 4.5.	AGDE- ELCR Farklı vücut ve organlardaki etkin doz oranı.....	53
Tablo 4.6.	Farklı doku ve organlar için doz dönüşüm faktörleri [8].....	55
Tablo 4.7.	Bazı toprak örneklerinin X ışını kırınımı sonuçları .....	57
Tablo 5.1.	Ra-226, Th-232, K-40 aktivite konsantrasyon değerlerinin diğer ülke ve Türkiyedeki bazı şehir sonuçlarıyla kıyaslanması.....	60
Tablo 5.2.	Radyasyon İndisleri için tavsiye edilen değerler .....	61

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Uranyum Bozunum Serisi .....	6
Şekil 2.2. Aktinyum Serisinin Parçalanması .....	7
Şekil 2.3 Toryum Bozunma Serisi .....	8
Şekil 2.4. Çekirdek sayısının yarı ömüre bağlı olarak değişimi.....	10
Şekil 2.5. $^{138}\text{T} \longrightarrow ^{132}\text{I} \longrightarrow ^{132}\text{Xe}$ zincirleme bozunumunda $^{132}\text{Te}$ ve $^{132}\text{I}$ aktivitesinin zamana bağlı değişim grafiği.....	11
Şekil 2.6. Çekirdek yakınındaki potansiyel bariyeri.....	14
Şekil 2.7. Alfa yayınlayan çekirdekler(sarı renkli olanlar).....	14
Şekil 2.8. Alfa Bozunması Örneği .....	15
Şekil 2.9. $\beta^-$ bozunumu .....	16
Şekil 2.10. $\beta^+$ bozunumu örneği .....	17
Şekil 2.11. Elektron yakalama örneği.....	18
Şekil 2.12.Kobalt elementi için gama bozunumu örneği. ....	18
Şekil 2.13. (a)Fotoelektrik olayın şematik gösterimi (b) Karakteristik bir X ışınımı yayımlanması örneği .....	19
Şekil 2.14. Compton Olayı. Uyarıcı bir foton elektronla çarpışır ve ona enerji verir. Foton ve elektron $\Phi$ ve $\theta$ açısıyla saçılır .....	20
Şekil 2.15. Çift oluşumu .....	21
Şekil 2.16. Soğurulan pozitronun yok oluşu.....	22
Şekil 2.17. Yüksekliğe bağlı olarak 1 saatte alınan kozmik ışınlardan kaynaklı radyasyonun değişim miktarı .....	24
Şekil 2.18. Radyasyonun insanlara geçiş yolları .....	30
Şekil 2.19. Radyoaktif nüklitlerin vücuda alınışı, atılışı ve vücutta transferi.....	32
Şekil 3.1. Yarı iletken detektör .....	34
Şekil 3.2. Katı hal detektörü.....	35

Şekil 3.3. Ge detektörlü gama spektrometresi cihazının çalışma düzeneği.....	36
Şekil 3.4. Saf Ge detektörlü gama spektrometrik cihazı çalışma düzeneği.....	36
Şekil 3.5. Rigaku Miniflex 600 cihazı.....	38
Şekil 3.7. Rigaku cihazının teknik özellikleri.....	39
Şekil 4.1. Toprak örneklerindeki Ra-226 aktivite konsantrasyon değerleri .....	42
Şekil 4.2. Toprak örneklerindeki Th-232 aktivite konsantrasyon değerleri .....	42
Şekil 4.3. Toprak örneklerindeki K-40 aktivite konsantrasyon değerleri .....	43
Şekil 4.4. <sup>137</sup> Cs radyoaktivite konsantrasyon değerleri .....	43
Şekil 4.5. Radyum eşdeğer aktivite indisleri .....	46
Şekil 4.6. Alınan örneklerdeki havada soğurulan gama doz oranları.....	47
Şekil 4.7. Alınan örneklerin AEDE grafiği.....	48
Şekil 4.8. H <sub>ex</sub> -H <sub>in</sub> değerleri.....	50
Şekil 4.9. Toprak örnekleri için temsili gama seviyesi indisi grafiği.....	51
Şekil 4.10. Hesaplanan alfa indisi değerleri grafiği.....	52
Şekil 4.11. Örneklerdeki gama indisi değerleri grafiği.....	53
Şekil 4.12. Yıllık gonadal doz eşitlikleri.....	54
Şekil 4.13. Yaşam boyu kanser riski grafiği.....	55
Şekil 5.1. Toprak örneklerindeki Ra-226 ile Th-232 aktivite konsantrasyonları karşılaştırması.....	59
Şekil 5.2. Toprak örneklerindeki Ra-226, Th-232 ve K-40 aktivite konsantrasyonları karşılaştırması.....	59
Şekil 5.3. Yaşam boyu kanser indisleri ve limit değerleri karşılaştırması.....	62
Şekil 5.4. Gonadal doz oranları ve limit değerlerinin alınan örneklerde karşılaştırılması.....	63

## KISALTMA VE SİMGELER

<b>UNSCEAR</b>	: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
<b>U</b>	: Uranyum
<b>Th</b>	: Toryum
<b>Ra</b>	: Radyum
<b>Rn</b>	: Radon
<b>K</b>	: Potasyum
<b>Sv</b>	: Sievert. Eşdeğer doz birimi
<b>Bi</b>	: Bizmut
<b>μ</b>	: Mikro ( $10^{-6}$ )
<b>Pb</b>	: Kurşun
<b>Po</b>	: Polonyum
<b>Tl</b>	: Talyum
<b>Bq</b>	: Becquerel, radyoaktivite birimi
<b>λ</b>	: Bozunma sabiti, dalga boyu
<b>t</b>	: Zaman
<b>α</b>	: Alfa
<b>β</b>	: Beta
<b>EC</b>	: Elektron yakalama
<b>SF</b>	: Kendliğinden fisyon
<b>n</b>	: Nötron
<b>p<sup>+</sup></b>	: proton
<b>e<sup>-</sup></b>	: Elektron
<b>He</b>	: Helyum
<b>Z</b>	: Atom numarası
<b>Q</b>	: Bozunma sırasında açığa çıkan enerji
<b>eV</b>	: Elektrovolt
<b>m</b>	: Kütle
<b><math>\bar{\nu}</math></b>	: Antinötrino
<b>e<sup>+</sup></b>	: Pozitron
<b>ν</b>	: Nötrino
<b>γ</b>	: Gama

<b><math>\epsilon</math></b>	: Elektron yakalama
<b>O</b>	: Oksijen
<b>N</b>	: Azot
<b>Be</b>	: Berilyum
<b>Li</b>	: Lityum
<b>Co</b>	: Kobalt
<b><math>T_e</math></b>	: Elektronun kinetik enerjisi
<b><math>E_\gamma</math></b>	: Foton enerjisi
<b><math>B_e</math></b>	: Elektronun bağlanma enerjisi
<b><math>\Theta</math></b>	: Fotonun saçılma açısı
<b><math>\theta</math></b>	: Elektron saçılma açısı
<b>h</b>	: Planck Sabiti
<b>c</b>	: Işık hızı
<b><math>m_0</math></b>	: Durgun kütle
<b><math>^3\text{H}</math></b>	: Tritiyum
<b>Rb</b>	: Rubidyum
<b>La</b>	: Lantan
<b>Sm</b>	: Samaryum
<b>Lu</b>	: Lutesyum
<b>Gy</b>	: Gray. Soğrulmuş doz birimi
<b>Ci</b>	: Curie. Aktivite özel birimi
<b>p(piko)</b>	: Piko. Alt birimç ( $10^{-12}$ )
<b>I</b>	: İyot



## 1. BÖLÜM

### GİRİŞ

Radyasyon etkilediği canlı hücrelere zarar verir. Bu hücrelerin bir kısmı ölürken bir kısmı da mutasyona uğrar. Çoğu organ ve doku bu önemli sayıdaki hücre kaybından etkilenmez. Ancak yeteri kadar büyük kayıplar, organlara gözlemlenebilecek ölçüde zarar verebilir. Hatta bu zarar organların ölümüne neden olabilir. Bu tür zararlar belirli eşik seviyesinin üzerinde radyasyona maruz kalmış bireylerde görülür. Radyasyon hasarının olduğu bazı hücreler ölmeyebilir ancak değişime uğrarlar. Bu tür hasarlar vücut tarafından onarılabilir. Eğer hasarlar tamamen onarılmazsa bu hücrel değişim ilerleyerek sonuçta kansere neden olabilir. Hücrelerde meydana gelen bu mutasyon gelecek nesillere aktarılabilir ve kalıtsal hastalıklara neden olabilir.

Radyasyon, lösemnin pek çok türü ve akciğer, karaciğer ve meme kanseri gibi bazı organ kanserleri ile de ilişkilidir.

Yeryüzünde yaşayan her canlı radyasyona maruz kalır. Kozmik ışınlar ve yerküre ile insanoğlunun vücudunda doğal bir şekilde oluşan radyoaktif maddeler doğal radyasyonun kaynağını oluştururlar. İnsanlar bu kaynaklar nedeniyle hem dış hem de iç kaynaklı radyasyondan etkilenmektedirler.  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve bunlar bozunuma uğradıklarında meydana gelen  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{222}\text{Rn}$  ve  $^{235}\text{U}$ ,  $^{40}\text{K}$  elementleri doğal radyasyona maruz kalmamızın en büyük nedenleridir. İnsanoğlu çeşitli faktörlere bağlı olarak değişmekle birlikte doğal kaynaklardan dolayı yaklaşık olarak 2,4 mSv yıllık dozdan etkilenmektedir. Bu faktörler yaşam standartlarına, yaşanan bölgenin fiziki veya coğrafi özelliklere bağlı olarak değişebilir [41]. Örneğin, volkanik kayalardaki radyasyon miktarı tortul kayalara göre daha fazladır [11]. Bir yerdeki toprak, su ve havanın doğal radyoaktivitesi belirlendiğinde o bölge radyolojik açıdan incelenmiş olmaktadır [21].

Bu çalışmadaki amaç Nevşehir bölgesinde kanser yoğunluğu gözlenen yerleşim yerlerindeki yüzey topraklarının radyolojik açıdan incelenerek bu bölgelerin doğal radyoaktivitesini belirlemek ve bulunan sonuçlar doğrultusunda bu bölgelerde yaşayan kişilerin, üzerinde yaşadıkları topraktan aldıkları radyasyon miktarlarının yıllık etkin doz eşdeğerlerinin bularak bazı radyolojik risk faktörlerini hesaplamaktır.

Tablo 1.1 Doğal kaynaklardan dolayı oluşan ortalama radyasyon dozu [41]

Kaynak	<i>Dünya Çapında Ortalama Yıllık Etkin Doz (mSv)</i>	<i>Tipik Aralık(mSv)</i>
<b>Dışarıdan maruz kalınan</b>		
Kozmik Işınlr	0.4	0.3-1.0 <sup>a</sup>
Karasal Gama Işınları	0.5	0.3-0.6 <sup>b</sup>
<b>İçeriden Maruz Kalınan</b>		
Solunum Yoluyla( Çoğunlukla Radon)	1.2	0.2-10 <sup>c</sup>
Sindirim Yoluyla	0.3	0.2-0.8 <sup>d</sup>
Toplam	2.4	1-10

## 2. BÖLÜM

### 2. GENEL BİLGİLER

#### 2.1. Radyoaktivite

X ışınları 1895 yılında Röntgen tarafından bulunmuştu. Ertesi yıl Henry Becquerel uranyumun bazı tuzlarının kendiliğinden delici ışınlar yaydığını ve bu ışınların başka maddelerden geçerek fotoğraf filmi üzerine etki ettiğini belirledi. Bu keşif radyoaktivite olarak adlandırılır.

Hidrojen atomunun çekirdeği hariç bilinen tüm atomların çekirdekleri proton ve nötronlardan oluşur. Atom çekirdeklerinin kararlı olabilmesi için nötron/proton oranı bir veya bire yakın bir değerde olmalıdır. Bu oran çekirdek kararlılığındaki en önemli etkidir. Buradan çıkan sonuç hafif çekirdeklerdeki nötron ve proton sayısı hemen hemen birbirine eşittir. Bu oran ağır çekirdeklerde giderek artmaktadır. Bu oran arttığında atom numarası dolayısıyla da proton sayısı arttığı için, protonların arasındaki itme kuvvetini yenmek için daha fazla nötron olması gerektiği sonucuna ulaşılır. Ancak kararlı bir çekirdekte bulunabilecek maksimum proton sayısı bellidir ve bu sınıra Bizmut (Bi) elementinde ulaşılır. Dolayısıyla da Bi elementinden daha ağır çekirdeğe sahip olan atomların hepsi kararsızdır. Bu çekirdekler kararlı bir çekirdek olana kadar sürekli olarak bozunmaya uğrarlar. Kararsız çekirdeklerin kararlı çekirdeklere dönüşmeleri olayına radyoaktivite denir. Bu olay sırasında kararsız çekirdek başka bir çekirdeğe dönüşür ve bu sırada ışımaya yapar. Bu ışımalar sonucu ortaya çıkan dalga, parçacık ya da foton olarak adlandırılan enerji paketleri ile yayılan enerjiye de radyasyon denir [5].

Atom çekirdeğinin yapısının belirlenmesinde, dünyanın kaç yaşında olduğunun yaklaşık olarak belirlenmesi gibi çalışmalarda, doğal radyoaktiviteden yararlanılır. Günümüzde doğal radyoaktivite düzeylerinin belirlenmesi çalışmaları, nükleer enerjinin daha fazla kullanılması ve teknolojik gelişmelerin sonucu olarak meydana gelen radyasyonun, çevreye ve canlılara verdiği zararın belirlenebilmesi amacıyla dünyanın her bölgesinde artmıştır [12].

Herhangi bir radyoaktif kazaya maruz kalmadıkça (nükleer santralde sızıntı olması gibi), en fazla radyasyon doğal radyasyon kaynaklarından alınmaktadır. Doğal radyasyon kaynakları ile yapay radyasyon kaynaklarından alınan yıllık ortalama etkin doz eşdeğerleri normal bir bölge için Tablo 2.1’de verilmiştir [40].

Tablo 2.1 Doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından alınan örneklerin normal bir bölgedeki ortalama yıllık etkin doz eş değerleri [40].

IŞINLAMA KAYNAKLARI	YILLIK ETKİN DOZ EŞDEĞERİ (μSv)		
	DIŞ IŞINLAMA	İÇ IŞINLAMA	TOPLAM
<b>Kozmik Işımlar:</b>			
İyonlaştırıcı Bileşenler	300		370
Nötron Bileşenleri	55		
Kozmojenik çekirdekler		15	
<sup>40</sup> U	150	180	330
<sup>87</sup> Rb		6	6
<sup>238</sup> U			1340
<sup>238</sup> U → <sup>234</sup> U		5	
<sup>230</sup> Th		7	
<sup>226</sup> Ra	100	7	
<sup>222</sup> Rn → <sup>214</sup> Po		1100	
<sup>210</sup> Pb → <sup>210</sup> Po		120	
<sup>232</sup> Th			
<sup>232</sup> Th	160	3	340
<sup>228</sup> Ra → <sup>224</sup> Ra		13	
<sup>220</sup> Rn → <sup>208</sup> Tl		160	
TOPLAM	800	1600	
YAPAY KAYNAKLAR			600

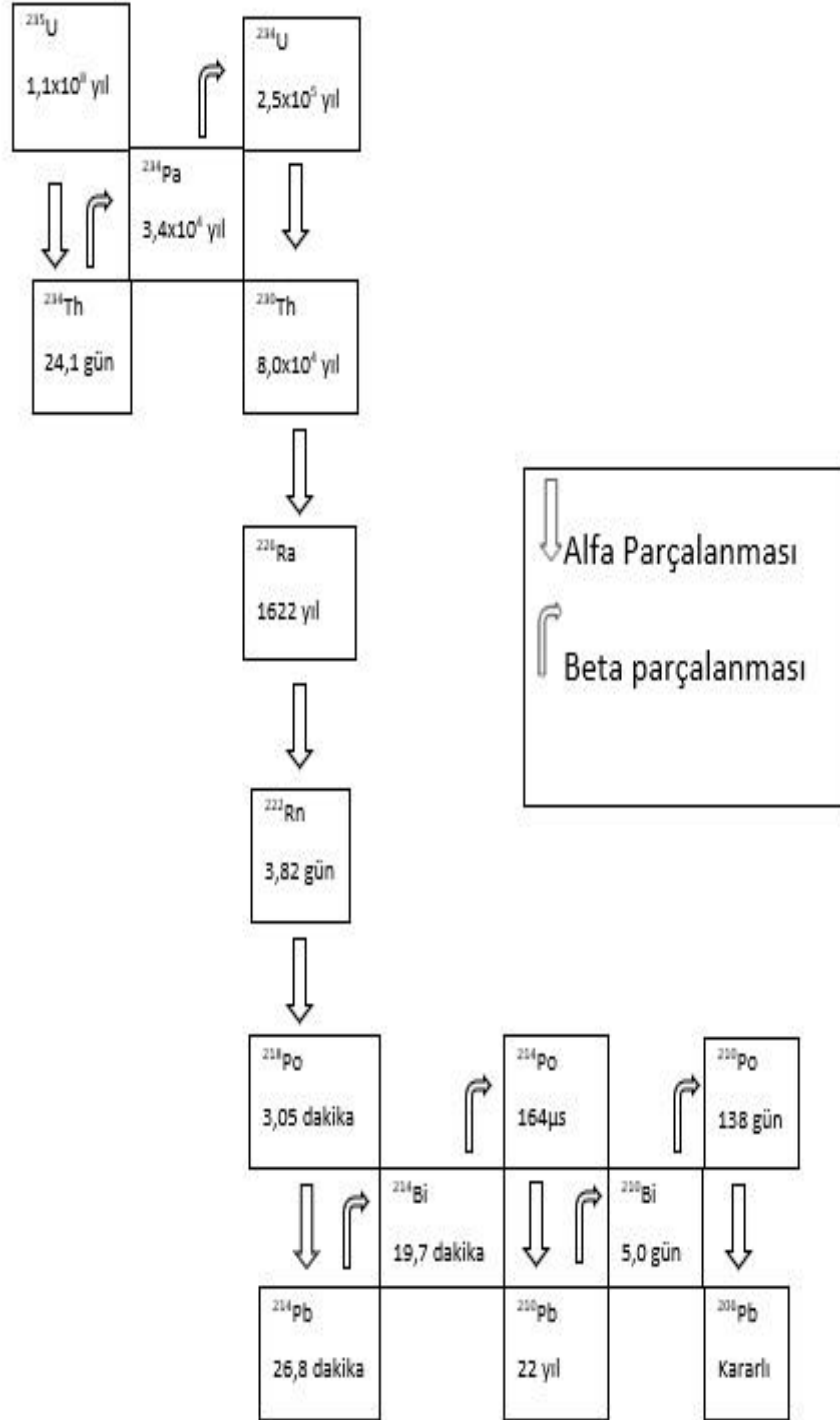
Doğal şekilde kendiliğinden meydana gelen radyoaktivite, canlı olsun veya olmasın tüm varlıklarda gözlemlenebilir [18]. İnsanlar ve diğer canlılar sürekli olarak yer kabuğu ve

uzay orijinli radyasyondan devamlı olarak etkilenirler. Doğada bulunan radyoaktif çekirdeklerin sayısı yaklaşık olarak 340 dolayındadır. Ağır radyoaktif elementlerin içerisinde bunların 70 tanesi bulunmaktadır. Atom numarası 82 den büyük olan elementler radyoaktif özelliktedirler. Evrenin ilk oluştuğu anlarda pek çok izotopun radyoaktif olduğu düşünülmektedir. Bu sürecin birkaç milyon yıl sürdüğü ve yarı ömrü kısa olan radyoizotopların bu sürede ömürlerini bitirdikleri için kalmadıkları düşünülmektedir. Bozunumunu tamamlamayan ve hala mevcut olan radyoizotopların hepsinin yarı ömürlerinin evrenin ömrüyle kıyaslanabilecek kadar büyük olduğu ve bu radyoizotopların bozunumlarının hala devam ettiği kabul edilmektedir [23].

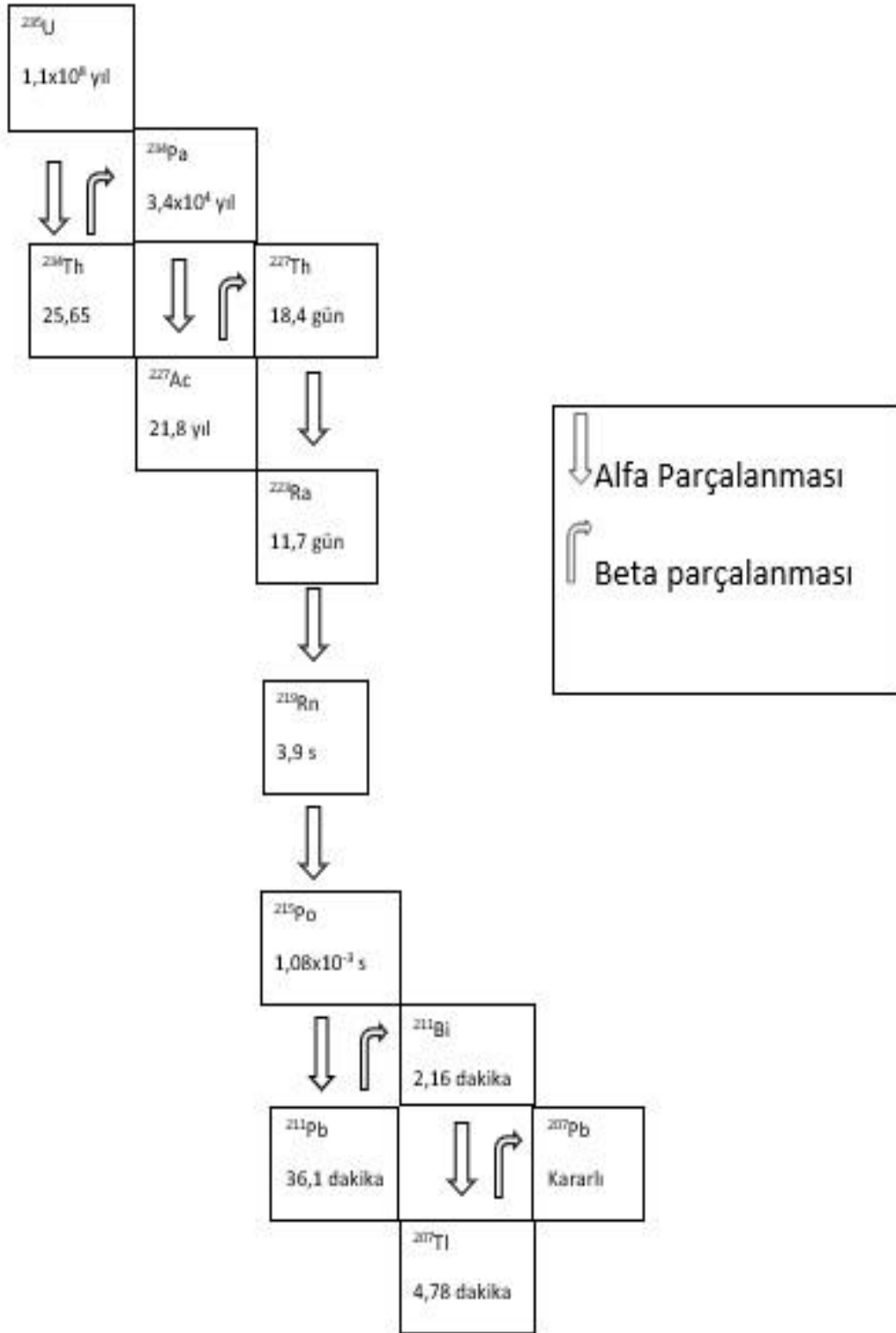
Ağır elementlerin oluşturduğu doğal radyoaktif izotopları 3 bölümde inceleyebiliriz.

- a) Uranyum Serisi
- b) Toryum Serisi
- c) Aktinyum Serisi

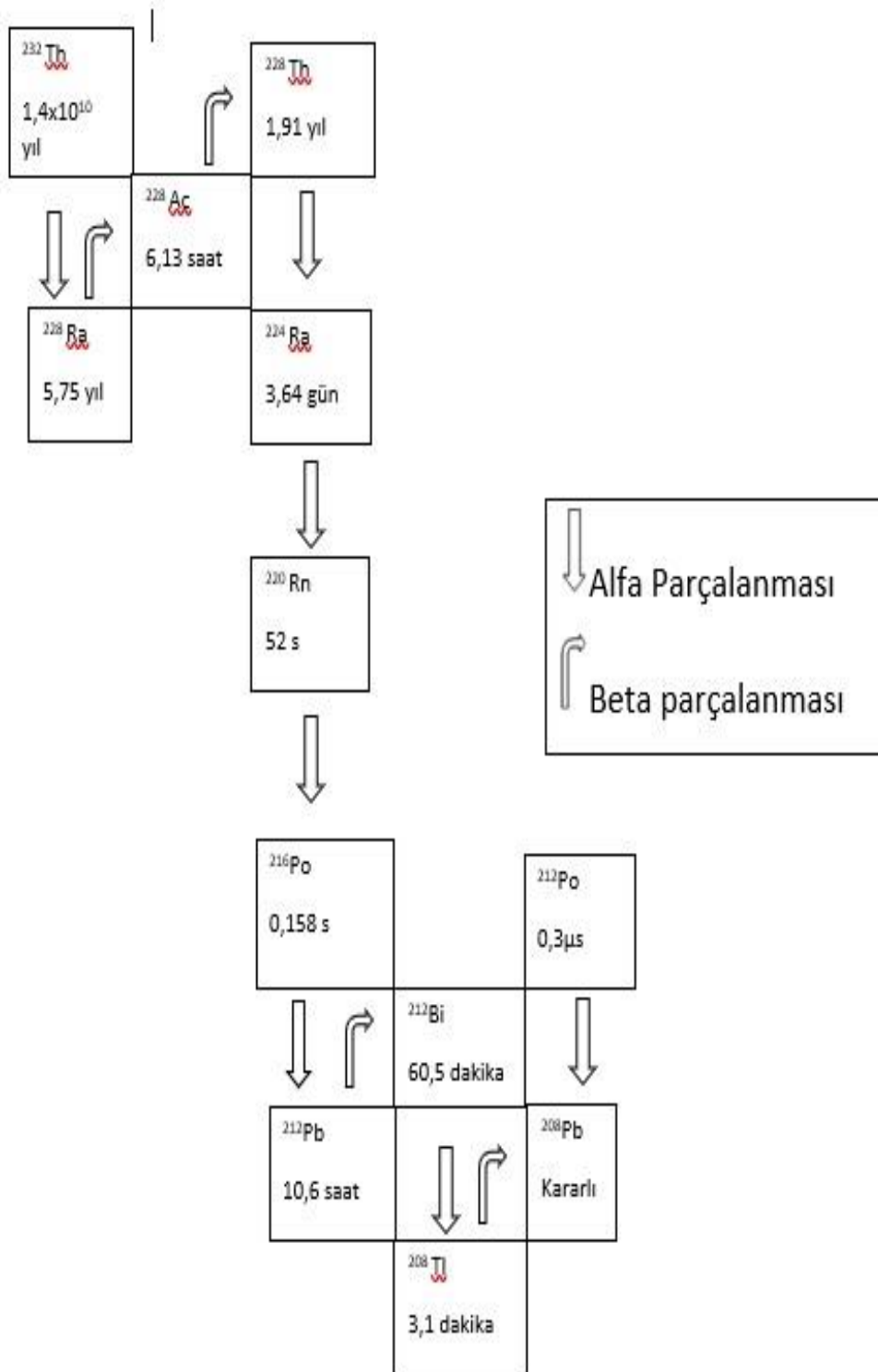
Uranyum serisi  $^{238}\text{U}$  kaynaklı, Aktinyum serisi ise  $^{235}\text{U}$  kaynaklıdır. Toryum serisi ise  $^{232}\text{Th}$  kaynaklıdır. Bu seriler ve bozulma ürünleri Şekil 2.1, 2.2 ve 2.3'te verilmektedir [7]. Ayrıca  $^{214}\text{Pu}$  orijinli Neptünyum serisinin de dördüncü bir aile olduğu ve bir zamanlar var olduğu zannedilmektedir. Bu serinin elementlerinin yarı ömürlerinin oldukça kısa olduğu bilinmektedir. Neptünyum serisinin bilinen tek elementi  $^{209}\text{Bi}$  'dur ve yarı ömrü  $2,7 \times 10^{17}$  yıldır [32]. Bu ağır radyoaktif elementlerden farklı bir şekilde tek izotopa sahip ve kendine has özelliğe sahip olan doğal radyoaktif çekirdekler de vardır.  $^{40}\text{K}$  bu gurubun en önemli olanlarından. Temel doğal radyasyon seviyesine olan katkısı çok fazladır [20].



Şekil 2.1. Uranyum Bozunum Serisi [10]



Şekil 2.2. Aktinyum Serisinin Parçalanması [10]



Şekil 2.3.Toryum Bozunma Serisi [10]



### 2.1.1. Radyoaktif Bozunma Kanunu

Bütün radyoaktif çekirdekler kendilerine özgü bir bozunma şekline sahiptirler. Karasız atom çekirdeğinin alfa, beta veya gama gibi bir parçacık ya da elektromanyetik radyasyon yayınlarak başka bir çekirdeğe dönüşerek kararlı duruma gelmesi olayına radyoaktif bozunma adı verilir. Radyoaktif çekirdeklerin parçalanması tamamen rastgeledir. Hangi çekirdeğin ne zaman parçalanacağını önceden bilemeyiz. Bir çekirdeğin birim zamandaki bozunma olasılığı bellidir. Buna bozunma sabiti denir ve  $\lambda$  ile gösterilir. Her çekirdeğin kendine ait bir bozunma sabiti vardır.

N tane bozunuma uğramamış radyoaktif çekirdekten dt zaman aralığında bozunan çekirdek sayısı dN, t anında var olan radyoaktif çekirdek sayısı N ile orantılıdır.

$$dN = -\lambda N dt \quad (2.1)$$

(-) işareti zamanla radyoaktif çekirdek sayısının azalacağını göstermektedir.  $\lambda$  ise bozunma sabitidir.

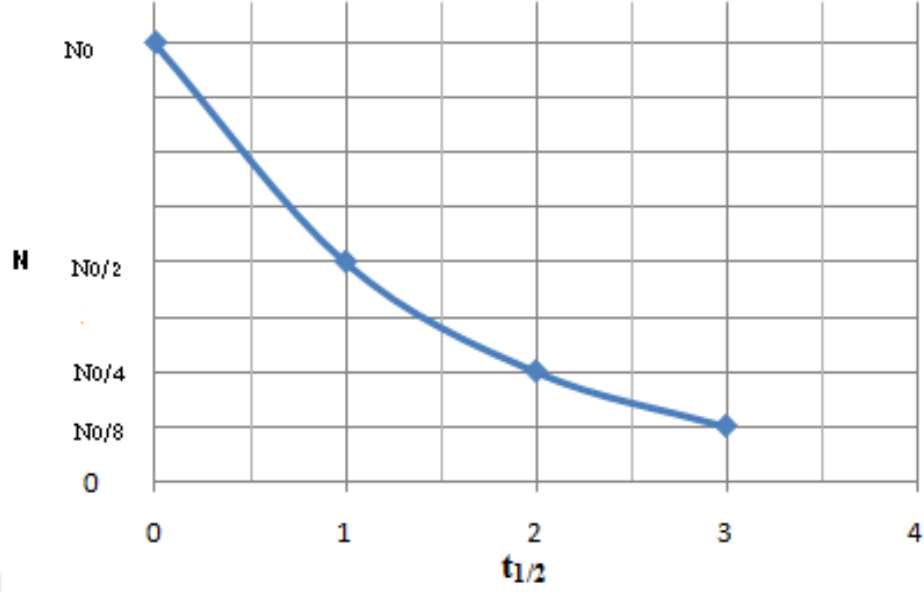
$$\frac{dN}{N} = -\lambda dt \quad (2.2)$$

Her iki tarafın integralini alırsak;

$$\int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = -\lambda \int_0^t dt \quad (2.3)$$

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2.4)$$

elde edilir.  $N_0$ ,  $t = 0$  anındaki radyoaktif çekirdek sayısı,  $N(t)$ , t anındaki radyoaktif çekirdek sayısıdır. Bağlantıya göre kalan çekirdekler eksponansiyel olarak azalmaktadırlar.



Şekil 2.4. Çekirdek sayısının yarı ömüre bağlı olarak değişimi [6]

### 2.1.1.1. Kalıcı Denge

Ana çekirdeğin yarı ömrü bozunma sonucu meydana gelen ürün çekirdeğin yarı ömründen çok fazla ise kalıcı denge durumu oluşur [30].

$T_{1/2}^A$  ana çekirdeğin ve  $T_{1/2}^Ü$  ürün çekirdeğin yarı ömrü ve  $\lambda_1$  ana çekirdek,  $\lambda_2$  ise ürün çekirdeğin bozunma sabitleri olarak alınırsa

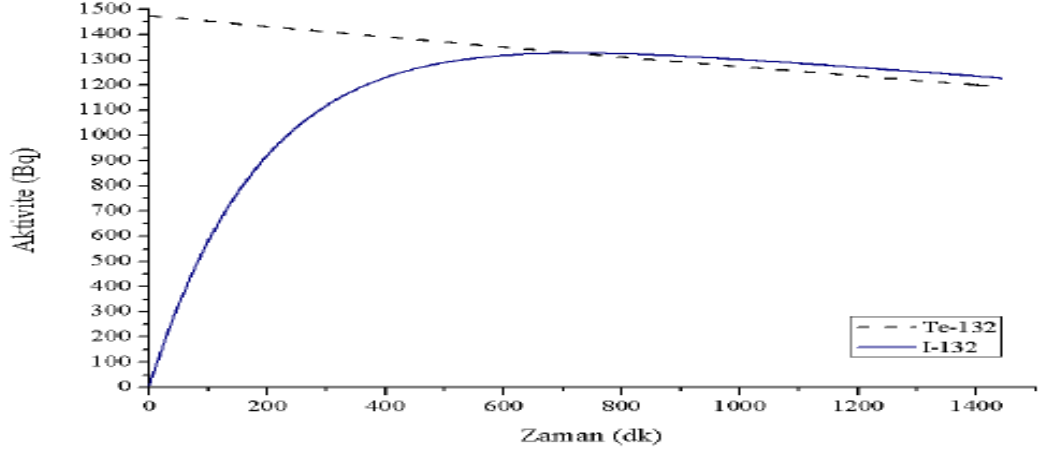
$$T_{1/2}^A \gg T_{1/2}^Ü \text{ ya da } \lambda_1 \ll \lambda_2$$

$$e^{-\lambda_2 t} \gg e^{-\lambda_1 t}$$

Sonuçta kalıcı dengede ana çekirdeğin aktivite değeri ( $A_1$ ) ile ürün çekirdeğin aktivite değerleri ( $A_2$ ) yaklaşık olarak eşit olmaktadır.

$$A_1 \cong A_2$$

Kalıcı denge aşağıdaki şekilde bir grafik ile gösterilmiştir [30].



Şekil 2.5.  $^{138}\text{I} \longrightarrow ^{132}\text{I} \longrightarrow ^{132}\text{Xe}$  zincirleme bozunumunda  $^{132}\text{Te}$  ve  $^{132}\text{I}$  aktivitesinin zamana bağlı değişim grafiği [14].

### 2.1.1.2. Kısa Süreli Denge

Ana çekirdeğin yarı ömrünün ürün çekirdeğin yarı ömründen az bir farkla büyük olması durumunda gerçekleşir.

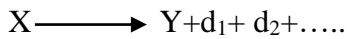
$$T_{1/2}^A > T_{1/2}^Ü \text{ ya da } \lambda_1 < \lambda_2$$

Burada  $T_{1/2}^A$  ana çekirdeğin yarı ömrünü ve  $T_{1/2}^Ü$  ise ürün çekirdeğin yarı ömrünü gösterirken,  $\lambda_1$  ana çekirdeğin bozunma sabitini ve  $\lambda_2$  ürün çekirdeğin bozunma sabitini gösterir.

Bunun anlamı; ana ve ürün çekirdeğin aktivitelerinin eşit değil fakat sabit bir kesir kadar farklı olmasıdır.

### 2.1.1.3. Bozunma Çeşitleri

Radyoaktif bozunma, sonucunda yeni elementlerin oluştuğu ve kendiliğinden meydana gelen bir nükleer dönüşüm olayıdır. Bu süreçte, kararsız bir ana çekirdek olan X çeşitli aşamalardan geçerek dönüşüme uğrar ve bunun sonucunda daha kararlı olan bir ürün çekirdek Y oluşur. Dönüşümü sembolik olarak aşağıdaki gibi ifade edebiliriz.



Burada  $d_1+$   $d_2+$ ..... dönüşümde yayınlanan daha küçük parçacıklardır ve bu sürece genellikle gama ışınımı eşlik eder. Oluşan ürün çekirdek de kararsız olursa, radyoaktif bozunma süreci kararlı bir çekirdek oluşana kadar devam eder. Bir çekirdek radyoaktif bozunmaya uğrarken çeşitli süreçleri izler. Bunlardan bazıları şunlardır;

- Alfa bozunması
- Beta bozunması ( $\beta^-$  ,  $\beta^+$ )
- Gama Bozunumu
- İzomerik geçişler
- Elektron Yakalama
- Kendiliğinden fisyon
- Proton Yayınlanması

Radyoaktif bozunma nükleer bir süreçtir ve çekirdeğin fiziksel ve kimyasal hallerinden büyük oranda bağımsızdır. Bozunma süreci nötron/proton oranına bağlıdır ve ana çekirdek, ürün ve yayınlanan parçacıkların kütle-enerji ilişkisine bağlıdır.

Doğal bozunum süreçleri Tablo 2.2’de verilmiştir [21].

Tablo 2.2 Doğal bozunum türleri [21]

ÇEŞİT	SEMBOL
Alfa	$\alpha$
Beta eksi	$\beta^-$
Beta artı	$\beta^+$
Elektron Yakalama	EC
Kendiliğinden fisyon	SF
Nötron	N
Proton	P

### 2.1.1.3.1. Alfa ( $\alpha$ ) Bozunması

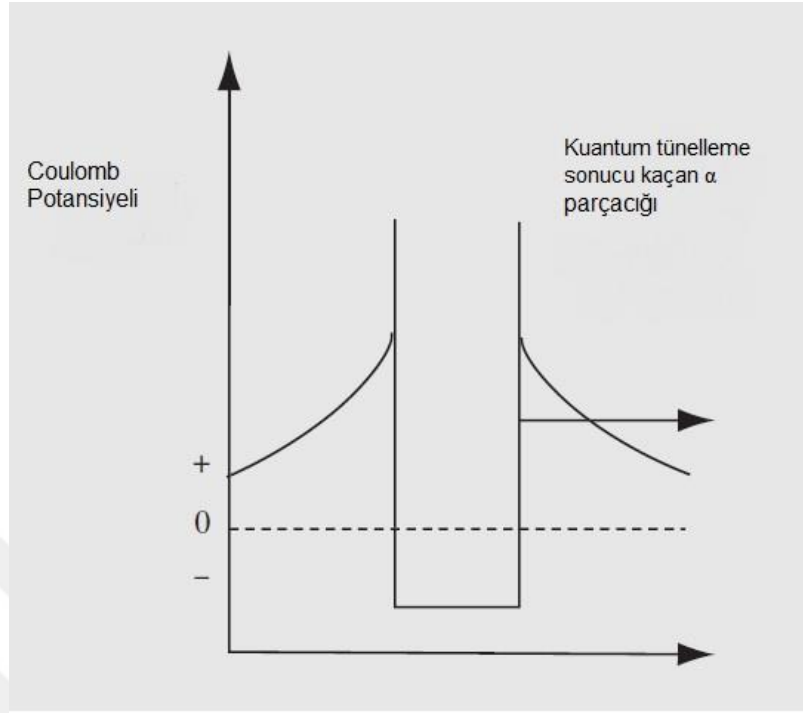
Alfa bozunmasında ana çekirdek  ${}^A_ZX$  bir alfa parçacığı yayımlar. Bozunum sonucunda oluşan ürün çekirdeğin kütle numarası 4, atom numarası 2 azalır. Alfa parçacığının yayımlandığı süreçte, oluşan ürün atom, ana atomun Z elektronlarına sahiptir. Dolayısıyla ürün atomun fazladan iki elektronu daha vardır ve bu  ${}^{A-4}_{Z-2}Y^{-2}$  olarak belirtilmelidir. Bu iki fazladan elektron, ürün atomu elektriksel olarak nötr bırakan  $\alpha$  parçacığının yayımlanmasından hemen sonra kaybolur. Buna ek olarak alfa parçacığı yavaşlayacak ve kinetik enerjisini kaybedecektir. Düşük enerjilerde alfa parçacığı nötr helyum atomuna dönüşmek için iki elektron kazanır. Alfa bozunması, süreç olarak aşağıdaki gibi tanımlanır.

Radyoaktif bir çekirdeğin kararsızlığı hem proton hem de nötron fazlalığından kaynaklanıyorsa, çekirdek, iki proton ve iki nötrondan oluşan bir alfa parçacığı yayımlayarak bozunur.

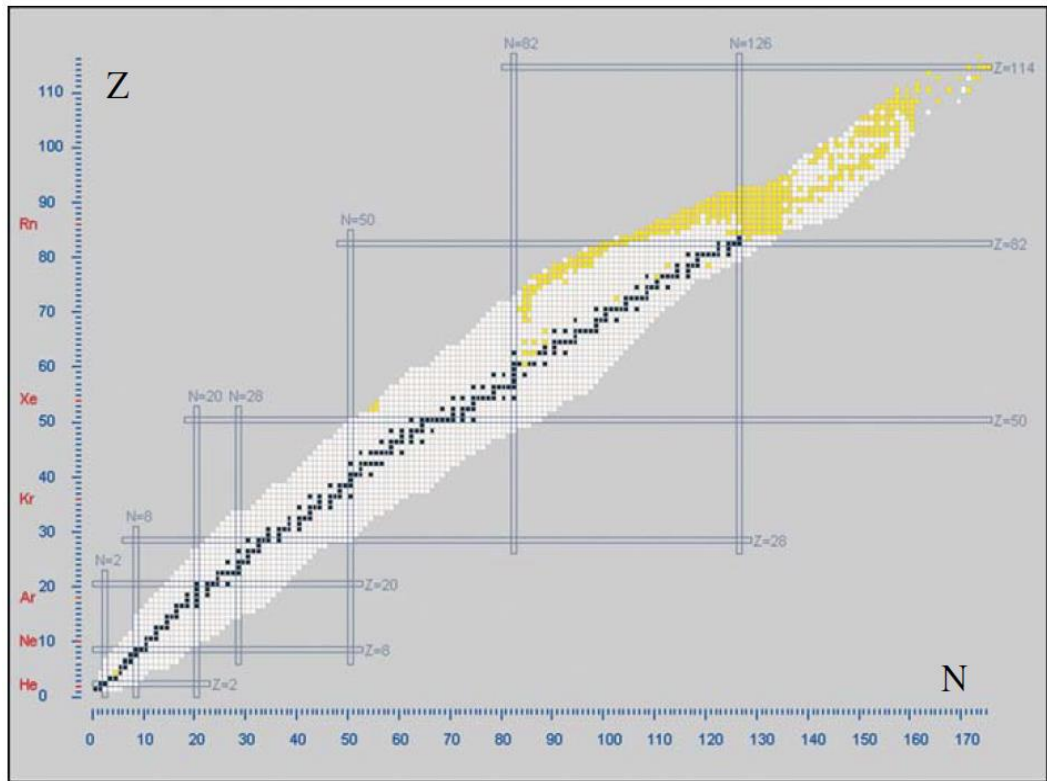


Elektrostatik itme kuvvetleri, ağır çekirdeklerdeki zayıf nükleer kuvvetlerden daha hızlı arttığı için alfa bozunma süreci proton bakımından zengin ve yüksek atom numarasına sahip çekirdeklerde daha sık görülür. Ek olarak yayımlanan fazla parçacık Şekil 2.6' de gösterildiği gibi çekirdekteki potansiyel enerji bariyerini aşmak için yeterli enerjiye sahip olmalıdır.

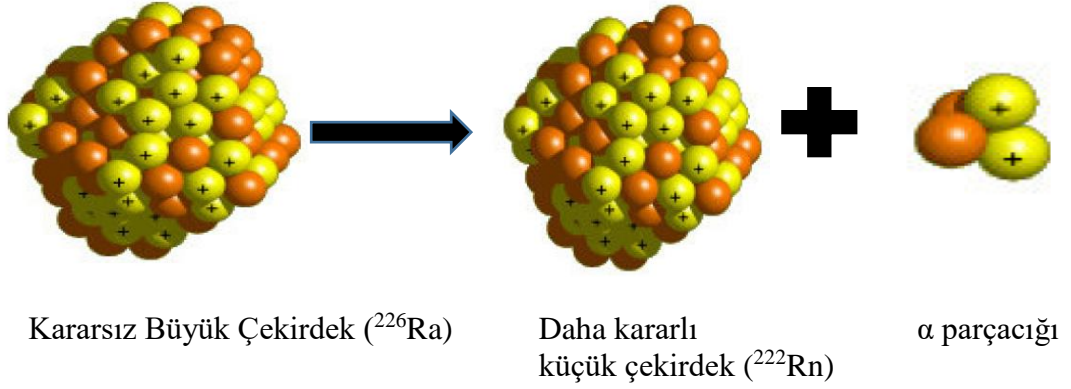
Potansiyel bariyerin yüksekliği yaklaşık olarak 25 MeV'dir. Alfa parçacığı kuantum tünelleme yoluyla potansiyel bariyerini aşabilir.  $\alpha$  yayımlayan çekirdekler Şekil 2.7'de gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Çekirdek yakınındaki potansiyel bariyeri [21]



Şekil 2.7. Alfa yayınlayan çekirdekler (sarı renkli olanlar) [21]



Şekil 2.8. Alfa Bozunması Örneği

Alfa bozunması genel olarak kütle numarası 190'dan büyük çekirdeklerde daha sık görülür. Doğal olarak bulunan radyoaktif maddelerden yayınlanan alfa parçacıklarının enerjileri yaklaşık olarak 4 MeV ile 9 MeV arasında değişmektedir. Bu enerjiler, alfa taneciklerine ışık hızının % 5' i ile %10'u arasında hız kazandırmaktadır.

Alfa ışınları fotoğraf filmlerine etki ederler. Pozitif yüklü oldukları için elektrik ve manyetik alanda saparlar. Karşılaştıkları moleküllerden elektron koparıp, bu moleküllerin iyonlaşmasına neden olurlar.

Alfa parçacıkları maddeyle etkileşime girdiklerinde enerjilerini bırakırlar ve nötr helyum atomları haline gelirler. Bu etkileşim aralığı katı ve sıvılarda mikrometre düzeyinde olacak kadar çok küçüktür. Havada ise bu aralık santimetre düzeyindedir. Bu kısa menzile nedeniyle insanlar için bir tehlike oluşturmazlar. Herhangi bir yaralanmaya neden olmadan önce cildin dış katmanlarında emilirler. Alfa yayan maddeler sindirim ve solunum yoluyla insan vücuduna girerlerse canlı dokuda kısa mesafede salınan büyük miktardaki enerji yüzünden çok zehirli olurlar. Bu özellik alfa-immüno terapi gibi işlemlerde kanser hücrelerini yok etmek için kullanılabilir.  $\alpha$  bozunumu Şekil 2.8 'teki gibi meydana gelmektedir.

### 2.1.1.3.2. Beta Bozunumu

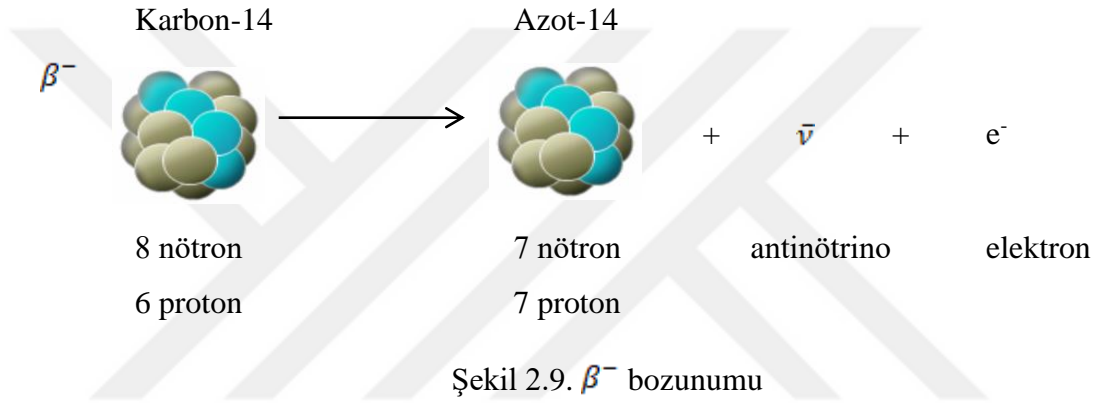
Beta bozunumunu, temel olarak bir protonun bir nötrona veya bir nötronun bir protona dönüşmesi olayıdır. Beta bozunumu üç şekilde gerçekleşir.

## $\beta^-$ Bozunumu

Çekirdekdeki kararsızlığın sebebi nötron ise, bu nötronlardan bir tanesi enerji fazlalığını gidermek için proton veya elektrona dönüşür (Şekil 2.9)



Elektron hızlı bir şekilde atomdan atılırken proton çekirdekte kalmaya devam eder. Dışarı hızlı bir şekilde atılan bu elektrona beta parçacığı denir. Bu şekilde elektron yayınlamış çekirdeğin atom numarası bir artar ve izobar atoma dönüşmüş olur.



Beta parçacığı yüksek hıza sahip bir elektron olduğu için alfa parçacığına göre iyonlaşma kabiliyeti daha azdır. Bu yüzden giricilik gücü alfa radyasyonundakinden 100 kere daha azdır. İyonlaşma olayı beta parçacığı tüm kinetik enerjisini kaybedene kadar devam eder. Bu olay sonunda ya pozitif yüklü iyonla birleşerek nötr bir atom oluşturur ya da serbest elektron olarak kalabilir [29,42].

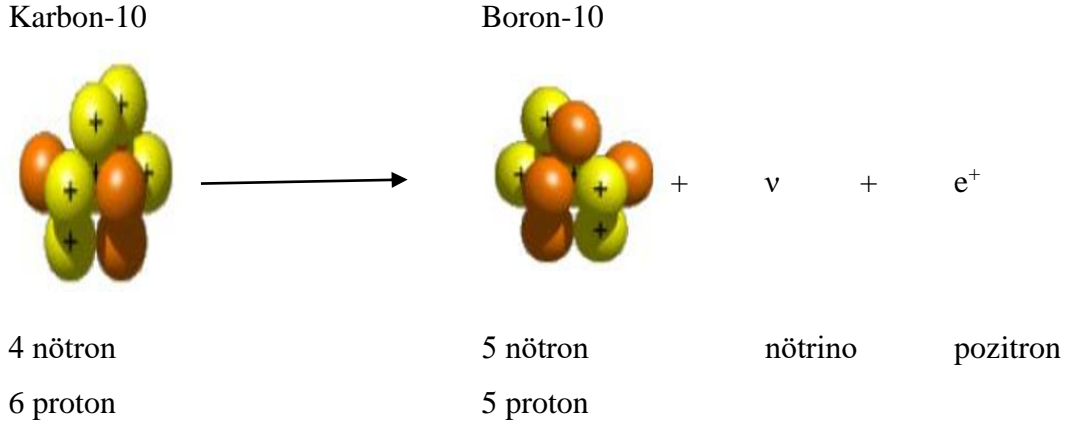
## $\beta^+$ Bozunumu

Çekirdeğin kararsızlığı proton fazlalığından(nötron azlığından) dolayı meydana geliyorsa, bu bozunma türüne  $\beta^+$  bozunumu denir. Proton; pozitron ve nötrona dönüşür.



Bu bozunma türünde çekirdekte nötron kalırken, pozitron fırlatılır. Böylece proton sayısı bir azalırken kütle numarası değişmez (Şekil 2.10)





Şekil 2.10.β<sup>+</sup> bozunumu örneği

Bu olayda atomdan salınan pozitronun kinetik enerjisi serbest kalmaya yetmez. Ortamdaki elektronla birleşen pozitron yok olur ve iki foton meydana gelir.



Oluşan bu fotonlar yok olma radyasyonu olarak adlandırılırlar.

Bozunum sırasında oluşan pozitronun enerjisi ve menzili beta parçacığı ile benzerlik göstermektedir [29].

### Elektron Yakalama ( ε )

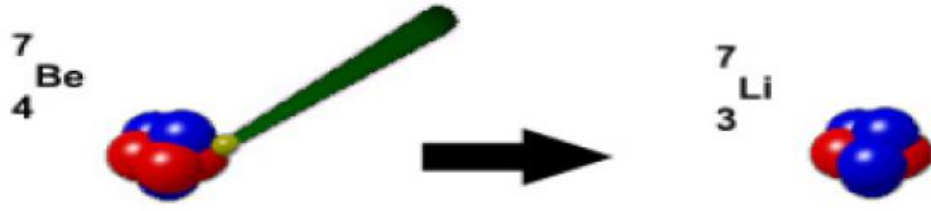
Çekirdeğin kararsızlığı proton fazlalığından dolayı meydana geliyor ise, atomun çekirdeğine yakın yörüngelerinden elektron yakalanır. Elektron bu sırada protonla birleşerek nötron ve nötrino haline gelir. Ancak çekirdekten parçacık salınmaz.



Bu olayda pozitron bozunmasında olduğu gibi proton sayısı bir azalır ancak kütle numarası değişmez. Aşağıda pozitron bozunumuna bir örnek verilmiştir.



Elektronun boşalttığı yer başka elektronlar tarafından doldurulur. Bu olay sonunda yayınlanan ışımaya frenleme radyasyonu denir (Şekil 2.11).

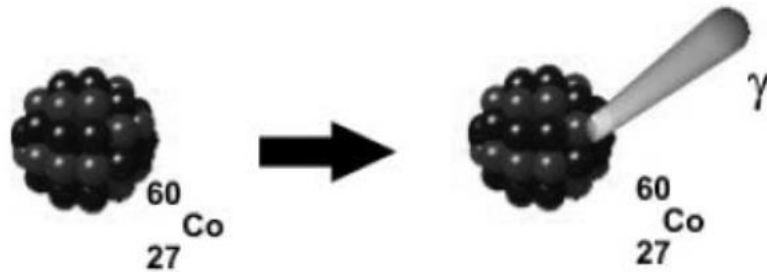


Şekil 2.11.Elektron yakalama örneği

### 2.1.1.3.3. Gama Bozunması

Çekirdekteki enerji fazlalığından dolayı veya çekirdek bozunması sonucu radyasyon yayınlanmasının hemen ardından çekirdek genellikle birdenbire kararlı duruma geçemez ve uyarılmış durumda kalır. Çekirdek bu kalan uyarılma enerjisini bir gama radyasyonu şeklinde yayımlar. Bu durumda kütle numarasında ve atom numarasında bir değişiklik olmaz. Bu yüzden yarı kararlı çekirdeğin bozunma şekline izomer bozunma adı verilmiştir (Şekil 2.12).

Gama ışınlarını elektromanyetik dalgaların özelliklerine sahiptir. Dalga boyu kısadır. Elektriksel yükü ve kütlesi yoktur. Bu yüzden havada veya bir dokuda gidebileceği menzil sonsuzdur. Elektrik alanda ve manyetik alanda herhangi bir sapmaya uğramazlar. Enerji spektrumu kesikli değerlere sahiptir. Enerjisini karşılaştığı atomun elektronlarına farklı yollardan (fotoelektrik olay, Compton olayı) aktarırlar ve bunu alan elektronlar ikincil bir radyasyona sebep olur. Gama radyasyonu gericilik gücü olarak bakıldığında alfa parçacığına göre 100 kat daha fazla gericiliğe sahiptir [29].



Şekil 2.12.Kobalt elementi için gama bozunumu örneği.

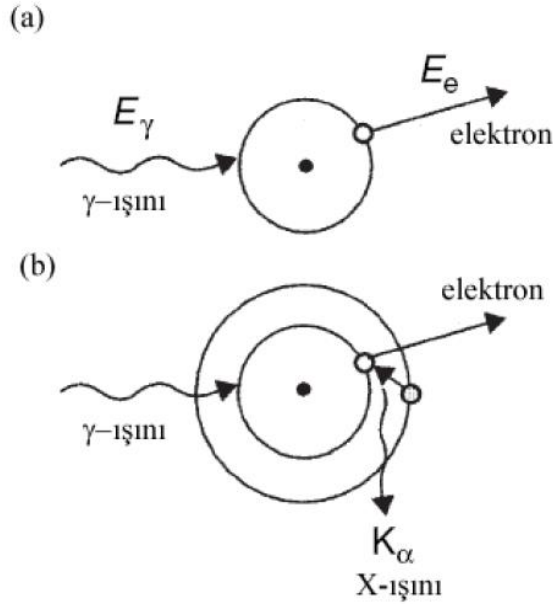
## 2.2. Gama Işınının Madde İle Etkileşimi

Gama ışınının madde ile etkileşimi üç şekilde olmaktadır. Bunlar sırasıyla; fotoelektrik olay, compton olayı ve çift oluşumdur

### 2.2.1. Fotoelektrik Olay

Enerjisi düşük olan fotonlar için (yaklaşık 100 keV) en önemli enerji kaybı fotoelektrik olaydan dolayı meydana gelmektedir. Bu olayda düşük enerjiye sahip foton, etkileşime girmiş olduğu atomun bağlı elektronlarından birine tüm enerjisini verir ve elektron salınmasına neden olur. Diğer bir deyişle foton atom tarafından soğurulur ve atomun elektronlarından birinin yayımlanmasına neden olur. Salınan bu elektron fotoelektron olarak adlandırılır (Şekil 2.13). Elektronun sahip olduğu kinetik enerji, fotonun sahip olduğu enerji ile elektronun bağlanma enerjisinin farkına eşittir.

$$T_e = E_\gamma - B_e \quad (2.11)$$



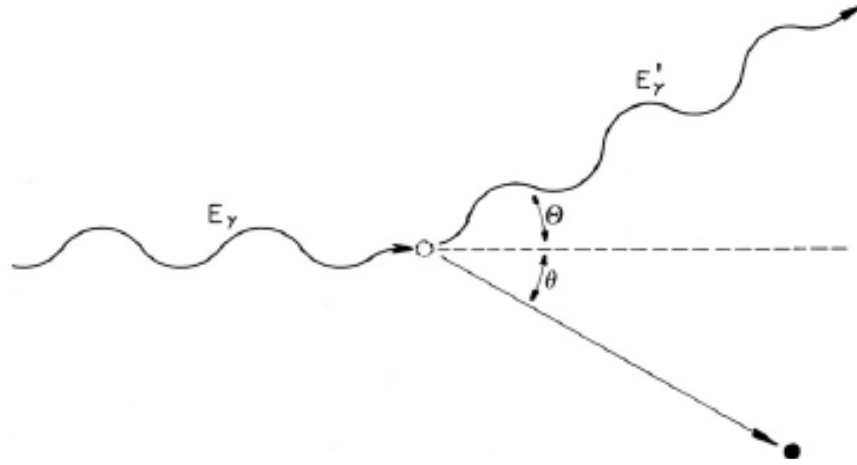
Şekil 2.13. (a)Fotoelektrik olayın şematik gösterimi (b) Karakteristik bir X ışınımı yayımlanması örneği [29]

Yukarıda verilen denklemde  $T_e$  elektronun kinetik enerjisini,  $B_e$  elektronun bağlanma enerjisini,  $E_\gamma$  fotonun enerjisini ifade etmektedir.

Şekil 2.13. (b)'de verilen X ışının yayınlanmasını şu şekilde açıklayabiliriz. Gelen gama ışınının enerjisi atom elektronlarından biriyle etkileşime girer ve elektronun atomun dışına fırlatılmasına neden olur. Elektronun boşalttığı yörüngedeki yerini bir üst yörüngedeki elektron doldurur ve karakteristik bir X ışının yayılması gözlenir [29,16].

### 2.2.2. Compton Olayı

Compton olayı, bir fotonun, enerjisini, atomun yörüngedeki elektronuna aktardığı ikinci mekanizmadır. Bu etkileşimde (Şekil 2.14),  $E_\gamma$  enerjisine sahip foton enerjisinin çok küçük bir kısmını elektrona aktarır ve bombardımana uğrayan elektron  $\theta$  açısı yaparak  $E'_\gamma$  enerjisiyle birincil yörüngeye doğru fırlatılır. Bu etkileşim Compton etkisi olarak bilindiği gibi Compton saçılması olarak da bilinmektedir [19].



Şekil 2.14. Compton Olayı. Uyarıcı bir foton elektronla çarpışır ve ona enerji verir. Foton ve elektron  $\Phi$  ve  $\theta$  açısıyla saçılır [19]

Compton etkisi hakkındaki ilk bilgiler Arthur H. Compton tarafından bulunmuş ve yayınlanmıştır. Uyarıcı fotona göre saçılmış fotonun dalga boyundaki kayma, saçılma açısı  $\theta$ 'nın bir fonksiyonudur. Compton yaptığı gözlemlerden uyarıcı ve saçılan fotonlar arasındaki dalga boyu kaymasını  $\theta$  saçılma açısıyla bağlantılı olarak açıklayan bir bağıntı türetmiştir.

$$\lambda - \lambda' = \frac{h}{m_0 c} (1 - \cos \theta) \quad (2.12)$$

Burada  $h$  Planck sabiti  $m_0$  elektronun durgun kütlesi,  $c$  ise ışık hızıdır.  $\lambda - \lambda'$  farkı ise uyarıcı ve saçılan fotonların dalga boyları arasındaki değişimi ifade eder. Saçılan fotonun dalga boyu uyarıcı fotona göre her zaman daha uzun (daha düşük enerjide) olacaktır.

Saçılan fotonun enerjisini de direkt olarak hesaplayabiliriz. Eğer gelen fotonun enerjisini fotonun saçılma açısını bilirse aşağıdaki bağıntıya göre bunu hesaplayabiliriz.

$$E'_\gamma = \frac{E_\gamma}{1 + (E_\gamma/mc^2)(1 - \cos \theta)} \quad (2.13)$$

$mc^2$  elektronun durgun enerjisini (511 keV) ,  $\theta$  saçılma açısını,  $E'_\gamma$  saçılan fotonun enerjisini,  $E_\gamma$  gelen fotonun enerjisini ifade eder [19].

Compton saçılan dalga boyunu dört farklı açıda ölçtü ve (2.16) daki bağıntıyla mükemmel bir uyum olduğunu gördü. Bu, fotonun enerji ve momentum taşıyan, enerji - momentum korunum yasalarına uyan bir parçacık gibi algılanabileceğine bir kanıtı [34].

### 2.2.3. Çift Oluşumu

Atom çekirdeğinin etki alanına girmiş bir fotondan, bir elektron ve bir pozitron oluşması olayına çift oluşumu denir [1]. Bu olayda fotonun kendisi elektron ve pozitron oluşuktan sonra yok olur. Bu olayın meydana gelebilmesi için  $2mc^2$  veya 1,022 Mev'luk bir eşik enerjisi gereklidir [16]. Eğer fotonun taşıdığı enerji bu değer üzerindeyse, elektron ve pozitron bu enerjiyi kinetik enerji olarak paylaşırlar [35].

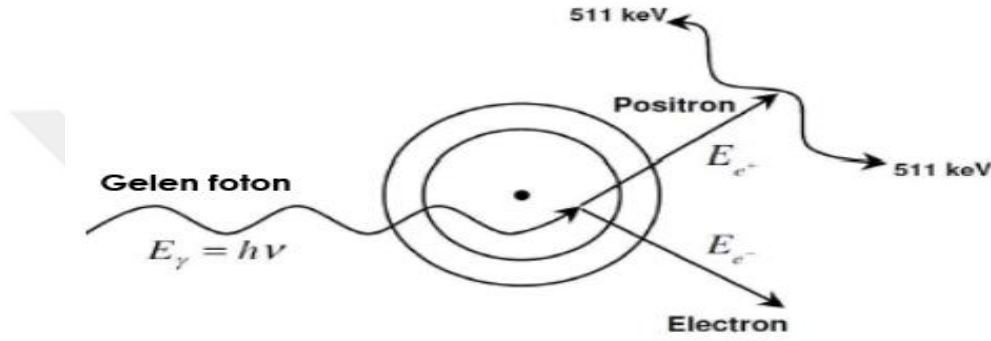


Şekil 2.15. Çift oluşumu [35]

Elektron-pozitron çiftinin toplam enerjisi şu şekilde hesaplanır [22].

$$E_{e^-} + E_{e^+} = h\nu - 2m_0c^2 \quad (2.14)$$

Çift oluşumu olayı meydana gelirken hem yük, hem çizgisel momentum hem de toplam kütle korunur [1]. Bu olayda oluşan pozitron,soğurucu bir ortama girerse; bu ortamdaki elektron ile birleşerek yok olur. Böylelikle enerjisi 0.511 MeV olan iki gama ışınına dönüşür [9].



Şekil 2.16. Soğurulan pozitronun yok oluşu [22].

### 2.3. Doğal Radyoaktivite

#### 2.3.1. Kozmojenik Kaynaklar

Gezegemimiz uzaydan gelen yüksek enerjili parçacıklar tarafından devamlı olarak bombardımana uğramaktadır. Bu ışınlar atmosferdeki bileşenlerin çekirdekleriyle etkileşime girer ve meydana gelen ikincil reaksiyonlarla atmosferdeki yoğunluğu azalır. Bu kozmik ışın etkileşimleri kozmojenik radyonüklitler olarak bilinen bir dizi radyoaktif çekirdek üretir. Bunların en çok bilinenleri  $^3\text{H}$  ve  $^{14}\text{C}$ 'dür [41].

Kozmik ışınlar, enerjileri ve kütleleri olan parçacıklar veya ışık kümeleridir [30]. Kozmik ışınların yoğunlukları atmosferin üst tabakasından aşağılara doğru inildikçe azalmaktadır.

Atmosferin üst kısmına gelen kozmik ışınlar birincil protonlar (%88), alfa parçacıkları (%11) ve ağır çekirdeklerden oluşan bazı bileşenler içerir. Bu bileşenler, dünya atmosferindeki elementlerin çekirdekleriyle iletişime girerler ve bunun sonucunda başka ışınlar meydana gelir.Kozmik ışınların %98'ini bu bileşenler meydana

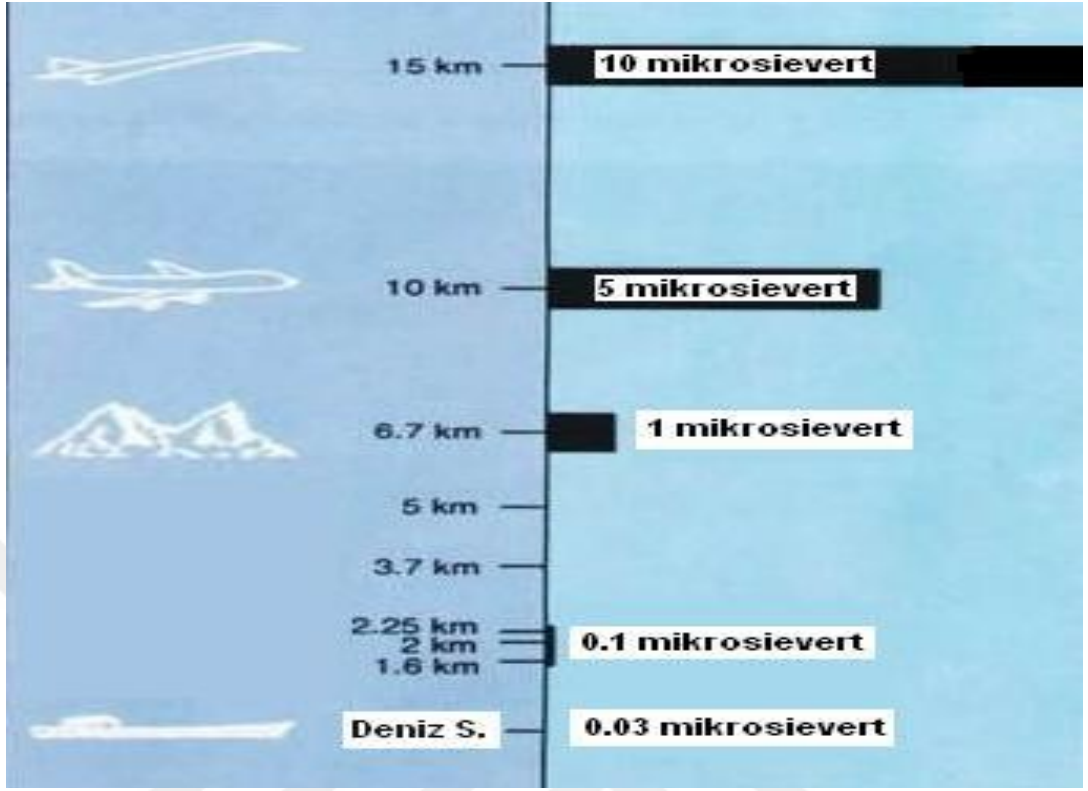
getirmektedir. Geri kalan %2 sini de elektronlar oluşturur. Bu kozmik parçacıkların enerji spektrumları  $10^8$ eV'den  $10^{20}$  eV'in üzerine kadar genişler [41].

En yüksek enerjiye sahip kozmik ışınlar dünyanın kendi galaksisi içinde oluşur. Kozmik ışınları oluşturan bu kaynaklar ve ivmelenme mekanizmaları belirsizdir. Ancak son zamanlarda yapılan çalışmalar bu parçacıkların belirli miktarının süpernovalardan yayılan şok dalgalarından meydana geldiğini göstermektedir. Galaktik manyetik alan bu parçacıkları saptırır, sınırlandırır ve bir yönde izotropik olmasını sağlayarak akısının sabit kalmasına neden olur [41].

Kozmik ışın kaynaklarından biri de güneş yüzeyinde meydana gelen patlamalardır. Bu güneş parçacıkları çoğunlukla enerjisi 100MeV'un altındaki protonlardır. Sadece en fazla enerjiye sahip olanları yer seviyesindeki oranları etkilerler. Güneş patlamaları sonucunda meydana gelen parçacıklar dünyanın manyetik alanının düzenini bozarak galaktik parçacık yoğunluğunun değişmesine neden olurlar. Bunlar genellikle kısa süreli ancak yüksek oranlarda yoğunluğun değişimine neden olurlar. İhmal edilebilir bir etkiye sahiptirler [41].

Güneşte meydana gelen solar patlamalar ortalama 11 yılda bir gerçekleşmektedir. Bu periyodik solar aktivite, güneş rüzgarı ile benzer varyasyona sahiptir. Güneş rüzgarı manyetik alandan etkilenen yüksek oranda iyonize bir plazmadır ve oluşturduğu alanın etkinliği galaktik kozmik radyasyonun yoğunluğunu belirler [41].

Dünyanın manyetik alanı atmosfere gelen kozmik ışınların oluşturduğu radyasyona karşı bir zırh görevi görür. Bu yüzden kozmik ışınların çok az bir miktarı atmosferi geçebilir ve yerküreye ulaşır. Yeryüzünde yaşayan insan popülasyonunun çoğunluğu rakımı düşük olan yerlerde yaşadıklarından dolayı etkilendikleri dozlarda büyük farklılıklar gözlenmez [3]. Kozmik ışınlardan dolayı almış olduğumuz radyasyon dozunun miktarı dünyada ortalama olarak 0,39 mSv/yıl'dır. Yüksek rakımı olan yerlerde yaşayanlar deniz seviyesinde yaşayan kişilere oranla daha fazla radyasyondan etkilenmektedir. Şekil 2.17'de, yüksekliğe bağlı olarak 1 saat boyunca kozmik ışınlardan kaynaklı maruz kalınan radyasyon dozları verilmiştir [15].



Şekil 2.17. Yüksekliğe bağlı olarak 1 saatte alınan kozmik ışınlardan kaynaklı radyasyonun değişim miktarı [15].

Kozmik ışınlardan dolayı meydana gelen radyasyonları 2'ye ayırabiliriz.

### 2.3.1.1. Birincil Radyasyonlar

Güneşte meydana gelen patlamalardan veya diğer galaktik sistemlerden gelen kozmik ışınların oluşturduğu radyasyonlara denir. Çoğunlukla yüksek enerjiye sahip protonlardan oluşur. Geri kalan düşük orandaki kısmı da ağır çekirdeklerden, nötronlardan elektronlardan oluşmaktadır. Enerjisi düşük olan parçacıklar dünyanın oluşturduğu manyetik alandan dolayı uzaya geri gönderilirler. Kutuplardan ekvatora doğru gidildikçe radyasyon miktarı artar [30].

Güneşteki patlamalar sebebiyle oluşan kozmik radyasyon ise ihmal edilebilir düzeyde etkiye sahip oldukları için radyasyon dozunda önemli bir etki oluşturmazlar [3].



### 2.3.1.2. İkincil Radyasyonlar

Galaktik kozmik ışınların atmosferdeki atom çekirdekleriyle etkileşmeleri sonucu yüksek enerjiye sahip protonlar, nötronlar, pionlar oluşur. Bunların haricinde  $^3\text{H}$ ,  $^7\text{Be}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{10}\text{Be}$ ,  $^{22}\text{Na}$ ,  $^{24}\text{Na}$  gibi kozmojenik radyoaktif çekirdekler de üretilirler. Bunlar ikincil radyasyonlardır [3].

Proton ve nötronlar atmosferin üst kısmındaki soğurulmuş doz oranlarına önemli derecede katkıda bulunur. Nötronlar enerjilerini elastik çarpışmalarla kaybederler.  $^{14}\text{N}$  ile etkileşime girerek  $^{14}\text{C}$  çekirdeğini oluştururlar [3].

### 2.3.2. Karasal Kaynaklar

Karasal kaynaklı olarak meydana gelen doğal radyoaktif çekirdekler (primordial çekirdekler) insan vücudu dahil doğada çeşitli şekillerde bulunurlar. Bu radyoaktif çekirdeklerin yarı ömürleri dünyanın yaşıyla karşılaştırılabilir. Bunların bozunmaları sonucu oluşan ürünler dünyadaki çeşitli materyallerin içinde önemli miktarlarda bulunurlar. Karasal kaynaklı radyasyon temelde  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  radyoaktif çekirdeklerden kaynaklı gama radyasyonlarıdır. Bu radyoaktif çekirdekler insan vücudunda da bulunur ve çeşitli organlarda alfa ve beta parçacıkları ve gama ışınları olarak yayımlanırlar. Diğer karasal radyoaktif çekirdeklerden bazıları  $^{235}\text{U}$  serileri,  $^{87}\text{Rb}$ ,  $^{138}\text{La}$ ,  $^{147}\text{Sm}$  ve  $^{176}\text{Lu}$ 'dur. Bunlar doğada düşük dozlarda bulunurlar ve insan vücuduna etkileri çok küçüktür [41].

Toprakta doğal olarak bulunan radyoizotoplar toprağın radyoaktif olmasına sebep olmaktadır. Bunlar  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  gibi radyoizotopları içerirler. Özellikle granit ve volkanik gibi kayalarda yüksek oranda bulunmaktadırlar. Doğa şartlarına bağlı olarak zamanla ufalanırlar ve yağmurun ya da akıntıların etkisiyle toprağa karışırlar. Böylece topraktaki radyoaktivite artar. Toprak verimini artırmak için tarımsal arazilerde yapılan suni tohumlama ve gübreleme de topraktaki radyoaktivitenin artmasına neden olur [26].

Kaya ve toprak yapısına bağlı olarak doğal radyoaktiviteye sebep olan izotoplar toprakta farklı yoğunluklarda bulunabilirler. Bu yüzden insanlar farklı jeolojik bölgelerde yaşadıklarından dolayı değişik dozlarda radyasyonlara maruz kalırlar [14].

Daha önce yapılan çalışmalar baz alındığında bunların ortalama aktiviteleri 35 Bq/kg ile 370 Bq/kg arasında değiştiği gözlenmektedir [11].

Tablo 2.3. Türkiye’de toprakta ölçülen radyoaktivite ve dünya ortalaması [31].

<b>Bölge</b>	<sup>238</sup> U <b>Bq kg<sup>-1</sup></b>	<sup>232</sup> Th <b>Bq kg<sup>-1</sup></b>	<sup>40</sup> K <b>Bq kg<sup>-1</sup></b>	<b>Doz Hızı</b> <b>(nGyh<sup>-1</sup>)</b>	<b>Referans</b>
Manisa	29	27	340	54	Ereş vd., 2006
İstanbul	21	37	342	65	Karahan ve Bayulken, 2000
Şanlıurfa	21	25	299	61	Bozkurt vd.,2007
Çanakkale (Ezine)	89	136	1059	179	Canbaz vd., 2007
Giresun	33	43	703	92	Celik vd., 2008
Dünya Ortalaması	35	30	400	60	UNSCEAR 2000

<sup>226</sup>Ra elementi doğada oldukça yaygındır. Bu elementin bozunması sırasında radon gazı salınır. Bozunma sırasında meydana gelen diğer radyoaktif elementlere nazaran radonun farkı, toprak içerisinde kalmayıp yüzeye doğru yükselbilmesidir. Havaya karışan radon gazının insan sağlığına tehlikeli bir etkisi yoktur. Ancak radon gazı salınan yüzeye bir bina inşa edilmiş ise, bu binada çok iyi bir havalandırma sistemi olması şarttır. Bu gazın solunması durumunda akciğerlerde tutunup dokuların radyasyondan etkilenmesine neden olabilir. Bu yüzden doğal olarak meydana gelen radyasyon türlerinden en zararlı olanının radon olduğunu söyleyebiliriz [15].

Tablo 2.4. Doğal radyasyonun sonucu olarak ortaya çıkan doz oranları [15].

Radyasyon Kaynağı	Yüzdesi
Radon	49,4
Gama	17,5
Kozmik	14,8
Yiyecek	9,5
İç	8,7

İç radyasyon vücudumuzda bulunan radyoaktif elementlerden dolayı maruz kaldığımız radyasyon şeklidir [15].

#### 2.4. Düşük Doz İyonize Radyasyonun Biyolojik Etkileri

Hastanelerdeki radyoloji ve nükleer tıp merkezlerinde yapılan incelemelerde insana etki eden radyasyon düşük doz iyonize radyasyondur [15]. Düşük doz terimi önceden belirlenmiş seviyenin altında bir radyasyon dozu anlamına gelir. Bir hücrenin kritik parçalarında radyasyondan kaynaklı emilimin ortaya çıkmasının düşük olduğu anlamına da gelir. Diğer bir deyişle düşük doz radyasyon hücredeki onarım mekanizmalarının hücrede meydana gelecek hasar süresince zarar görmemesi olarak da açıklanabilir [15]. Düşük doz iyonize radyasyonun etkileri iki başlık altında incelenebilir;

##### 2.4.1. Genetik Etkiler

Radyasyon, canlı varlıkların kromozom ve DNA yapılarında kalıcı bir etki bırakabilir. Bu etki mutasyon olarak adlandırılır. Bu vücut hücrelerinde(somatik hücre) meydana gelirse o hücre ölür ya da doku veya organlarda fonksiyon azalması görülebilir. Ancak bir sonraki kuşağa aktarılmaz. Ancak mutasyon üreme hücrelerinde meydana gelirse oluşan hasar gelecek kuşaklara da aktarılır. Düşük doz radyasyondan etkilenen kromozomların yapısında da değişiklikler meydana gelebilir. DNA'yı oluşturan kök ve şeker kısmında eklenmelere veya kırıklara sebep olabilir. Yapılan araştırmalar radyasyondan dolayı mutasyon oluşabilmesi için belirli bir doz değerinin olmadığını göstermiştir. Ancak radyasyonun doz hızı düştükçe, meydana gelen mutasyonun hızı

azalmakta ve mutasyon sonucu meydana gelen olumsuzlukların daha az olması beklenmektedir [15]. DNA' da kırılmalar meydana gelirse şu sonuçlar oluşabilir:

- a) Kırılan kromozom parçaları kırılma olayından etkilenmez ve aynı şekilde yeniden birleşebilir. Böylece herhangi bir olumsuz etki meydana gelmeyecektir.
- b) Kırılan parçalar tekrar bir araya gelemezler ve hücre ölür.
- c) Kırılan parçalar farklı bir biçimde birleşirler. Böylece yeni bir kromozom dizilişi olur. Bunun sonucunda bu yeni kromozom dizilişi yavru hücrelere geçip gelecek kuşaklara kadar aktarılır [15].

#### **2.4.2. Kanserojen Etkiler**

Vücut hücrelerinde, düşük doz iyonize radyasyonun meydana getirebileceği önemli bir sorun da, kansere neden olabilme etkisidir. Genetik etkide belirttiğimiz gibi burada da belli bir eşik dozu yoktur. Kanser etkisi yaşa, doku hassasiyetine ve cinse göre farklılık gösterebilir. Yüksek dozda alınan radyasyon kemik iliği kanserleri, tiroid kanserleri ve meme kanserlerinde artış gözlenmesine neden olabilir. Düşük dozda radyasyonlarda ise kansere bağlı ölüm oranı yaklaşık 10000'de 1 kişidir [15].

#### **2.4.3. Embriyo ve Fetüs Üzerindeki Etkisi**

Gebelik süresince fetüsün radyasyondan etkilenmesi, doğumsal anomalilere, büyümede gerilemeye, doğum sonrasındaki evrede kanser riskinde artışa ve ölüme neden olabilir. Bunda fetüsün radyasyondan ne kadar süre etkilendiği de çok önemlidir. Döllenme sonrası ilk 7 ile 10 gün arasında embriyo radyasyona karşı daha duyarlıdır. Bu süreçte embriyo ya hiç etkilenmez ya da gebelik düşük olayı sonrası biter. Gebelik sürecinin ikinci ve sekizinci haftaları arası, radyasyonun doğuştan itibaren meydana gelebilecek etkilerinin en fazla olduğu süreçtir. Büyüme sorunları, organlardaki anomaliler, ölüm veya ileri dönemde kanser olma riskinin artması gibi etkileri vardır. Sekizinci haftadan itibaren doğum gerçekleşene kadar devam eden süreçte radyasyonun kötü etkilerinde azalma olur. Ancak büyüme geriliği, bazı organlarda fonksiyon bozuklukları veya doğum sonrası yaşam sürecinde kansere yakalanma riski az da olsa devam etmektedir [15].

Sonuç olarak baktığımızda radyasyon, tek başına fetüs üzerinde kesin bir risk teşkil etmemekle beraber, fetüsün hasar görme olasılığını artırdığını söyleyebiliriz [15].

#### **2.4.4. İnsan Hücresi Üzerine Etkileri**

Hücre tüm canlı varlıkların en temel yapıtaşdır. Hücre, bir çekirdek, çekirdeğin etrafını saran sitoplazma ve bunları sarmalayan bir zardan oluşur. Çekirdek içinde kromozomları barındıran bir yapıdır ve bu kromozomlardaki DNA'lar hücreyi denetler [15].

İyonize radyasyonun biyolojik bir etki yaratabilmesi için radyasyondan kaynaklı enerjiyi hücreler ve dokular soğurmalıdır. Çünkü radyasyonun zararlı etkilerini hücre üzerindeki etkisine bağlı olarak gösterir [2].

##### **2.4.4.1. Hücre Zarına Etkisi**

Hücre zarı, seçici geçirgen özelliğindedir. Dolayısıyla radyasyona maruz kalmak bu özelliğin zarar görmesine neden olur. Böylelikle hücre zarı geçirmemesi gereken zararlı maddelerin hücreye geçişine izin verir. Örneğin hücre osmoz faaliyetini yapamaz [2].

##### **2.4.4.2. Sitoplazmaya Olan Etkisi**

Sitoplazmadaki organeller radyasyon yüzünden işlevlerini yerine getiremeyebilirler. Örneğin ribozom radyasyona maruz kalırsa protein üretemez, mitokondriler hücre solunumunda etkisi olan pek çok enzimi üretemez [2].

##### **2.4.4.3. Hücre Çekirdeğinde Meydana Getirdiği Etki**

Hücre çekirdeği radyasyona maruz kalırsa, hücre görebileceği en büyük zarara uğrar. Hücre çekirdeği radyasyondan etkilenirse hücrede protein sentezi, enzim sentezi veya nükleik asit sentezi yapılamaz. Bilindiği gibi nükleik asitler hücredeki canlılığın temelini oluştururlar [2].

Hücre çekirdeğindeki kromozomlarda bulunan DNA molekülleri de radyasyondan etkilenirler ve DNA'da hasar oluşur.

#### **2.5. Çevresel İyonize Radyasyona Maruz Kalma Yolları**

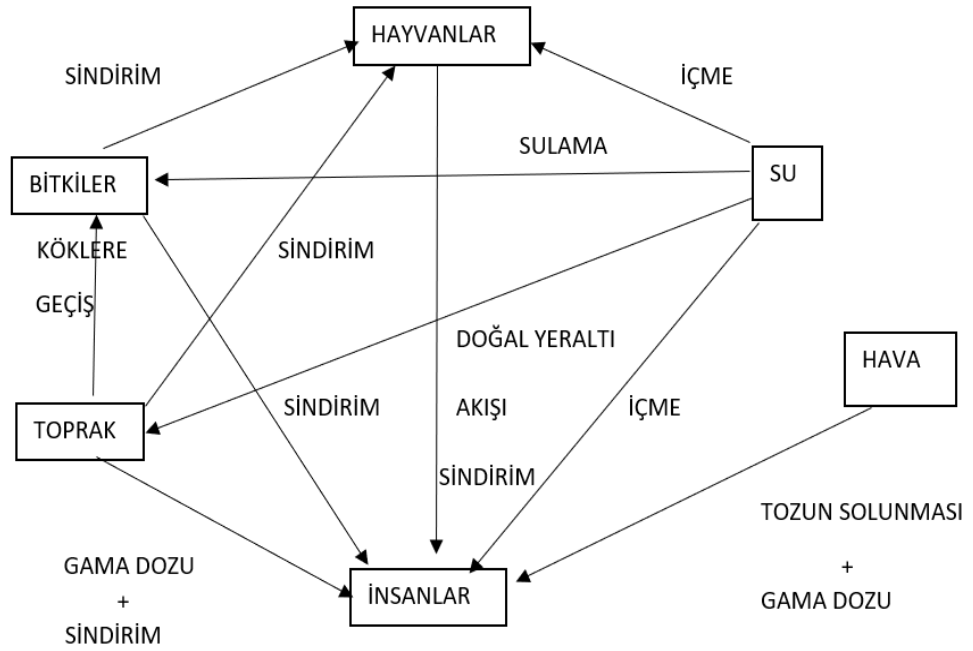
Çevrede oluşan radyoaktivite oranı özellikle teknolojinin gelişmesiyle birlikte oldukça artmıştır ve artmaya devam etmektedir. Oluşan radyoaktif nükleitler sürekli hareket halindedirler. Rüzgarla bir bölgeden başka bir bölgeye gidebilirler. Yağmurla toprağa

ve suya karışabilirler. Toprakta yeraltı sularına karışabilirler ve böylece su ve toprak vasıtası ile canlılara geçebilirler [2].

Canlılar çevre kaynaklı radyasyondan aşağıdaki şekillerde etkilenebilirler.

1. Atmosferde bulunan gaz halinde veya çözülmüş radyoaktif nüklitlerin oluşturduğu dış ışınlama,
2. Solunum yoluyla vücuda alınan radyoaktif nüklitlerin meydana getirdiği iç ışınlama,
3. Topraktaki radyoaktif nüklitlerden kaynaklı dış ışınlama,
4. Yağış veya serpinti yoluyla toprağa düşen radyoaktif nüklitlerin meydana getirdiği dış ışınlama,
5. Havaya karışmış radyoaktif nüklitlerin dış ışınlama veya solunum yoluyla alınması nedeniyle iç ışınlama,
6. Yiyecekler ve su ile vücuda alınan maddelerden ötürü meydana gelen iç ışınlama,
7. Vücut üzerinde biriken radyoaktif nüklitlerin oluşturduğu dış ışınlama,
8. Suda bulunan radyoaktif nüklitlerden dolayı oluşan dış ışınlama [2].

İnsanlara radyasyonların geçiş yolları Şekil 2.18’de verilmiştir.



Şekil 2.18.Radyasyonun insanlara geçiş yolları [3].

## 2.6. Radyoaktif Nüklitlerin İnsan Vücudu İçerisinde İzlediği Yollar

Doğal radyoaktif maddeler insan vücuduna sindirim veya solunum yoluyla girer. Sindirim yoluyla genel olarak vücudumuza girenler  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{238}\text{U}$  bozunumu sonucu oluşan ürün çekirdekler ve az miktarda  $^{14}\text{C}$ ,  $^3\text{H}$  'dur [12].

Havadaki radyoaktif maddelerin çoğu uranyum ve toryum serisinin bozunumu sonucu oluşan ürünlerdir. Bunlar solunum yoluyla vücuda girerler ve iç ışınlamaya neden olurlar.  $^{222}\text{Rn}$  insanın alabileceği en yüksek radyasyon dozunu oluşturur [12].

Radyoaktif maddeler insanların nefes alıp vermesiyle vücutlarına girebilir. Bu maddeler solunum sonrası akciğere yerleşirler ve iç ışınlamaya neden olurlar. Solunum yoluyla alınan radyasyonun büyük bir çoğunluğunu radon elementi ve radon elementinin bozunması sonucu oluşan ürünler meydana getirir [12]. Radon toprak, su ve kayalarda doğal halde bulunan uranyumun bozunumu sonrasında oluşan renksiz kokusuz bir gazdır. Kaya ve toprak parçalarını yüzeylerinden ya da yapı malzemelerinden ortama radon gazı salınabilir. Solunduğunda akciğerlerde radyoaktif kalıntılar bırakır. Bıraktığı bu kalıntılar ilerleyen yıllarda kanser oluşumuna neden olabilir [3].

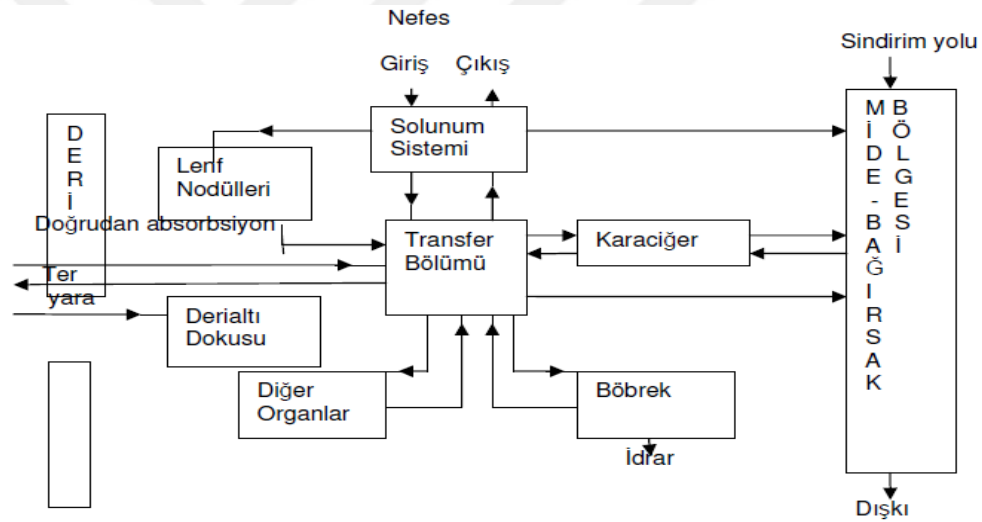
Yediğimiz yemeklerle ve içtiğimiz sularla vücudumuza aldığımız radyoaktif nüklitler radyasyon yayımlarlar ve iç ışınlamaya neden olurlar. Bunlara örnek olarak sudaki ve gıdalarımızdaki  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  ve bunların ışın yapmaları sonucu oluşan ürünlerin yayınladıkları radyasyonu verebiliriz [12].

Tablo 2.5. Bazı yiyeceklerde bulunan potasyum ve radyum oranları [3].

Yiyecek	$^{40}\text{K}$	$^{226}\text{Ra}$
	pCi/kg	pCi/kg
Muz	3,520	1
Fındık	5,600	1,000-7,000
Patates	3,400	0,6-2

Kuru fasulye	4,640	2-5
İçme suyu	----	0-0,17

İnsan vücuduna çeşitli yollarla girmiş olan radyoaktif nüklitler vücudun belirli bölgelerinde toplanırlar. Soğurulan madde vücutta homojen olarak dağılır. Ancak radyoaktif nüklitin kimyasal özelliğine göre farklı bölgelerde toplanabilir. Tiroitlerimize iyot, toprak alkali metallere kemiklere, plütonyum kemik ve karaciğerlere, alkali metallere ise yumuşak dokulara toplanırlar. Bunlar vücut içerisindeki uzun bir süreçten sonra idrar veya dışkı yoluyla dışarı atılırlar [10]. Şekil 2.19 'da radyoaktif nüklitlerin vücuda nasıl alındığını ve nasıl atıldığını göstermektedir.



Şekil 2.19. Radyoaktif nüklitlerin vücuda alınışı, atılışı ve vücutta transferi [10]

Radyoaktif nüklitler en çok görünen etkiyi deri üzerinde yaratırlar. Vücuda alınan radyasyonun miktarına göre, bu deri altında bulunan yağ bezlerinin ölmesine veya saçlar dahil vücut kıllarının dökülmesine neden olur. Böbreklerde yıkıma neden olabilir. Bağırsakları tahrip edebilir. İshal veya bağırsak delinmesi alınan radyasyon miktarına bağlı olarak görülebilir [15].

Stronsiyum, kalsiyum gibi maddeler vücutta tehlike oluşturabilecek radyoaktif nüklitlerdir. Bunlar kemikte tutulum yaparlar ve vücutta uzun süre kalarak kanser tarzı rahatsızlıklara neden olabilirler. Bazı radyoaktif nüklitler de vücuttan 24 saat içinde atılırlar. Bunlara örnek olarak sezyum, kriptonu örnek olarak verebiliriz [15].



Solunum veya derideki yaralardan vücuda giren radyoaktif nüklitler kana karışır ve iç ışınlama olayı meydana gelebilir. Vücut sıvısında çözünebilirlerse izotopu oldukları atomlar gibi soğurulup eşdeğer bir yol izleyeceklerdir. Örneğin insan vücudunun yaklaşık her doku hücresinde sodyum bulunur.  $^{24}\text{Na}$  radyoizotopu da aynı şekilde davranıp vücut içerisindeki tüm dokulara yayılır. Böylece bir iç ışınlama oluşur. Bu ışınlamayı engellemek mümkün değildir. Vücuttan atılana kadar bu ışınlama devam eder [28].

Bazı radyoaktif maddelerin, örneğin kalsiyum, stronsiyum gibi maddelerin izotopları ise insan vücuduna girdiklerinde kemiklerde tutunurlar. İyot vücuda alındığında tiroidlerde tutulum yapar. Bu yüzden tiroid hastalıklarının teşhisinde  $^{131}\text{I}$  kullanılır [28].

Eğer vücuda alınan radyoaktif nüklitler vücut sıvısında çözünmeye uğramazlar ise özellikle akciğerlerde veya sindirim organlarında iç ışınlamaya neden olurlar. Bu da organlarda hasara neden olarak ciddi hastalıkların ortaya çıkmasına neden olabilir [28]

### 3. BÖLÜM

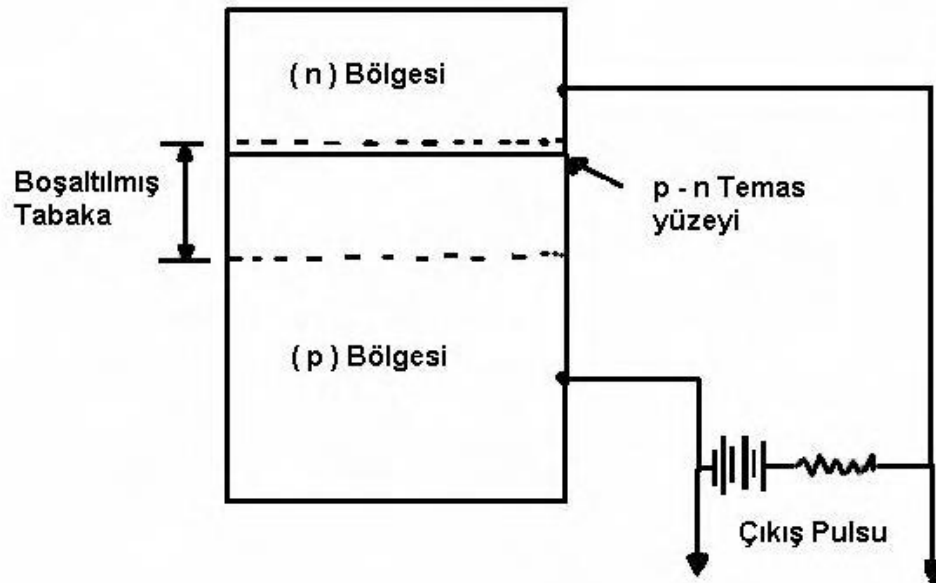
#### 3. MATERYAL VE METOD

##### 3.1. Deneylerde Kullanılan Detektörler

##### 3.1.1 Yarı İletken Detektörlü Sayıcılar

Yalıtkanlar ile iletkenler arasında yer alan maddelere yarı iletken maddeler denilir. Bu tipteki radyasyon detektörlerinin çalışması sahip oldukları delik ve elektrona bağlı olarak değişmektedir. Germanyum ve silisyumdan yapılmış p ve n tipi kristaller birbirlerine temas ettiklerinde yüzeye yakın serbest yükler diğer tarafa aktarılır. Temas yüzeyi civarında bu yükler birleşerek ortadan kalkarlar. Böylelikle bu serbest yüklerin olmadığı bir tabaka meydana gelir. Bu tabaka boşaltılmış tabaka olarak adlandırılır.

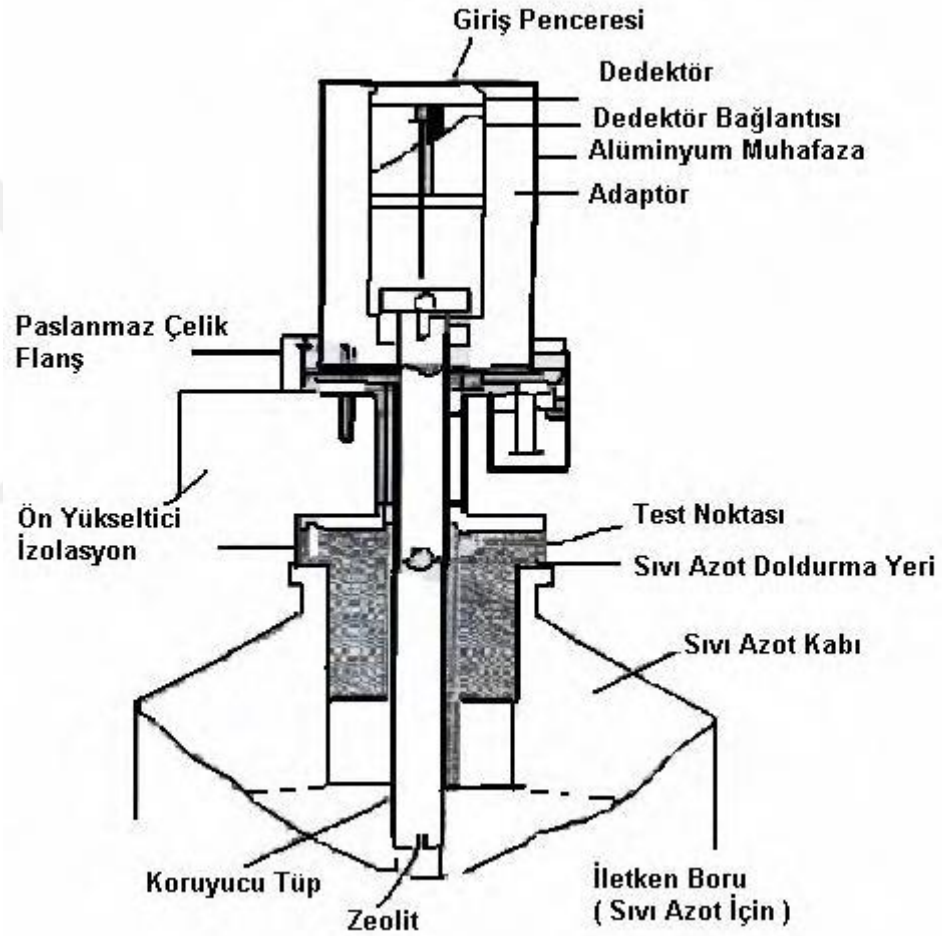
İyonlaştırıcı radyasyonunun bu boşaltılmış tabakayı geçmesi durumunda bu radyasyon ile kristal atomları arasındaki etkileşim sonucu elektron delik çiftleri oluşur. Elektrik akımının uygulanmasıyla yük direnci üzerinde bir puls meydana gelecektir.



Şekil 3.1. Yarı iletken detektör [38]

Yarı iletken tipi detektörler çok düşük ölü zamana ve çok yüksek sayma hızına sahip olmaları nedeniyle avantajlıdır. Ayrıca, iyonlaştırıcı partiküllerin boşaltılmış tabakada bıraktıkları enerji ile detektör cevabı orantılıdır. Düşük voltajlarda çalışabilmektedirler [38].

Şekil 3.2’de bir katı hal detektörünün kesiti gösterilmiştir.

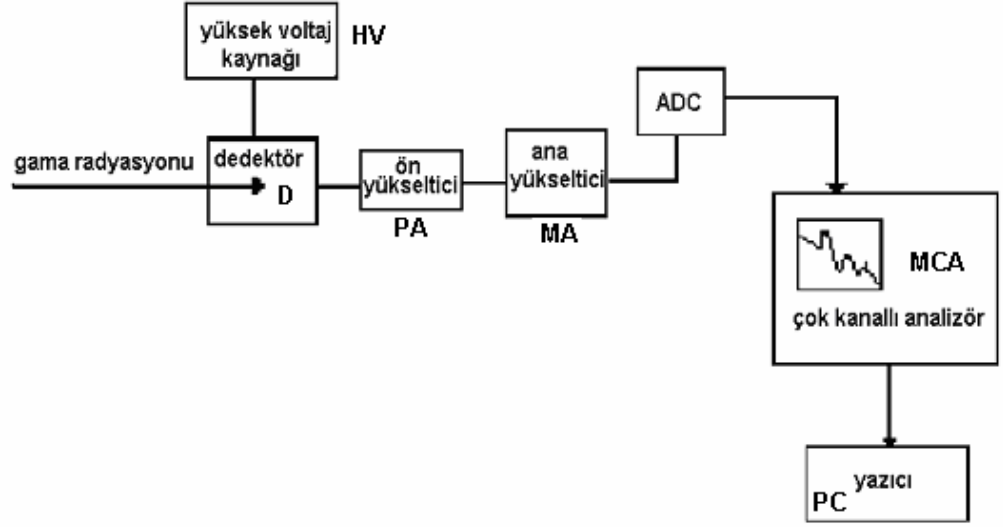


Şekil 3.2. Katı hal detektörü [38]

### 3.1.1.1. Gama Spektrometrik Analiz Sistemi

Gama spektrometre sistemi HPGe yarı iletken bir detektör (D), ön yükseltici (PA) ve yüksek voltaj filtresi ile, güç kaynağı (HV), yükseltici (MA), analog sayısal dönüştürücü (ADC), çok kanallı analizör (MCA) ve bilgisayar (PC) sisteminden oluşmaktadır. Gama spektrometresi yöntemi gama ışınlarının enerjisinin her bir çekirdek içim kesikli ve karakteristik olmasından dolayı çeşitli radyoaktif örneklerdeki

radioaktif izotopların tanımlanmasında yaygın olarak kullanılan bir tekniktir Şekil 3.3'de saf germanyum detektörlü gama spektrometrik cihazının çalışma düzeneği gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Germanyum detektörlü gama spektrometresi cihazının çalışma düzeneği

Bu çalışmadaki gama spektrometrik ölçümlerde HPGe detektörü kullanılmıştır. Bu dedektör Canberra firmasının bir ürünüdür ve Şekil 3.4'de bu detektör gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Saf germanyum detektörlü gama spektrometrik cihazı çalışma düzeneği (ÇNAEM laboratuvarı)

HPGe detektörü, 30 litrelik sıvı azot kabına monte edilmiş, 1 litrelik marinelli kaplarının sığabileceği ve 40 cm iç boşluk bırakılmış şekilde kurşun zırhlama yapılmıştır.

### 3.1.1.2. Kalibrasyon

Kalibrasyon, radyasyon ölçüm cihazının belirli bir radyasyon dozu karşısında verdiği cevabın test edilmesi şeklinde tarif edilebilir. Dolayısıyla kalibrasyon için belirli bir noktada radyasyon dozunun çok hassas olarak bilinmesi gerekmektedir. Bu amaç için aktivitesi önceden bilinen bir radyoaktif kaynağa ihtiyaç vardır. Bu radyoaktif kaynağın bilinen radyasyon şiddetleri kullanılarak kalibrasyon yapılır. Tablo 3.1'de HpGe Canberra gama spektrometresinin standart kalibrasyon kaynakları verilmiştir.

Tablo 3.1. Canberra HpGe gama spektrometresinin standart kalibrasyon kaynağı

Gama Işın Enerjisi (keV)	Nüklid	Yarı Ömür	Dallara ayrılma oranı (%)	Aktivite( $\mu$ Ci)	Her bir saniyede gamalar	Toplam Belirsizlik
60	Am-241	432.17 $\pm$ 0.66 yıl	36.0	0.03056	407.1	3.0 %
88	Cd-109	462.6 $\pm$ 0.7 gün	23071	0.3140	421.7	3.1%
122	Co-57	271.79 $\pm$ 0.09gün	85.6	0.01084	343.3	3.1 %
159	Te-123m	119.7 $\pm$ 0.1 gün	84.0	0.01610	500.4	3.0 %
320	Cr-51	27.706 $\pm$ 0.007gün	31656	0.3434	1253	3.0 %
392	Sn-113	115.09 $\pm$ 0.04gün	64.89	0.05371	1290	3.0 %
514	Sr-85	64.849 $\pm$ 0.004 gün	98.4	0.06820	2483	3.0 %
662	Cs-137	30.17 $\pm$ 0.16 yıl	85.1	0.04888	1539	3.0 %
898	Y-88	106.630 $\pm$ 0.025 gün	94.0	0.09344	3250	3.0 %
1173	Co-60	5.272 $\pm$ 0.001 yıl	99.86	0.05652	2088	3.0 %
1333	Co-60	5.272 $\pm$ 0.001 yıl	99.98	0.05652	2091	3.0 %
1836	Y88	106.630 $\pm$ 0.025 gün	99.36	0.09344	3435	3.0 %

### 3.1.1.3. Örneklerin Gama Spektrometrik Analiz İçin Hazırlanması

Gama spektrometrik analiz yöntemi ölçüm öncesinde herhangi bir kimyasal bir hazırlık gerektirmeyen bir yöntemdir. Önceden belirlenen ölçüm noktalarından yaklaşık 2 kg kadar toprak örnekleri toplanmıştır. Bu ölçüm noktaları halkın yoğun olarak yaşadığı tarım arazisi olarak kullanılmayan bölgelerden seçilmiştir. Toplanan örnekler yabancı cisimlerden arındırılmış kurutulup öğütülmüştür. Daha sonra marinelli kaplarına yerleştirilmiş ve ağız kısımları sıkıca kapatılıp dış hava ile teması kesilmiştir. Bu

şekilde hazırlanan örnekler radyoaktif dengeye ulaşmaları için 1 ay kadar süre ile bekletilmiştir.

### 3.1.2. X Işını Kırınım

Işını Kırınım yöntemi (XRD), her bir kristalin fazın kendine özgü atomik dizilimlerine bağlı olarak X-ışınları karakteristik bir düzen içerisinde kırması esasına dayanır. Her bir kristalin faz için bu kırınım profilleri bir nevi parmak izi gibi o kristali tanımlar. X-Işını Kırınım analiz metodu, analiz sırasında numuneyi tahrip etmez ve çok az miktardaki numunelerin dahi (sıvı, toz, kristal ve ince film halindeki) analizlerinin yapılmasını sağlar. X-Işını Kırınım cihazıyla kayaçların, kristalin malzemelerin, ince filmlerin ve polimerlerin nitel ve nicel incelemeleri yapılabilir.

Toprak örneklerinin mineralojik yapısını belirlemek için Rigaku Miniflex 600 X-Işını Difraktometre cihazı kullanılmıştır. Cihaz, X-ışını tüpüne ve tüpteki ani sıcaklık değişimlerini kontrol eden su soğutucusuna sahiptir. Toz örneklerin ya da ince filmlerin X-ışını kırınım deseni elde edildikten sonra yapılan kalitatif analizlerde, ICDD kartlarında bulunan yaklaşık 200.000 civarında madde ile karşılaştırma yapılarak fazlar belirlenmektedir.

Şekil 3.5’de Rigaku aleti gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Rigaku Miniflex 600 cihazı

### Rigaku Miniflex 600 Cihazımızın Teknik Özellikleri

Optik	Iraksama yarığı	Sabitlenmiş ya da değışken
	Saçılma yarığı	Sabitlenmiş
	Alıcı yarığ	Sabitlenmiş
	Filtre	K $\beta$ folyo filtre
	Monokromatör (opsiyonel)	Grafit
	Soller yarıđ	5.0° ya da 2.5°
Gonyometre	Tip	Düşey
	Yarıçap	150 mm
	Tarama alanı	-3 to 145° (2 $\theta$ )
	Tarama hızı	0.01 to 100°/min (2 $\theta$ )
	Asgari adım aralığı	0.005° (2 $\theta$ )
	Hassasiyet	$\pm 0.02^\circ$
Dedektör	Sintilasyon sayıcı	Nal sintilatör

Şekil 3.7.Rigaku cihazının teknik özellikleri

#### 3.1.2.1. X Işını Kırınımı Analizi İçin Örneklerin Hazırlanması

Fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre örnek hazırlandıktan sonra analiz şartları belirlenir. En basit olarak, kayaç ve mineral numuneleri agat havanda iyice öğütölüp toz haline getirilir. Toz haline getirilen numuneler analiz edilmek üzere plastik kaplarda saklanır. Analiz edilecek örnekler özel numune tutucularına konularak XRD cihazının örnek tutucusuna yerleştirilir ve analiz edilir.

## 4. BÖLÜM

### 4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

Bu çalışmada Nevşehir İl sınırları içerisinde yer alan kanser yoğunluğunun fazla olduğu gözlenen bazı yerleşim birimlerinin toprak yapısındaki doğal radyasyon seviyelerini belirlemek amacıyla 18 farklı bölgeden toprak örnekleri toplanmıştır.

Toplanan toprak örneklerindeki  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonları gama spektrometrik analiz yöntemiyle belirlenmiştir.

Bu analiz için Canberra 85 serisi (4096 kanallı) gama spektrometre cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz 0,33 MeV'de %15 – 16'lık relatif verime sahip yüksek saflıktaki koaksiyel germanyum detektörüdür. 2 mm bakır ve 2 mm kadmiyum tabakayla yardımıyla cihazın iç kısımları zırhlanmıştır. Böylelikle cihazın kozmik ışınlardan ve ortamın doğal radyasyonundan kaynaklanan radyasyonların etkilenmesinin önüne geçilmiş olur.

Cihazın enerji kalibrasyonu ve kısmi verim kalibrasyonu 80 keV ve 2500 keV arasında değişen enerjilerde  $^{109}\text{Cd}$ ,  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{113}\text{Sn}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{188}\text{Y}$  ve  $^{60}\text{Co}$  içeren 1000 ml hacimli kalibrasyon kaynakları kullanılarak yapılmıştır.

Her bir toprak örneği 50 000 saniyelik sürelerde detektörlerde tutularak sayımları yapılmıştır.

Sistemden kaynaklanan sayım hataları yaklaşık olarak %0,25 – 30 arasındadır.

Nevşehir bölgesindeki 18 farklı örnekleme noktasından alınan örneklerinin gama spektrometrik analiz sonuçları Tablo 4.1 de gösterilmiştir.

186 keV'de pik oluşturan  $^{238}\text{U}$ 'in bozunum ürünü olan  $^{226}\text{Ra}$ 'nın aktivite konsantrasyonları şekil 4.1'de gösterilmiştir. Bu değerler 15 Bq/kg ile 72,5Bq/kg değerleri arasında değişmektedir. Şekil 4.1  $^{226}\text{Ra}$  değerleri göstermektedir.

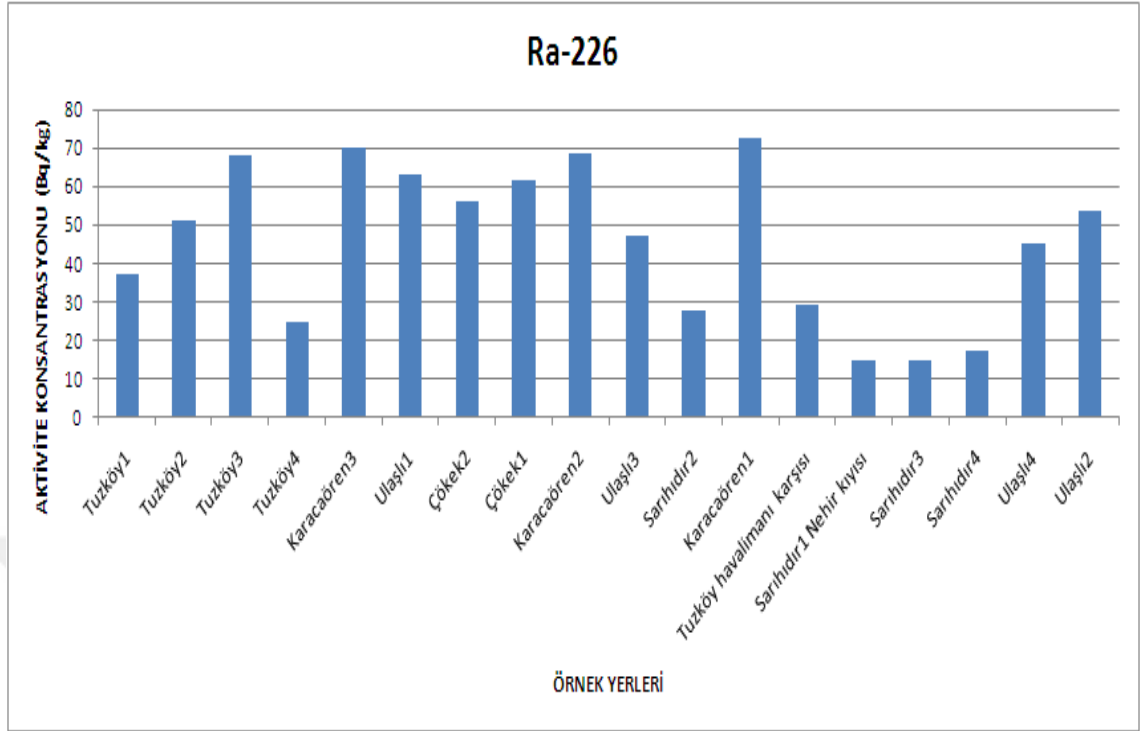


Tablo 4.1. Alınan toprak örneklerindeki Ra-226, Th-232, K-40 ve Cs-137 aktivite konsantrasyon değerleri

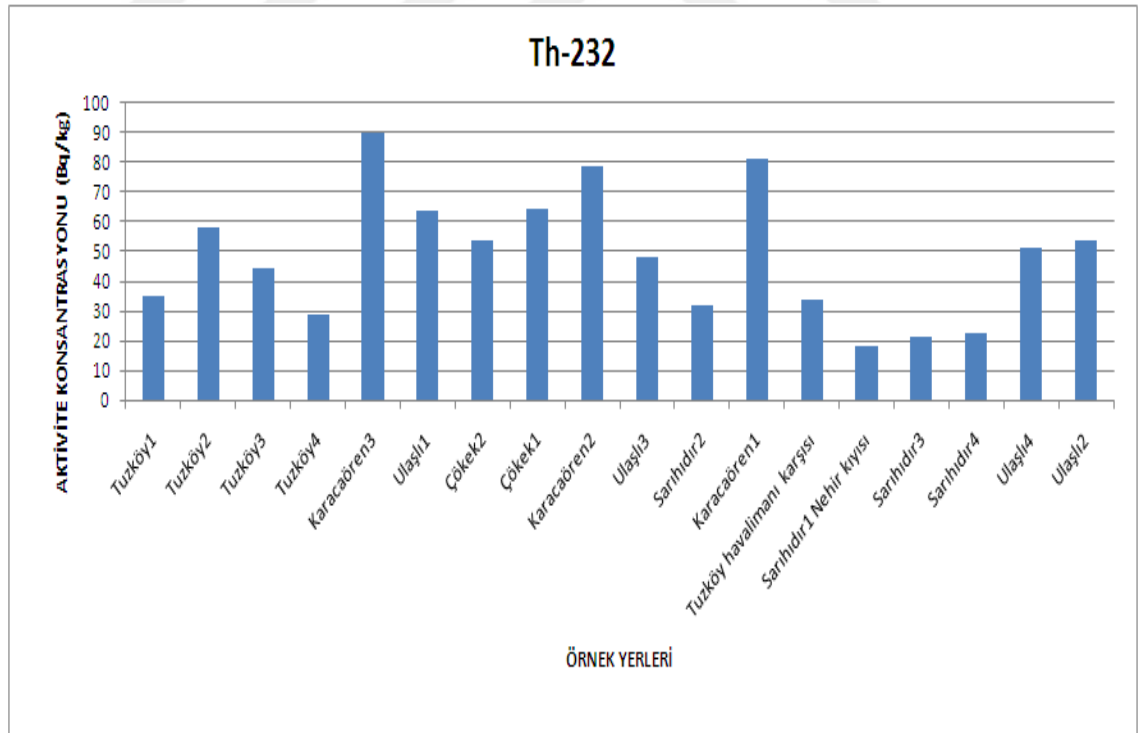
<b>Neveşehir toprak</b>	<b>Cs-137</b>	<b>K-40</b>	<b>Ra-226</b>	<b>Th-232</b>
Tuzköy1	11,1±1,0	522,0±36,8	37,4±2,0	35,0±2,0
Tuzköy2	3,2±0,4	631,3±47,3	51,0±3,0	58,4±3,5
Tuzköy3	16,2±1,0	476,0±30,5	68,3±3,2	44,6±2,2
Tuzköy4	0,7±0,2	422,0±30,0	25,0±1,5	29,0±1,7
Karacaören3	3,6±0,6	845,2±56,3	70,0±3,8	90,0±49,0
Ulaşlı1	1,0±0,2	809,0±54,4	63,0±3,5	64,0±3,6
Çökek2	6,0±0,7	635,3±51,0	56,0±3,5	54,0±3,6
Çökek1	5,4±0,4	781,5±58,4	61,5±3,6	64,2±3,8
Karacaören2	4,4±0,3	713,5±45,0	68,5±3,2	79,0±4,0
Ulaşlı3	2,5±0,2	587,4±44,3	47,0±3,0	48,0±3,0
Sarıhıdır2	9,0±0,9	444,3±37,0	28,0±2,0	32,0±2,2
Karacaören1	2,3±0,4	771,5±52,0	72,5±3,7	81,0±4,2
Tuzköy havalimanı karşısı	9,0±1,0	393,5±33,1	29,5±2,1	34,0±2,4
Sarıhıdır1 Nehir kıyısı	4,0±0,4	299,0±21,4	15,0±1,0	18,0±1,0
Sarıhıdır3	10,0±0,6	360,0±23,0	15,0±1,0	21,0±1,0
Sarıhıdır4	1,6±0,3	376,6±27,0	17,3±1,0	22,2±1,3
Ulaşlı4	8,2±0,6	599,0±40,0	45,0±2,3	51,0±2,7
Ulaşlı2	2,0±0,3	635,4±43,7	53,5±3,0	53,6±3,0

Toprak örneklerindeki  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyon değerleri şekil4.2de gösterilmektedir. Örneklerdeki  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyon değerleri en küçük18 Bq/kg en büyük 90 Bq/kg olarak ölçülmüştür.

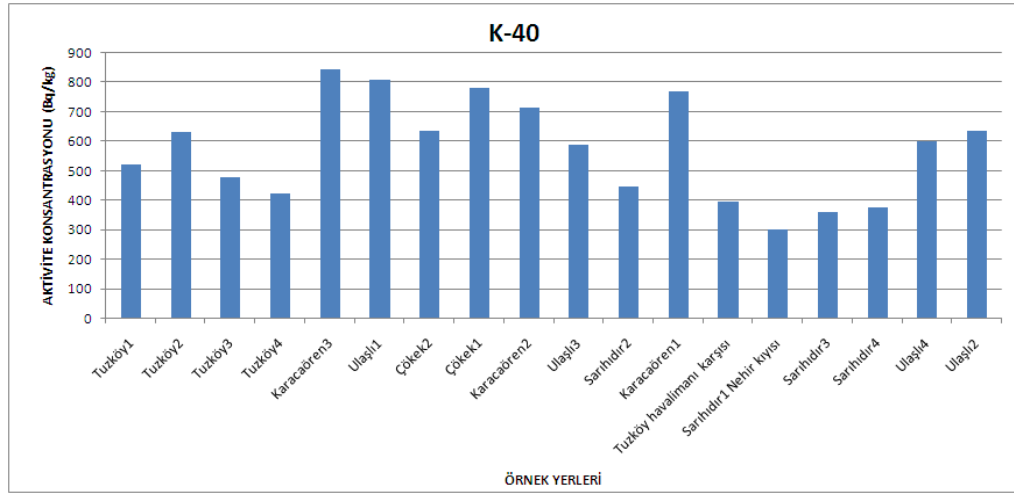
$^{40}\text{K}$  gama spektrometresinde 1460 keV'da pik vermektedir. Bu değerler Şekil 4.3 de gösterilmiştir.  $^{40}\text{K}$  için aktivite konsantrasyon değerleri 299 Bq/kg ile 845,2 Bq/kg arasında değişmektedir.



Şekil 4.1. Toprak örneklerindeki Ra-226 aktivite konsantrasyon değerleri



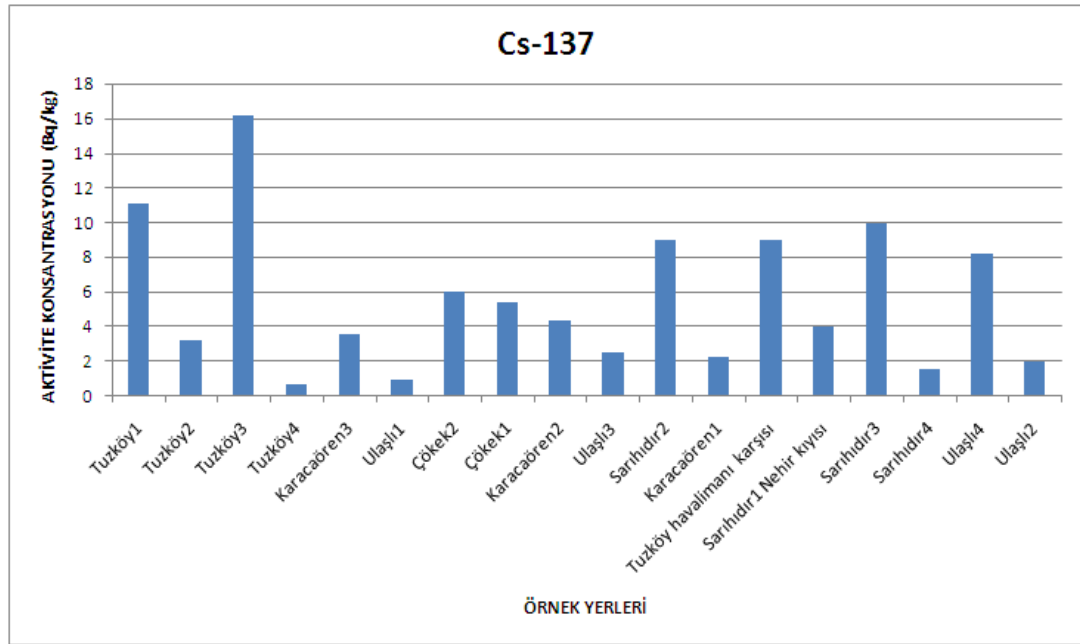
Şekil 4.2. Toprak örneklerindeki Th-232 aktivite konsantrasyon değerleri



Şekil 4.3. Toprak örneklerindeki K-40 aktivite konsantrasyon değerleri

$^{137}\text{Cs}$  fisyon ürünü olan bir izotoptur. Doğal olarak doğada bulunmazlar. Nükleer kazalar ya da denemeler sonucunda çevreye yayılırlar ve meteorolojik olaylarla yer değiştirerek yeryüzüne inerler. Alınan toprak örneklerindeki  $^{137}\text{Cs}$  radyoaktivite konsantrasyon değerleri Şekil 4.4 de gösterilmiştir. En küçük ölçülen değer 0,7 Bq/kg ve en yüksek ölçülen değer 16,2 Bq/kg'dır.

Tablo 4.2'de toprak örneklerinde ölçülen  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  için hesaplanan istatistiki sonuçlar gösterilmektedir.



Şekil 4.4.  $^{137}\text{Cs}$  radyoaktivite konsantrasyon değerleri

Tablo 4.2.  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  için hesaplanan istatistiki değerler

Radyonüklit	Ra-226 (Bq/kg)	Th-232(Bq/kg)	K-40 (Bq/kg)	Cs-137(Bq/kg)
Ortalama	45,75	48,83	572,36	5,57
Medyan (Ortanca)	47 – 51	48 – 51	587,4 – 599	4 – 4,4
Geometrik Ortalama	40,59	44,14	547,59	4,09
Standart Sapma	20,07	21,41	169,266	4,20
Standart Hata	4,73	5,05	39,90	0,99
En Küçük Değer	15	18	299	0,7
En Büyük Değer	72,5	90	845,2	16,2

#### 4.1. Radyum Eşdeğer Aktivite İndisi ( $R_{eq}$ )

Radyum eşdeğer aktivitesi son yıllarda çevresel materyallerin radyoaktivitesinin radyolojik zararlarını belirlemede kullanılan pratik bir hesaplamadır [4].

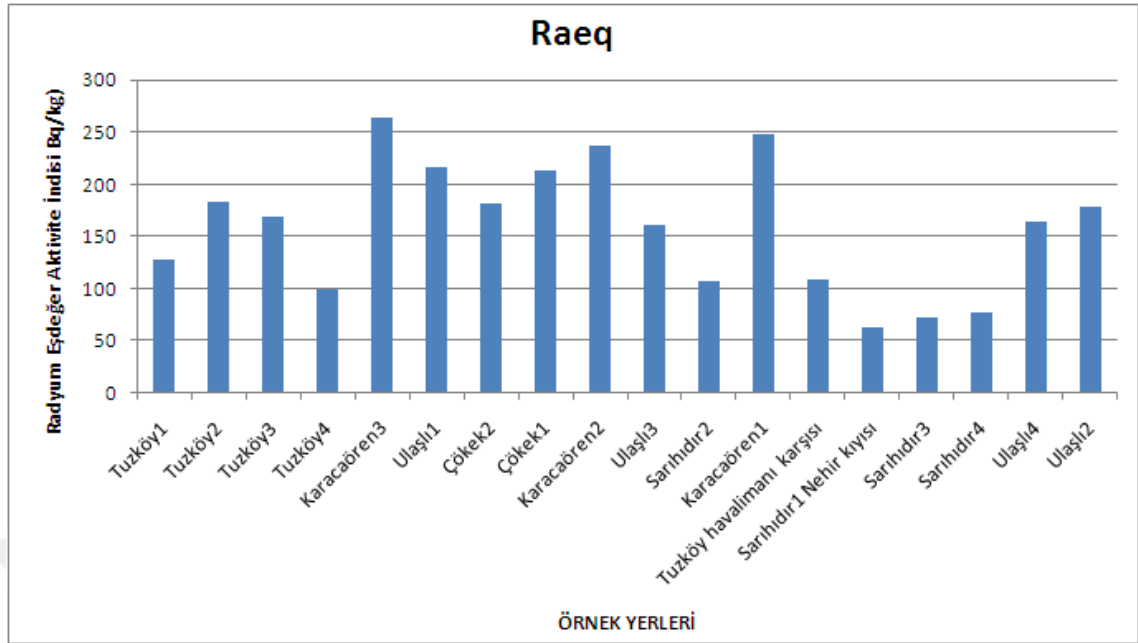
$$R_{eq} \left( \frac{\text{Bq}}{\text{kg}} \right) = A_{Ra} + 1,43A_{Th} + 0,077A_K$$

Bu eşitlik 370 Bq/kg  $^{226}\text{Ra}$ 'nın, 259 Bq/kg  $^{232}\text{Th}$ 'nin ve 4810 Bq/kg  $^{40}\text{K}$ 'in aynı gama ışını dozu üretmesi ilkesine dayandırılır. Radyum dengesi radon ve onun kız ürünlerinden kaynaklı dış gama dozu ve iç alfa dozunun her ikisi ile ilişkilidir. Radyum eşdeğer aktivite indisi için müsaade edilen maksimum değer 370 Bq kg<sup>-1</sup>'dir. Bu değer 1 mSv y<sup>-1</sup>'lik etkin doz değerine karşılık gelir [41].

Toplanan toprak örnekleri için hesaplanan radyum eşdeğer aktivite indisleri Tablo 4.3'de gösterilmiştir. Bu değerler en küçük 63,76 Bq/kg ve en büyük 263,78 Bq/kg olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.5 hesaplanan radyum eşdeğer aktivite indislerini grafiksel olarak göstermektedir.

Tablo 4.3. Toprak örnekleri için hesaplanan radyum eşdeğer aktivite indisleri ( $R_{eq}$ ), gama doz oranları ( $D_R$ ), yıllık etkin doz eşdeğerleri

	$R_{eq}$ (Bq/kg)	Gama Doz Oranı ( $D_R$ ) ( $nGy h^{-1}$ )	Yıllık Etkin Doz Eşitliği ( $mSv y^{-1}$ )
Tuzköy1	127,64	60,34	0.074
Tuzköy2	183,12	85,35	0.1067
Tuzköy3	168,73	78,49	0.096
Tuzköy4	98,96	46,79	0.057
Karacaören3	263,78	122,20	0.149
Ulaşlı1	216,81	101,74	0.124
Çökek2	182,14	85,17	0.104
Çökek1	213,48	100,01	0.123
Karacaören2	236,41	109,33	0.134
Ulaşlı3	160,87	75,38	0.092
Sarıhıdır2	107,97	50,92	0.062
Karacaören1	247,74	114,82	0.14
Tuzköy havalimanı karşısı	108,42	50,69	0.062
Sarıhıdır1 Nehir kıyısı	63,76	30,36	0.037
Sarıhıdır3	72,75	34,73	0.043
Sarıhıdır4	78,04	37,22	0.046
Ulaşlı4	164,05	76,75	0.094
Ulaşlı2	179,07	83,78	0.103



Şekil 4.5. Radyum eşdeğer aktivite indisleri

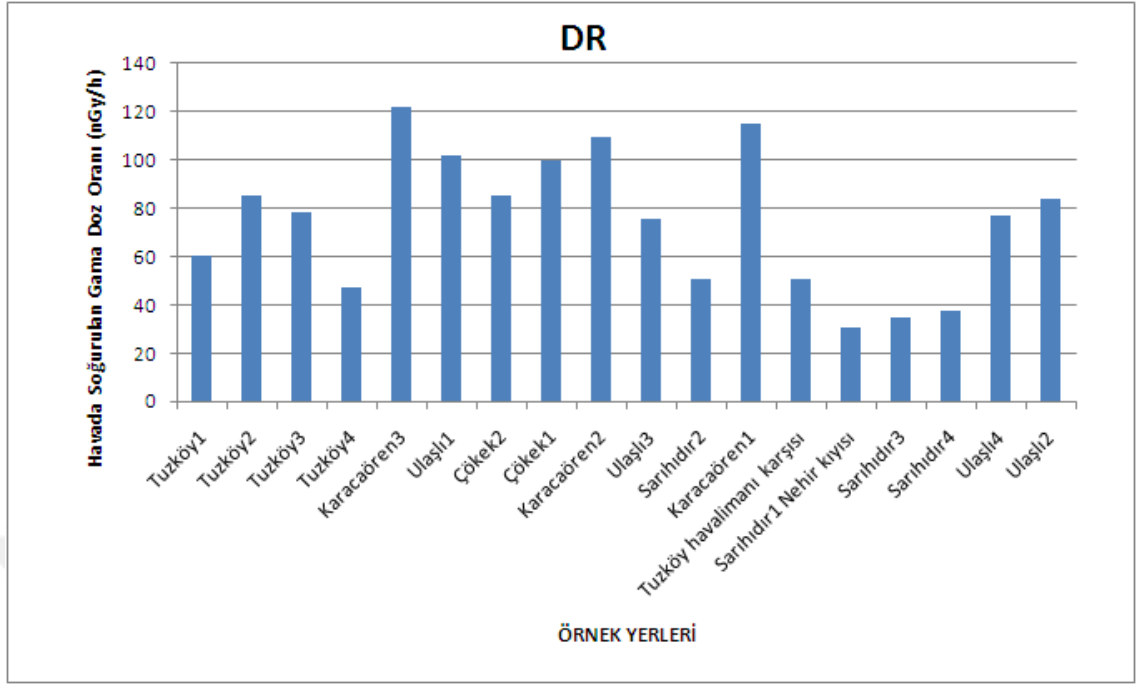
#### 4.2. Havada Soğurulan Gama Doz Oranı

Yerden 1 m yükseklikteki bir seviyede dış havada soğurulmuş radyasyon dozunu hesaplayarak ölçüm bölgesi için karasal dış gama radyasyonunun özelliklerini belirleyebiliriz. Maddenin birim zamanda birim kütle için soğurulan iyonize radyasyondan kaynaklanan enerji miktarı havada soğurulan gama doz oranını vermektedir. Havada soğurulan gama doz oranı için kullanılan birim Gray'dir. Dış gama radyasyonu karasal ve kozmik kaynaklıdır fakat en büyük kısmı karasal radyonüklitler nedeniyledir. Bu orana doğal radyonüklitlerinkatkisi  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivite değerlerine bağlıdır. [17]

Dış havada soğurulan yerden 1 m yükseklikteki gama doz oranı  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonlarına bağlı olarak hesaplanmıştır.  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonlarını dönüştürmek için kullanılan dönüşüm faktörleri 0.462, 0.604 ve 0.042 olarak kullanılmıştır [17].

$$D_R \left( \frac{n\text{Gy}}{h} \right) = 0,462 A_{Ra} + 0,604 A_{Th} + 0,042 A_K$$

Havada soğurulan gama doz oranları Şekil 4.6 da verilmiştir. Bu değerler 30,36 nGy/h ile 122,20 nGy/h arasında değişmektedir.



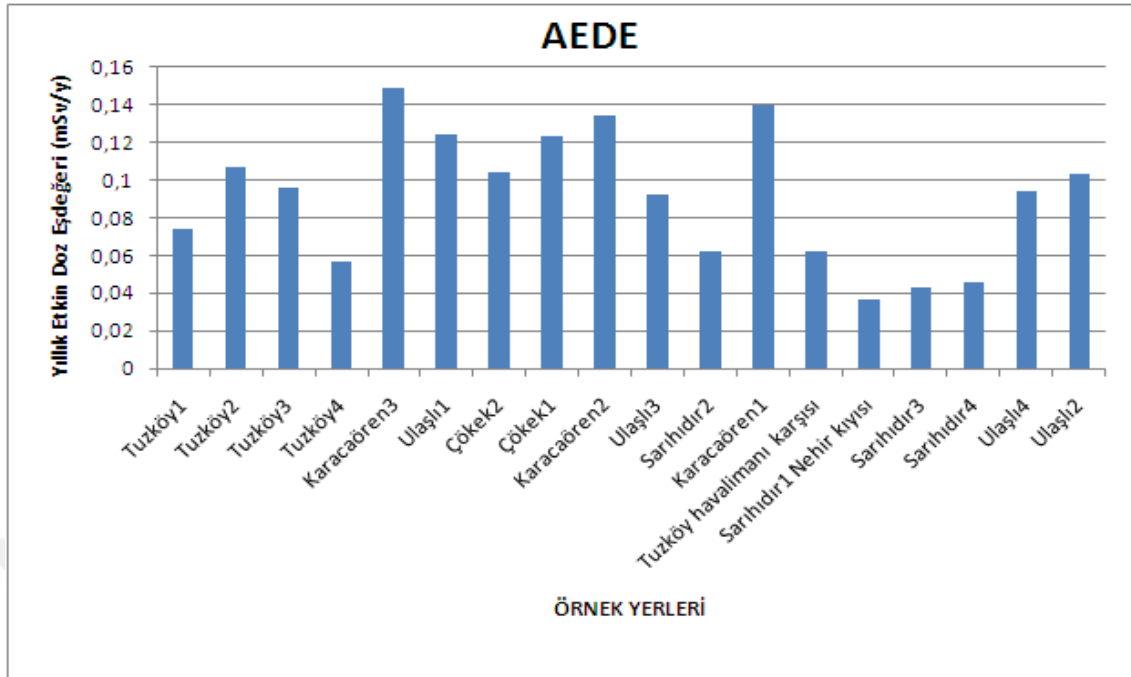
Şekil 4.6. Alınan örneklerdeki havada soğurulan gama doz oranları

### 4.3. Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri

Yıllık etkin doz eşdeğeri insanların 1 yıl süresince maruz kaldıkları radyasyon doz miktarlarını vermektedir. Orta enerjileri dönüştürülmüş çevresel gama ışınları için etkin doz eşdeğeri havadaki soğurulmuş doza oranı gama ışınları için 0,7 Sv/Gy olarak tanımlanır [1]. İnsanların bu ışınlar ne kadar süre maruz kaldıkları bu hesaplamaların yapılabilmesi için önem taşımaktadır. Meşguliyet faktörü zamanın ne kadarının iç ortamlarda ne kadarının dış ortamlarda geçirildiğinin bir ölçüsüdür. Hesaplama yapılırken ev dışı ortamlarda zamanın %20'sinin geçirildiği düşünülmüştür.

$$AEDE \left( \frac{Sv}{y} \right) = D_R \left( \frac{nGy}{h} \right) \times 0,7 \left( \frac{Sv}{Gy} \right) \times 0,2 \times 8760 \left( \frac{h}{y} \right) \times 10^{-9}$$

Hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri Tablo 4.3'de gösterilmiştir. Bu değerler 0,037 mSv/y ile 0,149 mSv/y değerleri arasında değişmektedir. Şekil4.7'de bu değerler grafiksel açıdan verilmiştir.



Şekil 4.7. Alınan örneklerin AEDE grafiği

Tablo 4.4. İç ve dış ışınlama indisi temsili gama seviyesi -alfa ve gama indisi değerleri

	<b>Hex</b>	<b>Hin</b>	<b>TGS</b>	<b>Ia</b>	<b>Iy</b>
Tuzköy1	0,34474	0,445821	0,947333	0,187	0,473667
Tuzköy2	0,494568	0,632406	1,344867	0,255	0,672433
Tuzköy3	0,455756	0,64035	1,218667	0,3415	0,609333
Tuzköy4	0,267271	0,334838	0,738	0,125	0,369
Karacaören3	0,712397	0,901586	1,930133	0,35	0,965067
Ulaşlı1	0,585566	0,755836	1,599333	0,315	0,799667
Çökek2	0,491925	0,643276	1,336867	0,28	0,668433
Çökek1	0,576567	0,742783	1,573	0,3075	0,7865
Karacaören2	0,638491	0,823626	1,722333	0,3425	0,861167
Ulaşlı3	0,434476	0,561503	1,184933	0,235	0,592467
Sarıhıdır2	0,291598	0,367274	0,802867	0,14	0,401433
Karacaören1	0,669082	0,865028	1,807667	0,3625	0,903833
Tuzköy havalimanı karşısı	0,292813	0,372542	0,799	0,1475	0,3995



Sarıhdır1 Nehir kıyısı	0,172201	0,212741	0,479333	0,075	0,239667
Sarıhdır3	0,196466	0,237006	0,55	0,075	0,275
Sarıhdır4	0,210766	0,257523	0,5884	0,0865	0,2942
Ulaşlı4	0,443065	0,564687	1,209333	0,225	0,604667
Ulaşlı2	0,483644	0,628239	1,316267	0,2675	0,658133

#### 4.4. Dış ve İç Işınlama İndisleri

Yayınlanan gama radyasyonu nedeniyle dış zararların ölçülmesinde dış ışınlama indisi ( $H_{ex}$ ) kullanılmıştır [37].

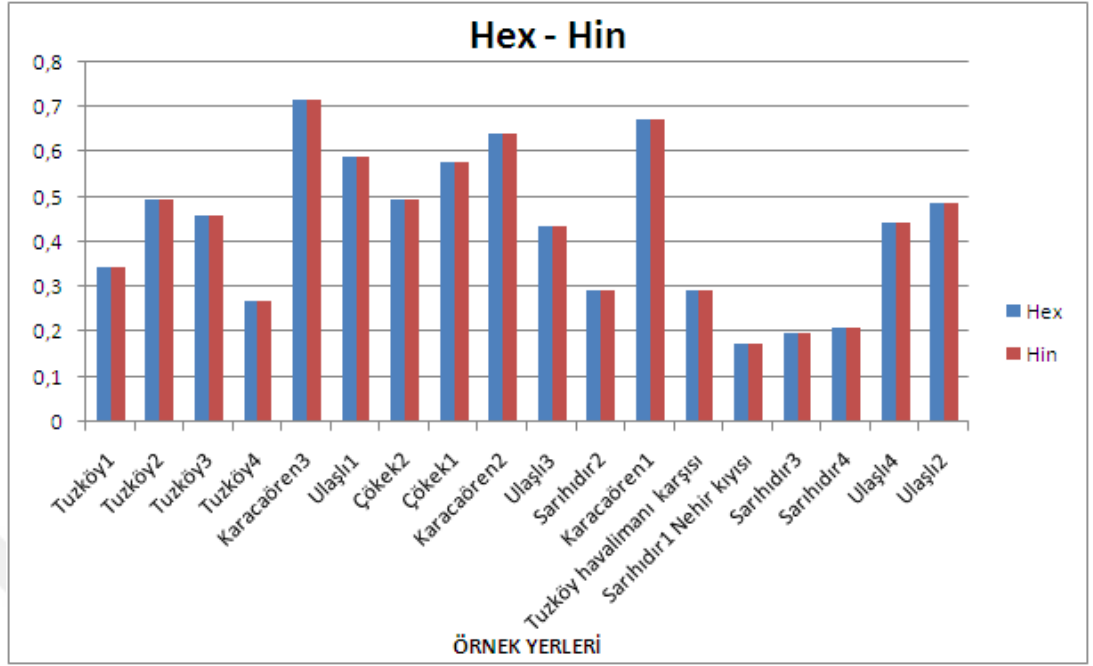
$$H_{ex} = \frac{A_{Ra}}{370} + \frac{A_{Th}}{259} + \frac{A_K}{4810}$$

Radon ve onun kısa ömürlü ürün çekirdekleri de solunum organlarına zarar vermektedir. Bu zararlar  $H_{in}$  iç ışınlama indisi ile belirlenmektedir [37].

$$H_{in} = \frac{A_{Ra}}{185} + \frac{A_{Th}}{259} + \frac{A_K}{4810}$$

Burada  $A_{Ra}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  aktivitesini (Bq/kg),  $A_{Th}$ ,  $^{232}\text{Th}$  aktivitesini (Bq/kg) ve  $A_K$ ,  $^{40}\text{K}$  (Bq/kg) aktivite değerlerini göstermektedir.

Dış ve iç ışınlama indis değerleri Tablo 4.4 'da gösterilmiştir. Dış ışınlama indisleri 0,17 ile 0,71 değerleri arasında değişmektedir. İç ışınlama indisleri ise 0,21 ile 0,9 değerleri arasında değişmektedir. Şekil 4.8 örnekler için hesaplanan  $H_{ex}$  ve  $H_{in}$  değerlerini göstermektedir.



Şekil 4.8. Hex-Hin değerleri

#### 4.5. Temsili Gama Seviye Indisi

Topraktaki doğal gama yayıcılarının sebep olduğu radyasyon zararının seviyesi temsili gama seviye indisi  $I_{\gamma r}$  ile tahmin edilir. Temsili gama seviye indisi yıllık etkin doz eşdeğeri değerleri ile karşılaştırmada kullanılabilir. Özellikle örneklerin yapı malzemesi olarak kullanılmasının uygun olup olmadığını belirlemede kullanılır [27].

$$I_{\gamma r} = \frac{A_{Ra}}{150} + \frac{A_{Th}}{100} + \frac{A_K}{1500}$$

Burada  $A_{Ra}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  aktivitesini (Bq/kg),  $A_{Th}$ ,  $^{232}\text{Th}$  aktivitesini (Bq/kg) ve  $A_K$ ,  $^{40}\text{K}$  (Bq/kg) aktivite değerlerini göstermektedir.

Temsili gama seviye indisi değerleri Tablo 4.4'de gösterilmiştir. Hesaplanan değerler 0,55 ile 1,93 arasında değişmektedir. Şekil4.9 toprak örnekleri için hesaplanan temsili gama seviye indisi değerlerini göstermektedir.



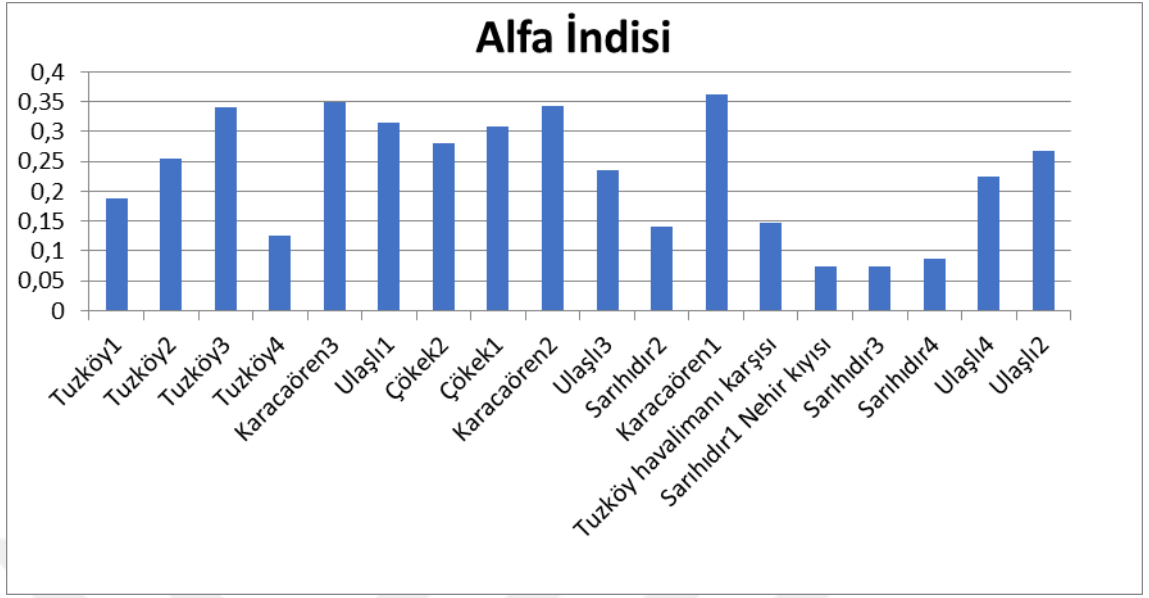
Şekil 4.9. Toprak örnekleri için temsili gama seviyesi indisi grafiği

#### 4.6. Alfa İndisi

Bu indis malzeme yakınında solunum yoluyla alfa radyasyonu maruziyetini hesaplamak için gereklidir. Ev içi radon konsantrasyon limiti olan  $200 \text{ Bq/m}^3$  değerinden kaçınmak için  $^{226}\text{Ra}$  aktivitesi  $200 \text{ Bq/kg}$  limit değerini aşmamalıdır [43,37] Alfa indis şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$I_{\alpha} = \frac{A_{Ra}}{200}$$

Burada  $A_{Ra}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  aktivite konsantrasyon değeridir ( $\text{Bq/kg}$ ). Toprak örnekleri için yapılan hesaplamalar Tablo 4.4' de gösterilmektedir. Bu değerler 0,125 ile 0,3625 değerleri arasında değişmektedir. Şekil 4.10 hesaplanan alfa indisi değerlerini göstermektedir.



Şekil 4.10. Hesaplanan alfa indisi değerleri grafiği

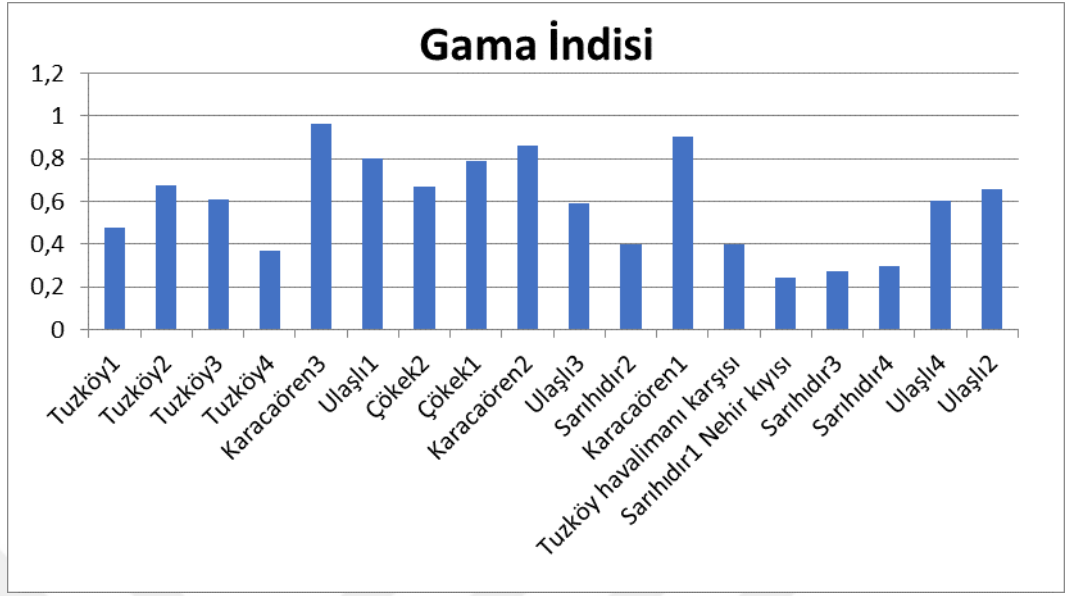
#### 4.7. Gama İndisi

Bu indeks şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$I_{\gamma} = \frac{A(Ra)}{300} + \frac{A(Th)}{200} + \frac{A(K)}{3000}$$

Burada A(Ra)  $^{226}\text{Ra}$  aktivite değerini, A(Th),  $^{232}\text{Th}$  aktivite değerini ve A(K),  $^{40}\text{K}$  aktivite değerlerini göstermektedir [24].

Toprak örnekleri için hesaplanan gama indisi Tablo 4.4'de gösterilmiştir. Yapılan hesaplamalarda gama indeksi değerleri en küçük 0,275 ve en büyük 0,965067 olarak hesaplanmıştır. Şekil 4. 11 hesaplanan gama indislerini göstermektedir.



Şekil 4.11. Örneklerdeki gama indisi değerleri grafiği

Tablo 4.5. AGDE- ELCR Farklı vücut ve organlardaki etkin doz oranı

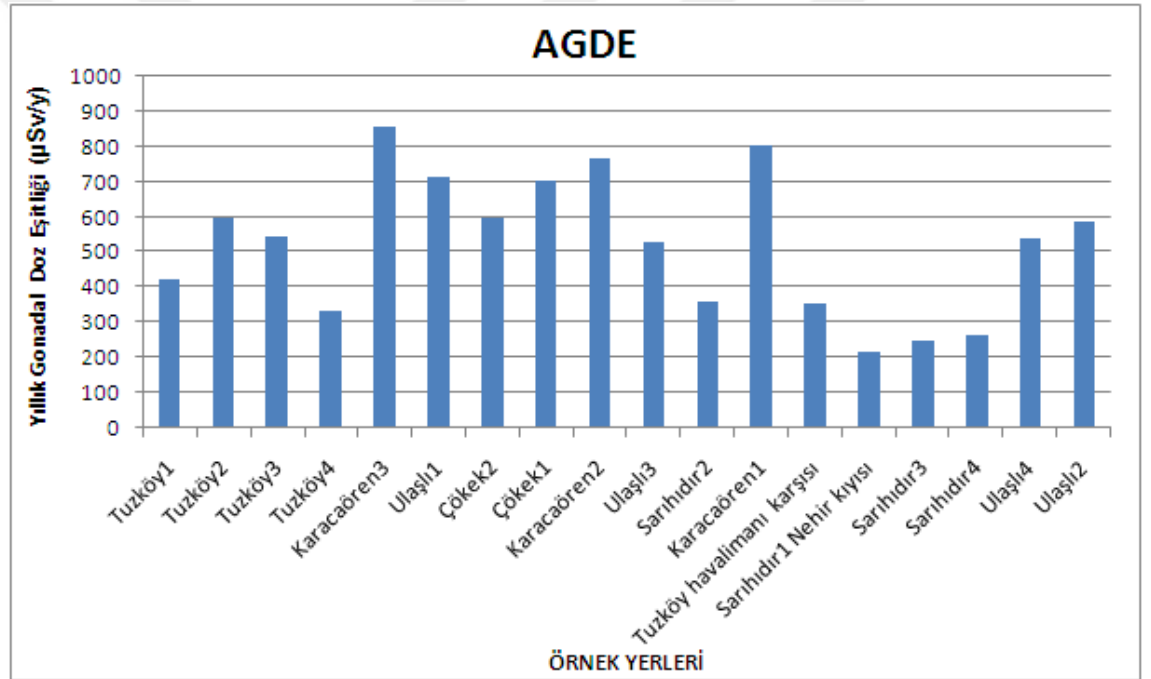
AGDE ( $\mu\text{Sv/y}$ )	ELCR ( $\text{mSv/y}$ )	Akciğer ( $\text{mSv/y}$ )	Yumurtalıklar ( $\text{mSv/y}$ )	Kemik İliği ( $\text{mSv/y}$ )	Testisler ( $\text{mSv/y}$ )	Tüm Vücut ( $\text{mSv/y}$ )
425,774	0,259	0,04736	0,04292	0,05106	0,06068	0,05032
599,9302	0,37345	0,068288	0,061886	0,073623	0,087494	0,072556
546,939	0,336	0,06144	0,05568	0,06624	0,07872	0,06528
330,978	0,1995	0,03648	0,03306	0,03933	0,04674	0,03876
857,8928	0,5215	0,09536	0,08642	0,10281	0,12218	0,10132
716,216	0,434	0,07936	0,07192	0,08556	0,10168	0,08432
598,2442	0,364	0,06656	0,06032	0,07176	0,08528	0,07072
703,782	0,4305	0,07872	0,07134	0,08487	0,10086	0,08364
765,924	0,469	0,08576	0,07772	0,09246	0,10988	0,09112
530,3136	0,322	0,05888	0,05336	0,06348	0,07544	0,06256
359,7902	0,217	0,03968	0,03596	0,04278	0,05084	0,04216
804,856	0,49	0,0896	0,0812	0,0966	0,1148	0,0952
356,834	0,217	0,03968	0,03596	0,04278	0,05084	0,04216
215,476	0,1295	0,02368	0,02146	0,02553	0,03034	0,02516
247,17	0,1505	0,02752	0,02494	0,02967	0,03526	0,02924
264,5054	0,161	0,02944	0,02668	0,03174	0,03772	0,03128
540,316	0,329	0,06016	0,05452	0,06486	0,07708	0,06392
588,8786	0,3605	0,06592	0,05974	0,07107	0,08446	0,07004

#### 4.8. Yıllık Gonadal Doz Esitliği (AGDE)

Bu değer popülasyonun üreme organları (gonads) tarafından alınan yıllık doz eşitliğinin genetik önemini belirler. Yıllık gonadal doz eşitliği (AGDE)  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktiviteleri kullanılarak hesaplanır [33].

$$AGDE (\mu\text{Sv } y^{-1}) = 3,09 A_U + 4,18A_{Th} + 0,314A_K$$

Toprak örneklerinden hesaplanan yıllık gonadal doz eşitlik değerleri Tablo 4.5’de verilmiştir. Bu değerler  $215,48 \mu\text{Sv } y^{-1}$  ile  $857,89 \mu\text{Sv } y^{-1}$  arasında değişmektedir. Şekil 4.12 yıllık gonadal doz eşitliklerini göstermektedir.



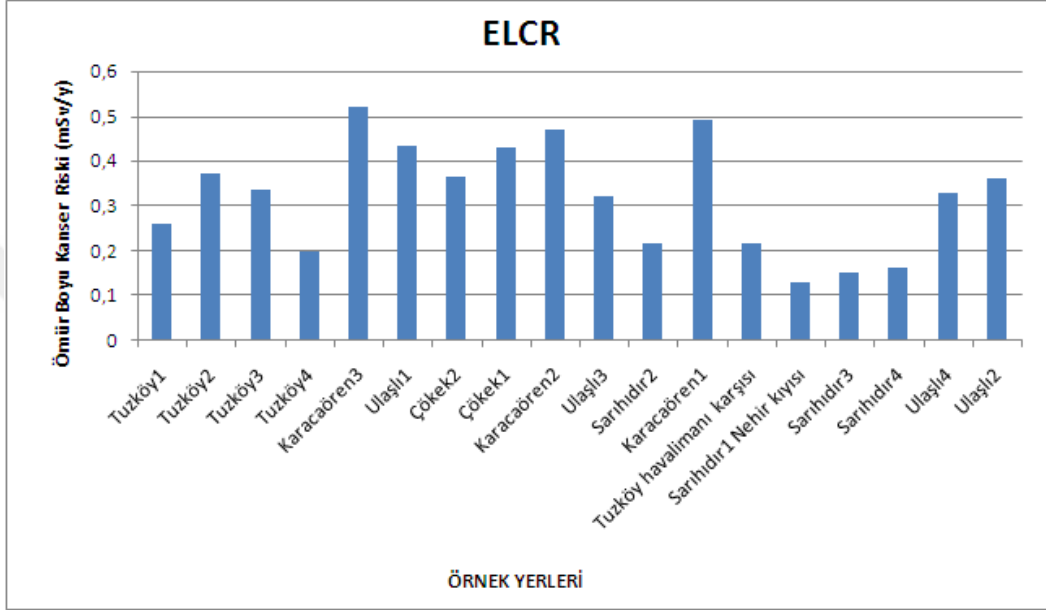
Şekil 4.12. Yıllık gonadal doz eşitlikleri

#### 4.9. Yaşam Boyu Kanser Riski

Yaşam boyu alınan dozlar nedeniyle oluşabilecek potansiyel kanserojen etkiler popülasyondaki bireylerin kanser olma olasılıklarının tahmin edilmesiyle karakterize edilir. Yaşam boyu kanser riski şu şekilde hesaplanır:

$$ELCR = AEDE \times DL \times RF$$

Burada AEDE yıllık etkin doz eşitliği, DL yaşam süresi (70 yıl) ve RF ise risk faktörü ( $Sv^{-1}$ ) olarak belirtilmiştir. Bu değer ICRP tarafından toplum için 0,05 olarak alınmıştır. Yaşam boyu kanser riski hesaplama sonuçları Tablo 4.5’de verilmiştir. Bu değerler 0,469 mSv/y ile 0,1295 mSv/y arasında değişmektedir. Şekil 4.13 yaşam boyu kanser riski değerlerini göstermektedir.



Şekil 4.13. Yaşam boyu kanser riski grafiği

#### 4.10. Farklı Vücut Doku Ve Organlarındaki Etkin Doz Oranı

Yıllık etkin doz oranının belirli organlardaki dağılımları dağılımı şu şekilde hesaplanır:

$$D_{organ}(mSv y^{-1}) = AEDE \times f$$

f havadaki dozdan organ dozuna dönüşüm faktörüdür. Her bir organ için kullanan doz dönüşüm faktörleri Tablo 4.6’da gösterilmiştir.

Tablo 4.6. Farklı doku ve organlar için doz dönüşüm faktörleri [8]

Organ ya da Doku	Doz Dönüşüm Faktörü (f)
Akciğerler	0,64
Yumurtalıklar	0,58
Kemik İliği	0,69
Testisler	0,82
Tüm Vücut	0,68

Bu değerler akciğerler için 0,02368 mSv/y ile 0,09536 mSv/y, yumurtalıklar için 0,02146 mSv/y ile 0,08642 mSv/y arasında, kemik iliği için 0,02553 mSv/y ile 0,10281 mSv/y arasında, testisler için 0,03034 mSv/y ile 0,12218 mSv/y arasında ve tüm vücut için 0,02516 mSv/y ile 0,10132 mSv/y arasında değişmektedir.

#### **4.11. Toprak rnekleri için X Işınımı Kırınımı**

Nevşehir İl bölgesi içerisinde kanser yoğunlu görülen bazı yerleşim birimlerinden gama spektrometrik yöntemle yapılan analiz sonucunda bulunan en yüksek  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  değerine sahip olan on toprak örneğinin mineralojik yapılarını belirlemek üzere x işını kırınımı analizleri yapılmıştır. Tablo 4.7 bu analiz sonucu toprak örneklerinin barındırdıkları mineralleri ve kimyasal formüllerini göstermektedir.



Tablo 4.7. Bazı toprak örneklerinin X ışını kırınımı sonuçları

Örnek	Kimyasal Adı	Kimyasal Formülü
Çökek 1	Zeolite X,(Li)	$(Li, Na)_2 \cdot Al_2 Si_{2.5} O_9 \cdot 7.2 H_2 O$
	Albite	$Na ( Al Si_3 O_8 )$
Çökek 2	quartz low HP, syn	$Si O_2$
	Diopside	$Ca Mg Si_2 O_6$
Karacaören 1	3-Chloropropylamine hydrochloride	$C_3 H_8 Cl N \cdot H Cl$
	3-Chloropropylamine	$C_3 H_8 Cl N \cdot H Cl$
Karacaören 2	Calciumtecto dialumodisilicate,	$Ca ( Al_2 Si_2 O_8 )$
Karacaören 3	potassium nitrate(III)	$K ( N O_2 )$
	crystalite beta HP, syn	$Si O_2$
Sarıhıdır Nehir Kırması	Quartz, syn	$Si O_2$
	Calcite	$Ca ( C O_3 )$
	Albite	$(Na_{0.98} Ca_{0.02}) (Al_{1.02} Si_{2.98})$
Tuzköy 2	CoAPO-34	$( P_{0.47} Al_{0.40} Co_{0.13} ) O_2$
	quartz low HP, syn	$Si O_2$
	albite low HP, sodium	$Na ( Al Si_3 O_8 )$
Tuzköy 3	Calcite, magnesian	$( Mg_{0.064} Ca_{0.936} ) ( C O_3 )$
	Sodium dicobalt bis(sulfate(VI))	$Na Co_2 ( S O_4 )_2 ( H_2 O ) ( O )$
Ulaşlı 1	Sulfamide	$S O_2 ( N H_2 )_2$
	Enstatite, manganoan, syn	$( Mg_{0.925} Mn_{0.075} ) ( Si O_3 )$
Ulaşlı 2	Albite, syn	$Na ( Al Si_3 O_8 )$

## 5. BÖLÜM

### 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Radyasyon kayalar, toprak, kum, sediment, nehirler, denizler ve okyanuslar ve hatta binalarımız ve evlerimizde ve hatta vücudumuzda yer alarak çevremizi kuşatmıştır.  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  gibi doğada var olan radyonüklitler yer kabuğunun her yerinde mevcuttur. Bu radyonüklitlerin dağılım ve konsantrasyon bilgisi doğal ve yapay radyonüklitler tarafından çevresel radyoaktif kirliliğin izlenmesi ve bir veri tabanı oluşturmak açısından önemlidir. Ayrıca doğal materyallerde bulunan radyoaktivite hakkındaki bilgi, bu materyallerin kullanılmasıyla insanların sahip olduğu muhtemel radyolojik zararın belirlenmesine olanak sağlar.

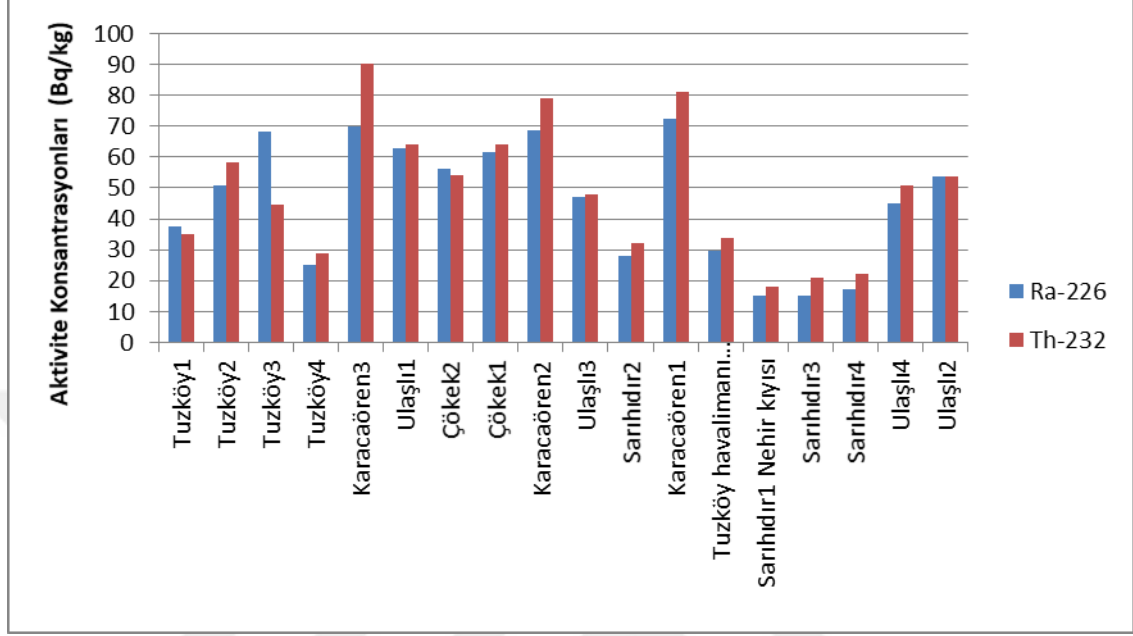
Bu amaç doğrultusunda bu çalışma için Nevşehir İl sınırları içerisinde bulunan ve kanser yoğunluğunun fazla görüldüğü Tuzköy, Ulaşlı, Karacaören, Çökek, Sarıhıdır yerleşim birimlerini kapsayan 18 farklı örnekleme noktasından toprak örnekleri toplanmıştır. Bu bölgede görülen akciğer zarı kanseri (mezotelyoma) dünyadaki görülme sıklığından bin kat daha fazladır.

Bu çalışmada toprak örneklerini radyolojik açıdan incelemek ve mineralojik sonuçlarıyla korelasyon sağlamak amacıyla gama spektrometrik analizleri yapılmış ve en yüksek radyonüklit konsantrasyonuna sahip örneklerin X-ışını kırınım analizleri gerçekleştirilmiştir.

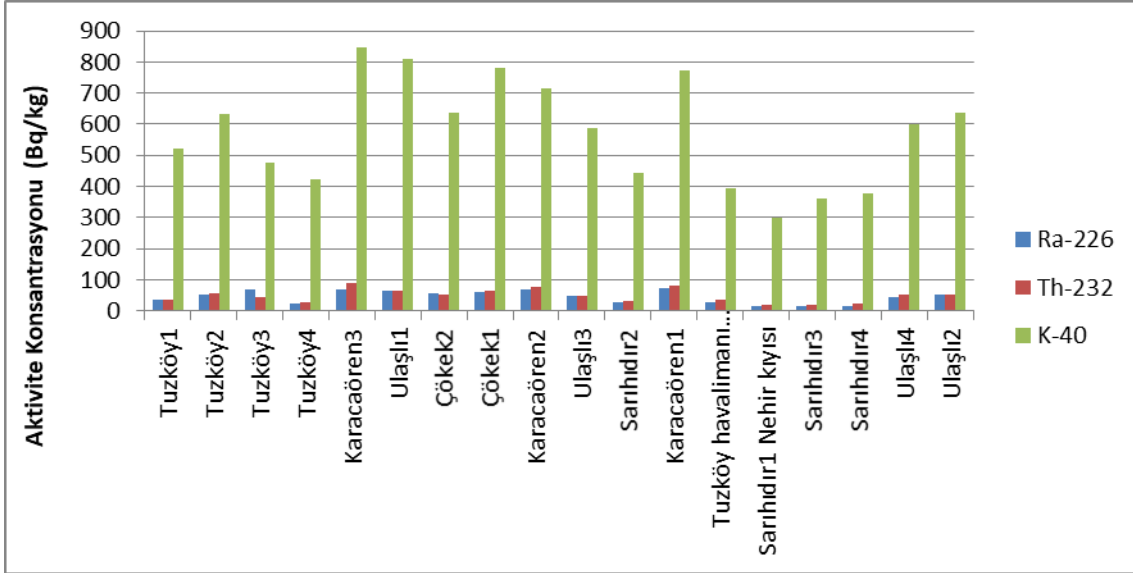
Yapılan gama spektrometrik analiz sonucunda en yüksek radyum-226 aktivite konsantrasyon değeri 72,5 Bq/kg olarak Karacaören -1 numaralı örnekte ölçülmüştür. Toryum-232 için ise en yüksek değer 90 Bq/kg ile Karacaören -3 numaralı örnekte bulunmuştur. Potasyum-40 için ise en yüksek değer 845,2 Bq/kg değeri ile Karacaören-3 örneğinde ölçülmüştür.

Toprak örnekleri için ortalama hesaplanan değerler radyum-226 için 45,75 Bq/kg, toryum-232 için 48,83 Bq/kg, potasyum-40 için ise 572,36 Bq/kg'dır. Şekil 5.1'de toprak örneklerindeki Ra-226 ile Th-232 aktivite konsantrasyon değerlerini karşılaştırmaktadır. Genel olarak örneklerdeki Th-232 aktivite konsantrasyon değerleri Ra-226 değerlerinden daha fazladır. Sadece Tuzköy-1 ile Tuzköy-3 örneklerinde Radyum-226 aktivite değerleri Toryum-232 aktivite değerlerinden daha yüksektir.

Bunun nedeni toprak yapısının jeolojik ve kimyasal özelliklerinin ayrıca bu yapıda radyonüklitlerin çözünme özelliklerinin farklı olmasıdır.



Şekil 5.1. Toprak örneklerindeki Ra-226 ile Th-232 aktivite konsantrasyonları karşılaştırması



Şekil 5.2. Toprak örneklerindeki Ra-226, Th-232 ve K-40 aktivite konsantrasyonları karşılaştırması

Şekil 5.2 tüm toprak örneklerindeki Ra-226, Th-232 ve K-40 aktivite konsantrasyon değerlerini grafiksel olarak göstermektedir. Tüm örneklerde K-40 aktivite değeri Radyum-226 ve Toryum-232 aktivite değerlerinden daha yüksektir. Potasyum toprak yapısının en önemli bileşenlerinden birisidir ve yerkabuğunda oldukça yaygındır.

Potasyum-40 ise potasyumun doğal olarak oluşan radyoaktif izotopudur. Doğal potasyumun % 0,012'si potasyum-40 izotopudur. Toprak yapısında yoğun olmasının nedeni doğal potasyumun yerkabuğunda bol miktarda bulunmasıdır.

Sezyum-137 nükleer santrallerde ve hızlandırıcılarda üretilen yapay bir radyonüklitler. Dünya üzerinde yapılan çeşitli nükleer denemeler ya da nükleer santral kazaları sonucunda meteorolojik yollarla çevreye yapılmaktadır. Sezyum-137'nin yarı ömrü 30,17 yıldır ve havada kolaylıkla hareket eder, suda da kolaylıkla çözülebilir. Toprak ve betona sıkıca bağlanır fakat yüzeyin altından çok fazla aşağılara hareket etmez.

Toprak örneklerinde bulunan sezyum-137 ölçümü yapılan nükleer aktivitelerin oluşturduğu radyolojik kirlilik miktarlarını göstermektedir. Gama spektrometrik analiz sonucunda sezyum-137 en az 0,7 Bq/kg değeri ile Tuzköy-4 örneğinde ölçülürken en fazla ise 16,2 Bq/kg değeri ile Tuzköy-3 örneğinde ölçülmüştür. Ortalama hesaplanan sezyum-137 değeri 5,57 Bq/kg olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5.1. Ra-226, Th-232, K-40 aktivite konsantrasyon değerlerinin diğer ülke ve Türkiye'deki bazı şehir sonuçlarıyla kıyaslanması

Diğer Çalışmalar	Ra-226 (Bq/kg)	Th-232 (Bq/kg)	K-40 (Bq/kg)	Referans
İsveç	42	42	780	[40]
İspanya	32	33	470	[40]
Yunanistan	25	21	360	[40]
Malezya	67	82	310	[40]
Adana	22,4	22,7	305,5	[3]
İstanbul	---	37	342	[12]
Dünya Ortalaması	35	30	400	[40]
Nevşehir köyleri	45,75	48,83	572,36	Şimdiki çalışma

Tablo 5.1 bu çalışmanın sonuçlarının bazı ülkeler ve Türkiye'nin bazı şehirleri için yapılan çalışmaların sonuçlarıyla kıyaslanmasını göstermektedir. Unsear 2000 raporuna göre Dünya ortalaması Ra-226 için 35 Bq/kg, Th-232 için 30 Bq/kg ve K-40

için 400 Bq/kg'dır. Nevşehir İlinin bazı yerleşim birimleri için yapılan çalışma sonuçları Dünya ortalamasının üzerindedir.

Tablo 5.2. Radyasyon İndisleri için tavsiye edilen değerler

Radyasyon İndisleri	Tavsiye Edilen Değerler	Referanslar
Radyum Eşdeğer Aktivitesi	370 Bq kg <sup>-1</sup>	[28]
Havada Soğurulan Doz Oranı	84 nGy h <sup>-1</sup>	[40]
Ortalama Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri	0,46 mSv y <sup>-1</sup>	[39]
Dış Zarar İndeksi	<1	[40]
İç Zarar İndeksi	<1	[40]
Temsili Gama Seviye İndisi	<1	[40]
Gama İndisi	≤ 1	[40]
Yaşam Boyu Kanser Riski	0,29 x 10 <sup>-3</sup>	[40]
Gonadal Doz Oranı	300 mSv y <sup>-1</sup>	[40]

Tablo 5.2. Radyasyon indisleri için tavsiye edilen referans değerlerini vermektedir. Radyum eşdeğer aktivite indisleri için tavsiye edilen değer 370 Bq/kg'dır. Nevşehir bölgesi bazı yerleşim birimleri için hesaplanan radyum eşdeğer aktivite indislerinin ortalaması 159,65 Bq/kg olarak hesaplanmıştır. Toprak örnekleri için hesaplanan radyum eşdeğer aktivite değerlerinin hiçbirisi tavsiye edilen limit değerini aşmamaktadır.

Nevşehir bölgesi bazı yerleşim birimleri için hesaplanan havada soğurulan doz oranları ortalaması 74,67 nGy/h'dir. Tavsiye edilen limit değer ise 84 nGy/h'dir. Ortalama değer tavsiye edilen limit değerinin altında olmasına rağmen Tuzköy-2 örneği (85,36 nGy/h), Karacaören-3 örneği (122,2 nGy/h), Ulaşlı-1 örneği (101,74 nGy/h), Çökek-2 örneği (85,17 nGy/h), Çökek-1 örneği (100,01 nGy/h), Karacaören-2 örneği (109,33 nGy/h) ve Karacaören-1 örneği (114,82 nGy/h) tavsiye edilen limit değerlerini aşmaktadır.

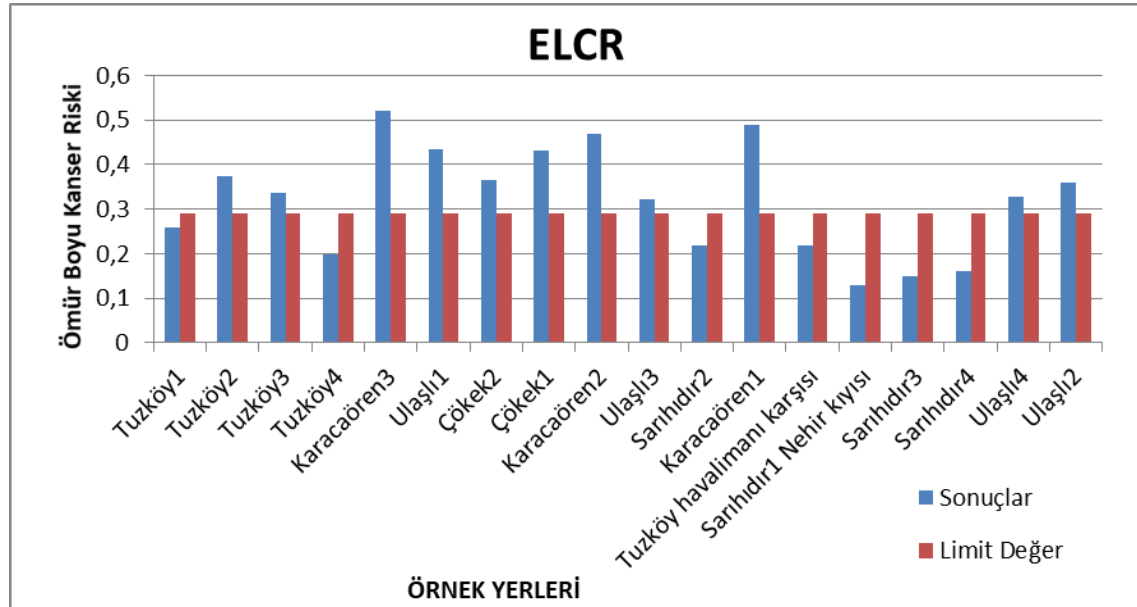
Yıllık etkin doz eşdeğeri için tavsiye edilen limit değeri 0,46 mSv/y'dır. Toprak örnekleri için hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğeri ortalaması 0,09 mSv/y'dır.

Örneklerinin hiçbirisi bu limit değerini aşmamaktadır.

İç ve dış zarar indisi için tavsiye edilen değer 1'den küçük olmasıdır. Toprak örnekleri için hesaplanan iç ve dış zarar indislerinin hiçbirisi 1 değerini aşmamıştır.

Temsili gama seviye indisi için tavsiye edilen limit değerinin birden az olması gerekir. Bu değer gama radyasyonu zarar seviyesini değerlendirmek üzere kullanılır. Toprak örnekleri için yapılan hesaplamalarda Tuzköy-2, Tuzköy-3, Karacaören3, Ulaşlı-1, Çökek-2, Çökek-1, Karacaören-2, Ulaşlı-3, Karacaören-1, Ulaşlı-4 ve Ulaşlı-2 örneklerinin bir değerini aştığı görülmektedir.

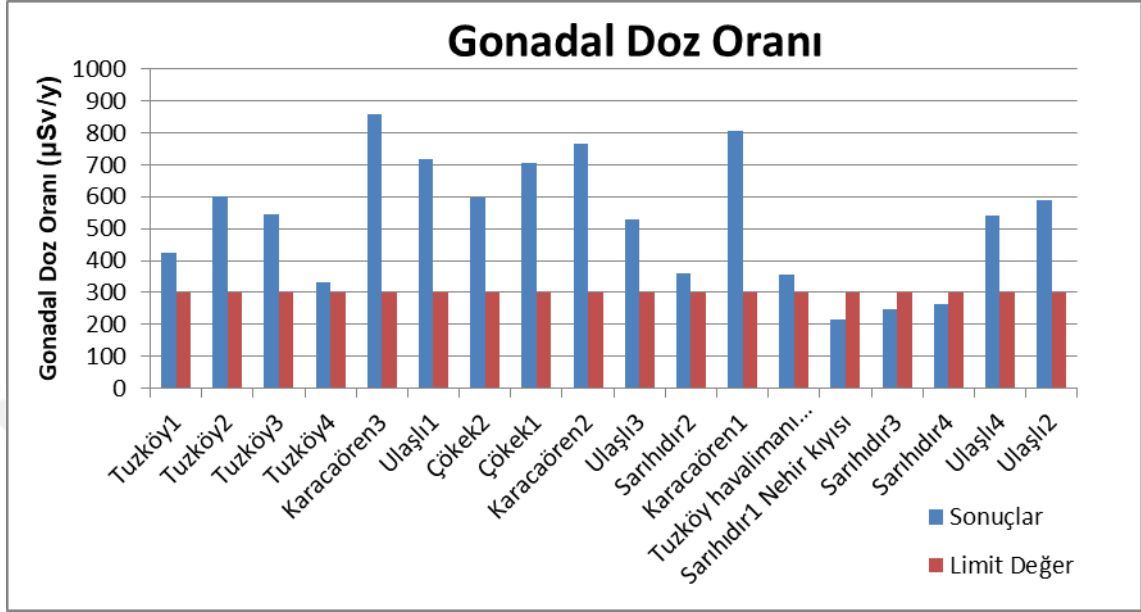
Gama indeksi malzemenin radyolojik açıdan inşaat malzemesi olarak kullanılıp kullanılmaması gerektiğini gösteren bir indekstir. Bu indeks için tavsiye edilen değerin bir ve altı olması gerekmektedir. Toprak örnekleri için yapılan hesaplamaların tamamında bir değeri aşılmamıştır.



Şekil 5.3. Yaşam boyu kanser indisleri ve limit değerleri karşılaştırması

Yaşam boyu kanser riski indisi için limit değer  $0,29 \times 10^{-3}$  olarak tanımlanmıştır. Şekil 5.3 toprak örnekleri için hesaplanan yaşam boyu kanser indisleri ile limit değeri karşılaştırmasını vermektedir. Tuzköy-2, Tuzköy-3, Karacaören-3, Ulaşlı-1, Çökek-2,

Çökek-1, Karacaören-2, Ulaşlı-3, Karacaören-1, Ulaşlı-4 ve Ulaşlı-2 örnekleri için yapılan hesaplamalarda bu limit değeri aşılmıştır.



Şekil 5.4 Gonadal doz oranları ve limit değerlerinin alınan örneklerde karşılaştırılması

Toprak örnekleri için hesaplanan gonadal doz oranları için limit değeri 300 µSv/y'dir. Toprak örnekleri için yapılan hesaplamalarda genel olarak bu değerlerin aşıldığı görülmüştür. Şekil 5.4 'te limit değerler ve gonadal doz oranları arasındaki ilişki belirtilmiştir.

## KAYNAKÇA

1. APAYDIN, A., “Samsun-Artvin Arası Farklı Noktalardan Alınan Sediment Örneklerinde Element ve Radyoaktivite Analizleri”, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi*, s.12, Trabzon, 2015
2. ARIKAN, İ.H., “Çevresel Radyasyonun Canlılığın Sürdürülebilirliğine Etkileri”, *Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sosyal Çevre Bilimleri Anabilim Dalı, Doktora Tezi*, s.68-69, Ankara, 2007.
3. DEĞERLİER, M., “Adana İli ve Çevresinin Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Saptanması ve Doğal Radyasyonların Yıllık Etkin Doz Eşdeğerinin Bulunması”, *Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, s.17, Adana, 2007
4. DARWISH, D. A. E., ABUL-NASR, K. T. M., EL-KHAYATT, A.M., “The Assesment of Natural Radioactivity and its associated radiological hazards and dose parameters in granite samples from South Sinai, Egypt”, *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 9, p.17-25 ,2015.
5. DRAGANİC, I.G., ADLOFF, J.P., “Radiation and Radioactivity on Earth and Beyond”, *CRC Press*, p.35-70, Boca Raton, 1993
6. EHMANN, W.D., VANCE, D.E.,”Radiochemistry and Nuclear Methods of Analysis”, *Wiley*, New York, 1991.
7. EİSENBUĐ, M., “Environmental Radioactivity in US”, *McGraw and Hill*, s. 135, New York, 1963
8. EL-GAMAL, A., NASR, S., & EL-TAHER “Study of the spatial distribution of natural radioactivity in the upper Egypt Nile River sediments, Radiation Measurements, 42, p.457-465, 2007
9. GEZELGE, M., “Tokat-Zile İlçesine Ait Topraktaki, Doğal Fon Radyasyonunun Tespiti “, *Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, s.9, Kastamonu, 2017.
10. GÖRÜR, Ş. “Çevresel radyoaktivite ile bu çevrede yaşayanlara ait dış örneklerindeki radyoaktivite arasındaki ilişkinin araştırılması”, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, s.14-16, Adana, 2006



11. HOLM, E., SAMUELSON, C., PERSSON, B.R.R., “Natural radioactivity around a prospected uranium mining site in a subarctic environment”, 2nd ed., Natural Radiation Environment, *John Wiley and Sons Inc.*, p.85-92 United States, 1982
12. KARAHAN, G., 1997, “İstanbul’un Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Tayini ve Doğal Radyasyonların Yıllık Etkin Doz Esdeğeri”, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Nükleer Enerji Enstitüsü*, Doktora Tezi, s.5-15 İstanbul, 1997
13. KARATAŞLI M., ÖZER T., “Osmaniye’de Yetişen Yer Fıstığının Radyasyon Aktivitesinin İncelenmesi”, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* ,Cilt 21, Sayı 3, s. 1017, 2017.
14. KORKULU, Z., “Kocaeli İli Karadeniz Sahil Kumlarının Doğal Radyoaktivite Seviyelerinin Belirlenmesi”, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı*, s.24, Kocaeli, 2010.
15. KÖKLÜ, N., “Radyasyonun insan sağlığı üzerindeki etkileri ve tıpta uygulama alanları”, *Selçuk üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi*, p.15-16, Konya, 2006.
16. KRANE, KENNETH S., “Nükleer Fizik I & II”, Başar ŞARER, 2nci Baskı, *Palme Yayıncılık*, s.201, Ankara, 2011
17. KURNAZ, A., KUCUKOMEROGLU, B., KESER, R., OKUMUSOGLU, N. T., KORKMAZ, F., KARAHAN G., CEVIK U., “Determination of radioactivity levels and hazards of soil and sediment samples in Fırtına Valleys (Rize, Turkey)”. *Applied Radiation and Isotopes*, 65, 1281-1289, 2007.
18. LALIT, B.Y., SHUKLA, V.K., “Natural Radioactivity in Foods from High Natural Radioactivity Areas of Southern India”, *Natural Radiation Environment*, p. 43-49, 1982.
19. L’ANNUNZIATA, M.F., ” Handbook of Radioactivity Analysis”, *Academic Press*, p.71-72, San Diego, 1998
20. LOWDER, W.M., SOBON, L.R., “Background Radiation”, Rep. NYO-4712, USAEC, D.C., Washington. 1956
21. MAGİLL J., GALLY J., ” Radioactivity, Radionuclides, Radiation”, *Springer* s.59-63, New York, 2005

22. MANGURI, P. H. A., “The Investigation of natural Radioactivities and Hazard Index for Soil Samples Around Pshdar Region in Iraq”, *University of Gaziantep Graduate School of Natural & Applied Sciences, M. Sc. Thesis*, s. 34, Gaziantep, 2015
23. MAROUF, B.A., MOHAMED, A.S., TAHA, J.S. and AL-HADDAD, I.K., ”Population Doses from Environmental Gamma Radiation in IRAQ.” *Health Physics* , 62(5), 443-444, 1992.
24. MAITHAM, S. A., “Radiation Hazard Index of Common Imported Ceramic using for Building Materials in Iraq”. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 11(10), p 94-102, 2017.
25. MYRICK, T. E., BERVEN, B., HAYWOOD, F.F., “Determination of Concentration of Selected Radionucleides in surface soil in the US”, *Health Physics*, 45(3), 631-642, 1983
26. NCRP Report 45, ”Natural Background Radiation in The U.S., Soil Radioactivity”, National Council on Radiation Protection and Measurement, No:45, *United States* p.54, 1975
27. NEA-OECD, “ Exposure to radiation from the natural radioactivity in building materials”, Nuclear Energy Agency Organization for Economic co-operation and development, *Paris*, p.13, 1979.
28. OYAR, O., ”Radyolojide Temel Fizik Kavramlar”, *Nobel Tıp Kitapevi*, İzmir, 1998
29. ÖNEN, S., “Radyasyon Biyofiziği”, 2.Baskı, Dilek Ofset, s. 4- 23, İstanbul, 1997
30. ÖZGER, A. G., “Ceyhan, Yumurtalık ve Pozantı Bölgelerinin Doğal Radyoaktivite Düzeylerinin Belirlenmesi”, *Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, s. 25, Adana, 2005.
31. ÖZKEN, İ., “ Aliğa-İzmir Çevresinde Doğal Radyoaktivite Düzeyinin Belirlenmesi”, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi*, s.7 İzmir, 2011
32. RANKAMA, K., ISOTOPE GEOLOGY, New YORK ,1954
33. RAVISANKAR, R., VANASUNDARI, K., CHANDRASE, A., RAJALAKSMI A., SUGANYA M., VIJAYAGOPAL P., MEENAKSHI , S. V., “Measurement of

natural radioactivity in building materials of Namakkal, Tamil Nadu, India using gamma ray spectrometry.”, *Appl Radiat Isot.* 70(4) , p 699–704, 2012

34. TAYLOR, J.R., ZAFARITOS C., “Fizik ve Mühendislikte Modern Fizik”, Çeviri Bekir KARAOĞLU, *Arte Güven Yayınları*, s.84, İstanbul, 1998
35. TEZSEZER, Ş., “Ayvalık Sarımsaklı kumsalı Deniz Suyu ve Kum Örneklerinde K-40 Radyoizotopu Tayini”, *İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi* ,s.16, İstanbul, 2010.
36. TUFAIL, M., RASHID, T., MAHMOOD, A.B., AHMAD, N., *Radiation doses in Pakistani houses*, *Sci. Total. Environ.*, 142, 171-177, 1994
37. TUFAIL, M., AHMAD, N., MIRZA, S. M., MIRZA, N. M., KHAN, H. A.” Natural radioactivity from the building materials used in Islamabad and Rawalpindi, Pakistan”. *Sci. Total Environ.*, 121, p.283-291, 1992
38. TÜRKİYE ATOM ENERJİSİ KURUMU ÇEKMECE NÜKLEER ARAŞTIRMA ve EĞİTİM MERKEZİ Teknik Rapor No:32, Tıp ve Biyolojik Bilimlerde Radyasyon Korunması Kurs Notları, İstanbul, 1985
39. UNSCEAR, 1993, ”Sources, Effects And Risks Of Ionizing Radiation”, *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation Report to the General Assembly, Annex A, New York*, p.66, 1993
40. UNSCEAR, 1988, “Sources, Effects And Risks Of Ionizing Radiation”, *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation Report to the General Assembly, Annex A, New York*, p.94, 1988
41. UNSCEAR, 2000, “Sources, Effects And Risks Of Ionizing Radiation”, *United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation to the General Assembly, Sources, Effects and Risk of Ionizing Radiation, United Nations, New York*, p.2-5, 2000
42. WANG, Y., “CRC Handbook of Radioactive Nuclides”, Chemical Rubber Company, s. 18-25, (1969)
43. XINWEI, L., “Natural radioactivity in some building materials and by-products of Shaanxi, China.” *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, Vol.262, No.3, 775-777, 2004.

## ÖZGEÇMİŞ

Halil BAŞARAN 1979 yılında İzmir’de doğdu. İlk ve orta öğrenimini İzmir’de tamamladı. 1997’de kazandığı 9 Eylül Üniversitesi Buca Eğitim Fakültesi Fizik Öğretmenliği bölümünden 2001 yılında mezun oldu. 2013-2014 eğitim öğretim yılı bahar döneminde Nevşehir Hacı Bektaş Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Ana Bilim Dalında Yüksek Lisansa başladı. 2019 yılında yüksek lisansını tamamladı. Evli olup halen Nevşehir ilinde Fizik Öğretmenliği yapmaktadır.

Adres : Kapadokya Anadolu Lisesi- NEVŞEHİR  
Telefon : 0 554 136 26 62  
e-posta : basaranhalil@gmail.com

