

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

**YOZGAT BÖLGESİ EV DIŞI HAVASINDAKİ
SOĞURULMUŞ GAMA DOZ ORANLARININ
BELİRLENMESİ**

**Tezi Hazırlayan
Ahmet MENEVŞE**

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

**Fizik Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Haziran 2019
NEVŞEHİR**

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

**YOZGAT BÖLGESİ EV DIŞI HAVASINDAKİ
SOĞURULMUŞ GAMA DOZ ORANLARININ
BELİRLENMESİ**

**Tezi Hazırlayan
Ahmet MENEVŞE**

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

**Fizik Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Haziran 2019
NEVŞEHİR**

Doç. Dr. Meltem DEĞERLİER GUIOT danışmanlığında **Ahmet MENEVŞE** tarafından hazırlanan “**Yozgat Bölgesi Ev Dışı Havaındaki Soğurulmuş Gama Doz Oranlarının Belirlenmesi**” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalında **Yüksek Lisans Tezi Olarak** kabul edilmiştir.

25/06/2019

JÜRİ

Başkan : Prof. Dr. Mehmet ERDOĞAN

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Hilal İNCEBAY

Üye : Doç. Dr. Meltem DEĞERLİER GUIOT

M. Erduran
Hilal İncebay
Meltem Değerlier Guiot

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 17.07.2019 tarih ve 42-428 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

17.07.2019
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.



Ahmet MENEVŞE

Bu çalışma Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından NEÜLÜP13F14 numaralı proje ile desteklenmiştir.

Bu çalışma Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) / Çekmece Nükleer Araştırma Merkezi (ÇNAEM) ile Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi tarafından 03/12/2012 tarihli “Yozgat İlinin Çevresel Radyoaktivitesinin Belirlenmesi ve Doğal Fon Haritasının Çıkarılması” isimli işbirliği protokolü tarafından desteklenmiştir.



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimi bana öneren, yardımcı olan, tamamlamamı sağlayan değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Meltem DEĞERLİER GUIOT'a,

Yüksek lisans programına başladığımda bana manevi desteğini esirgemeyen 2012 kaybettiğim kız kardeşim Hatice MENEVŞE'ye,

Her zaman varlıklarını hissedebildiğim, maddi ve manevi her daim yanımda olan sevgili anne ve babama,

Bitirme noktasında beni destekleyen hayat arkadaşım Zehra MENEVŞE'ye teşekkür ederim.

Ahmet MENEVŞE

YOZGAT BÖLGESİ EV DIŞI HAVASINDAKİ SOĞURULMUŞ GAMA DOZ ORANLARININ BELİRLENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Ahmet MENEVŞE

NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜŐÜ

Haziran 2019

ÖZET

Bu çalışmada 420 000 nüfuslu, 14 123 km² yüz ölçümlü, İç Anadolu bölgesinde yer alan Yozgat ilini kapsayan bölgedeki ev dışı havasında karasal ve kozmik kaynaklı gama ışınları nedeniyle oluşan doz oranları belirlenmiştir. Bu amaç için Eberline portatif ESP-2 model gama sayıcısı ve uç kısmına eklenmiş SPA-6 model sintilasyon algılayıcı kullanılmıştır. Yozgat İlini kapsayan 60 farklı ölçüm noktasında ölçüm yapılmıştır. Ortalama havada soğurulan gama dozu 141,3 nGy/h olarak ölçülmüştür. Bu değer 57 nGy/h olan Dünya ortalamasının üzerinde bir değerdir. Hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğeri ortalaması ise 173,3 µSv/y olarak hesaplanmıştır. Ayrıca bölge halkı için havada soğurulan karasal ve kozmik kökenli gamalar nedeniyle yaşam boyu kanser riski ortalaması $0,65 \times 10^{-3}$ olarak hesaplanmıştır. Bu değer $0,29 \times 10^{-3}$ olan limit değerinin üzerinde bir değerdir.

Anahtar kelimeler: Yozgat, Hava, Soğurulmuş Gama Dozu, Doğal Radyoaktivite
Tez Danışmanı: Do.Dr. Meltem DEĞERLİER GUIOT
Sayfa Adeti:44

ASSESSMENT OF THE ABSORBED GAMMA DOSE RATES IN THE AIR OF YOZGAT REGION

(M.Sc. Thesis)

Ahmet MENEVŞE

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

June 2019

ABSTRACT

In this study, the outdoor gamma dose rates in the air originating from terrestrial and cosmic radiation are determined in Yozgat region where has 420 000 population and 14123 m² area. Portable Eberline ESP-2 gamma counter with SPA-6 scintillation detector is used for this aim. 60 different measurements are taken in Yozgat region. The average absorbed gamma dose rate in air is measured as 141,3 nGy/h. This value is higher than the world average which is 57 nGy/h. The average annual effective dose is calculated as 173,3 µSv/y. Besides excessive lifetime cancer risks are determined because of outdoor gamma dose rates in the air by the reason of the terrestrial and cosmic radiation. Average excess lifetime cancer risks are calculated as $0,65 \times 10^{-3}$. This value is higher than the limit value of $0,29 \times 10^{-3}$.

Key Words: Yozgat, Air, Absorbed Gamma Dose Rates, Natural Radioactivity

Thesis Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Meltem DEGERLIER GUIOT

Page Quantity: 44

İÇİNDEKİLER

TEZ BİLDİRİM SAYFASI.....	i
TEŞEKKÜR.....	iv
ÖZET.....	v
ABSTRACT.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
KISALTMA VE SİMGELER.....	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xii
BÖLÜM 1	
1. GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2	
GENEL BİLGİLER.....	2
2.1 Radyoaktivite ve Radyoaktif Bozunma.....	2
2.1.1 Radyoaktivite.....	2
2.1.2 Radyoaktif bozunma şekilleri.....	2
2.1.2.1 Alfa bozunması.....	2
2.1.2.2 Beta bozunması.....	3
2.1.2.3 Gama bozunması.....	4
2.1.3 Radyoaktif denge.....	5
2.1.3.1 Kalıcı denge.....	5
2.1.3.2 Geçici denge.....	6
2.1.3.3 Denge olmaması durumu.....	6
2.2 Gama Radyasyonunun Madde İle Etkileşimi.....	7
2.2.1 Fotoelektrik olay.....	7
2.2.2 Compton ve Thomson saçılması.....	9
2.2.3 Çift oluşumu.....	10

2.3	Çevresel Radyasyon.....	11	
2.3.1	Fon radyasyon kaynakları.....	11	
2.3.1.1	Uzaysal radyasyon.....	12	
2.3.1.2	Karasal radyasyon.....	12	
2.3.2	Vücuttaki radyonüklitler.....	13	
2.3.3	Fon radyasyonundan alınan dozlar.....	13	
BÖLÜM 3			
MATERYAL VE METOD.....			15
3.1	Gama ışın detektörleri.....	15	
3.2	Sintilasyon detektör.....	15	
3.3	Portatif gama sayacı.....	16	
3.4	SPA-6 Sintilasyon detektör.....	17	
BÖLÜM 4			
BULGULAR VE TARTIŞMA.....			18
4.1	Yıllık etkin doz eşdeğeri.....	25	
4.2	Yaşam boyu kanser riski.....	29	
4.3	Farklı vücut doku ve organlarındaki etkin doz oranı.....	36	
BÖLÜM 5			
TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER.....			38
KAYNAKLAR.....			43
ÖZGEÇMİŞ.....			44

SİMGELER VE KISALTMALAR

U : Uranyum

Th: Toryum

K : Potasyum

Ra: Radyum

He: Helyum

Rn: Radon

At : Astatin

Po : Polonyum

Ba: Baryum

Tc : Teknesyum

Pu : Plütonyum

Pb : Kurşun

α : Alfa Parçacığı

β : Beta Parçacığı

γ : Gama Parçacığı

X : X-Işını

n : Nötron

p : Proton

e⁻ : Elektron

m : Metre

n : Nano, Alt Birim (10^{-9})

μ : Mikro, Alt Birim (10^{-6})

h : Saat

y : Yıl

E : Enerji (MeV)

Gy: Gray, Soğurulmuş Doz Birimi

Sv : Sievert, Eşdeğer Doz Birimi

m₀ : Durgun Kütle

c : Işık Hızı

T : Kinetik Enerji

IAEA : Uluslararası Atom Enerji Ajansı

ICRP : Uluslararası Radyolojik Koruma Komisyonu

UNSCEAR: Atom Radyasyon Etkileri Birleşmiş Milletler Raporu

TEAK : Türkiye Atom Enerji Kurumu

ÇNAEM : Çekmece Nükleer Araştırma Merkezi

AEDE : Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri

OGDR : Ev Dışı Hava Sahası Gama Dozu

ECLR : Yaşam Boyu Kanser Riski

LE : Ortalama İnsan Ömrü

RFSE : Risk Faktörü

D : Organların Etkin Doz Oranı

f : Organ Dozuna Dönüşüm Faktörü

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1	Radyasyon dozu, doz hızı ve etkileri.....	14
Tablo 4.1	Yozgat ili, ilçe ve köylerini kapsayan bölgede havada ölçülen doz oranlarıada (nGy/h).....	19
Tablo4.2	Havada ölçülen gama doz oranları istatistiki hesaplama sonuçları.....	20
Tablo 4.3	Ölçüm yerleri için hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri.....	26
Tablo 4.4.	Ölçüm yerleri için hesaplanan yaşam boyu kanser riskleri.....	33
Tablo 4.5	Farklı vücut doku ve için hesaplanmış etkin doz oranları.....	35
Tablo 4.6	Farklı vücut doku ve organlar içiaaktörleri.....	37
Tablo 5.1	Türkiye'deki bazı şehirlerde yapılan havadaki soğurulmuş gama doz oranları ölçümleri.....	39

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1	Elektromanyetik spektrum şematik gösterimi.....	5
Şekil 2.2	Kalıcı denge durumu.....	6
Şekil 2.3	Denge olmama durumu.....	7
Şekil 2.4	Fotoelektrik olay şematik gösterimi.....	8
Şekil 2.5	Fotoelektrik soğurma tesir kesiti şematik gösterimi.....	8
Şekil 2.6	Compton saçılma şematik gösterimi.....	9
Şekil 2.7	Çift oluşumu şematik gösterimi.....	10
Şekil 2.8	Fotoelektrik olay, Compton olayı ve çift oluşumun baskın olduğu bölgeler.....	11
Şekil 3.1	Sintilasyon detektör şematik gösterimi.....	16
Şekil 3.2	ESP-2 Portatif gama sayıcı.....	17
Şekil 3.3	SPA-6 Sintilasyon detektör.....	17
Şekil 4.1	Yozgat ili, ilçe ve köylerini kapsayan bölgede ev dışı havada soğurulmuş gama doz oranları (nGy/h).....	24
Şekil 4.2	Ölçüm yerlerine göre hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğeri ($\mu\text{Sv/y}$).....	31
Şekil 4.3	Ölçüm yerlerine göre hesaplanan yaşam boyu kanser riskleri.....	32
Şekil 5.1	Hesaplanan yaşam boyu kanser riskleri ile limit değerlerin karşılaştırılması.....	42

BÖLÜM 1

GİRİŞ

İnsanların iyonize radyasyona maruziyetleri konusundaki çalışmalar içerisinde doğal kökenli radyasyonun, popülasyonun toplam radyasyon maruziyetinin tümü içerisinde önemli bir miktarını oluşturması nedeniyle toplumun ilgisini çektiği için günümüzde oldukça önemlidir.

İnsanlar karasal ve kozmik kökenli olarak doğal fon radyasyonuna sürekli olarak maruz kalmaktadırlar. Çevrede doğal olarak oluşan birçok radyonüklit mevcuttur. Bu doğal radyonüklitler toprak, sediment, su, bitkiler ve havada bulunmaktadır. Topraktaki doğal radyasyonun temel belirleyicilerinden birisi radyonüklit konsantrasyonlarıdır. ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K gibi doğal radyonüklitler, jeolojik yapılara bağlı oldukları kadar kayaların fosfat, granit ve tuz içeriklerine bağlı olarak da değişmektedirler. Kaya ve toprakta doğal olarak oluşan bu radyonüklitler bitkiler, sular ve meteorolojik bazı olaylar aracılığıyla çevreye ve atmosfere kolaylıkla geçiş yapabilmektedirler. Topraktaki doğal fon radyasyonu ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K kaynaklıdır ve bir kişinin bir yılda sahip olduğu toplam radyasyon dozunun %80'ini oluşturmaktadır.

Kozmik radyasyon, derin uzaydan gelen yüksek enerjili parçacıklar tarafından oluşturulurlar. Dünyamız kozmik radyasyon tarafından sürekli olarak bombardıman edilmektedir.

Bu çalışmanın amacı Yozgat bölgesi il, ilçe ve köylerini kapsayan bölgenin ev dışı havasında soğurulmuş olan karasal ve kozmik kökenli gama doz oranlarını belirlemek ve o bölgede yaşayan halkın bu gama dozları nedeniyle sahip oldukları yıllık etkin doz eşdeğerlerini hesaplamaktır.

BÖLÜM 2

GENEL BİLGİLER

2.1.Radyoaktivite Ve Radyoaktif Bozunma

2.1.1. Radyoaktivite

Kararsız atomların çekirdeklerinin atom altı parçacık ya da elektromanyetik ışınım yayımlamasına radyoaktivite denir. Atom çekirdeği kararsız durumdayken gelişi güzel biçimde bozunarak kararlı çekirdeğe dönüşür. Bozunma olayında çok çeşitli parçacık ve enerji salınımı olur. Bozunma olayı neticesinde radyasyon yayımlanır. Marie Curie deneylerinde radyoaktif maddelerden salınan ışımaların madde içinde ilerleme yeteneği olduğunu bulmuştur. Radyoaktivite salınımı iki gruba ayrılır.

- Alfa (α), Beta (β^+ , β^-), nötron gibi yüksek kinetik enerjili ve maddesel özellik gösteren parçacık radyasyonu.
- Gama(γ) ve X ışını gibi elektromanyetik özellik gösteren ışık fotonları biçimindeki elektromanyetik radyasyondur [9].

2.1.2. Radyoaktif bozunma şekilleri

2.1.2.1. Alfa bozunması

Atom çekirdeğindeki kararsızlık, proton ve nötronun fazla oluşunda kaynaklanıyorsa, atom çekirdeği iki adet proton ve iki adet nötrondan meydana gelen alfa parçacığı yayımlayarak bozunur. Bunun sonucunda bozunan çekirdek için atom numarası 2 azalırken kütle numarası da 4 azalmış olur. Rutherford alfa bozunumundan oluşan parçacığın ${}^4_2\text{He}$ çekirdeği olduğunu göstermiştir.



Bozunum sonucunda oluşan enerjinin büyük kısmını alfa parçacığı alır. ${}^4_2\text{He}$ çekirdeği yüksek enerjili olmasına rağmen ağır kütlelidir. Alfa bozunumu çoğunlukla çekirdeğin kütle numarası 190'dan büyük ise görülebilmektedir. Bu bozunumun enerji spektrumunun kesikli olduğu görülür. Enerjisi 4 MeV ile 10 MeV arasında değişebilmektedir. Yüklü bir parçacık olan alfa parçacığı bu yükü nedeniyle madde

içerisinden geçerken elektronlarla etkileşime girer [10].

2.1.2.2. Beta bozunması

Beta bozunması üç farklı şekilde gerçekleşmektedir. Radyoaktif bir atomun kararsızlığının çekirdekdeki nötron fazlalığından oluşması durumunda, bu enerji fazlalığını gidermek için çekirdekdeki bir nötron, proton ve elektrona dönüştürülür. Bu olaya β^- bozunması adı verilir. Sonuç olarak proton atom çekirdeğinde kalırken, elektron atomdan dışarı atılır.



Fırlatılan bu elektrona beta parçacığı denir. Beta bozunumu yapan atomun, atom numarası bir artar ve kendinden sonra gelen elementin izobarına dönüşür. Kütle sayısı aynı kaldığı için bu bozunuma izobarik bozunma adı verilir.



Atomun kararsızlığının nedeninin proton fazlalığından olması durumunda protonlardan bir tanesi nötron ve pozitrona dönüşür. Bu olaya β^+ bozunması adı verilir.



β^+ bozunması olayında nötron çekirdekte kalır ve pozitif yüklü elektron ise çekirdekten dışarı atılır. Bu bozunumu yapan çekirdeğin atom numarası bir azalır ve kendisinden önceki elementin izobarına dönüşür. Bu durumda kütle numarası değişmez.



Atom çekirdeğinde protonların fazla olması durumunda çekirdeğe yakın olan K ya da L yörüngelerinde bulunan elektronlardan yakın olanı yakalanır. Bu olaya elektron yakalama olayı adı verilir. Yakalanan bu elektron ile proton birleşerek nötrona ve yükü ve kütlesi olmayan nötrinoya dönüşür. Bu olay sonucunda çekirdekten herhangi bir parçacık salınmaz fakat atom numarası bir azalırken kütle numarası ise değişmez. Yörüngeden yakalanan elektronun yerine üst yörüngelerden başka bir elektron geçer ve enerji farkı X-ışını olarak yayımlanır.

$$p + e^{-} \rightarrow n + \nu \quad (2.6)$$

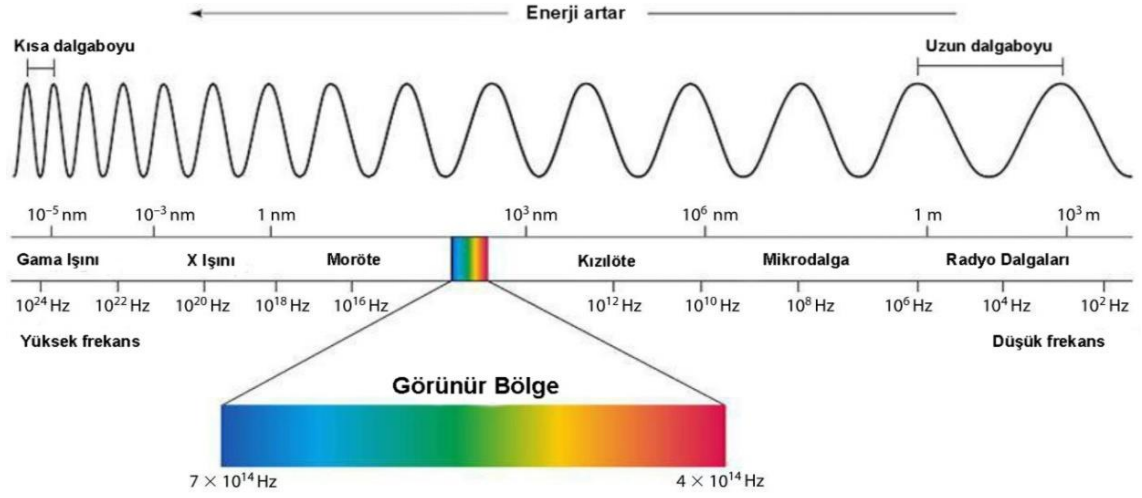
$${}^A_Z X_N + e^{-} \rightarrow {}^A_{Z-1} X'_{N+1} + \nu \quad (2.7)$$

Beta bozunumlarının tümünde nötron ve proton sayıları bir birim değişiyor olmasına rağmen kütle numaraları aynı kalmaktadır. Yüksüz ve kütsüz parçacıklar olan nötrino ve anti nötrino her üç bozunumda da yayımlanmaktadır. Beta bozunumlarında yayımlanan elektronların enerjisi sürekli bir spektruma sahiptir [10].

2.1.2.3. Gama bozunması

Kararsız atom çekirdekleri bozunarak alfa veya beta yayınlar ve bu bozunum sonrasında oluşan ürün çekirdek uyarılmış enerji seviyesinde kalabilir. Bu çekirdekler daha düşük enerji seviyesine ulaşmak için tekrar bozunum yaparak foton yayınlarlar. Bu olayların sonunda da temel enerji seviyesine inerler. Atomun uyarılmış enerji seviyelerinden temel seviyelere geçiş yaparken yayınladıkları fotonlara gama ışını adı verilir. Gama ışınlarının oluşmasını sağlayan çeşitli olaylar vardır. Yüksek enerjiye sahip bir parçacığın başka bir parçacık ile çarpışması durumunda, zıt parçacığı ile etkileşime girip yok olma durumlarında, radyoaktif bozunma durumları gibi durumlarda gama ışınları oluşmaktadır.

Gama ışınının enerjisi 0,1 MeV ile 10 MeV aralığında çekirdeğin konumları arasındaki enerji farkı derecesindedir. Dalga boyu ise elektromanyetik spektrumun 10^2 fm ile 10^4 fm aralığına karşılık gelmektedir. Kütle ve yüke sahip değildir dolayısıyla elektromanyetik alanda sapmazlar, enerjilerinin yüksek olması sebebi ile maddede ilerleyebilirler ve ışık hızında hareket ederler [10].



Şekil 2.1 Elektromanyetik Spektrumun Şematik Gösterimi

2.1.3. Radyoaktif denge

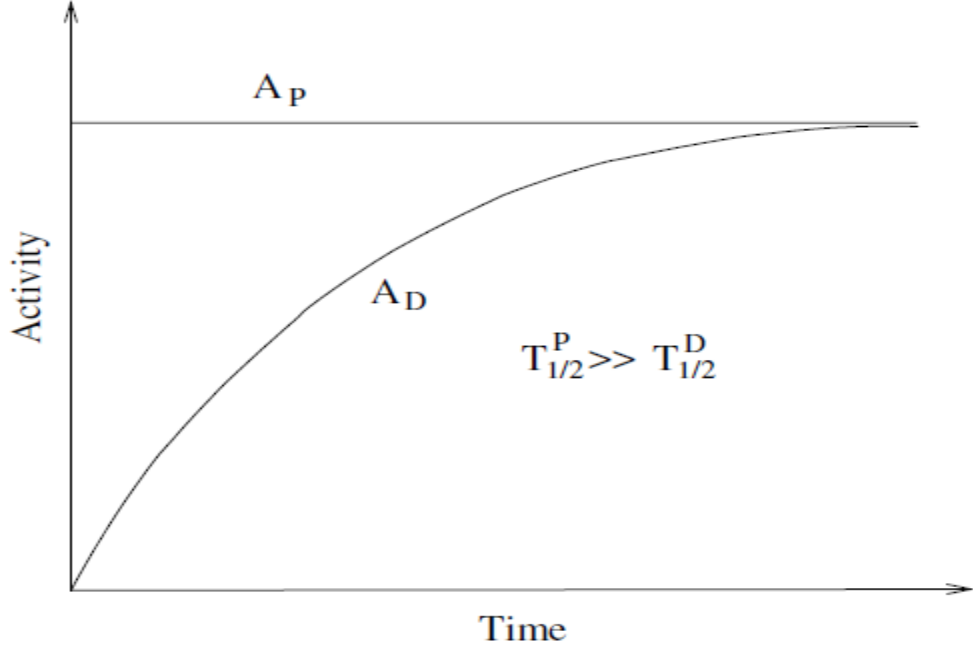
Ana ve kız çekirdeklerin bozunum sabitleri ile ilgili olarak bir süre sonra ana ve ürün çekirdeğin aktivitelerinin denge durumuna ulaşması mümkündür. Radyoaktif maddelerin farklı zamanlar aralıkları için kalıcı denge, geçici denge ve denge olmaması durumu olarak adlandırılan üç farklı durumu söz konusudur [8].

2.1.3.1. Kalıcı denge

Kalıcı dengede ana çekirdeğin aktivitesi kız çekirdeğin aktivitesine eşittir. Böyle durumlarda ana çekirdeğin yarı ömrü kız çekirdeğin yarı ömründen çok daha fazladır [8].

$$T_{1/2}^P \gg T_{1/2}^D \text{ ya da } \lambda_{dP} \ll \lambda_d$$

$$A_p \cong A_d$$



Şekil 2.2. Kalıcı denge durumu

2.1.3.2 Geçici denge

Geçici denge durumunda ana ve kız çekirdeğin aktiviteleri eşit değildir. Aralarında az miktar fark vardır. Geçici denge durumunda ana çekirdeğin yarı ömrü ürün çekirdeğin yarı ömründen az bir oranda yüksektir [8].

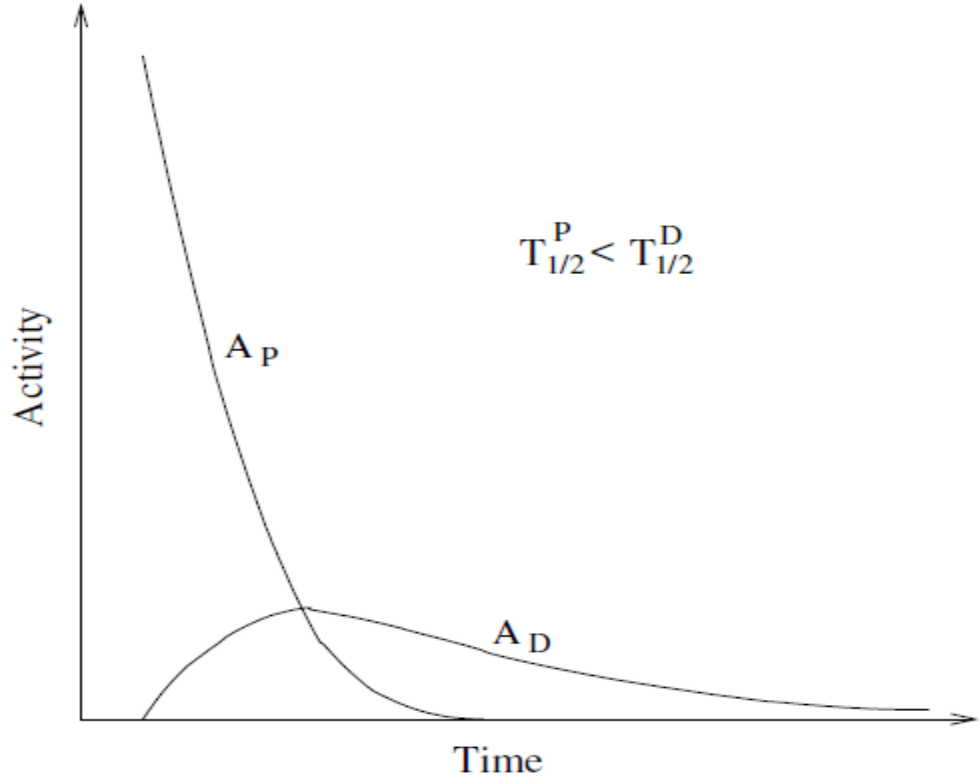
$$T_{1/2}^P > T_{1/2}^D \text{ ya da } \lambda_{dP} < \lambda_{dD}$$

$$\frac{A_p}{A_d} \cong 1 - \frac{\lambda_{dP}}{\lambda_{dD}}$$

2.1.3.3. Denge olmama durumu

Denge olmaması halinde ana çekirdeğin yarı ömrünün ürün çekirdeğin yarı ömründen daha az olması durumunda gerçekleşir. Bu durumda ana çekirdek çabuk yok olur ve sonuçtaki aktivite sadece ürün çekirdeğin aktivitesine eşit olur [8].

$$T_{1/2}^P < T_{1/2}^D \text{ ya da } \lambda_{dP} > \lambda_{dD}$$



Şekil 2.3. Denge olmaması durumu

2.2. Gama Radyasyonunun Madde İle Etkileşimi

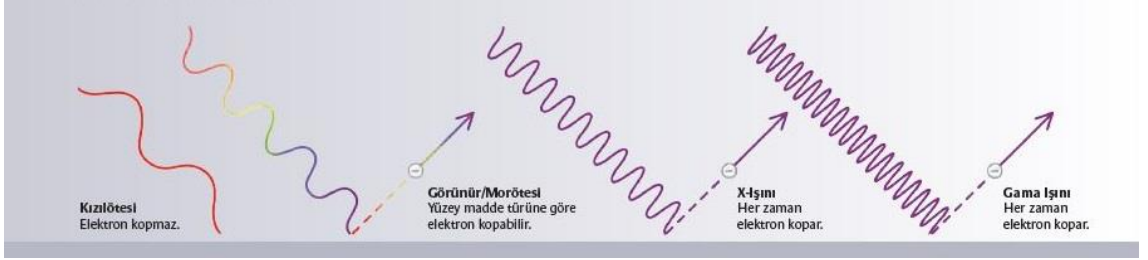
2.2.1. Fotoelektrik olay

Fotoelektrik olay, detektör kristalinin gelen gama ışını ile etkileşmesi sonucunda meydana gelir. Etkileşim sırasında gama ışınının enerjisinin tamamı kaybolur ancak enerjinin tamamı elektrona verilmez. Enerjinin bir miktarı elektronu uyarmakta kullanılır. Etkileşen elektronlara, foto elektron olarak isimlendirilir. Foto elektronların kinetik enerjisi T_e , gelen gama ışınının enerjisi E_γ , elektronu uyarmak için sahip olunan enerji E_b olarak isimlendirilir. Foto Elektronun enerjisi;

$$T_e = E_\gamma - E_b \quad (2.8)$$

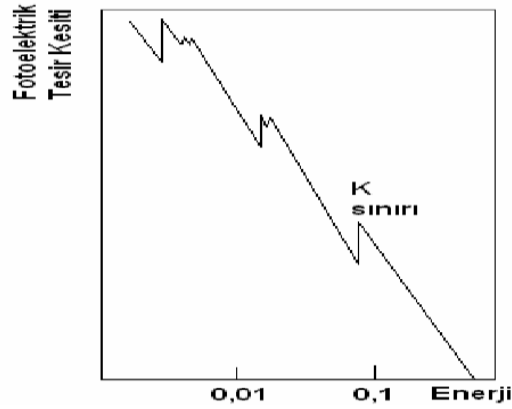
şeklinde hesaplanır. Fotoelektrik soğurmasından sonra, foto elektrondan doğan boşluğa başka yörüngeden bir elektron yerleşir. Daha sonra gelen fotonun enerjisi ile bağlanma enerjisi arasındaki enerji farkına sahip X ışını yayımlanır. elektron tarafından Gelen fotonun enerjisi elektronun bağlanma enerjisinden büyük olmak zorundadır, aksi halde

elektron koparılamaz [11].



Şekil 2.4 Fotoelektrik Olayın Şematik Gösterimi

Fotoelektrik olayın oluşma olasılığı, soğurulan maddenin atom numarası ile artar. Elektron yörüngelerinin bağlanma enerjilerine denk gelen enerjilerde kesikler vardır. Örneğin Kurşun (Pb)'da K yörüngesinde bulunan elektronunun bağlanma enerjisi 88 keV'dir. Bu enerjiden düşük değerde gelen foton K yörüngesinden fotoelektron salınımı yapamaz. Foton enerjisi 88 keV'nin üstüne çıkarılırsa, K yörüngesindeki elektronların fotoelektrik olayı gerçekleştirme olasılığının artışına sebep olur. Bu durum K sınırı olarak adlandırılır [11].



Şekil 2.5 Fotoelektrik Soğurma Tesir Kesiti Şematik Gösterimi

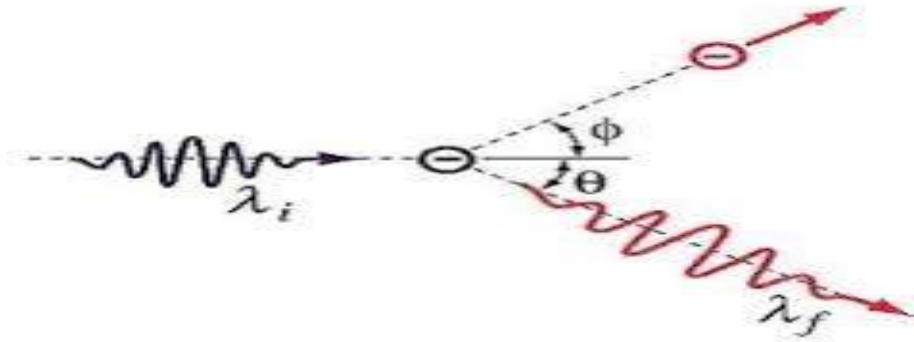
2.2.2. Compton ve Thomson saçılması

Compton saçılması olayında gelen foton, maddedeki bir atomun zayıf bağlı elektronu tarafından saçılır. Gelen fotonun enerjisi E_γ , elektronla etkileştikten sonraki enerjisini ise E'_γ olarak alırsak, fark enerji, saçılma açısına bağlı olarak elektrona aktarılır ve böylece saçılma yönü değişir. Saçılmayla meydana gelen enerji kaybı, saçılan elektronlara kinetik enerji olarak geçer.

$$T_e = E_\gamma - E'_\gamma \quad (2.9)$$

Saçılan gama ışınının enerjisi öncekine göre daha düşüktür ve atomla yeniden etkileşmeye girebilir ya da herhangi bir etkileşme olmaksızın atomdan ayrılabilir. Foton bir veya birden fazla Compton saçılması yapabilir. Enerji azaldıkça fotoelektrik olayın olma olasılığı fazlalaşır. Bu sebepten dolayı yüzeye gelen foton enerjisinin bir miktarını Compton saçılması şeklinde ya da tamamını Compton saçılmasını izleyen fotoelektrik olay şeklinde kaybedebilir. Enerjinin ve momentumun korunumundan elektronun kinetik enerjisi hesaplayabiliriz [11].)

$$T_e = E_\gamma - E'_\gamma = \frac{E_\gamma^2 (1 - \cos \theta)}{mc^2 + E_\gamma (1 - \cos \theta)} \quad (2.10)$$



Şekil 2.6 Compton Saçılması Şematik Gösterimi

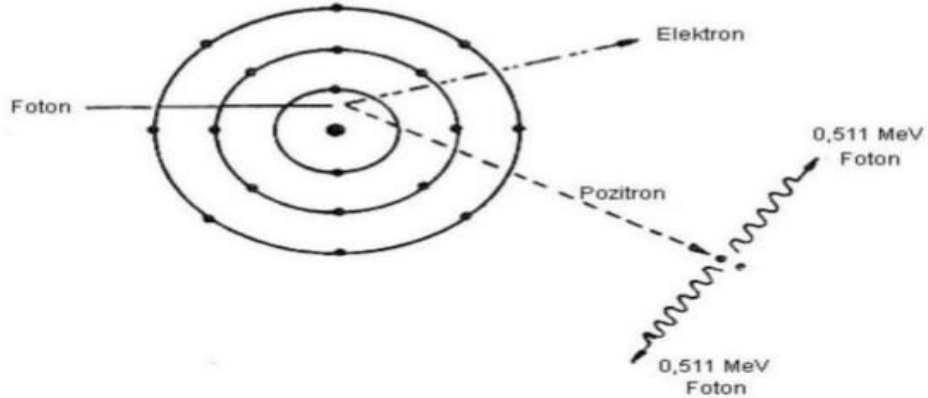
Thomson saçılması ise Compton saçılmasının daha yalın halidir. Thomson saçılmasında, saçılan fotonun enerjisi gelen fotonun enerjisine eşittir ($E'_\gamma = E_\gamma$), fakat bu durumda saçılan fotonun yönü değişmektedir [8].

2.2.3 Çift oluşumu

Çift oluşum olayında gelen foton, çekirdeğin coulomb alanında elektron-pozitron çifti oluşturarak kaybolur. Elektron veya pozitronun durgun kütlesi 0.511 MeV'dir. Çift oluşumun olabilmesi için minimum 1.022 MeV enerjiye sahip ($2m_0c^2$) foton gerekmektedir. Gelen fotonun enerjisi 1.022 MeV'dan fazla ise arta kalan enerji elektron ve pozitron çiftine kinetik enerji (T_e) olarak aktarılır.

$$2m_0c^2 + T_e = E_\gamma \quad (2.11)$$

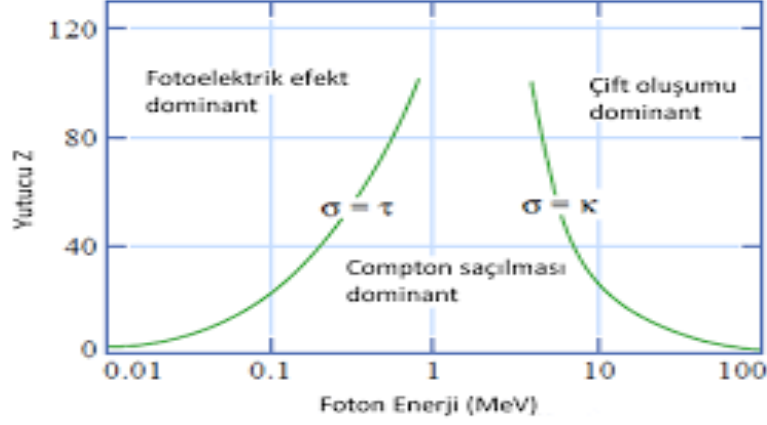
Çift oluşumu olayının tersi de mümkündür. Bu durumda pozitron ile elektron birbirleriyle çarpışarak yok olurlar ve 0.511 MeV enerjili iki adet gama ışını oluşur. Oluşan gama ışınları da enerjilerinin tümünü ya da bir miktarını detektör kristalinde Compton saçılması veya foto elektrik olay ile kaybedebilir. Çift oluşumun gerçekleşmesi için gerekli eşik enerjisi 1.02 MeV dir. Bu enerji değerinin altındaki değerlerde çift oluşum olayı gerçekleşmez [11].



Şekil 2.7 Çift Oluşumu Şematik Gösterimi

Özet olarak; düşük enerjili fotonlarda ve büyük atom numarasına sahip yüzeylerde fotoelektrik olay daha fazla görülmektedir. Gelen fotonun enerjisi arttıkça da, yüzey tarafından soğurulma olasılığı azalacaktır. Bu durumda Compton saçılması

gerçekleşecektir ve de foton saçılacaktır. Foton enerjisinin 5 MeV'den büyük olması durumunda ise çift oluşum olayının oluşma olasılığı artacaktır [8].



Şekil 2.8 Fotoelektrik olay, Compton olayı ve çift oluşumunun baskın olduğu bölgeler

2.3. Çevresel Radyasyon

Doğal çevremizdeki fon radyasyon sürekli olarak bizi kuşatmaktadır. Dünyanın şekillenip yaşamın başlamasından bu yana fon radyasyonu sürekli olarak bize eşlik etmektedir [1].

2.3.1. Fon radyasyon kaynakları

Fon radyasyon doğal ve insan yapımı radyonüklitlerin her ikisinden yayınlanmaktadır. Bazı doğal oluşan radyonüklitler yer kabuğunda bulunurken diğerleri uzaydan gelen radyasyon tarafından atmosferde üretilmektedirler. İnsan yapımı radyonüklitler, insan vücudunu görüntülemek için radyonüklit kullanılan tıbbi işlemler ve radyoaktif uranyumu kullanarak elektrik üretilmesi gibi aktivitelerden çevremize yayılmaktadır.

İnsanlar sürekli olarak vücut içindeki ve dışındaki kaynaklar tarafından ışınırlar. Dış kaynaklar uzay radyasyonu ve karasal radyasyonu içerir. İç kaynaklar ise insanların yiyecekler ve suyu sindirmesi ve havayı soluması yoluyla vücudumuza giren radyonüklitlerdir. Kaynağı ne olursa olsun radyasyon çevremizde her yerdedir [1].

2.3.1.1. Uzaysal radyasyon

Uzaydan dünya atmosferine giren radyasyon Dünya'nın radyasyon kuşağının yakınından, güneşten ya da güneş sistemi sınırları ötesinden ve hatta Samanyolu galaksisinin ötesinden gelebilmektedir.

Güneş sisteminin ötesinden gelen radyasyon atmosferden geçerken yeni bir radyasyon üretmek için yeterli enerjiye sahiptir. Bunlar havada radyonüklitler ve ikincil parçacıklar üretirler. Bazı ikincil parçacıklar Dünya yüzeyine ulaşır. Bu yerler genellikle bizi uzaysal radyasyondan koruyan manyetik alanın en zayıf olduğu manyetik kutuplar ve atmosferin en ince olduğu yüksek rakımlı yerlerdir. Uzay radyasyonu tarafından oluşturulan radyonüklitler kozmojenik radyonüklitler olarak adlandırılır. Bu radyonüklitler trityum (^3H), berilyum-7, karbon-14 ve sodyum-22'yi içermektedir [1].

2.3.1.2. Karasal radyasyon

Dünya kaynaklı radyasyon karasal radyasyon olarak adlandırılır. Yerkabuğunun şekillendiği 4,5 milyon yıl öncesinden bu yana var olan en eski radyonüklitler volkanik ve tortul kayalarda bulunurlar. Bu radyonüklitler kayalardan toprağa, suya ve hatta havaya taşınırlar. Uranyum madenciliği gibi insan aktiviteleri de bu radyonüklitlerin yeniden dağılımını sağlar. Bu en eski radyonüklitler uranyum ve toryumun bozunumuyla üretilen radyonüklit serilerini ve aynı zamanda potasyum-40 ve rubidyum-87'yi içerir [1].

Yarı ömürlerini dünyanın yaşı ile kıyaslayabildiğimiz doğal oluşan radyonüklitlerden yayılan gama radyasyonu insan vücudunun ışınlanmasına neden olan en temel dış kaynaktır. Yerkabuğunun yüzeyine yakın topraktaki radyoaktif minerallerden kaynaklı radyasyon ve ondan havaya yayılan radyoaktif gazlar atmosferin iyonizasyonuna katkıda bulunurlar.

Kayalardaki uranyum ve toryumun varlığı silika içeriği ile artmaktadır. Bundan dolayı yüksek konsantrasyonlar genellikle metamorfik asidik, volkanik ve tortul kaya içeriklerinde görülür [2].

2.3.2. Vücuttaki radyonüklitler

Karasal ve kozmojenik radyonüklitler yediğimiz yiyecekler, içtiğimiz su ve soluduğumuz hava yoluyla vücudumuza girerler. Tüm kimyasallar gibi radyonüklitler de normal metabolik faaliyetler sırasında vücut tarafından kullanılır ve elimine edilir. Bunlardan bazıları hemen bozunup yok olurlar. Diğerleri ise daha yavaş bozunurlar ve bazı vücut organlarında yoğunlaşırlar, bazıları da bağırsaklar tarafından soğurulmazlar ve vücuttan hemen elimine edilirlir.

Vücuda giren en önemli radyonüklitler karasal kökenlidir. Bunların arasında en önemlisi bozunum ürünü olan radon gazı sürekli olarak solunum yoluyla vücuda alınmaktadır. Radon seviyesi topraktaki uranyum ve toryum içeriğine bağlı olarak değişmektedir. Vücuttaki diğer radyonüklitler uranyum, toryum ve onların bozunum ürünleri ayrıca potasyum-40 'dır [1].

2.3.3. Fon radyasyonundan alınan dozlar

Bir kişi vücut dışındaki ve vücut içindeki radyasyon kaynakları nedeniyle radyasyon dozlarına sahip olabilmektedir. Radyasyon dozu olarak etkin doz anlaşılmaktadır. Etkin doz vücut tarafından soğurulan radyasyon enerji miktarını göstermektedir. Bir kişi her yıl yaklaşık olarak 3,1 mSv lik fon radyasyon dozu almaktadır [1].

Radyasyonun kesin etkileri radyasyon çeşidine ve şiddetine bağlıdır.

Tablo 2.1. Radyasyon dozu, doz hızı ve etkileri

Radyasyon Dozu, Doz Hızı ve Etkileri	
0,05 mSv/yıl	Doğal fon radyasyonun küçük bir kısmıdır. Nükleer santral tasarımında izin verilen maksimum doz miktarıdır
0,3-0,6 mSv/yıl	Yapay kaynaklardan alınan radyasyon dozu miktarıdır. Genellikle tıbbi kaynaklı olanlar için geçerli doz miktarıdır
2,4 mSv/yıl	Ortalama tipik fon radyasyon dozudur. Coğrafi konuma göre değişmektedir
5mSv/yıl (maksimum)	Orta yüksekliklerde uçan uçaklardan alınan doz hızı miktarıdır
9 mSv/yıl	Okyanus aşırı uçuşlardan alınan doz miktarıdır (Tokyo-New York).
10 mSv	Karın ya da pelvis bölgesi için tomografi (CT) taraması doz miktarıdır
20 mSv/yıl	Bazı ülkelerdeki radyasyon işçileri için doz limiti miktarıdır
50 mSv/yıl	Radyasyon işçileri için bir yıllık maksimum doz limit miktarıdır (5 yılın ortalaması 20 mSv/yıl). İran, Hindistan ve Avrupa'nın bazı bölgelerindeki fon radyasyon dozu miktarıdır
50 mSv	Acil durumlarda çalışanlar için izin verilen doz miktarı (IAEA)
100 mSv	Kanser riskini artırdığına dair bulguların olduğu en düşük yıllık doz miktarıdır (UNSCEAR) Bu değer üzerinde kanser oluşma olasılığının arttığı varsayılmaktadır. (IAEA)
130 mSv/yıl	Radyolojik olay sonrası uzun dönem güvenlik seviyesi doz miktarı (kirlenen bölgenin 1 m üzerinden ölçüldüğünde)
170 mSv/hafta	Radyolojik olay sonrası 7 günlük geçici güvenlik seviyesi doz miktarı (kirlenen bölgenin 1 m üzerinden ölçüldüğünde)
250 mSv	Fukushima-Daiichi kazasında çalışanlar için müsaade edilen kısa dönem doz miktarı
250 mSv/yıl	İran'ın Ramsar bölgesindeki doğal fon radyasyon dozu miktarı.
500 mSv	Hayat kurtarma durumlarında izin verilen kısa dönem doz limiti. (IAEA)
700 mSv/yıl	Nükleer kaza sonrası önerilen çevrenin boşaltması için limit doz hızı miktarı.
800 mSv/yıl	Kaydedilen en yüksek fon radyasyon dozu miktarıdır. Bu ölçüm Brezilya sahillerinde yapılmıştır
1000mSv(kısa dönem)	Her 100 kişiden 5'inin ışınlanmadan yıllar sonra ölümcül kansere yakalanacağını varsayıldığı doz miktarı.
5000mSv(kısa dönem)	Maruz kalanların yarısını bir ay içerisinde öldürebilecek doz miktarı.
10000mSv(kısa dönem)	Birkaç hafta içinde ölüm beklenir.

BÖLÜM 3

MATERYAL VE METOD

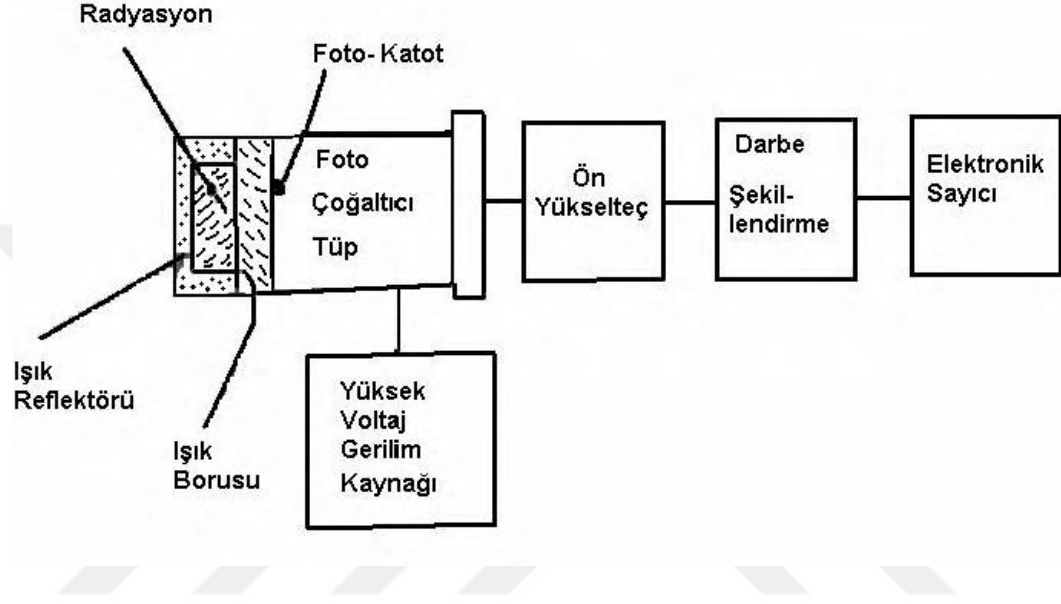
3.1. Gama ışın detektörleri

Radyasyonu tespitinde kullanılan detektörler birbirlerine benzer şekilde çalışırlar. Radyasyon, detektör materyali ile etkileşir, enerjisinin bir miktarını ya da tümünü kaybeder. Atom yörüngelerinden daha düşük enerjili elektronların salınmasına sebep olur. Salınan bu elektronlar toplanır ve akım pulsu ya da voltaja dönüştürülür. Detektör materyali ölçülecek radyasyon çeşidine bağlı olarak değişmektedir. Gama ışınlarının ölçümünde genellikle sintilatörler ve yarı iletken detektörler kullanılmaktadır [12].

3.2. Sintilasyon detektörleri

Gama ışınlarının algılanması için kullanılan detektörlerden biriside kristal sintilasyon detektörleridir. Sintilasyon detektörleri, yüksek enerjili yüklü parçacıkların kristale çarpmasıyla düşük enerjili (görülebilir dalga boylarında) fotonun yayınlanması prensibine dayanarak çalışmaktadır. Sintilasyon detektörlerinin gama detektörü olarak kullanılması durumunda ise detektör gama ışınını doğrudan algılamaz. Gama ışınları fotoelektrik olay, Compton saçılması ve çift oluşum olayıyla yüklü parçacıkların üretilmesine neden olur. Bu parçacıklar sintilatör kristalleriyle etkileşir. Daha sonra üretilen görünür dalga boylarındaki fotonlar foto çoğaltıcı tüpler tarafından algılanır. Foto çoğaltıcı tüp, bu görünür fotonları voltaj pulslarına dönüştürür. Katoda çarpan düşük enerjili fotonlar, katottan foto elektron salınımı yapar. Bu elektronlar, elektrik alanında dinot adı verilen metal plakaya doğru hızlandırılır. Dinota çarpan elektronlar, daha fazla elektronun salınmasına sebep olur. İlk dinottan çıkan elektronlar, elektrik alan sayesinde ikinci dinota yönlendirilir ve bu işlem böylece devam eder. Dinotlar, bir önceki dinottan daha yüksek potansiyele sahip olacak şekilde yerleştirilmiştir. Bir foto çoğaltıcı tüpte yaklaşık olarak 10-12 dinot vardır. Elektronlar, dinotlara her çarpıştığında sayıları artar ve hızlanırlar. En son dinottaki yük, tüpe giren fotonla orantılıdır. Foton sayısı ile kristale gelen gama ışının sayısı orantılıdır. Dolayısı ile çıkış voltajı doğrudan gelen gama ışınıyla orantılı olur. Sintilasyon detektörleri organik veya inorganik olabilir. Gama ışın detektörleri genellikle inorganik madde olan NaI veya CsI gibi alkali tuzlardan yapılmaktadır. Bu inorganik maddelerin foton yayınlama ihtimalini

artırmak ve ışığın soğurulmasını indirmek için bir miktar katkı ilave edilir. Bu ilave katkıya, aktivatör denir. Talyum (Tl) ve Sodyum (Na) en çok tercih edilen aktivatör malzemelerdir [12].



Şekil 3.1 Sintilasyon Detektörün Şematik Gösterimi

3.3. Portatif gama sayıcısı

Yozgat İli, ilçe ve köylerini kapsayan bölgedeki havada karasal ve kozmik kökenli gama radyasyonlarının ölçümleri için Eberline Smart Portable (ESP-2) model, taşınabilir mikro bilgisayarlı ve ucuna SPA-6 model plastik sintilasyon detektörü bağlı bir ölçüm sistemi kullanılmıştır.

Bu alet portatif bir radyasyon inceleme aletidir ve çoklu ölçüme izin verir. Çalışma sırasında detektör tarafından oluşturulan sinyal bilgisayara girer ve hesaplama oranına çevrilir. Bu alet tarih, zaman, kullanıcı kimliği, detektör numarası, işlem modu, kalibrasyonu gibi bilgileri depolayabilmektedir (TAEK Rapor No:32, 1985).



Şekil 3.2. ESP-2 Portatif Gama Sayıcısı

3.4. SPA-6 Sintilasyon detektörü

Bu detektör doğal gama radyasyonu ya da düşük aktiviteli radyonüklitlerin oluşturduğu radyasyon gibi radyasyonlara karşı oldukça duyarlıdır.



Şekil 3.3. SPA-6 Sintilasyon Detektörü

BÖLÜM 4

BULGULAR VE TARTIŞMALAR

Bu çalışmada Yozgat İli, ilçe ve köylerini kapsayan bölgede havada soğurulan karasal ve kozmik ışın kaynaklı ev dışı gama doz oranları belirlenmiştir. Bu amaç için özellikle halkın yoğun olarak yaşadığı bölgeler başta olmak üzere 60 farklı ölçüm noktasında gama doz oranları ölçümü yapılmıştır.

Bu ölçümlerde Eberline Smart Portable (ESP-2) model sayıcı ucuna SPA-6 model plastik sintilasyon algılayıcılı portatif bir detektör kullanılmıştır .

Havada ölçülen gama doz oranları büyük miktarlarda karasal kaynaklı olmasına rağmen bu ölçümlere kozmik radyasyonun da bir miktar katkısı olmaktadır.

Tablo 4.1 bu ölçüm noktalarında ölçülen gama doz oranlarını göstermektedir. Ölçüm sonuçları içerisinde hem karasal hem de kozmik ışın kaynaklarının etkisi bulunmaktadır.

Şekil 4.1 ise ölçüm noktalarında ölçülen gama doz oranlarını grafiksel olarak göstermektedir. Bu değerler en küçük 60 nGy/h olarak en büyük ise 300 nGy/h olarak ölçülmüştür.

Tablo 4.2. ise havada ölçülen ev dışı gama doz oranlarının istatistiksel hesaplamalarını göstermektedir.

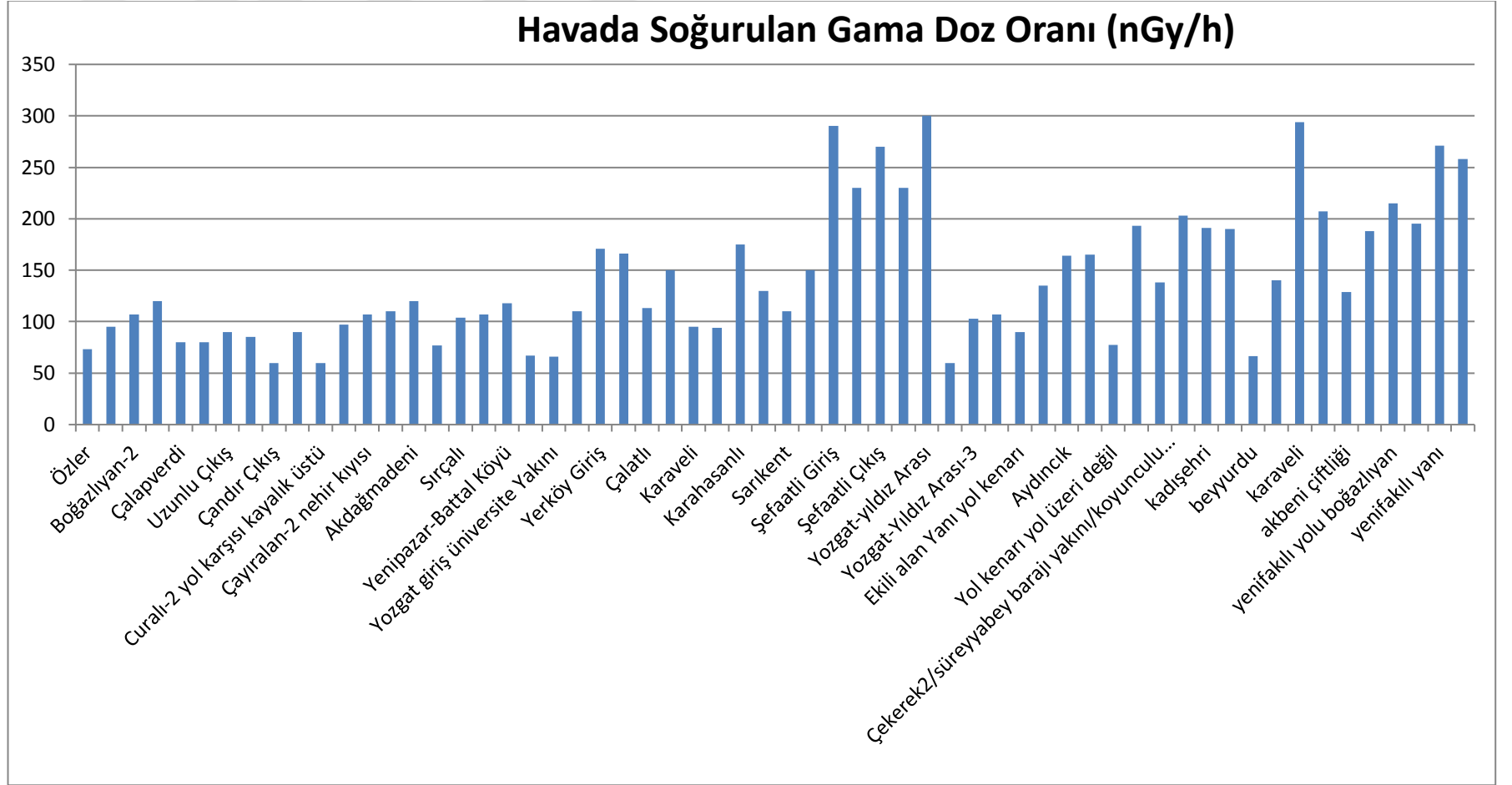
Tablo 4.1. Yozgat ili, ilçe ve köylerini kapsayan bölgede havada ölçülen gama doz oranları (nGy/h)

Numara	Ölçüm Noktaları	Havada Soğurulmuş Gama Doz Oranı (nGy/h)
1	Özler	73
2	Boğazlıyan-1	95
3	Boğazlıyan-2	107
4	Boğazlıyan şehir merkezi	120
5	Çalapverdi	80
6	Uzunlu Giriş	80
7	Uzunlu Çıkış	90
8	Çandır Giriş	85
9	Çandır Çıkış	60
10	Curalı	90
11	Curalı-2 yol karşısı kayalık üstü	60
12	Çayıralan	97
13	Çayıralan-2 nehir kıyısı	107
14	Çatköy-akdağmadeni	110
15	Akdağmadeni	120
16	Yoğunhisar	77
17	Sırçalı	104
18	Yenipazar	107
19	Yenipazar-Battal Köyü	118
20	Topçu	67
21	Yozgat giriş üniversite Yakını	66
22	saray	110
23	Yerköy Giriş	171
24	Yerköy-2	166
25	Çalathı	113
26	Sorgun	150
27	Karaveli	95
28	Sarıkaya	94
29	Karahasanlı	175
30	Karahasanlı-2	130
31	Sarıkent	110
32	Temlik	150
33	Şefaati Giriş	290
34	Şefaati merkez	230
35	Şefaati Çıkış	270
36	Yıldız	230
37	Yozgat-yıldız Arası	300
38	Yozgat-yıldız Arası-2	60
39	Yozgat-Yıldız Arası-3	103
40	Alaca(ekili alan)	107,00
41	Ekili alan Yanı yol kenarı	89,8
42	yer adı yok	135

43	Aydıncık	164
44	bazlambaç	165
45	Yol kenarı yol üzeri değil	77,5
46	Çekerek şehir merkezi	193
47	Çekerek2/süreyyabey barajı yakını/koyunculu köyü yakını	138
48	özükavak kasabası	203
49	kadışehri	191
50	kavakalan	190
51	beyyurdu	66,6
52	çiğdemli	140
53	karaveli	294
54	sarıkaya sonrası çokumeşme çıkış mermer fab yanı	207
55	akbeni çiftliği	129
56	boğazlıyan yakını	188
57	yenifakılı yolu boğazlıyan	215
58	yenifakılı yanı beктаşlı öncesi	195
59	yenifakılı yanı	271
60	yenifakılı şehir merkezi	258

Tablo 4.2. Havada ölçülen gama doz oranları için istatistiki hesaplama sonuçları

İstatistiki Hesaplamalar	
Aritmetik Ortalama	141,2817
Geometrik Ortalama	127,862
Standart Sapma	64,9344
Standart Hata	8,4537
En Küçük Sayı	60
En Büyük Sayı	300



Şekil 4.1.Yozgat İli, ilçe ve köylerini kapsayan bölgede ev dışı havada soğurulan gama doz oranları (nGy/h)

4.1. Yıllık etkin doz eşdeğeri

Bir insanın, 1 yıl süresince maruz kaldığı radyasyonlar nedeniyle sahip olacağı doz miktarları yıllık etkin doz eşdeğeri olarak adlandırılmaktadır. Sievert (Sv) uluslararası birim sisteminde eşdeğer doz birimi olarak adlandırılmaktadır.

$$AEDE = OGDR \left(\frac{nGy}{h} \right) \times 0,7 \left(\frac{Sv}{Gy} \right) \times 0,20 \times 8760 \left(\frac{h}{y} \right)$$

Burada OGDR (nGy/h) ölçülen ev dışı havada soğurulan gama doz oranını göstermektedir.

UNSCEAR 2000 raporuna göre etkin doz eşdeğerinin havadaki soğurulmuş doza oranı hem ev içi hem de ev dışı doğal gamalar için 0,7 Sv/Gy olarak tanımlanmıştır.

İnsanların gün içerisinde vakitlerinin % 20'sini kapalı ortamların dışında geçirdikleri düşünülmektedir. 8760 ise 1 yıl içerisindeki saat miktarıdır.

Yozgat bölgesi içerisindeki 60 ölçüm noktası için hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri tablo 4.3'de gösterilmektedir. Şekil 4.2 ise hesaplanan bu değerleri grafiksel olarak göstermektedir.

Hesaplanan en küçük yıllık etkin doz eşdeğeri 73,584 μ Sv/y ve en büyük değer ise 367,92 μ Sv/y'dır.

Tablo 4.3. Ölçüm yerleri için hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri

No	Ölçüm Noktaları	AEDE(μ Sv/y)
1	Özler	89,5272
2	Boğazlıyan-1	116,508
3	Boğazlıyan-2	131,2248
4	Boğazlıyan şehir merkezi	147,168
5	Çalapverdi	98,112
6	Uzunlu Giriş	98,112
7	Uzunlu Çıkış	110,376
8	Çandır Giriş	104,244
9	Çandır Çıkış	73,584
10	Curalı	110,376
11	Curalı-2 yol karşısı kayalık üstü	73,584
12	Çayıralan	118,9608
13	Çayıralan-2 nehir kıyısı	131,2248
14	Çatköy-akdağmadeni	134,904
15	Akdağmadeni	147,168
16	Yoğunhisar	94,4328
17	Sırçalı	127,5456
18	Yenipazar	131,2248
19	Yenipazar-Battal Köyü	144,7152
20	Topçu	82,1688
21	Yozgat giriş üniversite Yakını	80,9424
22	saray	134,904
23	Yerköy Giriş	209,7144

24	Yerköy-2	203,5824
25	Çalatlı	138,5832
26	Sorgun	183,96
27	Karaveli	116,508
28	Sarıkaya	115,2816
29	Karahasanlı	214,62
30	Karahasanlı-2	159,432
31	Sarıkent	134,904
32	Temlik	183,96
33	Şefaati Giriş	355,656
34	Şefaati merkez	282,072
35	Şefaati Çıkış	331,128
36	Yıldız	282,072
37	Yozgat-yıldız Arası	367,92
38	Yozgat-yıldız Arası- 2	73,584
39	Yozgat-Yıldız Arası- 3	126,3192
40	Alaca(ekili alan)	131,2248
41	Ekili alan Yanı yol kenarı	110,1307
42	yer adı yok	165,564
43	Aydıncık	201,1296
44	bazlambaç	202,356
45	Yol kenarı yol üzeri değil	95,046
46	Çekerek şehir merkezi	236,6952
47	Çekerek2/süreyyabey barajı yakını/koyunculu	169,2432

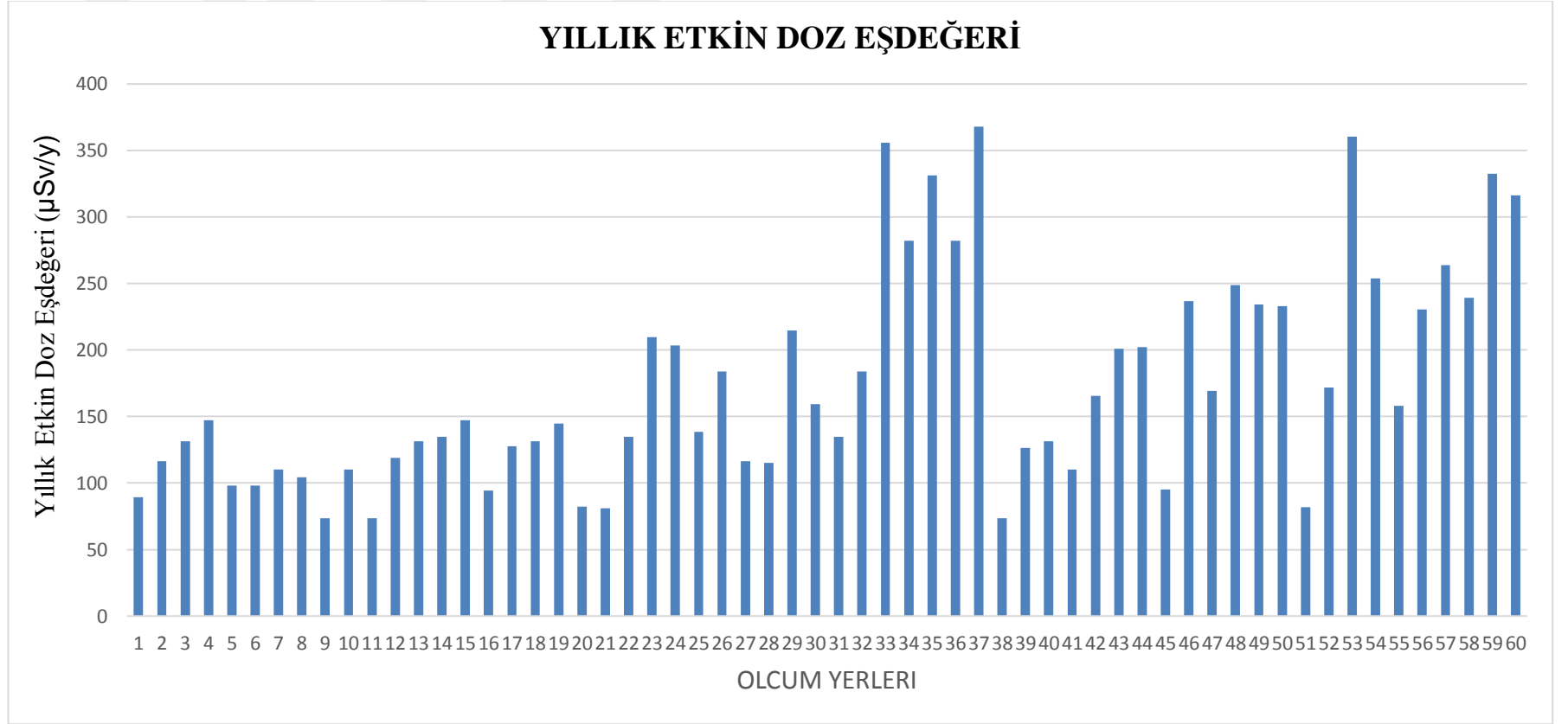
	köyü yakını	
48	özükavak kasabası	248,9592
49	kadışehri	234,2424
50	kavakalan	233,016
51	beyyurdu	81,67824
52	çiğdemli	171,696
53	karaveli	360,5616
54	sarıkaya sonrası çokumeşme çıkış mermer fab yanı	253,8648
55	akbeni çiftliği	158,2056
56	boğazlıyan yakını	230,5632
57	yenifakılı yolu boğazlıyan	263,676
58	yenifakılı yanı bektaşlı öncesi	239,148
59	yenifakılı yanı	332,3544
60	yenifakılı şehir merkezi	316,4112

4.2. Yaşam boyu kanser riski

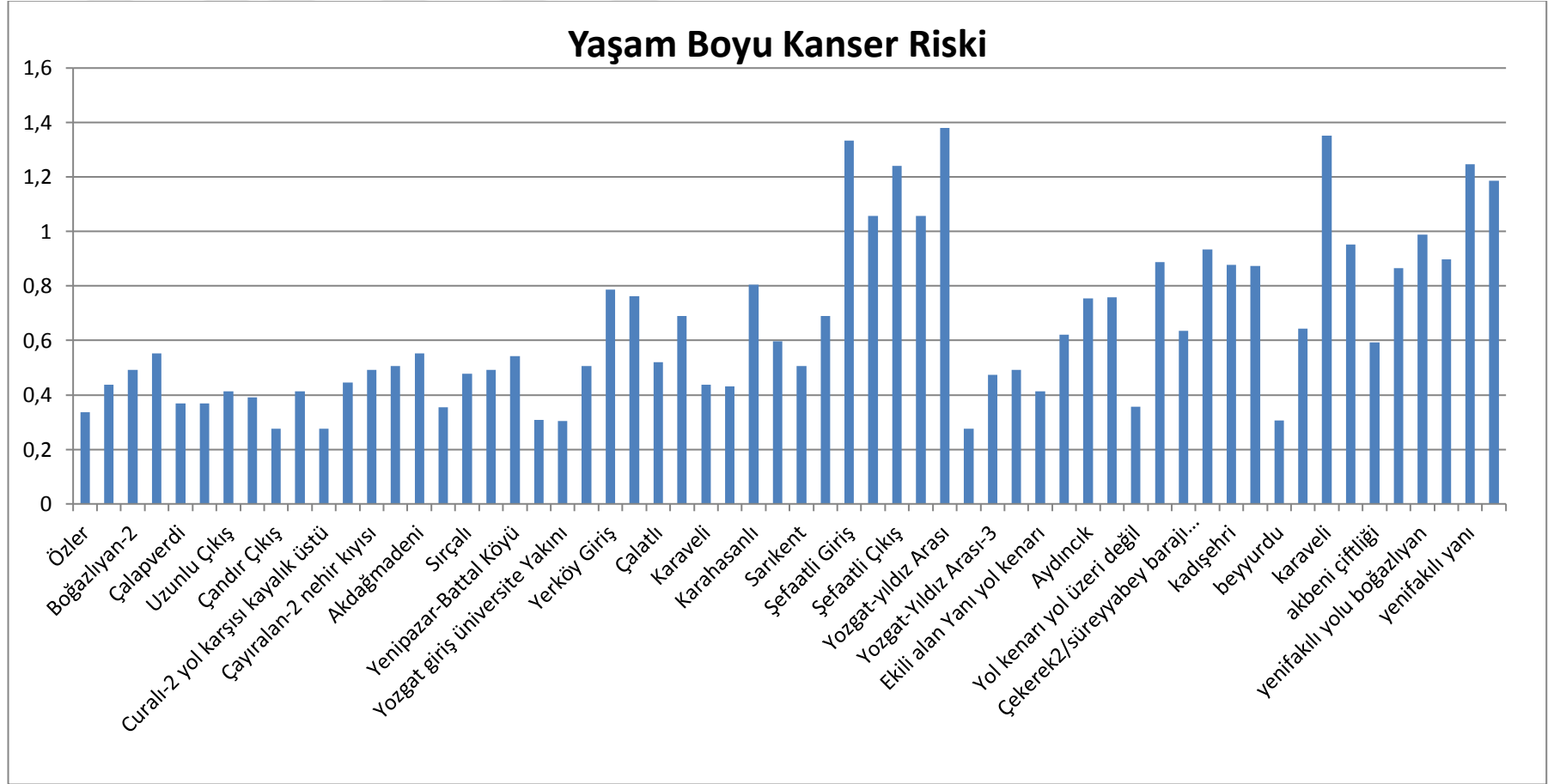
Bir insanın yaşadığı ömür boyunca karasal ve kozmik kaynaklı doğal radyasyonlardan dolayı ev dışı havada bulunan gama dozları nedeniyle karşı karşıya kalabileceği kanser riski yaşam boyu kanser riski olarak adlandırılır. Yaşam boyu kanser risk hesabı radyasyonun sağlık üzerine etkilerini tahmin etmekte yararlı bir araçtır. Bu risk şu şekilde hesaplanır:

$$ELCR = AEDE \left(\frac{\mu Sv}{y} \right) \times LE(y) \times RFSE (Sv^{-1})$$

Burada AEDE, Yozgat bölgesi için ev dışı havadaki soğurulan gama dozları nedeniyle sahip olunan yıllık etkin doz eşdeğeri, LE ise ortalama olarak insan ömrü (75 yıl), RFSE ise ICRP 1990 raporuna Sievert için risk faktörüdür. Bu değer $0.05 Sv^{-1}$ olarak alınmıştır. Tablo 4.4. Yozgat bölgesi için hesaplanan ev dışı havadan soğurulmuş gama dozları nedeniyle sahip olunan kanser risk değerlerini göstermektedir. Şekil 4.3. grafiksel olarak kanser risk değerlerini göstermektedir. Bu değerler en düşük 0,27594 ile 1,3797 arasında değişmektedir.



Şekil 4.2. Ölçüm yerlerine göre hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri



Şekil 4.3. Ölçüm yerlerine göre hesaplanan yaşam boyu kanser riskleri

Tablo 4.4. Ölçüm yerleri için hesaplanan yaşam boyu kanser riskleri

No	Ölçüm Noktaları	ELCR x 10 ⁻³
1	Özler	0,335727
2	Boğazlıyan-1	0,436905
3	Boğazlıyan-2	0,492093
4	Boğazlıyan şehir merkezi	0,55188
5	Çalapverdi	0,36792
6	Uzunlu Giriş	0,36792
7	Uzunlu Çıkış	0,41391
8	Çandır Giriş	0,390915
9	Çandır Çıkış	0,27594
10	Curalı	0,41391
11	Curalı-2 yol karşısı kayalık üstü	0,27594
12	Çayıralan	0,446103
13	Çayıralan-2 nehir kıyısı	0,492093
14	Çatköy-akdağmadeni	0,50589
15	Akdağmadeni	0,55188
16	Yoğunhisar	0,354123
17	Sırçalı	0,478296
18	Yenipazar	0,492093
19	Yenipazar-Battal Köyü	0,542682
20	Topçu	0,308133
21	Yozgat giriş üniversite Yakını	0,303534
22	saray	0,50589
23	Yerköy Giriş	0,786429
24	Yerköy-2	0,763434
25	Çalatl	0,519687
26	Sorgun	0,68985
27	Karaveli	0,436905
28	Sarıkaya	0,432306
29	Karahasanlı	0,804825
30	Karahasanlı-2	0,59787
31	Sarıkent	0,50589
32	Temlik	0,68985
33	Şefaati Giriş	1,33371
34	Şefaati merkez	1,05777
35	Şefaati Çıkış	1,24173
36	Yıldız	1,05777
37	Yozgat-yıldız Arası	1,3797
38	Yozgat-yıldız Arası-2	0,27594
39	Yozgat-Yıldız Arası-	0,473697

	3	
40	Alaca(ekili alan)	0,492093
41	Ekili alan Yanı yol kenarı	0,41299
42	yer adı yok	0,620865
43	Aydıncık	0,754236
44	bazlambaç	0,758835
45	Yol kenarı yol üzeri değil	0,356423
46	Çekerek şehir merkezi	0,887607
47	Çekerek2/süreyyabey barajı yakını/koyunculu köyü yakını	0,634662
48	özükavak kasabası	0,933597
49	kadışehirli	0,878409
50	kavakalan	0,87381
51	beyyurdu	0,306293
52	çiğdemli	0,64386
53	karaveli	1,352106
54	sarıkaya sonrası çokumeşme çıkış mermer fab yanı	0,951993
55	akbeni çiftliği	0,593271
56	boğazlıyan yakını	0,864612
57	yenifakılı yolu boğazlıyan	0,988785
58	yenifakılı yanı beктаşlı öncesi	0,896805
59	yenifakılı yanı	1,246329
60	yenifakılı şehir merkezi	1,186542

Tablo 4.5.Farklı vücut doku ve organları için hesaplanmış etkin doz oranları

	Akciğerler	Yumurtalıklar	Kemik İliği	Testisler	Tüm Vücut
1	0,0572974	0,051925776	0,061773768	0,073412304	0,060878
2	0,0745651	0,06757464	0,08039052	0,09553656	0,079225
3	0,0839839	0,076110384	0,090545112	0,107604336	0,089233
4	0,0941875	0,08535744	0,10154592	0,12067776	0,100074
5	0,0627917	0,05690496	0,06769728	0,08045184	0,066716
6	0,0627917	0,05690496	0,06769728	0,08045184	0,066716
7	0,0706406	0,06401808	0,07615944	0,09050832	0,075056
8	0,0667162	0,06046152	0,07192836	0,08548008	0,070886
9	0,0470938	0,04267872	0,05077296	0,06033888	0,050037
10	0,0706406	0,06401808	0,07615944	0,09050832	0,075056
11	0,0470938	0,04267872	0,05077296	0,06033888	0,050037
12	0,0761349	0,068997264	0,082082952	0,097547856	0,080893
13	0,0839839	0,076110384	0,090545112	0,107604336	0,089233
14	0,0863386	0,07824432	0,09308376	0,11062128	0,091735
15	0,0941875	0,08535744	0,10154592	0,12067776	0,100074
16	0,060437	0,054771024	0,065158632	0,077434896	0,064214
17	0,0816292	0,073976448	0,088006464	0,104587392	0,086731
18	0,0839839	0,076110384	0,090545112	0,107604336	0,089233
19	0,0926177	0,083934816	0,099853488	0,118666464	0,098406
20	0,052588	0,047657904	0,056696472	0,067378416	0,055875
21	0,0518031	0,046946592	0,055850256	0,066372768	0,055041
22	0,0863386	0,07824432	0,09308376	0,11062128	0,091735
23	0,1342172	0,121634352	0,144702936	0,171965808	0,142606
24	0,1302927	0,118077792	0,140471856	0,166937568	0,138436
25	0,0886932	0,080378256	0,095622408	0,113638224	0,094237
26	0,1177344	0,1066968	0,1269324	0,1508472	0,125093
27	0,0745651	0,06757464	0,08039052	0,09553656	0,079225
28	0,0737802	0,066863328	0,079544304	0,094530912	0,078391
29	0,1373568	0,1244796	0,1480878	0,1759884	0,145942
30	0,1020365	0,09247056	0,11000808	0,13073424	0,108414
31	0,0863386	0,07824432	0,09308376	0,11062128	0,091735
32	0,1177344	0,1066968	0,1269324	0,1508472	0,125093
33	0,2276198	0,20628048	0,24540264	0,29163792	0,241846
34	0,1805261	0,16360176	0,19462968	0,23129904	0,191809
35	0,2119219	0,19205424	0,22847832	0,27152496	0,225167
36	0,1805261	0,16360176	0,19462968	0,23129904	0,191809
37	0,2354688	0,2133936	0,2538648	0,3016944	0,250186
38	0,0470938	0,04267872	0,05077296	0,06033888	0,050037
39	0,0808443	0,073265136	0,087160248	0,103581744	0,085897
40	0,0839839	0,076110384	0,090545112	0,107604336	0,089233
41	0,0704836	0,063875806	0,075990183	0,090307174	0,074889

42	0,105961	0,09602712	0,11423916	0,13576248	0,112584
43	0,1287229	0,116655168	0,138779424	0,164926272	0,136768
44	0,1295078	0,11736648	0,13962564	0,16593192	0,137602
45	0,0608294	0,05512668	0,06558174	0,07793772	0,064631
46	0,1514849	0,137283216	0,163319688	0,194090064	0,160953
47	0,1083156	0,098161056	0,116777808	0,138779424	0,115085
48	0,1593339	0,144396336	0,171781848	0,204146544	0,169292
49	0,1499151	0,135860592	0,161627256	0,192078768	0,159285
50	0,1491302	0,13514928	0,16078104	0,19107312	0,158451
51	0,0522741	0,047373379	0,056357986	0,066976157	0,055541
52	0,1098854	0,09958368	0,11847024	0,14079072	0,116753
53	0,2307594	0,209125728	0,248787504	0,295660512	0,245182
54	0,1624735	0,147241584	0,175166712	0,208169136	0,172628
55	0,1012516	0,091759248	0,109161864	0,129728592	0,10758
56	0,1475604	0,133726656	0,159088608	0,189061824	0,156783
57	0,1687526	0,15293208	0,18193644	0,21621432	0,1793
58	0,1530547	0,13870584	0,16501212	0,19610136	0,162621
59	0,2127068	0,192765552	0,229324536	0,272530608	0,226001
60	0,2025032	0,183518496	0,218323728	0,259457184	0,21516

4.3. Farklı vücut doku ve organlarındaki etkin doz oranı

Alınan dozlar nedeniyle yıllık etkin doz eşdeğerine bağlı olarak bu doz değerinin her bir vücut doku ve organdaki miktarı her bir organ için farklı dönüşüm faktörleri kullanılarak hesaplanabilir.

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

f değeri organ dozuna dönüşüm faktörüdür ve her bir organ için farklı bir değere sahiptir. Tablo 4.6 farklı vücut doku ve organları için doz dönüşüm faktörlerini göstermiştir. Tablo 4.5 ise farklı vücut doku ve organları için hesaplanmış etkin doz oranlarını göstermektedir.

Tablo 4.6. Farklı organ ve dokular için doz dönüşüm faktörleri

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

BÖLÜM 5

TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma Türkiye’de Yozgat İli, ilçe ve köylerini kapsayan bölgedeki karasal ve kozmik kaynaklı havada soğurulmuş gama doz oranlarının belirlenmesi için yapılmış literatürde yer alan ilk çalışmadır.

Bu tezi oluşturan konunun çalışılmasıyla birçok sonuca ulaşılmıştır.

- Yozgat bölgesi için karasal ve kozmik gama ışınları kaynaklı havada soğurulan doz oranları için radyolojik bir veri tabanı oluşturulmuştur.
- Bu bölgede yaşayan halk için, havadaki bu gamalar nedeniyle maruz kaldıkları radyasyon dozları ile ilgili bir veri tabanı oluşturulmuştur.

Yozgat bölgesi havasında soğurulmuş gama doz oranlarını belirlemek ilerde oluşabilecek herhangi bir nükleer kirlilik durumunda oluşabilecek radyolojik kirliliğin miktarını belirlemek açısından oldukça önemlidir. Bu tez konusunu çalışmak bu bölge havası için bu tür bir veri tabanı oluşturmaya da olanak sağlamaktadır.

Yozgat ili, ilçe ve köylerini kapsayan önceden belirlenmiş 60 farklı ölçüm noktasında havada soğurulmuş gama doz oranları ölçülmüştür. Ölçülen bu değerler kozmik ve karasal kökenlidir. Bu bölge için ölçülen ortalama gama doz oranı 141,3 nGy/h olarak bulunmuştur. Ölçülen en büyük havadaki soğurulmuş gama doz oranı ise 300 nGy/h olarak Yozgat-Yıldız arasındaki bölgede ölçülmüştür. Tablo 5.1 de Türkiye’de bulunan bazı şehirler için yapılan havadaki soğurulmuş gama doz oranları gösterilmektedir. Yozgat için bulunan ortalama değer diğer şehirler için bulunanlardan daha yüksektir. UNCEAR 2000 raporuna göre ev dışı havasındaki soğurulmuş gama doz oranı Dünya ortalaması 57 nGy/h’dir. Yozgat bölgesi için ölçülen değer Dünya ortalamasının üzerindedir.

Yozgat bölgesinin yakın zamanlarda uranyum madeni bakımından zengin olduğu bulunmuştur. Havada soğurulan gama radyasyonu kozmik kökenli olsa bile daha fazla miktarda karasal kökenlidir. Ayrıca Yozgat bölgesi 1300 m rakıma sahiptir. Bu bölge için yapılan ölçümlerin, bölgenin bazı kısımlarında yer alan uranyum yatakları ve

bölgenin sahip olduğu yüksek rakım nedeniyle daha fazla kozmik radyasyonun bulunmasından dolayı yüksek çıktığı söylenebilir.

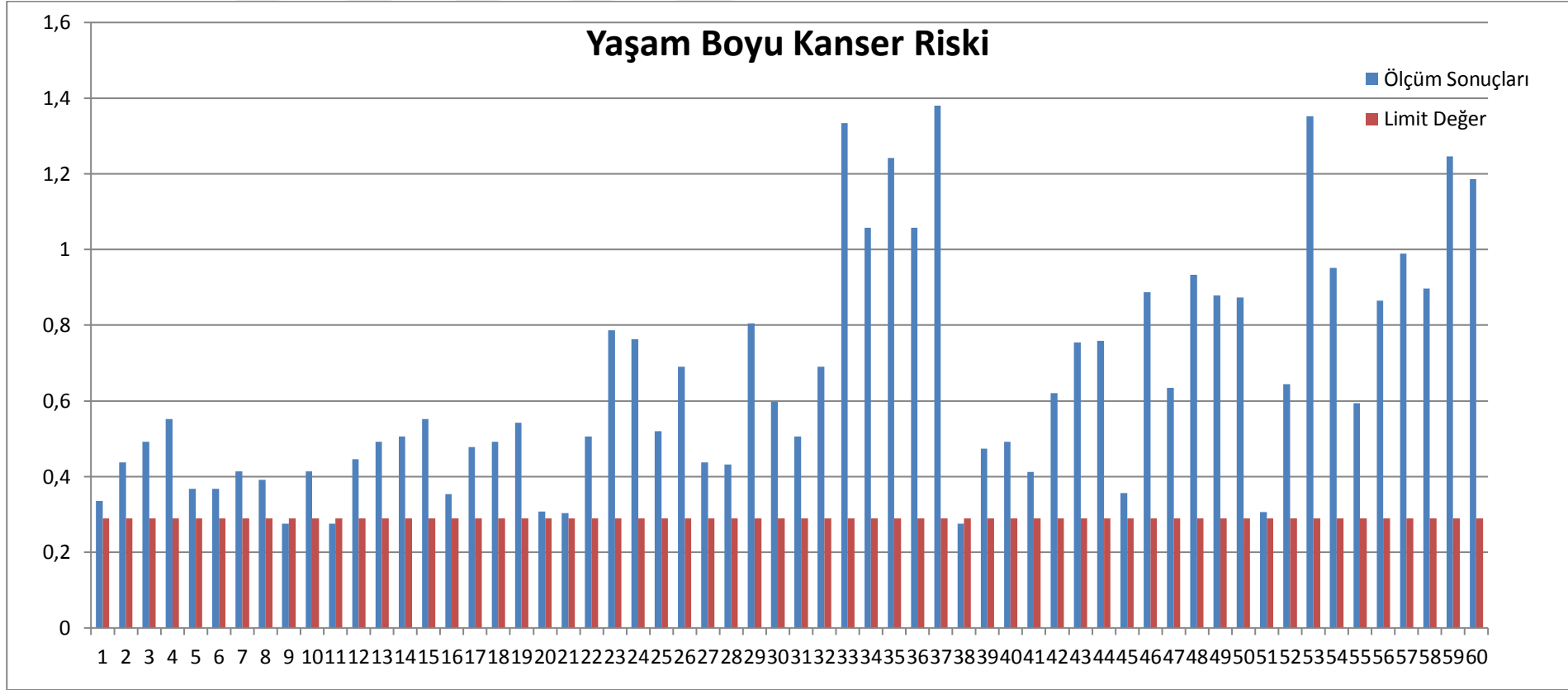
Tablo 5.1. Türkiye’deki bazı şehirlerde yapılan havadaki soğurulmuş gama doz oranları ölçümleri

Yerler	Havada Soğurulan Gama Doz Oranları (nGy/h)	Referanslar
İstanbul	64,7	[3]
Tekirdağ	43,27	[4]
Hatay	61,9	[5]
Trabzon	324,7	[6]
Adana	65,6	[7]
Yozgat	141,3	Şimdiki Çalışma

Yozgat bölgesi, ilçe ve köylerinde yaşayan halkın havada soğurulmuş gama dozları nedeniyle bir yılda maruz kaldıkları radyasyon dozları yıllık etkin doz eşdeğerleri olarak hesaplanmıştır. Bu bölge için bulunan ortalama yıllık etkin doz eşdeğeri $173,3 \mu\text{Sv y}^{-1}$ ’dir. En yüksek yıllık etkin doz eşdeğeri $355,7 \mu\text{Sv y}^{-1}$ olarak Şefaati ve $367,9 \mu\text{Sv y}^{-1}$ olarak Yozgat- Yıldız arasındaki bölge için bulunmuştur.

Yozgat bölgesi ev dışı havasındaki soğurulmuş gama dozları için hesaplanmış yıllık etkin doz eşdeğerlerine bağlı olarak bölge halkı için yaşam boyu kanser riski de hesaplanmıştır. Bölge halkı için hesaplanan ortalama kanser riski $0,65 \times 10^{-3}$ olarak bulunmuştur. En yüksek yaşam boyu kanser risk değerleri Şefaati bölgesi için $355,66$ ve Yozgat-Yıldız arası bölge için $367,9$ olarak hesaplanmıştır.

Şekil 5.1 hesaplanan yaşam boyu kanser riskleri ile $0,29 \times 10^{-3}$ olan limit değerlerin karşılaştırması gösterilmektedir. Hemen hemen tüm yerleşim birimlerinde hesaplanan yaşam boyu kanser riskleri limit değerlerinin üzerindedir.



Şekil 5.1. Hesaplanan Yaşam Boyu Kanser Riskleri İle Limit Değerlerin Karşılaştırması

KAYNAKLAR

1. Linnea E. Wahl, "Environmental Radiation Fact Sheet", *Health Physics Society Specialist Radiation Protection Documents*, 2014.
2. Guagliardi I, Rovella N, Apollaro C, Bloise A, Derosa R, Scarciglia F, Buttafuoco G, "Effects of source rocks, soil features and climate on natural gamma radioactivity in the Crati Valley (Calabria, Southern Italy)", *Chemosphere*, 150, 97-108, 2016.
3. G. Karahan, A. Bayulken, "Assessment of gamma dose rates around Istanbul (Turkey)", *Journal of Environmental Radioactivity*, 47(2), 213-221, 2000.
4. E.Kam, Y.Yarar, A.Bozkurt, "A study of background radioactivity level for Tekirdag, Turkey". *Radiation Protection Dosimetry*, 138 (1), 40-4, 2010.
5. Muhammet Karataşlı, "Hatay ve çevresinde çevresel gama ölçümü", *AKUJ. Sci. Eng.18*, 011102, 780-785, 2018.
6. A. Kurnaz, "Trabzon İlinin ve Şebinkarahisar ilçesinin doğal radyoaktivite düzeylerinin belirlenmesi ve yıllık etkin doz eşdeğerleri", *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, Trabzon, 2009.
7. M. Degerlier, G. Karahan, G. Ozger, "Radioactivity concentrations and dose assessment for soil samples around Adana,Turkey". *Journal of Enviromental Radioactivity*, 99(7), 1018-1025, 2008.
8. Syed Naeem Ahmed, "Physics & Engineering of Radiation Detection",*Elsevier*, ISBN-10:0-12-045581-1, First Edition, 2007.
9. AR. Çekirdek Kimyası ve Radyokimya. Etiler, İ.Ü. Basımevi ve Film Berkem Merkezi,1992;74-111
10. Tüysüz, M.Z., Yorulmaz, N., Bozkurt, A., 2004. Co-60 Radyoterapi Kaynağı İçin Monte Carlo Yöntemiyle Uygun Zırh Tasarımı. Türk Fizik Derneği 22. Fizik Kongresi Bildiriler Kitapçığı, Bodrum
11. Knoll ,F.K. 1999. Radiation Detection and Measurement. John Willey ans Sons.
12. Krane, K.S. 2001. Nükleer Fizik. Palme.

ÖZGEÇMİŞ

1978 Nevşehir doğumluyum. İlkokulu 20 Temmuz İlkokulunda, orta ve lise eğitimimi Nevşehir Lisesinde tamamladım. 1997 yılında Erciyes Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünü kazandım. 2007 yılında o anki ismi Nevşehir Üniversitesi şimdiki adı Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Yüksek Lisans Eğitimime başladım. 1978 Nevşehir doğumluyum. İlkokulu 20 Temmuz İlkokulunda, orta ve lise eğitimimi Nevşehir Lisesinde tamamladım. 1997 yılında Erciyes Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünü kazandım. 2007 yılında o anki ismi Nevşehir Üniversitesi şimdiki adı Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Yüksek Lisans Eğitimime başladım. Ders ve Seminer dönemini o yıl tamamladım. Tez çalışmalarına 2018 mayısında tekrar hız kazandırdım. 2019 haziran ayında Yüksek Lisans programından mezun oldum.

