



T.C.

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

**YOZGAT İLİ VE ÇEVRESİNE AİT ÇEŞİTLİ SU
ÖRNEKLERİNDEKİ DOĞAL RADYOAKTİVİTE VE
RADYASYON DOZLARININ TAHMİN EDİLMESİ**

**Tezi Hazırlayan
Dilek KOYUNCU**

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

**Fizik Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Haziran 2017
NEVŞEHİR**

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

YOZGAT İLİ VE ÇEVRESİNE AİT ÇEŞİTLİ SU
ÖRNEKLERİNDEKİ DOĞAL RADYOAKTİVİTE VE
RADYASYON DOZLARININ TAHMİN EDİLMESİ

Tezi Hazırlayan
Dilek KOYUNCU

Tez Danışmanı
Yrd. Doç. Dr. Meltem DEĞERLİER GUIOT

Fizik Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Haziran 2017
NEVŞEHİR

Yrd.Doç.Dr. Meltem DEĞERLİER GUIOT danışmanlığında **Dilek KOYUNCU** tarafından hazırlanan “ **Yozgat İli ve Çevresine Ait Çeşitli Su Örneklerindeki Doğal Radyoaktivite ve Radyasyon Dozlarının Tahmin Edilmesi** ” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalında **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

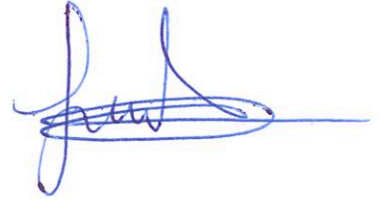
15/ 06/ 2017

JÜRİ

Başkan : Doç.Dr. Aslıhan KARATEPE



Üye :Yrd.Doç.Dr.Meltem DEĞERLİER GUIOT



Üye : Doç. Dr. Mehmet ERDOĞAN



ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun **22/06/2017** tarih ve **2017/29-198** sayılı kararı ile onaylanmıştır.

12/06/2017
Prof. Dr. Şahlan ÖZTÜRK
Enstitü Müdürü



Bu alışma Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından NELP13F14 numaralı proje ile desteklenmiştir.

Bu alışma Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK)/ ekmece Nükleer Araştırma Merkezi (ÇNAEM) ile Nevşehir Hacı Bektaş Veli niversitesi tarafından 03/12/2012 tarihli “Yozgat İlinin evresel Radyoaktivitesinin Belirlenmesi ve Doğal Fon Haritasının çıkarılması” isimli işbirliği protokolü tarafından desteklenmiştir.

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 atf yapıldığını bildiririm.

Dilek KOYUNCU



TEŞEKKÜR

Bana bu çalıŐmayı öneren ve yüksek lisans programına kabul eden ve tez çalıŐmamın her aŐamasında öneri, katkı ve değerlendirmelerini esirgemeyen değerli danıŐmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Meltem DEğERLIER GUIOT'a, yaptığımız laboratuvar çalıŐmalarında her türlü desteği sağlayan Sayın Halim TAŐKIN'a sonsuz teŐekkürlerimi sunarım.

Tez alıŐması boyunca, ÇNAEM Sağlık Fiziği Bölümünde bulunan cihazları kullanmamızı sağlayan, Sayın Doç. Dr. Grsel KARAHAN'a ve tüm Sağlık Fiziği Bölümü çalıŐanlarına destek ve yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Çalışma süresince fikirlerine her zaman baŐvurduğum ve yardımlarını esirgemeyen Sayın Biyolog Doç. Dr. Mehmet Sait TAYLAN'a sonsuz teŐekkürü borç bilirim.

Tez çalıŐmalarım boyunca yardımını esirgemeyen ailem ve kardeŐim Derya KOYUNCU'ya teşekkür ederim.

**YOZGAT İLİ VE ÇEVRESİNE AİT ÇEŞİTLİ SU ÖRNEKLERİNDEKİ DOĞAL
RADYOAKTİVİTE VE RADYASYON DOZ TAHMİNİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Dilek KOYUNCU

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

Haziran 2017

ÖZET

Yozgat, Türkiye'nin İç Anadolu Bölgesi'nde yer alan, 14123 km² yüzölçümüne sahip bir alan üzerine kurulmuş ve yaklaşık 419440 kişilik nüfusa sahip olan bir ildir. Bu çalışmada Yozgat il sınırları içerisinde yer alan bölgede yaşayan halkın kullandıkları içme sularının içerdiği doğal radyasyon oranlarını tespit etmek ve kullandıkları bu sular nedeniyle maruz kaldıkları yıllık etkin doz eşdeğerlerini hesaplamak amacı ile toplam olarak 27 su örneği toplanmıştır. Toplanan bu örneklerin toplam alfa ve toplam beta aktiviteleri Berthold LB770 alfa - beta sayım cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Ölçümü yapılan bu örneklerin toplam alfa aktivite konsantrasyon değerleri 0,01 Bq/L ile 1,033 Bq/L aralığında değişmektedir. Toplam beta aktivite değerleri ise 0,018 Bq/L ile 0,63 Bq/L aralığında değişmektedir. Ortalama alfa aktivite değeri 0,12 Bq/L ve ortalama beta aktivite değeri ise 0,14 Bq/L olarak bulunmuştur. Yozgat İli sınırları içerisinde yaşayan halkın kullandıkları içme sularındaki alfa ve beta yayan radyoizotoplar nedeniyle sahip oldukları yıllık etkin doz eşdeğerleri bebekler, çocuklar ve yetişkinler için ayrı ayrı hesaplanmıştır. İçme sularındaki alfa yayınlayan radyoizotoplar nedeniyle bebekler 9,83 Sv, çocuklar 13,78 Sv ve yetişkinler 28,74 Sv, beta yayınlayan radyoizotoplar nedeniyle ise bebekler 15,89 Sv, çocuklar 25,03 Sv ve yetişkinler 45,56 Sv yıllık etkin doz eşdeğerlerine sahip olmaktadır.

Anahtar kelimeler: *Su, Toplam Alfa, Toplam Beta, Doğal Radyoaktivite, Yozgat, Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri.*

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

Sayfa adeti: 63

**NATURAL RADIOACTIVITY IN VARIOUS WATER SAMPLES AND
RADIATION DOSE ESTIMATIONS IN YOZGAT PROVINCE, TURKEY**

(M.Sc. Thesis)

Dilek KOYUNCU

**NEVSEHIR HACI BEKTAS VELI UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

June 2017

ABSTRACT

Yozgat is a city which is placed in the Central Anatolia and it was established on 14123 km² area. Yozgat has approximately 419440 population. It was collected 27 water samples which were used as drinking water by population from different places in all Yozgat Province to determine the level of natural background radiation and to calculate the annual effective doses because of drinking waters. Gross and gross beta activities were measured by Berthold LB 770 alpha-beta counter. Gross alpha activities order from 0,01 Bq/L to 1,033 Bq/L. Gross beta activities order from 0,018 Bq/L to 0,63 Bq/L. Average activity was calculated as 0,12 Bq/L for gross alpha and 0,14 Bq/L for gross beta. Annual effective doses were calculated because of radionuclides which emit alpha and beta for babies, children and adults who live in this region. Average annual effective doses were calculated as 9,83 Sv for babies; 13,78 Sv for children; 28,74 Sv for adults because of alpha emits radionuclides and 15,89 Sv for babies; 25,03 Sv for children and 45,56 Sv for adults because of radionuclides which emit beta.

Key Words: *Water, Gross alpha, Gross Beta, Natural Radioactivity, Yozgat Turkey, Annual Effective Dose*

Thesis Supervisor: Asst. Prof. Dr. Meltem DEĞERLİER GUIOT

Page Quantity: 63

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	i
TEŞEKKÜR	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
TABLolar LİSTESİ	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiii
KISALTMALAR ve SİMGELER LİSTESİ	xv
1.BÖLÜM	
GİRİŞ	1
2.BÖLÜM	
GENEL BİLGİLER	
2.1. Radyoaktivite ve Radyoaktif Çekirdekler	3
2.2. Radyoaktif Bozunum Yasası	3
2.2.1. Yarı Ömür	4
2.2.2. Ortalama Ömür	4
2.3. Radyoaktivite Ölçümünde Kullanılan Birimler	5
2.3.1. Aktivite Birimleri	5
2.3.2. Işınlama Birimleri	5

2.3.3.	Soğurulma Doz Birimleri	5
2.3.4.	Doz Eşdeğer Birimleri	5
2.3.5.	Etkin Eşdeğer Doz.....	6
2.4.	Radyasyon ve Bozunum Türleri.....	6
2.4.1.	Alfa Bozunumu	6
2.4.2.	Beta Bozunumu	7
2.4.2.1.	β^- Bozunum	7
2.4.2.2.	β^+ Bozunumu	7
2.4.2.3.	Elektron Yakalama	7
2.4.3.	Gama Bozunumu	8
2.5.	Gama Işınlmasının Madde İle Etkileşmesi	8
2.5.1.	Fotoelektrik Olay	8
2.5.2.	Compton Saçılması.....	9
2.5.3.	Çift Oluşumu.....	10
2.6.	Başlangıçta Mevcut Olan Radyoaktif Çekirdekler (Primordial).....	10
2.6.1.	Uranyum-238	10
2.6.2.	Toryum-232.....	12
2.6.3.	Radyum.....	13
2.6.4.	Potasyum-40	14
2.7.	Doğal Fon Radyoaktivite.....	14
2.8.	Doğal Radyasyon Kaynağı Olarak Karasal Radyasyon	15

2.8.1. Topraktaki Doğal Radyoaktivite	15
2.8.2. Yüzeğe Yakın Atmosferdeki Doğal Radyoaktivite.....	17
2.8.3. Sulardaki Doğal Radyoaktivite	18
2.8.4. Yiyeceklerdeki Doğal Radyoaktivite	20
2.9. Radyasyonun Sağlık Üzerine Etkileri	20
2.9.1. Doza Bağlı Etkiler	21
2.9.1.1. Düşük Doz Radyasyonun Biyolojik Etkileri	21
2.9.1.2. Genetik Etkiler	21
2.9.1.3. Kanserojenik Etkiler	22
2.9.1.4. Embriyo ve Fetüs Üzerindeki Etkiler	22
2.9.2. Yüksek Doz Radyasyonun Biyolojik Etkileri.....	23
2.9.2.1. Akut Somatik Etkiler	23
2.9.2.2. Kronik Somatik Etkiler.....	24
3. BÖLÜM	
MATERYAL VE METOT	
3.1.MATERYAL	25
3.1.1. Alfa-Beta Sayım Sistemi	25
3.2. METOT.....	28
3.2.1. Su Ölçüm Metotları.....	28
3.2.1.1. Örneklerin Toplanması ve Ölçme İşlemine Hazırlanması	28
3.2.1.2. Çöktürme Yöntemi	29

3.2.1.3. Buharlaştırma Yöntemi.....	31
3.3. Su Örneklerdeki Toplam Alfa ve Beta Aktivitesinin Ölçülmesi	32
4. BÖLÜM	
BULGULAR	33
4.1. Yozgat Sularındaki Toplam Alfa Ve Beta Radyoaktivitesinin Tayini	33
4.1.1. İçme Suyunun Tüketilmesinden Kaynaklanan Yıllık Etkin Doz Eşdeğerinin Hesaplanması	44
5.BÖLÜM	
TARTIŞMA- SONUÇ ve ÖNERİLER	55
KAYNAKLAR	60
ÖZGEÇMİŞ.....	63

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1.	Uranyum serisi ürünleri ve yarı ömürleri	11
Tablo 2.2.	Uranyumun doğal izotopları	12
Tablo 2.3.	Toryum serisi ürünleri ve yarı ömürleri.....	13
Tablo 2.4.	1 foot derinlikli ve 1 mil kare taban alan şekillenimli toprak hacminde bulunan doğal radyoaktivite miktarları	17
Tablo 2.5.	Okyanuslardaki doğal radyoaktivite.....	20
Tablo 3.1.	Deneylerde kullanılan reaktifler.....	29
Tablo 4.1.	Örnekleme yerleri, örnekleme koordinatları, toplam alfa ve toplam beta aktivite konsantrasyonları ve litredeki toplam kalıntı miktarı (çözünen madde) TDS	34
Tablo 4.2.	Yozgat ilinden alınan 27 su örneği için ölçülen toplam alfa ve toplam beta radyoaktivitesinin istatistiki verileri	39
Tablo 4.3.	Toplam alfa aktivite değerlerinin görülme sıklığı ve yüzdeleri	40
Tablo 4.4.	Toplam beta aktivite değerlerinin görülme sıklığı ve yüzdeleri	41
Tablo 4.5.	Alfa ve beta yayınlayan radyoaktif çekirdekler için doz dönüşüm katsayıları.....	44
Tablo 4.6.	Bebekler tarafından tüketilen içme sularındaki alfa yayınlayan radyoaktif çekirdeklerden kaynaklanan yıllık etkin doz değerleri.....	46
Tablo 4.7.	Bebekler tarafından tüketilen içme sularındaki beta yayınlayan radyoaktif çekirdeklerden kaynaklanan yıllık etkin doz değerleri.....	47
Tablo 4.8.	Çocuklar tarafından tüketilen içme sularındaki alfa yayınlayan radyoaktif çekirdeklerden kaynaklanan yıllık etkin doz değerleri.....	48

Tablo 4.9.	Çocuklar tarafından tüketilen içme sularındaki beta yayınlayan radyoaktif çekirdeklerden kaynaklanan yıllık etkin doz değerleri.....	49
Tablo 4.10.	Yetişkinler tarafından tüketilen içme sularındaki alfa yayınlayan radyoaktif çekirdeklerden kaynaklanan yıllık etkin doz değerleri.....	50
Tablo 4.11.	Yetişkinler tarafından tüketilen içme sularındaki beta yayınlayan radyoaktif çekirdeklerden kaynaklanan yıllık etkin doz değerleri.....	51
Tablo 5.1.	İncelenen su örneklerinde ölçülen toplam α/β aktivite değerlerini literatürde yer alan veriler ile karşılaştırılması	59

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	α (alfa) bozunumu	6
Şekil 2.2.	Fotoelektrik Olay	9
Şekil 2.3.	Compton Olayı.....	9
Şekil 2.4.	Çift oluşumu.....	10
Şekil 2.5.	Dünya genelinde doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından alınan dozların oranları	14
Şekil 2.6.	Ortalama olarak doğal radyasyon nedeni ile alınan dozların dağılımları.....	15
Şekil 3.1.	Gaz akışlı orantılı alfa ve beta sayım cihazının çalışma düzeneği.....	25
Şekil 3.2.	Gaz akışlı orantılı alfa ve beta sayım cihazı	26
Şekil 3.3.	Toplanan su örnekleri	29
Şekil 3.4.	Isıtıcı/manyetik karıştırıcı üzerinde bulunan beherlerdeki su örnekleri. Sülfirik asit, bromocresol purple indikatör çözelti ilave edilmiş su örnekleri.....	30
Şekil 3.5.	Çözeltilerin 6N NH ₄ OH ilave edilmiş hali	30
Şekil 3.6.	Çökmesi için beklenen örneklerin filtre kağıdına alınışı.....	31
Şekil 3.7.	Plañşetlere yerleştirilen filtrelerin, ölçme işlemi için sayım sistemine alınması.....	31
Şekil 3.8.	Kızıl ötesi lamba altında buharlaştırma işlemi ve etüvde kurutulan su örnekleri.....	32

Şekil 4.1.	Yozgat ilinin Türkiye haritası üzerindeki konumu ve Yozgat iline bağlı ilçeler	33
Şekil 4.2.	Toplam alfa aktivite konsantrasyonu.....	36
Şekil 4.3.	Toplam beta aktivite konsantrasyonu	37
Şekil 4.4.	Toplam alfa ve beta aktivitelerinin karşılaştırılması	38
Şekil 4.5.	Toplam alfa aktivitesi ile litredeki toplam kalıntı miktarı (çözünen madde), TDS arasındaki ilişki.....	42
Şekil 4.6.	Toplam beta aktivitesi ile litredeki toplam kalıntı miktarı (çözünen madde), TDS arasındaki ilişki.....	43
Şekil 4.7.	Bebek, çocuk ve yetişkinler için alfa yayınlıyıcı radyoaktif çekirdeklerden kaynaklanan ortalama yıllık etkin doz değerleri	52
Şekil 4.8.	Bebek, çocuk ve yetişkinler için beta yayınlıyıcı radyoaktif çekirdeklerden kaynaklanan ortalama yıllık etkin değerleri.....	53
Şekil 4.9.	Bebek, çocuk ve yetişkinler için değerlendirilen yıllık etkin doz değerleri	54

KISALTMALAR ve SİMGELER LİSTESİ

WHO	Dünya Sağlık Örgütü
ICRU	Uluslararası Radyasyon Birimleri Komisyonu
SI	Uluslararası Birim Sistemi
UNSCEAR Radiation	United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
TAEK	Türkiye Atom Enerji Kurumu
ÇNAEM	Çekmece Nükleer Araştırma Eğitim Merkezi
TSE	Türk Standartlar Enstitüsü
BDÖ	Bireysel Doz Ölçütü
EPA	Environmental Protection Agency
NCRP	National Council on Radiation Protection and Measurements Radiation
YED	Yıllık Etkin Doz
DK	Doz Dönüşüm Katsayısı
YTSM	Yıllık Tüketilen Su Miktarı
α	Alfa parçacığı
μ	Mikro, alt birim (10^6)
γ	Gama Işını
β	Beta Parçacığı
eV	Elektron Volt

H ₂ SO ₄	Sülfürük Asit
K	Potasyum
Pb	Kurşun
NH ₄ OH	Amonyum Hidroksit
Mo	Molibden
Bq	Becquerel
GBq	Gigabecquerel
pCi	Pikocurie
A ⁰	Angstron (10 ⁻¹⁰ m)

1.BÖLÜM

GİRİŞ

Su, canlıların hayatlarını sürdürebilmeleri için vazgeçilmez bir unsurdur. İnsanlar yüzey ve yeraltı su kaynaklarından elde ettikleri suları, başta içme suyu olmak üzere çeşitli amaçlar için kullanmaktadır. Günümüzde birçok etken yüzünden yüzey suları kirlenmekte ve bu nedenlerden dolayı bu sularının kullanımları sınırlanmaktadır. Yüzey sularından yeterince faydalanamamak insanları yeraltı sularını daha çok kullanmaya yöneltmiştir. Yeraltı suları hidrolojik döngü ile yağmur sularının yeraltına süzülmesiyle oluşmaktadır. Yağmur suları süzülürken içerisinden geçtikleri jeolojik yapılara ve bu yapıların bileşiminde bulunan kimyasal bileşiklerin suda eriyebilme mertebelerine göre, bazı element ve mineralleri bünyelerine alarak farklı özellikler kazandırmaktadır. Bu hidrolojik döngü esnasında, suların yapısına çözülmüş olarak çeşitli maddelerin beraberinde, geçtikleri veya buldukları ortamlara bağlı kalarak radyoaktif maddeler de katılabilmektedir. Sularda bulunan bu maddelerin miktarları, jeolojik yapılarla yeraltı sularının dokunma süresine, suların akış hızlarına ve sıcaklıklarına, jeolojik yapıların cinslerine ve ortamın basıncına bağlı olarak değişmektedir. Yeraltı suları ile taşınan radyoaktif çekirdekler, insanlar tarafından doğrudan içme suyu olarak kullanılan yeraltı veya yüzey suları aracılığıyla gıda zincirine girer. İçme suyunun sindirilmesi ile vücuda ^{238}U , ^{234}U , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{210}Po ve ^{40}K başta olmak üzere birçok radyoaktif çekirdek alınabilmektedir. “İnsanların çeşitli amaçlar için (içme, kullanma vb.) doğrudan veya dolaylı olarak kullandıkları ve temas halinde oldukları sular, kimyasal ve radyoaktivite özelliklerine bağlı olarak insan sağlığı üzerinde çeşitli etkiler yaratmaktadır” [1]. Uzun yarı ömürlü radyoaktif çekirdekler böbreğin, karaciğerin, mesanenin, kemiklerin ve kemik iliğinin ışınlanmasına, dolayısıyla bireylerin sağlığını tehdit edebilecek boyutta radyasyon dozu almasına sebep olabilmektedir. Bununla birlikte içme sularında bulunan radyumun (^{226}Ra) alfa bozunumundan oluşan radon (^{222}Rn) gazının teneffüs yolu ile vücuda alınması, radon ve kısa yarı ömürlü bozunum ürünlerinin (^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi ve ^{214}Po) akciğer dokusunda biyolojik hasara yol açmasına ve zaman içerisinde akciğer kanseri oluşumuna neden olabilmektedir. Bu sebeple, içme sularındaki mikroorganizmalar ve kimyasalların oluşturdukları tehlikelerin yanı sıra sudaki radyoaktif çekirdeklerden kaynaklanan düşük seviyeli bile olsa radyasyona uzun süre maruz kalınması, bireylerin sağlığını tehdit edecek seviyede riskler oluşturabileceğinden,

içme sularının kalitesinin radyolojik açıdan da sıkı bir şekilde kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu durum, içme sularındaki veya içme su kaynakları olarak kullanılan yeraltı ve yüzey sularındaki radyoaktivitenin ölçülmesi, izlenmesi ve sınır değerlerinin belirlenmesini zorunlu hale getirmiştir. Bu gün birçok ülke, Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) içme suyu kalitesine ilişkin olarak tavsiye ettiği yol gösterici bilgiyi dikkate alarak içme sularındaki aktiviteyi sınırlayan standart ve yönetmelikleri takip etmektedir [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8].

2. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER

2.1. Radyoaktivite ve Radyoaktif Çekirdekler

Radyoaktivite, bir çekirdeğin bir ışın ya da parçacık yayımlayarak farklı bir çekirdeğe dönüşmesi olayıdır ve radyoaktif ışın yayan maddelere de radyoaktif maddeler denir.

Radyoaktivite denetlenemeyen bir olaydır. Doğal veya yapay her radyoaktif çekirdeğin kendine has bir bozulma ve parçalanma biçimi vardır. Bu olaylar, çekirdeğin parçalanma hızına, çekirdeğin yaydığı radyasyon türüne ve enerjisine bağlı olarak değişir [9].

Radyoaktif elementler, sıklıkla radyoaktif izotoplar ya da radyoaktif çekirdekler olarak isimlendirilir. 1500'ün üzerinde değişik radyoaktif çekirdek bulunmaktadır.

“Bu radyoaktif çekirdekler 3 genel grupta toplanabilirler.

- 1- Başlangıçta yani dünyanın oluşumundan önce mevcut olanlar (Primordial)
- 2- Kozmik ışın etkileşimleri sonucunda oluşanlar (Kozmojenik)
- 3- İnsan üretimi-İnsan aktiviteleri nedeni ile oluşanlar (doğal olanla kıyaslandığında daha az miktarlarda)” [10].

2.2. Radyoaktif Bozunum Yasası

Deneysel ifadeler radyoaktif bozunmanın üstel (exponansiyel) bir kanuna göre olduğunu göstermektedir ve bu bozunma rastgele bir tabiata sahiptir. Bu rastgele olay hangi anda hangi atomun bozunmasının bilinemeyeceğini ifade eder. “Bozunmamış her bir çekirdeğin bozunması için birim zaman başına bozunma ihtimalinin ölçüsü λ ve bir dt zaman aralığındaki her bir atomun bozunma ihtimali λdt olarak tanımlanır. Verilen bir zamanda eğer N sayıda bozunmamış atom varsa dt zaman aralığında bozunacak atomların sayısı

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

ile verilir.

Negatif işareti N' nin zamanla azalacağını gösterir. (2.1) bağıntısı, (2.2) biçiminde

$$dN/N = -\lambda dt \quad (2.2)$$

yazılıp $t=0$ iken radyoaktif atomların sayısının N_0 olduğu düşünülüp integral alınırsa (2.3) denklemi elde edilir.

$$N(t)=N_0 e^{-\lambda t} \quad (2.3)$$

Burada $N(t)$, t anında mevcut radyoaktif atomların sayısını yani bozunmamış çekirdeklerin sayısını göstermektedir.

Aktiflik (R), verilen bir numunede saniyedeki parçalanma sayısı olarak tanımlanır. Çoğu kez, verilen bir radyoaktif numunedeki mevcut radyoaktif atomların sayısını bilmekten ziyade, birim zamanda bozunmaya uğrayan atomların sayısını bilmek daha önemlidir. (2.3) bağıntısından (2.4) denklemi bulunur.

$$R = \left| \frac{dN}{dt} \right| = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = \lambda N \quad (2.4)$$

Buna göre bir numunenin aktifliği (R) mevcut radyoaktif atomların sayısına (N) ve bozunma sabitine (λ) bağlıdır” [11].

2.2.1. Yarı-ömür

Yarı-ömür, aktifliğin yarıya düşmesi için gerekli zaman olarak ya da bozunmamış atomların sayısının yarıya düşmesi için gerekli zaman aralığına eşit olarak ifade edilir ve $T_{1/2}$ olarak gösterilir.

$N = N_0/2$ ve $T = T_{1/2}$ ifadeleri Denklem 2.3’de kullanılırsa,

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda} \quad (2.5)$$

(2.5) denklemi elde edilir. $T_{1/2}$ zaman biriminde olduğundan λ ’nın birimi zamanın tersidir (s^{-1}) [11].

2.2.2. Ortalama ömür

Bozunma rastgele bir olaydır. Bozunmanın üstel gösterimi, radyoaktif atomların tamamen gözden kaybolması için sonsuz süre gerektiğini göstermektedir. Herhangi bir atom sıfırdan sonsuza kadar değişik bir ömre sahip olabilir. Bu olayın istatistiksel tabiatı için

ortalama ömür (τ) ifadesi tarif edilmelidir. Radyoaktif bir çekirdeğin ortalama ömrü (τ), bütün çekirdeklerin ömürleri toplanıp toplam çekirdek sayısına bölünerek hesaplanabilir ve (2.6) ile

$$\tau = \frac{1}{\lambda} \quad (2.6)$$

tanımlanır [11].

2.3. Radyoaktivite Ölçümünde Kullanılan Birimler

2.3.1. Aktivite Birimleri

Curie (Ci) : “Bir saniyede $3,7 \times 10^{10}$ bozunma gerçekleştiren radyoaktif bir çekirdeğin aktivitesi olarak tanımlanır.

Becquerel (Bq) : Bir saniyede bir bozunma gerçekleştiren radyoaktif bir çekirdeğin aktivitesi olarak tanımlanır. Becquerel ve Curie arasındaki dönüşüm;

$$1\text{Bq} = 2,703 \times 10^{11}\text{Ci} = 1 \text{ parçalanma / saniye}$$

$$1\text{Ci} = 3,7 \times 10^{10}\text{Bq} \text{ ile verilir}” [12].$$

2.3.2. Işınlama Birimleri

Röntgen (R) : “Normal hava şartlarında havanın 1 kg’ında $2,58 \times 10^{-4}$ C’luk elektrik yükü değerinde pozitif ve negatif iyonlar oluşturan x ve gama ışını miktarıdır”.

$$1\text{R} = 2,58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$$

$$1 \text{ C/kg} = 3,88 \times 10^3 \text{ R}$$

2.3.3. Soğurulma Doz Birimleri

Rad: “Işınlanan maddenin 1 kg’ına 10^{-4} Joule’lük enerji veren radyasyon miktarıdır. Soğurulan enerji parçacık veya foton olabilir.

Gray: Işınlanan maddenin 1 kg’ına 1 Joule’lük enerji veren radyasyon miktarıdır. Radyasyon ve Gray arasındaki dönüşüm;

$$1 \text{ Rad} = 10^{-4} \text{ Gy}$$

$$1 \text{ Gy} = 100 \text{ Rad} \text{ ile verilir}”.$$

2.3.4. Doz Eşdeğer Birimleri

Sievert: “1 Gray’lık x ve gama ışını ile aynı biyolojik etkiyi meydana getiren radyasyon

miktardır”.

2.3.5. Etkin Eşdeğer Doz

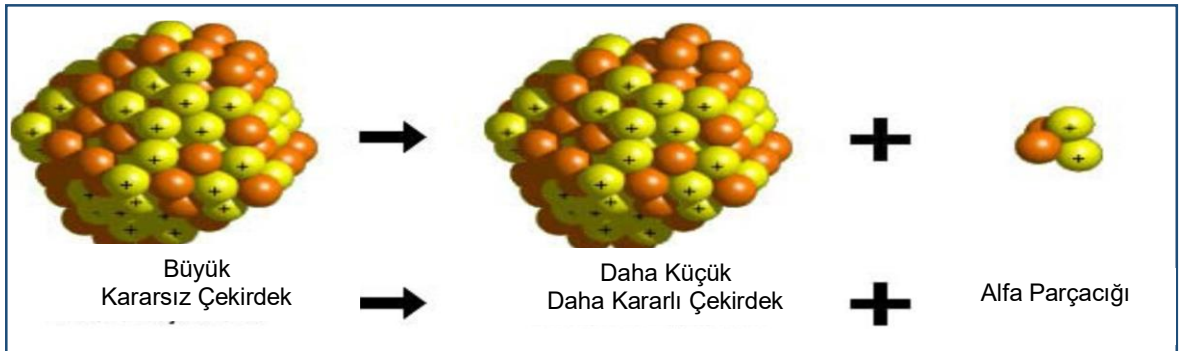
“Vücudun bütün olarak ışınlanması durumunda çeşitli organ veya dokuların maruz kaldıkları eşdeğer dozların ağırlıkları toplamı olup birimi Sievert’ tir” [13].

2.4. Radyasyon ve Bozunum Türleri

Kararsız atomların kararlı hale dönüşmek için fazla enerjilerini vererek kendilerini yeniden düzenlemeleri olayına radyoaktif bozunma denir. Kararsız atom bozunurken belirli birkaç yöntem izler, bazen de iki veya daha fazla yolla bozunum gerçekleşebilir [12]. Bilindik radyoaktif bozunma türleri şunlardır:

2.4.1. Alfa Bozunumu

Alfa parçacıkları ${}^4\text{He}$ çekirdeğidir. İki proton ve iki nötron ile sisteme bağlıdır. Genellikle çok sayıda nükleon içeren ağır çekirdekler tarafından kararlı hale gelmek için yayınlanır. (2.7) denkleminde verilen α bozunumu sürecinde bozunan çekirdeğin atom numarası 2, kütle numarası ise 4 azalır. Alfa bozunumunun şematik gösterimi şekil 2.1. ‘de verilmiştir [14].



Şekil 2.1. α (Alfa) bozunumu [14]



“Bozunum nedeniyle ortaya çıkan enerjinin büyük bir kısmını, momentumun korunumu gereğince alfa parçacığı alır. Alfa bozunumu genellikle kütle numarası 190’dan büyük çekirdeklerde daha sık görülür” [12].

2.4.2. Beta Bozunumu

Beta parçacıkları çekirdekdeki nötron ya da protonun zayıf etkileşimle bozunumunun sonucu olan hızlı elektronlar ya da pozitronlardır. “Beta parçacıkları da alfa parçacıkları gibi belirli bir yük ve kütleyle sahiptirler. Bu nedenle madde içerisinde geçerken yolları üzerinde iyonlaşmaya sebep olurlar. Alfa parçacıklarından daha hafif ve daha girici olduklarından oluşturdukları iyonlaşma alfa parçacıklarının oluşturduğu iyonlaşmadan daha azdır. Beta parçacıklarından korunmak için ince alüminyum levhadan yapılmış bir zırh malzemesi yeterlidir” [15]. Beta bozunumu üç farklı şekilde gerçekleşir.

2.4.2.1. β^- Bozunumu

“Çekirdeğin kararsızlığı nötron fazlalığından ileri geliyorsa, çekirdekdeki enerji fazlalığını gidermek için nötronlardan biri protona dönüşür ve kararlı olmayan çekirdek bir elektron ve antinötrino yayınlar” [16]. Bozunma denklemi, (2.8) olarak verilir.



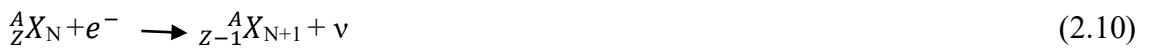
2.4.2.2. β^+ Bozunumu

Proton sayısı nötron sayısından fazla olan çekirdekler beta-artı bozunumu yaparlar. N/Z oranı düşük olan çekirdeklerde, alfa parçacığı yayınlanması enerjik olarak mümkün değildir. Bunun yerine çekirdek pozitron ve nötrino yayımlayarak kararlı hale geçer [16]. Bozunma denklemi, (2.9) ile verilir.



2.4.2.3. Elektron Yakalama

Her türlü β^+ bozunumuyla yarış içinde olan bir bozunma şekli de elektron yakalamasıdır. Elektron yakalama, çekirdeğin ait olduğu atomun iç kabuk elektronlarından birinin yakalanması ve bir nötrino salınması olayıdır. Bozunma denklemi, (2.10) ile verilir.



Ağır elementlerde, elektron yörüngelerinin yarıçapları daha küçük olduğundan (bağlanma enerjisi arttığı için), elektron yakalama pozitron salınımına göre daha büyük

olasılıkla meydana gelir [17].

2.4.3. Gama Bozunumu

Atomun elektron kabuk yapısına benzer olarak atom çekirdekleri de ayrı enerji seviyeleri ile karakterize edilirler. Bu seviyeler arası geçişler doğru enerjili elektromanyetik radyasyonun yayınlanması (ya da soğurulması) ile tanımlanabilir. Bu enerji seviyeler arasındaki enerji farkına eşittir. Bu fotonların enerjileri, çekirdeğin yüksek bağlanma enerjisi ile karakterize edilir. Bu yüksek enerjili fotonlar gama ışınları olarak adlandırılırlar.

Radyoaktif bir çekirdekten α ya da β bozunması sonucu elde edilen ürün çekirdek uyarılmış düzeyde olabilir. Uyarılmış çekirdek fazla enerjisini γ ışını yayımlayarak üzerinden atar ve taban seviyesine geçer, bu olaya gama bozunması denir. (2.11) de Co-60' ın bozunum reaksiyonu verilmiştir.



γ ışınları elektromanyetik spektrumun en enerjik bölgesinde yer almaktadır. Yüksüz olduklarından elektrik ve manyetik alanlarda sapmazlar [17].

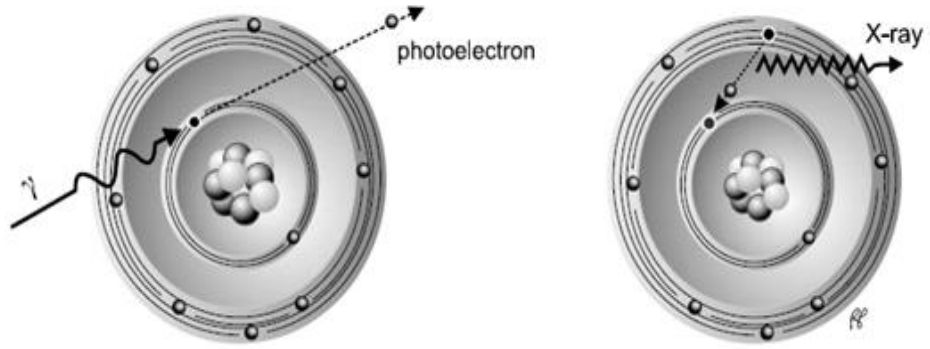
2.5. Gama Işınlarının Madde İle Etkileşimi

Gama ışınlarının madde ile etkileşmesi sonucu şu olaylar ile enerji kaybeder.

- Fotoelektrik Olay
- Compton Saçılması
- Çift Oluşumu

2.5.1. Fotoelektrik Olay

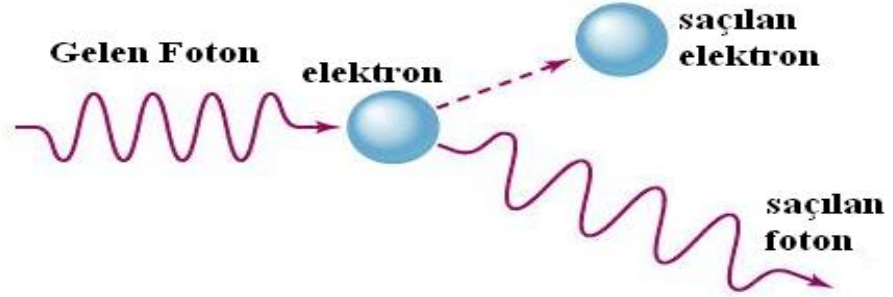
Fotoelektrik olay, elektronlarla, gelen gama ışınlarının etkileşmesi sonucu gerçekleşir. Bu etkileşim esnasında gama ışınının bütün enerjisi yok olur lakin bu enerji tamamen elektronlara kinetik enerji olarak aktarılmaz. Bu elektronlar, foto elektron olarak adlandırılır [18].



Şekil 2.2. Fotoelektrik olay [19].

2.5.2. Compton Saçılması

“Işığın yani elektromanyetik radyasyonların, tanecik karakteri ile izah edilebilen Compton olayı, genellikle 0,5 MeV’ den büyük enerji değerine sahip fotonunun, serbest elektronla veya atomun dış yörüngesindeki bağ enerjisi çok küçük olan bir elektronla etkileşmesi sonucunda gözlenen bir olaydır”.



Şekil 2.3. Compton olayı [20].

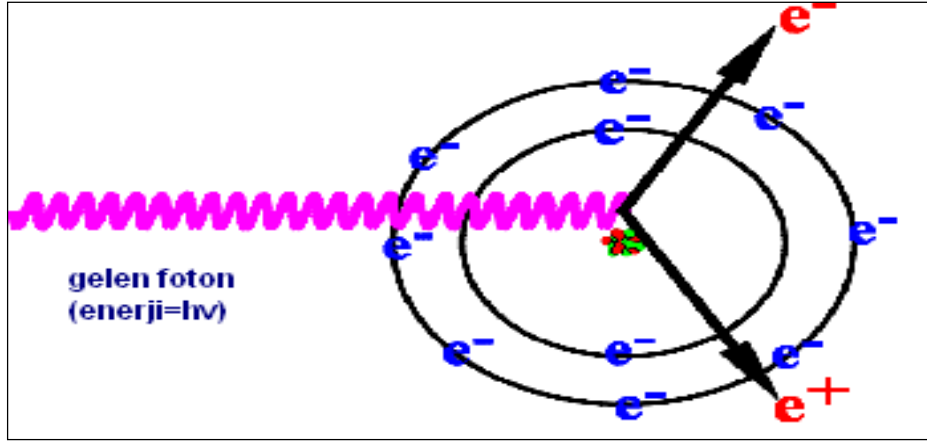
Gelen ve saçılan fotonların dalga boyları arasındaki fark;

$$\lambda' - \lambda = \Delta\lambda = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos\theta) \quad (2.13)$$

(2.13) denkleminde elde edilmekte olup burada θ saçılma açısıdır [18].

2.5.3. Çift Oluşumu

“Çift oluşum, bir fotonun bir elektron ile bir pozitrona dönüşmesi olayıdır. Elektron ile pozitronun kütleleri ile yükleri eşit fakat zıt işaretlidir. Bir elektronun veya pozitronun durgun kütle enerjisi MeV mertebesindedir. Bu nedenle çift oluşum olayının olabilmesi için foton enerjisinin en az 1,02 MeV olması gerekir. Bu olay meydana gelirken, hem yük, hem çizgisel momentum, hem de toplam enerji korunur” [18].



Şekil 2.4. Çift oluşumu [21]

2.6. Başlangıçta Mevcut Olan Radyoaktif Çekirdekler (Primordial)

Doğada 3’ü doğal ve 1’i yapay olmak üzere dört radyoaktif seri vardır. Z=81 ile Z=92 arasında olan radyoaktif izotoplar A kütle numaralarına bağlı olarak bu dört radyoaktif seriden birine dahildirler.

2.6.1. Uranyum-238

“Uranyum serisi ^{238}U ile başlar. Alfa ve beta parçacıkları yayınlarken RaG denilen ve kurşunun bir izotopu olan ^{206}Pb kararlı atomuna dönüşür. Bu serinin kütle numaraları $(4n+2)$ şeklindedir (n bir tamsayıdır)” [14]. Tablo 2.1’ de uranyum serisi ürünleri ve yarı ömürleri verilmiştir.

Tablo 2.1. Uranyum serisi ürünleri ve yarı ömürleri [22]

Çekirdek	Yarı Ömür	Yayınladığı Parçacık Türü	Bozunum Ürünleri
²³⁸ U	4,5· 10 ⁹ yıl	α	²³⁴ Th
²³⁴ Th	24,1 gün	β ⁻	²³⁴ Pa
²³⁴ Pa	6,7 saat	β ⁻	²³⁴ U
²³⁴ U	2,67· 10 ⁵	α	²³⁰ Th
²³⁰ Th	8·10 ⁴ yıl	α	²²⁶ Ra
²²⁶ Ra	1620 yıl	α	²²² Rn
²²² Rn	3,82 gün	α	²¹⁸ Po
²¹⁸ Po	3,05 dakika	α β ⁻	²¹⁴ Pb ²¹⁸ At
²¹⁸ At	1,5-2,0 saniye	α β ⁻	²¹⁴ Bi ²¹⁸ Rn
²¹⁸ Rn	0,019 saniye	α	²¹⁴ Po
²¹⁴ Pb	26,8 dakika	β ⁻	²¹⁴ Bi
²¹⁴ Bi	19,7 dakika	β ⁻ α	²¹⁴ Po ²¹⁰ Ti
²¹⁴ Po	15·10 ⁻⁴ saniye	α	²¹⁰ Pb
²¹⁰ Ti	1,32 dakika	β ⁻	²¹⁰ Pb
²¹⁰ Pb	22 yıl	β ⁻	²¹⁰ Bi
²¹⁰ Bi	5 gün	β ⁻ α	²¹⁰ Po ²⁰⁶ Ti
²¹⁰ Po	138,40 gün	α	²⁰⁶ Pb
²⁰⁶ Ti	4,2 dakika	β ⁻	²⁰⁶ Pb
²⁰⁶ Pb	kararlı	-	—

“Doğal elementlerin en ağırlı olan uranyum 238,03 atom ağırlığına sahiptir. Atomun çekirdeğinde 92 proton, 146 nötron ve 7 katlı yörüngesinde 92 elektron bulunup yarıçapı 1,43 Å⁰ dur. Ağır bir metal olan uranyumun yoğunluğu, 19,1g/cm³’tür. Uranyum, 1132 °C’ de erir ve 3818 °C’ de kaynar. Uranyum değişik sıcaklıklarda farklı özellikler gösterir. Bu farklılık kristal yapısındaki değişmeden ileri gelir, yani allotropik (aynı elementin

uzayda farklı şekilde dizilerek farklı geometrik şeklindeki kristaller) bir metaldir. Doğada bulunan radyoaktif çekirdeklerin çoğunluğu ^{238}U 'in bozunma zincirinde yer alır. Doğal uranyumun %99,28'lik bölümünü ^{238}U oluşturur. Uranyumun doğal izotoplarının yarılanma ömürleri Tablo 2.2.'deki gibidir" [9].

Tablo 2.2. Uranyumun doğal izotopları [9]

İzotop	Doğal çokluk (%)	Yarı ömrü (yıl)
$^{238}_{92}\text{U}$	99,28	$4,5 \times 10^9$
$^{235}_{92}\text{U}$	0,72	$0,7 \times 10^9$
$^{234}_{92}\text{U}$	0,005	$2,4 \times 10^{10}$

2.6.2. Toryum-232

“Toryum serisi ^{232}Th ile başlar. Tablo 2.3' den de görüldüğü gibi alfa ve beta parçacıkları yayınlamaya kurşunun bir izotopu olan ^{208}Pb ' a dönüşür. Bu serinin kütle numaraları (4n) şeklindedir" [9].

Tablo 2.3. Toryum serisi ürünleri ve yarı ömürleri [22]

Çekirdek	Yarı Ömür	Yayınladığı Parçacık Türü	Bozunum Ürünleri
^{232}Th	$1,38 \cdot 10^{10}$ yıl	α	^{228}Ra
^{228}Ra	6,7 yıl	β^-	^{228}Ac
^{228}Ac	6,13 saat	β^-	^{228}Th
^{228}Th	1,910 yıl	α	^{224}Ra
^{224}Ra	3,64 gün	α	^{220}Rn
^{220}Rn	5,15 saniye	α	^{216}Po
^{216}Po	0,16 saniye	α	^{212}Pb
^{212}Pb	10,6 saat	β^-	^{212}Bi
^{212}Bi	60,5 dakika	β^- α	^{212}Po ^{208}Ti
^{212}Po	$3,0 \cdot 10^{-7}$ saniye	α	^{208}Pb
^{208}Ti	3.10 dakika	β^-	^{208}Pb
^{208}Pb	kararlı	-	-

2.6.3. Radyum

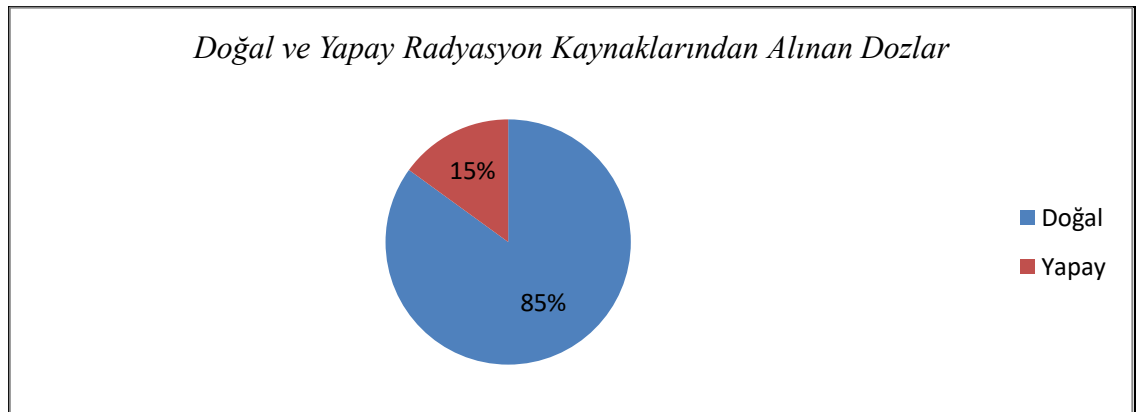
“Radyumun temel doğal kaynağı uranyum ve toryumdur. Radyum-226 bir alfa (α) yayınlayıcısı olup, yarı ömrü 1600 yıldır. Aynı miktardaki uranyuma göre 1 milyon kez daha radyoaktiftir. Radyum ve ürünleri insanların dış ve iç ışınlamalarına neden olan doğal kaynakların en önemlilerindedir. Kimyasal olarak kalsiyuma benzer, kemiklere yerleşerek büyük miktarlarda zarar verme potansiyeline sahiptir ve vücuda alındığında kemiklerde birikerek omuriliği sürekli ışınlamaktadır. Uzun yarı ömre sahip olması nedeniyle, ^{222}Rn oluşumunda bir üreteç görevi yapar ve genellikle radon, kısa ömürlü bozunma ürünleri ile denge halinde bulunur” [23].

2.6.4.Potasyum-40

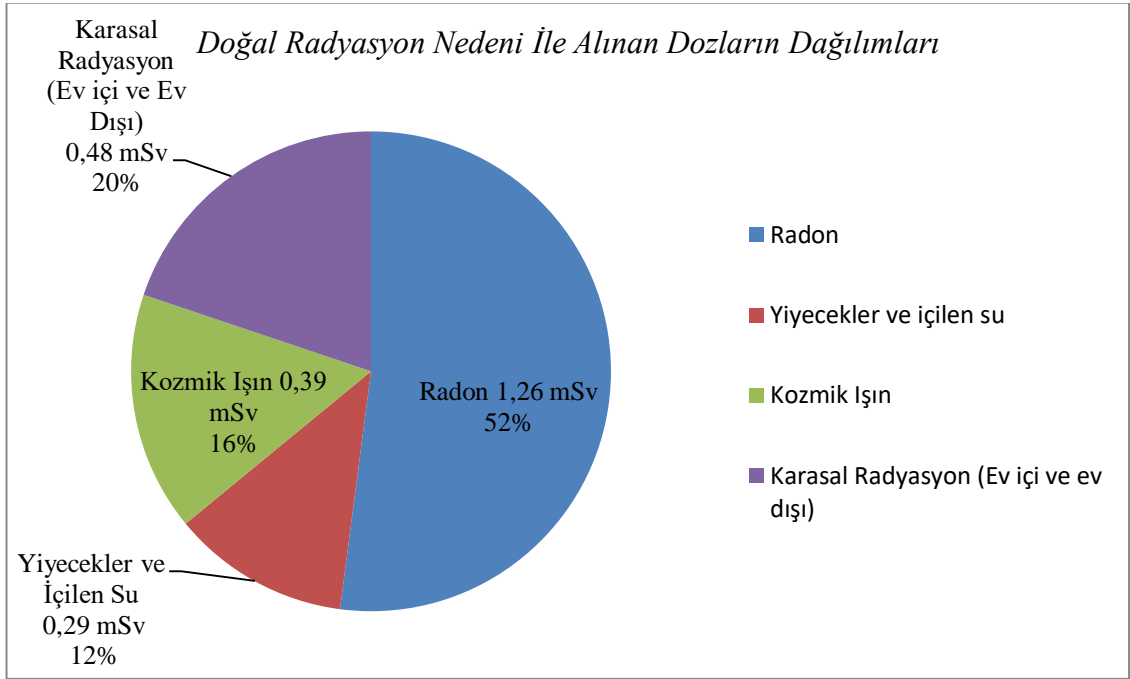
“Potasyum, temel bir elementtir ve vücutta yaşamsal bir öneme sahiptir. Doğal olarak bulunan potasyumun üç izotopundan sadece ^{40}K kararsız olup, yarı ömrü $1,28 \times 10^9$ yıldır. Doğal potasyumun % 0,0118’ini, ^{40}K izotopu oluşturmaktadır. Doğal potasyum, toprakta çok bol bulunduğu için doğal gama radyasyon dozunun önemli bir kesrini meydana getirmektedir” [23].

2.7. Doğal Fon Radyoaktivite

İnsanlar sürekli olarak çevrelerinde bulunan doğal radyoaktif maddelerden yayınlanan iyonlaştırıcı radyasyonlar ve uzaydan gelen kozmik ışınların etkisinde kalarak yaşamlarını sürdürmektedirler. Yeryüzünün oluşumu ile doğada bulunan çok uzun ömürlü radyoaktif elementler var olduğumuz çevrede doğal ve kaçınılmaz bir doğal radyasyon seviyesi oluşturmuşlardır. Bu doğal seviye nükleer bomba denemeleri ve gelişen teknoloji ile bir hayli artış göstermiştir. “Dünya nüfusunun aldığı dozlara en büyük katkıyı doğal radyasyonun vermesi nedeni ile insanların doğal radyasyon kaynaklarından aldıkları radyasyon miktarlarını bilmek özel bir öneme sahiptir. Şekil 2.5’ de Dünya genelinde doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından alınan dozların oransal değerleri gösterilmiştir”. Dünya genelinde alınan dozların yaklaşık olarak % 85’i doğal radyasyon kaynaklarından alınmaktadır. Şekil 2.6’ de ise ortalama olarak doğal radyasyon kaynaklarından alınan dozların oransal dağılımları gösterilmiştir. Doğal radyasyon kaynaklarından alınan en büyük doz yaklaşık olarak % 55’lik bir katkı ile radondan kaynaklanmaktadır. Yiyecekler ve içilen su nedeni ile alınan radyasyon oranı ise yaklaşık %12’dir.



Şekil 2.5. Dünya genelinde doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından alınan dozların oranları [10]



Şekil 2.6. Ortalama olarak doğal radyasyon nedeni ile alınan dozların dağılımları [8]

2.8. Doğal Radyasyon Kaynağı Olarak Karasal Radyasyon

“Doğal radyasyonun, karasal bileşenleri doğal radyoaktif çekirdek içeren toprak ve kayalara bağlıdır. Topraktaki radyoaktivite, doğal radyasyon değişimin anlaşılmasında temel olan şeydir. Toprak küçük miktarlarda ^{238}U , ^{232}Th ve bozunum ürünlerini içerir. Bu radyoaktif çekirdekler, kaya ve toprak katmanları boyunca düşük konsantrasyonlarda dağılmıştır. Toprak ve sedimentlerdeki doğal radyoaktivite; toprak ve sedimentlerin oluşum ve taşınma süreçlerine, uranyum-toryum ve bozunma ürünlerinin kimyasal ve biyolojik etkileşmelerine bağlıdır” [24].

2.8.1. Topraktaki Doğal Radyoaktivite

Dünyanın jeolojik yapısı incelendiğinde toprak tabakasının hemen altında kaya tabakasının bulunduğu görülür. Bu kaya karasal radyoaktiviteye sebep olduğu tahmin edilmektedir. Özellikle gama radyasyonunun önemli bir kısmının, 0-30 cm derinlikteki yüzey tabakadan kaynaklandığı bilinmektedir. “ ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K gibi radyoaktif çekirdeklerin toprakta bulunan miktarları toprağın kökenini oluşturan kaya çeşidine bağlıdır. Yüksek radyasyon seviyeleri granit, volkanik, fosfat gibi volkanik kökenli kayalarda ve tuz kayalarında, düşük radyasyon seviyeleri de tortul kayalarda görülür. Fakat bazı katmanlarına ayrılabilen tortul kaya (tortul şist) ve fosfat kayalarının da

nispeten yüksek radyoaktif çekirdek içeriğine sahip olması beklenir. Bu kayalar çevresel şartlara bağlı olarak ufalanarak çok küçük parçalar halinde yağmur ve yeraltı sularıyla toprağa karışırlar. Bu şekilde topraktaki aktivitenin artmasına neden olurlar. Bazı zamanlarda yapılan tarımsal çalışmalar ve topraktaki verimi arttırmak için kullanılan suni gübreler ^{32}P içermesi nedeni ile topraktaki radyoaktivite seviyesini arttırmaktadır. Bazı bölgelerde çok geniş alanlara yayılmış olan granit kayaları önemli miktarda toryum içermektedir. Yapılan radyometrik araştırmalar göstermiştir ki, bu tip kayaların bulunduğu alanlarda ölçülen gama radyasyonu oldukça yüksektir. Toprakta bulunan radyoaktivite biyokimyasal işlemlerle bir miktar değişir. Topraktaki organik maddelerin ayrışması, toprağın alt tabakalarındaki oksidasyonlar ile başlar. Bu oksidasyonlar ile alt tabakalarda mevcut olan uranyum zamanla azalır. Toprakta bulunan bir çeşit asit olan hümik asit, kayaların parçalanmasında ve bu parçaların sular vasıtasıyla toprağa karışmasında önemli rol oynar. Topraktaki hareketlilik demir oksitlerin ve diğer elementlerin oluşması ile devam eder. Bazı topraklarda oluşan asit, ortamda bulunan kalsiyum karbonat vasıtası ile radyoaktif çekirdeklerin tutulmasını engeller. Topraktaki bu gelişim evreleri kayalardaki radyoaktif çekirdek konsantrasyonlarını ve dolayısıyla dış radyasyon seviyelerini de azaltır. Aktivite seviyeleri, içerisinde bulunan mineral oluşumu ve yoğunluğuna bağlı olarak toprak cinsine göre değişiklik gösterir” [10]. “1 foot derinliğe ve 1 mil kare taban alan şekillenimine sahip toprak hacminde, doğal radyoaktivitenin hangi miktarlarda bulunduğu tablo 2.4’ de verilmiştir. Toplam hacim $7,894 \times 10^5 \text{ m}^3$ dür ve aktivite değerleri verilmiştir. Aktivite seviyeleri yoğunluk ($\sim 1,58 \text{ g/cm}^3$), mineral yatağı ve toprak tipine bağlı olarak değişir”.

Tablo 2.4. 1 foot derinlikli ve 1 mil kare taban alan şekillenimli toprak hacminde bulunan doğal radyoaktivite miktarları [10]

DOĞAL RADYOAKTİVİTE			
Nüklit	Hesaplama Kullanan Aktivite	Nüklit Kütlesi	Aktivite
Uranyum	0,7pCi/gm(25 Bq/kg)	2,200 kg	0,8 curie (31GBq)
Toryum	1,1 pCi/g (40 Bq/kg)	12,000 kg	1,4 curie (52GBq)
Potasyum 40	11 pCi/g (400 Bq/kg)	2000 kg	13 curie (500 GBq)
Radyum	1,3 pCi/g (48 Bq/kg)	1,7 g	1,7curie(63GBq)
Radon	0,17 pCi/g (10 kBq/m ³) toprak	11µg	0,2 curie(7,4GBq)

Topraktaki ⁴⁰K' ın aktivite konsantrasyonu, ²³⁸U ya da ²³²Th'den daha yüksek miktarlarda değişir [10].

2.8.2. Yüzeğe Yakın Atmosferdeki Doğal Radyoaktivite

“Yüzeğe yakın atmosferde, hem insan yapımı suni radyoaktif maddeler, hem de doğal kaynaklardan çıkan radyoaktif toz ve partiküller bulunmaktadır. İnsan aktiviteleri sonucu ortaya çıkan hava kirlilikleri, volkanik patlamalar, meteorlar, toz fırtınaları ve orman yangınlarıyla atmosfere bırakılan toz ve küller atmosferde bulunan bu toz ve partikül konsantrasyonlarını sürekli arttırmaktadır. Atmosferde bulunan bu toz ve partiküller genellikle havada asılı kalmakta veya hava akımlarıyla sürekli dolanmaktadırlar. Genellikle yoğunlukları havanın yoğunluğundan ağır olanlar çekim etkisiyle yere inerler” [25]. Havaya bırakılan radyoaktif kirlilikler, bazı atmosferik koşullarda kirlenmiş havanın yere çok yaklaşmasına ve insanlar tarafından solunması ve dolayısıyla radyasyona maruz kalmalarına sebep olmaktadır. Yine yüksek aktiviteli radyoaktif partiküller zamanla yere düşmekte ve böylece bitkilerin de kirlenmelerine yol açmaktadırlar. Atmosfere atılan kara kökenli toz ve partiküllerin çoğu doğal radyoaktif madde içermektedir. Özellikle “volkanik patlamalarla yer kabuğunun derinliklerinden atmosfere atılan toz ve küllerde, rüzgar ve fırtınalarla toprak yüzeyinden havaya kaldırılan tozlarda

ve termik santrallerde yakıt olarak kullanılan kömürün yanmasıyla havaya atılan kül ve dumanda radyoaktif maddelerin olduğu bilinmektedir” [25]. Dünya yüzeyi mevcudiyetinden beri sürekli kozmik radyasyonlarla bombardıman edilmektedir. Evrensel radyasyonlar değişik yüklerde ve farklı enerjilerde yayımlanan partikül ve elektromanyetik ışınlardan ibarettir. Yoğunlukları atmosferin üst tabakalarından deniz seviyesine inildikçe azalmaktadır. “Güneşten dünyaya sürekli olarak yaklaşık 1 keV’lik enerjilerde partiküller gelmektedir. Bu partiküllerden dünyaya ulaşanlar, dünya etrafındaki manyetik alanın etkisine girdiklerinde bazıları yönlerinden saptırılıp tekrar uzaya gönderilir, bazıları ise dünya yüzeyine kadar ulaşırlar. Bu partiküller atmosfere girdiklerinde atmosferde bulunan atom çekirdekleriyle reaksiyona girerler ve ikincil radyasyonları üretirler. Uzaydan gelen birincil ışınların bir kısmı atmosferin alt tabakalarına, bir kısmı ise yüksek dağların tepelerine kadar ulaşmaktadırlar. Uzay kaynaklı bu kozmik ışınlar birincil ve ikincil radyasyonlar olarak sınıflandırılabilir. Birincil radyasyonlar dünya atmosferinde bulunan azot, oksijen ve argon gibi elementlerin çekirdekleri ile reaksiyona girdiklerinde nötron, proton, müon ve kaonları üretirler ve ayrıca dozimetrik açıdan önemli olan ^3H , ^{14}C , ^7Be , ^{10}Be , ^{22}Na ve ^{24}Na gibi kozmojenik radyoaktif çekirdekleri de üretirler. Bu kozmojenik radyoaktif çekirdekler ikincil radyasyonlardır” [25]. Yüzeğe yakın atmosferde iyonizasyon yapan bileşenlerin havadaki doz oranları dünyanın enlemine ve yüksekliğe göre değişir. Havadaki doz oranları deniz seviyesinden 30 nGy/saat iken 12 km yükseklikte 4000 nGy/saat’e kadar çıkmaktadır. Dünya nüfusunun büyük bir çoğunluğu deniz seviyesine yakın enlemlerde yaşamaktadır. Deniz seviyesinde kozmik ışın bileşenlerinin havada meydana getirdiği doz yaklaşık 32 nGy/saat olarak tahmin edilmektedir [26].

2.8.3. Sulardaki Doğal Radyoaktivite

“Dünyadaki tüm sular deniz suyu içerir ve içerisinde bazı radyoaktif çekirdekler vardır. Yağmur ve kar suyu gibi meteorolojik sular, doğal sular içerisinde en temiz olanlarıdır. Ancak bunlarda başlıca havayı oluşturan gazları, hidrolojik çevrim sırasında yolu üzerinde rastladıkları bütün maddeleri, çözünürlükleri oranında diğer maddeleri de çözelti veya karışık halde sürüklerler. Şehir ve sanayi bölgeleri yakınına düşen yağmur ve özellikle kar sularında SO_2 ve sülfat asidi bulunur. Bu nedenle, yağmur ve kar suları, radyoaktif ve kimyasal kirlilik açısından önemli bir gösterge olarak kabul edilmektedir. Bilindiği gibi insanların en çok tükettikleri ve sağlık açısından büyük önem taşıyan

tüketim maddesi sudur. Yeryüzündeki sular güneş enerjisi sayesinde sürekli bir döngü halindedir (Hidrolojik çevrim). İnsanlar gereksinimleri olan suyu bu döngüden alırlar ve kullandıktan sonra bu döngüye iade ederler. Bu süreç içerisinde sular fiziksel ve kimyasal kirliliğe maruz kalabilecekleri gibi geçtikleri veya buldukları ortama bağlı olarak radyoaktif maddeler yönünden de kirletilebilirler. Özellikle yeraltı suları değişik jeolojik oluşumlarla temas halindedir bu oluşumların içeriğinde bulunan kimyasal bileşikler suda çözünme derecelerine göre yeraltı sularına az ya da çok oranda karışır. Yeraltındaki çeşitli özellikteki jeolojik oluşumlarda değişik oranlarda radyoaktif maddeler de bulunmaktadır. Bu maddeler magmatik oluşumlarda en fazladır. Ayrıca kil gibi tortul kütlelerde de radyoaktif maddelere rastlanmaktadır. Kum, çakıl, kumtaşı, çatlaklı kalker gibi tortul kütlelerde ise çok az miktarda radyoaktif madde bulunmaktadır. Yerkabuğun içindeki doğal radyoaktif maddelerin bulunduğu ortamlardan geçen veya bu ortamlarda bulunan sular radyoaktivite içerir. Uranyum 238'in bozunması sonucu ortaya çıkan alfa aktif maddelerden başlıcaları: Radon (Rn-222) ve Radyum (Ra-226)dur. İçme sularının bir kısmı çözülmüş madde olarak içtikleri potasyumun miktarına bağlı olarak da beta aktiftirler. Potasyum içinde doğal olarak çok az bir bollukta (%0,0118) Potasyum-40 (K-40) bulunur. Ancak K-40'ın sulardaki beta aktivitesi düşük seviyededir. Çevre ve gıda örneklerinin radyoaktif kirlenmesine neden olabilen bu doğal radyoaktif maddelerin dışında, doğada var olmayan ancak atmosferde yapılan nükleer denemeler, nükleer kazalar sonucu ortaya çıkan stronsiyum (Sr-90, Sr-89), sezyum (Cs-137) gibi birçok radyoaktif izotop da radyoaktif yağışlarla yeryüzüne inerek radyoaktif kirlenmeye sebep olur. Ayrıca nükleer ve radyolojik kuruluşlardan çıkan radyoaktif atıklar için gerekli önlemlerin alınmaması ve bunların denetimsiz olarak çevreye verilmesi de çevre kirliliğine neden olmakta, içme suyu kaynakları da bundan payını almaktadır. Nükleer silah denemelerinin havada yapılmasının yasaklanmasından sonra, radyoaktif yağışlar 1970 yılından itibaren azalmaya başlamıştır. Yüzey sularında akış hızlarının çok güçlü olması, içinde asılı bulunan partiküllerdeki potasyum, rubidyum, kozmik ışın kökenli ve suni radyoaktif çekirdekleri barındıran kil minerallerinin taşınmasını sağlamaktadır. Akan sulardan çıkan radonun ortamdaki konsantrasyonu atmosfere dağılırken mesafe ile logaritmik olarak azalır. Yer altı sularında suyun akışı güçlü değildir. Bu sular içerisinde asılı kalan partiküller filtre edilebilirler. Yeraltı sularının genel davranışı suyun taşıyıcılık ve çözücülük gibi özellikleri ile açıklanabilirler” [10].

Tablo 2.5'deki okyanus hacimleri 1990 World Almanac'dan hesaplanmıştır [10].

Pasifik=6,549x10¹⁷ m³

Atlantik=3,095x10¹⁷ m³

Toplam=1,3x10¹⁸ m³

“Burada kullanılan aktiviteler, Amerika Birleşik Devletleri doğal bilimler akademisinin denizle ilgili çevresel radyoaktivite 1971 değerlerinden elde edilmiştir” [10].

Tablo 2.5.Okyanuslardaki doğal radyoaktivite [10]

Okyanuslardaki Doğal Radyoaktivite				
Nüklit	Hesaplama Kullanılan Aktivite	Okyanuslar		
		Pasifik	Atlantik	Tüm Okyanuslar
Uranyum	0,9 pCi/L	6x10 ⁸ Ci	3x10 ⁸ Ci	1,1x10 ⁹ Ci
	(33 mBq/L)	(22 EBq)	(11EBq)	(41 EBq)
Potasyum 40	300 pCi/L	2x10 ¹¹ Ci	9x10 ¹⁰ Ci	3,8x10 ¹¹ Ci
	(11Bq/L)	(7400 EBq)	(3300EBq)	(14000 EBq)
Tritiyum	0,016 pCi/L	1x10 ⁷ Ci	5x10 ⁶ Ci	2x10 ⁷ Ci
	(0,6 mBq/L)	(370 PBq)	(190PBq)	(740 PBq)
Karbon 14	0,135 pCi/L	8x10 ⁷ Ci	4x10 ⁷ Ci	1,8x10 ⁸ Ci
	(5 mBq/L)	(3 EBq)	(1,5EBq)	(6,7 EBq)
Rubidyum 87	28 pCi/L	1,9x10 ¹⁰ Ci	9x10 ⁹ Ci	3,6x10 ¹⁰ Ci
	(1,1 Bq/L)	(700 EBq)	(330EBq)	(1300)

2.8.4. Yiyeceklerdeki Doğal Radyoaktivite

“İnsan, yaşamını devam ettirmek için ihtiyacı olduğu besinlerin tamamına yakını karadan tedarik eder. Karbon ve oksijen gibi havadan alınan elementler hariç, besinleri oluşturan elementlerin tamamı toprağın çevreyle ilgili yapısında mevcuttur. İnsanlar topraktaki bu elementleri vücutlarına bitkiler vasıtasıyla alır. Bu mekanizma sürekli çalışır. Atmosferde bulunan radyoaktif maddeler radyoaktif yağışlarla yere düştüklerinde bitki yaprakları tarafından da tutulurlar. Bitkilerin, hayvanlar tarafından tüketilmesiyle de bu radyoaktif maddeler dolaylı olarak insan vücuduna girerler. Bu da insan sağlığı için başka bir risk oluşturmaktadır”.

2.9. Radyasyonun Sağlık Üzerine Etkileri

“Radyasyonun insan sağlığı üzerinde yaratabileceği zararlı etkiler uzun zamandır bilinmektedir. Bu etkiler arasında radyasyon yanıkları, radyasyon hastalıkları, doğal ömür süresinin kısalması, kanser ve kalıtsal bozukluklar sayılabilir. Hatta çok büyük miktarlarda radyasyon dozuna maruz kalınması halinde ani ölümlere bile rastlamak

mümkündür. Bilim adamları 70 yıldan fazla bir süredir, radyasyonun bu tip etkileri üzerinde çalışmaktadır. Tıbbi ve endüstriyel uygulamalardan, radyasyon kazalarından ve Hiroşima ile Nagazaki'ye atılan atom bombalarından dolayı maruz kalınan radyasyonun etkileri aralıksız bir şekilde araştırılmaktadır. Bunların yanı sıra, denek olarak kullanılan hayvanlar üzerindeki radyasyon etkileriyle ilgili çalışmalar da devam etmektedir” [27].

2.9.1. Doza Bağlı Etkiler

Maruz kalınan radyasyonun dozlarına göre gözlenen etkiler iki grupta incelenmektedir:

2.9.1.1. Düşük Doz Radyasyonun Biyolojik Etkileri

“Radyoloji ve nükleer tıp tetkiklerinde maruz kalınan radyasyon genellikle birkaç rad’ı geçmez ve düşük doz radyasyon olarak kabul edilir. Düşük doz radyasyonun insan üzerindeki etkilerini direkt olarak kanıtlamak mümkün değildir, bu nedenle yapılan sayısal analizler de %100 doğru sonuç vermez. Eldeki bilgilerin çoğu Japonya’daki atom bombasından kurtulan kişilerin veya radyoterapi gören hastaların uzun süreli izlenmesi yoluyla elde edilmiştir. Genel olan görüş, radyasyonun oluşturduğu riskin düşük dozlarda bile alınan radyasyon dozuyla direkt etkili olduğudur. Düşük doz radyasyonun biyolojik etkileri üç kısma ayrılır” [28], [29]. Bunlar genetik etkiler, kanserojenik etkiler, embriyo ve fetüs üzerine etkiler olarak sayılabilir.

2.9.1.1.1. Genetik Etkiler

“Radyasyon, canlıların genetik materyali (kromozomlar ve DNA) üzerinde kalıcı değişikliklere yol açabilir. Buna “mutasyon” denir. Mutasyon somatik hücrelerde olursa o hücre ölür veya oluşturduğu doku ya da organlarda fonksiyon kaybı görülür. Ancak bu bir sonraki jenerasyona aktarılamaz. Gonat hücrelerinde ise radyasyon sonucu oluşan mutasyon sonraki jenerasyonlara da aktarılır ve onları da etkiler. Radyasyona maruz kalan kromozomlarda ya yapısal ve sayısal değişiklikler oluşur ya da DNA’ yı oluşturan kısımlarda kırık veya eklenmeler meydana gelir [28]. Düşük bir radyasyon dozu, kromozomlarda sapma ve hatalara yol açabilir. Yapılan çeşitli araştırmalar radyasyonun mutasyon etkisi oluşturmada herhangi bir eşik dozun olmadığını göstermiştir. Ancak doz miktarı azaldıkça, mutasyon miktarı da azalmaktadır ve daha düşük dozlarda hasarın daha çok onarıldığı ve daha az mutasyon olduğu söylenmektedir” [28], [30]. Yani radyasyon

her dozda mutasyona neden olabilmektedir.

2.9.1.1.2. Kanserojenik Etkiler

“Radyasyonun, özellikle de düşük doz radyasyonun somatik hücreler üzerinde önemli bir etkisi de kanser oluşturma potansiyelidir. Genetik etkisinde olduğu gibi burada da belli bir eşik dozu yoktur. Kanser yapıcı etki dokuların hassasiyetine, radyasyona maruz kalınan yaşa ve cinsiyete göre değişiklik gösterir. Örneğin Japonya’da Hiroşima’ya atılan atom bombasından kurtulanlar arasında akut lenfoblastik lösemi, akut ve kronik miyeloblastik lösemi gibi kemik iliği kanserleri, ayrıca tiroit ve meme kanserleri sayısında artış olduğu bildirilmiştir. Meme kanserleri ayrıca çok sayıda ışımsal incelemeye maruz kalan akciğer tüberkülozlu hastalarda veya doğum sonrası göğüste meydana gelen enfeksiyon nedeniyle radyasyon tedavisi uygulanan özellikle 30 yaşın altındaki kimselerde artan oranda görülmektedir. Baş ve boyundaki lenf bezlerinin büyümesi nedeniyle radyasyon tedavisi gören çocuklarda da ileri yaşlarda tiroit kanseri görülme sıklığının arttığı bildirilmiştir. Düşük doz radyasyonlarda ise örneğin X veya gama ışınlarıyla 1 rad’lık tüm vücut radyasyonuna maruz kalan 10.000 kişide kansere bağlı ölüm sadece 1 artmaktadır. Yani radyasyona maruz kalmayan 10.000 kişiden 1600’ü kanserden ölmekte iken, bunlar 1 rad’lık radyasyona maruz kaldıklarında 1601 kişi kanserden ölmektedir. Radyasyonun kanser oluşturma mekanizması henüz bilinmemektedir” [28].

2.9.1.1.3. Embriyo ve Fetüs Üzerindeki Etkiler

“Gebelik sırasında fetüsün önemli miktarlarda radyasyona maruz kalması, anomaliler, büyüme geriliği, doğum sonrası kanser riskinde artma ve ölüme neden olmaktadır. Radyasyonun bu etkisinde fetüsün bulunduğu evre de etkilidir. Fertilizasyondan sonraki ilk 7-10 günde embriyo özellikle radyasyonun öldürücü etkisine duyarlıdır. Bu dönemde radyasyona maruz kalındığında embriyo ya hiç etkilenmez, ya da gebelik düşükle sonuçlanır. Günümüzde embriyo ve fetüs üzerinde sigara, alkol, çeşitli ilaçlar, beslenme bozuklukları ve çevresel etkiler gibi risk faktörlerinin yanında radyasyonun tek başına kesin bir risk faktörü olduğunu söylemek güçtür, ancak fetüs üzerinde hasar olasılığını arttırdığı ve bu olasılığın artan dozla daha da arttığı söylenebilir” [28].

2.9.2. Yüksek Doz Radyasyonun Biyolojik Etkileri

2.9.2.1. Akut Somatik Etkiler

“Birkaç dakika ile birkaç saatlik bir sürede, bir defada tüm vücudun büyük miktarlarda radyasyona maruz kalma sonucu oluşan klinik belirtiler ve laboratuvar bulgularının tümüne akut radyasyon sendromu denilmektedir. Akut radyasyon sendromu şu evrelerden oluşur.

Başlangıç evresi: 0-48 saat arasında olur. İştahsızlık, bulantı, terleme, yorgunluk gibi belirtiler ortaya çıkar.

Lavent evresi: 48 saat ile 2-3 hafta arasında görülür. Birinci evredeki bulgularda düzelme ile seyreder.

Ağır hastalık evresi: 2-3 hafta ile 6-8 hafta arasında görülür. Ateş, enfeksiyon, cilt hassasiyeti, saç dökülmesi, kanama, şuur ve algılamada bozukluklar, kardiyovasküler problemler ortaya çıkabilir. Bu bulguların ortaya çıkışı tamamıyla alınan doza bağlıdır.

İyileşme evresi: 6-8 haftadan birkaç aya kadar sürebilir.

Akut radyasyona maruz kalmada fonksiyonu ilk bozulan sistem hematopoetik sistemdir (100-500 rad). Hedef organ kemik iliğidir. Kemik iliğindeki hücresel yapılar hızla azalır ve yağlı ilik ile yer değiştirirler. Bu yağlı madde kemik iliğini tamamen doldurabilir. Belirtiler 2-3 hafta içinde ortaya çıkar. Anemi, kanamalar, bağışıklık sisteminde zayıflama sonucu birçok problem oluşabilir. 3-8 haftada ölümcül sonuçlar meydana gelebilir. Radyasyon dozu biraz daha yüksekse mide ve bağırsak ile ilgili etkiler ortaya çıkar (500-2000 rad). Anormal hücreler oluşur. 3-5 gün içinde yorgunluk, iştahsızlık, bulantı, kusma, ishal, ateş, dehidratasyon, elektrolit kaybı olabilir. 3-14 gün içinde ölümlerle sonuçlanabilir. 2000-3000 rad gibi çok yüksek dozlarda ise daha dirençli olan merkezi sinir sisteminde oluşan hasar ölüme yol açabilir. Sözü edilen bu bulgular genellikle dışarıdan alınan radyasyon dozu ile oluşur. Vücut içerisinden gelen radyasyon sonucu da benzer şekilde akut radyasyon sendromu meydana gelebilir (örneğin yüksek doz Au-198 ve P-32 tedavisi sırasında). Ancak genel olarak içeriden alınan radyasyonla gerçek anlamda akut radyasyon sendromu olmaz, daha çok uzun süreli ve düşük doza bağlı kronik etkiler meydana gelir” [30].

2.9.2.2. Kronik Somatik Etkiler

“Radyasyonun kronik somatik etkileri arasında ciltte değişiklikler, yanıklar, dermatitler kanser oluşumu, yaşamın kısalması, fizyolojik yaşlanma sürecinin hızlanması, lösemi görülme sıklığında artış, selim ve habis tümör görülme sıklığında artış sayılabilir” [30].

3. BÖLÜM

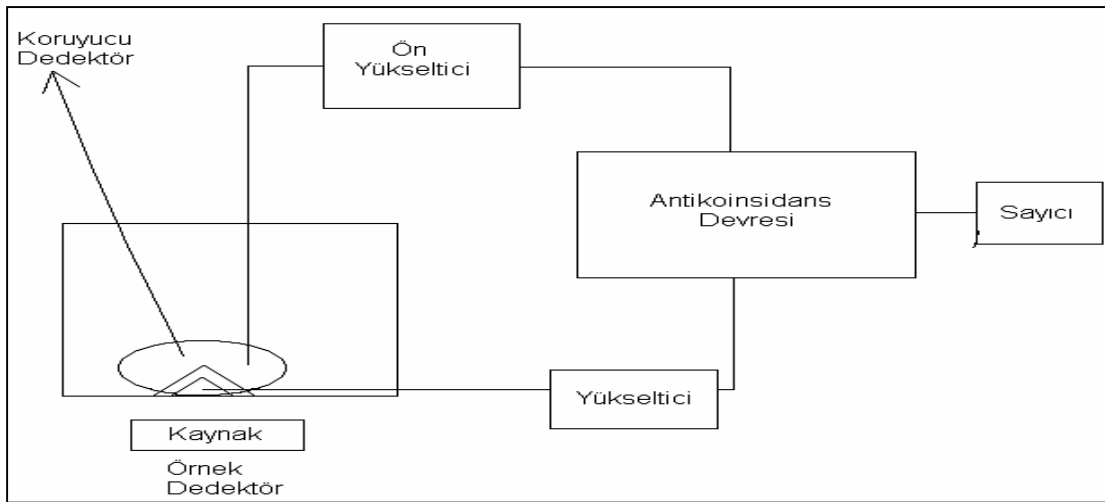
MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

3.1.1. Alfa-Beta Sayım Sistemi

“Çevresel örneklerde ölçülen doğal radyoaktivite konsantrasyonları genellikle çok düşük seviyelerde olduğundan, kullanılacak bu tür cihazlarla çok düşük doğal sayım seviyesini (background) ve yüksek duyarlılık özelliklerini sağlamak mümkün olmaktadır. Çevresel örneklerin düşük seviyeli toplam alfa-beta radyoaktivite değerlerinin tayini için, yüklü parçacıkların gaz içinde meydana getirdikleri iyonizasyondan yararlanılarak, iyonları elektrik alan yardımıyla bir elektrot üzerinde toplamak suretiyle yüklü parçacığın algılanmasını sağlamak en uygun yöntemdir. Bu tür algılama yapan sayaçlar gaz akışlı sayaçlardır. Gaz akışlı orantılı sayaçlar doğal radyoaktivite seviyelerine ilişkin ölçümler için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bunun nedeni, çok özel radyoizotop analizleri ile karşılaştırıldığında hayli düşük maliyetli olmaları, sonuca çabuk ulaşılması ve özgün radyoizotopların değerlendirilmesi için yeterli ön bilgiyi sağlamalarıdır” [26].

Denelerimizde, bilgisayar kontrollü, Berthold marka, LB 770 model, 10 kanallı gaz akışlı orantılı sayım cihazı kullanılmıştır. Bu cihaza ait bir resim şekil 3.2’ de görülmektedir.



Şekil 3.1. Gaz Akışlı orantılı alfa ve beta sayım cihazının çalışma düzeni [31]



Şekil 3.2. Gaz akışlı orantılı alfa ve beta sayım cihazı [31]

“Cihaz, çevresel fonu azaltmak için, etrafı kurşun zırhla kaplı, bağımsız 10 detektörden oluşmaktadır. Detektörlerin etkin yüzeyleri (detektör penceresi) çok ince alüminyumdan yapılmıştır. Kullanılan gaz %90 argon (Ar), %10 metan (CH₄)’ dir. Detektör verimi alfa parçacıkları için % 21 ve beta parçacıkları için de % 72-73’ tür. Aynı anda 10 sayım yapacak şekilde dizayn edilmiş olan cihaz, elektronik devre yardımıyla detektörlerden gelen pulsleri algılayıp, uygun şekilde programlanmış bilgisayara iletmektedir. İstenilen süre ve sayıda sayım yapıp, her örnek için bulunan değerlerle ilgili sonuçlar sistem yazıcısından alınmaktadır. Bu tip alfa ve beta sayıcıları, algılama ortamı ve elektronik devre olmak üzere başlıca iki kısımdan meydana gelir. Şekil 3.1’de gaz akışlı orantılı bir sayıcının çalışma düzeneği gösterilmektedir. Çevresel örneklerdeki doğal radyoaktivite çok düşük olduğundan bunların algılanmasında, uzaydan gelebilecek kozmik ışınların oluşturacağı iyonizasyon dolayısıyla meydana gelecek sayımların ortadan kaldırılması ancak engelleme (anti - coincidence) devresi kullanılmakla mümkündür. İçteki iyon odası “örnek detektör” ve bunu saran daha büyük iyon odası ise “koruyucu detektör” ismini almaktadır. Her iki detektörün arası başka bir örnekten gelecek radyasyonun geçemeyeceği şekilde düzenlenmiştir. Böylece bir örnekten gelecek radyasyon sadece o örneğin bulunduğu detektörde iyonizasyon meydana getirir. Bununla birlikte kozmik

ışınlar gibi yüksek enerjili ışınlar, her iki detektörde de aynı anda iyonizasyon meydana getirebilir. Bilindiği gibi engelleme (anti-coincidence) devreleri iki girişi ve tek çıkışı olan devrelerdir. Bu devrelerdeki iki girişin her ikisine de atma geldiğinde çıkışta bir darbe meydana gelmektedir. Buna karşın, girişlerden yalnız birine bir darbe geldiğinde çıkışta bir atma meydana gelmemektedir. Burada sadece örnek detektöründe meydana gelen iyonizasyon sayılacak ve her iki detektörde birden meydana getirilen iyonizasyon sayılmayacaktır. Böylece çevreden gelen radyasyon algılanmaz. Algılama ortamında en çok kullanılan gazlar argon, ksenon, izobütan, helyum ve metandır. Bu tüp bu gazlardan biri veya ikisinin karışımı ile doldurulup içine iki elektrot konulur. Gaz içinde meydana gelen elektrik akımı laboratuvar sayım cihazının elektrik devresinde algılanır. Ölçüm yapılacak örneklerin radyoizotop karışım içerikleri bilinmediğinden sayım sisteminin kalibrasyonu ve kullanılacak standardının seçimi burada önem taşımaktadır. Bilinen miktarlarda standart çekirdek içeren kalibrasyon kaynaklarının; sayılacak örneklerin alanı, yoğunluğu, kalınlığı ve aktivite dağılımı ile benzer özellikleri taşıyacak şekilde hazırlanması gerekmektedir. Sudaki toplam alfa radyoaktivitesinin değerlendirilmesi yapılırken, su örneğinde çözülmüş madde miktarına dikkat etmek gerekmektedir. Radyasyonun örnekten ayrılarak öncelikle sayıcıya girmesi ve ardından sayıcı devrelerinde bir puls olarak algılanması gerekmektedir. Ancak belirli bir kütleyle sahip örnekler, yayımlanan radyoaktivitenin bir kısmını soğurarak kendi soğurması denilen olayı meydana getirmektedir. Buharlaştırma sonucu elde edilen kalıntı (rezidü) miktarı fazla ise kendi soğurması da yüksek olacaktır. Kalıntı (rezidü) miktarı, radyasyonun kendi soğurmasını arttırıp daha az sayıda parçacığın detektöre ulaşmasına neden olmaktadır. Sayıcının verimini etkileyen diğer bir faktör de, geri saçılma olayıdır. Radyasyon tipi ve enerjisinin bir fonksiyonu olan ve artan atom numarası ile arttığı belirlenen geri saçılmanın neden olduğu hatalardan kaçınmak için örnek ve standardın aynı fiziksel ve geometrik özelliklere sahip olmasını sağlamak gereklidir. Sayım sonucunu etkileyen başka bir faktör ise, geometrik etkidir. Radyasyon, kaynaktan küresel yani 4π geometri ile çıkar ve sayıcı tarafından algılanan kısmı sayılabilir. En yüksek verim, örneğin, sayıcının hassas hacmi içinde bulunması ile elde edilmektedir” [32].

3.2. METOT

3.2.1. Su Ölçüm Metotları

3.2.1.1. Örneklerin Toplanması ve Ölçme İşlemine Hazırlanması

“Sulardaki radyoaktivite vücudumuzda iç ışımaya neden olmaktadır. Bu nedenle su örneklerinin, bölgede yaşayan insanların içme suyu olarak kullandıkları su kaynaklarından seçilmesine dikkat edilmiştir. Çalışma alanı olarak belirlenen ilçe ve köylerden su örnekleri toplanmıştır. Yozgat il merkezi, ilçe ve köylerden alınan su örnekleri, önceden temizlenmiş 1500 mL’lik şişelerde toplanmıştır” (şekil 3.3.). Örnekler toplanmadan önce şişeler su ile üç kez çalkalanmış ve daha sonra hava boşluğu kalmayacak şekilde kapatılmıştır. Toplanan su örnekleri sınıflandırılmış, kodlanmış ve numaralandırılmıştır. Su örnekleri, mikroorganizma popülasyonunu indirgemek ve şişe çeperlerindeki radyoaktif çekirdek kaybını önlemek için pH değeri 2’ye düşüncüye kadar HNO₃ ile asitlendirme işlemine tabi tutulmuştur. Daha sonra su örnekleri ölçümlerinin yapılması için “Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (ÇNAEM)” toplam alfa beta analizleri sayım laboratuvarına gönderilmiştir. Tablo 3,1’de deneylerde kullanılan reaktifler gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Toplanan su örnekleri

3.2.1.2. Çöktürme Yöntemi

Tablo 3.1. Deneylerde Kullanılan Reaktifler

Reaktifler
Amonyum Hidroksit, NH_4OH
Deterjan, (1+4) damıtık (destile) su ile seyreltilmiş
Tampon çözeltileri (pH: 7, pH: 14)
Demir taşıyıcı, 5 mg Ba^{+2} /mL: 17,5 g $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ (200 mL damıtık suda çözülmüş)
Bromocresolpurple, %0,1:100 mg indikatör (100 mL damıtık suda çözülmüş)
Baryum taşıyıcı, 5 mg Ba^{+2} /mL: 4,4 g $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (500 mL damıtık suda çözülmüş)
Sülfürik asit, $\text{H}_2\text{SO}_4, 2\text{N}$: 200-300mL damıtık suya, yavaş yavaş 55mL derişik H_2SO_4 ilave edilir ve damıtık su ile 1 L'ye tamamlanır.

Bu yöntemde analiz edilecek örnekten 250 mL alınır ve 2,5 damla damıtık su ile seyreltilmiş deterjan (1+4) ilave edilir. Beher, ısıtıcı/magnetik karıştırıcı üzerine konulur. Daha sonra 20 mL H_2SO_4 eklenir ve kaynadıktan sonra 10 dakika daha karışması sağlanır. Böylece örnekte bulunan karbonat ve bikarbonatlar CO_2 şeklinde ortamdan uzaklaştırılması sağlanmış olur. Daha sonra sıcaklık, kaynama noktasının altında olacak

şekilde azaltılır ve 0,5 mL baryum taşıyıcı eklenerek 30 dakika daha karıştırmaya devam edilir. 0,5 mL bromocresol purple indikatör çözeltisi, 1 mL demir taşıyıcı çözeltisi ve 5 mL paper pulp/su karışımı ilave edilerek karıştırılır ve damla damla 6N NH₄OH eklenir. Bu şekilde çözeltinin rengi sarıdan mora döner. Isıtmaya ve karıştırmaya 30 dakika daha devam edilir. Daha sonra örneğin çökmesi için bekletilir ve elde edilen çökelek 0,45µm gözenekli filtre kâğıdından süzülür. Daha sonra ise 25 mL damıtık su ile yıkanır. Filtre kâğıdındaki çökelek en az 3 saat radon ürünlerinin uzaklaşması için bekletilir ve 105 °C etüvde veya lamba altında kurutulur.



Şekil 3.4. Isıtıcı/manyetik karıştırıcı üzerinde bulunan beherlerdeki su örnekleri. Sülfirik asit, bromocresol purple indikatör çözeltisi ilave edilmiş su örnekleri



Şekil 3.5. Çözeltilerin 6 N NH₄OH ilave edilmiş hali



Şekil 3.6. Çökmesi için beklenen örneklerin filtre kağıdına alınışı



Şekil 3.7. Planşetlere yerleştirilen filtrelerin, ölçme işlemi için sayım sistemine alınması

3.2.1.3. Buharlaştırma Yöntemi

Su örneklerindeki toplam beta aktivite konsantrasyonunu elde etmek için, EPA 900 buharlaştırma yöntemi kullanılmıştır [33]. İçme suyu örneklerinin sayıma hazırlanması, EPA 900 standart metodunda tarif edildiği şekilde suyun buharlaştırılarak kalıntı elde edilmesi esasına dayanır. Bu yöntemde öncelikle her bir su örneğinden hassas terazi yardımı ile 500 mL'lik miktar beher kaplarına alınmıştır. Daha sonra beherlerdeki su örneklerine 2,5 damla (100 mL de 1 mL olacak şekilde) nitrik asit (HNO_3) ilave edilmiştir. Hazırlanan 10 adet su örneğinin pH değerlerinin 2 olması sağlanmıştır. Daha sonra bu örnekler, sıcaklığı 60-70 $^{\circ}\text{C}$ 'ye ayarlı ısıtıcı üzerinde, yaklaşık olarak 5-10 mL kalıncaya kadar kaynatılmadan buharlaştırılmıştır. Diğer yandan boş planşetler, etüde 105 $^{\circ}\text{C}$ 'de yaklaşık 2 saat tutulmuş ve ardından kütleleri belirlenmiştir. Daha sonra etüden çıkartılan boş planşetler, ortamdaki nemden etkilenmemeleri için yaklaşık 30 dakika desikatörde soğutulmaya bırakılmıştır. Buharlaştırma işlemine tabi tutulan örnekler, bu

soğutulan planşetlere taşmayacak şekilde aktarılmıştır ve kızılötesi lamba altında buharlaştırmaya devam edilerek dağılımlarının düzgün olması sağlanmıştır. Daha sonra bu planşetler, etüvde 105 °C'de yaklaşık 2 saat tutulmuş ve ardından kütleleri ölçülmüştür (Şekil 3.8.). Etüvde kurutulan planşetler ölçme işlemleri için hazır hale getirilmiştir.



Şekil 3.8. Kızıl ötesi lamba altında buharlaştırma işlemi ve etüvde kurutulan su örnekleri

3.3. Su Örneklerindeki Toplam Alfa Ve Beta Aktivitesinin Ölçülmesi

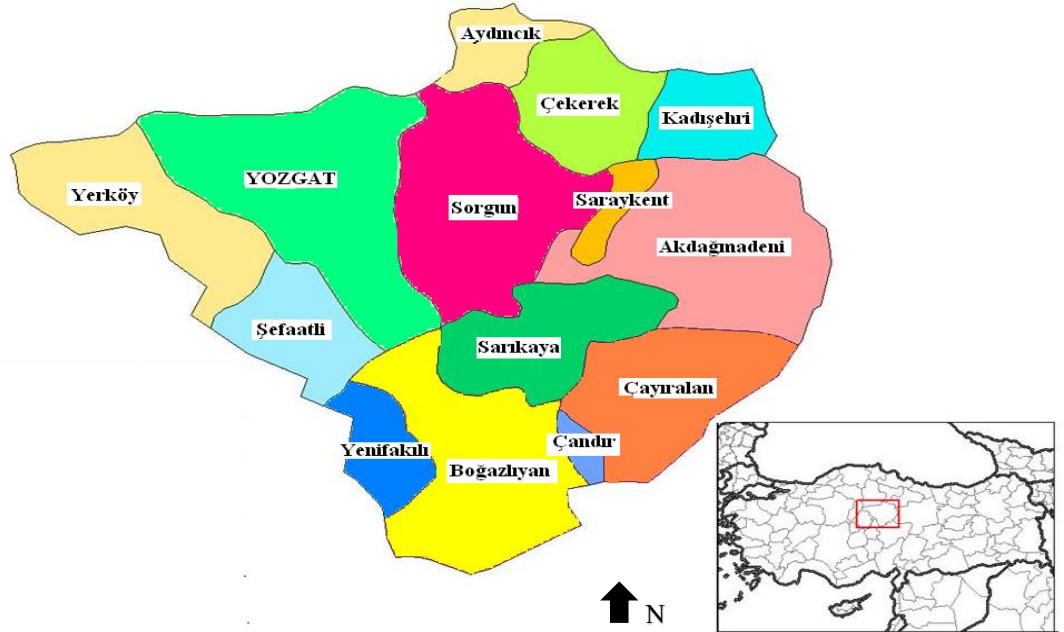
Ölçüme hazırlanan su numuneleri toplam alfa ve beta aktivitelerini belirlemek amacıyla LB – 770 (Berthold) alfa beta sayım sistemine yerleştirilmiştir. Bu detektör aynı anda 10 farklı örneğin toplam alfa ve toplam beta aktivitesini belirleme kapasitesine sahip bir detektördür. Doğal radyasyonlar düşük seviyeli radyasyonlardır. Bu nedenle doğal radyasyon ölçümlerini yapmak için uzun süreli sayımların yapılması gerekmektedir. Sulardaki toplam alfa ve beta aktiviteleri de düşük düzeyli radyasyon grubuna girdiği için sayım sürelerinin uzun tutulması gerekmektedir. Yaptığımız bu çalışmada sulardaki toplam alfa ve toplam beta aktivite değerlerini belirleyebilmek için su örnekleri 500 dakika detektörde sayılmıştır. Şekil 3.8’de kızıl ötesi lamba altında kurutulan örnekler ve bu örneklerin LB – 770 sayım sistemine yerleştirilişi gösterilmektedir.

4. BÖLÜM

BULGULAR

4.1. Yozgat Sularındaki Toplam Alfa ve Beta Radyoaktivitesinin Tayini

Bu çalışmada ölçüm alanı olarak Yozgat il merkezi, ilçe ve köylerini kapsayan bir bölge seçilmiş ve Yozgat il sınırları içerisinde yaşayan halkın kullandığı içme suları içerisindeki doğal radyoaktivite konsantrasyonları deneysel olarak belirlenmiştir. Haritada görüldüğü üzere Yozgat (Merkez), Sorgun, Aydıncık, Çekerek, Kadışehri, Akdağmadeni, Saraykent, Sorgun, Sarıkaya, Çayıralan, Çandır, Boğazlıyan, Yenifakılı, Şefaati, Yerköy ilçeleri ve köylerini kapsayacak şekilde toplam olarak 27 örnek toplama noktasından örnekler toplanmıştır. Yozgat ilinin Türkiye haritası üzerindeki konumu ve ilçeleri Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



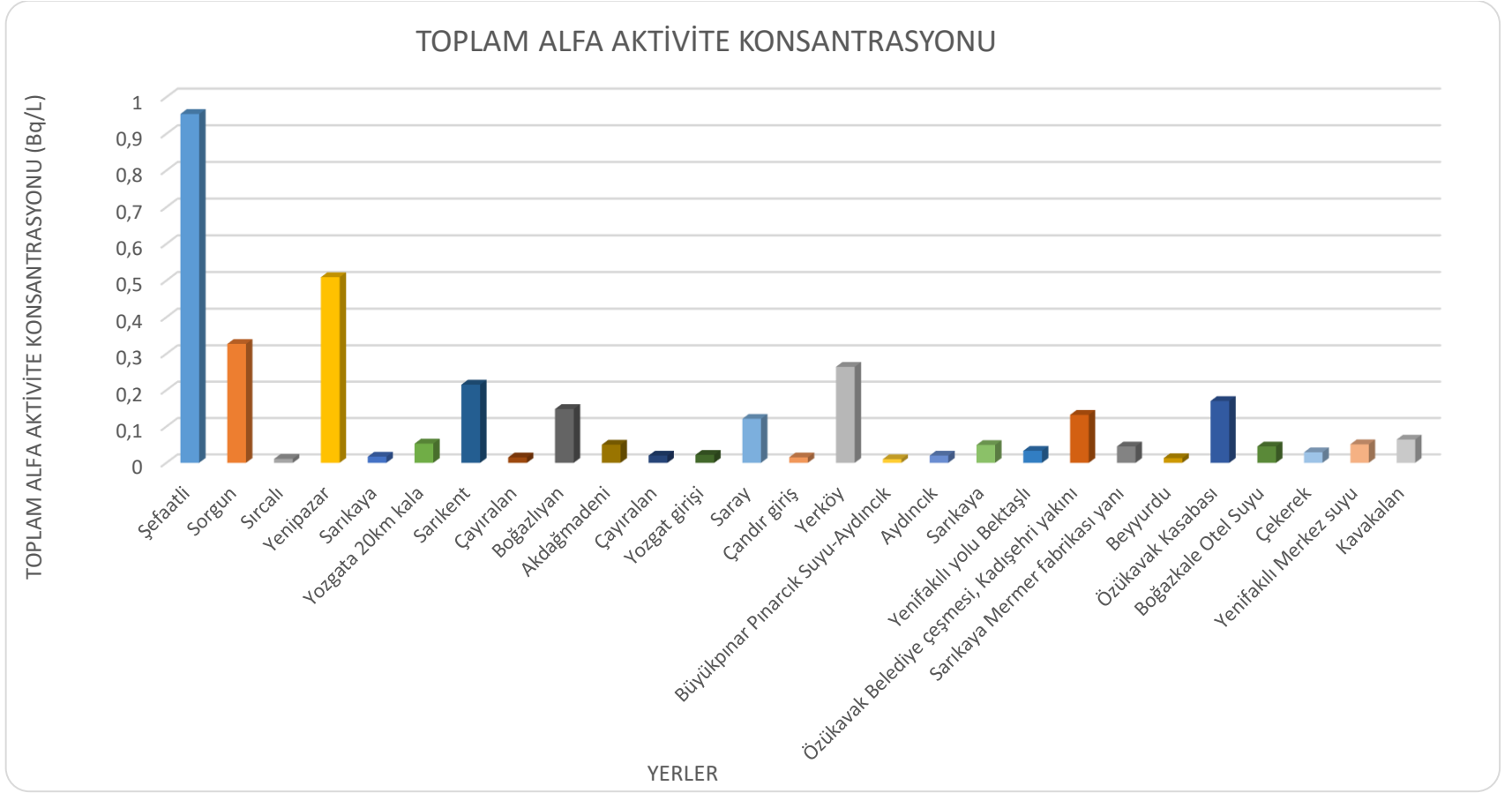
Şekil 4.1. Yozgat ilinin Türkiye haritası üzerindeki konumu ve Yozgat iline bağlı İlçeler

“Sularda radyoaktivite tayininde doğal kaynaklardaki gama aktif elementlerinin yarı ömürlerinin alfa ve beta elementlerine göre daha kısa olmaları nedeni ile çoğu kez gama aktivitesi tayini yoluna gidilmemektedir”.

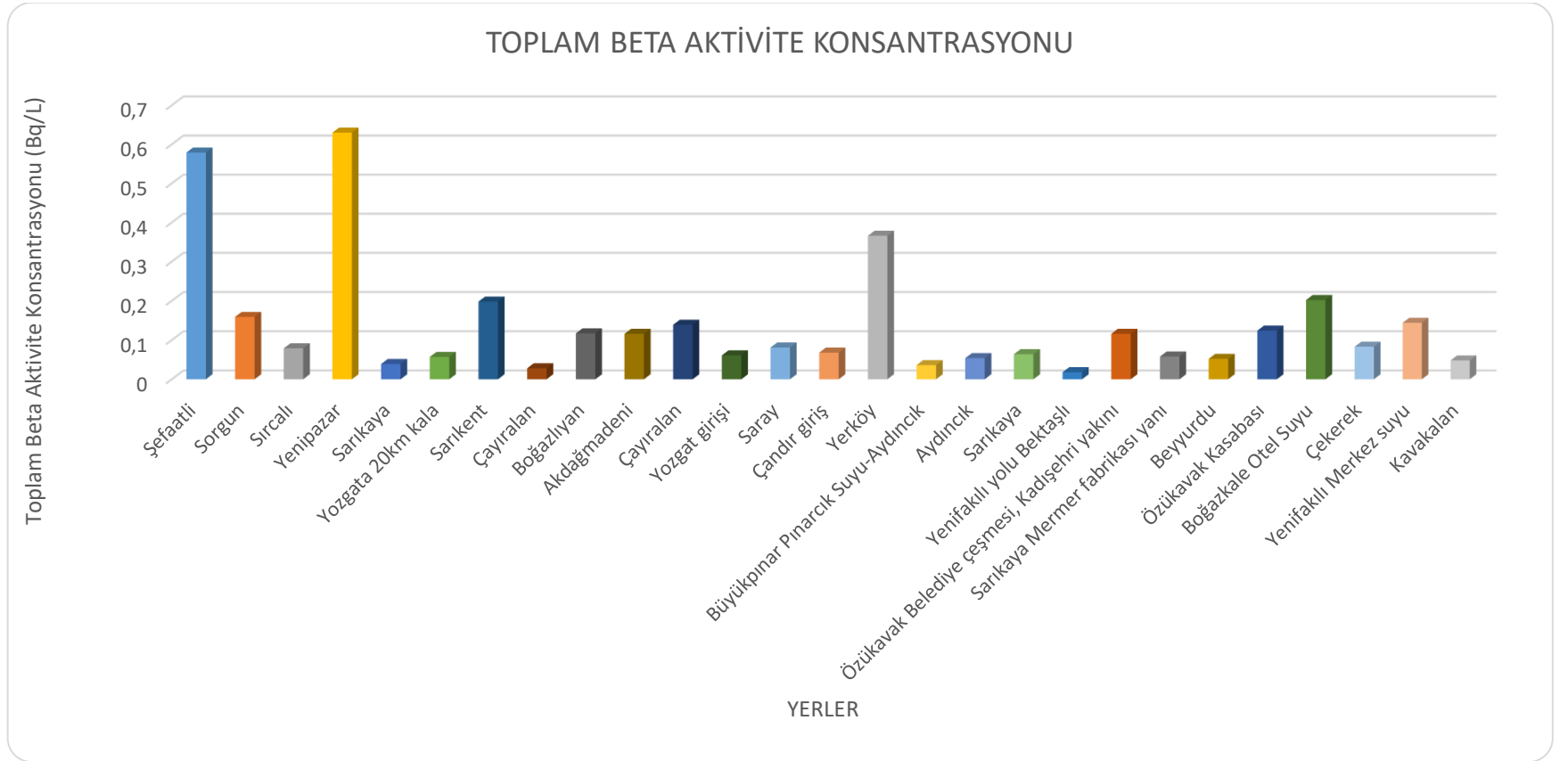
Tablo 4.1. Örnekleme yerleri, örnekleme koordinatları, toplam alfa ve toplam beta aktivite konsantrasyonları ve litredeki toplam çözülmüş kalıntı miktarı (TDS)

No	Örnekleme Yerleri	Koordinatlar		Toplam Alfa (Bq/L)	Toplam Beta (Bq/L)	TDS (mg/L)
		Kuzey	Doğu			
1	Şefaattli	39° 29'' 41'	34° 45'' 21'	1,033±0,130	0,579±0,054	1830
2	Sorgun	39° 51'' 11'	34° 56'' 56'	0,190±0,037	0,159±0,041	1133
3	Sırçalı	39° 18'' 58'	35° 9'' 25'	0,011±0,006	0,079±0,021	400
4	Yenişehir	39° 31'' 54'	35° 3'' 4'	0,509±0,051	0,630±0,038	845
5	Sarıkaya	39° 31'' 6'	35° 21'' 1'	0,017±0,008	0,039±0,012	413
6	Yozgata 20 km kala	39° 43'' 46'	34° 43'' 25'	0,053±0,013	0,057±0,016	496
7	Sarıkent	39° 10'' 22'	34° 46'' 34'	0,147±0,034	0,198±0,026	1040
8	Çayıralan	39° 18'' 10'	35° 38'' 46'	0,015±0,008	0,028±0,011	500
9	Boğazlıyan	39° 11'' 25'	35° 14'' 59'	0,148±0,070	0,117±0,014	657
10	Akdağmadeni	39° 39'' 26'	35° 53'' 16'	0,050±0,013	0,116±0,014	543
11	Çayıralan	39° 18'' 10'	35° 38'' 46'	0,020±0,008	0,139±0,018	532
12	Yozgat Giriş	39° 46'' 34'	34° 47'' 52'	0,022±0,009	0,061±0,012	457
13	Saray	39° 41'' 48'	34° 40'' 7'	0,121±0,025	0,081±0,019	735
14	Çandır Giriş	39° 14'' 50'	35° 23'' 41'	0,015±0,008	0,068±0,018	630
15	Yerköy	39° 39'' 39'	34° 29'' 25'	0,155±0,033	0,366±0,044	1690
16	Büyükpınar Pınarcık - Aydıncık	40° 8'' 11'	35° 17'' 34'	0,010±0,005	0,036±0,013	436
17	Aydıncık	40° 8'' 11'	35° 17'' 34'	0,020±0,006	0,054±0,022	516
18	Sarıkaya	39° 31'' 6'	35° 21'' 1'	0,049±0,010	0,064±0,012	400
19	Yenifakılı Yolu Bektaşlı	39° 11'' 44'	35° 14'' 8'	0,033±0,008	0,018±0,011	288
20	Özükavak Belediyesi Çeşmesi-Kadıışehri Yakını	40° 1'' 60'	35° 46'' 24'	0,132±0,019	0,116±0,029	1404
21	Sarıkaya Mermer Fabrikası Yanı	39° 25'' 41'	39° 25'' 41'	0,045±0,010	0,058±0,015	548
22	Beyyurdu	39° 57'' 42'	35° 21'' 29'	0,013±0,006	0,052±0,013	520
23	Özükavak Kasabası	40° 1'' 19'	35° 41'' 32'	0,170±0,023	0,124±0,017	832
24	Boğazkale Otel Suyu	40° 1'' 40'	34° 37'' 0'	0,045±0,009	0,202±0,018	944
25	Çekerek	40° 4'' 3'	35° 29'' 33'	0,029±0,007	0,083±0,014	640
26	Yenifakılı Merkez Suyu	39° 12'' 29'	35° 0'' 32'	0,051±0,010	0,144±0,017	672
27	Kavakalan	39° 59'' 59'	35° 26'' 53'	0,064±0,012	0,048±0,014	984
	ORTALAMA			0,12	0,14	

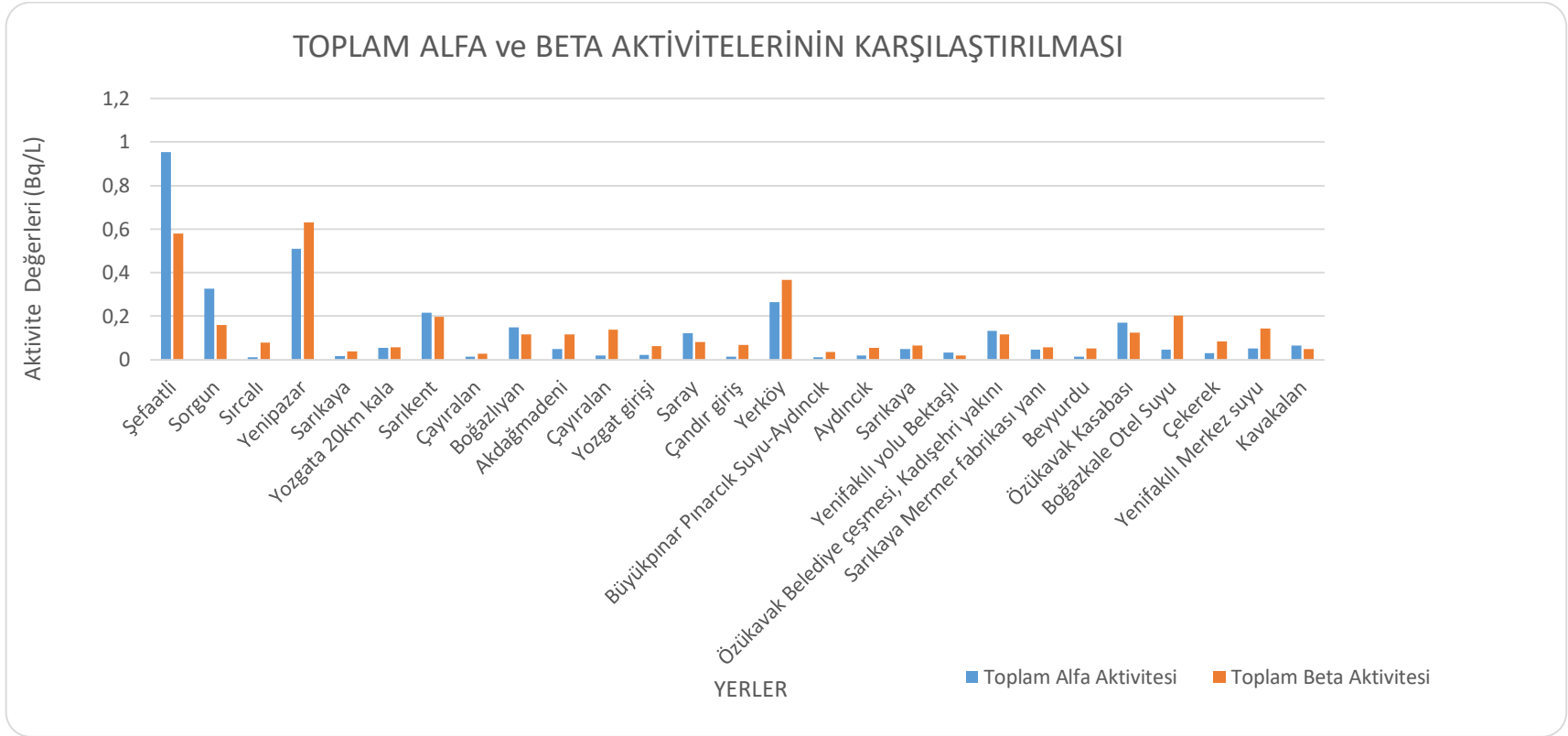
“Buna karşın iç radyasyon tehlikesi açısından önemli olmaları nedeni ile sular için alfa ve beta aktivite tayini üzerinde daha fazla durulması gereken bir konumdadır. Suların radyoaktivite kirliliğinin saptanmasında ilk olarak alfa ve beta aktivitelerini ölçmek gerekmektedir. Sulardaki alfa ve beta aktivitelerini belirlemek üzere Yozgat il sınırları içerisinde ilçe, belde ve nüfusu kalabalık olan köylerdeki su kaynaklarından 1,5 litrelik su örnekleri toplanmıştır. Su analizleri Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Çekmece Nükleer ve Araştırma Merkezi laboratuvarında bulunan LB-770-PC 10 kanallı radyasyon sayıcısı kullanılarak yapılmıştır”. Tablo 4.1’ de Yozgat ili, ilçe ve köylerini kapsayan 27 farklı konumdan toplanan örneklerin koordinatları, toplam alfa ve toplam beta aktiviteleri ve çözülemeyen kalıntı miktarları gösterilmektedir. Şekil 4.2’ de toplam alfa aktivite dağılımı ve Şekil 4.3’de toplam beta aktivite dağılımlarının örnek toplama yerlerine göre dağılımları karşılaştırılmıştır. Şekil 4.4’de ise alfa ve beta aktivite dağılımlarının karşılaştırılması yapılmıştır.



Şekil 4.2. Toplam alfa aktivite konsantrasyonu (Bq/L)



Şekil 4.3. Toplam beta aktivite konsantrasyonu (Bq/L)



Şekil 4.4. Toplam alfa ve beta aktivitelerinin karşılaştırılması

Tablo 4.2.Yozgat ilinden alınan 27 su örneği için ölçülen toplam alfa ve beta radyoaktivitesinin istatistiki verileri

Aktivite Konsantrasyonu (Bq/L)		
	Toplam Alfa	Toplam Beta
Minimum	0,01	0,018
Maksimum	1,033	0,63
Örnek Sayısı	27	27
Ortalama	0,1173	0,13763
Standart Sapma	0,20959	0,1527
Varyans	0,4393	0,0233
Çarpıklık	3,4075	2,2468
Basıklık	14,5055	7,1024

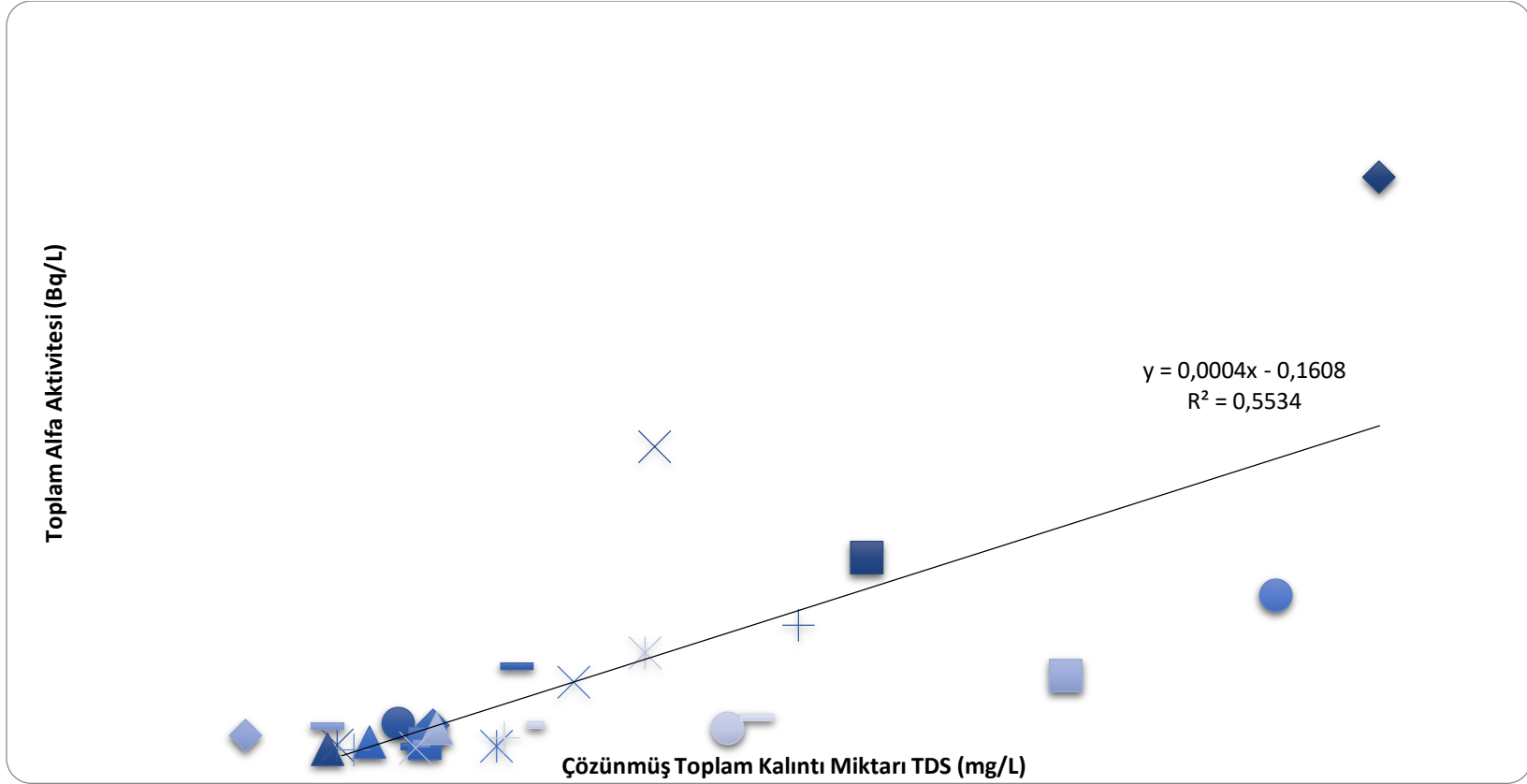
Tablo 4.2’de Yozgat ili ilçe ve köylerini kapsayan bölgelerden toplanan 27 farklı su örneği için yapılan istatistiki veriler gösterilmiştir. Tablo 4.3’de toplanan 27 farklı su örneğindeki alfa aktivitesi değerlerinin görülme sıklığı ve yüzdeleri, Tablo 4.4’de ise bu örneklerdeki beta aktivitesinin görülme sıklığı ve yüzdeleri verilmiştir. Şekil 4.5’de ölçüm noktalarından toplanan 27 su örneğinin toplam alfa aktivitesi ile litredeki toplam kalıntı miktarı (çözünmüş madde), TDS arasındaki ilişki gösterilmiştir. Şekil 4.6’da ise su örneklerinin toplam beta aktiviteleri ile litredeki toplam kalıntı miktarı (çözünmüş madde), TDS arasındaki ilişki verilmiştir.

Tablo 4.3. Toplam alfa aktivite değerlerinin görülme sıklığı ve yüzdeleri

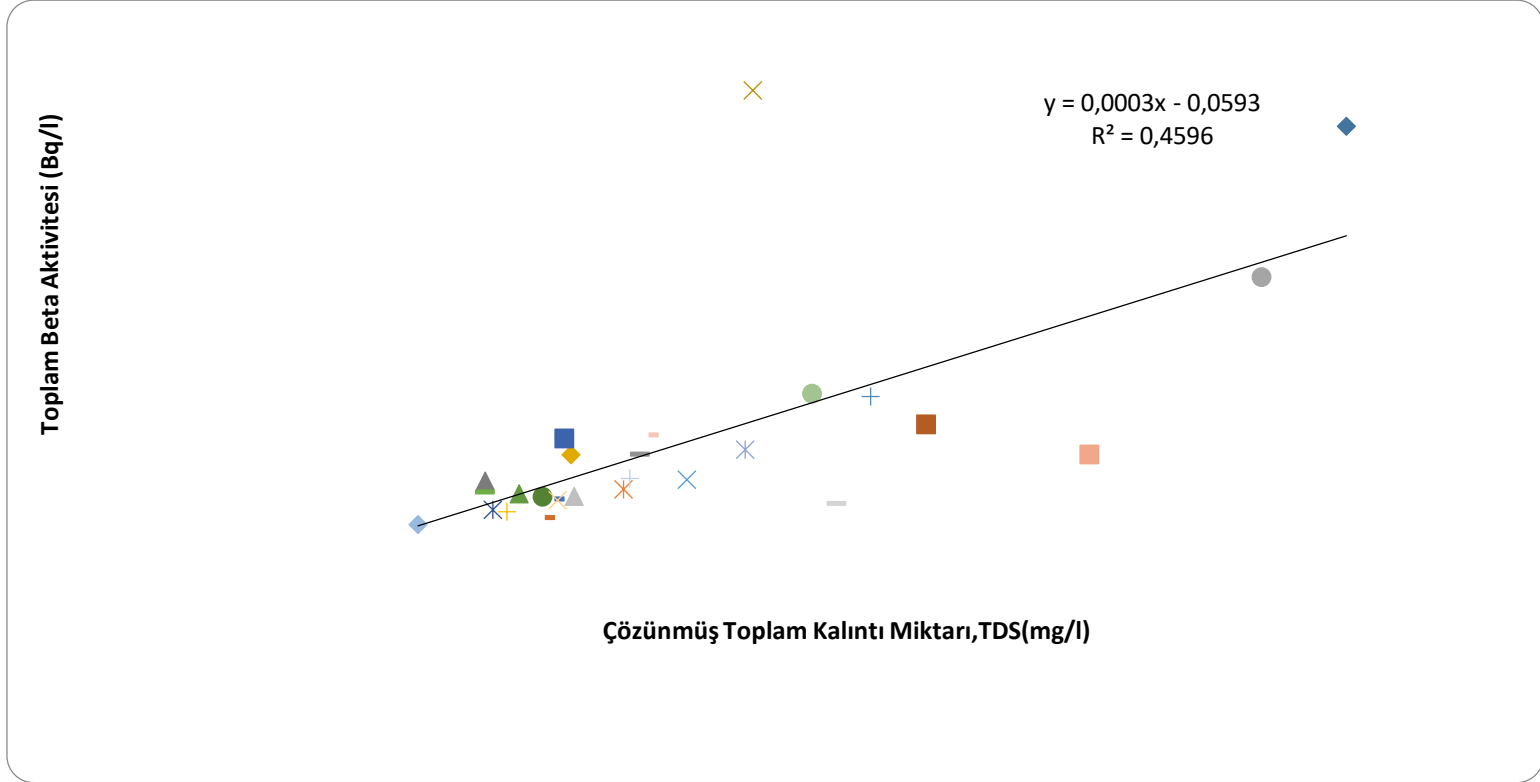
Toplam Alfa Aktivitesi(Bq/L)	Frekans	Frekans %
0,01	1	3,70
0,11	1	3,70
0,13	1	3,70
0,015	2	7,41
0,017	1	3,70
0,02	2	7,41
0,022	1	3,70
0,029	1	3,70
0,033	1	3,70
0,045	2	7,41
0,049	1	3,70
0,05	1	3,70
0,051	1	3,70
0,053	1	3,70
0,064	1	3,70
0,121	1	3,70
0,132	1	3,70
0,148	1	3,70
0,17	1	3,70
0,215	1	3,70
0,264	1	3,70
0,327	1	3,70
0,509	1	3,70
0,954	1	3,70

Tablo 4.4. Toplam beta aktivite değerlerinin görülme sıklığı ve yüzdeleri

Toplam Beta Aktivitesi (Bq/L)	Frekans	Frekans %
0,018	1	3,70
0,028	1	3,70
0,036	1	3,70
0,039	1	3,70
0,048	1	3,70
0,052	1	3,70
0,054	1	3,70
0,057	1	3,70
0,058	1	3,70
0,061	1	3,70
0,064	1	3,70
0,068	1	3,70
0,079	1	3,70
0,081	1	3,70
0,083	1	3,70
0,116	2	7,41
0,117	1	3,70
0,124	1	3,70
0,139	1	3,70
0,144	1	3,70
0,159	1	3,70
0,198	1	3,70
0,202	1	3,70
0,366	1	3,70
0,579	1	3,70
0,63	1	3,70



Şekil 4. 5. Toplam alfa aktivitesi ile litredeki toplam kalıntı miktarı (çözünmüş madde), TDS arasındaki ilişki



Şekil 4.6. Toplam beta aktivitesi ile litredeki toplam kalıntı miktarı (çözülmüş madde), TDS arasındaki ilişki

4.1.1. İçme Suyunun Tüketilmesinden Kaynaklanan Yıllık Etkin Doz Eşdeğerinin Hesaplanması

Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri (YDE)'nin hesaplanması, bireylerin (bebek, çocuk ve yetişkinlerin) içme sularını tüketmesinden kaynaklanan iç ışınlamanın oluşturabileceği radyolojik risklerin değerlendirilmesi sağlık açısından büyük önem arz etmektedir. Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri (YED); radyoaktif çekirdek derişimi, doz dönüşüm katsayısı ve yıllık su tüketimi dikkate alınarak aşağıda verilen formül ile hesaplanmaktadır;

$$YDE \left(\frac{\mu Sv}{\text{yıl}} \right) = A_D \left(\frac{mBq}{L} \right) \times D_K \left(\frac{mSv}{Bq} \right) \times YTSM \left(\frac{L}{\text{yıl}} \right)$$

Burada,

A_D : Toplam alfa ve toplam beta aktivite derişimi

D_K : Doz dönüşüm katsayısı Alfa ve beta yayınlayan radyoaktif çekirdekler için DK değerleri, tablo 4.5'de verilmiştir.

YTSM: Yıllık tüketilen su miktarıdır. Yıllık tüketilen su miktarı, bebekler için 250 L, çocuklar için 350 L ve yetişkinler için 730 L olarak alınmıştır [34].

Tablo 4.5. Alfa ve beta yayınlayan radyoaktif çekirdekler için doz dönüşüm katsayıları [34]

Radyasyon tipi	Radyonüklit	Doz dönüşüm katsayısı (mSv/ Bq)
Alfa	^{238}U	$4,5 \times 10^{-5}$
	^{234}U	$4,9 \times 10^{-5}$
	^{230}Th	$2,1 \times 10^{-4}$
	^{226}Ra	$2,8 \times 10^{-4}$
	^{210}Po	$1,2 \times 10^{-3}$
	^{232}Th	$2,3 \times 10^{-4}$
Beta	^{210}Pb	$6,9 \times 10^{-4}$
	^{228}Ra	$6,9 \times 10^{-4}$
	^{40}K	$6,2 \times 10^{-6}$

İçme sularının tüketilmesi nedeni ile alınan yıllık etkin doz değerleri alfa yayımlayıcı ^{238}U , ^{234}U , ^{230}Th , ^{226}Ra ve ^{210}Po , ^{232}Th ve beta yayımlayıcı ^{210}Pb , ^{228}Ra ve ^{40}K radyoaktif çekirdeklerin doz dönüşüm katsayıları kullanılarak bebekler, çocuklar ve yetişkinler için ayrı ayrı hesaplanmıştır. İçme suyu örneklerindeki alfa yayımlayıcı ve beta yayımlayıcı radyoaktif çekirdeklerden kaynaklanan yıllık etkin doz değerleri, bebekler için sırasıyla Tablo 4.6 ve Tablo 4.7’de, çocuklar için Tablo 4.8 ve Tablo 4.9’da ve yetişkinler için Tablo 4.10 ve Tablo 4.11’de verilmiştir. Bebek, çocuk ve yetişkinler için alfa ve beta yayımlayıcı radyoaktif çekirdeklerden kaynaklanan ortalama yıllık etkin doz değerleri sırasıyla Şekil 4.8 ve Şekil 4.9’da gösterilmiştir. Şekil 4.8.’de alfa yayımlayıcı radyoaktif çekirdeklerden kaynaklanan ortalama yıllık etkin doz değerleri, Şekil 4.9’da ise beta yayımlayıcı radyoaktif çekirdeklerden kaynaklanan ortalama yıllık etkin doz değerleri verilmiştir. Şekil 4.10’da ise bebek, çocuk ve yetişkinler için toplam alfa kaynaklı, toplam beta kaynaklı ve toplam alfa beta kaynaklı radyoaktif çekirdekler nedeniyle sahip olunan yıllık etkin doz değerleri verilmiştir.

Tablo 4.6. Bebekler tarafından tüketilen içme sularındaki alfa yayımlayan radyoaktif çekirdeklerden kaynaklanan yıllık etkin doz değerleri

Örnek No.	İçme Sularında Bulunan Alfa yayımlayıcı Radyoaktif Çekirdeklerden Kaynaklanan Yıllık Etkin Doz (μSv)						Ortalama Yıllık Etkin Doz (μSv)
	^{238}U	^{234}U	^{230}Th	^{226}Ra	^{210}Po	^{232}Th	
1	11,62	12,65	54,23	70	309,9	59,4	86,3
2	2,14	2,3275	9,98	13,3	57	10,93	15,9
3	0,12	0,1348	0,58	0,77	3,3	0,63	0,9
4	5,73	6,24	26,7	35,63	152,7	29,27	42,7
5	0,19	0,21	0,89	1,19	5,1	0,98	1,43
6	0,59	0,65	2,78	3,71	15,9	3,05	4,45
7	1,65	1,8	7,72	10,29	44,1	8,45	12,3
8	0,17	0,18	0,79	1,05	4,5	0,86	1,26
9	1,7	1,81	7,77	10,36	44,4	8,51	12,4
10	0,6	0,6125	2,63	3,5	15	2,88	4,2
11	0,225	0,245	1,05	1,4	6	1,15	1,67
12	0,25	0,2695	1,155	1,54	6,6	1,27	1,85
13	1,36	1,48	6,35	8,47	36,3	6,96	10,2
14	0,17	0,18	0,79	1,05	4,5	0,86	1,26
15	1,74	1,89	8,14	10,85	46,5	8,9	13
16	0,1125	0,12	0,525	0,7	3	0,58	0,84
17	0,225	0,25	1,05	1,4	6	1,15	1,67
18	0,55	0,6	2,57	3,43	14,7	2,82	4,11
19	0,37	0,4	1,7	2,31	9,9	1,9	2,76
20	1,49	1,617	6,9	9,24	39,6	7,59	11,07
21	0,51	0,55	2,36	3,15	13,5	2,59	3,78
22	0,15	0,16	0,68	0,91	3,9	0,75	1,09
23	1,9	2,08	8,9	11,9	51	9,78	14,24
24	0,51	0,55	2,36	3,15	13,5	2,59	3,78
25	0,33	0,36	1,52	2,03	8,7	1,67	2,4
26	0,57	0,63	2,68	3,57	15,3	2,93	4,28
27	0,7	0,78	3,36	4,48	19,2	3,68	5,37
Ortalama	1,32	1,44	6,15	8,13	35,19	6,74	9,83

Tablo 4.7. Bebekler tarafından tüketilen içme sularındaki beta yayımlayan radyoaktif çekirdeklerden kaynaklanan yıllık etkin doz değerleri

	İçme Sularında Bulunan Beta yayımlayıcı Radyoaktif Çekirdeklerden Kaynaklanan Yıllık Etkin Doz (μSv)			Ortalama Yıllık Etkin Doz (μSv)
	^{210}Pb	^{228}Ra	^{40}K	
1	99,9	99,9	0,9	66,9
2	27,4	27,4	0,25	18,35
3	13,6	13,6	0,12	9,1
4	108,7	108,7	0,98	72,8
5	6,7	6,7	0,06	4,49
6	9,8	9,8	0,09	6,6
7	34,2	34,2	0,31	22,9
8	4,83	4,83	0,04	3,2
9	20,18	20,18	0,18	13,5
10	20,01	20,01	0,18	13,4
11	23,98	23,98	0,219	16,06
12	10,52	10,52	0,09	7,04
13	13,97	13,97	0,13	9,36
14	11,7	11,7	0,11	7,8
15	63,14	63,14	0,57	42,3
16	6,21	6,21	0,06	4,16
17	9,32	9,32	0,08	6,24
18	11,04	11,04	0,1	7,39
19	3,105	3,105	0,03	2,08
20	20,01	20,01	0,18	13,4
21	10,01	10,01	0,09	6,7
22	8,97	8,97	0,08	6
23	21,4	21,4	0,19	14,3
24	34,85	34,85	0,32	23,3
25	14,32	14,32	0,13	9,59
26	24,84	24,84	0,23	16,6
27	8,28	8,28	0,07	5,54
Ortalama	23,74	23,74	0,21	15,89

Tablo 4.8. Çocuklar tarafından tüketilen içme sularındaki alfa yayımlayan radyoaktif çekirdeklerden kaynaklanan yıllık etkin doz değerleri

Örnek	İçme Sularında Bulunan Alfa yayımlayıcı Radyoaktif Çekirdeklerden Kaynaklanan Yıllık Etkin Doz (μSv)						Ortalama Yıllık Etkin Doz (μSv)
	^{238}U	^{234}U	^{230}Th	^{226}Ra	^{210}Po	^{232}Th	
1	16,27	17,72	75,93	101,2	433,9	83,16	121,36
2	2,99	3,26	13,97	18,6	79,8	15,3	22,3
3	0,17	0,19	0,81	1,08	4,6	0,88	1,29
4	8,02	8,73	37,41	49,9	213,8	40,97	59,8
5	0,27	0,29	1,25	1,67	7,14	1,37	1,99
6	0,84	0,91	3,9	5,19	22,3	4,27	6,2
7	2,32	2,52	10,81	14,41	61,7	11,8	17,3
8	0,24	0,26	1,1	1,47	6,3	1,2	1,76
9	2,33	2,54	10,88	14,5	62,2	11,9	17,39
10	0,79	0,86	3,68	4,9	21	4,03	5,88
11	0,32	0,343	1,47	1,96	8,4	1,61	2,4
12	0,35	0,38	1,62	2,16	9,24	1,8	2,6
13	1,91	2,08	8,89	11,86	50,8	9,7	14,2
14	0,24	0,26	1,16	1,47	6,3	1,2	4,2
15	2,44	2,66	11,39	15,19	65,1	12,48	18,2
16	0,16	0,17	0,74	0,98	4,2	0,8	1,2
17	0,32	0,34	1,47	1,96	8,4	1,6	2,3
18	0,77	0,84	3,6	4,8	20,6	3,95	5,8
19	0,52	0,57	2,43	3,2	13,7	2,7	3,85
20	2,08	2,26	9,7	12,91	55,4	10,6	15,49
21	0,71	0,77	3,3	4,41	18,9	3,6	5,3
22	0,21	0,22	0,96	1,27	5,46	1,05	1,5
23	2,68	2,9	12,5	16,7	71,4	13,7	19,98
24	0,71	0,77	3,3	4,4	18,9	3,6	5,3
25	0,46	0,5	2,1	2,84	12,18	2,34	3,4
26	0,8	0,87	3,8	4,5	21,42	4,1	5,9
27	1,01	1,09	4,7	6,3	26,9	5,2	6,7
Ortalama	1,85	2,01	8,63	11,48	49,26	9,44	13,78

Tablo 4.9. Çocuklar tarafından tüketilen içme sularındaki beta yayınlayan radyoaktif çekirdeklerden kaynaklanan yıllık etkin doz değerleri

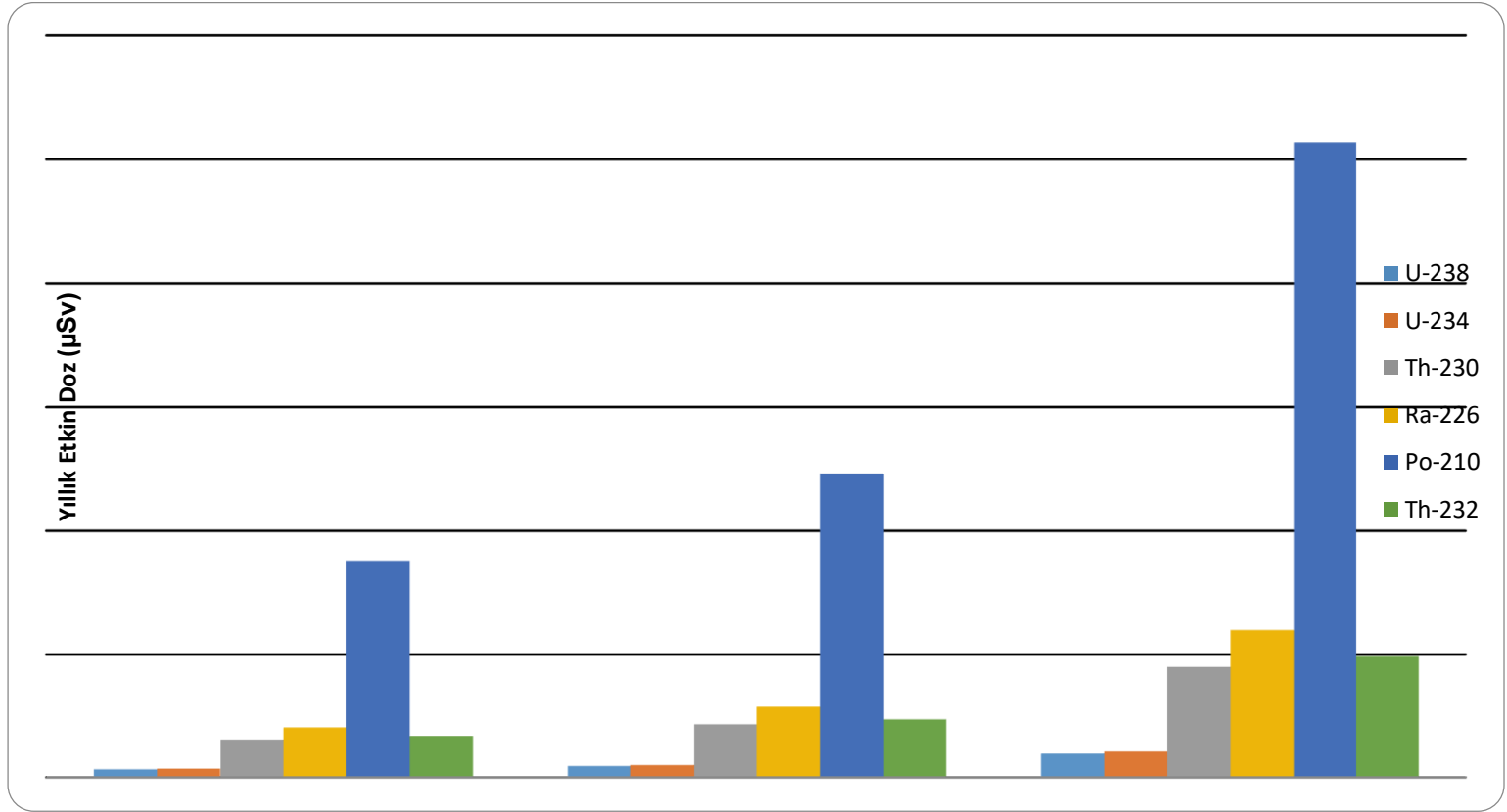
	İçme Sularında Bulunan Beta yayınlayıcı Radyoaktif Çekirdeklerden Kaynaklanan Yıllık Etkin Doz (μSv)			Ortalama Yıllık Etkin Doz (μSv)
	^{210}Pb	^{228}Ra	^{40}K	
1	139,83	139,83	1,26	93,6
2	38,39	38,39	0,35	25,7
3	19,08	19,08	0,17	12,8
4	152,15	152,15	1,37	101,89
5	9,42	9,42	0,09	6,31
6	13,77	13,77	0,12	9,2
7	47,82	47,82	0,43	96,07
8	6,76	6,76	0,06	4,5
9	28,26	28,26	0,25	18,9
10	28,01	28,01	0,25	18,76
11	33,57	33,57	0,3	22,5
12	14,7	14,7	0,13	9,8
13	19,56	19,56	0,18	13,1
14	16,4	16,4	0,15	10,98
15	88,39	88,39	0,79	59,19
16	8,69	8,69	0,08	5,8
17	13,041	13,041	0,12	26,2
18	15,46	15,46	0,14	10,4
19	4,35	4,35	0,04	2,9
20	28,01	28,01	0,25	18,76
21	14,007	14,007	0,13	9,38
22	12,56	12,56	0,11	8,4
23	29,95	29,95	0,27	20,06
24	48,78	48,78	0,44	26,15
25	20,05	20,05	0,18	13,4
26	34,78	34,78	0,31	23,29
27	11,6	11,6	0,1	7,77
Ortalama	33,24	33,24	0,30	25,03

Tablo 4.10. Yetişkinler tarafından tüketilen içme sularındaki alfa yayımlayan radyoaktif çekirdeklerden kaynaklanan yıllık etkin doz değerleri

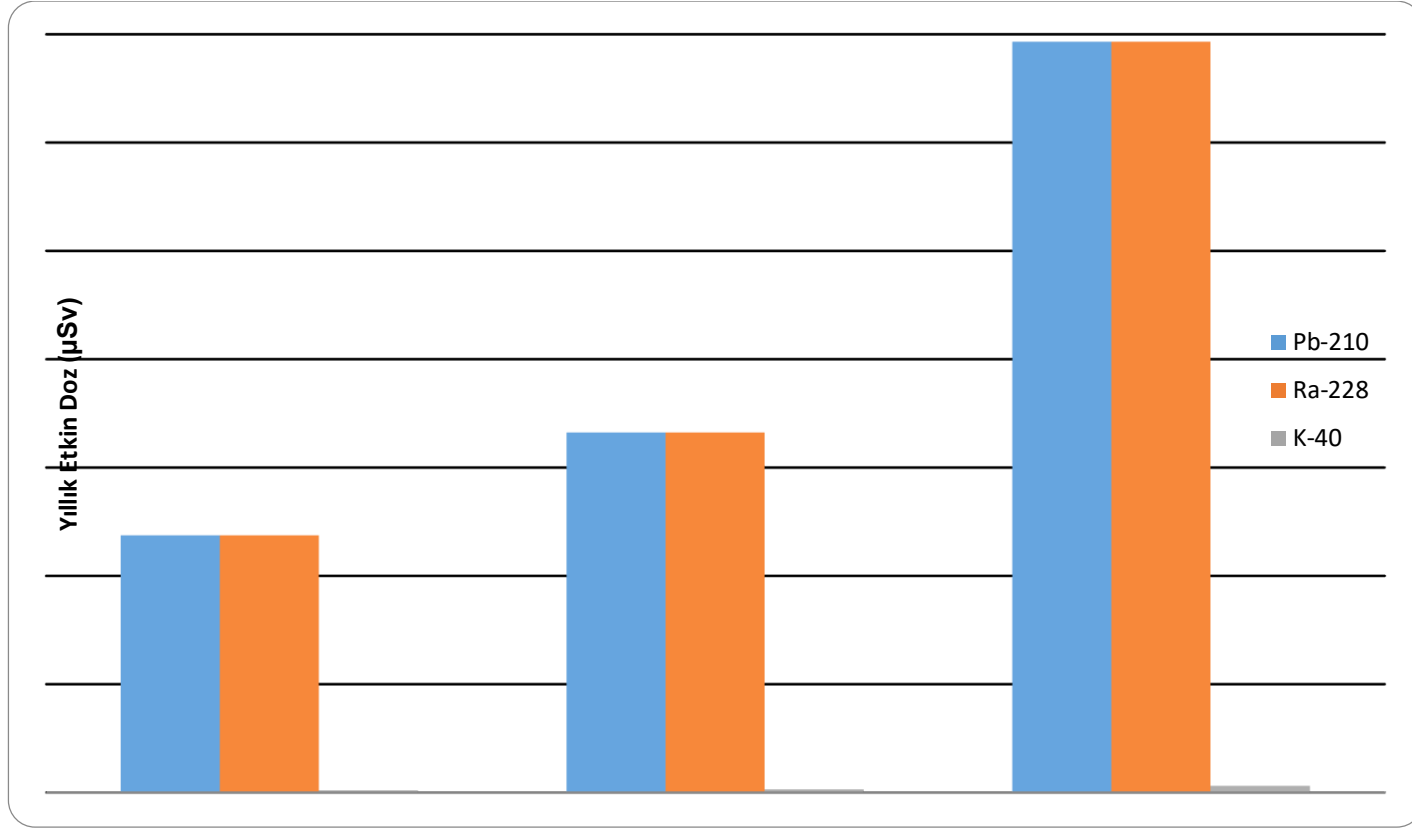
Örnek	İçme Sularında Bulunan Alfa yayımlayıcı Radyoaktif Çekirdeklerden Kaynaklanan Yıllık Etkin Doz (μSv)						Ortalama Yıllık Etkin Doz (μSv)
	^{238}U	^{234}U	^{230}Th	^{226}Ra	^{210}Po	^{232}Th	
1	33,9	36,95	158,4	211,2	904,9	173,4	253,13
2	6,24	6,79	29,1	38,9	166,4	31,9	46,56
3	0,37	0,4	1,7	2,3	9,6	1,9	2,7
4	16,7	18,2	78,02	104,04	445,9	85,5	124,7
5	0,56	0,61	2,6	3,5	14,9	2,9	4,17
6	1,74	1,89	8,1	10,8	46,4	8,9	12,97
7	4,83	5,26	22,5	30,05	128,8	24,7	36,02
8	0,49	0,54	2,3	3,07	13,1	2,5	3,67
9	4,86	5,29	22,7	30,3	129,7	24,8	36,3
10	1,64	1,79	7,7	10,2	43,8	8,4	12,3
11	0,66	0,7	3,1	4,1	17,5	3,4	4,9
12	0,72	0,79	3,4	4,5	19,3	3,7	5,4
13	3,97	4,3	18,6	24,7	105,9	20,3	29,6
14	0,49	0,54	2,3	3,07	13,1	2,5	3,7
15	5,09	5,5	23,8	31,7	135,8	26,03	37,99
16	0,33	0,36	1,5	2,04	8,8	1,7	2,46
17	0,66	0,72	3,07	4,09	17,5	3,36	4,9
18	1,61	1,8	7,5	10,02	42,9	8,2	12
19	1,08	1,18	5,06	6,8	28,9	5,5	8,09
20	4,33	4,7	20,2	26,98	115,6	22,16	32,3
21	1,48	1,6	6,9	9,2	39,4	7,6	11,03
22	0,43	0,47	1,99	2,7	11,4	2,18	3,2
23	5,59	6,08	26,01	34,8	148,9	28,5	41,65
24	1,48	1,6	6,9	9,2	39,4	7,6	11,03
25	0,95	1,04	4,45	5,9	25,4	4,9	7,1
26	1,68	1,8	7,8	10,4	44,7	8,56	12,49
27	2,1	2,3	9,8	13,08	56,06	10,7	15,67
Ortalama	3,85	4,19	17,98	23,99	102,74	19,70	28,74

Tablo 4.11. Yetişkinler tarafından tüketilen içme sularındaki beta yayınlayan radyoaktif çekirdeklerden kaynaklanan yıllık etkin doz değerleri

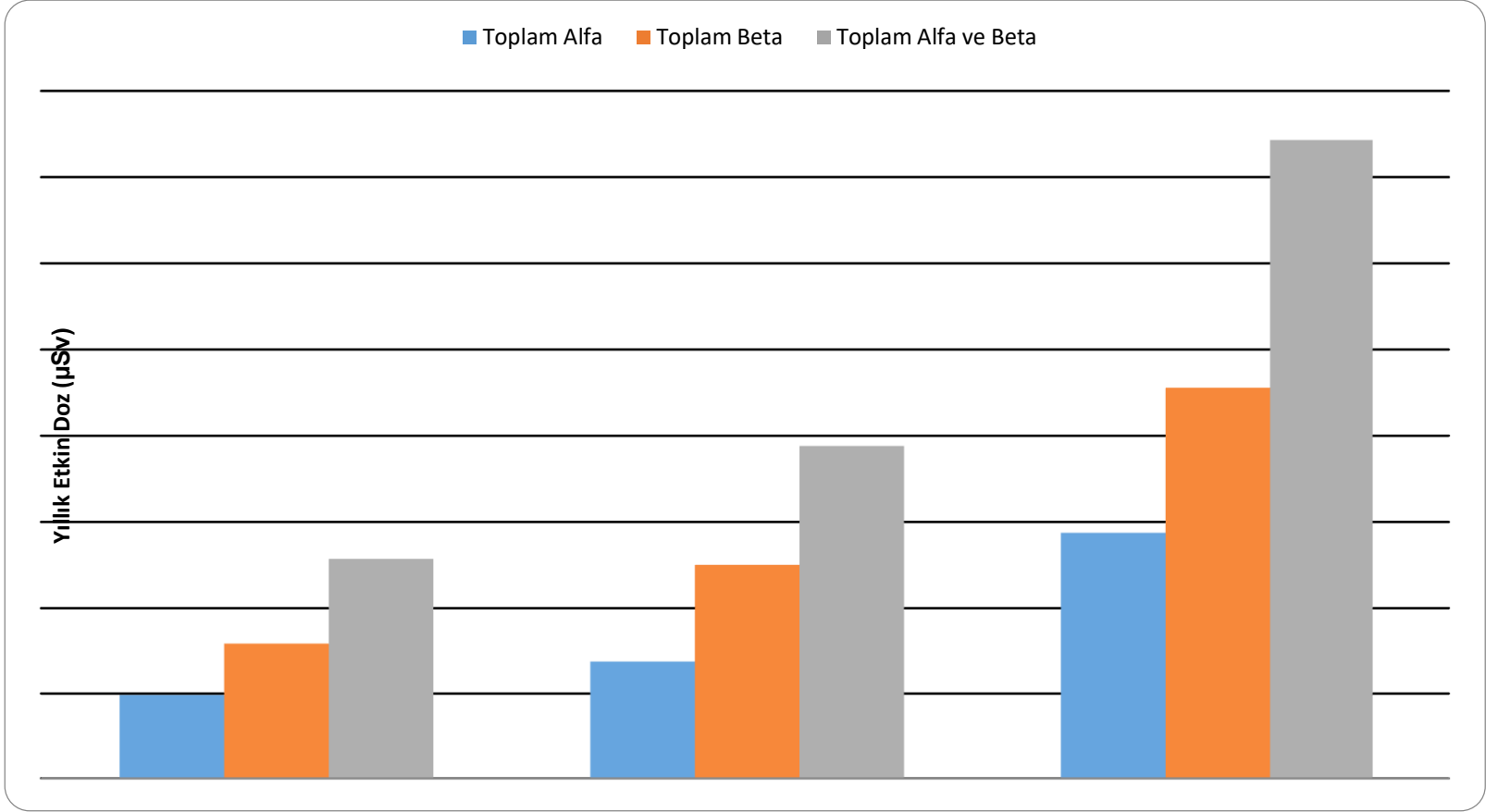
	İçme Sularında Bulunan Beta yayınlayıcı Radyoaktif Çekirdeklerden Kaynaklanan Yıllık Etkin Doz (μSv)			Ortalama Yıllık Etkin Doz (μSv)
	^{210}Pb	^{228}Ra	^{40}K	
1	291,64	291,64	2,62	195,3
2	80,09	80,09	0,72	53,63
3	39,79	39,79	0,36	26,65
4	317,3	317,3	2,85	212,48
5	19,64	19,64	0,18	13,15
6	28,7	28,7	0,26	19,22
7	99,7	99,7	0,9	66,77
8	14,1	14,1	0,13	9,44
9	58,9	58,9	0,53	39,44
10	58,4	58,4	0,53	39,11
11	70,01	70,01	0,63	23,88
12	30,7	30,7	0,28	20,56
13	40,79	40,79	0,37	27,32
14	34,25	34,25	0,31	22,94
15	184,35	184,35	1,66	123,45
16	18,13	18,13	0,16	12,14
17	27,2	27,2	0,24	18,2
18	32,2	32,2	0,29	21,56
19	9,07	9,07	0,08	6,07
20	58,43	58,43	0,53	39,13
21	29,2	29,2	0,26	19,55
22	26,19	26,19	0,24	17,54
23	62,46	62,46	0,56	41,8
24	101,75	101,75	0,9	68,1
25	41,81	41,81	0,38	28
26	72,5	72,5	0,65	48,6
27	24,18	24,18	0,22	16,19
Ortalama	69,31	69,31	0,62	45,56



Şekil 4.7. Bebek, çocuk ve yetişkinler için alfa yayımlayıcı radyoaktif çekirdeklerden kaynaklanan ortalama yıllık etkin doz değerleri (μSv)



Şekil 4.8. Bebek, çocuk ve yetişkinler için beta yayınlı radyoaktif çekirdeklerden kaynaklanan ortalama yıllık etkin doz değerleri (µSv)



Şekil 4.9. Bebek, çocuk ve yetişkinler için değerlendirilen Yıllık Etkin Doz Değerleri (µSv)

5. BÖLÜM

TARTIŞMA - SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma Türkiye’de Yozgat ili için içme sularında yapılmış olan ve literatürde yer alacak olan kapsamlı ilk çalışmadır.

Bu tezi oluşturan konuyu çalışmanın amaçları çerçevesinde birçok sonuca ulaşılmıştır.

- Yozgat il merkezi, ilçe ve köylerini kapsayan bölgede içme suyu olarak kullanılan suların radyolojik veri tabanı oluşturulmuştur.
- Bu bölgede yaşayan popülasyonun içme suları nedeniyle maruz kaldıkları radyasyon dozları ile ilgili veri tabanı oluşturulmuştur.
- Ulusal ve uluslararası var olan sınırlamalar ve tavsiyeler tartışılmıştır.
- İleride meydana gelebilecek muhtemel nükleer, endüstriyel ve insan aktiviteleri nedeni ile oluşabilecek değişimleri belirlemek açısından bir veri tabanı oluşturulmuştur.

Tablo 4.1’de görüldüğü üzere Yozgat il sınırları içerisindeki bölgede ölçüm noktalarından alınan 27 farklı su örneğinde ölçülen toplam alfa aktiviteleri 0,01 Bq/L ile 1,033 Bq/L arasında ölçülmüştür. Toplam alfa aktivitelerinin ortalaması ise 0,12 Bq/L olarak bulunmuştur. Toplam beta aktiviteleri ise 0,018 Bq/L ile 0,63 Bq/L arasında değişmektedir. Toplam beta aktiviteleri için bulunan ortalama ise 0,14 Bq/L’dir. Şekil 4.2’de görüldüğü üzere toplam alfa aktivitesinin en fazla değeri Şefaattli ilçesinde 1,033 Bq/L ve en az değeri Büyükpınarcık-Aydıncık köyleri arasındaki bölgede 0,01Bq/l olarak ölçülmüştür. Şekil 4.3’de ise toplam beta aktivite değeri en fazla Yenipazar kasabasında 0,63 Bq/L ve en az Yenifakılı – Bektaşlı kasabaları arasındaki bölgede 0,018 Bq/L olarak ölçülmüştür. Şekil 4.4’de toplanan su örneklerinde ölçülen toplam alfa ve beta aktivite değerleri karşılaştırılmıştır. Şefaattli, Sorgun, Sarıkent, Boğazlıyan, Saray, Özükevâk yerleşim birimlerinden alınan su örneklerinde toplam alfa aktivite değerleri toplam beta aktivite değerlerinden daha büyük olarak ölçülmüştür. Sırcalı, Yenipazar, Sarıkaya, Yozgat, Çayıralan, Akdağmadeni, Yerköy, Büyükpınar – Pınarcık, Aydıncık, Beyyurdu,

Boğazkale, Çekerek, Yenifakılı yerleşim birimlerinde ise su örneklerindeki beta aktivite değerleri alfa aktivite değerlerinden daha büyük olarak ölçülmüştür. Tablo 4.2’de 27 su örneği için ölçülen toplam alfa ve beta aktiviteleri için hesaplanan istatistiki veriler gösterilmiştir. Standart sapma toplam alfa aktivitesi için 0,20959 ve toplam beta aktivitesi için 0,1527 olarak hesaplanmıştır. Varyans değerleri ise toplam alfa aktivitesi için 0,4393 ve toplam beta aktivitesi için 0,0233 olarak hesaplanmıştır. Toplam alfa aktiviteleri için çarpıklık 3,4075 ve toplam beta aktiviteleri için ise 2,2468 olarak bulunmuştur. Basıklık ise toplam alfa aktiviteleri için 14,5055 olarak bulunurken toplam beta aktiviteleri için 7,1024 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.3 ve Tablo 4.4’de görülen frekans dağılımlarının hesaplanan basıklık ve çarpıklık değerlerinin pozitif olmasından anlaşılacağı üzere simetrik değildir.

Toplam çözünmüş kalıntı miktarı (TDS) örnek buharlaştırıldıktan ve son kurutma yapıldıktan sonra kalan katı miktarının ağırlığıdır. TDS toplam alfa ve beta aktivitesini belirlemek için buharlaştırılacak suyun miktarına bağlıdır. Su örneğinin toplam beta aktivitesi sayımı için olan TDS değeri alfa aktivitesinin belirlenmesindeki kadar sınırlayıcı değildir. Çünkü beta parçacıkları katı kalıntı içerisinde kolaylıkla ilerlerken alfa parçacıkları katı kalıntı içerisinde fazla yol alamazlar. Şekil 4.5’de toplam alfa aktivite değerleri ile toplam çözünmüş kalıntı miktarı (TDS) arasındaki ilişki ve şekil 4.6’da ise toplam beta aktivite değerleri ile toplam çözünmüş kalıntı miktarı (TDS) arasındaki ilişki gösterilmiştir. Toplam alfa aktivite değerleri ile toplam çözünmüş kalıntı miktarı (TDS)’nin toplam beta aktivite değerleri ile toplam çözünmüş kalıntı miktarı (TDS) arasındaki ilişkiye göre daha iyi durumda olduğu gözlenmektedir.

Tablo 4.6’da bebekler tarafından, tablo 4.8’de çocuklar tarafından ve tablo 4.10’da yetişkinler tarafından tüketilen içme sularındaki alfa yayımlayan radyoaktif çekirdeklerden kaynaklanan yıllık etkin doz değerleri verilmiştir.

Bebekler tarafından tüketilen sular için alfa yayan radyoaktif çekirdekler için ortalama değerler ^{238}U için 1,32 Sv; ^{234}U için 1,44 Sv; ^{230}Th için 6,15 Sv; ^{226}Ra için 8,12 Sv; ^{210}Po için 35,19 Sv ve ^{232}Th için 6,74 Sv olarak hesaplanmıştır.

Çocuklar tarafından tüketilen sular için alfa yayan radyoaktif çekirdekler için ortalama değerler ^{238}U için 1,85 Sv; ^{234}U için 2,01 Sv; ^{230}Th için 8,63 Sv; ^{226}Ra için 11,48 Sv;

^{210}Po için 49,26 Sv ve ^{232}Th için 9,44 Sv olarak hesaplanmıştır.

Yetişkinler tarafından tüketilen sular için alfa yayan radyoaktif çekirdekler için ortalama değerler ^{238}U için 3,85 Sv; ^{234}U için 4,19 Sv; ^{230}Th için 17,98 Sv; ^{226}Ra için 23,99 Sv; ^{210}Po için 102,74 Sv ve ^{232}Th için 19,70 Sv olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.7’de bebekler tarafından, Tablo 4.9’da çocuklar tarafından ve Tablo 4.11’de ise yetişkinler tarafından tüketilen içme sularındaki beta yayımlayan radyoaktif çekirdeklerden kaynaklanan yıllık etkin doz değerleri verilmiştir.

Bebekler tarafından tüketilen sular için beta yayan radyoaktif çekirdekler için ortalama değerler ^{210}Pb için 23,74 Sv; ^{228}Ra için 23,74 Sv; ^{40}K için 0,21 Sv olarak hesaplanmıştır.

Çocuklar tarafından tüketilen sular için beta yayan radyoaktif çekirdekler için ortalama değerler ^{210}Pb için 33,24 Sv; ^{228}Ra için 33,24 Sv; ^{40}K için 0,30 Sv olarak hesaplanmıştır.

Yetişkinler tarafından tüketilen sular için beta yayan radyoaktif çekirdekler için ortalama değerler ^{210}Pb için 69,31 Sv; ^{228}Ra için 69,31 Sv; ^{40}K için 0,62 Sv olarak hesaplanmıştır.

Suyun radyolojik yönden incelenmesi ve doğal radyasyon seviyelerinin belirlenmesi insan sağlığını doğrudan ilgilendirdiği için önemlidir.

“Dünya sağlık örgütü (WHO), ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA) tarafından tavsiye edilen ve T.C. Sağlık Bakanlığı tarafından izin verilen içme suları için maksimum radyoaktivite sınırları toplam alfa için 0,1 Bq/L ve toplam beta için 1 Bq/L olarak kabul edilmiştir. Dünya Sağlık Örgütü’nün içme suları için tavsiye ettiği sınır değerler suyun ömür boyu tüketilmesi durumunda insanın alacağı radyasyon dozunun sağlık yönünden herhangi bir risk oluşturmayacağı fikrinden hareketle tespit edilmiştir”.

Yozgat il merkezi ilçe ve köylerini kapsayan bölgede yapılan toplam alfa ölçümlerinde Şefaati’de 1,033 Bq/L; Sorgun’da 0,190 Bq/L; Yenipazar’da 0,509 Bq/L; Sarıkent’de 0,147 Bq/L; Boğazlıyan’da 0,148 Bq/L; Saray’da 0,121 Bq/L; Yerköy’de 0,155 Bq/L ve Özüakavak’da 0,132 Bq/L bulunmuştur. Bu değerler Dünya Sağlık Örgütü (WHO)’nün toplam alfa aktivitesi için tavsiye ettiği limit değeri olan 0,1 Bq/L değerinin üstünde olan değerlerdir. Bu yüksek alfa aktivite değerlerinin nedeni olarak o bölgede mevcut olan uranyum maden yataklarının olduğu düşünülmektedir.

Dünya Sağlık Örgütü (WHO)'nün toplam beta aktivitesi için tavsiye ettiği değer 1 Bq/L dir. Toplam beta aktivitesini belirlemek için yapılan ölçümlerde Yozgat il merkezi ilçe ve köylerinden toplanan örneklerin hiçbirisinde bu limit değerinin aşılmadığı gözlenmiştir.

Radyoaktif çekirdek içeren suların sürekli olarak sindirilmesi sonucunda 100 μSv 'in üzerinde alacak şekilde uzun süre ışınlanmaya maruz kalmanın bireylerde kanser riskini arttırdığını dair kanıtlar mevcuttur. Bugüne kadar yapılan epidemolojik çalışmalarda bu dozun altında kanser riski artışı tespit edilememiştir. Radyasyona maruz kalma ile risk arasında doğrusal bir ilişkinin var olduğu ve altındaki bir değerde riskin olmayacağı herhangi bir eşik değerinin var olmadığı kabul edilmiştir. Yozgat İl merkezi ilçe ve köylerini kapsayan bölgelerde halkın tükettiği içme suları için yapılan hesaplamalarda alfa yayan radyoaktif çekirdekler nedeni ile sahip olunan doz miktarı çocuklar için yapılan hesaplamalarda 1 numaralı örnekte (Şefaati) 121,23 $\mu\text{Sv/yıl}$; yetişkinler için yapılan hesaplamalarda 1 numaralı örnekte (Şefaati) 253,13 $\mu\text{Sv/yıl}$ ve 4 numaralı örnekte (Yenipazar) 124,7 $\mu\text{Sv/yıl}$ olarak bulunmuştur. Beta yayan radyoaktif çekirdekler nedeni ile sahip olunan doz miktarları ise çocuklar için yapılan hesaplamalarda 4 numaralı örnekte (Yenipazar) 101,89 $\mu\text{Sv/yıl}$; yetişkinler için yapılan hesaplamalarda ise 1 numaralı örnekte 195,3 $\mu\text{Sv/yıl}$; 4 numaralı örnekte 212,48 $\mu\text{Sv/yıl}$ ve 15 numaralı örnekte 123,45 $\mu\text{Sv/yıl}$ olarak bulunmuştur. Bu değerler 100 $\mu\text{Sv/yıl}$ olarak kabul edilen bireysel doz ölçüt değerini aşmaktadır.

Tablo 5.1. İncelenen su örneklerinde ölçülen toplam α/β aktivite değerlerinin literatürde yer alan veriler ile karşılaştırılması

Şehir	Su örneği	Toplam α aktivite derişimi (mBq/L)	Toplam β aktivite derişimi (mBq/L)	Kaynak
Türkiye(Adana)	Musluk suyu	9,6	86	Değerlier ve Karahan (2010)
Türkiye(Kastamonu)		8,9	271	Kam ve Bozkurt (2007)
Türkiye (Şanlıurfa)		38	132,4	Bozkurt ve ark., 2007
Türkiye (Gaziantep)		49,3	128,4	Osmanlıoğlu ve ark., 2007
Türkiye (Trabzon)		6,5	100,8	Damla ve ark., 2006
Türkiye (Rize)		8,3	82,8	Damla ve ark., 2006
Türkiye (Giresun)		7,1	97,1	Damla ve ark., 2006
Türkiye (İstanbul)		22,8	66,4	Karahan ve ark., 2000
Türkiye (Batman)		33,8	80,3	Damla ve ark., 2009
Türkiye (Tekirdağ)		44	100	Kam ve ark., 2009
Türkiye (Samsun)		51,9	77,8	Görür ve ark., 2011
Bu Çalışma (Yozgat)		126	137,6	

Tablo 5.1’de incelenen su örneklerinde ölçülen toplam α/β aktivite değerlerinin literatürde yer alan veriler ile karşılaştırılması yapılmıştır. Yozgat ili ilçe ve köylerini kapsayan bölgede içme sularındaki ölçülen ortalama toplam alfa aktivite değeri 126 mBq/L olarak ölçülmüştür. Bu değer Türkiye’nin diğer bölgelerinde ölçülen değerlerden daha yüksektir. Ortalama toplam beta aktivite değeri ise 137,6 mBq/L olarak ölçülmüştür. Bu değer Türkiye’de toplam beta aktivitesi için yapılan ölçümler arasında normal bir seviyededir.

KAYNAKLAR

1. Varol, S., “Yeraltı Sularında Toplam Alfa ve Beta Radyoaktivitesi”, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi.*, 1(3), 101-106, 2011.
2. European Commission (2001) Commission recommendation of 20 December 2001 on the protection of the public against exposure to radon in drinking water supplies. *Official Journal of the European Communities*, L344:85-87
3. EPA (Environmental Protection Agency), 1997. National primary drinking water regulations: Analytical methods for radionuclides; Final rule and proposed rule. 40 CFR Part 141. Federal Register 62(43), 10168-10175.
4. Health Canada (2009) Guidelines for Canadian drinking water quality: Guideline technical document--Radiological parameters. Ottawa, Ontario, Health Canada, Healthy Environments and Consumer Safety Branch, Radiation Protection Bureau (CatalogueNo.H128-1/10-614E-PDF)
5. ISO, 2007. Standard ISO 9696: Water quality--Measurement of gross alpha activity in non-saline water--Thick source method. Geneva, International Organization for Standardization.
6. ISO (2008) Standard ISO 9697: Water quality--Measurement of gross beta activity in non-saline water--Thick source method. Geneva, International Organization for Standardization.
7. ISO (2009b) Standard ISO 10704: Water quality-Measurement of gross alpha and gross beta activity in non-saline water-Thin source deposit method. Geneva, International Organization for Standardization.
8. WHO, 2011. Guidelines for Drinking-water Quality, 4th edition, WHO Library Cataloguing-in-Publication Data NLM classification: WA 675, Geneva, 2011.
9. Demirel, S., “Konya'nın içme suyunun sağlandığı bazı kuyu sularında ²²²Rn konsantrasyonu değişimlerinin incelenmesi”, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, s.4-14, Konya, 2013.
10. Değerlier, M., “Adana ili ve çevresinin çevresel doğal radyoaktivitesinin saptanması ve doğal radyasyonların yıllık etkin doz eşdeğerinin bulunması”, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, s.3-28, Adana, 2007.
11. Arya, A.P., “Çekirdek Fiziğinin Esasları”, Çeviren: Yusuf Şahin, *Aktif Yayın Dağıtım San. Tic. Ltd. Şti.*, Erzurum, 27-43, 1999.

12. Erdoğan, M., “Osmaniye ve çevresindeki içilebilir ve işlenebilir sularda radon ($Rn-222$) konsantrasyonunun belirlenmesi”, *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüleri, Ortak Yüksek Lisans Tezi*, s.11-12, Osmaniye, 2015.
13. İnternet: Çukurova Üniversitesi
abs.cu.edu.tr/Dokumanlar/2016/FZ%20404/906918682_doiz_hesabi.pdf
14. Davutoğlu, H., “Radon gazını ölçme metotları”, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans tezi*, s. 3-15. Kütahya, 2008.
15. Togay, Y.E., Radyasyon ve Biz., *Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Yayınları*, s. 32, Ankara, 2002.
16. Magill, J., Galy, J., “Radioactivity, radionuclides, radiation, springer”, *Springer-Verlay Berlin Heidelberg*, s.259, Germany, 2005.
17. Altıkulaç, A., “Samsun ve ilçelerine ait çevresel örneklerdeki (yüzey toprağı, su, mantar ve karalahana) doğal radyoaktivitenin ölçülmesi ve bu radyoaktiviteden kaynaklanan yıllık etkin dozun belirlenmesi”, *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, s.14-15, Samsun, 2014.
18. Çam, H., “Kahramanmaraş Sır baraj göletinde doğal radyoaktivitenin belirlenmesi ve elemental analiz”, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, s. 18-20, Kahramanmaraş, 2011.
19. Özçitak, E., “Nevşehir ili ve ilçelerinde tüketilen içme ve kaplıca sularında ki radyoaktivitenin ölçülmesi”, *Nevşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, s. 17, 2012.
20. İnternet: Encyclopedia Britannica www.britannica.com/science/atom/The-laws-of-quanyum-mechanics
21. Bakkal, S., “ Kilis ili toprak örneklerinde ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyoaktivite konsantrasyonlarının belirlenmesi”, *Kilis 7 Aralık Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, s. 13, Kilis, 2012.
22. Arya, A.P., 1989. “Çekirdek Fizığının Esasları”, Çeviren: Yusuf Şahin, *Aktif Yayıncılık*, s. 407, Erzurum.
23. Küçükönder, E., “Kahramanmaraş yöresinde doğal radyoaktivitenin tayini”, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, s.7, Kahramanmaraş, 2009.

24. Kurnaz, A., Küçükömeroğlu, B., Keser, R., Okumuşoğlu, N., Korkmaz, F., Karahan, G., Çevik, U., Determination of radioactivity levels and hazards of soil and sediment samples in fırtına valley (Rize, Turkey). *Applied radiation and isotopes*, 65, 1281-1289, 2007.
25. Karahan, G., “İstanbul’un Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Tayini ve Doğal Radyasyonların Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri”, *İstanbul Teknik Üniversitesi Nükleer Enerji Enstitüsü, Doktora Tezi*, s. 118, İstanbul, 1997.
26. National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP), (1976). “Environmental Radiation Measurements”, NCRP Report No.50. NCRP, Bethesda, Maryland.
27. İnternet: Türkiye Atom Enerji Kurumu <http://www.taek.gov.tr/ogrenci/r07.html>.
28. Kuş, K., “Radyasyonun biyolojik etkileri”, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Fakültesi, Lisans Tezi*, s.15-19, Trabzon, 2012.
29. Çoşkun, Ö., “İyonize radyasyonun biyolojik etkileri”, *Süleyman Demirel Teknik Bilimler Dergisi*, 1, 13-17, 2011.
30. Seyrek, E., “Radyoizotopların üretimi ve radyoterapide kullanılması”, *Gazi Üniversitesi Eğitim Fakültesi, Lisans Tezi*, s.30-33, Ankara, 2007.
31. Özger, A.G., “ Ceyhan, yumurtalık ve Pozantı bölgelerinin Doğal radyoaktivite düzeylerinin belirlenmesi”, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, s 51-52, Adana, 2015.
32. TAEK, “Tıp Ve Biyolojik Bilimlerde Radyasyon Korunması Kurs Notları”, *Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Çekmece Nükleer Araştırma Ve Eğitim Merkezi Teknik Rapor No:32*, İstanbul, 1985.
33. H.L.Krieger, E.L. Whittaker, “Prescribed procedures for measurement of radioactivity in drinking water”, *US Environmental Protection Agency, Cincinnati*, EPA-600/4-80-032, Ohio, 1980.
34. WHO, “Guidelines for Drinking Water Quality, Recommendations”, Vol. 1, 3rd Edition, Geneva, Switzerland, 2004.

ÖZGEÇMİŞ

Dilek Koyuncu, 1985 yılında Konya'da doğdum. İlköğretim ve lise öğrenimimi Konya'da tamamladım. 2009'da kazandığım Nevşehir Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünden 2013 yılında mezun oldum. Aynı yıl Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Nükleer Fizik Ana Bilim Dalında Yüksek Lisansa başladım.

Adres : Fatih Mah. Dağsaray Sok. Evgül St. B /Blok 17/16

Selçuklu-Konya

Telefon: 05363302060

e-posta: dilekkoyuncu42@hotmail.com