

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

**NEVŞEHİR İLİ VE İLÇELERİNDE TÜKETİLEN İÇME
VE KAPLICA SULARINDA KI RADYOAKTİVİTENİN
ÖLÇÜLMESİ**

**Tezi Hazırlayan
Esra ÖZÇITAK**

**Tezi Yöneten
Doç.Dr. Şeref TURHAN**

**Fizik Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Ekim 2012
NEVŞEHİR**

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

**NEVŞEHİR İLİ VE İLÇELERİNDE TÜKETİLEN İÇME
VE KAPLICA SULARINDA KI RADYOAKTİVİTENİN
ÖLÇÜLMESİ**

**Tezi Hazırlayan
Esra ÖZÇITAK**

**Tezi Yöneten
Doç.Dr. Şeref TURHAN**

**Fizik Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Ekim 2012
NEVŞEHİR**

Doç. Dr. Şeref TURHAN danışmanlığında Esra ÖZCITAK tarafından hazırlanan “Nevşehir İli ve İlçelerinde Tüketilen İçme ve Kaplıca Sularındaki Radyoaktivitenin Ölçülmesi” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından Nevşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalında **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

12/11/2012

JÜRİ:

Başkan: Doç. Dr. Şeref TURHAN

Üye : Yrd. Doç. Meltem DEĞERLİER

Üye : Yrd. Doç. Sıtkı BAYTAK

ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulunun 15-11-2012 tarih ve 2012-67/1 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

16 / 11 / 2012

Doç. Dr. Şahlan ÖZTÜRK
Enstitü Müdürü



TEŞEKKÜR

Nevşehir ili ve ilçelerinde tüketlen içme ve kaplıca sularında ki radyoaktivitenin ölçülmesi başlıklı tez çalışmasını bana öneren ve bu çalışma esnasında yardımlarını esirgemeyerek çalışmamı tamamlamamı sağlayan değerli danışman hocam Doç. Dr. Şeref TURHAN'a sonsuz desteğinden ötürü teşekkür ederim.

Çalışmalarımın deneysel kısımlarını yapmam için bana laboratuvarlarını açarak cihazlarını kullanmama olanak sağlayan Türkiye Atom Enerjisi Kurumuna bağlı Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezine ve çalışma esnasında yardımlarını esirgemeyen Dr. Ahmet VARINLIOĞLU hocama ayrıca deneylerin yapılması esnasında değerli bilgilerini benimle paylaşan, deneysel çalışmalarda yardımlarını esirgemeyen Dr. Halim TAŞKIN'a teşekkür ederim.

Bu çalışmayı oluşturan verileri toplama sürecinde beni yalnız bırakmayan ve manevi desteğini eksik etmeyen Jeoloji Mühendisi Zafer ERTOSUN'a sonsuz teşekkür ederim.

Tüm eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi her türlü desteklerini sabırla üzerimden eksik etmeyen anne ve babama en içten duygularıyla teşekkür ederim.

NEVŞEHİR İLİ VE İLÇELERİNDE TÜKETİLEN İÇME VE KAPLICA SULARINDAKİ DOĞAL RADYOAKTİVİTENİN ÖLÇÜLMESİ

Esra ÖZÇITAK

Nevşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi, Ekim 2012

Tez Danışman: Doç.Dr. Şeref TURHAN

ÖZET

Orta Anadolu Bölgesinde yer alan Nevşehir, çok ilginç ve olağanüstü manzaralara sahip Kapadokya Bölgesinin büyük illerinden birisidir. Nevşehir ili, kendisine özgün jeolojik, tarihi ve kültürel özelliği ile çokça tercih edilen bir turizm durağıdır. Bu çalışmada, 30 farklı su örneğindeki (sondajla açılmış kuyulardan toplanan 23 yer altı suyu, 3 yüzey suyu, 1 içme suyu ve 3 kaplıca suyu) toplam alfa ve beta aktivite derişimi düşük zeminli (background) çoklu dedektörlü gaz orantılı α/β sayacı (Berthold LB 770) kullanılarak ölçülmüştür. Ölçülen toplam alfa ve beta aktivite derişimleri, her bir su örneği için tablolar ve şekiller hâlinde sunulmuş, Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) ve ulusal yönetmelikler tarafından tavsiye edilen sınır değerler veya ölçütler ile karşılaştırılmıştır. Toplam alfa ve beta aktivite derişim değerleri, yer altı suyu (sondajla açılmış kuyu suyu) örnekleri için 80-380 mBq/L (ortalama değer: 194 mBq/L) ve 70-3550 mBq/L (ortalama değer: 686 mBq/L) aralığında; yüzey suyu örnekleri için 90-450 mBq/L (ortalama değer: 243 mBq/L) ve 310-340 mBq/L (ortalama değer: 327 mBq/L) aralığında ve kaplıca suyu örnekleri için 3180-3820 mBq/L (ortalama değer: 3560 mBq/L) ve 1090-1430 mBq/L (ortalama değer: 1240 mBq/L) aralığında değişmektedir. İçme suyu örneklerinde ölçülen toplam alfa aktivitesi, DSÖ tarafından tavsiye edilen 500 mBq/L sınır değerinin altındadır. Bununla birlikte, iki kuyudan alınan içme suyu örneklerinde ölçülen toplam beta aktivitesinin, DSÖ tarafından tavsiye edilen 1000 mBq/L sınır değerinden 3-3,5 kat daha büyük olduğu tespit edilmiştir. Alfa ve beta yayınlayıcılardan kaynaklanan yıllık etkin doz, incelenen içme suyu örneklerinin sindirilmesi sebebiyle oluşabilecek radyolojik sağlık risklerini değerlendirmek amacıyla bebek, çocuk ve erişkin bireyler için DSÖ tarafından önerilen doz dönüşüm katsayıları kullanılarak hesaplanmıştır.

Anahtar kelimeler: İçme suyu, yer altı suyu, toplam alfa, toplam beta, yıllık etkin doz, doğal radyoaktivite, Nevşehir (Türkiye)

MEASUREMENT OF RADIOACTIVITY IN DRINKING AND THERMAL WATERS CONSUMED NEVŞEHİR PROVINCE AND DISTRICTS

Esra ÖZÇITAK

Nevşehir University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

M.Sc. Thesis, October 2012

Thesis Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Şeref TURHAN

ABSTRACT

Nevşehir province located in the Central Anatolia region of Turkey is one of the major cities of Cappadocia Region which has one of the most interesting and spectacular landscapes in the world. Nevşehir province is a popular tourist destination as it has many areas with unique geological, historic, and cultural features. In this study, the activity concentrations of the gross α and β in 30 different water samples (23 ground water collected different drilled wells, 3 surface water and 1 tap water, and 3 thermal water samples) collected from 29 different sampling sites in Nevşehir province and districts were measured using an gas proportional α/β counter of the low background multiple detector type (Berthold LB 770). The gross α and β activity concentrations measured were presented as tables and figures for each water samples and compared with limit values or criteria recommended by World Health Organization (WHO) and national regulation. The values of the activity concentrations of the gross α and β measured in the samples of the ground water (drilled well water), surface water and thermal water varied from 80 to 380 mBq/L (mean value: 194 mBq/L) and 70 to 3550 mBq/L (mean value: 686 mBq/L), 90 to 450 mBq/L (mean value: 243 mBq/L) and 310 to 340 mBq/L (mean value: 327 mBq/L) and 3180 to 3820 mBq/L (mean value: 3560 mBq/L) and 1090 to 1430 mBq/L (mean value: 1240 mBq/L), respectively. The gross α activities measured in the drinking water samples were below than the limit value of 500 mBq/L recommended by WHO. However, it was determined that the gross β activity concentrations measured in the drinking water samples from the two wells were 3-3.5 times greater than 1000 mBq/L recommended by WHO. The annual effective doses due to the ingestion of these drinking water samples were assessed using dose coefficients for infant, children and adult members of the public suggested by the WHO.

Keywords: Drinking water, Ground water, gross alpha, gross beta, annual effective dose, natural radioactivity, Nevşehir (Turkey).

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY.....	i
TEŞEKKÜR.....	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
KISALTMALAR VE SİMGELER.....	ix
TABLOLAR LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xii
1.BÖLÜM	
GİRİŞ.....	1
2.BÖLÜM	
GENEL BİLGİLER.....	6
2.1. Radyoaktivite.....	6
2.2. Radyoaktif Bozunum Yasası.....	7
2.3. Radyoaktivite Bozunum Süreçleri.....	8
2.3.1. Alfa Bozunumu.....	9
2.3.2. Beta Bozunumu.....	10
2.3.2.1. β^- Bozunumu.....	10
2.3.2.2. β^+ Bozunumu.....	11

2.3.3.	Elektron Yakalama Olayı.	11
2.3.4.	Gama Bozunumu.	11
2.4.	Doğal Radyoaktivite.	12
2.5.	Radyoaktif Seriler.	13
2.6.	Yer altı sularında Bulunan Doğal Radyoaktivite.	15
2.7.	Radyasyonun Madde ile Etkileşimi.	16
2.7.1.	Fotoelektrik Olay.	17
2.7.2.	Compton Saçılımı.	18
2.7.3.	Çift Oluşumu.	19
2.8.	Radyasyon Birimleri.	20
2.8.1.	Aktivite Birimleri.	21
2.8.2.	Spesifik Aktivite.	21
2.8.3.	Işınlama Birimi.	22
2.8.4.	Soğrulma Doz Birimi.	23
2.8.5.	Biyolojik Doz.	23
2.9.	Nükleer Radyasyon Ölçümü.	24
2.9.1.	Gazlı Dedektörler.	24
2.9.2.	Sintilasyon Dedektörler.	25
2.9.2.1.	Organik Sintilatörler.	26
2.9.2.2.	İnorganik Sintilatörler.	27

2.9.3.	Yarıiletken Dedektörler.	27
2.10.	Radyasyonun İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri.	28
2.10.1.	İyonlaştırıcı Radyasyonların Somatik Etkileri.	29
2.10.1.1.	Erken etkiler (Akut ışınlanma etkileri)	30
2.10.1.2.	Gecikmiş etkiler (Kronik ışınlanma etkileri)	31
2.10.2.	Radyasyonların İnsanlar Üzerindeki Genetik Etkileri.	33
2.11.	Daha Önce Yapılan Çalışmalar.	33
 3.BÖLÜM		
MATERYAL VE YÖNTEMLER.		
38		
3.1.	Örneklerin Toplanması.	38
3.2.	Örneklerin Ölçme İşlemine Hazırlanması.	41
3.2.1.	Su Örneklerinin Fiziksel Parametrelerinin Ölçülmesi.	43
3.2.2.	Su Örneklerinin Toplam Alfa Ölçümü İçin Hazırlanması.	44
3.2.3.	Su Örneklerinin Toplam Beta Ölçümü İçin Hazırlanması.	46
3.3.	Su örneklerdeki Toplam Alfa ve Beta Aktivitesinin Ölçülmesi.	47
3.3.1.	Dedektörün Verim Kalibrasyonu.	47
3.3.2.	Toplam Alfa ve Beta Aktivitesinin Hesaplanması.	48
3.3.3.	Ölçülebilir En Küçük Aktivite Değişimi.	49

4.BÖLÜM

BULGULAR.	50
4.1. Toplam Alfa ve Beta Radyoaktivite Derişimi.	50
4.1.1. İleri Analiz.	59
4.2. İçme Suyunun Tüketilmesinden Kaynaklanan Yıllık Etkin Radyasyon Dozunun Değerlendirilmesi.	60

5.BÖLÜM

TARTIŞMA - SONUÇ VE ÖNERİLER.	70
KAYNAKLAR.	74
ÖZGEÇMİŞ.	83

KISALTMA VE SİMGELER

DSÖ	: Dünya Sağlık Örgütü
ICRU	: Uluslararası Radyasyon Birimleri Komisyonu
SI	: Uluslararası Birim Sistemi
UNSCEAR	: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
ÇNAEM	: Çekmece Nükleer Araştırma Eğitim Merkezi
TAEK	: Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
KYSUYU	: Kuyu Suyu
İÇSUYU	: İçme Suyu
KPSUYU	: Kaplıca Suyu
YZSUYU	: Yüzey Suyu
H ₂ SO ₄	: Sülfürik Asit
K	: Potasyum
NH ₄ OH	: Amonyum Hidroksit
ÖEKAD	: Ölçülebilir En Küçük Aktivite Derişimi
TDS	: Çözölemeyen Toplam Kalıntı Miktarı
DSÖ	: Dünya Sağlık Örgütü
ÇOB	: Çevre ve Orman Bakanlığı
SB	: Sağlık Bakanlığı
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
AAS	: Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi
BDÖ	: Bireysel Doz Ölçütü
WHO	: World Health Organization
ICRP	: International Commission on Radiological Protection
YED	: Yıllık Etkin Doz
DK	: Doz Dönüşüm Katsayısı
YTSM	: Yıllık Tüketilen Su Miktarı
EPA	: Environmental Protection Agency

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1.	SI Birim Sistemindeki Radyoaktivite Birimleri.	20
Tablo 2.2.	Akut Işınlanmanın Etkileri.	31
Tablo 3.1.	Su örneklerinin toplandığı yerlere ilişkin ayrıntılı bilgi.	40
Tablo 3.2.	Deneilerde kullanılan araç, gereç, cihaz ve donanımların listesi.	41
Tablo 3.3.	Deneilerde kullanılan reaktifler.	42
Tablo 3.4.	Berthold LB 770 markalı gaz orantılı α/β sayacının teknik özellikleri.	42
Tablo 3.5.	Su örneklerinin pH ve sıcaklık değerleri.	43
Tablo 4.1.	İncelenen su örneklerinde ölçülen toplam alfa ve toplam beta aktivite derişimi ve çözülemeyen toplam kalıntı miktarı ve TDS.	52
Tablo 4.2.	Yer altı suyu örneklerinde ölçülen toplam α ve β değerlerine ilişkin istatistikî bilgiler.	53
Tablo 4.3.	İncelenen su örneklerinde ölçülen toplam α/β aktivite değerlerinin literatürde yer alan veriler ile karşılaştırılması.	58
Tablo 4.4.	KYSUYU - 18 ve KYSUYU - 22 örnekleri için yapılan ileri analiz sonucu.	59
Tablo 4.5.	KYSUYU - 18 ve KYSUYU - 22 örneklerinde ki toplam β aktivite derişimi.	59
Tablo 4.6.	Alfa ve beta yayınlayan radyonüklitler için doz dönüşüm katsayıları.	61
Tablo 4.7.	Bebekler tarafından tüketilen içme sularındaki alfa yayınlayan radyonüklitlerden kaynaklanan yıllık etkin doz değerleri.	62

Tablo 4.8.	Bebekler tarafından tüketilen içme sularındaki beta yayınlayan radyonüklitlerden kaynaklanan yıllık etkin doz değerleri.	63
Tablo 4.9.	Çocuklar tarafından tüketilen içme sularındaki alfa yayınlayan radyonüklitlerden kaynaklanan yıllık etkin doz değerleri.	64
Tablo 4.10.	Çocuklar tarafından tüketilen içme sularındaki beta yayınlayan radyonüklitlerden kaynaklanan yıllık etkin doz değerleri.	65
Tablo 4.11.	Erişkinler tarafından tüketilen içme sularındaki alfa yayınlayan radyonüklitlerden kaynaklanan yıllık etkin doz değerleri.	66
Tablo 4.12.	Erişkinler tarafından tüketilen içme sularındaki beta yayınlayan radyonüklitlerden kaynaklanan yıllık etkin doz değerleri.	67

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Dünya genelinde doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozlarının oransal değerleri.	13
Şekil 2.2.	Uranyum bozunum serisi.	14
Şekil 2.3.	Toryum bozunum serisi.	15
Şekil 2.4.	Elektromanyetik radyasyonun alüminyum ile etkileşimi.	17
Şekil 2.5.	Fotoelektrik olay.	17
Şekil 2.6.	Compton saçılması.	18
Şekil 2.7.	Çift oluşumu.	19
Şekil 2.8.	Gaz dolgulu detektörlerin voltaja bağlı çalışma bölgeleri.	25
Şekil 3.1.	Su örneklerinin alındığı yerler.	38
Şekil 3.2.	Toplanan su örnekleri.	41
Şekil 3.3.	Berthold LB 770 markalı gaz orantılı α/β sayacı.	42
Şekil 3.4.	Beherler ısıtıcı/magnetik karıştırıcı üzerine konur ve sülfirik asit, bromocresol purple indikatör çözeltisi ilavesi.	45
Şekil 3.5.	Çözeltilerin 6 N NH_4OH ilave edilmiş hâli.	45
Şekil 3.6.	Çökmesi için belirtilen örneklerin filtre kağıdına alınışı.	45
Şekil 3.7.	Plaçetlere yerleştirilen filtrelerin, ölçme işlemi için sayım sistemine alınması.	46

Şekil 3.8.	Kızılötesi lamba altında buharlaştırılan ve ısıtıcıda sabit tartıma getirilen örnekler.	47
Şekil 4.1.	İncelen örneklerde ölçülen toplam alfa ve beta aktivite derişimleri. . . .	53
Şekil 4.2.	27 adet içilebilir su örneğinde ölçülen toplam alfa aktivite derişim değerlerinin frekans dağılımı.	54
Şekil 4.3.	27 adet içilebilir su örneğinde ölçülen toplam beta aktivite derişim değerlerinin frekans dağılımı.	54
Şekil 4.4.	Toplam alfa ile TDS arasındaki ilişki.	55
Şekil 4.5.	Toplam beta ile TDS arasındaki ilişki.	55
Şekil 1.6.	Örneklerin alındığı yerlerin tahmini toplam alfa aktivite derişim dağılımı.	56
Şekil 2.7.	Örneklerin alındığı yerlerin tahmini toplam beta aktivite derişim dağılımı.	56
Şekil 4.8.	Su örneklerinde ölçülen toplam alfa aktivitesinin, DSÖ, ÇOB, SB ve TSE tarafından tavsiye edilen ölçüt değerler ile karşılaştırılması.	57
Şekil 4.9.	Su örneklerinde ölçülen toplam beta aktivitesinin, DSÖ, ÇOB, SB ve TSE tarafından tavsiye edilen ölçüt değerler ile karşılaştırılması.	57
Şekil 4.10.	Alfa yayımlayıcı radyonüklitlerden kaynaklanan ortalama yıllık etkin doz değerleri.	68
Şekil 4.11.	Beta yayımlayıcı radyonüklitlerden kaynaklanan ortalama yıllık etkin doz değerleri.	68
Şekil 4.12.	Bebek, çocuk ve erişkin için değerlendirilen YED değerleri.	69

1. BÖLÜM

GİRİŞ

Radyasyon hayatın kaçınılmaz bir gerçeğidir. Canlılar, yaşadıkları çevrede sürekli olarak iyonlaştırıcı veya iyonlaştırıcı olmayan radyasyona maruz kalabilmektedir. Canlılar üzerinde somatik ve genetik etkilere yol açabilen iyonlaştırıcı radyasyon, doğal veya yapay radyoaktif kaynaklardan ileri gelmektedir. Doğal radyoaktif kaynakları; kozmojenik ve yerkabuğu kökenli radyonüklitler oluşturmaktadır. Kozmojenik radyonüklitler (^3H , ^7Be , ^{14}C , ^{22}Na vb.), atmosfere nüfuz edebilen kozmik ışınların atmosfer tabakasında bulunan bazı elementler ile karmaşık tepkimeleri sonucunda; yerkabuğu kökenli primordial radyonüklitler (uranyum, toryum ve aktinyum doğal radyoaktif serilerine ait radyonüklitler ile ^{40}K , ^{87}Rb , ^{138}La , ^{147}Sm ve ^{176}Lu) ise yıldızlardaki nükleosentez süreci ile meydana gelmiştir [1]. Yapay radyoaktif kaynakları; tıp, tarım, endüstri, nükleer madde kaçakçılığı, uyuşturucu ve patlayıcıların tespitinde kullanılan radyonüklitler (^{60}Co , ^{137}Cs , ^{147}Pm , ^{32}P , ^{111}In , ^{99}Tc , ^{241}Am , ^{192}Ir , ^{131}I , ^{201}Tl , ^{67}Ga , ^{18}F vb.) ile özellikle 1945-1980 arasında yapılan toplam 543 atmosferik nükleer silah denemesi ve 1986 yılında meydana gelen Çernobil Nükleer Santrali Kazası sonrasında doğrudan atmosfere salınan radyonüklitler (^3H , $^{89,90}\text{Sr}$, $^{134,137}\text{Cs}$, ^{238}Pu , ^{239}Pu vb.) oluşturmaktadır [2].

Gıdalar (içme suyu, sebze, meyve, tahıl, kuruyemiş, baharat, hayvansal ürünler vb.), çevresel örnekler (toprak, kayaç, mantar, yosun, yüzey, yer altı suyu ve kaplıca suyu vb.) ve yapı malzemeleri (briket, granit, mermer, çimento, fayans, tuğla, beton vb.), bölgenin jeokimyasal yapısına bağlı olarak uranyum, toryum ve aktinyum serisine ait radyonüklitleri ve diğer primordial radyonüklitleri içermektedir. Bu radyonüklitlerden yayımlanan gama radyasyonu, doğrudan dış ışınlamaya sebep olurken sindirim ve solunum yoluyla alınan radyonüklitlerden yayımlanan alfa ve beta radyasyonu ise iç ışınlamaya katkıda bulunmaktadır. Ancak aktinyum serisinin ana radyonüklitini oluşturan ^{235}U 'in, yer kabuğundaki ^{238}U içerisindeki izotopik bolluğunun düşük olmasından

dolayı aktinyum serisinde ki radyonüklitler ile ^{87}Rb , ^{138}La , ^{147}Sm , ^{176}Lu gibi radyoizotopların ışınlamaya katkısı çok düşük seviyededir. Yaşam standartlarına, yaşanan ortamın fiziksel özelliklerine ve coğrafi şartlara bağlı olarak değişiklik göstermekle birlikte bireylerin maruz kaldığı yıllık ortalama 3 mSv'lik etkin radyasyon dozunun yaklaşık %80'i (2,4 mSv), doğal radyoaktif kaynaklardan ve %19,6'sı (0,59 mSv) ise tıpta teşhis amacıyla kullanılan yapay radyoaktif kaynaklardan ileri gelmektedir [3]. Bireylerin maruz kaldığı doğal radyasyon dozunun yaklaşık %12'si (0,29 mSv), gıda ve içme suyundaki radyonüklitlerden kaynaklanmaktadır.

Su, canlıların için hayati önem sahip bir gıdadır. Temiz, kaliteli ve güvenli içme suyuna ulaşmak insan sağlığı için elzemdir, temel bir insan hakkıdır ve sağlığın korunmasına yönelik etkin politikanın ana unsurudur. İçme suyu kaynaklarını, yer altı suları ile yüzey suları oluşturmaktadır. Yer altı suları, hidrolojik döngü ile yağmur sularının toprak ve kayalar tarafından süzülmesi sonucunda meydana gelmektedir. Yağmur ve kar yağış miktarı, buharlaşma, toprağın yapısı vb. unsurlar, yer altı suyu kaynaklarının oluşmasında etkilidir. Bilindiği gibi yağmur sularının bir kısmı doğrudan buharlaşır, bir kısmı bitkilerin terlemesi ile kaybolur, bir kısmı toprak ve kayalar tarafından süzülür ve bir kısmı da nehirlerle denizler taşınır. Yer altı sularındaki radyoaktivite, toprak ve kayalarda bulunabilen alfa ve beta bozunumu yapan doğal (uranyum serisine ait radyonüklitler: ^{238}U , ^{234}U , ^{230}Th , ^{226}Ra , ^{222}Rn , ^{218}Po , ^{210}Po , ^{210}Pb ; toryum serisine ait radyonüklitler: ^{232}Th , ^{228}Th , ^{228}Ra , ^{220}Rn ve ^{40}K) ve yapay (^3H , ^{14}C , $^{134,137}\text{Cs}$, $^{89,90}\text{Sr}$, ^{131}I , ^{239}Pu , ^{241}Am) radyonüklitlerin aktivite derişimleri ile doğrudan ilgilidir. Çünkü yer altı suyunun toprak ve kayalarla etkileşmesi sonucunda çözünen ve serbest kalan radyoaktif bileşenlerin miktarı; toprağın jeokimyasal kompozisyonuna, mineralojik yapısına, suyun kimyasal yapısına, kayaların aşınma derecesine, redoks şartlarına ve yer altı suyunun toprak ve kayalarda bekleme süresine bağlı olarak değişebilmektedir. Sonuç olarak yer altı suları ile taşınan bu radyonüklitler, insanlar tarafından doğrudan içme suyu olarak kullanılan yer altı suları ve dolayı olarak tarla bitkilerinin sulanmasında kullanılan yer altı veya yüzey suları aracılığıyla gıda zincirine girer.

İçme suyunun sindirilmesi ile vücuda alınabilen ^{238}U , ^{234}U , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{210}Po , ^{40}K vb. uzun yarı ömürlü radyonüklitler; böbreğin, karaciğerin, mesanenin, kemiklerin ve kemik iliğinin ışınlamasına dolayısıyla bireylerin sağlığını tehdit edebilecek boyutta radyasyon dozu almasına sebep olabilmektedir. Bununla birlikte içme sularında bulunan radiumun (^{226}Ra) alfa bozunumundan oluşan radon (^{222}Rn) gazının solunum 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 açarak zaman içerisinde akciğer kanser riskini artırabilmektedir. Bu sebeple, içme sularındaki mikroorganizmalar, kimyasalların yanı sıra radyoaktiviteden kaynaklanan düşük seviyeli de olsa radyasyona uzun süre maruz kalınması, bireylerin sağlığını tehdit edecek seviyede riskler oluşturabileceğinden içme sularının kalitesinin sıkı bir şekilde kontrol edilmesi gerekmektedir. Dolayısıyla bu durum, içme sularındaki veya içme su kaynakları olarak kullanılan yer altı ve yüzey sularındaki radyoaktivitenin ölçülmesi, izlenmesi ve sınırlandırılması zorunlu hâle getirmiştir. Bu gün birçok ülke, Dünya Sağlık Örgütü'nün (DSÖ veya WHO) içme suyu kalitesine ilişkin olarak tavsiye ettiği yol gösterici bilgiyi dikkate alarak içme sularındaki aktiviteyi sınırlayan standart veya yönetmelik hazırlamıştır [4, 5, 6, 7, 8, 9, 10]. Genelde, standart veya yönetmeliklerde, içme suları için bireysel doz ölçütünü (BDÖ), 0,1 mSv/yıl olarak tavsiye edilmiştir [10]. Bu ölçüt, Avrupa Komisyonu'nun İçme Suyu Direktifinde toplam gösterge dozu (TGD) olarak isimlendirilmiş ve aynı değer kabul edilmiştir [4]. Ancak BDÖ veya TGD doğrudan ölçülememekte; su örneklerindeki mevcut bulunan her bir doğal ve yapay radyonüklitlerin katkılarının toplanmasından hesaplanmaktadır. Söz konusu katkının belirlenebilmesi ise her bir radyonüklitin analiz edilmesiyle mümkün olabilmektedir. Deneyimler farklı tipte radyasyon (alfa, beta ve gama) yayınlayabilen radyonüklitlerin analizlerinin radyokimyasal ayırma ve saflaştırma işlemleri gerektirdiğinden pahalı ve zaman alan bir süreçtir olduğunu göstermiştir. Bu sürecin yerine daha uygulanabilir bir yöntem olan ve içme sularının içerdiği toplam alfa ve beta aktivitesinin ölçülmesini esas alan tarama yöntemi tercih edilmiştir. Bu bağlamda, toplam alfa ve beta ölçümü, içme sularının içerdiği radyonüklitlere (radyoizotoplara) yönelik ileri analizlerin gerekli olup olmadığını belirlemek için ön tarama yöntemi olarak kullanılabilirdiği gibi içme su kaynaklarındaki radyolojik karakteristiğindeki değişimlerin algılanması ve içme sularının radyonüklit içeriğindeki uzaysal ve/veya zamansal yönelimlerin saptanması için de kullanılabilir.

İçme sularına yönelik DSÖ'nün belirlenmesinde, tarama seviyeleri olarak toplam alfa aktivitesi için 500 mBq/L ve toplam beta aktivitesi için ise 1000 mBq/L esas alınmıştır [11]. İçme sularının radyonüklit içeriğinin hem güvenilir hem de uygun maliyette değerlendirilebilmesini mümkün olduğu kadar uygun hâle getirdiği için tavsiye edilen bu sınır değerlerin aşılmaması, ileri analiz gerekmediği anlamına gelmektedir.

Ülkemizde ise Sağlık Bakanlığı tarafından hazırlanan İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmelikte (17/02/2005 tarih ve 25730 sayılı Resmi Gazete) ve İçme Suyu Standardında [12], BDÖ değeri olarak Dünya Sağlık Örgütü'nün tavsiye ettiği 0,1 mSv/yıl ve tarama sınır değerler olarak da Dünya Sağlık Örgütü'nün 2006 yılından önce tavsiye ettiği toplam alfa aktivitesi için 100 mBq/L ve toplam beta aktivitesi için 1000 mBq/L dikkate alınmıştır. Ancak, Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından hazırlanan Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelikte (13/02/2008 tarih ve 26786 sayılı Resmi Gazete), "Sınıf I-Yüksek Kaliteli Su" kalite sınıfı için toplam alfa aktivitesi sınır değeri 500 mBq/L, toplam beta aktivitesi sınır değeri ise 1000 mBq/L olarak belirlenmiştir [2].

Son yıllarda Türkiye'nin farklı şehirlerinde kullanılan içme, yüzey ve kaplıca sularındaki doğal radyoaktivitenin belirlenmesine yönelik çalışmalarda artış görülmektedir [13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20]. Ancak literatürde, 2011 yılı nüfus sayımına göre 283.247 bin nüfusa ve 5.467 km²'lik yüzey alanına sahip Nevşehir İlinde ve ilçelerinde özellikle tedavi amaçlı kaplıca (termal) tesislerinin yoğun bulunduğu Kozaklı İlçesinde kullanılan sulara yönelik olarak ayrıntılı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Nevşehir İlinde yer altı suları (kuyu suları) içme suyunun en önemli kaynağını oluşturmaktadır.

Bu çalışmanın amacı;

- Nevşehir İli ve ilçelerinde kullanılan su kaynaklarının özellikle yer altı sularının radyolojik açıdan kalitesinin, ulusal ve uluslararası yönetmeliklere veya standartlara uygun olup olmadığının araştırılması,
- Bireylerin maruz kaldıkları olası radyolojik risklerin değerlendirilmesine ilişkin olarak içme sularından kaynaklanan ilave radyasyon dozunun değerlendirilmesi,
- İçme sularının kalitesi, yönetimi ve kullanılması ilgili standartların geliştirilmesine yönelik olarak yol gösterici bilgilerin ve içme suyu kaynaklarının doğal ve yapay radyasyon seviyesindeki önemli değişimlerin belirlenmesi, herhangi bir kaza sonrasında radyoaktif kirlenmenin boyutlarının değerlendirilmesi ve insan sağlığı ile çevre üzerindeki etkilerinin doğru şekilde belirlenebilmesi için ön bilgilerin elde edilmesi ve sınır değerlerin aşılması durumunda, gerekli tedbirlerin alınmasına yönelik olarak verilerin ilgili kurum ve kuruluşlar ile paylaşılmasıdır.

Bu amaca yönelik olarak tez kapsamında, 29 ayrı noktadan toplanan Nevşehir İli ve ilçelerinde içme suyu kaynağı olarak kullanılan 24 adet kuyu suyu, 3 adet kaplıca suyu

2 adet yüzey suyu ve 1 adet içme suyu olmak üzere toplam 30 adet su örneğindeki toplam alfa ve beta aktivitesi ölçülmüştür. İncelenen su örnekleri içinde toplam beta aktivitesi tarama sınır değeri olan 1000 mBq/L'den büyük olan iki kuyu suyu örneği ileri analize tabi tutulmuştur. Su örneklerindeki bulunan alfa ve beta radyasyonu yayınlayan radyonüklitlerden kaynaklanan yıllık etkin doz, bebek, çocuk ve erişkinlere yönelik olarak değerlendirilmiştir.

Tez kapsamında yapılan çalışma giriş bölümü dâhil beş bölümden oluşmaktadır. Çalışmanın birinci bölümünü oluşturan bu bölümde, yapılan çalışmanın konusu, önemi ve amacına yönelik bilgi verilmiştir. İkinci bölümde, radyoaktivite, bozunum süreçleri, radyoaktif denge, doğal radyoaktif seriler, sulardaki radyoaktivite, radyasyon, iyonlaştırıcı radyasyonun madde ile etkileşmesi, doz birimleri, radyasyon ölçüm sistemleri ve iyonlaştırıcı radyasyonun insan sağlığı üzerindeki etkileri hakkında fazla ayrıntıya girmeden ilgili kaynaklar gösterilerek kuramsal genel bilgi verilmiş ve daha önce yapılan çalışmalar özetlenmiştir. Üçüncü bölümde, Nevşehir ili ve ilçelerinden temin edilen 30 adet su örneğinin ölçme işlemine hazırlanması için kullanılan radyokimyasal yöntem, su örneklerinde bulunan toplam alfa ve beta aktivitesinin ölçülmesinde kullanılan Türkiye Atom Enerjisi Kurumuna bağlı Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezindeki gaz orantılı, 10 kanallı, çoklu dedektörlü ve düşük zemin sayımına sahip alfa/beta sayacı (Berthold LB 770) ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Dedektörün verim kalibrasyonu ve aktivitenin hesaplanmasına yönelik yapılan çalışmalara yer verilmiştir. Dördüncü bölümde, tablo ve grafikler hâlinde verilen sonuçlar, literatüre yer alan çalışmaların sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca bu bölümde, su örneklerindeki doğal radyoaktiviteden kaynaklanan yıllık etkin doz; bebek, çocuk ve yetişkinler için hesaplanmış ve elde edilen veriler tablolar hâlinde sunulmuştur. Beşinci ve son bölümde elde edilen veriler, tavsiye edilen sınır ve ölçüt değerler ile karşılaştırılarak tartışılmıştır.

2. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER

2.1. Radyoaktivite

Radyoaktivite kararsız olan bir elementin, çeşitli parçacıklar salarak veya ışımaya yaparak kararlı ve başlangıçtakinden fiziksel ve kimyasal olarak farklı bir elemente dönüştüğü bir süreç olarak tanımlanabilir. Her atomun çekirdeği şüphesiz kararsız değildir; yani radyoaktivite çekirdek için ayırt edici fiziksel bir özelliktir. Kararsız olan çekirdekler alfa (α), beta (β) ve gamma (γ) gibi yüksek enerjili parçacıklar salarak kararlı hale gelirler. α parçacıkları iki nötron ve iki protonlu Helyum (${}^4_2\text{He}$) çekirdekleridir. β parçacıkları yüksek enerjili elektronlardır. Bazı radyoaktif süreçlerde elektronların karşıt parçacıkları olan ve pozitron (β^+) adı verilen ürünler ortaya çıkmaktadır. γ ise bildiğimiz manada fotonlardır ve oldukça yüksek enerjilidirler.

Atom numarası küçük olan kararlı atom çekirdekleri eşit sayıda proton ve nötron içerirken atom numaraları daha büyük olan kararlı atom çekirdekleri protondan biraz daha fazla nötron içerirler. Proton sayısı, nötrona göre veya nötron sayısı, protona göre daha fazla olan kararlı atom çekirdekleri, kendiliğinden ve rastgele bir bozunuma uğrayarak veya bir takım radyasyon veya ışınlar yayınlamaya niteliğini değiştirip daha kararlı bir başka çekirdeğe dönüşme eğilimindedirler. Bu tür çekirdekler “radyoaktif çekirdek” ve fiziksel olay ise radyoaktivite olarak isimlendirilir. Radyoaktivite kontrol edilemeyen, yavaşlatılamayan veya durdurulamayan ve her türlü dış parametreden (sıcaklık, basınç, nem vb.) bağımsız olarak zayıflayan bir tempo ile devam eden fiziksel bir olaydır [53].

2.2. Radyoaktif Bozunum Yasası

Radyoaktifliğin keşfedildiği 1896 yılını izleyen üç yılda, saf bir radyoaktif numunenin zamanla bozunma hızının üstel kanuna uyduğu gösterilmiştir. Bozunmanın istatistiksel yapıda olduğunun, yani herhangi bir atomun ne zaman bozunacağını bilinmemesi ve bu hipotezin doğrudan üstel kanuna uyduğunun anlaşılması ise iki yıl almıştır. Bozunum rastgele bir tabiata sahip olduğu kabul edilerek çalışmalar yapılmıştır, ancak bozunuma uğrayan çekirdeklerin sayıları bulunabilirdi. Eğer bir t anında N radyoaktif çekirdek varsa ve numuneye yani çekirdekler ilave ediliyorsa, dt süresi içinde bozunan dN çekirdek sayısı, N ile orantılıdır.

$$\lambda = - \left(\frac{dN/dt}{N} \right) \quad (1.1)$$

Burada λ bozunma veya parçalanma sabitidir.

t = 0 anında N_0 tane radyoaktif çekirdek olduğu farzedilir ve (1.1) bağıntısının her iki yanını N'ye bölünüp, integrali alınır ,

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (1.2)$$

bağıntısı bulunur. Burada N herhangi bir t zamanındaki radyoaktif çekirdeklerin sayısı ve λ bozunum sabitidir. Radyoaktif çekirdek sayısının zamanla (1.2) bağıntısına göre değişim gösterdiği bu yasaya radyoaktif bozunum yasası denir. (1.2) bağıntısının zamana göre türevi alındığında,

$$A = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = \lambda N \quad (1.3)$$

Elde edilir. Burada A aktivitedir ve SI birim sisteminde saniyedeki bozunuma karşılık gelen Becquerel'dir.

Radyoaktif maddelerle ilgili önemli diğer bir karakteristik değer yarılanma süresidir. Başlangıçta N_0 radyoaktif çekirdek ihtiva eden bir madde atomlarının, bozunum

sürecinde başlangıç çekirdek sayısının yarıya ininceye kadar geçen süreye o radyoaktif elementin yarılanma süresi veya yarı-ömrü denir ve $T_{1/2}$ ile gösterilir.

$t = T_{1/2}$ ve $N = N_0/2$ olarak alındığında, yarılanma zamanı ile bozunum sabiti arasındaki

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda} \quad (1.4)$$

İlişki elde edilir.

Bir çekirdeğin bozununcaya kadar geçirdiği ortalama süreye ise ortalama ömür denir ve τ ile gösterilir. t süresi içinde bozunuma uğramadan kalan çekirdeklerin sayısı N 'dir ve t ile $t + dt$ aralığında bozunuma uğrayanların sayısı $(dN/dt) \cdot dt$ dir. Bu durumda ortalama ömür,

$$\tau = \frac{\int_0^{\infty} t \left[\frac{dN}{dt} \right] dt}{\int_0^{\infty} \left[\frac{dN}{dt} \right] dt} \quad (1.5)$$

Olarak elde edilir. Paydadaki terim toplam bozunum sayısıdır ve integral alındığında,

$$\tau = 1/\lambda \quad (1.6)$$

Bulunur [53].

2.3. Radyoaktivite Bozunum Süreçleri

Radyoaktif çekirdekler kendiliğinden bozunuma uğrarlar. Bu süreç şu şekilde gerçekleşebilir. Alfa ve beta bozunumlarında kararsız bir çekirdek, alfa ya da beta parçacıkları yayarak daha kararlı bir çekirdek haline gelmeye çalışır. Gama bozunumu ise çekirdeğin cinsi değişmeden uyarılmış bir durumdan taban duruma bozunmasıdır. Bilinen radyoaktif bozunum süreçleri aşağıda verilmiştir.

- Alfa (α) bozunumu
- Beta bozunumu ($\beta -$ ve $\beta +$ bozunumu)
- Elektron yakalanma olayı
- Gama bozunumu (γ -yayma)

2.3.1. Alfa (α) Bozunumu

Alfa parçacıkları, çekirdek tarafından yayınlanan iki proton ve iki nötrondan oluşan pozitif yüklü helyum çekirdeğidir. Bir başka deyişle, 4 kütle birimi ve 2 pozitif elektriksel yük birimi ile helyum çekirdeği olan alfa parçacığının ana çekirdekten kopması, onun fiziksel özelliğini, ürün çekirdekte A'nın (Atom numarasını) değerini 4, Z'nin (Kütle numarasını) değerini 2 azaltacak şekilde değişmektedir [54].



$$Q = \Delta mc^2 = [m(X) - m(X') - m({}^4_2 He)].c^2 \quad (1.8)$$

Alfa bozunumu genellikle kütle numarası 190'dan büyük çekirdeklere daha sık görülür. Çünkü yüklü bir parçacık olduğundan içerisinde geçtiği maddenin elektronları ile yoğun bir şekilde etkileşir. Bu bağlamda alfa taneciği çekirdeğin fırlatabildiği en ağır kütle olarak kabul edilmektedir. Beta taneciğinden yaklaşık 7500 kat daha ağırdır. Radyoaktif bozunumlar içerisinde en büyük kütle ve enerji kaybı alfa bozunumu ile gerçekleşmektedir. Hızı yani kinetik enerjisi sıfır olduğu zaman, ortamdan iki elektron yakalayarak, kararlı helyum atomu hâline gelmektedirler. ${}^4_2 He$ Çekirdeği yüksek enerjiye sahip olsa da ağır kütlesi nedeniyle menzili çok kısadır. Doğal olarak bulunan radyoaktif maddelerden yayınlanan alfa parçacıklarının (taneciklerinin) enerjileri yaklaşık olarak 4 MeV ile 9 MeV arasındadır Çizelge 2.3. Alfa parçacığı içinden geçtiği soğurucu ortamdaki elektronlarla güçlü bir elektrostatik çekim kuvveti meydana getirir. Bununla birlikte, ortamda bulunan atomların çekirdekleri ile karşılaşmaları sonucu oluşan Coloumb kuvveti ile itilmektedir. Buna göre, çekirdek bozunumu sırasında sabit ve çok büyük bir kinetik enerjiyle fırlatıldıkları düşünülürse, soğurucu ortam atomları ile etkileşme olasılığının yüksek olduğu görülmektedir [55].

2.3.2. Beta Bozunumu

Beta bozunumu çekirdekdeki nötronun protona veya protonun nötrona dönüşmesi esnasında ortama yayılan enerjinin elektron olarak formlaşıp ortama yayılması olarak tanımlanabilir. Yapılan ölçümler sonucunda, beta parçacığının kütlesi elektronun kütlesine eşit bulunmuş ve elektronun kütlesinin, bir nükleonun kütlesinden 1836 kat daha küçük ve $m_e=9.10^{-31}$ kg olduğu belirlenmiştir. Daha sonra yapılan çalışmalarda, bir atomun bir beta parçacığı yayınlanmasıyla, daima listede bir üst sırada bulunan elementin atomuna dönüştüğü gözlenmiştir. Buna göre, doğal olarak yüklerinin -1 elektronik birime sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Beta parçacığının atom ağırlığı ihmal edilebilmektedir. Beta parçacığının yayınlanması sonucunda oluşan radyoizotop, başlangıçtaki izotop ile aynı atom ağırlığında kalmaktadır. Beta parçacığı kütlesi ve elektriksel yükü itibariyle elektrona denk bir taneciktir. Elektrondan tek farkı elektriksel yükünün hem artı hem de eksi olabilmesidir.

2.3.2.1. β^- bozunumu

Eğer bir radyonüklidin kararsızlığı çekirdekdeki nötron fazlalığından ileri geliyorsa, çekirdeğindeki enerji fazlalığını gidermek için nötronlardan birini proton ve elektron haline dönüştürür Denklem (1.9). Proton çekirdekte kalırken, elektron hızla atomdan dışarı atılır.



Bu yüksek hızlı negatif yüklü beta parçacığına negatron (β^-) adı verilir. Bu şekilde beta emisyonu yapan radyonüklidin atom numarası bir artarak kendinden bir sonraki elementin izobar atomuna dönüşür. Bu bozunuma da kütle sayısı değişmediği için izobarik bozunma adı verilmiştir Denklem (1.10).



2.3.2.2. β^+ bozunumu

Atomun kararsızlığı nötron azlığından veya proton fazlalığından ileri geliyorsa protonlardan biri nötron ve pozitif yüklü elektrona dönüşür. Pozitif yüklü bu elektrona pozitron (β^+) diyoruz Denklem (1.11).



Haliyle nötron çekirdekte kalır, pozitron dışarı fırlatılır. Böylece pozitron yayımlayan radyonüklidin, proton sayısı (atom numarası) bir eksilererek kendinden bir önceki elementin atomuna dönüşür, fakat kütle sayısı değişmez Denklem (1.12).



2.3.3. Elektron Yakalama Olayı

Çekirdek proton fazlalığından dolayı kararsız ise atomun çekirdeğinde ki yörüngelerine yakın elektronlarından biri çekirdek tarafından yakalanır. Elektronla bir proton birleşerek, nötron ve nötrino haline dönüşür Denklem (1.13).

Bu bozunumda çekirdekten parçacık salınmaz ancak pozitron bozunmasında olduğu gibi proton sayısı bir eksilir, kütle numarası ise aynı kalır Denklem (1.14). Bu olayda boşalan elektron yörüngesine üst yörüngelerdeki başka bir elektron geçer ve bremmstrahlung (frenleme) radyasyonu adı verilen x ışınları yayınlanır.



2.3.4. Gama (γ) Bozunumu

İlk kez 1900 yılında Fransa'da P. Villard tarafından gözlemlenildi ve 1903 yılında Rutherford tarafından gama ışınları olarak adlandırılmıştır. Rutherford gama ışınlarının, X-ışınları gibi çok kısa dalga boylu olduğunu, gama ışınlarının kristallerden saçılmalarını gözleyip dalga boylarını ölçerek kanıtlayabilmiştir. Gama ışınları, oldukça nüfuz edici fakat manyetik alan ile kolayca saptırılmayan ışınlardır [56].

Gama ışınları elektromanyetik özelliğe sahiptir ve elektrik ve manyetik alanda sapma göstermez. Bu nedenle bu ışınlara elektromanyetik ışınım fotonu da denir. Gama ışınları X- ışınlarına benzer fakat onlardan daha giricidirler.

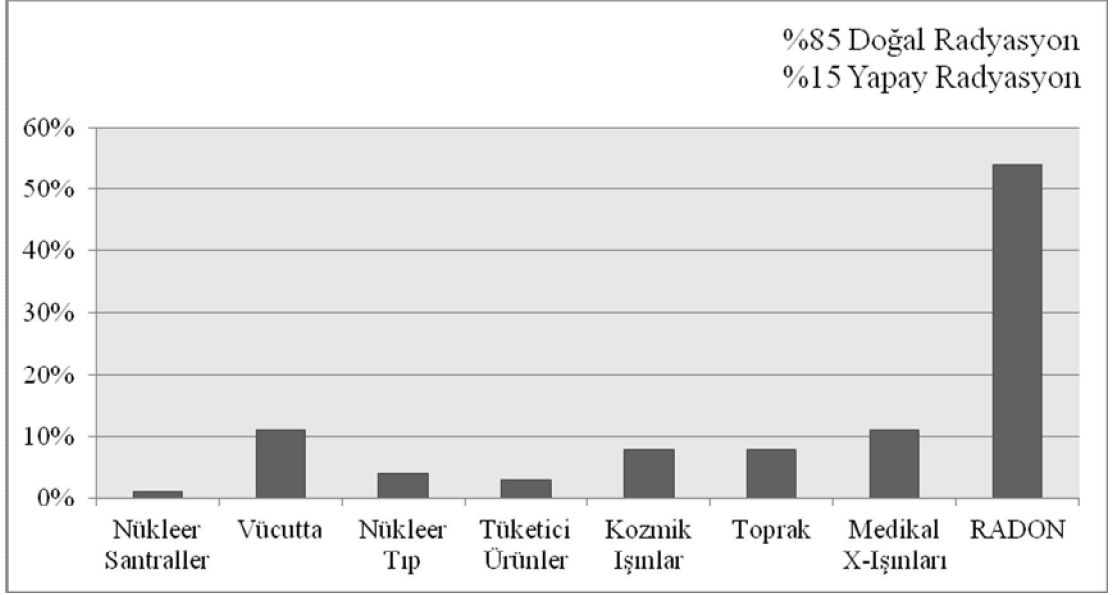
Gama yayınlamasının yarı ömrü çok kısadır, genellikle 10^{-9} den daha küçüktür ancak saat, hatta gün mertebesinde yarı ömürlü γ yayınlaması da vardır. Gama ışınlarını enerjileri 0,1 - MeV arasında olup çekirdek durumları arasındaki enerji farkı mertebesinde ve 10^4 le 100 fm dalga boyu aralığına karşılık gelir. Gama ışınması elementin atom numarasını ve kütle numarasını değiştirmez. Gama radyasyonu ışık gibi fotonlardan oluşur ve ışık hızıyla yayılır [57].

2.4. Doğal Radyoaktivite

İnsanlar, sürekli olarak biyosferde bulunan, doğal radyoaktif maddelerden yayınlanan iyonlaştırıcı radyasyonlar ve güneş sisteminden kaynaklanan kozmik ışınların etkisi altında kalarak yaşamlarını sürdürmektedir. Dünyanın oluşumuyla birlikte tabiatta yerini alan çok uzun ömürlü (milyarlarca yıl) radyoaktif elementler yaşadığımız çevrede normal ve kaçınılmaz olarak kabul edilen doğal bir radyasyon düzeyi oluşturmuşlardır. Geçtiğimiz yüzyılda bu doğal düzey, nükleer bomba denemeleri ve bazı teknolojik ürünlerin kullanımı ile bir hayli artış göstermiştir. Maruz kalınan doğal radyasyon seviyesinin büyüklüğünü belirleyen birçok neden vardır. Yaşanılan yer, bu yerin toprak yapısı, barınılan binalarda kullanılan malzemeler, mevsimler, kutuplara olan uzaklık ve hava şartları bu nedenlerden bazılarıdır. Yağmur, kar, alçak basınç, yüksek basınç ve rüzgâr yönü gibi etkenler de doğal radyasyon seviyesinin büyüklüğünü belirler.

İnsanlar, hayatın bir parçası olarak dış uzay ve güneşten gelen kozmik ışınlar, yer kabuğunda bulunan radyoizotoplar dolayısıyla toprak ve yapı malzemeleri, su ve gıdalar gibi doğal kaynaklardan ışınlanmaktadır. Bunlara ilave olarak enerji üretimi, tıp, endüstri, araştırma, tarım, hayvancılık gibi pek çok alanda kullanımı kaçınılmaz olan yapay kaynaklar nedeni ile doz almaktadır. Yaşam standartları, yaşadıkları ortamların fiziksel özellikleri ve coğrafi şartlara bağlı olarak değişiklik göstermekle birlikte dünya genelinde kişi başına yaklaşık 2,8 mSv yıllık doza maruz kalınmaktadır. Dünya nüfusunun aldığı dozlara en büyük katkıyı, doğal radyasyonun vermesi nedeni ile

insanların doğal kaynaklardan aldığı radyasyon miktarları özel bir öneme sahiptir Şekil 2.1.



Şekil 2.1. Dünya genelinde doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozlarının oransal değerleri.

2.5. Radyoaktif Seriler

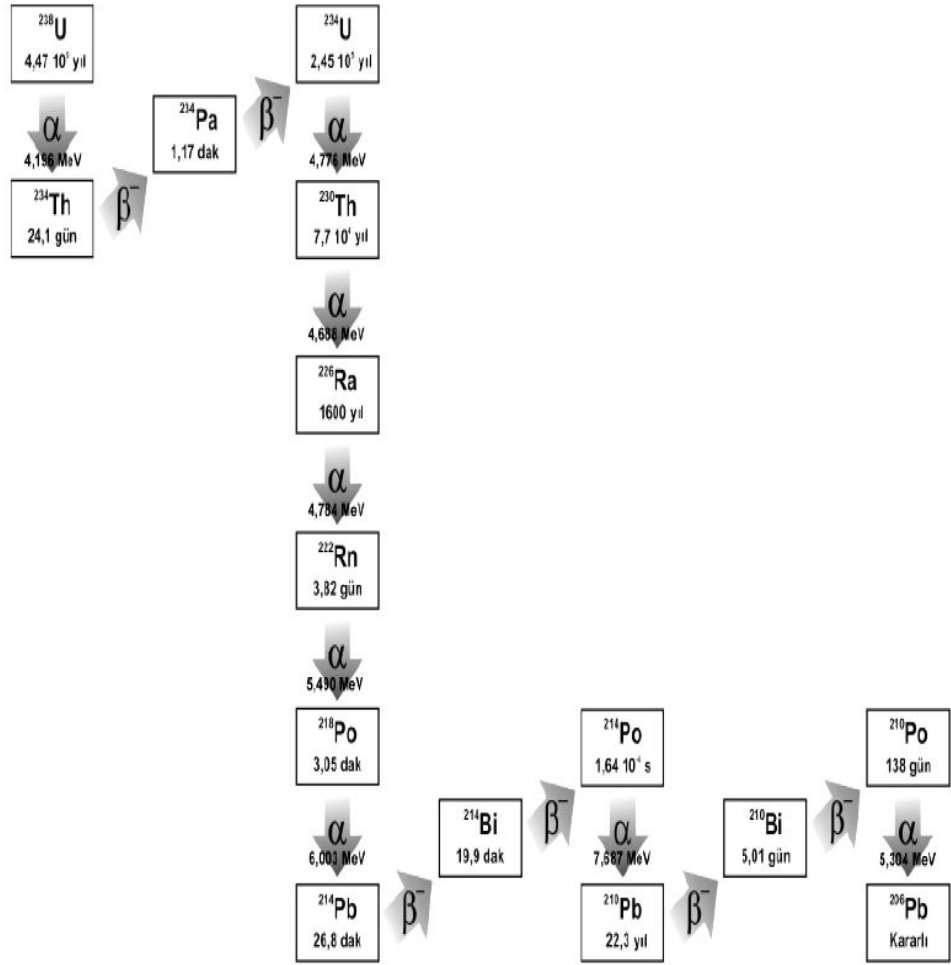
Radyoaktif izotopların çoğu yeryüzünün yaşına kıyasla çok uzun yarı-ömre sahiptirler. Bu nedenle yeryüzünün oluşumundan bu zamana kadar kararlı çekirdeklere bozunmaktadırlar.

Mevcut doğal radyoaktif izotoplarının çoğu ağır çekirdeklerin izotoplarıdır ve üç seri altında gruplandırılır. Bunlar; ^{232}Th serisi (yarı ömürlü 1.4×10^{10} yıl), ^{238}U serisi (yarı ömür 4.5×10^9 yıl) ve ^{235}U serisi (yarı ömür 7×10^8 yıl) dir.

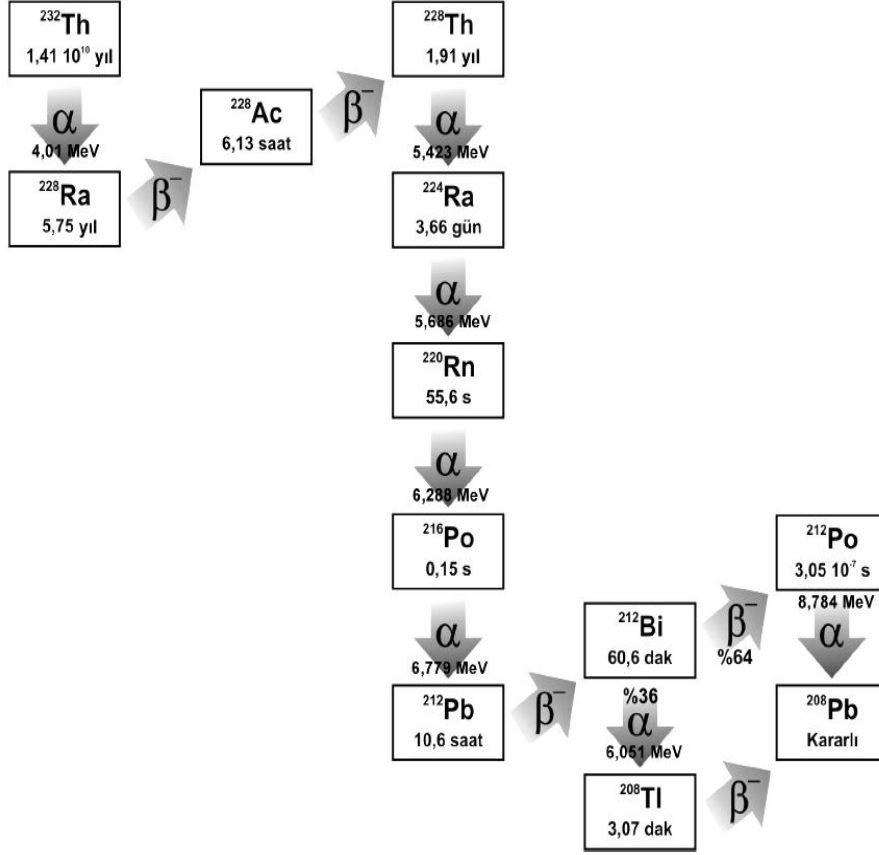
Uranyum ve Toryum içeren doğal minarelerin radyoaktif bozunumları, nükleer fizik çalışmalarının başlamasında büyük rol oynamaktadır. Dünyanın yaşı mertebesinden yarı-ömre sahip olan bozunumlar, nükleonların bir araya gelmesiyle yaratılan maddenin erken dönemden orda kaldığı ileri sürülmektedir. Daha kısa yarı-ömürlü çekirdekler bozunarak yok olduklarından bugün sadece uzun ömürlü bozunmalar gözlenmektedir.

^{235}U ve ^{238}U 'in son derece uzun yarı-ömürleri olmasaydı bugün doğada hiçbir Uranyum bulunmayacak ve muhtemelen hiç nükleer sektör yada nükleer silah olmayacaktı [53].

Radyoaktif serilerde bulunan çekirdekler α , β ve γ bozunumu ile kararlı bir kurşun izotopuna kadar bozunurlar Şekil 2.2., 2.3.



Şekil 2.2. Uranyum bozunum serisi [72].



Şekil 2.3. Toryum bozunum serisi [72].

2.6. Yer altı sularında Bulunan Doğal Radyoaktivite

Sulardaki doğal radyoaktivite seviyesinin belirlenmesi ile ilgili çalışmalar başlangıçta sadece kaplıca sularında yapılmaktaydı. Fakat son yıllarda yapılan ayrıntılı çalışmalarda içme sularında da doğal radyonüklitlerin bulunduğu ortaya çıkmıştır. Yapılan bu birçok araştırma da düşük dozlarda radyoaktiviteye sahip suların çeşitli hastalıkların tedavisinde yardımcı olduğu da görülmüştür. Ancak, uzun dönemde yüksek dozda bu tür suların tüketimiyle insan sağlığı olumsuz olarak etkilenmekte olduğu belirtilmiştir.

Yer altı suları, içerisinden geçtikleri kayalardan kaya-su etkileşimi ile aldıkları element ve mineraller, suların minareli, radyoaktif gibi özelliklere sahip olmasını sağlamaktadır. Radyoaktif yer altı suları radyoaktiviteye sahip bazı elementleri yoğun olarak bulduran belirli kayaç türleri ile daha uzun etkileşimde kalmaları sonucu

düşük veya yüksek seviyelerde radyoaktivite özelliği kazanmaktadırlar. Suyun kullanımını denetleyen önemli özelliklerden biri bu bahsettiğimiz radyoaktivite özelliğidir. Radyoaktif kirlenmenin boyutunu tespit etmede spesifik α ya da spesifik β yayan radyoizotopların tayinleri birtakım radyokimyasal ayırma ve saflaştırma işlemleri gerektirdiğinden her bir radyoizotopun tayini oldukça zaman alıcıdır. Ayrıca da yer altı sularındaki uranyum, toryum, radyum, radon gibi radyoaktif elementlerin analizlerinin oldukça pahalı olması radyoaktivitenin belirlenmesini zorlaştırmaktadır. Bu nedenle toplam α ve toplam β radyoaktiviteleri tayin edilir ve limit değerlerin üzerinde bir aktivite saptanırsa ancak o zaman radyoaktif kirlilikten söz edilir. Yani suların alfa-beta radyoaktivite değerleri radyoaktif elementlerin su içinde bulunma oranının göstergesidir diyebiliriz. Bu yüzden de Türkiye'nin doğal radyasyon haritasının çıkartılması bağlamında her türlü çevre ve gıda örneğinde toplam α/β radyoaktiviteleri tayinine yönelik çalışmalar yapılmaktadır.

2.7. Radyasyonun Madde ile Etkileşimi

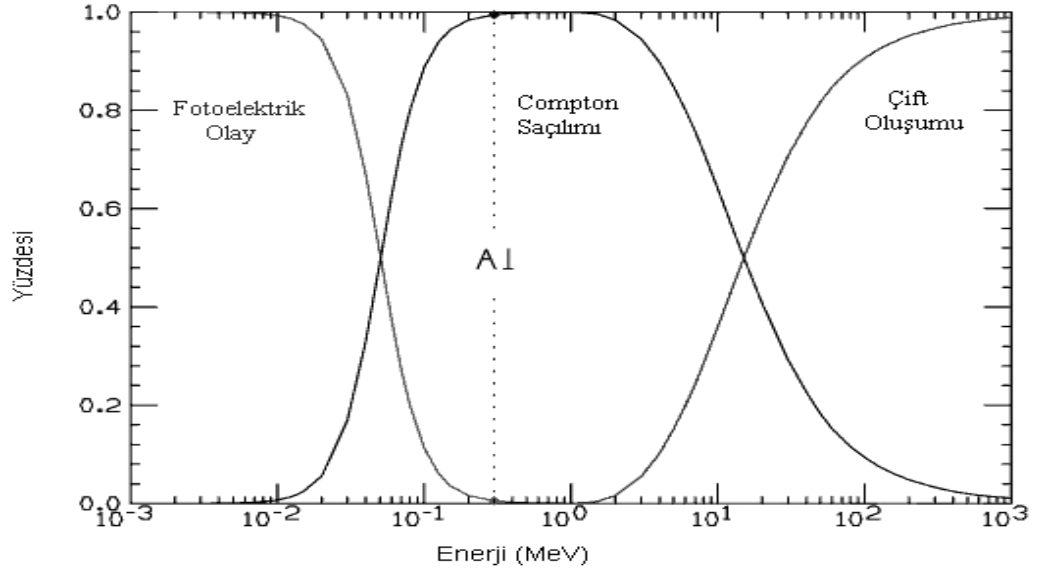
Radyasyon, yüksek hızlı parçacıkların ve elektromanyetik dalgaların uzayda yayılması olarak değerlendirilebilir. Canlılar sürekli olarak doğal ve yapay kaynaklardan yayımlanan radyasyonun etkisinde kalmaktadır.

Gama ve X ışını gibi bütün elektromanyetik radyasyonlar birçok olayda parçacıklara benzer davranış gösterdiği için, çok küçük enerji paketleri anlamına gelmek üzere bu radyasyonların birim elemanına foton adı verilmiştir. Radyasyonun belli bir frekansı için bütün paketlerde taşınan enerji aynıdır ve Denklem (1.15)'deki gibi ifade edilir.

$$E = h.v \quad (1.15)$$

Fotonlar, içinden geçtikleri ortamın (maddenin) atomları ile rastgele yaptıkları karşılıklı etkileşimler sonucunda ortama enerji bırakarak absorblanabileceği gibi saçılmada uğrayabilirler.

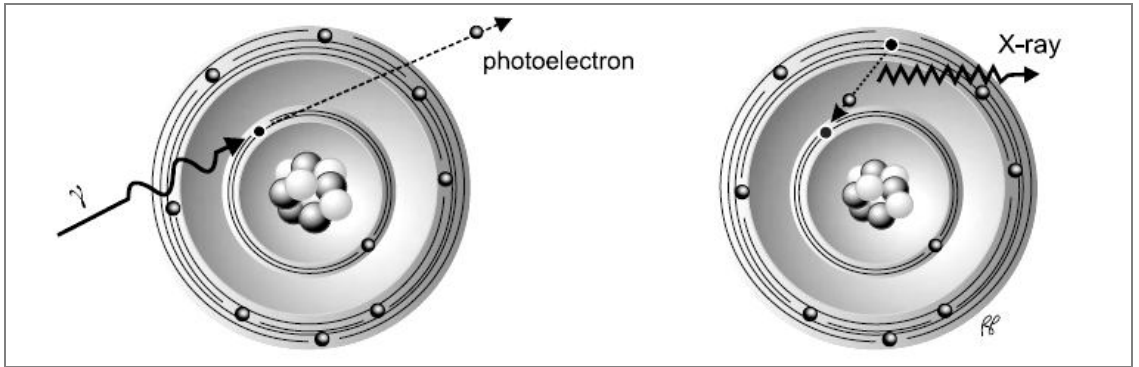
Elektromanyetik radyasyonun madde ile etkileşiminde rol oynayan en önemli üç olay; Fotoelektrik Olay, Compton Saçılımı, Çift oluşumu olaylarıdır Şekil 2.4.



Şekil 2.4. Elektromanyetik radyasyonun alüminyum ile etkileşimi

2.7.1. Fotoelektrik Olay

Düşük enerjili bir foton genellikle içinden geçtiği ortamdaki atomların, yörüngede ki bir elektrona bütün enerjisini vererek onu pozitif yüklü çekirdeğin bağlayıcı kuvvetinden kurtarır. Dışarıya fırlatılan bu elektrona fotoelektron denir. Bu olay neticesinde oluşan elektron boşluğu dış yörüngedeki başka bir elektron tarafından doldurulur ve bu sırada X-ışını yayımlanır Şekil 2.5.



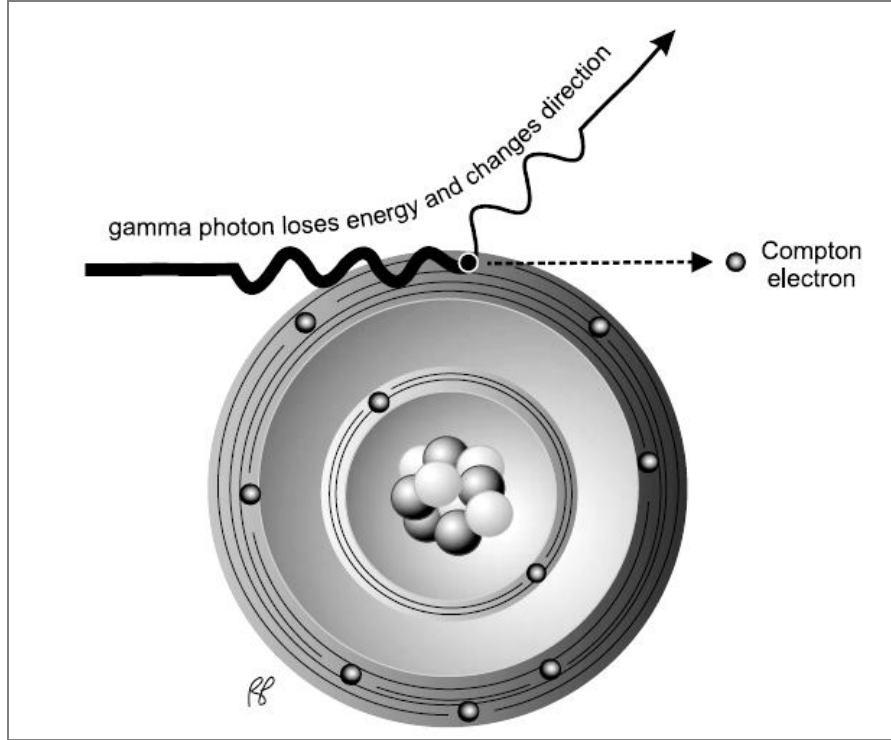
Şekil 2.5. Fotoelektrik olay

Bu olay sırasında gelen fotonun enerjisinin bir kısmı elektronu bağılı olduğu atomdan koparabilmek için harcanır, geri kalan kısmı ise koparılan elektrona kinetik enerji olarak aktarılır Denklem (1.16).

$$h\nu = E_{\text{Bağlanma}} + E_{\text{Kinetik}} \quad (1.16)$$

2.7.2. Compton Saçılımı

Atoma gevşek olarak bağlanmış bir dış yörünge elektronu, enerjisi kendisine kıyasla çok daha büyük olan bir fotonla çarpışması sonucunda meydana gelen olaya Compton Saçılması denir Şekil 2.16. Elektron kütleli bir parçacık olduğu için fotonun bütün enerjisini absorblaması momentumun korunumu gereği mümkün değildir. Dolayısıyla foton, enerjisinin bir kısmını elektrona aktarır saçılıma uğrayarak yoluna devam eder.



Şekil 2.6 Compton saçılması

Serbest bir elektron üzerine $h\nu$ enerjili, $\frac{h\nu}{c}$ momentumlu foton düştüğünde, foton θ açısı altında daha düşük frekansta saçılmakta ve p momentumuna sahip elektron ϕ

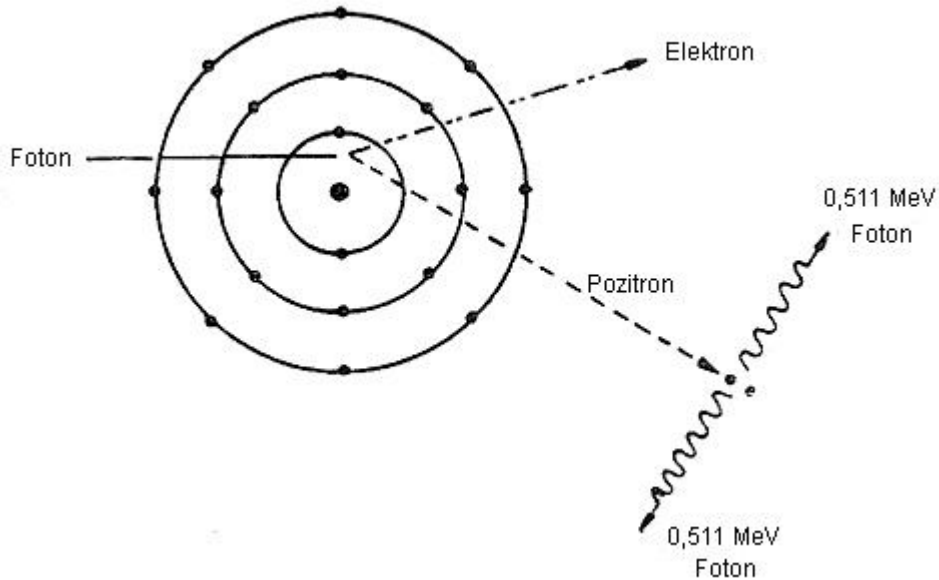
açısında ortamdan yayınlanmaktadır. Fotonun saçılma açısı fotondan elektrona aktarılan enerji miktarına bağlıdır. Compton olayına enerji ve momentum korunumu kanunlarını uygulayarak, saçılan foton ve yayınlanan elektronun enerjileri için aşağıdaki bağıntıları elde ederiz;

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0c}(1 - \cos\theta) \quad (1.17)$$

Buradaki h/mc Compton dalga boyu olarak adlandırılır. Enerjileri 0,5 - 2,0 MeV arasında olan fotonların hafif elementlerden oluşan ortamlar tarafından soğurulmasında bu olay diğerlerine göre daha önemlidir. Yüksek enerjili fotonlar enerjileri belirli bir seviyeye düşene kadar Compton saçılışına uğrarlar bu andan sonra da fotoelektrik olayla absorblanırlar. Çünkü sadece Compton saçılımı ile fotonlar tamamen soğurulamazlar.

2.7.3. Çift Oluşumu

Eğer, fotonun enerjisi yeteri kadar büyük ise ve bu foton atom çekirdeğinin çok yakınından geçerse, kütlesi olmayan fotonun enerjisinden çekirdek yakınında aynı anda biri negatif yüklü elektron diğeri pozitif yüklü pozitron olmak üzere iki parçacık yaratılır. Böylece elektromanyetik bir dalgadan madde oluşur Şekil 2.7.



Şekil 2.7. Çift oluşumu

Teorik olarak böyle bir çift oluşumunun meydana gelebilmesi için, fotonun enerjisinin en az enerjisi $h\nu \approx 2m_e c^2 = 1.02 \text{ MeV}$ olması gerekir. Foton enerjisinin daha büyük olduğu durumlarda ise bu enerjinin artakalan kısmı elektron ve pozitrona kinetik enerji olarak aktarılır. Oluşan elektron, atomla serbest elektronlar gibi etkileşirken, pozitron ise bir yörünge elektronu ile birleşir ve zıt yönlü iki foton salarak yok olur. Bu foton ise fotoelektrik yolla soğurulur. Bu yok olma işlemi zıt yönlü eşit enerjili iki foton meydana getirir. Fotonların her biri enerji-momentum korunumunu sağlamak için 0.511 MeV lik enerjiye sahip olmalıdır.

2.8. Radyasyon Birimleri

İyonlaştırıcı radyasyonların tüm etkileri radyasyonun geçtiği ortamda meydana getirdiği iyonlaşmaya bağlıdır. İyonlaştırıcı radyasyon miktarının ölçülebilmesi için her şeyden önce radyasyonun soğurulmalarını ölçebilecek birimlerin bulunması gerekir.

Uluslararası Radyasyon Birimleri Komisyonu'nun (ICRU) 1925 yılından beri yaptığı çalışmalar neticesinde soğurulan doz için Rad, ışınlama için Röntgen, aktivite için Curie, doz eşdeğeri için ise Rem'i özel radyasyon birimleri olarak tanımlamıştır. Tablo 2.1 de görüldüğü üzere, MKS sistemini esas alan Uluslar arası Birimler Sistemi'nin (International System of Unit – SI) kabul edilmesi ile ICRU 1971 yılında SI birimlerini tanımlamıştır.

Tablo 2.1 SI Birim Sistemindeki Radyoaktivite Birimleri

Nicelik	Ölçülen	SI Birimi ve Sembol	Eski Birim	Dönüşüm Çarpanı
Aktiflik	Bozunma hızı	Bq	Ci	$2,7 \times 10^{11}$
Soğrulan Doz	Enerji Soğrulması	Gy	Rad	100
Eşdeğer Doz	Biyolojik Etkinlik	Sv	Rem	100
İşnlama	Havadaki İyonlaşma	Rontgen	R	3876

2.8.1. Aktivite Birimleri

Özel Birim: Curie (Ci)

SI Birimi: Becquerel (Bq)

Aktivite, birim zamandaki radyoaktif madde miktarını göstermektedir. Yapay radyoizotopların elde edilemediği senelerde çok uzun yarı ömürlü bir radyoaktif madde olan radyum standart alınıp radyoaktif madde miktarı birimi olarak Curie tanımlanmıştır. Bu tanım önce 1 gram radyumun parçalanma hızı, daha sonra 1 gram radyumla dengede olan radon miktarı ve 1930'larda da 1 gr radyumla dengede olan radon gazı miktarlarında bir saniyedeki bozunma sayısı olarak değiştirilmiştir. Ancak o zamana kadar radyumun atom ağırlığının ve bozunma sabitinin çok hassas tayinleri yapılamamış olduğundan daha sonra bu tarifi radyumdan bağımsız yapılması fikri oluşmuştur. Bu nedenle Uluslararası Standartlar ve Radyoaktivite Birimleri komisyonu tanımı genişleterek bütün radyonüklitler için Curie'yi bir saniyede $3,7 \times 10^{10}$ parçalanma gösteren radyoaktif madde miktarının aktivitesi olarak tanımlamıştır.

SI birim sisteminde aktivite birimi Becquerel (Bq) olup, 1 Bq, saniyede bir parçalanma gösteren bir maddenin aktivitesi olarak tanımlanmıştır. Dolayısıyla Ci ve Bq arasında dönüşüm;

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

$$1 \text{ Bq} = 2,703 \times 10^{-11} \text{ Ci} \text{ şeklindedir.}$$

2.8.2. Spesifik Aktivite

Özel Birim: Curie / g (Ci/ g)

SI Birimi: Becquerel / Kg (Bq / Kg)

İlk tanımlamayla 1 Curie 1 gr radyuma karşılık gelmesine rağmen tanım genelleştirilip bütün radyonüklitlere uygulandığında gerekli madde miktarını göstermemektedir.

Saniyede $3,7 \times 10^{10}$ bozunmayı meydana getirecek yani aktivitesi 1 Curie olan radyoaktif maddenin ağırlığı, bozunma sabiti ve atom ağırlığının fonksiyonu olacaktır.

Bu durum Curie ile radyoaktif maddenin ağırlığı arasında bir bağıntı kuran “Spesifik Aktivite” kavramının ortaya atılmasına neden olur.

Spesifik aktivite herhangi bir saf radyonüklit maddenin Ci/g olarak ölçülen aktivite yoğunluğudur. Bir kaynakta bulunan radyonüklit bazen bir karışım veya bileşik durumunda olabilir. Böyle bir durumda elementin tüm atomları o radyonüklidin atomları olmayacaktır. Ayrıca bir arada birden fazla radyonüklid de bulunabilir. Bu durumda spesifik aktivitenin hesaplanması çok karışıktır.

$$\text{Spesifik Aktivite (Ci/g)} = 1,308 \times 10^8 / A \times T_{1/2}$$

bağıntısı ile verilir. Burada A atom ağırlığı, $T_{1/2}$ ise radyonüklidin gün olarak yarı ömürdür. SI birimine geçişi ise;

$$1 \text{ Ci/g} = 37 \times 10^{12} \text{ Bq / kg}$$

$$1 \text{ Bq / kg} = 27 \times 10^{-15} \text{ Ci/g dönüşümleri ile sağlanır.}$$

2.8.3. Işınlama Birimi

Özel Birim: Röntgen (R)

SI Birimi: Coulomb/kg (C/kg)

Işınlama X ve ışınlarının havayı iyonlaştırma kabiliyetinin bir ölçüsüdür. Işınlama birimi Röntgen, normal hava şartlarında (0 °C ve 760 mmHg basıncı) havanın 1 kg’ında $2,58 \times 10^{-4}$ Coulomb’luk elektrik yükü değerinde + ve – iyonlar oluşturan X ve γ radyasyon miktarıdır şeklinde tarif edilir. Bu tarif 3 MeV’e kadar olan X ve γ ışınları için geçerlidir.

SI birimlerinde ışınlama birimi olarak Röntgen eş değeri karşılığının Coulomb/kg normal hava şartlarında (0 °C ve 760 mmHg basıncı) havanın 1 kg’ında 1 Coulomb’luk elektrik yükü değerinde + ve – iyonlar oluşturan X ve γ radyasyon miktarıdır.

$$1 \text{ C/kg} = 3,876 \times 10^3 \text{ R}$$

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

2.8.4. Soğurulma Doz Birimi

Özel Birim: rad

SI Birimi: Gray (Gy)

Röntgen X ve γ ışınları için tanımlandığından başka radyasyonlar için kullanılamaz. Bu nedenle radyasyonun cinsinden, enerjisinden ve soğurucu ortamın özelliğinden bağımsız yeni bir birime gerek duyulmuştur. İyonlaştırıcı radyasyonun soğurulmuş dozu birim kütlede maddeye verilen enerji miktarıdır.

Soğurma doz birimi rad ışınlanan maddenin 1 kg'ına 10^{-2} joule'lük enerji veren radyasyon miktarıdır. Bu doz birimi sadece soğurulan enerji miktarını gösteren fakat hem parçacık hem de foton özellikli radyasyonlara uygulanabilen bir büyüklük olup radyasyon demeti ile birlikte soğurucu maddenin de özelliğini gösterir.

1 Röntgenlik ışınlamanın havadaki enerji soğurma gücü $0,873 \times 10^{-2}$ joule / kg olduğuna göre, 1 röntgenlik ışınlamanın havadaki soğurulan dozu 0,873 rad olur. Su ve yumuşak doku için ise bu miktar 0,98 rad olur. SI birimleri sisteminde soğurulmuş doz birimi olarak Gray (Gy) tanımlanmış ve 1 Gy ışınlanan maddenin 1 kg'ına 1 joule'lük enerji veren radyasyon miktarıdır.

$$1 \text{ rad} = 10^{-2}$$

2.8.5. Biyolojik Doz

Özel Birim: rem

SI Birimi: Sievert (Sv)

Farklı iyonlaştırıcı radyasyonların meydana getirdiği biyolojik etki farklıdır. Aynı miktarda enerji soğurulması veren farklı tipteki radyasyonlar aynı biyolojik etkiyi vermeyebilir. Genel olarak radyasyonun yolu boyunca birim uzunlukta kaybedilebilen enerji kaybına (LET) bağlıdır, LET arttıkça biyolojik etkide artar.

Biyolojik doz birimi olan rem (röntgen equivalent man) 1 röntgenlik X ve γ ışınının meydana getirdiği aynı biyolojik etkiyi meydana getiren herhangi bir radyasyon miktarıdır.

SI birimler sisteminde doz eşdeğer birimi joule / kg olup bunun özel adı Sievert (Sv) dir ve 1 Sv, 1 Gy'lik X ve γ ışını ile aynı biyolojik etkiyi meydana getiren herhangi bir radyasyon miktarı olarak tanımlanmıştır.

$$1 \text{ Sv} = 1 \text{ J / kg } 10^2 \text{ rem}$$

$$1 \text{ rem} = 10^{-2} \text{ Sv şeklindedir.}$$

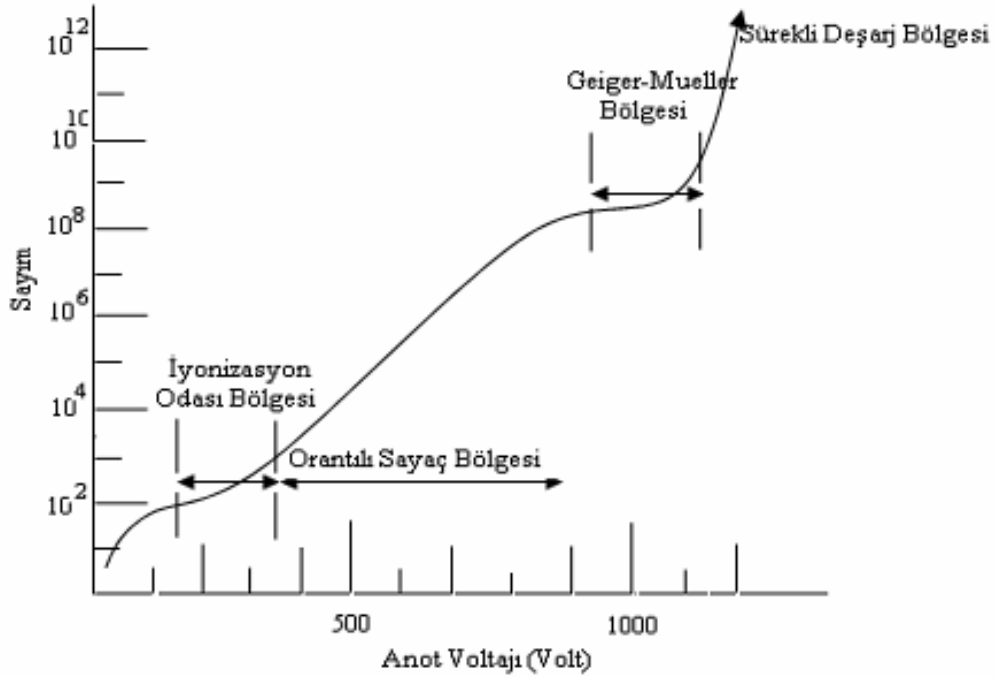
2.9. Nükleer Radyasyon Ölçümü

Nükleer radyasyonu tespit etmek için kullanılan bütün detektörlerin temel çalışma ilkeleri benzer özelliklere sahiptir. Radyasyon (ışınım) detektöre girer, detektör materyalinin atomları ile etkileşir (enerjisinin bir kısmını ya da tamamını kaybeder) ve atom yörüngelerinden nispeten düşük enerjili elektronların salınmasına neden olur. Bu elektronlar toplanır ve analiz edilmek üzere elektronik devre tarafından ya akım pulsu ya da voltaj şekline dönüştürülür. Detektör materyalinin seçimi ölçülecek radyasyon tipine ve hakkında mevcut bilgiye bağlıdır. Radyasyonun enerjisini ölçmek için çıkış puls genliğinin radyasyon enerjisi ile orantılı olduğu detektörler seçilmelidir bu da sökülecek elektronların sayısının fazla olacağı bir detektör materyali seçmekle mümkün olur. Alışılmışın dışında yüksek sayma hızı bekleniyorsa arka arkaya gelen her radyasyonu tespit edebilecek detektör seçilmelidir. Bu gereksinmelerin tümünü sağlayan tek bir detektör tipi yoktur. Bir parçacık detektörü seçilirken; detektörün uygulama çözünürlüğü, verimi, ilgili deneyi yapmaya uygunluğu ve amaca uygun olarak X veya gama ışınlarının enerji değerleri gibi noktalara dikkat edilmelidir. Nükleer radyasyonların ölçümünde yaygın olarak kullanılan detektör türleri arasında; gaz dolgulu, sintilasyon ve yarı-iletken detektörler sayılabilir.

2.9.1. Gazlı Detektörler

Gaz dolgulu detektörler, X-ışınları ve düşük enerjili gama ışınları için kullanılır. Gaz dolgulu bir detektör, pozitif olarak yüklenmiş bir anot tel içeren ve gazla doldurulmuş metal bir odadır. Gazın içinden geçen bir foton, serbest elektronlar ve pozitif iyonlar üretir. Elektronlar anot tele doğru çekilirler ve bir elektrik pulsu oluşturmak için toplanırlar. Düşük anot voltajında, elektronlar iyonlarla yeniden birleşebilirler. Yeterli

derecede yüksek bir voltajda, hemen hemen bütün elektronlar toplanırlar ve bu durumda detektör iyonlaşma odası adını alır. Daha yüksek bir voltajda, elektronlar diğer atomları iyonlaştırmak için yeterli yüksek enerjilerde anoda doğru hızlanırlar ve böylece daha çok sayıda elektron oluşur. Bu durumda detektör orantılı sayaç olarak isimlendirilir. Daha yüksek voltajda, elektron çoğalması daha fazla artar ve toplanan elektronların sayısı başlangıç iyonizasyonundan bağımsızdır. Bu durumda detektör Geiger-Mueller sayıcısı adını alır. Bu tüplerden elde edilen büyük çıkış pulsu bütün fotonlar için aynıdır. Daha fazla voltaj uygulanması durumunda, tüpte sürekli bir boşalma meydana gelir. Gaz dolgulu detektörlerde farklı voltaj bölgeleri Şekil 2.8 de gösterilmiştir. İyonlaşma odası, orantılı sayaç ve Geiger-Mueller sayıcısı için ayrıntılı bilgiler literatürlerde mevcuttur [58, 59, 60, 73, 78].



Şekil 2.8 Gaz dolgulu detektörlerin voltaja bağlı çalışma bölgeleri [75].

2.9.2. Sintilasyon Detektörleri

Sodyum iyodür, sezyum iyodür, antrasen, naftalin ve fenantren gibi bazı maddelere bir tek yüklü parçacık, X-ışını çarptığı zaman, bu maddeler bir ışık parıltısı meydana getirirler. Bu gibi maddelere sintilatör adı verilir. Bu ışık parıltıları bir fotoçoğaltıcı tüp aracılığı ile elektrik pulslarına dönüştürülür. Fotoçoğaltıcı tüp ise bir fotokatot, bir

elektron odaklayıcı ve 10 adet veya daha fazla dinottan meydana gelmiştir. Fotoçoğaltıcı tüp içerisindeki dinotlara uygulanan gerilim ile elektronların dinotlara çarpması sağlanır ve bu şekilde elektronların sayılarının artması mümkün olur. Bu elektron çoğalmasında elde edilen pulsun büyüklüğü, gelen foton veya parçacığın enerjisi ile orantılıdır [61, 76]. Temel olarak iki tip sintilasyon detektörü vardır; birisi organik, diğeri inorganik materyaller içerir.

2.9.2.1. Organik sintilatörler

Organik sintilatörlerde moleküller arası etkileşimler nispeten zayıftır. Elektronlar daha yüksek enerjili duruma geçirilebilirler ve moleküldeki atomlar titreşebilirler bu titreşim enerji aralığı 0.1 eV iken elektronik uyarılma enerjileri için bu aralık birkaç eV civarındadır. [62].

1) Saf Organik Kristaller: Saf organik kristal sintilatör olarak yalnızca iki materyal yaygın olarak mevcuttur. Antrasen, sintilasyon amacıyla kullanılan en eski materyallerden biridir ve organik sintilatörler içinde en yüksek sintilasyon yeterliliğine sahiptir [63].

2) Sıvı Organik Çözeltiler: Bu sintilatörler, uygun bir çözücü içinde organik bir sintilatörün çözülmesi yoluyla üretilirler. Sıvı sintilatörler basitçe iki bileşenden oluşabilirler ya da bazen dalgaboyu değiştiricisi olarak üçüncü bir bileşen eklenebilir. Sıvı sintilatörler, sintilatör çözeltisinin parçası olarak çözünebilen radyoaktif materyali ölçmek için kullanılırlar.

3) Plastik Sintilatörler: Plastik sintilatörler nispeten ucuz olduğu için büyük hacimde katı sintilatöre ihtiyaç duyulduğunda sık sık tercih edilirler. Üretim ve şekillendirilme kolaylığından dolayı, plastikler organik sintilatörler içinde en kullanışlı olanlarıdır. Plastik sintilatörler, nötron deteksiyonlarında, yüklü parçacık deteksiyonlarında uygulamalarında kullanılırlar. Bu uygulamalarda kullanılabilmesi için çok büyük boyutlarda olmaları veya doğal sert plastik özelliklerini sağlamaları gerekmektedir.

2.9.2.2. İnorganik sintilatörler

İnorganik sintilatörlerden en yaygın kullanılanı bir alkali halojen ürün tek kristali olan NaI kristalidir. Geçirgenliği sağlamak için tek kristale gerek vardır, kristal yüzeyindeki yansımalar ve soğurulmalar çok kristalli sintilatörü kullanışsız hale getirir. Kristaldeki atomların birlikte etkileşmeleri enerji bant serilerinde kesikli enerji seviyelerine sebep olurlar. En yüksek iki bant değerlik bandı ve iletim bandı'dır. NaI gibi yalıtkan bir materyalde değerlik bandı genellikle dolu, iletim bandı ise boştur. Gelen radyasyon bir elektronu enerji aralığını atlatarak iletim bandına uyarabilir. Elektron, enerjisini foton yayımlayarak kaybeder ve değerlik bandına geri döner.

1) NaI(Tl) Sintilatörleri: NaI(Tl) kristali, X-ışınları ve gamma-ışınlarının deteksiyonunda oldukça fazla kullanılmaktadır. Bu kristal ekonomik olmasının yanında iyi bir gamma-ışını çözünürlüğü sağlar ve çok iyi bir enerji ayırma gücüne sahiptir. NaI(Tl) sintilatöründe iyodun yüksek atom numarasına sahip olması, foton soğurulma ihtimalini artırır ve gamma-ışını deteksiyonunda yüksek verim elde edilmesini sağlar [61].

2) CsI(Tl) ve CsI(Na) Sintilatörleri: Sintilasyon materyali olarak tercih edilen bir diğer alkali halojenür de sezyum iyodürdür. Aktivatör olarak sodyum ya da talyumun kullanıldığı ticari ürünleri mevcuttur. CsI bu iki aktivatörün kullanıldığı durumlarda farklı sintilatör özellikleri gösterir. CsI, NaI ile karşılaştırıldığında oldukça yüksek gamma-ışını absorpsiyonu verir [61].

3) ZnS(Ag) Sintilatörleri: Gümüş aktive edilmiş çinko sülfür, eski bir inorganik sintilatördür. NaI(Tl) sintilatörleri ile karşılaştırıldığında çok yüksek bir sintilasyon verimine sahiptir. Fakat yalnızca polikristal toz olarak mevcuttur. Bu nedenle alfa tanecikleri ve diğer ağır iyon deteksiyonlarında kullanılan ince ekranlarda bu sintilatörlerin kullanımı sınırlıdır [61].

2.9.3. Yarıiletken Detektörler

Yarıiletkenler normalde elektriği iletmeyen materyallerdir, çünkü bunların kristalleri akımı taşımak için serbest yüklenmiş tanecikleri yeterince içermezler. Fakat kristaldeki atomlar iyonlaştığı zaman iletkenlik kazanırlar [60, 77].

Sintilasyon detektörleri gibi, yarıiletken detektörler de genellikle gamma spektrometrelerinde radyo-çekirdekleri teşhis etmek ve bunların örnekteki aktivitesini belirlemek için kullanılır. Aynı zamanda farklı radyasyon enerjileri arasında çok iyi ayırma yapabilir.

Yarıiletken materyaller içerisinde en çok kullanılan yarıiletkenler Silisyum ve Germanyum'dur. Ge ve Si, içinde 4 değerlik atomunun komşu atomlarla dört kovalent bağ oluşturduğu kristaller şeklindedir. Yani tüm değerlik elektronları kovalent bağa katılırlar ve bant yapısı bir dolu Valens (değerlik) bandı ve bir boş iletim bandı gösterir. Valens bandı olarak isimlendirilen bant, kristal içinde kovalent bağa katılan valens elektronlarını içeren banttır. İletim bandında ise kristal içinde herhangi bir spesifik atoma bağlı olmayan ve hareket etmek için serbest olan elektronlar bulunur. Bu banttaki elektronlar, materyalin elektriksel iletkenliğine katkıda bulunurlar. Silisyum kristalinde, iletim bandında hiç elektron yoktur ve bu nedenle silisyum elektrik için zayıf bir iletkenidir. Bu iki bant (valans ve iletim bandı), materyalin yarıiletken ya da yalıtkan oluşunu belirleyen ve yasak enerji aralığı olarak isimlendirilen bir enerji aralığı ile ayrılırlar. Yasak enerji aralığının darlığı, materyalin sıcaklık hassasiyeti ile ilgilidir. Bu özelliklerden faydalanılarak bu materyallerin detektör olarak kullanılıp kullanılmayacağını belirlemek pratik olarak mümkündür. Germanyum detektörlerin maksimum çalışma sıcaklıkları silisyumdan yapılmış detektörlere göre daha düşüktür [74].

2.10. Radyasyonun İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri

Radyasyonun insan sağlığı üzerinde yaratabileceği zararlı etkiler uzun zamandır bilinmektedir. Bu etkiler radyasyon yanıkları, radyasyon hastalıkları, doğal ömür süresinin kısalması, kanser ve kalıtsal bozukluklardır. 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 maruz kalınan radyasyonun etkileri aralıksız bir şekilde araştırılmaktadır. Bunların yanı sıra, denek olarak kullanılan hayvanlar üzerindeki radyasyon etkileriyle ilgili çalışmalar da devam

etmektedir. Radyasyon yanığı olaylarına ilk kez, 1895 yılında Röntgen'in X ışını bulduğunu açıkladığı ilk ay içerisinde rastlanmaya başlanmıştır. Doğal radyoaktiviteyle çalışan ilk araştırmacılarda da bu tür etkiler görülmüştür. Örneğin Becquerel, cebinde taşıdığı bir radyum numunesiyle kendi kendini yakmış, Marie ve Pierre Curie radyumla yaptıkları çalışmalar esnasında ciddi şekilde cilt yanıklarına maruz kalmışlardır. Bu çalışmaların başlamasını takip eden iki üç yıl içerisinde ise radyasyondan korunmak gerektiği artık yaygın bir şekilde anlaşılmıştır. Bu konuda uyarılan radyasyon çalışanlarının bazıları gerekli önlemleri almışlarsa da önlem almayanlar da olmuş ve sonuç olarak da bu kişiler ciddi radyasyon yanıklarına maruz kalmışlardır [64, 65].

İnsan vücudundaki çeşitli doku ve organları meydana getiren hücreler şekilleri ve özellikleri bakımından birbirinden farklı oldukları gibi radyasyon etkilerine karşı gösterdikleri tepkiler de farklıdır. Hücrelerin radyasyon etkilerine karşı duyarlılık yani radyosensitiviteleri bakımından bu farklar Bergonie ve Tribondeau kanunu ile ifade olunabilir. Bu kanuna göre: « bir dokunun radyasyon duyarlılığı (radyosensitivitesi) çoğalma kabiliyeti ile doğru, farklılaşma derecesi ile ters orantılıdır» Başka bir deyişle «çoğalma bakımından en aktif hücreler ile tam olarak olgunlaşmamış hücreler radyasyon etkilerinden en fazla zarar göreceklerdir» [64, 66].

2.10.1. İyonlaştırıcı Radyasyonların Somatik Etkileri

İyonlaştırıcı radyasyonların somatik etkileri radyasyona maruz kalan kişinin ömür süresi içinde ortaya çıkan etkilerdir. Somatik etkilerin cinsi ve önemi birçok faktörlere bağlı olup bunlar içinde en önemlileri:

- (1) Maruz kalınan toplam radyasyon dozu.
- (2) Radyasyon dozunun alındığı zaman süresi ve
- (3) Radyasyonlara maruz kalan vücut kısmı ve alanıdır.

Gerçekten radyasyonların bir bütün olarak organizmaya etkileri incelendiği zaman bu etkilerin örneğin, insan vücudunun tümünün veya sadece bir kısmının ışınlanmasına bağlı olarak değiştiği görülür. Ayrıca vücudun sadece bir kısmı ışınlandığı takdirde bu kısmın vücutta bulunduğu bölgenin ve alanının büyüklüğü, meydana gelecek etkiler bakımından büyük önem taşır. Belirli bir radyasyon dozuna maruz kalan kısım vücudun

tümü ise meydana gelecek etki en büyük, aynı doza maruz kalan kısım sadece cildin ve kasların küçük bir hacmi ise etki en küçük olacaktır. Ayrıca radyasyon hasarı için tamir olayı meydana geldiğinden, radyasyon etkisi belirli bir dozun verilmiş süresine bağlıdır. Genel olarak, bir radyasyon dozu uzun bir zaman süresine yayılmış olarak verildiği takdirde, aynı dozun kısa süreli bir tek doz olarak verilmesinden daha az etkin olacaktır [64].

Radyasyonun hücre ile etkileşmesi sonucunda kromozomda meydana gelen hasarlar bir takım biyolojik etkilerin oluşmasına yol açarlar. Bu etkiler, bedensel ve kalıtsal etkilerdir. Işınlanan kişinin kendi bedeninde meydana gelebilecek hasarlar bedensel etkiler, kendisinden sonraki nesillerde çıkabilecek hasarlar ise kalıtsal etkiler olarak adlandırılır. Bedensel ve kalıtsal etkiler de erken ve gecikmiş etkiler olarak iki farklı kategoride incelenebilir. Erken etkiler, kısa bir süre içinde ve bir defada yüksek dozlara maruz kalınması sonucunda kısa bir zaman aralığı içerisinde ortaya çıkabilecek hasarlardır. Gecikmiş etkiler ise uzunca bir süre aralıklı olarak düşük dozlara maruz kalınması sonucu ortaya çıkarlar. Erken etkiler akut ışınlanma etkileri, gecikmiş etkiler ise kronik ışınlanma etkileri olarak da adlandırılırlar [66].

2.10.1.1. Erken etkiler (Akut ışınlanma etkileri)

Vücudun belli bir bölgesi, tamamı veya büyük bir kısmı kısa bir zaman dilimi içerisinde büyük miktarlarda radyasyon dozuna maruz kaldığında ortaya çıkabilecek hasarlar kişiden kişiye değişmekle birlikte genel olarak birkaç gün veya birkaç hafta içerisinde şiddetli hasarlar, hastalıklar ve hatta ölüm meydana gelebilir Tablo 2.2. Akut ışınlanmalar olarak adlandırılan bu tip ışınlanmalar, genellikle, bir kaza sonucu meydana gelen istem dışı ışınlanmalardır. Kazaların ana nedeni, radyasyon kaynaklarının kaybedilmesi, çalınması veya başka bir yolla kontrol dışı kalmaları olarak gözlemlenmektedir. İstatistikler, dünya genelinde 1945 ile 1997 yılları arasında, araştırma, tıp, nükleer ve diğer endüstriyel alanlarda radyasyon çalışanlarının yanı sıra halktan kişileri de kapsayan 140'ı ölümcül (28'i Çernobil kurbanı) olmak üzere yüzlerce kişinin yaralandığı 137 radyasyon kazası meydana geldiğini göstermektedir. Radyasyon güvenliği uygulamalarındaki önemli gelişmelere rağmen insanlara zarar verebilecek bu tür kazalar ne yazık ki halen meydana gelebilmektedir [64].

Tablo 2.2. Akut ışınlamanın etkileri

Soğurulan Doz (Sv)	Biyolojik Etkiler
0 - 0,25	Gözlenebilir bir hasar yoktur
0,25 – 0,5	Kanda geçici hafif değişiklikler ile gecikmiş etkiler olabilir. Sağlıklı bir kişide ciddi bir hasar olasılığı yoktur.
0,5 – 1	Mide bulantısı, Kusma ve normal yaşam süresinde kısalma olasılığı vardır.
1 - 2	24 saat içinde mide bulantısı, kusma, iç kanama, belirtisiz bir haftadan sonra saç dökülmesi, ishal, kan tablosunda orta derecede değişiklikler olur.
2 - 4	1-2 saat içinde mide bulantısı, kusma, iç kanama, ağız ve boğazda ciddi enfeksiyonla birlikte kan tablosunda değişiklikler olur. Saç dökülmesi, ishal, hızlı kilo kaybı ve ışınlananların % 50 sinde ölüm olasılığı vardır.
4 - 6	Bir saat içinde bulantı, Kusma, bir hafta sonunda ishal, ağız ve boğaz enfeksiyonu, ateş iç kanama, Saç dökülmesi, Kan tablosunda ciddi değişiklikler, hızla zayıflama olur ve ışınlananların % 80 -100 ünün iki ay içinde ölümü, sağ kalanların ise çok uzun sürede iyileşmesi mümkündür.

2.10.1.2. Gecikmiş etkiler (Kronik ışınlama etkileri)

Akut ışınlama etkileri ürkütücü gözükse de bunlara neden olan ve genellikle bir kaza sonucu meydana gelen yüksek dozlu ışınlamaların nadiren görülmesi sevindiricidir. Radyasyona en fazla maruz kalan kişiler olan radyasyon çalışanlarının kontrollü olarak

aldıkları düşük dozların bu tür etkileri yoktur. Ancak, bu kişilerin uzunca bir süre içinde aralıklı olarak düşük dozlara maruz kalması yani kronik olarak ışınlanması sonucu meydana gelebilecek etkiler yıllar sonra ortaya çıkabilir. Bunun sebebi ise, doz düşük dahi olsa tekrarlanan ışınlamalarda organizmanın bir sonraki ışınlamaya kadar hasarı onaramaması ve hasarın gittikçe artmasıdır [67, 68].

Birçok bilim adamı, ne kadar az olduğunu önemsemeksizin, radyasyon ışınlamalarının kanser riski taşıdığını kabul eder. Bir kişi kansere yakalandıktan sonra bunun nedeninin ne olduğunu anlamak bugün için imkânsızdır. Radyasyonun sebep olduğu kanseri, başka bir etmenin sebep olduğu kanserden ayırt etmek mümkün değildir. Bu yüzden, radyasyonun sebep olduğu kanserle ilgili çalışmalar, ortalama doğal radyasyon seviyesinden çok daha fazla bir doza maruz kaldıkları tespit edilmiş kanserli hasta grupları üzerinde sürdürülmektedir. Kişisel olarak maruz kaldıkları dozlar aşağı yukarı tahmin edilebilen bu gruplardan elde edilen verilerle bir risk tahmini yapmak mümkün olabilmektedir. Sözü edilen bu gruplar, atom bombasından sağ kalanları, tıbbi ışınlamaya maruz kalan hastaları, mesleği gereği ışınlananları, çevreye yayılan atıklardan etkilenenleri ve çok yüksek rakımlarda yaşayanları kapsamaktadır [67, 68].

Birleşmiş Milletlerin radyasyonun etkileriyle ilgili çalışmalar yapan bir kuruluşu olan United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), radyasyonun insan sağlığı üzerindeki etkileriyle ilgili mevcut verilere dayanarak radyasyon kaynaklı kanser için bazı risk tahminleri üretmiştir. Bu tahminlere göre, 1 Sv'lik (düşük LET değerli) akut doza maruz kalmış her yaşta ve her cinsiyetten insanların oluşturduğu bir grup için, kanserden dolayı ölüm riskinin erkeklerde %9 kadınlarda %13 olduğu öne sürülmektedir. Kronik ışınlanmalar için bu tahminler, %50 oranında azaltılabilmektedir. Işınlanan çocuklar için kanser riski, tüm yaşlarda ışınlananlar için yapılan tahminlerin iki katıdır. Lösemi için yaşam boyu risk tahminleri daha az değişkendir. 1 Sv'lik akut doz sonrası her iki cinsiyet için lösemiden dolayı ölüm riski %1 olarak alınabilmektedir. Akut dozlarda, 1 Sv'ten 0.1 Sv'e 10 katlık bir azalma riskte 20 katlık bir azalmaya neden olmaktadır. Çocuklarda özel öneme sahip radyasyon kaynaklı bir kanser türü de tiroid bezi kanseridir. Işınlanma yaşının artmasıyla tiroid kanserine yakalanma riskinin azaldığına dair güçlü bulgular vardır ve 15 yaşın altındaki çocuklar için bu risk yetişkinlere göre çok daha fazladır. Çocuk

grupları arasında, 0-5 yaşındakiler 10-14 yaşındakilere göre 5 kat daha duyarlıdır [67, 68].

2.10.2. Radyasyonların İnsanlar Üzerindeki Genetik Etkileri

Orta büyüklükte radyasyon dozları tarafından hücrelerde meydana getirilen kaba değişiklikler dışında çok küçük radyasyon dozlarıyla meydana getirilebilen nispeten küçük değişiklikler vardır ki bunlar hücrenin yaşama ve bölünme olanaklarını etkilemedikleri halde üreme hücreleri bakımından büyük önem taşırlar. Bu etkiler hücreden meydana gelecek olan bireyin özelliklerinden sorumlu olan kromozomlar veya genler üzerindeki değişikliklerdir [69]. Üreme hücreleri dışında kalan, insan hücrelerinin her biri 46 kromozom ihtiva eder. Her kromozomda ise binlerce gen olduğu zannedilmektedir. Üreme hücrelerinin her birinde 23 kromozom olduğundan döllenmiş yumurta hücresi (zigot) yarısı babadan ve yarısı anadan gelmek üzere yine 46 kromozom taşıyacaktır. Gerek genlerin kişisel tabiatları ve gerekse kromozom içindeki düzenlenişlerinin ana ve babadan geçen özellikler (karakteristikler) üzerinde etkileri vardır. Aralarında radyasyonun da bulunduğu çeşitli etkenlerin etkisi altında bu genlerden birinin yapısı değiştirilebilir veya kromozom ipliği bir veya daha fazla yerde kırılabilir. Bu durumda gende hücrenin genetik materyalini oluşturan moleküllerde bir değişiklik meydana gelir ki buna gen mutasyonu adı verilir [70, 71].

2.11. Daha Önce Yapılan Çalışmalar

Bu kesimde, içme, yer altı yüzey ve kaplıca sularındaki radyoaktivitenin ölçülmesine yönelik literatürde yer alan farklı ülkelerde ve ülkemizin farklı bölgelerine ilişkin olarak daha önce yapılan çalışmalar özetlenmiştir.

A. Malanca, ve diğerleri [21], tarafından yapılan çalışmada, Brezilyanın orta ve doğu bölgelerinden 30 ayrı noktadan toplanan 69 adet yüzey ve yer altı su örneklerindeki toplam alfa ve beta aktivitesi sintilasyon sayacı ile ölçülmüştür. Ölçümler sonucunda, toplam alfa ve beta aktivite değerlerinin, sırasıyla, <2,8- 354 Bq/m³ ve 50,5- 580 Bq/m³ aralığında değiştiği bulunmuştur. Yıllık etkin dozun ortalama değeri 60 ± 42 µSv (değer aralığı:14-161 µSv) olarak hesaplanmıştır.

N. Öztürk [22] tarafından yapılan çalışmada, Tunçbilek Termik Santrali (Kütahya) civarından toplanan 9 adet içme suyu örneğinde, gaz orantılı σ/β sayacı ile ölçülen toplam alfa ve beta aktivitesinin, sırasıyla, 0,04- 0,40 Bq/L ve 0,04- 0,70 Bq/L aralığında değiştiği bulunmuştur.

G. Karahan ve diğerleri [23] tarafından yapılan çalışma kapsamında, İstanbul İlinden toplanan 7 içme suyu (musluk suyu) ve 8 kuyu suyu örneğinde, gaz orantılı toplam σ/β sayacı ile ölçülen toplam alfa ve beta aktivitesinin, 0,007- 0,04 Bq/L ve 0,02- 0,1 Bq/L aralığında değiştiği bulunmuştur.

N. Damla ve diğerleri [24] tarafından yapılan çalışmada Doğu Karadeniz Bölgesinden toplanan 27 farklı içme suyu (musluk suyu) örneğinde, düşük zeminli (background) gaz orantılı toplam σ/β sayacı ile ölçülen toplam alfa ve beta aktivitesinin, , sırasıyla, 0,2- 15 mBq/L ve 25,2- 264,4 mBq/L aralığında değiştiği bulunmuştur.

U. Çevik ve diğerleri [25], tarafından yapılan çalışmada Doğu Karadeniz Bölgesinden toplanan 11 farklı içme suyu (musluk suyu) örneğinde, yüksek çözünürlüklü gama spektrometresi kullanılarak ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{40}K , ^{226}Ra ve ^{137}Cs radyonüklitlerinin aktivite derişiminin ortalama değerleri, sırasıyla, 6,73, 6, 168,6, 19,2 ve 5,5 mBq/L olarak bulunmuştur. Bu çalışmada ayrıca su örneklerindeki radon (^{222}Rn) aktivitesinin ortalama değeri 10,8 Bq/L olarak ölçülmüştür. Aktivite derişimleri ölçülen ^{219}Pb , ^{214}Bi , ^{40}K , ^{226}Ra , ^{137}Cs ve ^{222}Rn radyonüklitlerinden kaynaklanan yıllık etkin doz değerleri, sırasıyla, $6,9 \times 10^{-4}$, $4,8 \times 10^{-4}$, 0,8, 3,9, 0,05 ve 5,8 μSv olarak hesaplanmıştır.

M. Palomo ve diğerleri [26] tarafından yapılan çalışmada İspanya'da tüketilen 30 farklı içme suyu (şişe suyu) örneğinde, ZnS sintilasyon sayacı ile ölçülen toplam alfa ve beta aktivitesinin, <0,03- 0,86 Bq/L ve <0,04- 0,88 Bq/L aralığında değiştiği bulunmuştur.

A. E. Osmanlioğlu ve diğerleri [27] tarafından yapılan çalışmada Gaziantep İlinde tüketilen içme suyu örneklerinde, düşük zeminli (low background) gaz orantılı toplam σ/β sayacı ile ölçülen toplam alfa ve beta aktivitesinin ortalama değeri, sırasıyla, 0,049

Bq/L ve 0,128 Bq/L olarak ölçülmüş ve içme suyunun tüketilmesinde dolayı bireylerin aldığı yıllık etkin doz 1,8 μ Sv olarak hesaplanmıştır.

K. Kehiga ve diğerleri [28] tarafından yapılan çalışmada, Yunanistan'ın Attika bölgesinden toplanan içme suyu örneklerinde ölçülen toplam alfa ve beta aktivite değerlerinin, sırasıyla, 0,1 Bq/L ve 1 Bq/L'den düşük olduğu bulunmuştur. Ayrıca gama spektrometresi ile yapılan ölçüm sonucunda ^{238}U 'in aktivite derişiminin 0,91-17,27 mBq/L aralığında ve alfa spektrometresi ile yapılan ölçümler sonucunda ^{234}U aktivite derişiminin 2,13- 22,01 mBq/L aralığında değiştii gözlenmiştir.

P. Vesterbacka [29] tarafından yapılan çalışmada, 472 adet kuyudan toplanan yer altı suyu örneğindeki doğal radyoaktivite ölçülmüş ve su örneklerinin tüketilmesinde kaynaklanan yıllık etkin doz değeri ortalama 0,41 mSv olarak hesaplanmıştır.

D. Desideri ve diğerleri [30] tarafından yapılan çalışmada, İtalya'nın İç Bölgesinden toplanan içme suyu örneklerindeki toplam alfa ve beta aktivitesi ve ^{238}U , ^{234}U , ^{226}Ra , ^{222}Rn ve ^3H radyonüklitlerinin aktivite derişimleri ölçülmüştür. Çalışma sonucunda elde edilen veriler, içme suyu örneklerinde ölçülen aktivite derişim değerlerinin, ilgili yönetmeliklerdeki değerlerden daha düşük olduğunu göstermiştir.

N. Damla ve diğerleri [31] tarafından yapılan çalışmada Batman İli ve ilçelerinden toplanan musluk, kuyu, yüzey ve kaplıca suyu örneklerinin alfa ve beta aktivitesi düşük zeminli gaz orantılı toplam σ/β sayacı ile ölçülmüştür. Ölçüm sonucunda musluk, kuyu ve yüzey suyu örneklerinin alfa ve beta aktivitesinin ortalama değerleri, sırasıyla, 38,1 mBq/L (aralık değeri: 10,8- 73,4 mBq/L) ve 79,6 (Aralık değeri:3- 347 mBq/L) olarak bulunmuştur. Kaplıca suyu örneğinde ölçülen toplam alfa ve beta değeri, sırasıyla 3909,5 mBq/L ve 2097,0 mBq/L olarak ölçülmüştür. Sonuçlar; musluk, kuyu ve yüzey suyu örneklerindeki doğal radyoaktiviteden kaynaklanan yıllık etkin dozun DSÖ'nün tavsiye ettiği 0,1 mSv değerinden daha düşük olduğunu göstermiştir.

A. M. Ismail ve diğerleri [32] tarafından yapılan çalışmada Ürdün'de tüketilen 8 adet içme suyu (şişe suyu) ve 1 adet musluk suyu örneğinde ^{226}Ra ve ^{40}K radyonüklitinin aktivite derişimi gama spektrometresi ile ölçülmüş ve elde edilen değerlerden tahmini

olarak hesaplanan toplam alfa ve beta aktivitesinin, sırasıyla 0,1 Bq/L ve 1 Bq/L değerinden büyük olduğu görülmüştür.

D. M. Bonotto ve diğerleri [33] tarafından yapılan çalışmada, Brezilya'nın Sao Paulo ve Minas Gerais bölgesindeki kuyulardan ve kaplıcalardan toplanan yer altı sularında ölçülen toplam alfa ve beta radyoaktivitesinin, sırayla, <0,001- 0,43 Bq/L ve 0,12- 0,86 Bq/L aralığında değiştiği bulunmuştur.

M. Değerlier [34] tarafından yapılan çalışmada, Adana İli ve ilçelerinden toplanan 30 farklı içme suyu (musluk suyu) ve yüzey suyu (göl, nehir ve deniz) örneğinde, düşük zeminli (background) gaz orantılı toplam σ/β sayacı ile ölçülen toplam alfa ve beta aktivitesinin ortalama değerinin, sırasıyla, 0,0096 Bq/L ve 0,086 Bq/L olduğu bulunmuş ve bu tür suların tüketilmesinden kaynaklanan yıllık etkin doz değerinin ortalama değeri 0,005 mSv olarak hesaplanmıştır.

B.G. Muhammad ve diğerleri [35] tarafından yapılan çalışmada, Nijerya'nın Kuzeydoğusundaki Katsiba bölgesinden toplanan 40 farklı yer altı suyu örneğinde, gaz-akış orantılı toplam σ/β sayacı ile ölçülen toplam alfa ve beta aktivitesinin ortalama değerinin, sırasıyla, 80- 2300 Bq/m³ ve 120- 4970 Bq/m³ aralığında değiştiği olduğu bulunmuştur.

M. Beyermann ve diğerleri [36]. tarafından Almanya'da kullanılan içme suyunun radyolojik açıdan kalitesinin tespitine yönelik yapılan çalışmada, 564 su kaynağından temin edilen içme suyu örneklerindeki ²³⁸U, ²³⁴U, ²³⁵U, ²²⁸Ra, ²²⁶Ra, ²²²Rn, ²¹⁰Pb ve ²¹⁰Po radyonüklitinin aktivite derişimleri ölçülmüş ve bu tür suların tüketilmesinden kaynaklanan yıllık etkin dozun büyük bir kısmının, ²²²Rn, ²²⁸Ra, ²¹⁰Po ve ²¹⁰Pb radyonüklitinin sebep olduğu gözlenmiştir.

E. Küçükönder [37] tarafından yapılan çalışmada, Kahramanmaraş İlinden toplanan içme suyu (musluk suyu) örneklerinde, düşük zeminli (background) gaz orantılı toplam σ/β sayacı ile ölçülen toplam alfa ve beta aktivitesinin, Dünya Sağlık Örgütü'nün tavsiye ettiği ve Sağlık Bakanlığı tarafından hazırlanan yönetmelikte yer alan değerlerle (iki içme suyu örneği hariç) uyumlu olduğu gözlenmiştir.

F. K. Görür ve diğeri [38] tarafından yapılan çalışmada, Samsun İli ve ilçelerinden toplanan 19 farklı içme suyu (musluk suyu) ve kaplıca suyu örneğinde, düşük zeminli (background) gaz orantılı toplam σ/β sayacı ile ölçülen toplam alfa ve beta aktivitesinin ortalama değerinin, sırasıyla, 51,9 mBq/L ve 77,8 mBq/L olduğu bulunmuş ve içme suyu ve yüzey suyu örneklerindeki doğal radyoaktiviteden kaynaklanan yıllık etkin dozun DSÖ'nün tavsiye ettiği 0,1 mSv değerinden daha düşük olduğu gösterilmiştir.

E. Kapdan ve diğeri [40] tarafından yapılan çalışmada, Çankırı İli ve ilçelerinden toplanan içme suyu örneklerinde, düşük zeminli (background) gaz orantılı toplam σ/β sayacı ile ölçülen toplam alfa ve beta aktivitesinin ortalama değerinin, sırasıyla, 0,25 Bq/L ve 0,26 Bq/L olduğu bulunmuş ve içme suyu ve yüzey suyu örneklerindeki doğal radyoaktiviteden kaynaklanan yıllık etkin dozun, DSÖ'nün tavsiye ettiği 0,1 mSv değerinden daha düşük olduğu gösterilmiştir.

P. Yalçın ve diğeri [41] tarafından yapılan çalışmada, Erzincan İli ve ilçelerinden toplanan içme suyu örneklerinde, düşük zeminli (background) gaz orantılı toplam σ/β sayacı ile ölçülen toplam alfa ve beta aktivitesinin ortalama değerinin, sırasıyla, 0,048 Bq/L ve 0,10 Bq/L olduğu bulunmuştur.

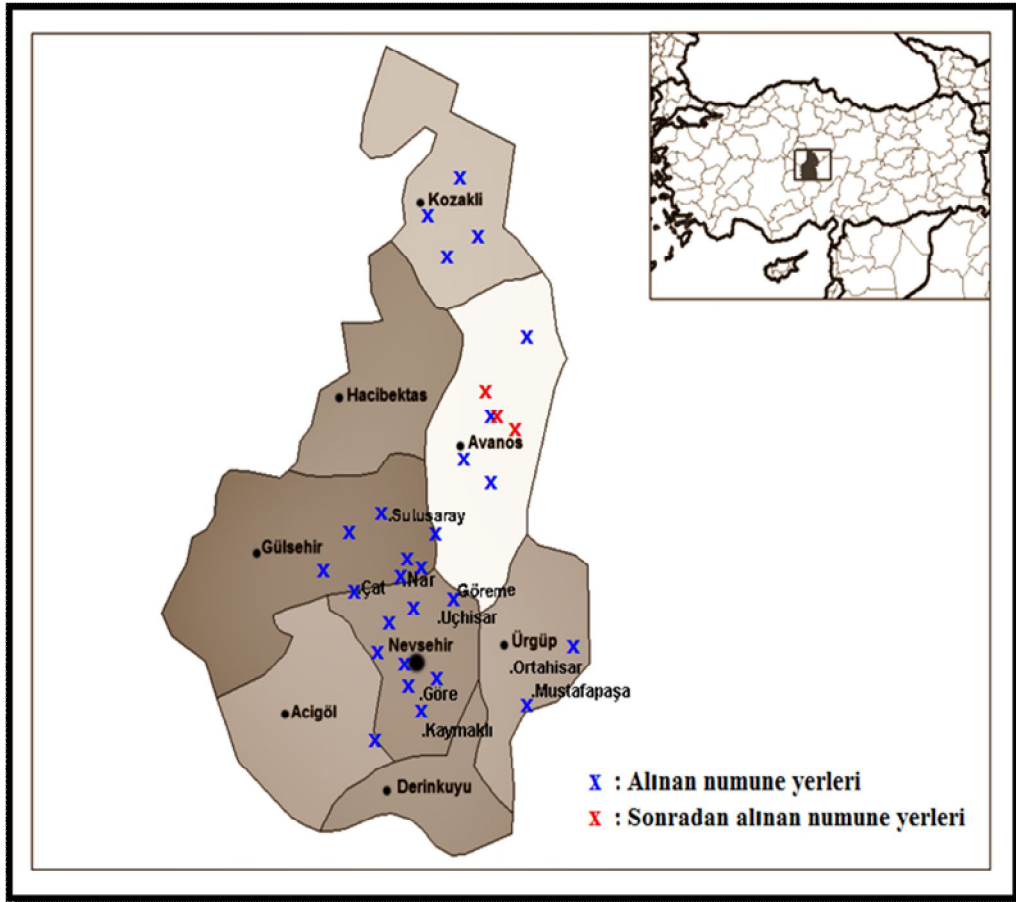
M. J. Ferdous ve diğeri [42] tarafından yapılan çalışmada, Dakka (Bangladeş) İlinden toplanan 20 içme suyu (musluksuyu) örneğinde, ZnS sintilasyon detektörlü gaz orantılı sayaç ile ölçülen toplam alfa ve beta aktivitesinin, sırasıyla, 1,88- 8,16 mBq/L ve 29,31- 115,740 mBq/L aralığında değiştiği bulunmuştur.

3. BÖLÜM

MATERYAL VE YÖNTEMLER

3.1. Örneklerin Toplanması

Şekil 3.1’de gösterildiği gibi Nevşehir (Merkez), Gülşehir, Avanos, Kozaklı, Acıgöl ve Ürgüp ilçeleri ve Sulusaray, Göre, Çat, Nar ve Uçhisar kasabalarından toplam 29 farklı noktadan toplam 30 adet su örneği toplanmıştır.



Şekil 3.1. Su örneklerinin toplandığı yerler

Su örneklerinin toplandığı yerlere ilişkin ayrıntılı bilgi Tablo 3.1’de verilmiştir. Su örnekleri, 5000 mL’lik polistren şişelerde toplanmıştır (Şekil 3.2). Örnekler toplanmadan önce şişeler su ile üç kez çalkalanmış ve daha sonra hava boşluğu kalmayacak şekilde kapatılmıştır. Toplanan su örnekleri, kategorize edilmiş, kodlanmış ve numaralandırılmıştır. Su örnekleri, mikroorganizmalar popülasyonunu indirmek ve şişe çeperlerindeki radyonüklit kaybını önlemek amacıyla pH değeri 2’ye düşüncüye kadar HNO₃ ile asitlendirme işlemine tabi tutulmuştur. Daha sonra su örnekleri, toplam alfa ve beta aktivite derişimi ölçümleri için Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (ÇNAEM) Toplam Alfa Beta Analizleri Sayım Laboratuarına gönderilmiştir.

Tablo 3.1. Su örneklerinin toplandığı yerlere ilişkin ayrıntılı bilgi

No	Su örneği	Örnek kodu	Örneğin alındığı mevki
1	Kuyu suyu	KYSUYU-1	Göre Mezarlığı
2		KYSUYU-2	Nevşehir (Merkez)- Polis Çeşmesi Göre yolu üzerinde
3		KYSUYU-3	Nevşehir (Merkez)- Uyuz Pınarı Göre yolu üzerinde
4		KYSUYU-4	Nevşehir (Merkez)- Tekyıl Petrol yanı Sanayi sitesi girişi
5		KYSUYU-5	Nevşehir (Merkez)- Taşlıbel Mezarlığı içi Aksaray caddesi
6		KYSUYU-6	Nevşehir (Merkez)- Ertaş Petrol yanı Nisa Yapı Koop. karşısı
7		KYSUYU-7	Çat-Beton Tesisi Karşısı
8		KYSUYU-8	Nar-Çat kavşağı
9		KYSUYU-9	Nar- Aşağı Mahalle
10		KYSUYU-10	Nar- Öz Maziyat Çeşmesi
11		KYSUYU-11	Nar- Belediye Mezarlığı
12		KYSUYU-12	Gülşehir-Sarnıç Petrol yanı Gülşehir yol kenarı
13		KYSUYU-13	Gülşehir- Sulusaray yolu üzeri
14		KYSUYU-14	Sulusaray- Merkez
15		KYSUYU-15	Sulusaray- Nevşehir yolu üzeri
16		KYSUYU-16	Uçhisar- Yol üzeri
17		KYSUYU-17	Avanos- Merkez
18		KYSUYU-18	Avanos- Merkez
19		KYSUYU-19	Avanos- Bahçelievler Mahallesi
20		KYSUYU-20	Avanos- Cumhuriyet Mahallesi
21		KYSUYU-21	Avanos- Meydandaki çeşme
22		KYSUYU-22	Avanos- Halk Eğitim Merkezi yanındaki parktaki çeşme
23		KYSUYU-23	Kozaklı- Merkez
24	Musluk suyu	İÇSUYU	Nevşehir (Merkez)- Musluk suyu
25	Yüzey suyu	YZSUYU-1	Acıgöl- Tatların Barajı-Batı
26		YZSUYU-2	Avanos- Özkonak Bayram Hacılı Barajı
27		YZSUYU-3	Ürgüp- Karakuş Mevki Orta Hisar Çayı
28	Kaplıca suyu	KPSUYU-1	Kozaklı- Grand Termal Otel
29		KPSUYU-2	Kozaklı- Asos Termal Otel
30		KPSUYU-3	Kozaklı- Sezerler Termal Otel



Şekil 3.2. Toplanan su örnekleri.

3.2. Örneklerin Ölçme İşlemine Hazırlanması

Örneklerin ölçme işlemine hazırlanması ve toplam alfa ve beta aktivitelerinin ölçülmesinde ve ileri ^{40}K radyoizotop analizinde kullanılan araç, gereç, cihaz ve donanımların listesi, Tablo 3.2’de, reaktifler ise Tablo 3.3’te verilmiştir.

Tablo 3.2. Deneylerde kullanılan araç, gereç, cihaz ve donanımların listesi

Araç, gereç ve cihazlar
Isıtıcı/Manyetik karıştırıcı
Karıştırıcı balık
Membran filtre (çap: 47 mm ve gözenek büyüklüğü: 0.45 μm)
Cam fiber filtre
Vakum pompası
Planşet (paslanmaz çelik)
Etüv (Memmert UNB 400)
Desikatör
Taşınabilir pH metre
Süzgeç kâğıdı
Hassas terazi
Cam malzemeler (balon joje, beher, büret, pipet, mezür, erlen, huni vb.)
Çeker ocak
Hot plate
Donanım
Berthold LB 770 markalı düşük zeminli (background) 10 dedektörlü gaz orantılı α/β sayaç
Varian/SpectrAA.200 markalı alevli atomik absorpsiyon spektrofotometresi (AAS)

Su örneklerindeki toplam alfa ve beta aktivite derişimlerinin ölçümünde kullanılan ve aynı anda 10 adet örnekte toplam alfa ve toplam beta analizi yapabilen Berthold LB 770 markalı gaz orantılı α/β sayacının özellikleri, Tablo 3.4’de verilmiş, sayaç ise Şekil 3.3’te gösterilmiştir.

Tablo 3.3. Deneylerde kullanılan reaktifler

Reaktifler
Amonyum hidroksit, NH_4OH
Deterjan, (1+4) damıtık (destile) su ile seyreltilmiş
Tampon çözeltileri (pH: 7, pH: 10 ve pH: 14)
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)
Bromocresol purple, % 0,1:100 mg indikatör (100 mL damıtık suda çözülmüş)
Demir taşıyıcı, 5 mg Fe^{+3} / mL: 17,5 g $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9 \text{H}_2\text{O}$ (200 mL damıtık suda çözülmüş)
Sülfat asidi, $\text{H}_2\text{SO}_4, 2\text{N}$: 200-300 mL damıtık suya, yavaş yavaş 55 mL derişik H_2SO_4 ilave edilir ve damıtık su ile 1 L’ye tamamlanır.

Tablo 3.4. Berthold LB 770 markalı gaz orantılı α/β sayacının teknik özellikleri

Dedektörler	25, 30, 50 ve 60 mm çapındaki planşet (örnek) ölçümüne uygun korumalı sayaç
Önyükselteç	Yükselme zamanı ve darbe yüksekliği ayırımını esas alan mükemmel alfa beta ayırma özelliğine sahip
Sayım gazı	Argon-Metan, Argon- CO_2
Sayım elektroniği	Örnek ve korumalı dedektör için yüksel gerilimli (HV) PC arayüzey
Yazılım	MS işletim sistemleri için Windows yazılımı



Şekil 3.3. Berthold LB 770 markalı gaz orantılı α/β sayacı

3.2.1. Su Örneklerinin Fiziksel Parametrelerinin Ölçülmesi

Su örneklerini ölçme işlemine hazırlamadan önce bazı fiziksel parametrelerin ölçülmesi gerekmektedir. Su örneklerinin pH değerleri sıcaklığa bağlı olarak değişebileceği için ilk önce örneklerin pH değerleri ve sıcaklıkları ölçülmüş ve sonuçlar, Tablo 3.5'te verilmiştir.

Tablo 3.5 Su örneklerinin pH ve sıcaklık değerleri

No	Örnek kodu	pH	Sıcaklık (°C)
1	KYSUYU-1	7,94	13,7
2	KYSUYU-2	7,52	13,8
3	KYSUYU-3	7,53	13,7
4	KYSUYU-4	7,48	13,8
5	KYSUYU-5	7,99	13,6
6	KYSUYU-6	7,90	13,7
7	KYSUYU-7	7,95	13,4
8	KYSUYU-8	7,98	13,7
9	KYSUYU-9	7,93	13,6
10	KYSUYU-10	7,99	13,9
11	KYSUYU-11	7,91	15,5
12	KYSUYU-12	8,17	15,8
13	KYSUYU-13	7,66	15,9
14	KYSUYU-14	7,65	16,2
15	KYSUYU-15	8,17	16,2
16	KYSUYU-16	7,41	16,1
17	KYSUYU-17	7,56	16,3
18	KYSUYU-18	7,43	16,0
19	KYSUYU-19	7,57	16,2
20	KYSUYU-20	7,43	16,0
21	KYSUYU-21	7,46	16,1
22	KYSUYU-22	7,54	15,9
23	KYSUYU-23	7,60	16,0
24	İÇSUYU	7,37	16,1
25	YKSUYU-1	7,56	16,3
26	YKSUYU-2	7,64	15,9
27	YKSUYU-3	7,68	16,2
28	KPSUYU-1	7,10	16,0
29	KPSUYU-2	7,39	16,1
30	KPSUYU-3	7,41	16,1

3.2.2. Su Örneklerinin Toplam Alfa Ölçümü İçin Hazırlanması

Su örneklerindeki toplam alfa aktivite derişimi, SM 7110 çöktürme yöntemi kullanılarak ölçülmüştür. İçme suyu örneklerinin sayıma hazırlanması, SM 7110 standart metodunda tarif edildiği şekilde su örneklerinin çöktürülmesi sonucunda elde edilen tortu veya kalıntı (residue) elde edilmesi esasına dayanır. Bu yöntem aşağıda verildiği gibi uygulanmıştır:

- Her bir su örneğinden hassas terazi yardımı ile 250 mL'lik miktar beherlere alındı. Beherlere alınan su örneklerine 2,5 damla seyreltilmiş deterjan ilave edildi.
- Hazırlanan 10 adet beher, manyetik balık çözeltilerin tam ortasına gelecek şekilde ısıtıcı/manyetik karıştırıcı üzerine konuldu. Daha sonra her bir behere 20 mL 2N sülfürik asit (H_2SO_4) ilave edildi.
- Kaynadıktan sonra 10 dakika daha karışması sağlandı. Böylece örnekte olabilecek karbonat ve bikarbonatlar, CO_2 formunda ortamdaki uzaklaştırılmış oldu.
- Sıcaklık, kaynama noktasının altında olacak şekilde azaltıldı. 0,5 mL baryum taşıyıcı eklendi ve karıştırma işlemine 30 dakika daha devam edildi.
- Çözeltiyeye 0,5 mL bromocresol purple indikatör çözeltisi, 1 mL demir taşıyıcı çözeltisi ve 5 mL paper pulp/su karışımı ilave edildi (Şekil 3.4).
- Daha sonra çözeltilere damla damla 6 N NH_4OH ilave edildi. Çözeltilerin rengi sarıdan mora dönmeye başladı (Şekil 3.5).
- Isıtma ve karıştırma işlemine 30 dakika daha devam edildi.
- Örnekler çökmesi için bekletildi. Daha sonra oluşan çökelekler, vakum pompasıyla 0,45 μm gözenekli filtre kağıdı üzerine süzöldü (Şekil 3.6) ve beherler 25 mL damıtık su ile yıkandı.
- Filtre kâğıdına alınan çökelekler en az 3 saat radon ürünlerinin uzaklaşması için bekletildi.
- Çökelekler, sıcaklığı 105 C°'ye ayarlanmış etüvde kurutuldu ve planşetler üzerine alınan örnekler, ölçme işlemleri için sayım sistemi (sayaca) yerleştirildi (Şekil 3.7).



Şekil 3.4 Beherler ısıtıcı/magnetik karıştırıcı üzerine konur ve sülfirik asit, bromocresol purple indikatör çözeltisi ilavesi



Şekil 3.5. Çözeltilerin 6 N NH_4OH ilave edilmiş hâli



Şekil 3.6. Çökmesi için belirtilen örneklerin filtre kağıdına alınışı.



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

3.2.3. Su Örneklerinin Toplam Beta Ölçümü İçin Hazırlanması

Su örneklerindeki toplam beta aktivite derişimi, EPA 900 buharlaştırma yöntemi [52] kullanılarak ölçülmüştür. İçme suyu örneklerinin sayıma hazırlanması, EPA 900 standart metodunda tarif edildiği şekilde suyun buharlaştırılarak kalıntı elde edilmesi esasına dayanır. Bu yöntem aşağıda verildiği gibi uygulanmıştır:

- Her bir su örneğinden hassas terazi yardımı ile 250 mL'lik miktar beherlere alındı.
- Beherlere alınan su örneklerine 2,5 damla (100 mL de 1 mL olacak şekilde) nitrik asit (HNO_3) ilave edildi. Hazırlanan 10 adet örneğin pH değerinin 2 olması sağlandı.
- Örnekler, sıcaklığı 60-70 °C'ye ayarlı ısıtıcı üzerinde, 5-10 mL kalıncaya kadar kaynatılmadan buharlaştırıldı.
- Diğer yandan boş planşetler, etüvde 105 °C'de yaklaşık 2 saat tutularak sabit tartıma getirildi.
- Etüvden alınan boş planşetler, ortamdaki nemden etkilenmemeleri için yaklaşık 30 dakika desikatörde soğutulmaya bırakıldı.
- Buharlaştırma işlemine tabi tutulan örnekler, soğutulan planşetlere taşmayacak şekilde aktarıldı.
- İçinde örnek olan planşetler, kızılötesi (infrared) lamba altında buharlaştırılarak dağılımın düzgün olması sağlandı.
- Daha sonra planşetler, etüvde 105 °C'de yaklaşık 2 saat tutularak sabit tartıma getirildi (Şekil 3.8).

- Etüvde kurutulun planşetler, ölçme işlemleri için sayım sistemine (sayaca) yerleştirildi.



Şekil 3.8. Kızılötesi lamba altında buharlaştırılan ve ısıtıcıda sabit tartıma getirilen planşetler içindeki örnekler

3.3. Su örneklerdeki toplam alfa ve beta aktivitesinin ölçülmesi

Ölçme işlemine hazırlanan su örnekleri sayım sisteminde (sayaçta), toplam alfa aktivite ölçümü için 100 dakika olmak üzere iki defa ve toplam beta aktivite için ise 500 dakika olmak üzere iki defa ölçme işlemine tabi tutuldu. Toplam alfa ve beta aktivite derişim sonuçları, ikişer defa yapılan ölçümlerin ortalaması olarak verilmiştir. Ölçme işlemine başlamadan önce dedektör verim kalibrasyon ve ortamdaki doğal radyasyon (background ölçümleri) yapıldı.

3.3.1. Dedektörün Verim Kalibrasyonu

Dedektör verim kalibrasyon işlemi için alfa standart kaynağı olarak Amersham sertifikalı radyoaktivitesi bilinen ^{241}Am , beta standart kaynağı olarak ise Amersham sertifikalı radyoaktivitesi bilinen ^{90}Sr stok çözeltilerinden gerekli seyreltmelerle radyoaktif standart çözeltiler hazırlandı. Seyreltilen radyoaktif standardın zaman düzeltmesi de yapılarak radyoaktivite değeri (dpm/mL) hesaplandı. Hesaplanan radyoaktivite değerini ve tarihi de içeren bir etiket hazırlanarak seyreltilmiş radyoaktif standardın olduğu balon jopenin üzerine yapıştırıldı. Deneyleerde kullanılan radyoaktif standart çözeltiler, etiketli balon jojelerde ağızları parafilm ile sıkıca sarılarak kurşun zırlı bölümde muhafaza edildi. Farklı hacimlerde (50, 100, 150, 200, 250, 300, 350

mL) alınan içme suyu örneklerine radyoaktivitesi bilinen ^{241}Am (aktivitesi: 1 $\mu\text{Ci}/5\text{ mL}$; $E_{\alpha}=5,49\text{ MeV}$; $T_{1/2} = 432\text{ yıl}$) ve ^{90}Sr (1 $\mu\text{Ci}/10\text{ mL}$; $E_{\beta}=5,46\text{ MeV}$; $T_{1/2} = 29\text{ yıl}$) radyoaktif standart çözeltiler ilave edildi ve kızılötesi lamba altında 5 mL kalıncaya kadar buharlaştırılarak kalıntı ağırlığı farklı bir seri radyoaktif standart numune hazırlandı. Her bir standart numune için 10000 sayım alınacak şekilde sayımlar yapıldı. Sistem otomatik olarak bu ağırlıkları ayrıntılı hâle getirerek toplam alfa ve beta radyoaktiviteleri için farklı ağırlıklara karşı % cpm/dpm (sayım verimi) tablosunu ve grafiğini oluşturur. Elde edilen bu kalibrasyon değerleri alfa/beta sayım sisteminde otomatik olarak belleğe alınır. Hazırlanan bu kalibrasyon örnekleri, alfa/beta sayım sisteminin performans kontrolünde kullanılmak üzere desikatörde muhafaza edildi. Sayım verimi, aşağıda verile formül ile hesaplandı:

$$\eta = \text{Standartın sayım hızı (cpm)} / \text{Standartın bozunum hızı (dpm)} \quad (3.1)$$

3.3.2. Toplam Alfa ve Beta Aktivitesinin Hesaplanması

Su örneklerinin çöktürülmesi veya buharlaştırma sonrasında elde edilen ve sabit tartıma getirilmiş olan net kalıntı miktarı, buharlaştırılan su hacmi, örnek sayım süresi, ortam doğal radyasyon sayım hızı sisteme girilir. Sistem, belleğinde yüklü olan sayım verimi kalibrasyonunu kullanarak örneğin çöktürülmesi veya buharlaştırması ile elde edilen kalıntıya karşı gelen alfa ve beta sayım verimlerini seçer ve net sayım hızını ve diğer verileri kullanarak otomatik olarak toplam alfa ve toplam beta radyoaktivitelerini aşağıda verilen bağıntı yardımı ile hesaplar:

$$A_{\alpha,\beta} (\text{Bq/L}) = \frac{1000 \div (N_{\text{net}} \pm \sigma_{\alpha,\beta})}{60 \cdot \eta \cdot F \cdot V} \quad (3.2)$$

$$\sigma_{\alpha,\beta} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{N_{\text{örnek}}}{t_{\text{örnek}}} + \frac{B}{t_B}} \quad (3.3)$$

Burada,

$A_{\alpha,\beta}$: Örneğin toplam alfa/beta radyoaktivitesi

N_{net} : Örneğin net sayım hızı (cpm)

$\sigma_{\alpha,\beta}$: Standart hata (cpm)

η : Sayım verimi (cpm/dpm)

F : Alfa öz soğurma faktörü

V : Örneğin hacmi (mL)

$N_{\text{örnek}}$: Örneğin sayım hızı (cpm)

$t_{\text{örnek}}$: Örneğin sayım süresi

t_B : Background ölçümü sayım süresidir.

3.3.3. Ölçülebilir En Küçük Aktivite Derişimi

Ölçülebilir en küçük aktivite derişimi (ÖEKAD) aşağıda verilen formül kullanılarak hesaplanmıştır:

$$\text{ÖEKAD (Bq/L)} = \frac{L_D}{60 \cdot \eta \cdot T \cdot V} \quad (3.4)$$

$$L_D = 2,71 + 4,65 \cdot \sqrt{N_B \cdot t} \quad (3.5)$$

Burada,

V : Örneğin hacmi (mL)

t : Sayım süresi

ε : Verim

N_B : Background sayım hızıdır.

4. BÖLÜM

BULGULAR

4.1. Toplam Alfa ve Beta Radyoaktivite Derişimi

Toplam alfa ve beta için ölçülebilir en küçük aktivite derişimi (ÖEKAD) denklem (3.4) ve denklem (3.5) kullanılarak hesaplanmıştır. ÖEKAD değeri toplam alfa aktivitesi için 7 mBq/L ve toplam beta aktivitesi için ise 8 mBq/L olarak bulundu. Nevşehir (Merkez), Gülşehir, Avanos, Kozaklı, Acıgöl ve Ürgüp ilçeleri ve Sulusaray, Göre, Çat, Nar ve Uçhisar kasabalarından toplam 29 farklı noktadan toplanan içme suyu kaynağı olarak kullanılan 23 adet yer altı suyu (kuyu suyu), 1 adet içme suyu (musluk suyu), 3 adet yüzey suyu ve 3 adet kaplıca suyu örneklerinde ölçülen alfa ve beta aktivite derişim değerleri, istatistikî belirsizlikleriyle birlikte Tablo 4.1'de verilmiş ve toplam alfa ve beta aktivitelerinin karşılaştırılması ise Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Toplam 23 adet yeraltı su (kuyu suyu) örneklerinde ölçülen toplam alfa ve beta değerlerine ilişkin ortalama ve ortanca değer, standart hata, basıklık ve çarpıklık gibi istatistikî bilgiler, Tablo 4.2'de sunulmuştur. Yer altı, içme ve yüzey toplam 27 adet içilebilir su örneklerine ilişkin toplam alfa ve beta aktivite derişim frekans dağılımları, sırasıyla Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te gösterilmiştir. Tablo 4.2'de verilen basıklık ve çarpıklık değerlerinin pozitif olmasından, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te verilen frekans dağılım eğrilerinin simetrik olmadığını ve log-normal dağılım sergilediği anlaşılabilir. Toplam alfa ve toplam beta aktivitesi ile çözünmeyen toplam kalıntı (TDS) arasındaki ilişki toplam alfa için Şekil 4.4'de ve toplam beta için Şekil 4.5'te gösterilmiştir. Şekil 4.5'ten, toplam beta aktivitesi ile TDS arasında ilişkinin, toplam alfa ile TDS arasındaki ilişkiye göre daha makul olduğu anlaşılmaktadır.

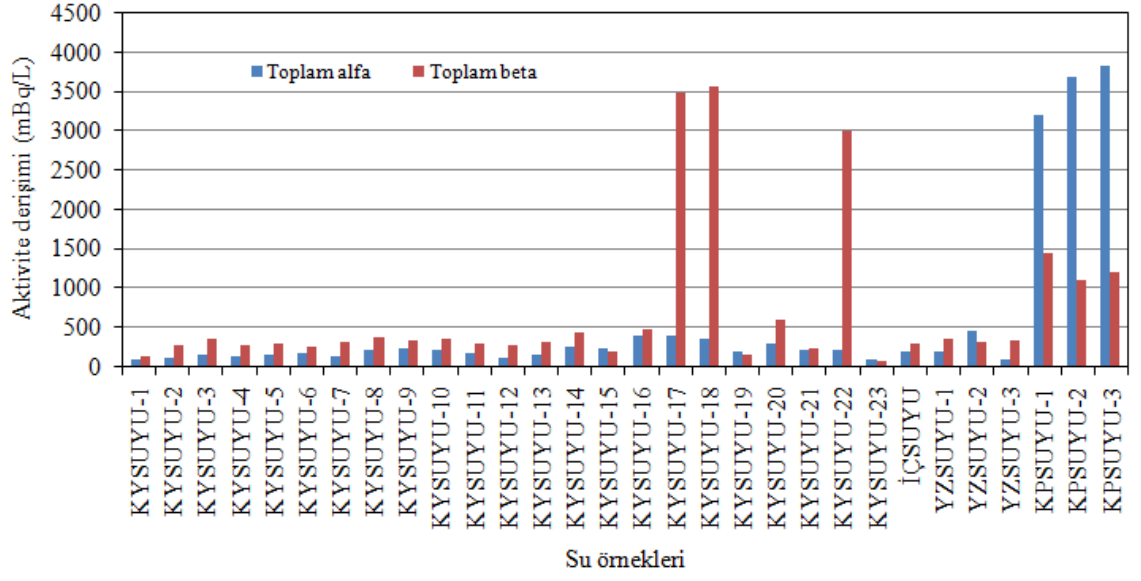
Farklı noktadan alınan 29 adet su örneklerinde ölçülen toplam alfa ve beta aktivite değerleri, Mapinfo 6.0 yazılım programı kullanılarak su örnekleri alınan yerlere ilişkin tahmini toplam alfa ve beta aktivite derişim haritası, toplam alfa için Şekil 4.6'da ve toplam beta için Şekil 4.7'de verilmiştir.

İncelenen içme suyu örnekleri (kuyu, musluk ve yüzey suyu) ölçülen doğal radyoaktivite, Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ), Çevre ve Orman Bakanlığı (ÇOB), Sağlık Bakanlığı (SB) ve Türk standartları Enstitüsü (TSE) tarafından tavsiye edilen ölçüt değerler ile karşılaştırılması, toplam alfa için Şekil 4.8'de ve toplam beta için Şekil 4.9'da verilmiştir.

Tablo 4.1. İncelenen su örneklerinde ölçülen toplam alfa ve toplam beta aktivite derişimi ve TDS

No	Örnek kodu	Toplam α (mBq/L)	Toplam β (mBq/L)	TDS (mg/L)
1	KYSUYU-1 ^a	80 \pm 10	120 \pm 20	184
2	KYSUYU-2	100 \pm 10	270 \pm 40	384
3	KYSUYU-3	150 \pm 20	340 \pm 30	560
4	KYSUYU-4	130 \pm 20	260 \pm 30	504
5	KYSUYU-5	140 \pm 10	290 \pm 20	580
6	KYSUYU-6	160 \pm 20	240 \pm 20	516
7	KYSUYU-7	130 \pm 20	300 \pm 20	376
8	KYSUYU-8	200 \pm 20	360 \pm 30	476
9	KYSUYU-9	230 \pm 20	320 \pm 30	480
10	KYSUYU-10	200 \pm 20	340 \pm 30	488
11	KYSUYU-11	170 \pm 20	280 \pm 20	388
12	KYSUYU-12	100 \pm 10	260 \pm 40	620
13	KYSUYU-13	150 \pm 20	300 \pm 30	404
14	KYSUYU-14	240 \pm 20	430 \pm 40	568
15	KYSUYU-15	220 \pm 20	190 \pm 20	360
16	KYSUYU-16	380 \pm 20	460 \pm 30	732
17	KYSUYU-17	380 \pm 20	3470 \pm 90	1604
18	KYSUYU-18	343 \pm 96	3550 \pm 165	1767
19	KYSUYU-19	180 \pm 20	140 \pm 20	568
20	KYSUYU-20	280 \pm 20	590 \pm 40	1100
21	KYSUYU-21	197 \pm 40	223 \pm 54	567
22	KYSUYU-22	206 \pm 57	2980 \pm 144	1600
23	KYSUYU-23	90 \pm 10	70 \pm 30	396
24	İÇSUYU ^b	180 \pm 20	290 \pm 20	584
25	YZSUYU-1 ^c	190 \pm 20	340 \pm 30	560
26	YZSUYU-2	450 \pm 30	310 \pm 50	1796
27	YZSUYU-3	90 \pm 10	330 \pm 30	492
28	KPSUYU-1 ^d	3180 \pm 70	1430 \pm 360	2304
29	KPSUYU-2	3680 \pm 90	1090 \pm 50	2384
30	KPSUYU-3	3820 \pm 80	1200 \pm 60	2436

^aKYSUYU: Kuyu suyu^bİÇSUYU: İçme suyu^cYZSUYU: Yüzey suyu^dKPSUYU: Kaplıca suyu

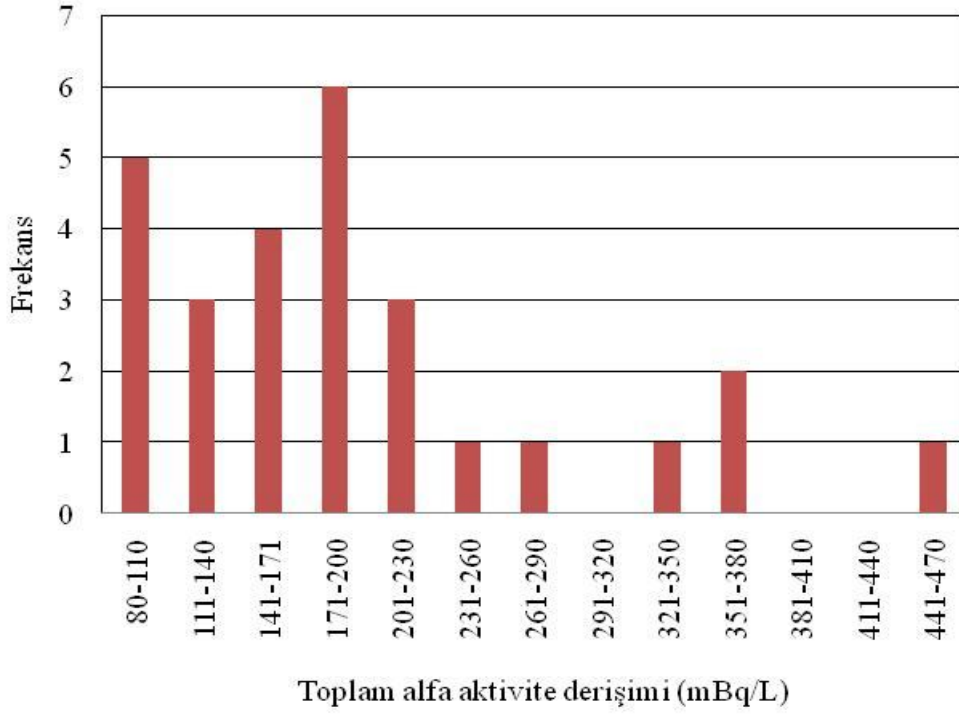


Şekil 4.1. İncelen örneklerde ölçülen toplam alfa ve beta aktivitelerinin karşılaştırılması

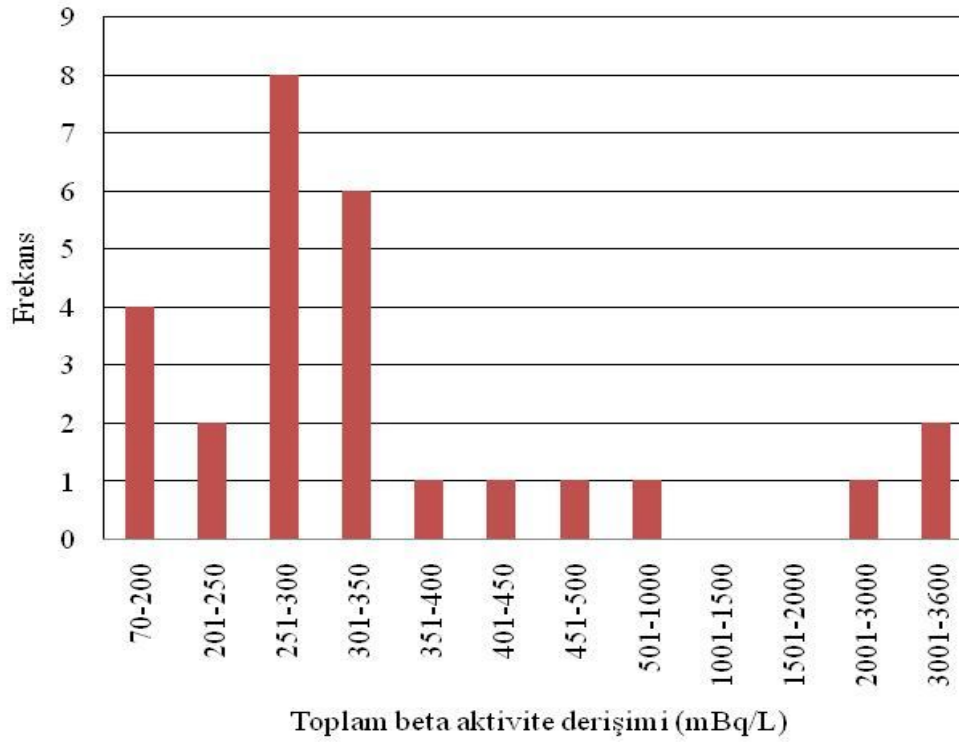
Tablo 4.2. Yeraltı suyu örneklerinde ölçülen toplam α ve β değerlerine ilişkin istatistikî bilgiler

	Aktivite derişimi (mBq/L)	
	Toplam α	Toplam β
Aritmetik ortalama	194	686
Ortanca değer	180	300
Standart hata	18	221
Basıklık	0,4	4
Çarpıklık	1	2
En küçük değer	80	70
En büyük değer	380	3550

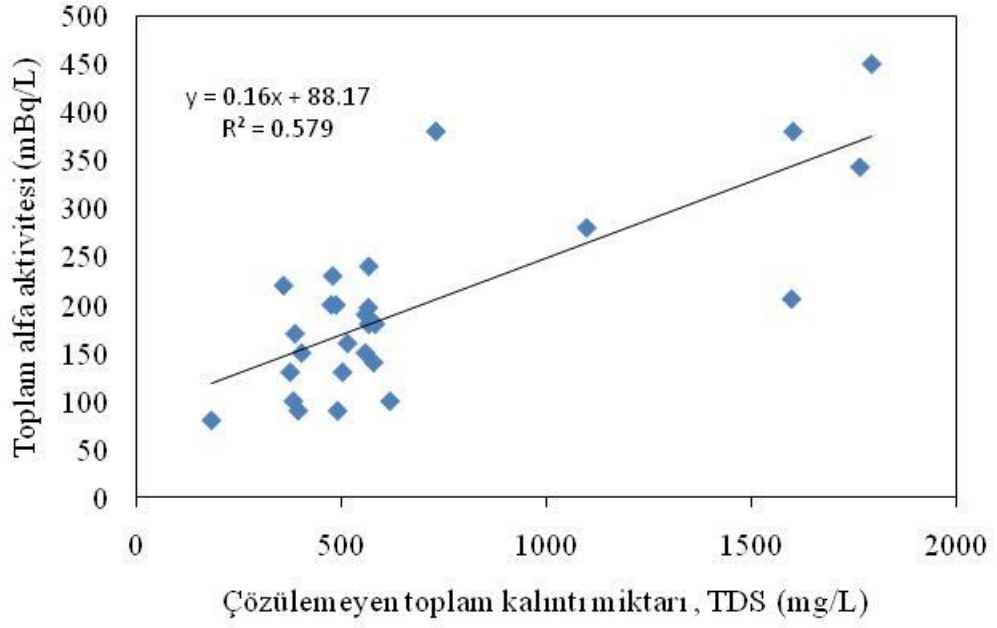
İncelenen su örneklerinde ölçülen toplam alfa ve beta aktiviteleri, literatürde yer alan çalışmalarda elde edilen veriler ile Tablo 4.3'te karşılaştırılmıştır.



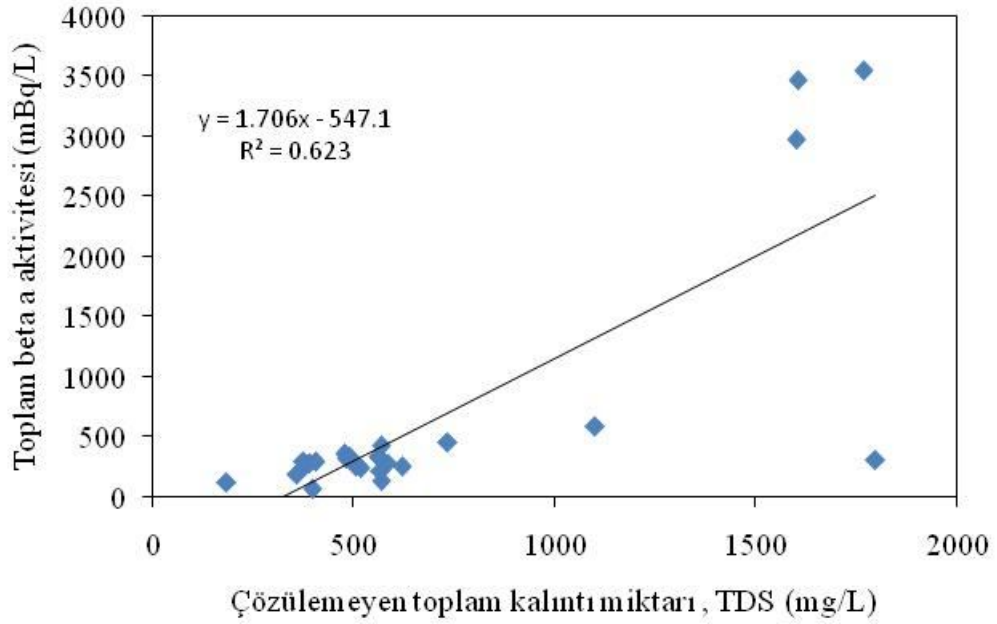
şekil 4.2. 27 adet içilebilir su örneğinde ölçülen toplam alfa aktivite derişim değerlerinin frekans dağılımı



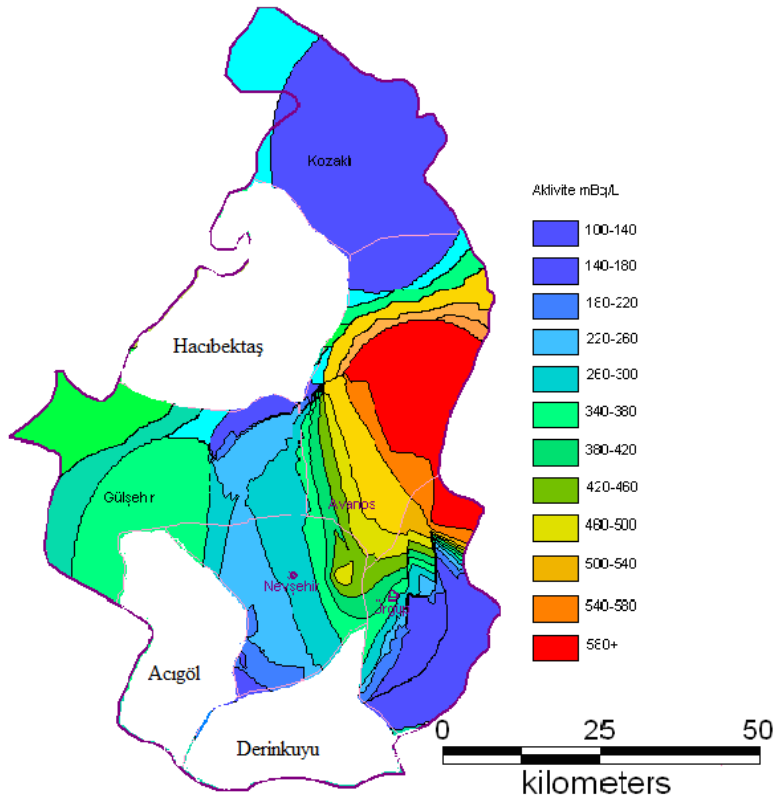
şekil 4.3. 27 adet içilebilir su örneğinde ölçülen toplam beta aktivite derişim değerlerinin frekans dağılımı



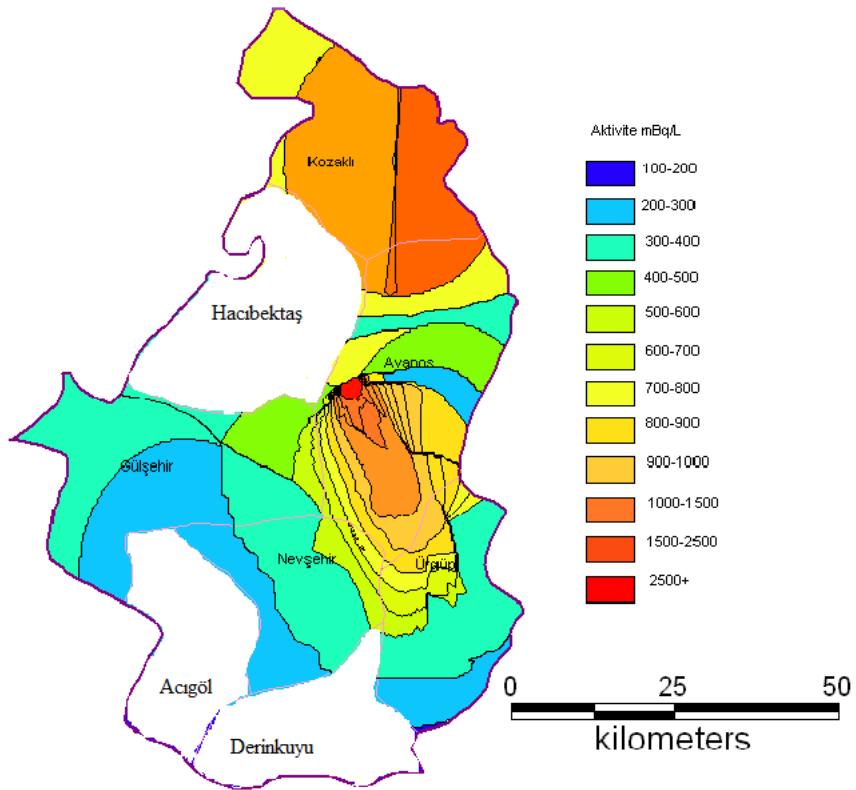
Şekil 4.4. Toplam alfa ile TDS arasındaki ilişki



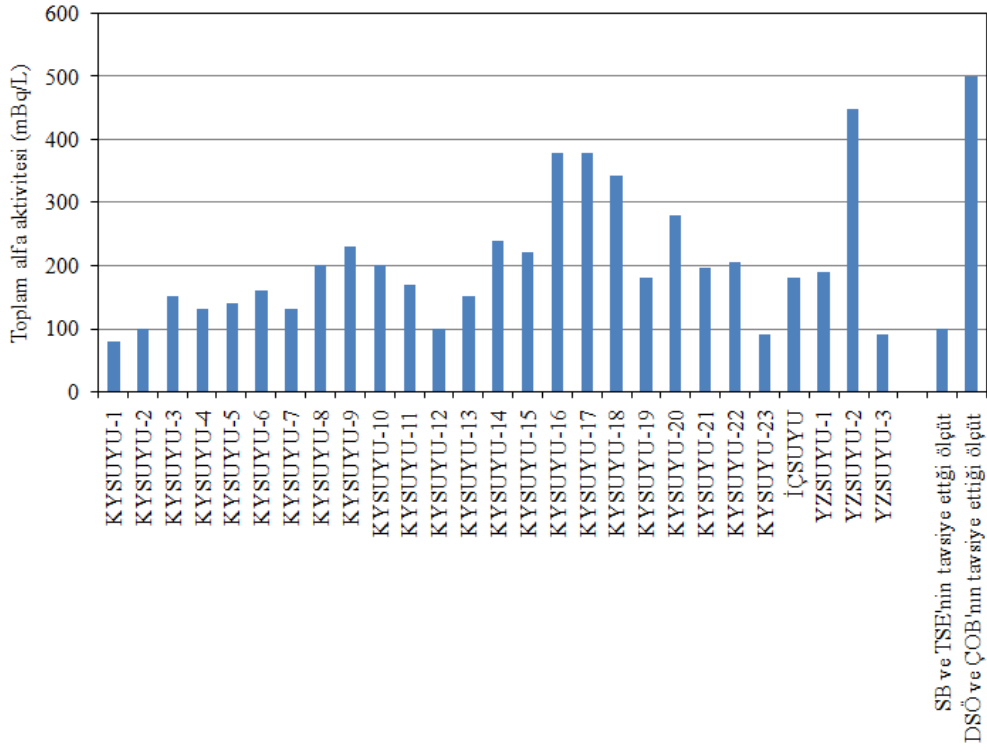
Şekil 4.5. Toplam beta ile TDS arasındaki ilişki



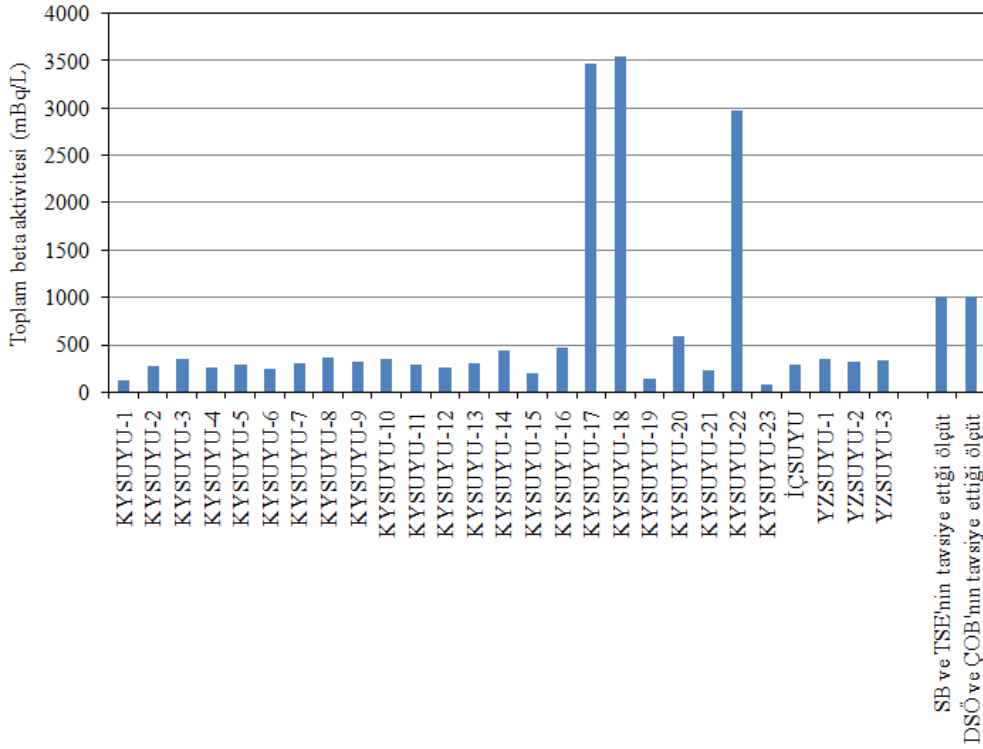
Şekil 4.6. Örnek toplanan yerlerin tahmini toplam alfa aktivite derişim dağılımı



Şekil 4.7. Örnek toplanan yerlerin tahmini toplam beta aktivite derişim dağılımı



Şekil 4.8. Su örneklerinde ölçülen toplam alfa aktivitesinin DSÖ, ÇOB, SB ve TSE tarafından tavsiye edilen ölçüt değerler ile karşılaştırılması



Şekil 4.9. Su örneklerinde ölçülen toplam beta aktivitesinin DSÖ, ÇOB, SB ve TSE tarafından tavsiye edilen ölçüt değerler ile karşılaştırılması

Tablo 4.3. İncelenen su örneklerinde ölçülen toplam α/β aktivite değerlerinin literatürde yer alan veriler ile karşılaştırılması

Ülke	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 et al., 2007
Türkiye (Gaziantep)		49,3	128,4	Osmanlıoğlu et al., 2007
Türkiye (Trabzon)		6,5	100,8	Damla et al., 2006
Türkiye (Rize)		8,3	82,8	Damla et al., 2006
Türkiye (Giresun)		7,1	97,1	Damla et al., 2006
Türkiye (İstanbul)		22,8	66,4	Karahan et al., 2000
Türkiye (Batman)		33,8	80,3	Damla et al., 2009
Türkiye (Tekirdağ)		44	100	Kam et al., 2009
Türkiye (Samsun)		51,9	77,8	Görür et al., 2011
Türkiye (Elazığ)		91	37	Canbazoğlu et al., 2012
Bangladeş (Dakka)		3,8	60	Ferdous et al., 2012
İtalya		8-349 ^a	25-273 ^a	Forte et al., 2007
Türkiye (İstanbul)	Kuyu suyu	23,1	70,1	Karahan et al., 2000
Türkiye (Batman)		73,4	73,7	Damla et al., 2009
Türkiye (Nevşehir)		194	686	Bu çalışma
Brezilya (Sao Paulo)		340	2	Bonotto et al., 2009
Türkiye (Batman)	Yüzey suyu	46,8	77,9	Damla et al., 2010
Türkiye (Adana)		5	245,3	Değerlier ve Karahan (2010)
Türkiye (Samsun)		142	180,5	Görür et al., 2011
Türkiye (Nevşehir)		243	327	Bu çalışma
Türkiye (Batman)	Kaplıca suyu	3910	2097	Damla et al., 2010
Türkiye (Nevşehir)		3560	1240	Bu çalışma
İspanya (Andalusian)		<20-2420 ^a	<50-5800 ^a	Duenas et al., 1998
USA(Saratoga)		<37-31000 ^a	110-18900 ^a	Kitto et al., 2005

^aAralık (En küçük-En büyük)

4.1.1. İleri Analiz

Tablo 4.1 ve Şekil 4.9'dan görülebileceği gibi KYSUYU-17, KYSUYU-18 ve KYSUYU-22 örneklerinde ölçülen toplam beta aktivitesinin, DSÖ'nün tavsiye ettiği ve ÇOB, SB ve TSE tarafından kabul edilen ölçüt veya sınır değer olan 1000 mBq/L'den daha 3-3,5 kata daha büyüktür. Bu örneklerden ilk olarak analiz edilen KYSUYU-17 örneğinde toplam beta aktivitesi 3550 mBq/L olarak ölçülmüştür. Bu değeri doğrulamak amacıyla farklı zamanlarda aynı yerden alınan KYSUYU-18 ve yakındaki yerden alınan KYSUYU-22 örneklerindeki toplam beta ölçülmüş ve sınır değerden yaklaşık 3-3,5 kat daha büyük olduğu bulunmuştur. Sonuç olarak bu örneklerin beta aktivitesine sebep olan radyonüklitleri bulmak için ileri analize tabi tutulmaları gereği ortaya çıkmıştır. Uranyum serisinden ^{210}Pb , toryum serisinden ^{228}Ra ve yerkabuğunda ortalama yaklaşık %2 civarında bulunabilen ^{40}K , beta aktivitesine büyük oranda katkıda bulunan radyonüklitlerdir. İleri analiz işlemine bölgenin jeokimyasal yapısı da dikkate alınarak ^{40}K radyoizotopundan başlandı. Doğal potasyum elementi izotopik bolluğu %93,3 olan ^{39}K (kararlı izotop), % 0,0117 olan ^{40}K ve % 6,68 olan ^{41}K (kararlı izotop) 'dan oluşmaktadır. KYSUYU-18 ve KYSUYU-22 örneklerindeki doğal potasyum elementinin (^{39}K) analizi atomik absorpsiyon spektrofotometrik (AAS) yöntemiyle Varian/SpectrAA.200 AAS cihazı kullanılarak yapıldı. Daha sonra doğal potasyum elementi içindeki ^{40}K 'ın derişimi (litre başına miktarı) ve aktivitesi hesaplandı. İleri analiz sonucu Tablo 4.4'de ve net toplam beta aktivite derişimi ise Tablo 4.5'te verilmiştir.

Tablo 4.4. KYSUYU-18 ve KYSUYU-22 örnekleri için yapılan ileri analiz sonucu

No	Örnek kodu	^{39}K (mg/L)	^{40}K		
			mg/L	g/L	Bq/L ^a
18	KYSUYU-18	90,9 ± 1,5	0,01064	0,00001064	2751 ± 280
22	KYSUYU-22	90,1 ± 1,1	0,01055	0,00001055	2726 ± 270

^aBu değer ^{40}K 'ın spesifik aktivitesi ile çarpılarak bulunmuştur.

Tablo 4.5. KYSUYU-18 ve KYSUYU-22 örneklerinde ki toplam β aktivite derişimi

No	Örnek kodu	Toplam β aktivitesi (mBq/l)	^{40}K katkısı çıkarıldıktan sonraki toplam β aktivitesi (mBq/l)
18	KYSUYU-18	3550	799
22	KYSUYU-22	2980	254

4.2. İçme Suyunun Tüketilmesinden Kaynaklanan Yıllık Etkin Radyasyon Dozunun Değerlendirilmesi

İçme suyu, insan sağlığı açısından risk (tehlike) oluşturabilecek radyoaktif maddeleri içerebilir. Bu radyolojik risk, içme sularında mevcut bulunabilen mikroorganizmalar ve kimyasallardan kaynaklanan risk ile kıyaslandığında, küçük olabilir. Ancak, radyasyondan korunma, herhangi bir durumda radyasyona maruz kalmanın ihmal edilemeyecek bir risk içerdiği kabulünü esas alır. Kaldı ki radyonüklit içeren suyun sürekli olarak sindirilmesi sonucunda 100 μSv 'in üzerinde bir doz alacak şekilde uzun süre iç ışınlamaya maruz kalmanın, bireylerde kanser riskini attırdığına ilişkin kanıtlar mevcuttur [47]. Bununla birlikte bu güne kadar yapılan epidemolojik çalışmalarda bu dozun altında, kanser riski artışı tespit edilmemiştir [10]. Radyasyona maruz kalma ile risk arasında doğrusal bir ilişkinin var olduğu ve altındaki bir değerde riskin olamayacağı herhangi bir eşik değer var olmadığı kabul edilmiştir. 0,1 $\mu\text{Sv}/\text{yıl}$ değerindeki bireysel doz ölçütü (BDÖ) gözlenebilir herhangi bir olumsuz sağlık etkisini doğuracağı beklenmeyen çok düşük bir risk seviyesine karşılık gelir. Çünkü radyasyondan korunma ile ilgili uluslararası komisyonun en son tavsiyelerinde, radyasyonun tetiklediği kanser vakasına ilişkin anma risk katsayısı $5,5 \times 10^{-2}/\text{Sv}$ olarak yer almıştır (ICRP, 2008). Bu değer BDÖ ile çarpıldığında, kanser riskinin tahmini değeri yaklaşık $5,5 \times 10^{-6}$ olarak hesaplanır. BDÖ'nün hesaplanmasında, içme sularında ölçülen toplam alfa aktivitesinin 500 mBq/L değeri ile toplam beta aktivitesinin 1000 mBq/L değeri esas alınmıştır.

Deneyimler, içme sularının tüketilmesinden kaynaklanan 0,1 μSv 'lik yıllık etkin doz (YED) değerinin, içme sularında ölçülen toplam alfa aktivitesinin, 500 mBq/L değerinden küçük veya eşit olacağını göstermektedir. YED'in hesaplanması, bireylerin (bebek, çocuk ve erişkinlerin) içme sularının tüketilmesinden kaynaklanan iç ışınlama sonucunda sağlık açısından oluşabilecek radyolojik risklerin değerlendirilmesi açısından büyük önem arz etmektedir. YED; radyonüklit derişimi, doz dönüşüm katsayısı ve yıllık su tüketimi dikkate alınarak aşağıda verilen formül ile hesaplanmaktadır:

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

Burada,

A_D : Toplam alfa veya toplam beta aktivite derişimi

DK: Doz dönüşüm katsayısı. Alfa ve beta yayımlayan radyonüklitler için DK değerleri, Tablo 4.6.'da verilmiştir.

YTSM: Yıllık tüketilen su miktarıdır. YTSM, bebekler için 250 L, çocuklar için 350 L ve erişkinler için 730 L olarak alınmıştır [10].

Tablo 4.6. Alfa ve beta yayımlayan radyonüklitler için doz dönüşüm katsayıları [10].

Radyasyon tipi	Radyonüklit	Doz dönüşüm katsayısı ($\mu\text{Sv}/\text{Bq}$)
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	$6,2 \times 10^{-6}$

İncelenen içme suyu örneklerinin tüketilmesi sonucunda bireylerin aldığı yıllık etkin radyasyon dozu, bebek, çocuk ve erişkinler için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. İçme suyu örneklerindeki alfa yayımlayıcı ^{238}U , ^{234}U , ^{230}Th , ^{226}Ra , ^{210}Po , ^{232}Th ve beta yayımlayıcı ^{210}Pb , ^{228}Ra ve ^{40}K radyonüklitlerden kaynaklanan yıllık etkin doz değerleri, bebekler için Tablo 4.7 ve Tablo 4.8'de, çocuklar için Tablo 4.9 ve Tablo 4.10'da ve erişkinler için Tablo 4.11 ve Tablo 4.12'de verilmiştir. Bebek, çocuk ve erişkin için değerlendirilen alfa ve beta yayımlayıcı radyonüklitlerden kaynaklanan ortalama yıllık etkin doz değerleri, sırasıyla Şekil 4.10 ve Şekil 4.11'de gösterilmiştir. Toplam α ve β 'dan kaynaklanan YED değerleri ile bireysel doz ölçütü, bebek, çocuk ve erişkin bireyler için Şekil 4.12'de karşılaştırılmıştır.

Tablo 4.7. Bebekler tarafından tüketilen içme sularındaki alfa yayınlayan radyonüklitlerden kaynaklanan yıllık etkin doz değerleri

No	Örnek kodu	İçme sularında bulunan alfa yayınlayıcı radyonüklitlerden kaynaklanan yıllık etkin doz (μSv)						Ortalama yıllık etkin doz (μSv)
		^{238}U	^{234}U	^{230}Th	^{226}Ra	^{210}Po	^{232}Th	
1	KYSUYU-1	0.9	1.0	4.2	5.6	24.0	4.6	6.7
2	KYSUYU-2	1.1	1.2	5.3	7.0	30.0	5.8	8.4
3	KYSUYU-3	1.7	1.8	7.9	10.5	45.0	8.6	12.6
4	KYSUYU-4	1.5	1.6	6.8	9.1	39.0	7.5	10.9
5	KYSUYU-5	1.6	1.7	7.4	9.8	42.0	8.1	11.7
6	KYSUYU-6	1.8	2.0	8.4	11.2	48.0	9.2	13.4
7	KYSUYU-7	1.5	1.6	6.8	9.1	39.0	7.5	10.9
8	KYSUYU-8	2.3	2.5	10.5	14.0	60.0	11.5	16.8
9	KYSUYU-9	2.6	2.8	12.1	16.1	69.0	13.2	19.3
10	KYSUYU-10	2.3	2.5	10.5	14.0	60.0	11.5	16.8
11	KYSUYU-11	1.9	2.1	8.9	11.9	51.0	9.8	14.3
12	KYSUYU-12	1.1	1.2	5.3	7.0	30.0	5.8	8.4
13	KYSUYU-13	1.7	1.8	7.9	10.5	45.0	8.6	12.6
14	KYSUYU-14	2.7	2.9	12.6	16.8	72.0	13.8	20.1
15	KYSUYU-15	2.5	2.7	11.6	15.4	66.0	12.7	18.5
16	KYSUYU-16	4.3	4.7	20.0	26.6	114.0	21.9	31.9
17	KYSUYU-17	4.3	4.7	20.0	26.6	114.0	21.9	31.9
18	KYSUYU-18	3.9	4.2	18.0	24.0	102.9	19.7	28.8
19	KYSUYU-19	2.0	2.2	9.5	12.6	54.0	10.4	15.1
20	KYSUYU-20	3.2	3.4	14.7	19.6	84.0	16.1	23.5
21	KYSUYU-21	2.2	2.4	10.3	13.8	59.1	11.3	16.5
22	KYSUYU-22	2.3	2.5	10.8	14.4	61.8	11.8	17.3
23	KYSUYU-23	1.0	1.1	4.7	6.3	27.0	5.2	7.6
24	İÇSUYU	2.0	2.2	9.5	12.6	54.0	10.4	15.1
25	YZSUYU-1	2.1	2.3	10.0	13.3	57.0	10.9	15.9
26	YZSUYU-2	5.1	5.5	23.6	31.5	135.0	25.9	37.8
27	YZSUYU-3	1.0	1.1	4.7	6.3	27.0	5.2	7.6
	Ortalama	2.2	2.4	10.4	13.9	59.6	11.4	16.7
	En küçük	0.9	1.0	4.2	5.6	24.0	4.6	6.7
	En büyük	5.1	5.5	23.6	31.5	135.0	25.9	37.8

Tablo 4.8. Bebekler tarafından tüketilen içme sularındaki beta yayınlayan radyonüklitlerden kaynaklanan yıllık etkin doz değerleri

No	Örnek kodu	İçme sularında bulunan beta yayınlayıcı radyonüklitlerden kaynaklanan yıllık etkin doz (μSv)			Ortalama yıllık etkin doz (μSv)
		^{210}Pb	^{228}Ra	^{40}K	
1	KYSUYU-1	20.7	20.7	0.2	13.9
2	KYSUYU-2	46.6	46.6	0.4	31.2
3	KYSUYU-3	58.7	58.7	0.5	39.3
4	KYSUYU-4	44.9	44.9	0.4	30.0
5	KYSUYU-5	50.0	50.0	0.4	33.5
6	KYSUYU-6	41.4	41.4	0.4	27.7
7	KYSUYU-7	51.8	51.8	0.5	34.7
8	KYSUYU-8	62.1	62.1	0.6	41.6
9	KYSUYU-9	55.2	55.2	0.5	37.0
10	KYSUYU-10	58.7	58.7	0.5	39.3
11	KYSUYU-11	48.3	48.3	0.4	32.3
12	KYSUYU-12	44.9	44.9	0.4	30.0
13	KYSUYU-13	51.8	51.8	0.5	34.7
14	KYSUYU-14	74.2	74.2	0.7	49.7
15	KYSUYU-15	32.8	32.8	0.3	21.9
16	KYSUYU-16	79.4	79.4	0.7	53.1
17	KYSUYU-17	598.6	598.6	5.4	400.8
18	KYSUYU-18	612.4	612.4	5.5	410.1
19	KYSUYU-19	24.2	24.2	0.2	16.2
20	KYSUYU-20	101.8	101.8	0.9	68.2
21	KYSUYU-21	38.5	38.5	0.3	25.8
22	KYSUYU-22	514.1	514.1	4.6	344.2
23	KYSUYU-23	12.1	12.1	0.1	8.1
24	İÇSUYU	50.0	50.0	0.4	33.5
25	YZSUYU-1	58.7	58.7	0.5	39.3
26	YZSUYU-2	53.5	53.5	0.5	35.8
27	YZSUYU-3	56.9	56.9	0.5	38.1
	Ortalama	108.9	108.9	1.0	73.0
	En küçük	12.1	12.1	0.1	8.1
	En büyük	612.4	612.4	5.5	410.1

Tablo 4.9. Çocuklar tarafından tüketilen içme sularındaki alfa yayımlayan radyonüklitlerden kaynaklanan yıllık etkin doz değerleri

No	Örnek kodu	İçme sularında bulunan alfa yayımlayıcı radyonüklitlerden kaynaklanan yıllık etkin doz (μSv)						Ortalama yıllık etkin doz (μSv)
		^{238}U	^{234}U	^{230}Th	^{226}Ra	^{210}Po	^{232}Th	
1	KYSUYU-1	1.3	1.4	5.9	7.8	33.6	6.4	9.4
2	KYSUYU-2	1.6	1.7	7.4	9.8	42.0	8.1	11.7
3	KYSUYU-3	2.4	2.6	11.0	14.7	63.0	12.1	17.6
4	KYSUYU-4	2.0	2.2	9.6	12.7	54.6	10.5	15.3
5	KYSUYU-5	2.2	2.4	10.3	13.7	58.8	11.3	16.4
6	KYSUYU-6	2.5	2.7	11.8	15.7	67.2	12.9	18.8
7	KYSUYU-7	2.0	2.2	9.6	12.7	54.6	10.5	15.3
8	KYSUYU-8	3.2	3.4	14.7	19.6	84.0	16.1	23.5
9	KYSUYU-9	3.6	3.9	16.9	22.5	96.6	18.5	27.0
10	KYSUYU-10	3.2	3.4	14.7	19.6	84.0	16.1	23.5
11	KYSUYU-11	2.7	2.9	12.5	16.7	71.4	13.7	20.0
12	KYSUYU-12	1.6	1.7	7.4	9.8	42.0	8.1	11.7
13	KYSUYU-13	2.4	2.6	11.0	14.7	63.0	12.1	17.6
14	KYSUYU-14	3.8	4.1	17.6	23.5	100.8	19.3	28.2
15	KYSUYU-15	3.5	3.8	16.2	21.6	92.4	17.7	25.8
16	KYSUYU-16	6.0	6.5	27.9	37.2	159.6	30.6	44.6
17	KYSUYU-17	6.0	6.5	27.9	37.2	159.6	30.6	44.6
18	KYSUYU-18	5.4	5.9	25.2	33.6	144.1	27.6	40.3
19	KYSUYU-19	2.8	3.1	13.2	17.6	75.6	14.5	21.1
20	KYSUYU-20	4.4	4.8	20.6	27.4	117.6	22.5	32.9
21	KYSUYU-21	3.1	3.4	14.5	19.3	82.7	15.9	23.1
22	KYSUYU-22	3.2	3.5	15.1	20.2	86.5	16.6	24.2
23	KYSUYU-23	1.4	1.5	6.6	8.8	37.8	7.2	10.6
24	İÇSUYU	2.8	3.1	13.2	17.6	75.6	14.5	21.1
25	YZSUYU-1	3.0	3.3	14.0	18.6	79.8	15.3	22.3
26	YZSUYU-2	7.1	7.7	33.1	44.1	189.0	36.2	52.9
27	YZSUYU-3	1.4	1.5	6.6	8.8	37.8	7.2	10.6
	Ortalama	3.1	3.4	14.6	19.5	83.5	16.0	23.3
	En küçük	1.3	1.4	5.9	7.8	33.6	6.4	9.4
	En büyük	7.1	7.7	33.1	44.1	189.0	36.2	52.9

Tablo 4.10. Çocuklar tarafından tüketilen içme sularındaki beta yayımlayan radyonüklitlerden kaynaklanan yıllık etkin doz değerleri

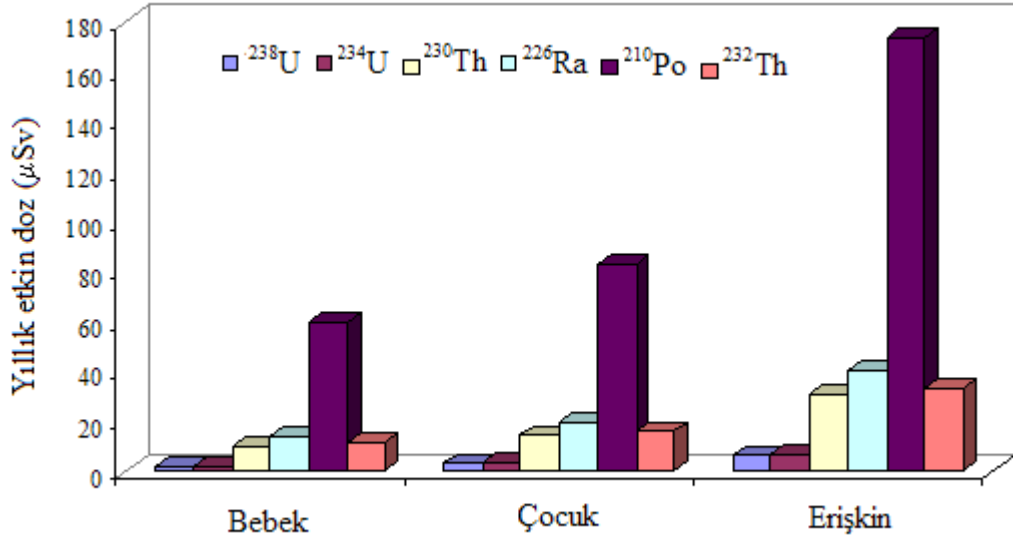
No	Örnek kodu	İçme sularında bulunan beta yayımlayıcı radyonüklitlerden kaynaklanan yıllık etkin doz (μSv)			Ortalama yıllık etkin doz (μSv)
		^{210}Pb	^{228}Ra	^{40}K	
1	KYSUYU-1	29.0	29.0	0.3	19.4
2	KYSUYU-2	65.2	65.2	0.6	43.7
3	KYSUYU-3	82.1	82.1	0.7	55.0
4	KYSUYU-4	62.8	62.8	0.6	42.0
5	KYSUYU-5	70.0	70.0	0.6	46.9
6	KYSUYU-6	58.0	58.0	0.5	38.8
7	KYSUYU-7	72.5	72.5	0.7	48.5
8	KYSUYU-8	86.9	86.9	0.8	58.2
9	KYSUYU-9	77.3	77.3	0.7	51.8
10	KYSUYU-10	82.1	82.1	0.7	55.0
11	KYSUYU-11	67.6	67.6	0.6	45.3
12	KYSUYU-12	62.8	62.8	0.6	42.0
13	KYSUYU-13	72.5	72.5	0.7	48.5
14	KYSUYU-14	103.8	103.8	0.9	69.5
15	KYSUYU-15	45.9	45.9	0.4	30.7
16	KYSUYU-16	111.1	111.1	1.0	74.4
17	KYSUYU-17	838.0	838.0	7.5	561.2
18	KYSUYU-18	857.3	857.3	7.7	574.1
19	KYSUYU-19	33.8	33.8	0.3	22.6
20	KYSUYU-20	142.5	142.5	1.3	95.4
21	KYSUYU-21	53.9	53.9	0.5	36.1
22	KYSUYU-22	719.7	719.7	6.5	481.9
23	KYSUYU-23	16.9	16.9	0.2	11.3
24	İÇSUYU	70.0	70.0	0.6	46.9
25	YZSUYU-1	82.1	82.1	0.7	55.0
26	YZSUYU-2	74.9	74.9	0.7	50.1
27	YZSUYU-3	79.7	79.7	0.7	53.4
	Ortalama	152.5	152.5	1.4	102.1
	En küçük	16.9	16.9	0.2	11.3
	En büyük	857.3	857.3	7.7	574.1

Tablo 4.11. Erişkinler tarafından tüketilen içme sularındaki alfa yayınlayan radyonüklitlerden kaynaklanan yıllık etkin doz değerleri

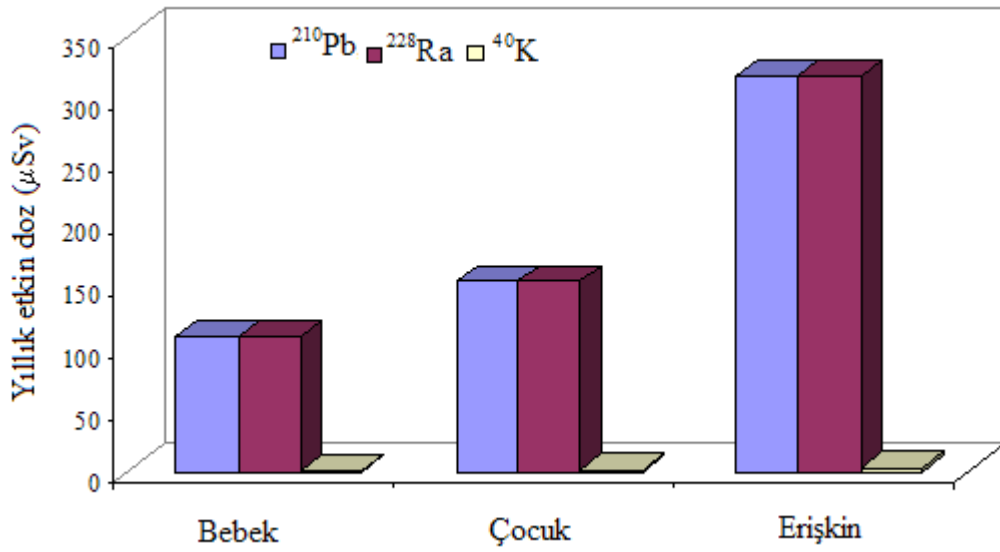
No	Örnek kodu	İçme sularında bulunan alfa yayınlayıcı radyonüklitlerden kaynaklanan yıllık etkin doz (μSv)						Ortalama yıllık etkin doz (μSv)
		^{238}U	^{234}U	^{230}Th	^{226}Ra	^{210}Po	^{232}Th	
1	KYSUYU-1	2.6	2.9	12.3	16.4	70.1	13.4	19.6
2	KYSUYU-2	3.3	3.6	15.3	20.4	87.6	16.8	24.5
3	KYSUYU-3	4.9	5.4	23.0	30.7	131.4	25.2	36.8
4	KYSUYU-4	4.3	4.7	19.9	26.6	113.9	21.8	31.9
5	KYSUYU-5	4.6	5.0	21.5	28.6	122.6	23.5	34.3
6	KYSUYU-6	5.3	5.7	24.5	32.7	140.2	26.9	39.2
7	KYSUYU-7	4.3	4.7	19.9	26.6	113.9	21.8	31.9
8	KYSUYU-8	6.6	7.2	30.7	40.9	175.2	33.6	49.0
9	KYSUYU-9	7.6	8.2	35.3	47.0	201.5	38.6	56.4
10	KYSUYU-10	6.6	7.2	30.7	40.9	175.2	33.6	49.0
11	KYSUYU-11	5.6	6.1	26.1	34.7	148.9	28.5	41.7
12	KYSUYU-12	3.3	3.6	15.3	20.4	87.6	16.8	24.5
13	KYSUYU-13	4.9	5.4	23.0	30.7	131.4	25.2	36.8
14	KYSUYU-14	7.9	8.6	36.8	49.1	210.2	40.3	58.8
15	KYSUYU-15	7.2	7.9	33.7	45.0	192.7	36.9	53.9
16	KYSUYU-16	12.5	13.6	58.3	77.7	332.9	63.8	93.1
17	KYSUYU-17	12.5	13.6	58.3	77.7	332.9	63.8	93.1
18	KYSUYU-18	11.3	12.3	52.6	70.1	300.5	57.6	84.0
19	KYSUYU-19	5.9	6.4	27.6	36.8	157.7	30.2	44.1
20	KYSUYU-20	9.2	10.0	42.9	57.2	245.3	47.0	68.6
21	KYSUYU-21	6.5	7.0	30.2	40.3	172.6	33.1	48.3
22	KYSUYU-22	6.8	7.4	31.6	42.1	180.5	34.6	50.5
23	KYSUYU-23	3.0	3.2	13.8	18.4	78.8	15.1	22.1
24	İÇSUYU	5.9	6.4	27.6	36.8	157.7	30.2	44.1
25	Yzsuyu-1	6.2	6.8	29.1	38.8	166.4	31.9	46.6
26	Yzsuyu-2	14.8	16.1	69.0	92.0	394.2	75.6	110.3
27	Yzsuyu-3	3.0	3.2	13.8	18.4	78.8	15.1	22.1
	Ortalama	6.5	7.1	30.5	40.6	174.1	33.4	48.7
	En küçük	2.6	2.9	12.3	16.4	70.1	13.4	19.6
	En büyük	14.8	16.1	69.0	92.0	394.2	75.6	110.3

Tablo 4.12. Erişkinler tarafından tüketilen içme sularındaki beta yayınlayan radyonüklitlerden kaynaklanan yıllık etkin doz değerleri

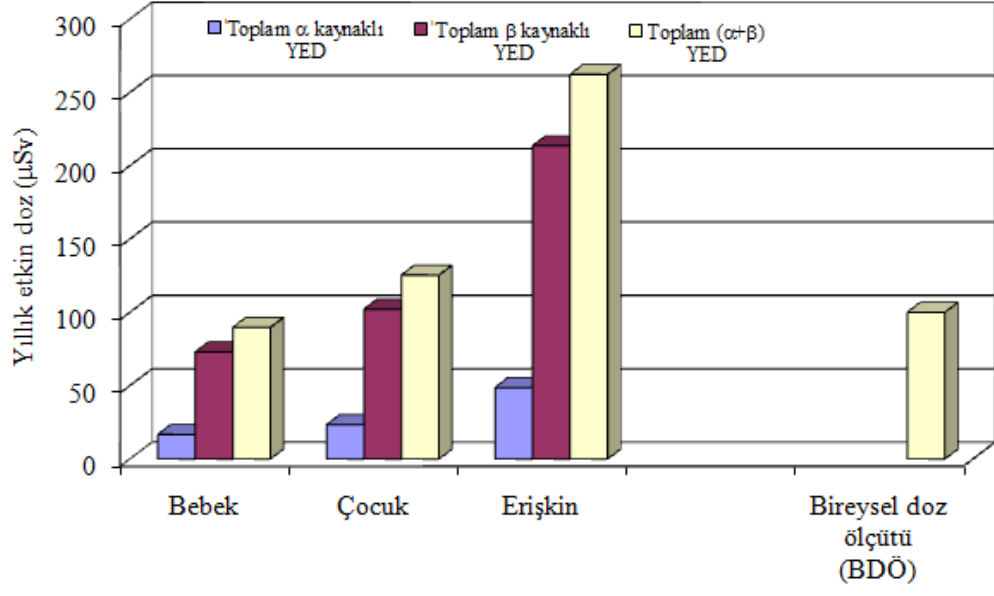
No	Örnek kodu	İçme sularında bulunan beta yayınlayıcı radyonüklitlerden kaynaklanan yıllık etkin doz (μSv)			Ortalama yıllık etkin doz (μSv)
		^{210}Pb	^{228}Ra	^{40}K	
1	KYSUYU-1	60.4	60.4	0.5	40.5
2	KYSUYU-2	136.0	136.0	1.2	91.1
3	KYSUYU-3	171.3	171.3	1.5	114.7
4	KYSUYU-4	131.0	131.0	1.2	87.7
5	KYSUYU-5	146.1	146.1	1.3	97.8
6	KYSUYU-6	120.9	120.9	1.1	81.0
7	KYSUYU-7	151.1	151.1	1.4	101.2
8	KYSUYU-8	181.3	181.3	1.6	121.4
9	KYSUYU-9	161.2	161.2	1.4	107.9
10	KYSUYU-10	171.3	171.3	1.5	114.7
11	KYSUYU-11	141.0	141.0	1.3	94.4
12	KYSUYU-12	131.0	131.0	1.2	87.7
13	KYSUYU-13	151.1	151.1	1.4	101.2
14	KYSUYU-14	216.6	216.6	1.9	145.0
15	KYSUYU-15	95.7	95.7	0.9	64.1
16	KYSUYU-16	231.7	231.7	2.1	155.2
17	KYSUYU-17	1747.8	1747.8	15.7	1170.5
18	KYSUYU-18	1788.1	1788.1	16.1	1197.4
19	KYSUYU-19	70.5	70.5	0.6	47.2
20	KYSUYU-20	297.2	297.2	2.7	199.0
21	KYSUYU-21	112.3	112.3	1.0	75.2
22	KYSUYU-22	1501.0	1501.0	13.5	1005.2
23	KYSUYU-23	35.3	35.3	0.3	23.6
24	İÇSUYU	146.1	146.1	1.3	97.8
25	YZSUYU-1	171.3	171.3	1.5	114.7
26	YZSUYU-2	156.1	156.1	1.4	104.6
27	YZSUYU-3	166.2	166.2	1.5	111.3
	Ortalama	318.1	318.1	2.9	213.0
	En küçük	35.3	35.3	0.3	23.6
	En büyük	1788.1	1788.1	16.1	1197.4



Şekil 4.10. Alfa yayımlayıcı radyonüklitlerden kaynaklanan ortalama yıllık etkin doz değerleri



Şekil 4.11. Beta yayımlayıcı radyonüklitlerden kaynaklanan ortalama yıllık etkin doz değerleri



Şekil 4.12. Bebek, çocuk ve erişkin için değerlendirilen YED değerleri

5. BÖLÜM

TARTIŞMA - SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında, Nevşehir İli, ilçeleri ve kasabalarında (Merkez, Gülşehir, Avanos, Kozaklı, Acıgöl ve Ürgüp ilçeleri ve Sulusaray, Göre, Çat, Nar ve Uçhisar) 29 farklı noktadan ham içme suyu kaynağı olarak kullanılan 23 adet kuyu suyu, 1 adet musluk suyu, 3 adet yüzey suyu ve 3 adet kaplıca suyu olmak üzere toplam 30 su örneğinde toplam alfa ve beta aktivite derişimi, düşük zeminli gaz orantılı sayaç kullanılarak (Berthold, LB 770- PC 10) ölçülmüştür. Ayrıca bu bölgede yaşayan bireyler (bebek, çocuk ve erişkin) için incelenen su örneklerinin tüketilmesinden kaynaklanabilecek muhtemel radyolojik risk değerlendirebilmek amacıyla elde edilen toplam alfa ve beta aktivite sonuçları yardımı ile her bir örneğe ilişkin olarak yıllık ilave radyasyon dozu hesaplanmıştır. Bu tez, Nevşehir İlindeki içme suyu kaynaklarına yönelik olarak yapılan ilk ayrıntılı radyolojik çalışmayı oluşturmaktadır. Ölçme işlemleri, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu'na bağlı Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezinde yapılmıştır. Çalışma kapsamında elde edilen veriler, tablolar (Tablo 4.1- Tablo 4.5 ve Tablo 4.7-Tablo 4.12) ve şekiller (Şekil 4.1-Şekil 4.2) hâlinde sunulmuştur.

Tablo 4.1 ve Tablo 4.2'den de görülebileceği gibi yeraltı suyu örneklerinde ölçülen toplam alfa aktivite derişiminin ortalama değeri, 194 mBq/L (aralık değeri: 80- 380 mBq/L) ve toplam beta aktivite derişiminin ortalama değeri ise 686 mBq/L (aralık değeri: 70-3550 mBq/L) olarak ölçülmüştür. Yüzey suyu örneklerinde ölçülen toplam alfa ve beta aktivite derişiminin ortalama değeri, 243 mBq/L (aralık değeri: 90- 450 mBq/L) ve 327 mBq/L (aralık değeri: 310- 340 mBq/L) olarak kaplıca suyu örneklerinde ise 3560 mBq/L (aralık değeri: 3180- 3820 mBq/L) ve 1240 mBq/L (aralık değeri: 1090- 1430 mBq/L) olarak bulunmuştur. Şekil 4.1'den incelenen su örneklerinde ölçülen toplam beta aktivite derişimlerinin (KYSUYU-15, KYSUYU-19, KYSUYU-23 ve YZSUYU-2 örnekleri hariç), ölçülen toplam alfa aktivite derişimlerinden daha büyük olduğu anlaşılmaktadır. Bu duruma sebep olarak toryum serinde yer alan radyonüklitlerin uranyum serisine göre daha çok bulunduğu bölgelerin jeolitojik karakteristiği gösterilebilir. Şekil 4.2'den de görülebileceği gibi toplam alfa aktivite derişim değerlerinin, %19'u 100 mBq/L'in ve %89'u 350 mBq/L'in altında

iken değerlerin tamamı 500 mBq/L'den daha küçüktür. Toplam beta aktivite derişim değerlerinin ise %85'i 500 mBq/L'den daha küçük iken ve %11'i 1000 mBq/L'den daha büyüktür (Şekil 4.3). Şekil 4.8'den, incelenen içme suyu örneklerinde ölçülen toplam alfa aktivite değerlerinin tamamının, DSÖ'nün tavsiye ettiği ve ÇOB tarafından hazırlanan Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelikte yer alan ölçüt veya sınır değer olan 500 mBq/L'den daha küçük olduğu görülmektedir. Ancak SB'lığı tarafından hazırlanan "İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik" ve TSE tarafından hazırlanan "İçme Suyu Standardı"nda toplam alfa aktivitenin sınır değer veya ölçüt olarak DSÖ'nün 2006 yılından önce tavsiye ettiği 100 mBq/L değeri yer almış ve bu değer hâlihazırda güncellenmemiştir. Bu durumda, KYSUYU-1, KYSUYU-2, KYSUYU-12, KYSUYU-23 ve YZSUYU-3 hariç bütün toplam aktivite değerleri 100 mBq/L sınır değerinden daha büyüktür ve ileri analiz gerektirir. Şekil 4.9'dan, incelenen içme suyu örneklerinde ölçülen toplam beta aktivite değerlerinin, KYSUYU-17, KYSUYU-18 ve KYSUYU-22 hariç tamamının, DSÖ'nün tavsiye ettiği ve ÇOB, SB ve TSE tarafından kabul edilen ölçüt değer olan 1000 mBq/L'den daha küçük olduğu görülmektedir. KYSUYU-17, KYSUYU-18 ve KYSUYU-22 örneklerinde ölçülen toplam beta aktivitesi, sınır değerden 3-3,5 kata daha büyüktür. Bu yüzden KYSUYU-17, KYSUYU-18 ve KYSUYU-22 örnekleri ileri radyonüklit analizine tabi tutulmuştur. İleri analiz sonucunda, iki kuyu suyu örneğindeki toplam beta aktivitesinin, ⁴⁰K radyonüklitinden kaynaklandığı ortaya çıkmıştır. Bu örneklerin toplam beta aktivite derişimlerinden ⁴⁰K aktivite derişimi çıkarıldığında, kalan toplam beta aktivite derişimleri, tavsiye edilen sınır değerden daha düşüktür (Tablo 4.5). Dolayısıyla bu durum, beta aktivitesine katkıda bulunan diğer radyonüklitlerin ileri analizlerine gerek olmadığını göstermektedir.

Tablo 4.1'den de görülebileceği gibi kaplıca sularında ölçülen ortalama alfa aktivitesi, kuyu sularındakinden 18 kat, yüzey sularındakinden yaklaşık 15 kat ve beta aktivitesi ise kuyu sularındakinden 2 kat, yüzey sularındakinden yaklaşık 4 kat daha yüksektir. Bilindiği gibi kaplıca suları (içmece veya termal sular) insan sağlığına yönelik fizik tedavi ve balneoterapi amaçlı kullanılmaktadır. Kozaklı İlçesi, genç volkanik alan içinde yer alan bir vadide olduğundan, kaplıca suyu açısından zengin bir bölgedir. Bu ilçede termal oteller ve fizik tedavi merkezi bulunmaktadır. Kaplıca suları fazla miktarda mineral içerdiğinden, toplam alfa ve beta aktiviteleri, diğer su örneklerinde

ölçülenlerden çok daha büyük olabilir. Kaplıca suları, Sağlık Bakanlığı tarafından hazırlanan ve 24.07.2011 tarihli ve 24472 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan Kaplıca Yönetmeliğine tabidir.

Nevşehir'de tüketilen içme suları, genellikle Belediye tarafından yapılan sondaj sonucunda açılan kuyu sularından karşılandığından içme suyu olarak kuyu suları düşünüldüğünde, Tablo 4.3'ten toplam alfa ve beta aktivite değerlerinin, diğer ülke ve Türkiye'nin farklı şehirlerinde ölçülen değerlerden daha büyük olduğu açıkça görülmektedir. Aynı şekilde kuyu suları ve yüzey sularındaki toplam alfa ve beta aktivite değerleri, Tablo 4.3'te yer alan verilerden daha büyük iken kaplıca sularındaki toplam alfa ve beta aktivite değerleri verilerle uyumludur.

Tablo 4.7, Tablo 4.9 ve Tablo 4.11'den YZYSUYU-2 örneği için değerlendirilen YED değerlerinin ve Tablo 4.8, Tablo 4.10 ve Tablo 4.12'den de KYSUYU-17, KYSUYU-18 ve KYSUYU-22 örnekleri için değerlendirilen YED değerlerinin diğer içme suyu örneklerine göre daha büyük olduğu görülmektedir. Şekil 4.10 ve Şekil 4.11'den de açıkça görülebileceği gibi alfa yayıncılar içinde YED'a en çok katkıda bulunanlar ^{210}Po ve ^{226}Ra radyonükliti iken beta yayıncılar içinde YED'a en çok katkıda bulunanlar ^{210}Pb ve ^{228}Ra radyonüklitidir. Şekil 4.12'den görülebileceği gibi bebek, çocuk ve erişkin için değerlendirilen toplam α kaynaklı YED değerleri, BDÖ'nün altındadır. Bebekler için değerlendirilen toplam β 'dan kaynaklı YED değerleri, BDÖ'den daha küçük iken çocuk ve erişkinler için değerlendirilen YED değerleri, BDÖ'den daha büyüktür.

Sonuç olarak;

- İncelenen içme suyu örneklerinde (kuyu suyu ve yüzey suyu) ölçülen toplam alfa aktivite derişimlerinin tamamı DSÖ'nün tavsiye ettiği 500 mBq/L değerinin altındadır. İçme suyu örneklerinde ölçülen toplam beta aktivite derişimi, KYSUYU-17, KYSUYU-18 ve KYSUYU-22 örnekleri hariç, DSÖ'nün tavsiye ettiği 1000 mBq/L değerinden daha küçüktür. Toplam alfa ve beta aktivitesi açısından bakıldığında, KYSUYU-17-18 ve KYSUYU-22 örneklerinin alındığı kuyular dışında diğer yeraltı ve yüzey suları DSÖ'nün içme suyu için tavsiye ettiği yönetmeliğe uymaktadır ve bu suların içme suyu olarak kullanılmasında herhangi bir sakınca görülmemektedir.
- Ancak çocuk ve erişkinler için hesaplanan toplam YED değerleri, 100 $\mu\text{Sv/yıl}$ değerindeki BDÖ'den daha büyüktür. Bu durum ise bölgede içme suyu olarak

kullanılan musluk sularının kalitesinin, radyolojik açıdan ulusal ve/veya uluslararası yönetmelikler ve standartlara uygunluğunun ayrıntılı bir şekilde araştırılması gerektiğini öngörmektedir.

- Bu tez kapsamında elde edilen veriler, söz konusu su kaynaklarında ileriye dönük olarak olabilecek radyolojik değişimlerin izlenmesi açısından temel veri olarak kullanılabilir (veya baz teşkil edebilecek) niteliktedir.
- Bu tez kapsamında elde edilen bilgiler, ülkemizde içme suyu kalitesine yönelik standartların veya yönetmeliklerin oluşturulmasına yönelik olarak kullanılabilir yol gösterici bilgi mahiyetindedir.
- Bu tez kapsamında elde edilen bilgiler, ilgili kurum/kuruluşlarla ve sivil toplum örgütleri ile paylaşıldığında içme sularından kaynaklanabilecek radyolojik sağlık riskleri açısından bölge insanının bilinçlenmesini (veya farkındalık oluşmasını) sağlayabilir. Bu duruma örnek olarak; aktivitesi yüksek olan içme sularının tüketilmemesi, kaplıca sularının içilmemesi, tedavi amaçlı kullanılan kaplıca sularında kalma süresinin kısa tutulması vb. gösterilebilir.
- Toplam beta aktivesi sınır değerinin üzerinde olan iki kuyudaki potasyum radyonüklitinin (^{40}K) derişimini indirmek için önlem alınması veya bu kuyuların halkın kullanımına kapatılması için ilgili kurum/kuruluşların uyarılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

1. UNSCEAR (2000) Report: Sources, effects and risks of ionizing radiation. New York, NY, United Nations, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation.
(http://www.unscear.org/unscear/en/publications/2000_1.html)
2. TAEK, 2009. Çevresel Radyoaktivitenin İzlenmesi, 2007, TAEK TR 2009-1, Ankara.
3. UNSCEAR (2008) Report: Sources and effects of ionizing radiation. Vol. I. Sources. New York, NY, United Nations, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation.
(http://www.unscear.org/unscear/en/publications/2008_1.html).
4. 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
(http://ec.europa.eu/energy/nuclear/radioprotection/doc/legislation/01928_en.pdf).
5. 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.
6. 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;
http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/alt_formats/hecs-sesc/pdf/pubs/water-eau/radiological_para-radiologiques/radiological_para-radiologiques-eng.pdf).

7. ISO, 2007. Standard ISO 9696: Water quality—Measurement of gross alpha activity in non-saline water—Thick source method. Geneva, International Organization for Standardization.
8. ISO (2008) Standard ISO 9697: Water quality-Measurement of gross beta activity in non-saline water-Thick source method. Geneva, International Organization for Standardization.
9. 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.
10. WHO, 2011. Guidelines for Drinking-water Quality, 4th edition, WHO Library Cataloguing-in-Publication Data NLM classification: WA 675, Geneva, 2011.
11. WHO, 2006. Guidelines for Drinking-water Quality, Third Edition, Volume 1, Recommendations, World Health Organization 2006, ISBN 92 4 154696 4.
12. TSE 266, 2005. Sular-İnsanî tüketim amaçlı sular. Türk Standardı, TSE 2005. Ankara.
13. Damla, N., Çevik, U., Karahan, G., Kobya, A.İ., 2006. Gross α and β activities in tap waters in Eastern Black Sea region of Turkey. *Chemosphere* 62, 957–960.
14. Damla, N., Cevik, U., Karahan, G., Kobya, A.İ., Kocak, M., Isık, U., 2009. Determination of gross alpha and beta activities in waters of Batman, Turkey. *Desalination* 244, 208-214.
15. Degerlier, M., Karahan, G., 2010. Natural radioactivity in various surface waters in Adana, Turkey. *Desalination* 261, 126-130.

16. Görür, F.K., Keser, R., Dizman, S., Okumuşoğlu, N.T., 2011. Annual effective dose and concentration levels of gross α and β in various waters from Samsun, Turkey. *Desalination* 279, 135-139.
17. Karahan, G., Öztürk, N., Bayülken, A., 2000. Natural radioactivity in various surface waters in İstanbul, Turkey. *Water Research* 34, 4367-4370.
18. Kobya, Y., Damla, N., Çevik, U., Kobya, A.İ., 2011. Radiochemical characterization of mineral waters in the Eastern Black Sea Region, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment* 182, 415-422.
19. Küçükönder, E., 2010. Determination of the gross radioactivity in drinking water of Kahramanmaraş, Turkey. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 285, 589-592.
20. Öztürk, N., Yılmaz, Y.Z., 2000. Trace elements and radioactivity levels in drinking water near Tunçbilek coal-fired power plant in Kütahya, Turkey. *Water Research* 34, 704-708.
21. Alberto Malanca, Milena Repetti, Harim Revorêdo de Macêdo. 1998. Gross alpha- and beta-activities in surface and ground water of Rio Grande do Norte, Brazil. *Applied Radiation and Isotopes* 49-7 (1998) 893–898.
22. N. Öztürk, Y. Z. Yılmaz, Trace elements and radioactivity levels in drinking water near Tunçbilek coal-fired power plant in Kütahya, Turkey, *Water Research* 34 (2000) 704-708.
23. G. Karahan, N. Öztürk, A. Bayülken, Natural radioactivity in various surface waters in İstanbul, Turkey, *Water Research* 34 (2000) 4367-4370.
24. N. Damla, U. Çevik, G. Karahan, A.İ. Kobya, Gross α and β activities in tap waters in Eastern Black Sea region of Turkey, *Chemosphere* 62 (2006) 957–960.

25. U. Çevik, N. Damla, , G. Karahan, N. Çelebi, A.İ. Kobya, Natural radioactivity in tap waters of Easter Black Sea Region of Turkey. *Radiation Protection Dosimetry* 118-1 (2006) 88-92.
26. M. Palemó, A. Peñalver, F. Borrull, C. Aguilar, Measurement of radioactivity in bottled drinking water in Spain. *Applied Radiation and Isotopes* 65 (2007) 1165-1172
27. A. E. Osmanlioğlu, E. Kam, A. Bozkurt, Assessment of background radioactivity level for Gaziantep region of southeastern Turkey. *Radiation Protection Dosimetry* 124-4 (2007) 407-410.
28. K. Kehiga, V. Koukoulidou, S. Bratakos, S. Seferlis, F. Tzoumerkas, C. Potiriadis, Radioactivity monitoring in drinking water of Attika, Greece. *Desalination* 213 (2007) 98-103.
29. P. Vesterbacka, Natural radioactivity in drinking water in Finland, *Boreal Environment Research* 12 (2007) 11-16.
30. D. Desideri, C. Roselli, L. Feduzi, M. A. Meli, Radiological characterization of drinking waters in Central Italy. *Microchemical Journal* 87 (2007) 13-19.
31. N. Damla, U. Cevik, G. Karahan, A.İ. Kobya, M. Kocak, U. Isik, Determination of gross alpha and beta activities in waters of Batman, Turkey, *Desalination* 244 (2009) 208-214.
32. A. M. Ismail, M. K. Kullab, S. A. Saq'an, Natural radionuclides in bottled drinking water in Jordan and their committed effective doses. *Jordan Journal of Physics* 2-1 (2009) 47-57.
33. D. M. Bonotto, T. O. Bueno, B. W. Tessari, A. Silva, The natural radioactivity in water by gross alpha and beta measurements. *Radiation Measurements* 44 (2009) 92-101.

34. M. Degerlier, G. Karahan, Natural radioactivity in various surface waters in Adana, Turkey, *Desalination* 261 (2010) 126-130.
35. B.G. Muhammad, M. S. Jaafar, T. C. Akpa, A survey of gross alpha and beta activity concentrations in groundwater from Katsina area of Northern Nigeria *Radiat Prot Dosimetry* (2010) 141(2): 127-133
36. M. Beyermann, T. Bünger, K. Schmidt, D. Obrikat, Occurrence of natural radioactivity in public water supplies in Germany: ^{238}U , ^{234}U , ^{235}U , ^{228}Ra , ^{226}Ra , ^{222}Rn , ^{210}Pb , ^{210}Po and gross α activity concentrations *Radiat Prot Dosimetry* 141-1 (2010) 72-81
37. E. Küçükönder, Determination of the gross radioactivity in drinking water of Kahramanmaraş, Turkey, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 285 (2010) 589-592.
38. F. K. Görür, R. Keser, S. Dizman, N.T. Okumuşoğlu, Annual effective dose and concentration levels of gross α and β in various waters from Samsun, Turkey, *Desalination* 279 (2011) 135-139.
39. Y. Atakan, (1990). Çernobil Radyasyon Çevre ve İnsan Üzerine Etkileri,
40. E. Kapdan, H. Taşkın, E. Kam, A. E. Osmanlıoğlu, G. Karahan, A. Bozkurt, A study of environmental radioactivity measurements for Cankiri, Turkey. *Radiat Prot Dosimetry* 150-3 (2012) 398-404
41. P. Yalcin, H. Taskin, E. Kam, H. Taskin, M. Terzi, A. Varinlioglu, A. Bozkurt, A. Bastug, B. Tasdelen, Investigation of radioactivity level in soil and drinking water samples collected from the city of Erzincan, Turkey. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 292-3 (2012) 999-1006.

42. M. J. Ferdous, M. M. Rahman, A. Begum, Gross alpha and gross beta activities of tap water samples from different locations of Dhaka City. *Sri Lankan Journal of Physics* 13-12 (2012) 01-08.
43. C. Canbazoglu, M. Dogru, N. Çelebi, G. Kopuz, Assessment of Natural Radioactivity in Elazig Region, Eastern Turkey, *J of Radioanal Nucl Chem.*, 292 (2012) 375-380.
44. M. Forte, R. Rusconi, M. T. Cazzaniga, G. Sgorbati, The measurement of radioactivity in Italian drinking waters. *Microchemical Journal* 85 (207) 98-102.
45. C. Duenas, M. C. Fernandez, C. Enriquez, J. Carretero, E. Liger, Natural radioactivity levels in Andalusian spas. *Water Reseach* 32 (1998) 2271-2278.
46. M. E. Kitto, P. P. Parekh, M. A. Torres, D. Scheider. Radionuclide and chemical concentrations in mineral waters at Saratoga Springs, New York. *Journal of Environmental Radioactivity* 80 (2005) 327-339.
47. Brenner D et al. Cancer risks attributable to low doses of ionizing radiation: Assessing what we really know. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 100(24) (2003) 13761–13766.
48. ICRP (2008) The 2007 recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. *Annals of the ICRP*, 37(2–4).
49. E. Kam, A. Bozkurt, Environmental radioactivity measurements in Kastamonu Region of northern Turkey. *Applied Radiation Isotopes* 65 (2007) 440-444.
50. A. Bozkurt, N. Yorulmaz, E. Kam, G. Karahan, G., A. E. Osmanlioglu, Assessment of environmental radioactivity for Sanliurfa region of Southeastern Turkey. *Radiat. Meas.* 42 (2007) 1387-1391.

51. E. Kam, Y. Yarar, A. Bozkurt, A study of background radioactivity level for Tekirdağ, Turkey. Radiation Protection Dosimetry 138-1 (2010) 40-44.
52. H.L. Krieger, E.L. Whittaker, Prescribed procedures for measurement of radioactivity in drinking water, EPA-600/4-80-032. US Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, 1980.
53. Crane K.,1987. Introductory nuclear physics, Kenneth S. Krane. Chichester: Wiley. 1988, New York. ISBN: 047180553X.
54. Eisenberg,R.L.,1992, Radiology, An Illustrated History, Mosby-Year Book.
55. Saha G.B., 1998, Fundamentals of Nuclear Pharmacy, Fourth edition, Springer. Alinas, I.C.P., Conti, C.C., Lopes, R.T. ,2006. Effective density and mass attenuation coefficient for building material in Brazil. . Appl. Radiat. Isot. 64: p. 13-18.
56. Wienberg S., 2002, Atom altı Parçacıklar, Tübitak Popüler Bilim Kitapları,Ankara.
57. Crane K.,1998. Introductory nuclear physics, Kenneth S. Krane. Chichester: Wiley. 1988, New York. ISBN: 047180553X.
58. Volkovic V., Radioactivity in the Environment : Physicochemical aspects and Applications, 2000
59. Tsoulfanidis N., 1995, "Measurement and detection of radiation", Taylor & Francis, London, 636p.
60. Knoll G. F., 1989. Radiation Detection and Measurements. New York: John Wiley & Sons.

61. Knoll G. F., 1979. Radiation Detection and Measurements. New York: Jhon Wiley & Sons.
62. Zorer Ö.S., Bendimahi Çayında ve Çayın Van Gölüne Döküldüğü Noktada Doğal Radyoaktivite Seviyesinin Belirlenmesi Yüzüncü Yıl Üniversitesi Doktora Tezi, 2006.
63. Oliver D.B., Knoll G.F., 1968, 'IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-15(33): 122
64. Göksel S., Radyasyonun Biyolojik Etkileri ve Korunma, .T.Ü. Matbaası, İstanbul, 1973.
65. Şeker S., Çerezci O., Çevremizdeki Radyasyon ve Korunma Yöntemleri, Boğaziçi Üniversitesi Yayınları, İstanbul, 1997.
66. Şeker S., Çerezci O., Radyasyon Kuşatması, Boğaziçi Üniversitesi Yayınevi, İstanbul, 2000.
67. Daşdağ S., Çelik S., Mikrodalgaların biyolojik etkileri ve güvenlik standartları, Çevre Sorunlarının Boyutları "90" Sempozyumu, Diyarbakır, 22-23 Mart 1990.
68. Algüneş Ç., Radyasyon Biyofiziği, Trakya Üniversitesi Rektörlüğü Yayınları, Edirne 2002.
69. Köklü N., Radyasyonun İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri Ve Tıpta Uygulama Alanları Selçuk Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, 2006.
70. Güngör N., Sağlık Fiziği, İ.T.Ü. Matbaası, İstanbul, 1991.
71. Önen S., Radyasyon Biyofiziği, İ.Ü. Cerrahpaşa Tıp Fak. Yayınları, İstanbul, 1993.

72. Ereeş,F.S., Radon Kirliliği, 1998 Ege Üniversitesi, Çevre Sorunları Uygulama Sempozyumu Ve Araştırma Merkezi, Çevre Bilimi Bahar Okulu II, Karaburun, İzmir, Ders Notları.
73. Rossi, B.B., Stauo, H.H., 1949. Ionization Chamber and counters. McGraw-Hill Book Co.
74. Cambazoğlu, C.,1998. Elazığ ve Çevresindeki İçme ve Kullanılan Sularında Radyoaktivite Seviyelerinin Tayini. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
75. Canberra Industries Inc.,1997. Product Catalog, Ed. Ten, Meriden, Connecticut, USA.
76. Birks., J.B., 1964. The Theory and Practice of Scintillation Counting. Pergamon Pres, London, 662 s.
77. Bertolini, G., Coche, A., 1968. Semiconductor Detectors. North-Holland Pub. Co., Amsterdam, 103 s.
78. Wang, C. H., Willis, D.L., Loeland, W. D., 1975. Radiotracer Methodology in the Biological, Environmental, and Physical Sciences, Prentice-Hall.

ÖZGEÇMİŞ

Esra Özçitak, 1986 yılında Erzurum'da doğdu. İlköğretimi Tekirdağ'da orta öğrenimini İstanbul'da tamamladı, liseyi ise Bursa'da Bursa Kız Lisesinde yatılı olarak okudu. 2006 'da kazandığı Erzurum Atatürk Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümünden 2010 yılında mezun oldu. Aynı yıl Nevşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Nükleer Fizik Ana Bilim Dalında Yüksek Lisansa başladı.

Adres: Ovacık Mah. Alsancak Cad. Kullar Fidanlık Lojmanları No:210/B
Başiskele - KOCAELİ
Telefon: 0 262 349 34 31- 0 506 330 05 99
e-posta : esraoz41@hotmail.com

