

**ERZİNCAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**FIRAT HAVZASININ ERZİNCAN İL SINIRLARI İÇİNDE
KALAN KISMINDAKİ NEHİR SUYU VE KIYISINDAKİ
TOPRAKTA DOĞAL RADYASYON SEVİYESİNİN
BELİRLENMESİ**

Mehmet KAVAZ

FİZİK ANABİLİM DALI

**ERZİNCAN
2014**

Prof. Dr. Muhammet YILDIRIM'ın danışmanlığında, Mehmet KAVAZ tarafından hazırlanan bu çalışma 16/12/2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından FİZİK Anabilim Dalı NÜKLEER FİZİK Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Yusuf ŞAHİN İmza: 

Üye : Prof. Dr. Muhammet YILDIRIM İmza: 

Üye : Prof. Dr. Ali Ercan EKİNCİ İmza: 

Üye : Doç. Dr. Paşa YALÇIN İmza: 

Yukarıdaki sonucu onaylarım.



Doç. Dr. Ali SÜLÜN

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Fırat Havzasının Erzincan İl Sınırları İçinde Kalan Kısımındaki Nehir Suyu Ve Kıyısındaki Toprakta Doğal Radyasyon Seviyesinin Belirlenmesi

Mehmet KAVAZ

Erzincan Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Muhammet YILDIRIM

Bu tezin kapsamında, Türkiye'nin radyasyon güvenliği altyapısının geliştirilmesi ve ülke genelinde doğal radyasyon değerlerini içeren bir veri tabanı oluşturulması çalışmalarına katkıda bulunulması hedeflenmiştir. Bu amaçla, Fırat Havzasının Erzincan İl sınırları içerisinde kalan Karasu kolu kısmı inceleme alanı olarak seçilip, bu nehirde suyun içerdiği radyoaktivite ve doğal radyasyon akıntısı örnekleme yoluyla incelenmiş ve doğal ortam radyasyon değerleri belirlenmiştir.

Çalışma alanı içerisinde kalan Karasu kolundan alınan 29 adet su ve 17 adet toprak örneklerinin toplam alfa ve beta aktiviteleri belirlenmiştir. 29 adet su örneği için Berthold LB770 model 10 kanallı düşük seviyeli orantılı sayacı kullanılmıştır. Toplam alfa ve beta analizleri 'EPA 900.0' standart metoduna göre yapılmıştır. Fırat Havzasından alınan su örneklerinin ortalama alfa ve beta aktivite konsantrasyonları sırasıyla 0,0421Bq/L ve 1,806 Bq/L olarak ölçülmüştür. 17 adet toprak örnekleri için HPGe gama spektrometre sistemi kullanılmıştır. Yapılan sayım sonucu toprak örneklerinin hepsinde ortak olarak bulunan radyoizotop aktivite konsantrasyonları sırasıyla ^{226}Ra için 2,7-27,8 Bq/kg; ^{232}Th için 3,2-39,4 Bq/kg; ^{40}K için 98-714 Bq/kg; ^{137}Cs için <0,4-57,8 Bq/kg aralıklarında bulunmuştur. Nehir suyuna katılan dere yataklarından alınan örneklerin bazılarında yukarıda belirtilen radyoizotoplardan farklı radyoizotoplara da rastlanmıştır.

2014, 74 sayfa

Anahtar Kelimeler: Doğal Radyasyon, Erzincan, Karasu Havzası, Radyoaktivite, Aktiflik Konsantrasyonu.

ABSTRACT

Master Thesis

Detection of Natural Radiation Levels of the Water of the River Fırat and Its' Riverside Soil within the Provincial Border of Erzincan

Mehmet KAVAZ

Erzincan University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Physics

Supervisor: Prof. Dr. Muhammet YILDIRIM

Within the scope of this thesis, it is aimed to contribute to the efforts for forming a database including the natural radiation levels throughout the country and developing a foundation for radiation safety. For this aim, Karasu portion of the Euphrates river valley within the provincial border of Erzincan was chosen for the investigation and natural radiation levels were investigated by analyzing the samples taken in terms of radioactivity and natural environment's radiation streams. Throughout the section mentioned above, 29 different samples from the water and 17 different samples from the soil were taken and their total alpha and beta activities were measured. The water activity concentrations are determined by using detector a Berthold LB770 10 channel alpha-beta, low level counter. Total alpha and beta analyses were made according to the 'EPA 900.0' standard methods. Average values of alpha and beta concentrations of samples from the river Fırat were measured as 0,0421Bq/L and 1,806 Bq/L, respectively. For the soil samples HPGe gamma spectrometer system was used and radioisotope activity concentrations were found within the intervals of 2,7-27,8 Bq/kg for ^{226}Ra ; 3,2-39,4 Bq/kg for ^{232}Th ; 98-714 Bq/kg for ^{40}K ; <0,4-57,8 Bq/kg for ^{137}Cs . Different radioisotopes were detected in some of the samples taken from streaming beds joining river water.

2014, 74 pages**Keywords:** Natural Radiation, Erzincan, Karasu River Valley, Radioactivity. Gross Concentration of Activity,

TEŞEKKÜR

Bana bu çalışmayı öneren ve çalışmalarımnda her türlü desteği sağlayan, maddi manevi ilgi ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocalarım Sayın Prof. Dr. Yusuf ŞAHİN'e, Prof. Dr. Muhammet YILDIRIM'a ve Doç. Dr. Paşa YALÇIN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışmasında numunelerin analizlerinin yapılması sürecinde Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü öğretim üyesi Doç. Dr. Erol KAM'a ve ÇNAEM Sağlık Fiziği Bölümü çalışanı Halim TAŞKIN'a yardım ve katkılarından dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmalarım esnasında yanımda olan, her türlü destek ve sabırlarından dolayı eşim Şenay KAVAZ'a şükranlarımı sunarım.

Bu tez Erzincan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) tarafından Proje Numarası: 09.02.06 olan "Karasu (Fırat) Nehri Havzasının Nehir Suyunda Doğal Radyasyon Seviyesinin Belirlenmesi"proje ye verilen katkılar yardımı ile gerçekleştirilmiştir.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	11
2.1. Radyasyonun Tanımı.....	11
2.1.1. İyonlaştırıcı radyasyon.....	13
2.1.2. İyonlaştırıcı olmayan radyasyon.....	14
2.2. Radyasyon Birimleri.....	14
2.2.1. Aktivite birimi.....	14
2.2.2. Işınlama birimleri.....	15
2.2.3. Soğurulma doz birimi	16
2.2.4. Biyolojik doz (doz eşdeğer) birimi	17
2.3. Radioaktivlik	18
2.4. Radyoaktif Bozunma Kanunu	19
2.5. Yarı Ömür.....	21
2.6. Ortalama Ömür.....	22
2.7. Biyolojik Yarı Ömür	22
2.8. Etkin (Etkin) Yarı Ömür.....	22
2.9. Doğal Radyasyon Kaynakları.....	23
2.9.1. Karasal radyasyon.....	25
2.9.1.1. Topraktaki doğal radyoaktivite	25
2.9.1.2. Yeryüzüne yakın atmosferdeki doğal radyoaktivite	25
2.9.1.3. Sulardaki doğal radyoaktivite	26

2.9.1.4. Canlıda bulunan doğal radyonüklidler	27
2.9.2. Kozmik ışınlar	28
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	30
3.1. Su örnekleri için alfa ve beta sayım sistemi	30
3.2. Su örneklerinin toplanması ve sayıma hazırlanması	32
3.3. Su örneklerinin toplam alfa ve beta aktiflik seviyelerinin belirlenmesi.....	36
3.4. Toprak örnekleri için deney sistemi	37
3.4.1. HPGe Dedektörlerinin özellikleri	37
3.4.2. Toprak örneklerinin alınması ve gama spektrometrik analiz için hazırlanması	39
3.4.3. Toprak örneklerinde toplam alfa ve beta aktiflik seviyelerinin belirlenmesi ..	41
4. BULGULAR.....	42
4.1. Sulardaki Toplam Alfa ve Toplam Beta Radyoaktivitesi Bulguları.....	43
4.2. Toprak Örneklerindeki Radyoizotoplar ve Aktiviteleri İçin Bulgular.....	46
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	51
KAYNAKLAR	56
EKLER.....	63
ÖZGEÇMİŞ	65

SİMGELER VE KISALTMALAR**Simgeler**

α	Alfa parçacığı
β	Beta parçacığı
Bq	Becquerel, radyoaktivite birimi
Ci	Curie, radyoaktivite birimi
Gy	Gray, absorblanmış doz birimi
γ	Gama ışını
K	Potasyum
L	Litre
M	Metre
mL	Mililitre
mSv	Milisievert
μ	Mikro, (10^{-6})
ppb	Milyarda bir (Parts per billion)
ppm	Milyonda bir (Parts per million)
N	Nötron sayısı
n	Nano, (10^{-9})
P	Proton sayısı
p	Piko, (10^{-12})
Ra	Radyum
R	Röntgen, radyasyon doz birimi
Sv	Sievert, eşdeğer doz birimi
°C	Santigrat derece
Th	Toryum
U	Uranyum
$t_{1/2}$	Yarılanma süresi

Kısaltmalar

ÇNAEM	Çekmece Nükleer ve Araştırma Eğitim Merkezi
EPA	Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı
IAEA	Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı
ICRU	Uluslararası Radyasyon Birimleri ve Ölçümleri Komisyonu
ICP	İndüktif Eşleşmiş Plazma Dedektörü (Inductively Coupled Plazma)
ICP-OES	İndüktif Eşleşmiş Plazma Optik Emisyon Spektrometresi (Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spektrometresi)
LET	Lineer Enerji Transferi
MDA	Minimum Detekte edilebilir Aktivite
RBE	Relatif Biyolojik Etkinlik
SI	Uluslararası Birimler Sistemi
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
TAEK	Türkiye Atom Enerji Kurumu
TGD	Toplam Gösterge Dozu
UNSCEAR	Atomik Radyasyonun Etkileri ve İlgili Birleşmiş Milletler Komitesi
WHO	Dünya Sağlık Teşkilatı

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Elektromanyetik spektrumda farklı tipteki elektromanyetik radyasyonların enerji ve dalga boyları.....	13
Tablo 2.2. Radyoaktivite ölçüm ve birimlerine ait dönüşüm değerleri.....	17
Tablo 2.3. Doğal radyasyon kaynakları ve insanda oluşturduğu yıllık etkin doz değerleri.....	24
Tablo 2.4. İnsan vücudundaki doğal radyoaktivite	28
Tablo 3.1. LB 770'in Teknik özellikleri (Berthold technical data LB 770).....	32
Tablo 3.2. Su örneklerinin alındığıyerlerin yöresel isimleri, analiz kodları ve koordinatları.	34
Tablo 3.3. Su örneklerinin alındığı yerler,hava sıcaklık değerleri, su ph değerleri ve su sıcaklık değerleri.....	35
Tablo 3.4. Toprak örneklerinininalındığıyerlerin yöresel isimleri, analiz kodları, koordinatları ve hava sıcaklık değerleri	40
Tablo 4.1. Su örneklerinin analiz sonuçları	45
Tablo 4.2. Toprak örneklerinin analiz sonuçları	47
Tablo 5.1. İçme sularındaki radyoaktivite sınırları	53
Tablo 5.2. Türkiye'de yapılan su çalışmalarının bazı ortalama toplam alfa ve beta aktiflik konsantrasyonlarının karşılaştırılması	54
Tablo 5.3. Toprakta bulunan doğal radionüklidlerin ölçüm sonuçlarının sınır değerlerle karşılaştırılması (UNSCEAR, 2000).....	55

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Elektromanyetik radyasyonun enerji spektrumu	12
Şekil 3.1. Berthold marka LB770 model alfa-beta sayım cihazı	32
Şekil 3.2. 10 kanallı düşük seviyeli planşet sayıcısı	36
Şekil 3.3. HPGe dedektörün şematik gösterimi	38
Şekil 3.4. Marinelli kabına ait bir fotoğraf.....	42
Şekil 4.1. Su örneklerinin alındığı yerlerin koordinat noktalarına göre ölçülen α grafiği	43
Şekil 4.2. Su örneklerinin alındığı yerlerin koordinat noktalarına göre ölçülen β aktiflik konsantrasyonu grafiği	44
Şekil 4.3. Su örneklerinin alındığı yerlerin koordinat noktalarına göre α ve β aktiflik konsantrasyonu grafiği	44
Şekil 4.4. Su örneklerinin alındığı yerlerin koordinat noktalarına göre haritası.....	46
Şekil 4.5. Toprak örneklerinin alındığı yerlere göre ^{226}Ra radyoizotopu için tespit edilen aktivite konsantrasyonlarının grafiği.....	47
Şekil 4.6. Toprak örneklerinin alındığı yerlere göre ^{232}Th radyoizotopu için tespit edilen aktivite konsantrasyonlarının grafiği.....	48
Şekil 4.7. Toprak örneklerinin alındığı yerlere göre ^{40}K radyoizotopu için tespit edilen aktivite konsantrasyonlarının grafiği.....	49
Şekil 4.8. Toprak örneklerinin alındığı yerlere göre ^{137}Cs radyoizotopu için tespit edilen aktivite konsantrasyonlarının grafiği.....	50
Şekil 4.9. Toprak örneklerinin alındığı yerlere göre incelenen radyoizotopu için tespit edilen aktivite konsantrasyonlarının karşılaştırmalı grafiği.....	51
Şekil 4.10. Toprak örneklerinin alındığı koordinat noktalarına göre haritası	51

1. GİRİŞ

Radyasyon düzeylerini etkileyen en önemli faktör, yer kabuğundaki radyoaktivite konsantrasyonlarının farklı olarak dağılmasıdır. Bu farklılık yer yüzeyinin jeolojik ve kimyasal yapısına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Mesela volkanik kayalardaki radyoaktivite konsantrasyonu tortul kayalardaki radyoaktivite konsantrasyonundan daha yüksektir. Karasal radyasyon bir bölgenin jeolojik ve coğrafik özelliklerine bağlı olarak değişen toprakta, suda ve havada bulunan radyoaktif elementlere (uranyum, toryum, potasyum vb.) bağlıdır. Kozmik radyasyon uzaydan ve güneş sisteminden gelen yüksek enerjili kozmik ışıklardan oluşmaktadır. Bir bölgedeki doğal radyasyon seviyesini doğal kaynakların yanı sıra, nükleer olaylar, reaktör kazaları gibi insanlar tarafından üretilen yapay radyasyon kaynakları da etkileyebilir. Dünyanın yapısında bulunan çok uzun ömürlü radyoaktif elementler, kozmik ışıklar, nükleer denemeler ve gelişen teknolojik ürünlerin kullanımı yaşadığımız çevrede radyasyon düzeyini arttırmaktadır. Dünyada bir insanın yıllık olarak aldığı radyasyon dozu yaklaşık 2,8 mSv'lik doza eşdeğerdir. Bu dozun yaklaşık %82'si doğal kaynaklardan meydana gelmektedir (IAEA, 1996).

Becquerel (1886) radyoaktiviteyi keşfetti, uranyum tuzunun kendiliğinden ve sürekli olarak ışımaya yaptığını açıkladı. Wilhem Conrad Röntgen (1895) katot ışıklarından farklı özellikte olan ve havada birkaç mm yol alan X-ışınlarını keşfetti. Mary Curie (1898) uranyum bileşiklerinin aktivite miktarının mevcut uranyum miktarı ile orantılı olduğunu yayınladı. Daha sonra bizmut, polonyum ve uranyum gibi yeni radyoaktif elementler keşfedildi. Mary Curie (1910) saf Ra metalini elde etti.

Aytekin vd. (2006) tarafından belirtildiğine göre; çevresel radyoaktivite ile ilgili çalışmalarında Hans Geitel ve Wilson (1905) havanın radyoaktif bileşen içerdiğini keşfettiler. C.T.L. Wilson (1902): Yağmur suyunda 30 dakika yarı ömürlü radyoaktivite keşfetti. Wilson (1905) bu radyoaktivitenin yağmurla havadan alındığına karar verdi. Wilson daha sonraki çalışmasında, yağmuru baryum klor ve sülfürik asitle çöktürerek havadan radyoaktiviteyi çıkardı. Mc Lennan uzun süreli kar

yağışı ile havadaki radyoaktivitenin azaldığını gözlemledi. Ester ve Geitel (1902) mağaralardaki hava içinde yüksek konsantrasyonlarda radyoaktivite olduğunu fark ettiler. Havadaki radyoaktivite artışının mağara içindeki toprak ve kayalardan ileri geldiği sonucuna vardılar. Yerin kendisi sürekli ve dereceli olarak radyoaktivite üretmekte ve bu da havaya diffüze olmaktadır. H. Ebert ve P. Ewers radonun radyoaktivite yayımının yarı ömrünü 3,2 gün olarak ölçtüler. Bu değer, ^{222}Rn 'un bugünkü modern değeri olan 3,82 gün değerine çok yakındı. Ebert, topraktan radon emisyonu gözlemledi ve bunun radyumun bozunumu ile çıkan radon gazına özdeş olduğunu gördü. Buna göre, radyum ve uranyum açıkça normal toprağın bir bileşenydi. Rutherford (1905) havadaki radyoaktivite içeriğinin, ölçümün yapıldığı yerdeki toprağın radyum içeriği ile değiştiğini açıkladı(Aytekin vd. 2006).

Literatürde yapılan çalışmalara bakıldığı zaman; Orta Mısır ve Delta Nehri'nden 162 toprak örneği alınarak toprak, örneklerin radyoaktivite seviyesi yüksek saflıktaki Germanyum spektrometresi kullanılarak belirlenmiştir (İbrahim vd. 1993). Amerika'nın Louisiana eyaletinde yapılan bir çalışmada ise basit teknikler kullanılarak toprağın radyoaktivitesi Meriwether vd. (1995) tarafından analiz edilmiştir. Arizona'da yapılan başka bir çalışmada yer altı sularının radyoaktivitesinin ölçümü farklı kimyasal metotlar kullanılarak Holbert vd. (1995) tarafından belirlenmiştir. Misdağ vd. (1997) Budapeşte'de yaptıkları bir çalışmada, çeşitli içme suyu örneklerinde toplam alfa ve beta aktiviteleri oranlarını değerlendirmek için yeni bir metot geliştirmişlerdir. Farklı içme suyu örneklerindeki uranyum ve toryum içerikleri CR-39 ve LR-115 Tip II Katı Nükleer İzleme Dedektörleri (SSNTD) kullanılarak elde edilmiştir.

Karahan vd. (2000) tarafından İstanbul'da yapılan çalışmada, İstanbul ilinden alınan musluk ve kuyu sularında toplam alfa ve beta aktiviteleri incelenmiştir. İçme sularındaki toplam alfa ve beta için radyoaktivite konsantrasyonları tespit edilmiştir. Öztürk vd. (2000) tarafından, Türkiye'nin Kütahya ilinde yer alan Tunçbilek maden ocağı yakınlarındaki içme sularında radyoaktivite seviyeleri ve eser element incelemesi yapılmıştır. Bu çalışmada, sadece bir içme suyu numunesi hariç, tüm

numuneler Dünya Sağlık Örgütü'nün içme suyu için müsaade ettiği üst sınır değerlerin altında bulunmuştur.

Gelir (2001) Sındırgı içme suyunda yaptığı çalışmada, sulardaki radyoaktiviteyi ve yıllık doz eşdeğerini belirlemiştir. Doğru vd. (2002) tarafından, Türkiye'nin Elazığ ili için çeşitli yüzey ve musluk sularında doğal radyoaktivite incelenmiştir. Toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite konsantrasyonları bulunmuştur. Kuysk vd. (2002) tarafından Güney Polonya'da yapılan bir çalışmada, içme sularındaki radon seviyesi tespit edilmiştir. Su örneklerinin analizleri sıvı sintilasyon sayım sistemi kullanılarak yapılmıştır. Singh vd. (2003) tarafından Hindistan'da yapılan çalışmada, lazer fluorometry ve fisyon iz kazıma tekniği kullanılarak göl, kaynak ve çeşitli kuyu su örneklerindeki uranyum değerleri sırasıyla $0,11 < U < 306,49$ ppb (milyarda bir) ve $0,06 < U < 113,70$ ppb aralığında bulunmuştur. Vesterbacka vd. (2005) tarafından, Finlandiya'daki özel kuyulardaki içme sularında doğal radyoaktivite incelenmiştir. İçme sularındaki doğal radyoaktivite nüfusa dayalı rasgele açılan 472 özel kuyularda tespit edilmiştir. Kuyulardaki ^{226}Ra , ^{234}U , ^{238}U , ^{210}Pb ve ^{210}Po ortalama konsantrasyonları, sırasıyla, 0,05, 0,35, 0,26, 0,04 ve 0,05 Bq/L olarak ölçülmüştür.

Godoy vd. (2006) tarafından, Brezilya'daki yeraltı sularında doğal radioaktiflik seviyeleri belirlenmiştir. Yeraltı sularındaki ^{228}Ra , ^{226}Ra , ^{222}Rn , ^{210}Pb ve U_{nat} içerikleri sırasıyla 0,045, 0,014, 57,7, 0,040 Bq/L ve 1,2 $\mu\text{g/L}$ olarak ölçülmüştür. Han vd. (2006) tarafından, Tayvan'daki yer altı sularında radon katkısı incelenmiştir. Yeraltı suyu numunelerinde radon konsantrasyonunun 18pCi/L dedeksiyon limitinin altında yaklaşık 1,100 pCi/L olduğu bulunmuştur. Benzer şekilde Villalba vd. (2006) tarafından, Meksika'nın Chihuahua eyaletinde yer altı sularındaki doğal radyoaktivite incelenmiştir. Chihuahua eyaletinde kullanılan kuyulardan alınan yeraltı suyu örneklerinde ^{222}Rn , ^{226}Ra konsantrasyonu ve toplam uranyum konsantrasyonu ölçülmüştür. ^{226}Ra konsantrasyonu 0,16 Bq/L'den düşük olup, ^{222}Rn konsantrasyonu 1,0-39,8 Bq/L olarak elde edilmiştir. Wisser vd. (2006) tarafından, Almanya'da bazı içme sularında toplam alfa ve beta aktiflikleri araştırılmıştır. Toplam alfa ve beta aktiflikleri için dedeksiyon limiti 25-210 mBq/L aralığında bulunmuştur. Desideri

vd. (2007) tarafından, İtalya'da üretilen bazı şişe sularında doğal radyoaktivite kontrolü yapılmıştır. Sulardaki toplam alfa ve beta aktiviteleri ve ^{238}U , ^{234}U , ^{226}Ra ve ^{210}Po konsantrasyonları ölçülmüştür. Toplam alfa ve beta aktiviteleri ISO 9696 ve ISO 9697 standartlarına göre belirlenmiştir. Fatıma vd. (2007) tarafından, Pakistan'da şişelenmiş içme sularında doğal radyoaktivite ölçülmüştür. Şişelenmiş içme sularının ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K ortalama konsantrasyonları $11,3\pm 2,3$, $5,2\pm 0,4$ ve $140,9\pm 30,6$ mBq/L olarak bulunmuştur. Lasheen vd. (2007) tarafından, Mısır'da üç farklı alandan çıkarılan şişelenmiş içme suyu çeşitleri incelenmiştir. Doğal sularda likit kıvılcım sistemi kullanılarak ^{226}Ra ve ^{228}Ra eş zamanlı ölçüm yapılmıştır. Paloma vd. (2007) tarafından, İspanya'daki şişe sularında doğal radyoaktivite ölçümleri yapılmıştır. Karamanis vd. (2007) tarafından, Yunanistan'daki şişelenmiş sularda doğal radioaktiflik ve ağır metal seviyelerini belirleyerek farklı yaş gruplarına göre yıllık dozlar hesaplanmıştır. Kehagia vd. (2007) tarafından Yunanistan'da yapılan başka bir çalışmada, Yunanistan'da yer alan Attika'daki içme suyunda radyoaktivite gözlemlenmiştir.

Esmeray (2005) tarafından Konya ilinde yapılan bir çalışmada, 8 farklı su kaynağından alınan su numunelerinin toplam alfa ve beta aktiviteleri ölçülmüştür. Konya ilinin merkezinden alınan bu su örneklerinde yapılan ölçümlerden elde edilen tüm sonuçlar göz önüne alındığında, su kaynaklarında doğal radyasyon bakımından bir problem olmadığı görülmüştür. Temel Dilaver vd. (2005) tarafından yapılan bir çalışmada, toplanan su örnekleri üzerinde toplam alfa ve toplam beta analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçların Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) ve Türkiye Standartları Enstitüsü (TSE)'nün verdiği sınır değerleri aşmadığı görülmüştür. Damla vd. (2006) tarafından Doğu Karadeniz Bölgesinde yapılan bir çalışmada, musluk sularında toplam alfa ve beta radyoaktifliğini tespit edilmiştir. Bozkurt vd. (2007) tarafından, Şanlıurfa'daki içme sularında toplam alfa ve beta radioaktiflik seviyeleri belirlenerek yıllık doz eşdeğerleri hesaplanmıştır. Değerlier (2007) tarafından, Adana ili ve çevresindeki bazı doğal kaynaklarda bulunan doğal radyoaktivite değerlerinin veya doğal radyonüklit konsantrasyonları tayin edilmiş ve bu doğal kaynaklardan yayınlanan farklı tipteki radyasyonlar ölçülmüştür. Kam vd. (2007) tarafından,

Türkiye'nin kuzey batı bölgesinde yer alan Kastamonu'da çevresel radyoaktivite ölçümleri yapılmıştır. Çalışma alanından toplanan su örneklerindeki ortalama toplam alfa ve beta aktivite konsantrasyonları sırasıyla 0,00089 Bq/L ve 0,271 Bq/L olarak ölçülmüştür. Osmanlıoğlu vd. (2007) tarafından, Türkiye'nin güneydoğu bölgesinde bir sanayi ve ticaret merkezi olan Gaziantep ili için çevresel radyoaktivite seviyeleri ölçülmüştür. Bölgeden toplanan içme suyu örneklerindeki toplam alfa ve beta aktiviteleri 0,0493 Bq/L ve 0,1284 Bq/L olarak ölçülmüştür. Yine Damla vd. (2009) tarafından Batman iline ait yapılan bir çalışmada, içme sularında toplam alfa ve beta radyoaktiviteleri tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, yıllık etkin dozun WHO'nun belirlemiş olduğu değerin (0,1 mSv) altında olduğu gözlemlenmiştir. Forte vd. (2007) tarafından, İtalya'da içme sularında radyoaktivite ölçümü yapılmıştır. Analizler alfa-beta ayırım cihazı ile donatılmış ultra düşük seviyede sintilasyon sayım sistemiyle yapılmıştır.

Ajayi vd. (2008) tarafından, Güneybatı Nijerya'da özel kuyu sularında doğal radyoaktivite tayini edilmiştir. Ölçümler Canberra çok kanallı analiz sistemi ile birleştirilen yüksek saflıkta (HPGe) koaksiyel dedektörleri (Canberra, GC 2018-7500) kullanılarak yapılmıştır. Bu çalışmada ^{226}Ra , ^{228}Ra ve ^{40}K için aktivite konsantrasyonlarının 0,57-26,86, 0,20-60,06 ve 0,35-29,01 Bq/L aralığında değiştiği bulunmuştur.

Kozłowska vd. (2008) tarafından, Polonya'da Sudety dağlarındaki yeraltı sularında doğal radyoaktivite araştırılmıştır. Swieradow-Czerniawa Sağlık Resort kaynak sularındaki doğal radyoaktivite çalışmaları nükleer ve kütle spektrometresi teknikleri kullanılarak yapılmıştır. Alfatih vd. (2008) tarafından Sudan'da yapılan bir çalışmada, Kadugli çevresindeki yer altı suları ve Miri gölünden alınan yüzey sularında doğal radyoaktivite seviyeleri araştırılmıştır. Yüzey sularında radionüklidlerin çok düşük seviyelerde olduğu gösterilmiştir. Gruber vd. (2009) tarafından, Avusturya'daki içme suyunda radon ve diğer doğal radionüklidlerin ölçüm ve değerlendirilmesi yapılmıştır. Avrupa İçme Suyu Direktifi 98/83/EC'ye göre içme suyunun radyolojik durumunun değerlendirilmesi Avusturya'da

gerçekleştirilmiştir. Yaklaşık 350 içme suyu örneği Avusturya'dan alınmış ve farklı ölçüm tekniği ile çeşitli doğal radyonüklid için analiz edilmiştir. Singh vd. (2009) tarafından, Hindistan'ın bazı içme suyu örneklerinde uranyum ve radon konsantrasyonu tayin edilmiştir. Su örneklerinde uranyum konsantrasyonunun $19,68 \pm 0,12 \mu\text{g/L}$ - $1,08 \pm 0,03 \mu\text{g/L}$ arasında değiştiği görülmüştür. Labidi vd. (2010) tarafından, Tunus'daki termal, mineral ve kaynak sularında doğal radyoaktivite seviyeleri incelenmiştir. Uranyum aktivite konsantrasyonları, alfa spektrometresiyle izlenen radyokimyasal ayırma işlemleri ile çalışılmıştır.

Bonotta vd. (2009) tarafından, Brezilya'daki sulara toplam alfa ve beta aktiviteleri incelenmiştir. Sudaki toplam alfa ve beta radyoaktivitesini değerlendirmek için, alternatif bir yöntem olarak bir NaI (TI) sintilasyon dedektörü kullanılarak gama ışını spektrometresi ve bir yüzey bariyer dedektör kullanılarak uygulamalı alfa sayma sistemi geliştirilmiştir. Akyil vd. (2009) tarafından, İzmir çevresindeki göl yüzey sularından toplanan su örneklerinin radyoaktivite seviyeleri, yani toplam alfa, toplam beta ve uranyum konsantrasyonları incelenmiştir. Karagöl, Gölcük, Çakal bogaz Gölü yüzey sularındaki ortalama toplam alfa ve toplam beta aktivite konsantrasyonları, sırasıyla, $0,03$ - $2,62 \text{ Bq/L}$, $0,75$ - $2,35 \text{ Bq/L}$ ve $0,03$ - $1,77 \text{ Bq/L}$ arasında bulunmuştur. Bu çalışma sonucunda yüzey sularının radyoaktivite haritaları çıkarılmış.

Kobyta (2009) tarafından yapılan bir çalışmada, Doğu Karadeniz Bölgesinde yer alan 7 ildeki 53 istasyondan doğal kaynak suyu ve maden suyu örnekleri alınarak, bu örneklerde toplam alfa ve beta aktiflikleri ölçülmüş, kimyasal element ve ağır metal analizleri yapılmıştır. Yalçın vd. (2009) tarafından, Erzincan Kaplıca sularındaki doğal radyoaktivite seviyesi araştırılmıştır. Ölçülen ortalama alfa aktivitesi için toplam yıllık etkin doz $6,65 \mu\text{Sv}$ olarak hesaplanmıştır. Tüm örneklerdeki toplam alfa değerlerinin, Dünya Sağlık Örgütü'nün tavsiye ettiği alfa aktivite konsantrasyonu olan $0,5 \text{ Bq/L}$ 'den küçük olduğu görülmüştür.

Jia vd. (2009) tarafından, İtalya'dan alınan içme sularındaki doğal radionüklidler den elde edilen radyasyon doz miktarları incelenmiştir. Sanchez vd. (2009) tarafından, İspanya'daki su ve toprak örneklerinde toplam alfa ve beta belirlenmesi için self-adsorption çalışması yapılmıştır. Değerlier vd. (2010) tarafından, Adana'nın deniz, göl, nehir ve içme sularından toplanan su örneklerinin toplam alfa ve toplam beta aktiviteleri belirlenmiştir. İçme sularındaki toplam alfa ve beta için ortalama aktiviteleri sırasıyla 0,0096 Bq/L ve 0,086 Bq/L olarak elde edilmiştir.

Kırkpınar (2010) tarafından, Ankara ve İzmir illerindeki termal su ve içme suları toplam alfa/beta ve trityum radyoaktifliyi açısından incelenerek, bölgelerin kendi içerisinde ve bölgeler arasında termal su ve içme sularının radyoaktivitesi açısından karşılaştırılması yapılmıştır. Çalışma bölgesinden her bir il için yaklaşık 11 farklı lokasyondan termal su (yeraltı suyu) ve içme suyu (yüzey suyu) numuneleri alınmıştır. Bu çalışmada İzmir ve Ankara'dan 2 ayrı dönemde alınan içme sularının tamamının toplam alfa ve beta aktiviteleri sınır değerlerinin altında bulunmuştur. Kobya vd. (2010) tarafından Doğu Karadeniz bölgesinde yapılan bir çalışmada, doğal kaynak sularında gamma-ray spektrometre sistemi kullanılarak ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{137}Cs radyonüklid aktiviteleri ölçülmüştür.

Saç (1994) tarafından yapılan çalışmada, İzmir ili içme suyu ihtiyaçlarının karşılandığı 5 farklı (Halkapınar, Manisa, Sarıkız, Manisa Göksü, Menemen ve Gaziemir) bölgedeki sondaj kuyularının 20 tanesinden alınan su örneklerinin sıcaklık, pH, Eh (mV), iletkenlik ($\mu\text{mho/cm}$), alkalinite (mg/l) değerleri, radon (pCi/L) ve radyum (pCi/L) konsantrasyonları, su tortularının toplam aktivitesi (pCi/L) ile sondaj kuyusu çevresinde yüzey gama değerleri ölçülmüştür. İzmir ili içme ve kullanım sularında radyoaktivite ve veriler arasındaki korelasyon analizleri hesaplanmıştır.

Kumru vd. (2000) tarafından Gediz nehri üzerinde yapılan bir çalışmada, Gediz Nehri'nden Ege Denizi'ne taşınan doğal radyoaktivite (radyum) miktarı incelenmiştir. Nehirden alınan su örneklemelerinde ^{226}Ra konsantrasyonu için elde edilen sonuç,

6,70 pCi/L olarak bulunmuştur. Ayrıca çalışmada denize taşınan radyum miktarı da nehrin aylık debisine bağlı olarak hesaplanmıştır.

Kam vd. (2005) tarafından, Tekirdağ ili ve çevresinin doğal radyasyon seviyeleri belirlenmiştir. Bu amaç doğrultusunda gaz akışlı orantılı sayıcı kullanılarak, çeşitli içme suyu kaynaklarından alınan su örneklerinin toplam alfa ve beta sayımları yapılmıştır. İçme suları genel olarak WHO'un tavsiye ettiği toplam alfa için 0,1 Bq/L ve toplam beta için 1 Bq/L değerlerinden daha düşük bulunmuştur. Ancak Kayı, Yenice, Ulaş, ve Çorlu'dan alınan içme suyu örneklerinde toplam alfa WHO'nun tavsiye ettiği değerlerin çok üzerinde çıkmıştır. Söz konusu sular yüzeysel sular olup, tarımda kullanılan yapay gübrelerden dolayı radyoaktif kirlilik oranlarının yükseldiği düşünülmektedir. Toplam beta aktivitesinin ise tavsiye edilen sınır değerlerin altında olduğu görülmüştür.

Özger (2005) tarafından, Ceyhan, Yumurtalık ve Pozantı'nın köylerinden alınan toprak, su örnekleri için radyoaktivite çalışması yapılmıştır. Su örneklerindeki alfa ve beta düzeylerini tayin etmek için, gaz akışlı orantılı sayaç kullanılmıştır. İncelenen su örnekleri arasında yalnızca Yumurtalık ilçesine bağlı İncirli deniz suyunun alfa aktivitesinin, WHO'nun üst limit olarak belirlediği 0,1 Bq/L sınırını aştığı gözlemlenmiştir. Yine tüm su örnekleri arasında yalnızca İncirli deniz suyunun beta aktivitesinin, WHO'nun üst limit olarak belirlediği 1,0 Bq/L sınırını aştığı gözlemlenmiştir. Deniz suyundaki alfa ve beta aktivitelerinin yüksek çıkmasının nedeni olarak deniz suyundaki potasyum miktarının fazla olması gösterilmiştir.

Barış (2006) tarafından İzmir-Çeşme bölgesinde yapılan bir çalışmada, bölgeden alınan termal su ve kuyu sularındaki uranyum ve radon konsantrasyonları sırasıyla ICP-OES spektrometresi ve CR-39 iz detektörüyle analiz edilmiştir. Bölgeden toplanan toprak örneklerindeki ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K 'ın aktivite konsantrasyonları NaI(Tl) dedektörü kullanılarak analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlara bakıldığında termal sular için radon konsantrasyonu en yüksek Alaçatı'da, en düşük ise Ilıca-1'de bulunmuştur. Kuyu suları için radon konsantrasyonu ise en yüksek Çesme'de en

düşük Ovacık'ta bulunmuştur. Yine termal sular için uranyum konsantrasyonu en yüksek Alaçatı'da, en düşük ise Ilıca-2'de bulunmuştur. Kuyu suları için uranyum konsantrasyonu ise en yüksek Çeşme'de, en düşük ise Altinyunus'da bulunmuştur. Özdemir (2006) tarafından, Afyonkarahisar ve civarında yapılan bir çalışmada kuyu sularının radon ve radyum konsantrasyonları belirlenmiştir. Örnekler AB-5R model radon dedektör ile analiz edilmiştir. Bu çalışma sonucu elde edilen radon ve radyum konsantrasyonunun maksimum değerleri, sırasıyla, 28,82 Bq/L ve 7,16 Bq/L olarak bulunmuştur.

Yalçın vd. (2007) tarafından, Marmara bölgesinden alınan toprak, kömür ve su örnekleri üzerinde radyoaktivite ölçüm çalışmaları yapılmıştır. Örneklerin aktiviteleri TENNELEC LB 1000-PW detektör kullanılarak belirlenmiştir.

Küçükömeroğlu vd. (2009) tarafından, Türkiye'nin Doğu Karadeniz bölgesindeki Bayburt ili için çevresel radyoaktivite ölçümleri yapılmıştır. Dört farklı örnekleme istasyonlarından toplanan içme suyu örneklerinde toplam alfa ve beta radyoaktivite konsantrasyonları belirlenmiştir. İçme sularındaki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K ortalama aktivite konsantrasyonları 93, 30 ve 504 mBq/L olarak ölçülmüştür.

Küçükönder (2009) tarafından, Kahramanmaraş il merkezinden su, toprak ve gıda örnekleri alınarak, Kahramanmaraş yöresinin doğal radyoaktivite seviyesi tespit edilmiştir. Kahramanmaraş yöresinin doğal radyoaktivitesi su, toprak ve gıda örnekleri için toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri ve aynı örneklerdeki ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K konsantrasyonları belirlenmiştir.

Damla vd. (2010) tarafından, Türkiye'nin Batman ili için çevresel radyoaktivite değerlendirilmesi yapılmıştır. Çalışma alanından toplanan musluk sularında ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları sırasıyla 42 ± 15 , 35 ± 9 ve 524 ± 190 mBq/L olarak belirlenmiştir. Erdoğan (2010) tarafından, Uşak ili ve çevresindeki derin kuyu sularının radon ve radyum aktiviteleri tayin edilmiştir.

Kam vd. (2010a) tarafından, Türkiye'nin kuzeybatısındaki Çanakkale ili için doğal radyasyon düzeyi değerlendirilmiştir. İçme suyu örneklerindeki radyoaktivite düzeyleri toplam alfa ve beta aktiviteleri, sırasıyla, 0,0599 Bq/L ve 0,0841 Bq/L olarak ölçülmüştür. Yıllık etkin doz 12,25 µSv olarak elde edilmiştir.

Kam vd. (2010b) tarafından yapılan başka bir çalışmada, Türkiye'nin kuzey batısında yer alan Tekirdağ ili için doğal radyasyon seviyesi değerlendirilmiştir. İçme suyu numunelerinde toplam alfa ve beta aktiviteleri 0,044 ve 0,1 Bq/L olarak bulunmuş; yıllık etkin doz ise 9 µSv olarak ölçülmüştür.

Burnett vd. (2011) tarafından yapılan çalışmada, tatlı sularda doğal radionüklid konsantrasyon analizi yapılmış ve tatlı sularda ²¹²Pb belirlenmiştir. Tatlı suların ²¹²Pb aktivitesini belirlemek için bir teknik geliştirilmiştir.

Idoeta vd. (2011) tarafından, İspanya'daki çiğ süt ve içme sularında ²¹⁰Po ve ²¹⁰Pb arasındaki doğal dengesizlik incelenmiştir.

Jobbagy vd. (2011) tarafından, Macaristan'da Balaton Upland'taki kaynak sularında toplam alfa ve beta aktivite konsantrasyonları incelenmiştir. Toplam alfa ve beta aktivite konsantrasyonlarının, sırasıyla, 60-1749 mBq/dm³ ve 33-2015 mBq/dm³ aralığında değiştiği belirlenmiştir. Kleinschmidt vd. (2011) tarafından, Avustralya'da Queensland adasındaki uzak ve kırsal bölgelerdeki yeraltı sularında maruz kalınan dozu tanımlamak için radyoaktivite haritalaması yapılmıştır.

Tsiaili vd. (2011) tarafından, Kıbrıs'taki doğal su sistemlerinde alfa radyoaktivite konsantrasyonlarının mevsimsel değişiklikleri incelenmiştir. Bu çalışmanın amacı Kıbrıs'taki yeraltı sularının ²³⁸U ve ²³⁴U konsantrasyonu ve toplam alfa-radyoaktivitenin mevsimsel değişimini belirlemektir.

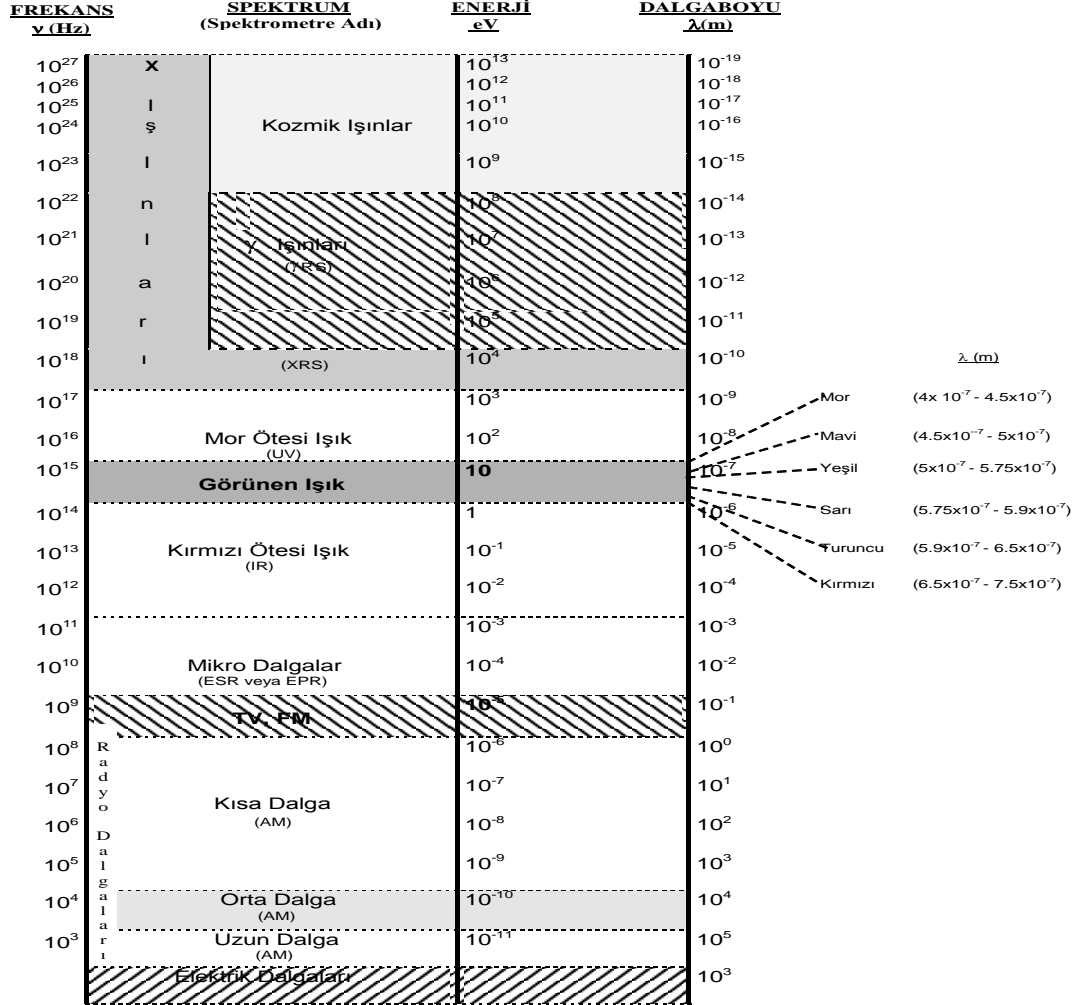
2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Radyasyonun Tanımı

Madde mutlak sıfır sıcaklığının üstünde bir sıcaklıkta bulunuyorsa, yani en temel hal enerjisinden daha büyük bir enerjiye sahipse bulunduğu ortamla enerji alış verişi ilişkisi içindedir. Bu sebeple mutlak sıfır sıcaklığının üstündeki tüm maddeler dışarıya hem termal radyasyon (termal enerji) yayar ve dışarıdan yani çevresindeki maddelerin saldığı radyasyonların (enerjinin) uygun olan kısmını da soğurur. Radyasyonu bulunduğu maddesel ortamda veya boşlukta yol alan enerji olarak tanımlamak mümkündür. Fakat çoğunlukla da radyasyonun tanımı etkisinin önemine binaen doğal ya da yapay radyoaktif çekirdeklerin daha kararlı yapıya geçebilmek için dışarı saldıkları hızlı parçacıklar ve elektromanyetik dalgalar şeklinde taşınan fazla enerjiler olarak tanımlanır. Çabuk (2010) tarafından radyasyon "iç dönüşüm geçiren atomlar tarafından yayımlanan, boşlukta ve madde içerisinde hareket edebilen enerji" olarak tanımlanır. Yayınlayan kaynağın özelliğine bağlı olarak bu enerji parçacıklar veya elektromanyetik dalgalar tarafından taşınabilir.

Radyasyonu tanımlamada üç ana parametre kullanılır. Bunların ilki, radyasyonun kaynağı (doğal ve yapay radyasyon kaynakları), ikincisi radyasyonun enerjisi (düşük ve yüksek enerjili radyasyon), üçüncüsü de radyasyonun türüdür (parçacık radyasyonu ve elektromanyetik radyasyon). Radyasyonu yapısal olarak iki şekilde sınıflandırabiliriz. Bunlar "**parçacık**" ve "**dalga**" tipi radyasyonlardır. Ayrıca madde üzerinde meydana getirdiği etkilere göre radyasyon iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon şeklinde sınıflandırılır. Bu sınıflandırmayı da kendi aralarında, parçacık tipinde iyonlaştırıcı radyasyon, benzer şekilde dalga tipinde iyonlaştırıcı radyasyon ve dalga tipinde iyonlaştırıcı olmayan radyasyon şeklinde de sınıflandırabiliriz. Dalga tipindeki radyasyonlar elektromanyetik dalga olarak da isimlendirilirler. Bunlar Şekil 2.1 ve Tablo2.1'de temel özellikleri verilen elektromanyetik spektrumun bileşenlerini oluştururlar. Parçacık radyasyonu belli bir kütle ve enerjiye sahip çok hızlı hareket eden parçacıkları ifade eder. Bunlar çok büyük hızlarla giden mermilere benzerler; ancak gözle görülemeyecek kadar

küçüktürler. Dalga tipi radyasyon belli bir enerjiye sahip ancak kütleli radyasyon çeşididir. Bunlar, titreşim yaparak ilerleyen elektromanyetik enerji dalgalarıdır. Görünür ışık, dalga tipi radyasyonun bir çeşididir. Bütün dalga tipi radyasyonlar ışık hızıyla (3×10^8 m/s) hareket ederler.



Şekil 2.1. Elektromanyetik radyasyonun enerji spektrumu

Tablo 2.0.1. Elektromanyetik spektrumda farklı tipteki elektromanyetik radyasyonların enerji ve dalga boyları.

Tip	Enerji (eV)	Dalga boyu
Radyo, TV, radar	$10^{-9} - 10^3$	$10^1 - 10^5$ cm
Kırmızı Ötesi ışık (IR)	$10^{-3} - 10^{-2}$	$10^4 - 10$ cm
Görünür ışık	2-3	4000-7000 Å
Mor Ötesi (UV)	3-25	50-4000 Å
X-ışınları	$25 - 10^{13}$	$10^{-1} - 50$ Å
γ ışınları	$10^4 - 10^6$	$10^{-2} - 1$ Å
1 Å = 10^{-8} cm		

2.1.1. İyonlaştırıcı radyasyon

Radyasyon, maddesel ortamlarda yayılırken önüne çıkan atom veya moleküllerle etkileşir. Şayet radyasyon bir hedef atom ile etkileşiyor ve bu etkileşme sonucunda atomun elektronunu serbest hale geçirebiliyorsa, yani pozitif ve negatif elektrik yüklerine sahip bir iyon çifti oluşturabiliyorsa, bu olayı gerçekleştirebilen radyasyon tiplerine *iyonlaştırıcı radyasyon* denir.

Yüksek enerjili radyasyon, iyonlaştırma özelliğine sahiptir; yani atomdan elektron koparabilen dolayısıyla atomu iyonize edebilen radyasyon türüdür. Madde ile etkileştiğinde elektrik yüklü parçacıklar veya iyonları oluşturarak iyonizasyon meydana getiren kozmik ışınlar, nötronlar, alfa, beta parçacıkları, X-ışınları, gama ışınları "iyonlaştırıcı radyasyon" olarak tanımlanır. İyon meydana gelmesi yani iyonizasyon olayı herhangi bir maddede meydana gelebileceği gibi, insanlar dahil tüm canlılarda da oluşabilir. O halde iyonlaştırıcı radyasyonlar, tedbir alınmadığı takdirde tüm canlılar için zararlı olabilecek radyasyon çeşitleridir.

2.1.2. İyonlaştırıcı olmayan radyasyon

İyonlaştırıcı olmayan radyasyonun yeteri kadar enerjisi olmadığı için etkileştiği maddeler içindeki atomları iyonize edemez, ancak etkileştiği madenin molekül veya parçacıklarının hareket enerjilerini değiştirerek sıcaklığını artırır. Eğer enerjisi çok küçük değilse ve maddeyi de iyonlaştıracak kadar büyük değilse o zaman maddeyi sadece moleküler düzeyde uyarmakla yetinir. Çok kısa dalga boyluları hariç olmak üzere morötesi (UV), görünür ışık, kızılötesi (IR), mikrodalgalar (MW), radyo dalgaları (RF) iyonize olmayan elektromanyetik dalga şeklinde olan radyasyonlardır. Baz istasyonları, cep telefonları, mikrodalga fırınları, radarlar, yüksek gerilim hatları iyonlaştırıcı olmayan elektromanyetik dalga şeklindeki radyasyon kaynaklarına örnektir.

2.2. Radyasyon Birimleri

Bir madde içerisinden geçen iyonlaştırıcı bir ışınımın soğurulan enerjisi, madde içerisinde moleküler yapıyı bozmak veya kristal yapısını değiştirmek suretiyle hasar meydana getirir. Oluşturulan hasarın miktarı soğurucu maddenin cinsine, fotonun enerjisine ve şiddetine bağlıdır. Kompleks yapılu organik moleküllerde bu etki çok fazla olduğundan X-ışınları, yaşayan dokular için zararlıdır. Bu etkinin kantitatif olarak incelenmesi için soğurulan ışınımın enerjisine ait bir birim tarif etmek zorunluluğu vardır.

2.2.1. Aktivite birimi

Becquerel (Bq): Saniyede bir bozunma gösteren radyoaktif maddenin aktivitesi olarak bilinir.

Curie (Ci): 1 g radyum ile dengede bulunan radonun aktivite miktarıdır. Bir gram radyum ile dengede bulunan radon miktarı $6,51 \cdot 10^{-6}$ g'dır. Bu kadar radonun bir saniyede $3,7 \times 10^{10}$ tane α parçacığı yayınladığı ölçülmüştür. Kısaca 1 Curie

saniyede $3,7 \times 10^{10}$ parçalanma yapan radyoaktif madde miktarının aktivitesi olarak tanımlanır. Alt ve üst birimleri;

mikrocurie (μCi)= 10^{-6} Ci,

milicurie (mCi)= 10^{-3} Ci ,

kilocurie (kCi)= 10^3 Ci'dir.

Ruthertford: Bir radyoaktif elementten, saniyede 10^6 parçalanma meydana geliyorsa bu aktiviteye 1 rd(= 10^6 par/s)denir.

2.2.2. Işınlama birimleri

Kütlesi dm olan hava atomlarıyla foton etkileşimi sonucu fırlatılan elektronların oluşturduğu tek işaretli iyonların toplam yükleri dQ olsun. Toplam yükün kütleye oranı,

$$\text{Işınlama (exposure)} = \frac{dQ}{dm} = \frac{\text{toplam yük}}{\text{kütle}} \quad (2,1)$$

olarak ifade edilebilir. Işınlama X- ve γ -ışınlarının havayı iyonlaştırma kabiliyetlerinin bir ölçüsüdür. Uluslararası ilk kabul edilen ışınlama birimi Röntgendir. İyonların oluşması için enerji soğurulması gerektiğinden Röntgen, ışınımın demeti içerisinde toplam enerji akışı için bir ölçü değil, soğurulan enerjinin bir ölçüdür. Röntgen, 0,001293 g havada her iki işaretli esb elektrik yükü oluşturan radyasyon miktarıdır. 0,001293 g; 0 °C de, 760 mm cıva basıncı altında 1 cm³ hacimdeki havanın kütlesidir ve 1 esb elektrik yükü de $1/(3 \times 10^9)$ Coulomb'dur. Bir iyon çiftinin meydana gelebilmesi için gerekli enerji 34 eV olarak bulunmuştur. Fakat Röntgen X ve γ -ışınları için tanımlandığından diğer radyasyon çeşitleri için kullanılmaz. Havada bir Röntgenlik etki yapan X-ışınları, yumuşak vücut dokusunda gram başına $9,3 \times 10^{-6}$ joul'lük enerji soğurulmasına uğrayan ışınım dozuna Röntgenin fiziksel eşdeğeri rem denir. Vücudun bileşimi yer-yer değişik olduğu için

bu birim pek belirli değildir. Bunun yanında belirli bir birim olan rad, ışınım soğurma dozu olarak tarif edilir ve ışınlanan maddenin 1 kg'ına 10^{-2} joule'luk enerji veren radyasyon miktarıdır.

2.2.3. Soğurulma doz birimi

Soğurma doz iyonizasyon ışınlarının ortam ile etkileşmesi sonucu, materyalin bir birim kütlede depo edilen enerji miktarı olarak tarif edilir ve

$$\text{Soğurma doz}=D=\frac{dE}{dm} = \frac{\text{enerji}}{\text{kütle}} \quad (2,2)$$

şeklinde ifade edilir. SI birimlerinde absorbe doz birimi gray (Gy) dir, özel absorbe doz birimi ise rad'dır. Rad hem parçacık radyasyonlarına hem de elektromanyetik radyasyonlara uygulanabilen bir birimdir (Engizek 1999). Absorbe doz debisi (d) birim zamandaki soğurulan dozdur ve dD/t : Gy/s şeklinde ifade edilebilir (Uzal 1995).

SI birim sisteminde doz eşdeğer birimi joule/kg olup, bunun özel adı Sievert (Sv)'dir. 1 Sv; 1 Gy'luk X- ve γ -ışınları ile aynı biyolojik etkiyi meydana getiren herhangi bir radyasyon miktarı olarak tanımlanır.

Foton madde ile etkileştiğinde enerjisinin bir kısmını maddeye aktarır. Madde üzerine aktarılan bu enerjiye Kerma (k)denir. Kısaca birim kütleye transfer edilen enerjidir diye de tanımlayabiliriz ($k=E_{tr}/m$). Kerma birimi Gy' dir ($Gy=\text{enerji/kütle:j/kg}$). Birim zamanda transfer edilen doza da Kerma debisi denir ($Gy.s^{-1}=Gy/\text{saniye}$) (Bilge 1998).

2.2.4. Biyolojik doz (doz eşdeğer) birimi

Farklı radyasyonların biyolojik etkilerindeki farklılıkları hesaba katmak ve aynı zamanda radyasyondan korunma hesaplarını basitleştirmek için kullanılan WR radyasyon ağırlık faktörü olarak adlandırılan bir faktördür (Yaşar 1999). Bu faktöre bağlı olarak da;

Röntgen equivalent man (rem); 1 röntgenlik X- veya γ -ışını ile aynı biyolojik etkiyi oluşturan herhangi bir radyasyon miktarıdır. $Rem=(rad) \times (WR)$

Sievert (Sv); 1 Gy'lık X- ve γ -ışını ile aynı biyolojik etkiyi meydana getiren herhangi bir radyasyon miktarıdır. $Sv= (Gy) \times (WR)$, $1Sv=100rem$, $1rem=0,01Sv$

Tablo 2.2. Radyoaktivite ölçüm ve birimlerine ait dönüşüm değerleri (Yalçın, 2002)

Ölçülen Büyüklük	Birim	SI birim sembolü	Özel birimi ve sembolü	Dönüşüm değerleri
Işınlama (Exposure)	Coulomb/kg	C/kg	Röntgen(R)	$1R=2,58.10^{-4}C/Kg$ $1C/Kg=3,876.10^3R$
Absorbe doz	Gray	Gy	Rad (rad)	$100rad=1Gy$ $1rad=100erg/g$ $1rad=10^{-2}Gy$
Eşdeğer doz	Sievert (Sv)	J/kg	rem	$100rem=1Sv$
Aktivite	Becquerel (Bq) Ruthertford (rd)	$s^{-1}rd$	Curie (Ci) Parç/s	$1Ci=3,7.10^{10}Bq$ $1Bq=27,03.10^{-12}Ci$ $1 Bq = 27 pCi$ $1 pCi = 10^{-12} Ci$ $1 rd=10^6 par/s$
Sipesifik Aktivite	Curie/g	Ci/g	Ci/g	$1Ci/g=37.10^{12}Bq/kg$ $1Bq/kg=27.10^{-15}Ci/g$

2.3. Radioaktiflik

Radyoaktifliği ilk keşfeden 1895'de **Henri Becquerel** olmuş; daha sonra **Madamme ve Pierre Curie** çifti tarafından olay derinliğine incelenmiş ve aydınlatılmıştır. Uranyum filizinin durmaksızın yüksek enerjili, görünmeyen ışınlar yayımladığını ispatlayan ve uranyumdan ilk kez Radyum elementini elde etmeyi başaran Madam Curie bu olaya **radyoaktivite** adını vermiştir.

Atomlar ve moleküller arası çekim kuvvetlerinin değişmesi ile fiziksel değişimlerin, atomların değerlik elektron sayılarının değişmesiyle kimyasal değişimlerin olduğu bilinmektedir. Kimyasal tepkimeler, atomların elektron alış verişi veya elektronların ortaklaşa kullanılması ile gerçekleşir ve kimyasal olaylarda atomların çekirdek yapısı değişmez. Kimyasal tepkimeler ile nükleer tepkimeler arasındaki önemli farklar;

- ✓ Kimyasal tepkimelerde atomun değerlik elektron sayısı değişirken, nükleer tepkimelerde çekirdek değişikliğe uğrar.
- ✓ Bir elementin izotoplarının kimyasal özellikleri aynıdır;ancak elementin izotopları farklı nükleer tepkime verir.
- ✓ Kimyasal tepkimelerde kütle korunur. Nükleer tepkimelerde ise kütle çoğu zaman korunmaz.
- ✓ Nükleer tepkimelerdeki enerji değişimi, kimyasal tepkimelerdeki enerji değişiminden çok fazladır.

Radyoaktivite, bir atom çekirdeğinin parçalanarak bozunması olayıdır. Nötronların protonlara oranı hafif izotoplarda bir iken, periyodik çizelgenin sonundaki ağır elementlere doğru giderek artmaktadır.

Radyoaktivite kontrol edilemeyen bir olaydır. Yavaşlatılamaz veya durdurulamaz ve radyoaktif madde tükeninceye kadar sürer. Radyoaktivite doğal ve yapay olmak üzere iki şekildedir. Tabiatta bulunan izotoplardan 66 tanesi kararsız olup radyasyon

salarlar. Bunlara doğal radyoaktif izotoplar ve radyasyon salmalarına da doğal radyoaktivite denir. Bunlar dört grupta toplanır:

Radyum grubu: Bu grup uranyum 238 ile başlar ve art arda parçalanmalarla kararlı kurşun 206'ya dönüşür.

Aktinyum serisi: Bu seri uranyum 235 ile başlar ve kurşun 207'ye dönüşerek biter.

Toryum serisi: Adını aldığı toryum 232 ile başlar ve kurşun 208 ile son bulur.

Neptünyum serisi: Neptünyum 237 ile başlayıp, bizmut 209 ile biter.

Kararlı izotoplar da nötronlar, yüklü parçacıklar veya fotonlarla bombardıman edilerek aktif hale getirilebilir. Bu olaya da yapay radyoaktivite denir. Halen yapay olarak üretilen izotop sayısı, 1200 kadardır.

2.4. Radyoaktif Bozunma Kanunu

Bir atomun çekirdeğinin bir α -parçacığı, bir β -parçacığı, bir γ -ışını veya başka herhangi bir parçacık yayınlaması ya da ekstra-çekirdek kabuğundan bir elektron yakalaması olayına radyoaktif bozunma denir. Radyoaktif olan cisimlerin kendiliklerinden parçalanmaları sonucu çevrelerine ışınlar yayması olayına radioaktiflik denir. Bir radyoaktif çekirdeğin kendiliğinden bir başka çekirdeğe dönüşmesi olayına parçalanma (desintegrasyon), yapay olarak bir çekirdekten başka bir çekirdek elde edilmesi olayına da transmütasyon denir.

Deneysel deliller göstermektedir ki radyoaktif bozunma üstel bir kanuna göre olmaktadır. Şayet bozunmanın rastgele bir tabiata sahip olduğu kabul edilirse, bu kanunun türetilmesi mümkün olur. Bu rastgele tabiat hangi anda hangi atomun bozunacağını bilmesinin mümkün olmadığını ima eder. Bozunmamış her bir

çekirdeğin (veya bozunmamış atomun) gelecek bir saniye içindeki bozunma ihtimalinin ölçüsüne λ diyelim (aynı zamanda $\lambda \ll 1$ olduğunu kabullenelim). İstatistik teorisinin temel kabulü λ 'nın zamandan ve mevcut diğer çekirdeklerin tip ve sayılarından bağımsız olmasıdır. Bir dt zaman aralığında her bir çekirdeğin bozunma ihtimali λdt olacaktır. Kısa bir dt süresindeki bozunma sayısı bozunmamış çekirdeklerin sayısı N ve dt zaman aralığı ile doğru orantılıdır. Bu durum

$$\frac{dN}{N} = -\lambda dt \quad (2,3)$$

şeklinde ifade edilebilir. Baştaki eksi işareti tarttıkça N 'nin azaldığını göstermektedir. (2,1) bağıntısı $t=0$ iken radyoaktif çekirdeklerin sayısının N_0 olduğu farz edilerek integral alınır,

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2,4)$$

elde edilir. Burada $N(t)$, t anında mevcut radyoaktif çekirdeklerin sayısını göstermektedir. Çoğu kez, verilen bir radyoaktif numunedeki mevcut radyoaktif çekirdeklerin sayısını bilmekten çok birim zamanda bozunmaya uğrayan çekirdeklerin sayısını bilmek daha önemlidir. Bu sayı radyoaktif numunenin aktifliği kullanılarak bulunur. Aktiflik verilen bir numunede saniyedeki parçalanma sayısı olarak tanımlanır. (2,1) ve (2,2) bağıntılarından

$$\text{Aktiflik} = \left| \frac{dN}{dt} \right| = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = \lambda N \quad (2,5)$$

bulunur. Böylece bir numunenin aktifliğinin mevcut radyoaktif çekirdeklerin sayısına (N) ve bozunma sabitine (λ) bağlı olduğu bulunur (Şahin 1989).

2.5. Yarı Ömür

Aktifliğin yarıya düşmesi için gerekli zaman yarı-ömür olarak tarif edilir. Aktiflik bozunmamış mevcut atomların sayısı ile doğru orantılı olduğundan yarı-ömür de bozunmamış atomların sayısının yarıya düşmesi için gerekli zaman aralığına eşittir. (2,2) bağıntısından,

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda t_{1/2}} \quad (2,6)$$

buradan da,

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda} \quad (2,7)$$

şeklinde yarı-ömür elde edilir.

Her radyoaktif element için bu yarı ömür farklıdır ve o elementin bir karakteristiğidir. Örnek; Sezyum elementinin radyoaktif üç izotopuna ait yarı ömürler birbirinden farklıdır.

^{131}Cs 'nin yarı ömrü: 9,69 gün

^{132}Cs 'nin yarı ömrü: 6,48gün

^{137}Cs 'nin yarı ömrü: 30,17 yıl'dır.

Bilindiği gibi buradaki λ bozunma sabiti (parçalanma sabiti) olup, ne kadar büyükse yarı ömür o kadar kısa olur. Bozunma faktörü ($DF = e^{-\lambda t}$) olarak gösterilir.

2.6. Ortalama Ömür

Parçalanma sabitinin tersine *ortalama ömür* denir. Bu değer yarı ömürden biraz büyüktür.

$$t_o = \frac{1}{\lambda} \quad (2,8)$$

şeklinde ifade edilir. Yarı ömür ile ortalama ömür arasında şu eşitlik vardır.

$$t_o = 1,44 t_{1/2} \quad (2,9)$$

Başka bir deyişle radyoaktif atomun yaklaşık olarak ne kadar zaman aktif kalacağını ortalama ömür belirler.

2.7. Biyolojik Yarı Ömür

Canlı dokuya, bir organa veya bir organizmaya verilen radyoaktif maddenin yarısının biyolojik olaylar ile verildiği, biyolojik ortamdan atılması için geçen zamana *biyolojik yarı ömür* denir. Vücuttan hemen atılan bir madde ile kalsiyum gibi kemiklere yerleşen bir madde arasında, biyolojik yarı ömür bakımından büyük farklar vardır. Verilen radyoaktif madde bulunduğu organ tarafından dışarı atılmadığı takdirde biyolojik yarı ömür yaklaşık olarak fiziksel yarı ömre eşit olur (Görür, 2006).

2.8. Etkin (Etkin) Yarı Ömür

Vücutta radyoaktif maddenin etkili olduğu süredir. Etkin yarı ömür vücuda dâhil olan radyoizotopun fiziksel yarı ömrüne ve organizmanın o maddeyi biyolojik olarak atma gücüne bağlıdır.

$$Efektif\ Yarı\ Ömür = \frac{Biyolojik\ yarı\ ömür \times Fiziksel\ yarı\ ömür}{Biyolojik\ yarı\ ömür + Fiziksel\ yarı\ ömür} \quad (2,10)$$

olarak ifade edilir.

2.9. Doğal Radyasyon Kaynakları

Vücudumuza solunum ve sindirim yollarıyla, hava, su, tüm bitkisel ve hayvansal besinlerde az da olsa bulunan radyoaktif maddeler alınmakta, bunlarda zamanla çeşitli organlarda birikmektedir. İnsan canlı vücutları hem iç hem de dış radyasyon ışınlanmasına doğal olarak maruz kalır. Doğal radyasyon yolu ile alınan ortalama yıllık etkin doz yaklaşık 2,4 mSv'tir ancak doz değerleri farklı etkenlere bağlı olarak bazı bölgelere hatta ülkelere göre büyük ölçüde değişebilir. Bazı bölgelerde genellikle radon ve bozunum ürünlerinin yüksek düzeyde olduğu ve bazı ülkelerdeki ulusal doz ortalamaları yüksek düzeylerde olduğu görülmüştür. Türkiye Atom Enerji Kurumu (TAEK) tarafında doğal radyasyon kaynaklarının insanda oluşturduğu yıllık etkin doz değerleri Tablo 2.3'de verilmiştir.

Tablo 2. 3. Doğal radyasyon kaynakları ve insanda oluşturduğu yıllık etkin doz değerleri (TAEK).

Işınlanma Kaynağı	Yıllık Etkin Doz Değeri (mSv)	
Ortalama	Değişim Aralığı	
Kozmik Radyasyon		
• Foton bileşeni	0,28	
• Nötron bileşeni	0,10	
• Kozmojenik Radyoizotoplar	0,01	
Toplam	0,39	0,3 – 1,0 ^(a)
Yeryüzü Kaynaklı Dış Işınlanma		
• Bina dışı	0,07	
• Bina içi	0,41	
Toplam	0,48	0,3 – 0,6 ^(b)
Solunum yolu ile ışınlanma		
• Uranyum ve Toryum serileri	0,006	
• Radon (Rn -222)	1,15	
• Toron (Rn -220)	0,10	
Toplam	1,26	0,2 – 10 ^(c)
Beslenme yolu ile ışınlanma		
• K-40	0,17	
• Uranyum ve Toryum serileri	0,12	
Toplam	0,29	0,2 – 0,8 ^(d)
Genel toplam	2,4	1 – 10

(a) Deniz seviyesinden yüksekliğe bağlı

(b) Toprak ve yapı malzemelerinin karışımlarına bağlı

(c) Radon gazı konsantrasyonuna bağlı

(d) Yiyecek ve içme sularındaki radyoizotopların konsantrasyonlarına bağlı

2.9.1. Karasal radyasyon

2.9.1.1. Topraktaki doğal radyoaktivite

Yerkabuğunun oluşumunda doğal olarak mevcut olan radyonüklidler ve bunların bozunma ürünleri, yayınladıkları gama ışınları ile çevresel radyasyonların büyük kısmını oluştururlar. Yeryüzünün toprak tabakasının hemen altında kaya tabakasının bulunduğu görülür. Bu kaya tabakasının karasal radyoaktiviteye sebep olduğu tahmin edilmektedir. Özellikle gama radyasyonunun önemli bir kısmının, 0-30 cm derinlikteki yüzey tabakadan kaynaklandığı bilinmektedir. ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K gibi radyonüklitlerin toprakta bulunma miktarları toprağın kökenini oluşturan kaya çeşidine bağlıdır. Yüksek radyasyon seviyeleri granit, volkanik, fosfat gibi volkanik kökenli kayalarda ve tuz kayalarında, düşük radyasyon seviyeleri de tortul kayalarda görülür. Fakat bazı katmanlarına ayrılabilen tortul kaya (tortul şist) ve fosfat kayalarının da nispeten yüksek radionüklit içeriğine sahip olması beklenir. İnsanların bu gama ışınlarından etkilenmeleri, buldukları bölge toprağındaki radyoaktif elementlerin konsantrasyonlarına bağlıdır. Bu sebeple maruz kalınan gama radyasyonu her yerde aynı değildir (Karahana, 1997).

2.9.1.2. Yeryüzüne yakın atmosferdeki doğal radyoaktivite

Doğal kaynaklardan çıkan radyoaktif toz ve partiküller, kozmik etkileşimler, nükleer kazalar ve nükleer denemeler, yeryüzüne yakın atmosferdeki radyoaktiviteyi oluşturmaktadır. Nükleer patlamalar sonucunda fisyon ürünleri, kalıntı fisil malzeme ve aktivasyon ürünleri yüksek sıcaklıkta atmosfere karışırlar. Yeryüzüne yakın patlamalarda bu karışıma toprak ve kaya parçaları da katılır. Karışım havada yükselirken soğuma nedeniyle katılaşılarak çok çeşitli boyutta radyoaktif partiküller oluşur. Bu partiküllerden geniş çapta olanları birkaç yüz metre uzaklığa kadar olan alan içerisine yağarak bölgesel serpinti meydana getirirler. Küçük çaptaki parçacıklar aşağı troposfer tabakasına girerek yeryüzünde geniş çapta radyoaktif kirlenmeye neden olurlar.

Nükleer denemeler özellikle atmosferde, 30 km'den daha yüksek tabakalarda aşırı derecede radyoaktif kirlenmeye neden olmaktadır. Atmosferde oluşan bu radyoaktif kirlilik bazı atmosferik şartlarda yere çok yakınlaşmakta ve insanlar tarafından teneffüs edilmeleriyle bu insanların radyasyona maruz kalmalarına neden olmaktadır. Ayrıca yere düşen bu radyoaktif kirlilik, bitkilerin de kirlenmesine yol açmaktadır.

Nükleer denemelerle atmosfere atılan radyoaktif maddeler, atmosferde bulunan kozmojenik radyonüklit konsantrasyonlarının artmasına neden olmaktadır. Bunlar yüzeye yakın atmosferdeki en önemli iyonizasyon kaynaklarını oluşturmaktadır. Yerleşim bölgelerinin yüzey havasında yaklaşık $50 \mu\text{G}/\text{m}^3$ bir toz yükü olduğunu farz edersek ve topraktaki ortalama ^{238}U aktivite konsantrasyonunu $25 \text{ Bq}/\text{kg}$ alırsak, yer seviyesindeki havadaki aktivite konsantrasyonu yaklaşık $1,2 \mu\text{Bq}/\text{m}^2$ olarak bulunur (Değerlier, 2007).

Volkanik patlamalarla yerkabuğunun derinliklerinden atmosfere atılan toz ve küller, rüzgâr ve fırtınalarla toprak yüzeyinden havaya kaldırılan tozlar ve termik santrallerde yakıt olarak kullanılan kömürün yanmasıyla havaya atılan kül ve dumanda da radyoaktif maddelerin olduğu bilinmektedir.

2.9.1.3. Sulardaki doğal radyoaktivite

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

güneş enerjisi sayesinde sürekli bir döngü halindedir (hidrolojik çevrim). İnsanlar gereksinimleri olan suyu bu döngüden alırlar ve kullandıktan sonra bu döngüye iade ederler. Bu süreç içerisinde sular fiziksel ve kimyasal kirliliğe maruz kalabilecekleri gibi geçtikleri veya buldukları ortama bağlı olarak radyoaktif maddeler yönünden de kirletilebilirler.

Özellikle yeraltı suları değişik jeolojik oluşumlarla temas halindedir. Bu oluşumların içeriğinde bulunan kimyasal bileşikler suda çözünme derecelerine göre yeraltı sularına az yada çok oranda karışır. Yeraltındaki çeşitli özellikteki jeolojik oluşumlarda değişik oranlarda radyoaktif maddeler de bulunmaktadır. Bu maddeler magmatik oluşumlarda en fazladır. Ayrıca kil gibi tortul kütlelerde de radyoaktif maddelere rastlanmaktadır. Kum, çakıl, kumtaşı, çatlaklı kalker gibi tortul kütlelerde ise çok az miktarda radyoaktif madde bulunmaktadır. Yerkabuğu içindeki doğal radyoaktif maddelerin bulunduğu ortamlardan geçen veya bu ortamlarda bulunan sular radyoaktivite içerir. Yerkabuğu içindeki doğal radyoaktif maddeler Uranyum (^{238}U), Potasyum (^{40}K), Toryum (^{232}Th), Aktinyum serisi radyonüklidleri veya onların bozunma ürünlerinden oluşur. Uranyum 238'in bozunması sonucu ortaya çıkan alfa aktif maddelerden Radon (^{222}Rn) ve Radyum (^{226}Ra) başlıca olanlarıdır.

2.9.1.4. Canlıda bulunan doğal radionüklidlerin

Her yiyecek bir miktar radyoaktiviteye sahiptir. Yiyeceklerdeki temel radyoaktivite kaynakları potasyum-40 (^{40}K), radyum-226 (^{226}Ra) ve uranyum-238 (^{238}U) ve birleştirilmiş ürünleridir. ^{40}K , ^{226}Ra ve ^{238}U 'in bozunma ürünleri, canlılarda ve insan vücudunda bulunan doğal radionüklidler olmakla beraber az miktarda ^{14}C ve ^3H 'de bulunmaktadır. Bu radionüklidler topraktan bitkilere, hayvanlara ve besinler yoluyla da vücuda alınmaktadır. Doğada bol miktarda bulunan potasyum, 70kg ağırlığındaki bir insanda ortalama 140 mg bulunmaktadır. Bu miktar potasyumun aktivitesi yaklaşık $3,7 \times 10^3 \mu\text{Ci}$ civarındadır. Biyosferde bulunan karbon, hidrojen ve kozmogonik radionüklidler, kozmik ışın nötronlarının atmosferdeki azotla

etkileşmeleri sonucu ortaya çıkarlar. İnsan vücudundaki doğal radyoaktivite kaynakları ve miktarları aşağıdaki çizelgede gösterilmiştir.

Tablo 2.4. İnsan vücudundaki doğal radyoaktivite

Nüklid	Vücuttaki Toplam Miktarı	Vücuttaki Toplam Nüklid Aktivitesi	Günlük Nüklid Alımı
Uranyum	90 µg	30 pCi (1,1 Bq)	1,9 µg
Toryum	30 µg	3 pCi (0,11 Bq)	3 µg
Potasyum 40	17 mg	120 nCi (4,4 kBq)	0,39 mg
Radyum	31 pg	30 pCi (1,1 Bq)	2,3 pg
Karbon 14	95 µg	0,4 µCi (15 kBq)	1,8 µg
Trityum	0,06 pg	0,6 nCi (23 Bq)	0,003 pg
Polonyum	0,2 pg	1 nCi (37 Bq)	~0,6 µg

Havada bulunan kara kökenli radyoaktif maddeler genellikle uranyum ve toryum serisi ürünleridir. Rüzgarlar aracılığı ile topraktan atmosfere çıkan tozlarda, düşük oranlarda ^{40}K 'da vardır. Hava ortamında bulunan toz ve parçacıklardaki radyoaktif maddeler, solunum yoluyla insan vücuduna girerler ve iç ışınlamalara neden olurlar. İnsan, iç ışınlamalarda en büyük radyasyon dozunu ^{222}Rn 'den almaktadır. Bu radyoaktif gaz atomları, yerde ve atmosferde difüzyonla ortaya çıkan toryum ve uranyum atomlarının bozunuma uğraması sonucu üretilirler. Radon ve toryumun bozunma ürünlerine ek olarak, alfa-ışınları ve beta-ışınlarıyla birlikte gama ışınları da yayınlayan ^{210}Po , ^{210}Pb ve ^{210}Bi atomları solunum yoluyla vücuda girerler. İnşaat ve yapı malzemelerinden çıkan radyoaktif ^{222}Rn , evlerde solunumla vücuda alınan en önemli radyonükliddir (Karahana,1997).

2.9.2. Kozmik ışınlar

Enerjileri farklı ve değişik yüklerde yayınlanan parçacık veya elektromanyetik ışınlar, kozmik ışınlar denilmektedir. Kozmik ışınlar, tuzaklanmış parçacık radyasyonları, galaktik radyasyonlar ve solar radyasyonlar olarak sınıflandırılmaktadır (NCRP 98, 1989). Galaktik kozmik ışınlar, güneş sistemi dışındaki yıldızlararası ortamlardan, süper novalardan veya galaktik çekirdeklerden

gelmektedir. Solar radyasyonlar ise güneş kökenli olup enerjileri birkaç keV ile birkaç MeV arasında değişen düşük enerjili parçacıklardır. Uzaydan gelen bu ışınlar birincil ışınlar, atmosferdeki reaksiyonlar sonucu üretilen parçacıklara da ikincil ışınlar denir. Milyonlarca yıldan beri uzaydan gelen kozmik ışınlar ve yerkürede bulunan doğal radyoaktif maddelerden yayılan radyasyon insanı ve diğer canlıları ışınlanmakta olup; tüm canlıları varoluşlarından bu yana sürekli olarak doğal radyasyonla iç içe yaşamaktadırlar. Güneş de kozmik radyasyonu bir miktar artırır. Kaynağı bilinmeyen kozmik ışınların miktarı hemen hemen sabitken, güneşten gelenin miktarı güneşteki patlamaların olduğu zamanlarda değişir. Atmosfer ve dünyanın manyetik alanı, dünya üzerine ulaşan kozmik radyasyona karşı bir zırh gibi davranır. Kozmik ışınların büyük bir kısmı, dünya atmosferinden geçmeye çalışırken tutulurlar. Sadece küçük bir miktarı yerküreye ulaşır. Kutup yakınlıklarına ekvatora oranla daha fazla kozmik ışın gelir. Yeryüzüne doğru yükseklik azaldıkça doz miktarı da azalır. Bu sebepten dolayıdır ki, bir dağın tepesinde veya havada yol alan bir uçakta bulunan bir kişi, deniz seviyesinde bulunan bir kişiden çok daha fazla kozmik ışına maruz kalır. Yaklaşık olarak her 2000 m'de radyasyon dozu 2 katına çıkar.

Vücudumuza solunum ve sindirim yollarıyla, hava, su, tüm bitkisel ve hayvansal besinlerde az da olsa bulunan radyoaktif maddeler alınmakta, bunlarda zamanla çeşitli organlarda birikmektedir. Buna ek olarak kozmik ışınlardan ve yerkürede bulunan doğal radyoaktif maddelerden etkilendiğimiz de düşünüldüğünde, insan vücudu hem iç hem de dış radyasyon ışınlanmasına doğal olarak maruz kalmaktadır denilebilir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Çalışmada Fırat Havzasının Erzincan İl sınırları içerisinde kalan Karasu kolu kısmı ve civarı inceleme alanı olarak seçildi. Nehre yakın, özellikle nehre katılan dere yatakları civarından su ve toprak örnekleri alındı. İnceleme alanı olan Karasu havzasında doğal radyasyon tayini amacıyla yapılan deneysel çalışma, çalışma bölgesinin belirlenmesi, örneklerin toplanması ve hazırlanması, örneklerde radyoaktivite seviyesinin tayin edilmesi ve son olarak da sonuçların değerlendirilmesi şeklinde gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışma esnasında inceleme alanından su ve toprak örnekleri alınmıştır. Yapılan literatür taramasında, bu bölgede Erzincan İl merkezi ve merkeze yakın yerleşim alanlarında içme ve kullanma sularında ve su örneklerinin alındığı koordinatlardan alınan toprak örneklerinden doğal radyasyon tespiti yapılmıştır (Yalçın vd. 2012). Doğal radyoaktivite tayininde ölçüm sistemleri, örneklerin toplanması, hazırlanması, ölçümlerin alınması ve elde edilen verilerin işlenmesi bu deneysel çalışma için önemlidir. Bunlar su ve toprak örnekleri için sırayla ele alınacaktır.

3.1. Su örnekleri için alfa ve beta sayım sistemi

Berthold marka LB770 model alfa ve beta sayıcıları, dedeksiyon ortamı ve elektronik devre olmak üzere başlıca iki kısımdan meydana gelir. Gaz akışlı orantılı bir sayıcının çalışma düzeneği Şekil 3.1 ve Şekil 3.2'de verilmiştir. Çevresel radyoaktivite sayımları için sayım cihazı olarak ince pencereci, çok iyi zırhlanmış, gaz akışlı, antikoincidans, orantılı sayıcı kullanılması uygun olmaktadır. Çevresel örneklerde ölçülen doğal radyoaktivite konsantrasyonları genellikle çok düşük seviyelerde olduğundan, kullanılacak bu tür cihazlarla çok düşük doğal sayım seviyesini (background) ve yüksek duyarlık özelliklerini sağlamak mümkün olmaktadır. Çevresel örneklerdeki doğal radyoaktivitenin çok düşük olması sebebiyle bunların dedeksiyonunda, uzaydan gelebilecek kozmik ışınların oluşturacağı iyonizasyon dolayısıyla meydana gelecek sayımların ortadan kaldırılması ancak

antikoincidans devresi kullanılmakla mümkündür (Merdanoğlu, 2004). Sistemin içinde yer alan içteki iyon odası örnek dedektör ve bunu saran daha büyük iyon odası ise koruyucu dedektör ismini almaktadır. Her iki dedektörün arası başka bir örnekten gelecek radyasyonun geçemeyeceği şekilde düzenlenmiştir. Böylece bir örnekten gelecek radyasyon sadece o örneğin bulunduğu dedektörde iyonizasyon meydana getirir. Bununla birlikte kozmik ısınlr gibi yüksek enerjili ışınlar, her iki dedektörde de aynı anda iyonizasyon meydana getirebilir. Bilindiği gibi antikoincidans devreleri iki girişi ve tek çıkışı olan devrelerdir. Bu devrelerdeki iki girişin her ikisine de atma (sinyal) geldiğinde çıkışta bir darbe meydana gelmektedir. Buna karşın, girişlerden yalnız birine bir darbe geldiğinde çıkışta bir atma meydana gelmemektedir. Burada sadece örnek dedektöründe meydana gelen iyonizasyon sayılacak ve her iki dedektörde birden meydana getirilen iyonizasyon sayılmayacaktır. Böylece çevreden gelen radyasyon algılanmayacaktır. Bu sayım sisteminin temel sayımı (background) birden küçüktür (Özger, 2005). Dedeksiyon ortamı olarak en çok kullanılan gazlar argon, ksenon, izobütan, helyum ve metandır. Bir tüp, bu gazlardan biri veya ikisinin karışımı ile doldurulup içine iki elektrot konulur. Gaz içinde meydana gelen iyonlar zıt işaretli elektrotlarda toplanırlar. İyonların elektrotlarda toplanmasından meydana gelen elektrik akımı laboratuvar sayım cihazının elektronik devresinde dedekte edilir.



Şekil 3.1. Berthold marka LB770 model alfa-beta sayım cihazı.

Alfa veya beta sayımında kullanılan bu gaz akışlı orantılı sayıcılar genellikle yarım küre şeklinde bir sayım odasına sahiptir. Ortalarında tungstenden yapılmış bir tel halka bulunur. Tel anot görevi, oda duvarları ise katot görevi görür. Akışkan gaz, oda içinden geçirilerek oda içinde pozitif iyonlar oluşturulur. Detektörün çalışma voltajı 1650 V olup çapı 5 cm'dir.

Bu sayıcılarda kullanılan akışkan gaz %90 argon ve %10 metan karışımı içermektedir. Bu çalışmamızda ÇNAEM Sağlık Fiziği Bölümü Laboratuvarında bulunan bilgisayar kontrollü, Berthold marka LB770 model 10 kanallı gaz akışlı alfa-beta sayım cihazı kullanılmıştır. Bu sistem çok düşük seviyede sayma yapabilen, alfaların ve betaların ikisinin birden yayımlandığı bir ortamda, etkilerinin farklı olması sebebiyle birbirinden bağımsız 10 numunenin alfa ve beta sayımlarını (radyoaktivite ölçümlerini) aynı anda yapabilecek şekilde tasarlanmıştır. Sistemin temel ve teknik özellikleri Tablo3.4'de verilmiştir.

Tablo 3.1. LB 770 Teknik özellikleri (Berthold technical data LB 770).

Dedektörler	Orantılı sayıcılar, 30 yada 60 mm çaplı 10 örnek,
Kurşun Kalınlığı	10 cm, toplam ağırlık 950 kg, dış boyutları 700x400x500 mm
Ön Amplifikatör	11 kat amplifikatör, artan zaman ve puls yüksekliği üzerinden alfa / beta ayrımı
Sayım Gazı	Argon - Metan (9 / 10) yada Ar Co2 (84 / 16), basınç tipi 10mbar, 6-10 l/h tüketim
Sayım Elektronik	LB530 PV ara yüzey, pano üzerinde LB3945 "Black Jack" PC fiş
Bilgisayar Programı	LB 770, LB 770 UMS-Windows

3.2. Su örneklerinin toplanması ve sayıma hazırlanması

Fırat Havzasının Erzincan İl sınırları içerisinde kalan Karasu kolu bölümü inceleme alanı olarak seçilmiştir. Nehre karışan dere yataklarının birleşim yerleri öncelikli olarak seçildi 29 adet su örneği 15.06.2013-18.06.2013 tarihleri arasında alındı. Su örneklerinin alındığı yerin yöresel adı, GPS cihazı ile tespit edilen

koordinatları,örneğin alındığı andaki hava ve su sıcaklığı ile suyun ph değeri ölçüldü. Bu tespit edilen değerler ve örneğin alındığı tarih bilgileri ile etiketlenerek kaydedilmiştir. Su örnekleri için ölçülen veya alınan bu bilgiler Tablo 3.2 ve Tablo 3.3'de verilmiştir.Alınan su örnekleri önceden temizlenmiş üçer litrelik plastik şişelere dolduruldu. Tüm örnekler numaralandırılıp etiketlendirildi. Su örnekleri asitlendirilerek koruma altına alınmadığı için 3 gün içinde ÇNAEM laboratuvarına gönderildi. Örneklerimiz laboratuvarında orijinal kabının içinde asitlendirilerek koruma altına alındı. En az 16 saat analiz etmek için bekletildi. Toplam alfa ve beta sayımlarını yaptığımız sayım sistemi en fazla 600 mg'a kadar olan rezidü (tortu) miktarlarının ölçümünü yapmaktadır. Bu sebeple 500 ml'lik bir örnek, kullandığımız sayım sistemi için yeterli miktarda rezidüyü bize vermektedir. Bu sebeple beher kaplarına, sayım sisteminin ölçebileceği miktarda tortu elde etmek için inceleyeceğimiz her bir su örneğinden 500 ml'lik bir miktar konuldu.

Bir sonraki adım olarak örneklerin üzerine %1'lik nitrik asit (HNO_3) eklendi. Bu işlemi yapmamızın sebebi buharlaşma sırasında beherin iç yüzeyine ve çeperlerine yapışan tortu ve partiküllerin aşağıya inmesini sağlamaktır. Beher kaplarındaki su örnekleri, yaklaşık 70°C sıcaklıkta, su miktarları 500 ml'den 100 ml kalana kadar yavaşça buharlaştırıldı. Daha sonra 100 ml'lik su, darası alınmış planşetler içerisine aktarıldı. Bir fotoğrafı Şekil 3.2' de verilen ve çalışmamızda kullandığımız planşetler 2,5 cm yarıçapında ve 2 mm yüksekliğinde paslanmaz çelikten imal edilmiştir. Aktarma işlemi yapılırken, beherin iç yüzeyine ve çeperlerine yapışan tortu ve partiküllerin kaybı, saf su ve %1'lik HNO_3 kullanılarak engellendi.

Tablo 3.2.Su örneklerinin toplandığı yerlerin yöresel isimleri, analiz kodları ve koordinatları.

Numunenin Alındığı Yer	Adı	Koordinat	Derece
Kemaliye Ariki Deresi	D1	37 457103E 4344463N	39°14' 52''K 38°30' 11''D
Kemaliye Ağca Ağa Deresi	D2	37 457925E 4344223N	39°14'44''K 38° 30'45''D
Kemaliye Merkez	D3	37 456480E 4346283N	39°15'52''K 38° 29' 43''D
Kemaliye Venk Deresi	D4	37 457083E 4348049N	39°16'48''K 38° 30' 07''D
İliç	D5	37 459194E 4367647N	39°27'24''K 38° 31' 33''D
İliç Kuruçay	D6	37 462822E 4374766N	39°31'16''K 38° 34' 03''D
Atma 1 Köprüsü	D7	37 482173E 4383338N	39°35'56''K 38°47' 33''D
Kemah Boğaz içi Köyü	D8	37 491547E 4382488N	39°35'29''K 38° 54' 10''D
Kemah Kömür Çayı	D9	37 503182E 4385224N	39°36'58''K 39° 02'14''D
Kemah Şoran Çayı	D10	37 518894E 4385939N	39°37'18''K 39° 13' 11''D
Kemah Karnı Deresi	D11	37 518925E 4386405N	39°37'35''K 39° 13'14''D
Tercan Tuz Çayı	D12	37 630184E 4407087N	39°48'11''K 40° 31' 15''D
Tercan Küçük Beğendik Deresi	D13	37 616246E 4404342N	39°46'52''K 40° 21' 27''D
Mercan Deresi	D14	37 607423E 4398714N	39°43'51''K 40°15' 13''D
Yedisu Mevki	D15	37 599087E 4381439N	39°34'34''K 40°09'13''D
Soğuksu Köprüsü	D16	37 585722E 4380187N	39°33'59''K 39° 59' 53''D
Cibice Köprüsü	D17	37 579907E 4381750N	39°34'52''K 39° 55' 50''D
Tunceli Yol Ayrımı	D18	37 574799E 4382785N	39°35'28''K 39° 52' 16''D
Selepür Köprüsü	D19	37 573099E 4384223N	39°36'14''K 39° 51' 06''D
Avcılar Civarı	D20	37 570108E 4385773N	39°37'06''K 39° 49' 00''D
Sülperen Köprüsü	D21	37 568042E 4386800N	39°37'40''K 39° 47' 34''D
Derebağ Yalınca	D22	37 557661E 4387105N	39°37'52''K 39° 40' 19''D
Türkmenoğlu Köyü	D23	37 542020E 4394279N	39°41'47''K 39° 29' 24''D
Kemaliye	N1	37 457420E 4344834N	39°15'04''K 38° 30' 24''D
Kemah Merkez	N2	37 503182E 4385224N	39°36'58''K 39° 02' 14''D
Kemah Karnı Deresi	N3	37 518925E 4386405N	39°37'35''K 39°13' 14''D
Kargın Mevki	N4	37 602088E 4385850N	39°36' 56''K 40°11' 21''D
Mertekli Mevki	N5	37 562979E 4388980N	39°38' 52''K 39°44' 02''D
Türkmenoğlu Köyü	N6	37 543135E 4394660N	39°42' 00''K 39°30' 11''D

Tablo 3.3.Su örneklerinin toplandığı yerler,hava sıcaklık değerleri,zamandaki vesu ph değerleri, su sıcaklık değerleri.

Numunenin Alındığı Yer	Hava Sıcaklığı	ph	Su Sıcaklığı
Kemaliye Ariki Deresi	32,2 °C	8,3	13,8 °C
Kemaliye Ağca Ağa Deresi	36,0 °C	8,0	15,9 °C
Kemaliye Merkez	35,3 °C	8,2	11,1 °C
Kemaliye Venk Deresi	35,5 °C	8,5	18,7 °C
İliç	36,7 °C	8,3	24,1 °C
İliç Kuruçay	34,2 °C	8,1	24,2 °C
Atma 1 Köprüsü	33,1 °C	8,4	20,6 °C
Kemah Boğaz içi Köyü	33,8 °C	8,1	19,5 °C
Kemah Kömür Çayı	30,2 °C	8,2	18,1 °C
Kemah Şoran Çayı	24,0 °C	8,5	11,5 °C
Kemah Karnı Deresi	22,7 °C	8,5	17,0 °C
Tercan Tuz Çayı	30,2 °C	8,3	18,1 °C
Tercan Küçük Beğendik Deresi	33,3 °C	8,7	24,4 °C
Mercan Deresi	33,5 °C	8,5	19,8 °C
Yedisu Mevki	33,8 °C	8,7	20,2 °C
Soğuksu Köprüsü	35,5 °C	8,2	17,2 °C
Cibice Köprüsü	34,6 °C	8,4	19,6 °C
Tunceli Yol Ayrımı	35,6 °C	8,3	17,7 °C
Selepür Köprüsü	34,8 °C	8,5	19,8 °C
Avcılar Cıvarı	34,6 °C	8,4	19,8 °C
Sülperen Köprüsü	34,7 °C	8,2	19,3 °C
Derebağ Yalınca	34,8 °C	8,1	20,2 °C
Türkmenoğlu Köyü	31,0 °C	8,3	19,6 °C
Kemaliye	36,0 °C	8,0	17,0 °C
Kemah Merkez	30,2 °C	8,4	17,3 °C
Kemah Karnı Deresi	22,7 °C	8,7	17,3 °C
Kargın Mevki	35,0 °C	8,4	17,7 °C
Mertekli Mevki	38,0 °C	8,2	18,2 °C
Türkmenoğlu Köyü	32,7 °C	8,3	18,1 °C

Plañşetlerdeki su, 40°C'de kuruluk seviyesine gelinceye kadar buharlaşma işlemeine devam edildi. Su tamamen buharlaşınca plañşetler bir desikatörde oda sıcaklığına getirilip hassas terazide tartıldı ve tortu (rezidü) miktarı tayin edildi. Sonra çelik kaplar 105°Csıcaklığındaki bir etüv fırını içine konularak iyice kurutuldu. Ardından bütün numunelerin toplam alfa ve beta tayini için ölçümler yapıldı.



Şekil 3.2. 10 kanallı düşük seviyeli planşet kaplar.

3.3. Su örneklerinin toplam alfa ve beta aktiflik seviyelerinin belirlenmesi

Suların toplam alfa ve beta aktiviteleri düşük seviyeli radyasyon sınıfına girdiğinden dolayı, ölçümler uzun sürelerde yapılmaktadır. Çalışma bölgesinden 29 su örneği uygun şartlarda buharlaştırılarak planşetlere alındıktan sonra, Bölüm 3.1'de anlatılan gaz akışlı orantılı sayım cihazında sayıldı. Deneysel çalışmamızda su örneklerinin hepsinin toplam alfa ve beta aktiflikleri tayin edilmek üzere detektöre konularak 500 dakika süreyle sayıldı. Nehir suyu örneklerinin toplam alfa ve beta ölçümleri "EPA 900.0" standart metoduna göre yapıldı. Bu metot su örneklerindeki toplam alfa ve beta yayımlayıcı radyonüklitlerin miktarını ölçmeyi kapsar. Bu metot içme suları ve kaynakları için belirlenen güvenli içme limitlerine göre ileri analize gerek olup olmadığını belirlemek için de kullanılan bir tarama tekniğidir (EPA, 1980).

3.4. Toprak örnekleri için deney sistemi

3.4.1. HPGe Dedektörlerinin özellikleri

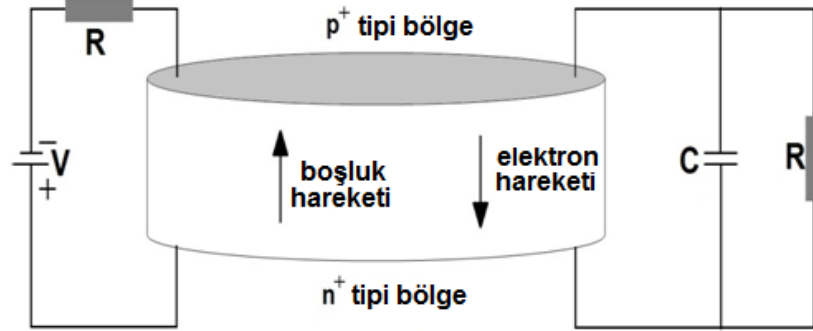
Numunelerden yayınlanan düşük düzeyli radyoaktivite ölçümlerinde, yarı iletken detektörler ve sintilasyon detektörleri yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Yarı iletken detektörlerin en büyük üstünlüğü, enerji ayırma güçlerinin çok iyi olması sebebiyle birbirine çok yakın pikleri kolaylıkla ayırt edilebilmelerindedir. Bu özelliğinden dolayı x- ve gama-ışını analizlerinde yaygın olarak kullanılmaktadırlar.

Katı hal dedektörlerinin yapımında hali hazırda en çok germanyum ve silisyum kristalleri kullanılmaktadır. Katı hal detektörlerinde, gelen radyasyon, kristal ile etkileşerek enerjisini kaybeder. Bu etkileşmeler sonucunda kristal atomlarından kopartılan yüksek enerjili elektronlar diğer elektronlarla etkileşerek elektron-boşluk, yani iyon çiftleri meydana getirirler ve yaklaşık 10^{-12} sn gibi çok kısa süre içinde olay kararlı hale gelir. Biriken bu yük, dışarıdan uygulanan bir elektrik alanı ile kristal boyunca süpürülür ve bir elektrik sinyali elde edilir. Bu olay Şekil 3.3'de şematik olarak verilmiştir.

Bir elektron çifti meydana gelmesi için gereken enerji Ge için 2,3 eV ve Si için 3,8 eV, gaz iyonizasyon odalarında 30 eV ve sintilasyon dedektörlerinde 300 eV civarındadır. Enerjisi 1-60 keV arasında olan fotonlar Si(Li) dedektörleriyle, 5 keV ile 10 MeV arasında olanlar ise Ge(Li) veya saf Ge (HPGe) dedektörleriyle ölçülmektedir. Her üç dedektör de sıvı azot sıcaklığında (77 K) çalışmaktadır. Çünkü Si(Li) ve Ge(Li) kristallerindeki Li atomları yüksek sıcaklıklarda çok hareketlidir (Özger, 2005). HPGe dedektörleri küçük yasak enerji aralığına sahip olduklarından ($\approx 0,7 eV$) oda sıcaklığında büyük ısı kaynaklı kaçak akım oluşacağı için çalıştırılmazlar. Bunun yerine kaçak akımını azaltmak için germanyum dedektörleri ilgili gürültünün, en iyi enerji çözünürlüğünü bozmayacağı noktaya kadar soğutulmalıdır. Si(Li) ve özellikle de Ge(Li) dedektörleri çalıştırılmadıkları durumlarda da yapılarının bozulmaması için sıvı azotun kaynama sıcaklığında

tutulmalıdır. Ancak aynı durum HPGe dedektörleri için gerekli değildir. Bu farklılık HPGe dedektörlerini diğerlerinden üstün kılan önemli özelliklerden biridir.

Yarı iletken dedektörler, negatif yük (elektron) veya pozitif yük (hole) taşıyıcıları fazla olan n veya p tipi bir malzemenin bir kısmı p^+ ve n^+ tipi olacak şekilde bir katkı malzemesi difüze edilerek elde edilir (Şekil 3.1). Ters besleme altında dedektörde, elektronlardan ve hollerden arınmış bir hassas bölge oluşur. Dedektör veriminin yüksek olması için derin bir hassas bölge, derin hassas bölge elde etmek için de oldukça saf madde gerekir. Bir foton, eklem içinden geçtikçe, bir elektron, valans bandından iletkenlik bandına yükseltilir ve elektron-hol çifti üretilmiş olur. İçerdeki elektrik alan, elektronları kontağın pozitif, hole'ü ise negatif tarafına doğru sürükler. Levhalara ulaşan yükler eğer dedektör puls modunda çalıştırılıyorsa kristale bağlı bir RC devresinde yer alan kondansatörde depolanır. Kristalden gelen elektron akımı durduğunda, yani dedektör kristalinde bir fotonun oluşturduğu tüm yük tükendiğinde kondansatörde biriken yük dış devre elemanlarına bir potansiyel pulsu olarak gönderilir.



Şekil 3.3. HPGe dedektörün şematik gösterimi.

Yarı iletken dedektörlerin bir çeşidi olan HPGe dedektörlerinde safsızlık atomlarının oranı düşük ve direnç yüksek olduğundan dolayı çözme gücü çok yüksektir. HPGe dedektörlerinin diğer bir avantajı da besleme gerilimi uygulanmadığı zaman oda sıcaklığında tutulabilir olmasıdır. Bunun yanında çalışırken sıvı azot sıcaklığında tutulma gerekliliği ve düşük verim göstermesi ise dezavantajları arasında sayılabilir. HPGe dedektörde 3 cm^3 kristalde yaklaşık olarak 10^{10} safsızlık atomu vardır. Bu tip

yarıletken dedektörlerde elektron ve hole oranı yaklaşık bir'dir. Bu tip kristaller, içerisinde yapay safsızlıkların bulunmadığı bir çeşit yarı iletkendir.

3.4.2. Toprak örneklerinin alınması ve gama spektrometrik analiz için hazırlanması

Toprak örnekleri, harita üzerinde özellikle önceden belirlenmiş dere yataklarının nehre katıldığı koordinatlar civarındaki ölçüm noktalarından alınmıştır. Dere yataklarının nehre katıldığı bu ölçüm noktalarından alınan örnekler derenin akıntı ile taşıdığı o civardaki arazinin, özellikle eğimli yerlerin, toprak yapısı hakkında daha çok bilgi verir. Bu durum Karasuya hangi dere yatağı civarından daha çok doğal radyasyon karıştığı hakkında fikir verecektir.

Örneklerin alındığı noktalar ekim yapılmamış ve işlenmemiş yerlerden seçilmiştir. Bu noktaların üzerindeki günlük birikmiş çöp, toz ve atıklar 10 cm derinliğinde temizlendi. Bu temizlenen noktalardan 30 cm kadar derinliğe inebilen yaklaşık 25 cm çapında toprak alma aleti kullanılarak yaklaşık 2 kg kadar toprak örneği alınarak temiz poşetlere konuldu. Toprak örneklerinin alımı esnasında toprakta bulunan bitki ve kök artıkları, taş, ot, odun parçaları, ağaç kabukları gibi yabancı cisimler, biyolojik kalıntılar ayıklanarak örneğe dahil edilmedi. Toprak iyice öğütülmüş ve yaklaşık olarak 10 gün süre ile oda sıcaklığında kurumaya bırakılmıştır. Kuruduktan sonra 2 mm gözenekli eleklerden geçirilerek darası alınmış marinelli sayım kaplarına konulmuş, ağırlıkları tartılıp her bir örnek alındığı mevkinin yöresel adı, analiz için belirlenen kodları, GPS cihazı ile tespit edilen koordinatları, termometre ile tespit edilen sıcaklığı ve örneğin alındığı tarih bilgileri ile etiketlenerek kaydedilmiştir. Bu tespit edilen değerler ve örneğin alındığı tarih bilgileri örnek etiketlerine kaydedilmiştir. Toprak örnekleri için ölçülen veya alınan bu bilgiler Tablo 3.4'te verilmiştir.

Örneklerin, doğal radyoaktivite seviyelerinin belirlenmesi için herhangi bir kimyasal işleme tâbi tutulmadan 100 °C'de 12 saat boyunca kurutuldu ve ardından 80

mesh'lik elekte elenerek 100 g ağırlığında tartıldılar. Sonra 57 mm çapında 44 mm yüksekliğindeki silindirik plastik kutulara konularak kapakları sıkıca kapatıldı ve radyoaktif dengenin oluşması için 45 gün bekletildiler. Son olarak bu toprak örneklerinin eşdeğer uranyum (eU) vetoryum (eTh) içerikleri çok kanallı gama analizörü kullanılarak belirlendi.

Tablo 3.4 Toprak örneklerinin toplandığı yerlerin yöresel isimleri, analiz kodları, koordinatları ve hava sıcaklık değerleri.

Numunenin Alındığı Yer	Adı	Koordinat	Derece	Hava Sıcaklığı
Kemaliye Ariki Deresi	D1	37 457103E 4344463N	39°14'52"K 38°30'11"D	32,2 °C
Kemaliye Ağca Ağca Deresi	D2	37 457925E 4344223N	39°14'44"K 38°30'45"D	36,0 °C
Kemaliye Venk Deresi	D4	37 457083E 4348049N	39°16'48"K 38°30'07"D	35,5 °C
İliç	D5	37 459194E 4367647N	39°27'24"K 38°31'33"D	36,7 °C
İliç Kuruçay	D6	37 462822E 4374766N	39°31'16"K 38°34'03"D	34,2 °C
Atma 1. Köprüsü	D7	37 482173E 4383338N	39°35'56"K 38°47'33"D	33,1 °C
Kemah Boğaziçi Köyü	D8	37 491547E 4382488N	39°35'29"K 38°54'10"D	33,8 °C
Kemah Kömür Çayı	D9	37 503182E 4385224N	39°36'58"K 39°02'14"D	30,2 °C
Tercan Tuz Çayı	D12	37 630184E 4407087N	39°48'11"K 40°31'15"D	30,2 °C
Tercan Küçük Beğendik Deresi	D13	37 616246E 4404342N	39°46'52"K 40°21'27"D	33,3 °C
Mercan Deresi	D14	37 607423E 4398714N	39°43'51"K 40°15'13"D	33,5 °C
Soğuksu Köprüsü	D16	37 585722E 4380187N	39°33'59"K 39°59'53"D	35,5 °C
Cibice Köprüsü	D17	37 579907E 4381750N	39°34'52"K 39°55'50"D	34,6 °C
Selepür Köprüsü	D19	37 573099E 4384223N	39°36'14"K 39°51'06"D	34,8 °C
Avcılar Cıvarı	D20	37 570108E 4385773N	39°37'06"K 39°49'00"D	34,6 °C
Sülperen Köprüsü	D21	37 568042E 4386800N	39°37'40"K 39°47'34"D	34,7 °C
Derebağ Yalınca	D22	37 557661E 4387105N	39°37'52"K 39°40'19"D	34,8 °C
Kemaliye	N1	37 457420E 4344834N	39°15'04"K 38°30'24"D	36,0 °C
Kemah Merkez	N2	37 503182E 4385224N	39°36'58"K 39°02'14"D	30,2 °C
Kemah Karnı Deresi	N3	37 518925E 4386405N	39°37'35"K 39°13'14"D	22,7 °C
Kargın Mevki	N4	37 602088E 4385850N	39°36'56"K 40°11'21"D	35,0 °C
Mertekli Mevki	N5	37 562979E 4388980N	39°38'52"K 39°44'02"D	38,0 °C
Türkmenoğlu Köyü	N6	37 543135E 4394660N	39°42'00"K 39°30'11"D	32,7 °C

3.4.3. Toprak örneklerinde toplam alfa ve beta aktiflik seviyelerinin belirlenmesi

Toprak ve kayalarda bulunan en önemli doğal radyasyon kaynakları ^{40}K ile ^{238}U , ^{232}Th ve bunların bozunum ürünleridir. Bu radyoizotoplar insanlarda iç ve dış radyasyon dozlarına neden olmaktadır. İç ışınlamalara toprak ve kayalardan atmosfere geçen ^{222}Rn ve bozunum ürünlerinin solunması ve ayrıca ekili alanlarda topraktan besinlere geçen radyoizotopların insanlar tarafından tüketilmesi yol açmaktadır. Dış ışınlamalar ise uranyum ve toryum serilerindeki gama bozunumu yapan radyoizotoplardan ve ^{40}K 'dan kaynaklanmaktadır. ^{238}U ve ^{232}Th serilerindeki bolluğu %2'nin üzerinde olan ve gama ışıması yapan radyoizotoplar, enerjileri ile birlikte Tablo3.1 'de verilmektedir (Theodorsson,1996).

Gama radyoaktivite seviyeleri belirlenirken iyi sonuç almak için dedeksiyon sistemi ve numune uygun sayım geometrisinde olmalıdır. Bu uygun geometrik yerleşimde detektör marinelli kabının ortasındaki boşluğa gelecek şekilde yerleştirildiği için örnek tarafından çevrenmekte ve daha çok gama ışınının detektöre ulaşması sağlanarak verim yükseltilmektedir. Marinelli kapları, numune miktarının fazla olduğu durumlarda uygun değer (optimum) dağılımı sağlamaları ve dolayısıyla yüksek verim elde etmek amacıyla tercih edilmektedir. Bu kapların şekil ve boyutları, detektör boyutlarına ve ölçümü yapılacak örnek miktarına bağlı olarak değişmektedir. Marinelli kabına ait bir fotoğraf Şekil 3.4'te verilmektedir.

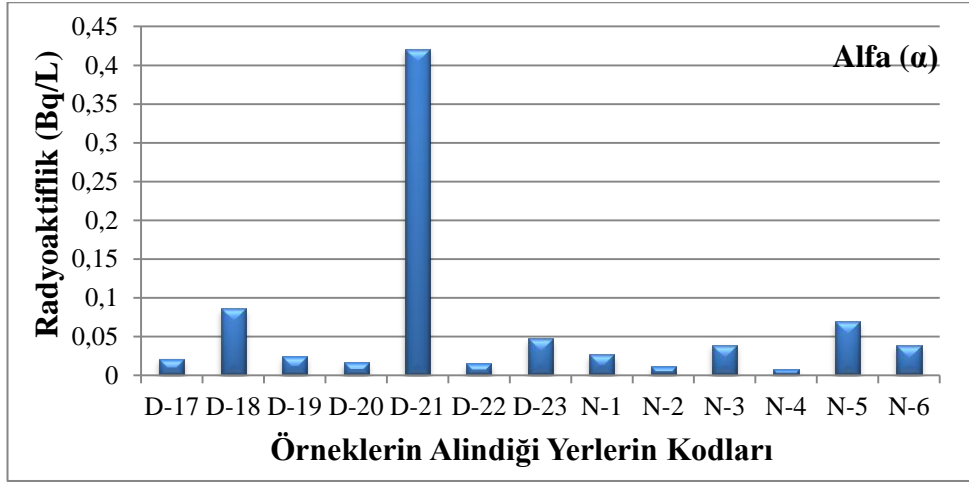


Şekil 3.4. Marinelli kabına ait bir fotoğraf.

4. BULGULAR

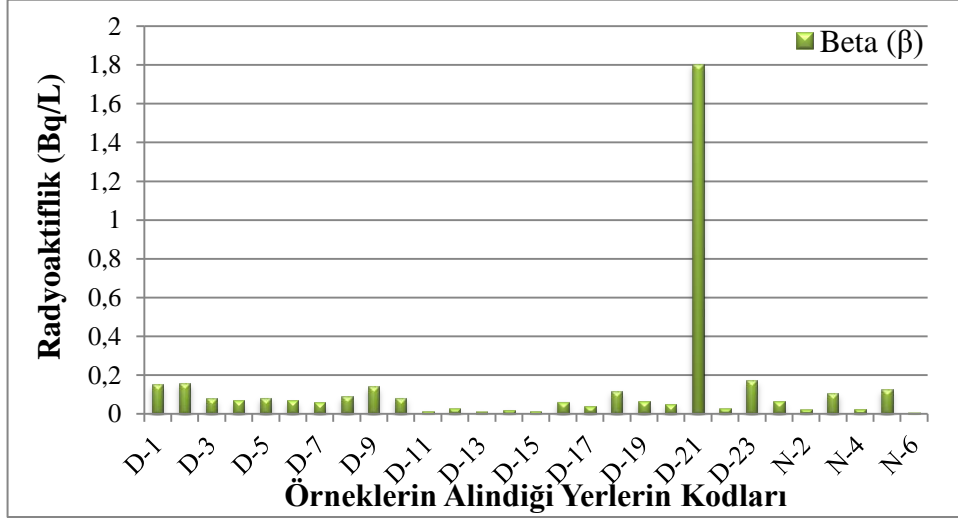
4.1. Sulardaki Toplam Alfa ve Toplam Beta Radyoaktivitesi Bulguları

Araştırma alanından alınan su örneklerinin alfa ve beta aktivite konsantrasyonlarının ortalama değerleri sırayla 0,0534 Bq/L ve 0,135 Bq/L olarak ölçülmüştür. Ölçümü yapılan örnekler için minimum dedekte edilebilir aktivite (MDA) miktarı alfa ve beta için sırasıyla 0,008 Bq/L, 0,007 Bq/L olarak hesaplanmıştır. Tablo 4.1' ve Şekil 4.1'i incelediğimizde Kemah Karnı Deresi, Tercan Tuz Çayı, Tercan Küçük Beğendik Deresi, Yedisu Mevki ve Soğuksu Köprüsü inceleme noktalarından alınan su numunelerinden MDA miktarları altında toplam alfa aktivitesi belirlenirken en yüksek alfa aktivitesi 0,421 Bq/L ile Sülperen Köprüsü civarından alınan numünelerde ölçülmüştür.



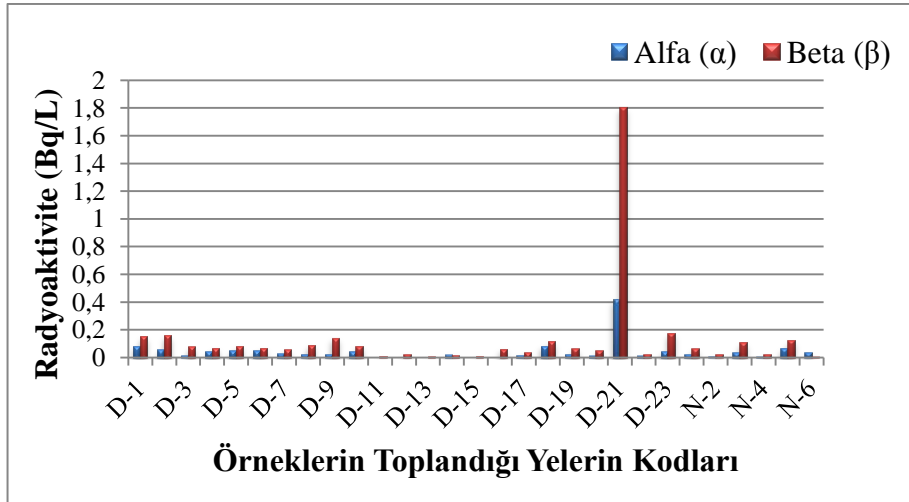
Şekil 4.1. Su örneklerinin toplandığı yerlerin koordinat noktalarına göre ölçülen α grafiği.

Tablo 4. 1 ve Şekil 4.2'den görüleceği üzere, beta aktivitesi Kemah Karnı Deresi, Tercan Küçük Beğendik Deresi, Yedisu Mevki inceleme noktalarından alınan örneklerde 0,02 Bq/L'den daha küçüktür. Kemaliye Arıki Deresi, Kemaliye Ağca Ağca Deresi, Kemah Kömür Çayı, Tunceli Yol Ayrımı, Türkmenoğlu Köyü, Kemah Karnı Deresi, Mertekli Mevki inceleme noktalarından alınan örneklerin 0.100 Bq/L den daha büyük aktivite değerlerine sahip oldukları belirlenmiştir.



Şekil 4.2.Su örneklerinin alındığı yerlerin koordinat noktalarına göre ölçülen β aktiflik konsantrasyon grafiği.

Fakat Tablo 4.1 ve Şekil 4.3'ü incelediğimizde Sülperen Köprüsü inceleme noktasında alınan örnekte hem alfa hem de beta aktivite konsantrasyonlarının en yüksek değerde olduğunu görmekteyiz. Bu değerler, sırasıyla, 0,0421 Bq/L ve 1,806 Bq/L olarak ölçülmüştür. Bu ölçüm noktası verileri Tablo 4.1'de ve Şekil 4.3'te açıkça görülmektedir.



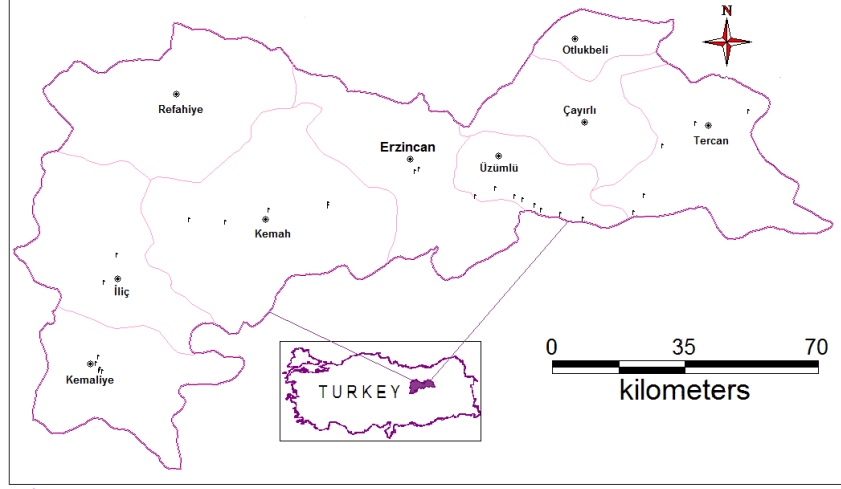
Şekil 4.3.Su örneklerinin alındığı yerlerin koordinat noktalarına göre α ve β aktiflik konsantrasyonu grafiği.

Tablo 4.1.Su örneklerinin analiz sonuçları.

Numunenin Alındığı Yer	Kodu	Radyoaktivite (Bq/L)	
		Alfa (α)	Beta (β)
Kemaliye Ariki Deresi	D-1	0,085±0,022	0,154±0,017
Kemaliye Ağca Ağa Deresi	D-2	0,057±0,019	0,161±0,017
Kemaliye Merkez	D-3	0,018±0,009	0,080±0,010
Kemaliye Yenik Deresi	D-4	0,047±0,012	0,071±0,009
İliç	D-5	0,052±0,012	0,083±0,010
İliç Kuruçay	D-6	0,052±0,015	0,070±0,011
Atma 1 Köprüsü	D-7	0,030±0,008	0,060±0,009
Kemah Boğaz içi Köyü	D-8	0,025±0,007	0,090±0,011
Kemah Kömür Çayı	D-9	0,026±0,013	0,142±0,016
Kemah Şoran Çayı	D-10	0,046±0,010	0,083±0,010
Kemah Karnı Deresi	D-11	<MDA*	0,013±0,006
Tercan Tuz Çayı	D-12	<MDA	0,028±0,007
Tercan Küçük Beğendik Deresi	D-13	<MDA	0,012±0,005
Mercan Deresi	D-14	0,022±0,008	0,021±0,007
Yedisu Mevki	D-15	<MDA	0,014±0,006
Soğuksu Köprüsü	D-16	<MDA	0,063±0,010
Cibice Köprüsü	D-17	0,021±0,006	0,041±0,007
Tunceli Yol Ayrımı	D-18	0,086±0,013	0,118±0,011
Selepür Köprüsü	D-19	0,024±0,009	0,066±0,008
Avcılar Cıvarı	D-20	0,016±0,005	0,052±0,007
Sülperen Köprüsü	D-21	0,421±0,147	1,806±0,229
Derebağ Yalınca	D-22	0,015±0,005	0,028±0,007
Türkmenoğlu Köyü	D-23	0,047±0,026	0,172±0,018
	N-1	0,027±0,007	0,066±0,008
Kemah Merkez	N-2	0,011±0,004	0,025±0,006
Kemah Karnı Deresi	N-3	0,039±0,012	0,107±0,015
Kargın Mevki	N-4	0,008±3E-04	0,027±0,008
Mertekli Mevki	N-5	0,069±0,009	0,126±0,015
Türkmenoğlu Köyü	N-6	0,038±0,009	0,007±0,014

* Minimum Detekte edilebilir Aktivite (MDA)

Alfa ve beta aktivite konsantrasyonlarını belirlemek için araştırma alanından alınan su örneklerinin alındığı noktaların koordinatlarına bağlı haritası Şekil 4.4'de verilmiştir.



Şekil 4.4. Su örneklerinin alındığı yerlerin koordinat noktalarına göre haritası.

4.2. Toprak Örneklerindeki Radyoizotoplar ve Aktiviteleri İçin Bulgular

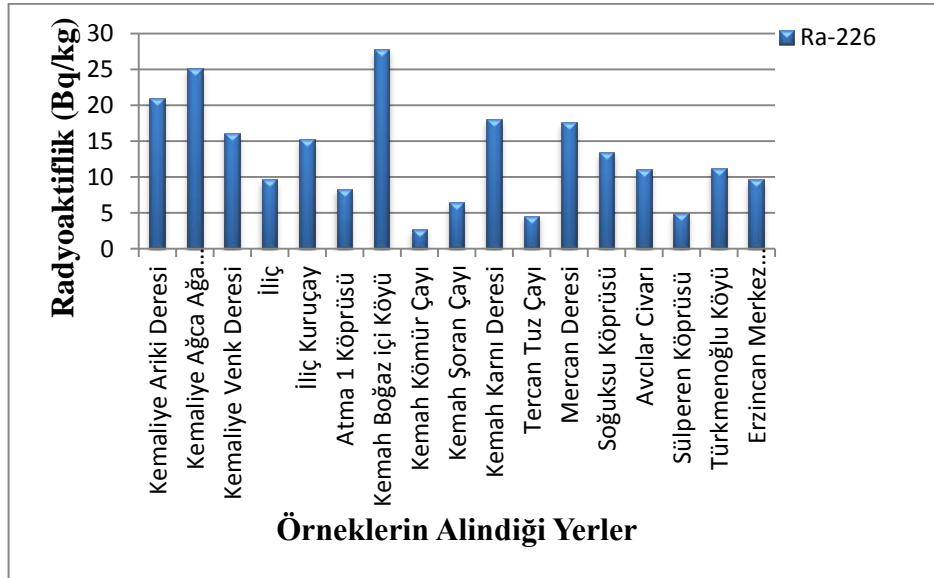
Araştırmada HPGe gama spektrometresi kullanılarak 17 adet toprak örneği incelenmiştir. Araştırma alanından alınan toprak örneklerinden bulunan ölçüm sonuçlarından bunların dedekte edilebilir limitleri ile literatür değerlerinin karşılaştırmaları yapılarak örneklerin hepsinde ortak olarak bulunan ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyoizotopların daha bol olduğu ve ölçüme değer buldukları tespit edilmiştir. Nehir suyuna katılan dere yataklarından alınan örneklerin bazılarında, yukarıda belirtilen radyoizotoplardan farklı radyoizotoplara da rastlanmış fakat bunlar alınan her örnekte çıkmadığı ve çıkan örneklerde de sıra dışı bir sayım sonucuna rastlanmadığı için ayrıca inceleme gereği duyulmamıştır. Radyoizotopların aktiviteleri hesaplanırken doğal fon değerleri sonuçlardan çıkartılmıştır. Her bir toprak örneğinde bulunan radionüklidlerin radyoaktivite konsantrasyonları Tablo 4.2'de Bq/kg cinsinden verilmiştir.

Yapılan sayım sonucu radyoizotop aktivite konsantrasyonu ^{226}Ra için 2,7-27,8 Bq/kg aralığında bulunmuştur. ^{226}Ra , ^{238}U 'in bozunma ürünü olup, ^{226}Ra 1599 yıllık yarı ömre sahiptir. Toprak örnekleri arasında ^{226}Ra aktivite konsantrasyonunun en düşük değerinin (2,7±0,5 Bq/kg) Kömür çayı civarından alınan örnekte ölçülmüştür. En

büyük değer ise ($27,8\pm 2,4$ Bq/kg) Kemah Boğaziçi köyü mevkiinden alınan örnekte tespit edilmiş olup bu durum Tablo 4.2 ve Şekil 4.5 den de görülebilir.

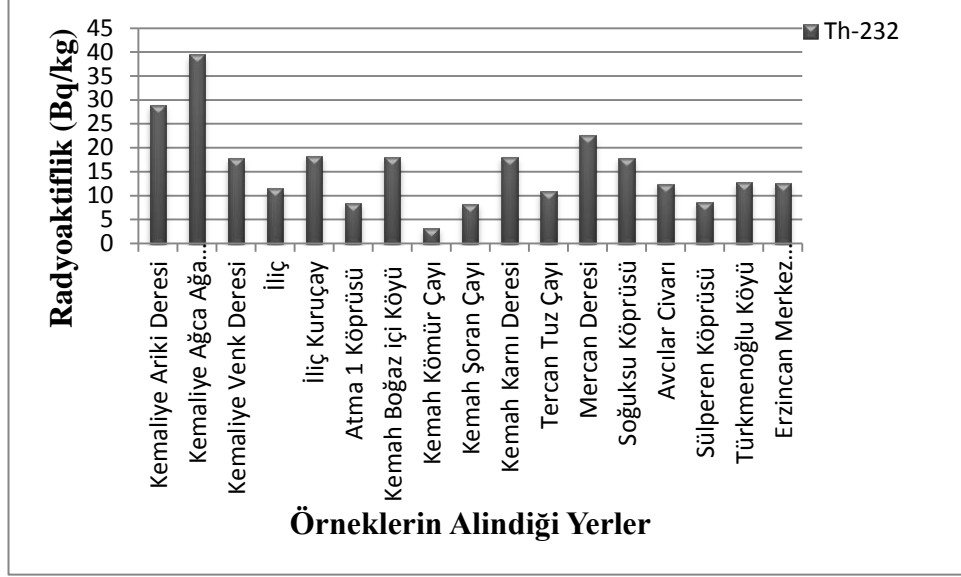
Tablo 4.2. Toprak örneklerinin analiz sonuçları.

Numunenin Alındığı Yer	Kodu	Radyoizotopların Radyoaktiviteleri (Bq/kg)			
		²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K	¹³⁷ Cs
Kemaliye Ariki deresi	D-1	20,9±0,8	28,9±1,1	507±20	15,8±0,6
Kemaliye Ağca ağa deresi	D-2	25,1±0,8	39,4±1,3	714±27	57,8±1,8
Kemaliye Venk deresi	D-4	16,1±1,5	17,8±1,7	325±33	31,7±3,2
İliç	D-5	9,7±0,9	11,5±1,1	322±32	11,8±1,2
Kuruçay	D-6	15,3±1,7	18,3±1,8	520±52	11,8±1,2
Atma 1 köprüsü mevki	D-7	8,3±0,4	8,4±0,6	183±11	<0,4
Boğaz içi köyü mevki	D-8	27,8±2,4	18,0±1,7	534±55	11,2±1,2
Kömür çayı	D-9	2,7±0,5	3,2±0,2	98±4	<0,4
Kemah dere şoran çayı	D-10	6,4±1,0	8,2±0,4	152±66	<0,4
Karnı deresi	D-11	18,0±1,7	18,1±1,7	419±41	8,2±0,9
Tercan Tuz çayı	D-12	4,6±1,1	10,8±5,5	119±87	<0,4
Mercan deresi	D-14	17,6±1,2	22,6±1,8	176±13	6,0±0,7
Soğuksu köprü mevki	D-16	13,4±0,7	17,9±3,2	404±17	2,8±1,2
Avcılar civarı	D-20	11,0±0,9	12,4±1,1	383±38	0,6±0,1
Sülperen köprüsü civarı	D-21	5,0±2,5	8,5±5,5	169±92	1,2±0,7
Türkmenoğlu köyü	D-23	11,2±1,1	12,7±1,4	311±33	2,0±0,3
Kemaliye	N-1	9,7±0,10	12,6±1,4	303±31	0,2±0,1



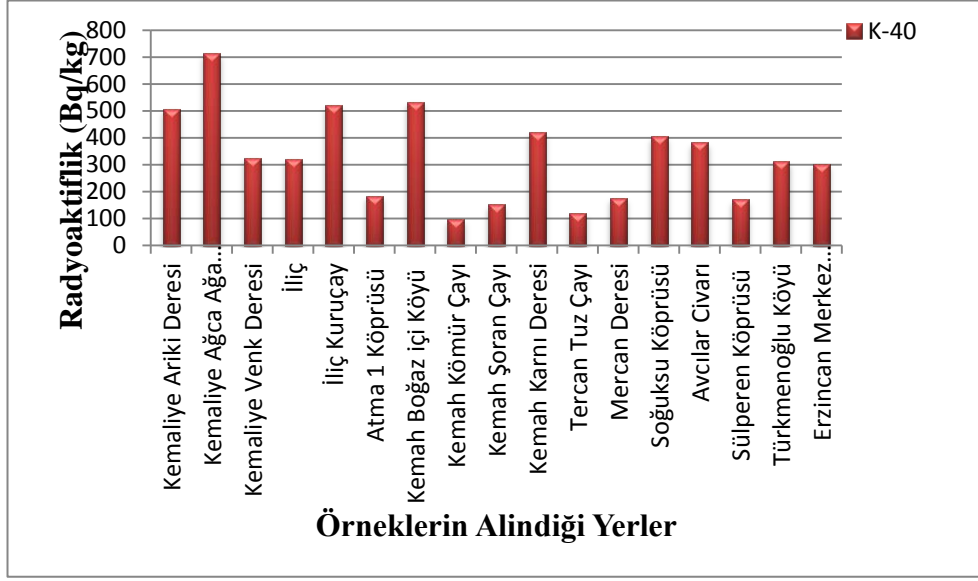
Şekil 4.5. Toprak örneklerinin alındığı yerlere göre ²²⁶Ra radyoizotopu için tespit edilen aktivite konsantrasyonlarının grafiği.

^{232}Th 'nin aktivite konsantrasyonu ise 3,2-39,4 Bq/kg aralığında bulunmuş olup, en düşük değer ($3,2\pm 0,2$ Bq/kg) Kömür çayı mevkiinden alınan örnekte ölçülmüştür. En büyük değer ise ($39,4\pm 1,3$ Bq/kg) Ağca Ağa deresi mevkiinden alınan örnekte tespit edilmiştir (bkı. Tablo 4.2 ve Şekil 4.6).



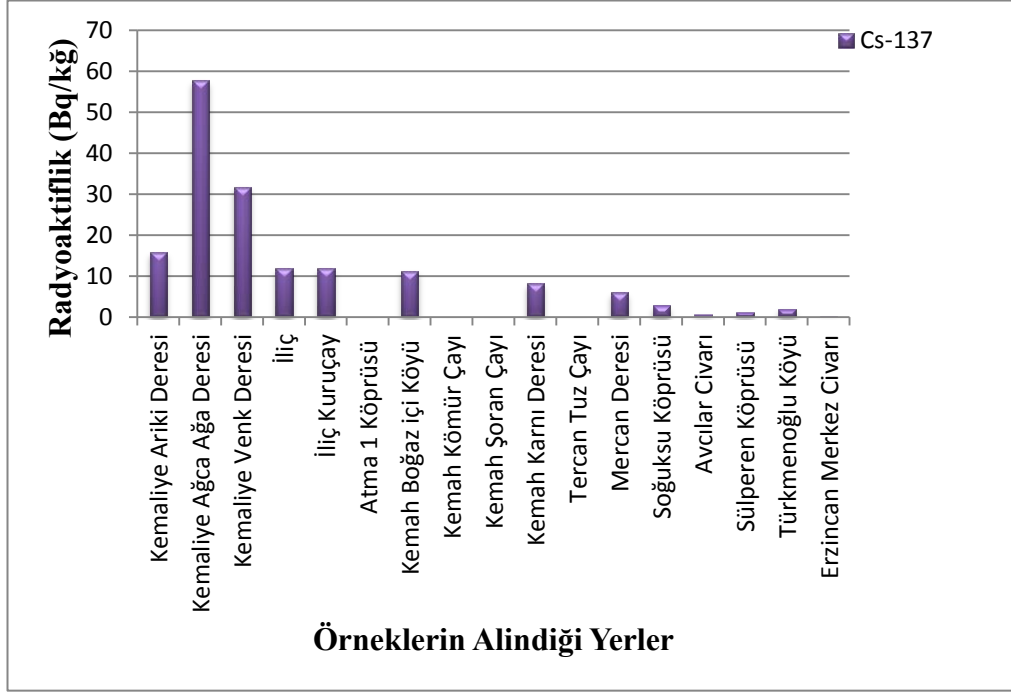
Şekil 4.6. Toprak örneklerinin alındığı yerlere göre ^{232}Th radyoizotopu için tespit edilen aktivite konsantrasyonlarının grafiği.

^{40}K radyoizotopu bozunum serilerine ait olmayıp doğada tek başına bulunmaktadır. Yarı ömrü $1,26\times 10^9$ yıldır. 1460 keV'de %11 bolluğa sahip bir γ piki vardır (L'annunziata,1998). ^{40}K toprakta oldukça yüksek konsantrasyonlarda bulunmaktadır. ^{40}K için aktivite konsantrasyonu 98–714 Bq/kg aralığında bulunmuştur. Ölçümler neticesinde toprak örnekleri arasında ^{226}Ra aktivite konsantrasyonunun da olduğu belirlenmiş ve bunun için en düşük değer ($98\pm 0,4$ Bq/kg) Kömür çayı civarından alınan örnekte ölçülmüştür. En büyük değer ise (714 ± 27 Bq/kg) Ağca Ağa Deresi mevkiinden alınan örnekte tespit edilmiştir (bak. Tablo 4.2 ve Şekil 4.7).



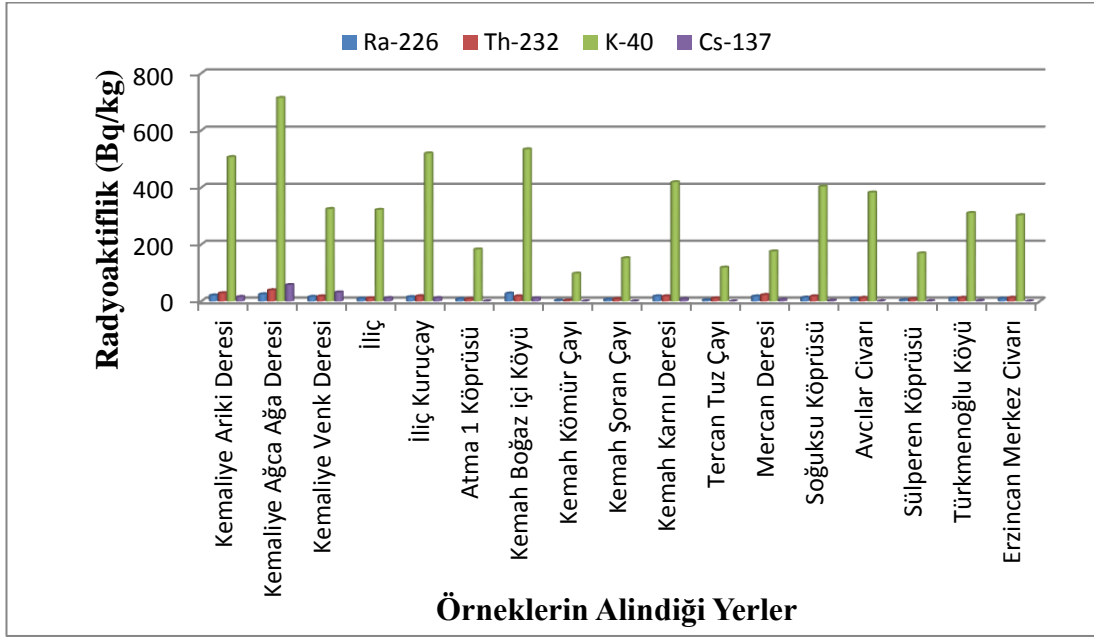
Şekil 4.7. Toprak örneklerinin alındığı yerlere göre ^{40}K radyoizotopu için tespit edilen aktivite konsantrasyonlarının grafiği.

^{137}Cs 'nin yarı ömrü 30,17 yıldır. 662 keV'de %85 bollukta bir γ piki vardır (L'annunziata,1998). ^{137}Cs , fisyon ürünü olup tabiatta doğal olarak bulunmaktadır. Yapılan nükleer denemeler veya nükleer kazalar sonucunda atmosfere atılan fisyon ürünü radionüklidler, radyoaktif yağışlar ile yere düşerler. Zamanla yağmur ve akıntı sularıyla toprağın derinliklerine inebilirler. Literatürde çalışılan toprak örneklerinde değişik konsantrasyonlarda ^{137}Cs radyoizotopuna rastlanmıştır. Bu çalışmada ^{137}Cs için aktivite konsantrasyonları <0,4-57,8 Bq/kg aralıklarında bulunmuştur. Ölçümler neticesinde toprak örnekleri arasında ^{137}Cs aktivite konsantrasyonunun en düşük değeri için Atma 1 Köprüsü mevki, Kömür Çayı, Kemah Dere, Şoran Çayı ve Tuz Çayı civarlarından alınan örneklerden 0,4 Bq/kg değerinin altında aktivite konsantrasyonları ölçülmüştür. ^{137}Cs için en büyük değer (57,8±1,8 Bq/kg) yine Ağca Ağa deresi mevkiinden alınan örnekte tespit edilmiştir(bak. Tablo 4.2 ve Şekil 4.8).



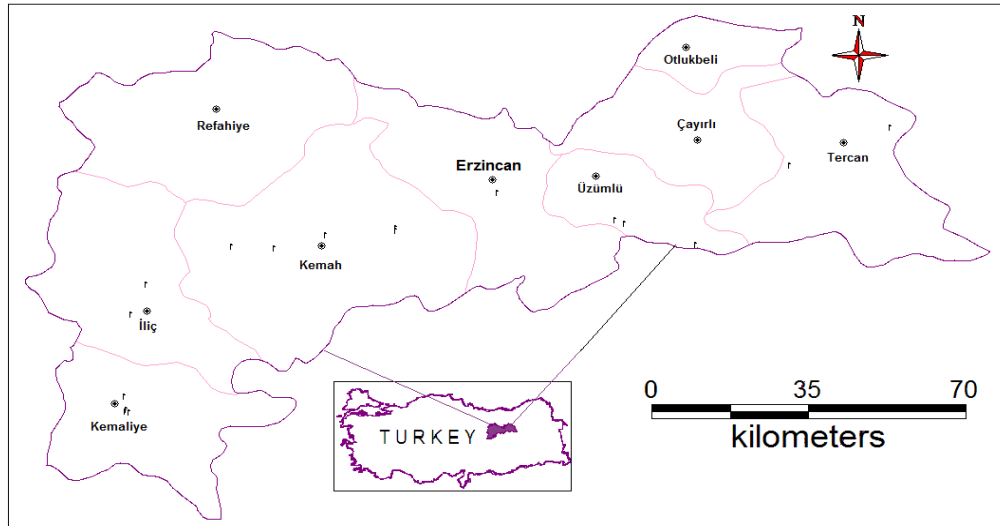
Şekil 4.8. Toprak örneklerinin alındığı yerlere göre ^{137}Cs radyoizotopu için tespit edilen aktivite konsantrasyonlarının grafiği.

Toprak örneklerinin alındığı yerlere göre ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyoizotopları için tespit edilen radioaktiflik konsantrasyonları karşılaştırmalı biçimde Şekil 4.9 da grafik şeklinde verilmiştir. Bu grafikten de görüldüğü gibi, ^{40}K aktivite konsantrasyonu diğer radyoizotoplarla karşılaştırıldığında Bq/kg başına birkaç yüz kat daha fazladır. Aktivite konsantrasyonları diğerlerine göre ikinci sırada ^{137}Cs radyoizotopunun olduğu görülüyor. Bu çalışma verilerine göre Erzincan il sınırları içerisinde kalan Karasuyun Tercan ve Mercan ilçeleri civarlarından alınan örneklerden elde edilen aktivite konsantrasyonları, ölçülen radyoizotopların hepsi için en az fakat Kemaliye ilçesi civarlarından alınan örnekler için en büyük olduğu gözüküyor. Özellikle analiz için ölçüm alınan tüm toprak örneklerinde Kemaliye Ağca Ağa Deresi (radyoizotopların hepsi için en büyük değerler), Kemaliye Arıki Deresi ve Kemaliye Venk Deresi verileri diğer noktalarla karşılaştırıldığında daha yüksek değerlere sahip oldukları Tablo 4.2 ve Şekil 4.9'dan açıkça görülmektedir.



Şekil 4.9. Toprak örneklerinin alındığı yerlere göre incelenen radyoizotopu için tespit edilen aktivite konsantrasyonlarının karşılaştırmalı grafiği.

Radyoizotopaktivite konsantrasyonlarını belirlemek için araştırma alanından alınan toprakörneklerinin alındığı inceleme noktalarının koordinatlarına bağlı haritası Şekil 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.10. Toprak örneklerinin alındığı koordinat noktalarına göre haritası.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu tezde, Karasu Nehrinin Erzincan il sınırları içerisindeki Tercan Tuz çayı ve Mercan deresi ile Kemaliye Ağca Ağa Deresi ve Kemaliye Ariki Deresi aralığı inceleme alanı olarak seçilip, bu nehre katılan dere yatakları civarından alınan su ve yakın civarlardan alınan toprak örneklerinin içerdiği doğal radyasyon ve radyoaktivite konsantrasyonları örnekleme yoluyla incelenmiştir. Çalışma alanı içerisinde alınan 29 adet su örneği için toplam alfa ve beta aktiviteleri, 17 adet toprak örneği için aktivite konsantrasyonları belirlenmiştir. 29 adet su örneği için Berthold LB770 model 10 kanallı düşük seviyeli orantılı sayıcı, 17 adet toprak örnekleri için HPGe gama spektrometresi kullanılmıştır. Fırat Havzasından alınan su örneklerinin ortalama alfa ve beta aktivite konsantrasyonları sırayla 0,0421Bq/L ve 1,806 Bq/L olarak ölçülmüştür.

17.02.2005 tarih ve 25730 sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren ve Avrupa Birliği mevzuatına uyum çerçevesinde Sağlık Bakanlığı tarafından hazırlanan "İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmelik" te içme suyuna ilişkin radyolojik parametre ve limit değerleri Tablo 5.1'de verilmiştir. Radyoaktiviteye ilişkin kalitenin belirlenmesine yönelik parametrelerden toplam gösterge dozu için öngörülen 0,1 mSv/yıl limit değeri, içme suyundan alınan doğal radyasyon dozunu en aza indirmeye yönelik bir değer olup doğal kaynaklardan alınan dünya genelindeki ortalama radyasyon dozunun en düşük değerlerinin %10'unu temsil etmektedir. Avrupa Birliğince kabul edilen bu değer, Dünya Sağlık Örgütü'nün içme suyu kalitesine ilişkin kılavuzlarına da temel teşkil etmektedir. Toplam gösterge dozunun doğrudan ölçülmesi mümkün olmadığından, alfa ve beta radyoaktivitesine dayalı izleme sınır değerleri kullanılmaktadır. Bu bağlamda, daha önce Dünya Sağlık Örgütü tarafından toplam alfa aktivitesi için 0,1 Bq/L, toplam beta aktivitesi için 1,0 Bq/L olarak tavsiye edilen radyoaktivite limitleri, toplam gösterge dozu kavramı çerçevesinde yeniden düzenlenerek 2006 yılında yayımlanan "Guidelines for Drinking-water Quality, First Addendum. Volume 1, Recommendations, Third Edition," adlı içme ve kullanma suyu kalitesi ile ilgili

kılavuzun 9. Bölümünde (Radiological aspects), alfa yayınlayıcılara ait izleme sınır değeri olarak (toplam alfa aktivitesi) 0,5 Bq/L, beta yayınlayıcılara ait izleme sınır değeri olarak ise (toplam beta aktivitesi) 1,0 Bq/L olarak verilmiştir. Buna göre, toplam alfa (α) aktivitesi 0,5 Bq/L ve toplam beta (β) aktivitesi 1,0 Bq/L değerlerini karşılayan içme sularına ait toplam gösterge dozunun 0,1 mSv/yıl limit değerini aşmayacağı kabul edilmekte ve Tablo 5.1 de verilen bu aktivite değerleri üzerindeki sular için ileri inceleme yapılarak toplam gösterge dozunun hesaplanması tavsiye edilmektedir. Tablo 5.1'de 1996 da Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) ve 1997 de de Türk Standartları Enstitüsü'nün (TSE) yayınladıkları referans değerleri verilmektedir.

Tablo 5. 1. İçme sularındaki radyoaktivite limitleri.

Parametre	Değer	Birim
Toplam gösterge dozu (TGD)	0,10mSv/yıl	
Dünya Sağlık Örgütü (1996)(WHO)	Alfa yayınlayıcılar (α) Beta yayınlayıcılar (β)	0,1 Bq/L(2,7 pCi/L) 1 Bq/L(27 pCi/L)
Türk Standartları Enstitüsü (TSE) (1997)	Alfa yayınlayıcılar (α) Beta yayınlayıcılar (β)	0,037Bq/L (1 pCi/L) 0,37 Bq/L (10pCi/L)

Bu çalışmada ölçülmüş olan en yüksek alfa aktivite konsantrasyonu 0,0421Bq/L ve beta aktivite konsantrasyonu 1,806 Bq/L dir. Dünyaca referans olarak kabul edilen yukarıda bahsedilen ve Tablo 5.1'de verilen değerler dikkate alındığı takdirde, bu sonuçlardan toplam alfa (α) aktivitesinin sınır değerlerin altında kaldığı, fakat toplam beta (β) aktivitesinin **Sülperen Köprüsü** araştırma noktasından alınan (Analiz kodu D21, ve koordinatları 39° 37' 40 "K 39° 47' 34" D olan) örnek de (1,806 Bq/L) referans değerlerin yaklaşık **0,8 Bq/L** ölçülmüştür ki bu değer değerinde yüksek çıkmıştır. Su örnekleri için diğer araştırma noktalarından alınan β aktivitesi sonuçları da referans sınır değerlerinin altında kalmıştır. Su örnekleri için verilerden elde edilen sonuçlar Tablo 4,1 ve Şekil 4.4'de de verilmiştir.

Literatürden Türkiye'nin çeşitli bölgelerinde yapılan su çalışmalarının ortalama toplam alfa (α) ve toplam beta (β) aktivitesi konsantrasyonlarının karşılaştırılması

mBq/L cinsinden Tablo 5.2'de verilmiştir. Bizim çalışmamızda ki bulgular bu tablodaki verilen verilerle mukayese edildiğinde tablo verilerinin ortalaması civarlarında olduğu aşikârdır.

Tablo 5. 2. Türkiye'de yapılan su çalışmalarının bazı ortalama toplam alfa ve beta konsantrasyonlarının karşılaştırılması (mBq/L).

İl	Toplam Alfa (mBq/L)	Toplam Beta (mBq/L)
Erzincan (Bu çalışma: Karasu Nehir Suyunda)	53,4	130,6
Erzincan (İçme ve Kullanma Sularında)(Taşkın, 2011)	47,7	104
Adana (Değeriler, vd., 2010)	9,6	86
Bayburt (Küçükömeroğlu, vd., 2009)	63	39
Çanakkale (Kam, vd., 2010b)	59,9	84,1
Gaziantep (Osmanlıoğlu, vd., 2007)	49,3	128,4
Giresun (Damla, vd., 2006)	7,1	97,1
Kastamonu (Kam, vd., 2007)	8,9	271
Rize (Damla, vd., 2006)	8,3	82,8
Şanlıurfa (Bozkurt, vd., 2007)	38	132,4
Tekirdağ (Kam, vd., 2010a)	44	100
Trabzon (Damla, vd., 2006)	6,5	100,8
Erzincan (Yalçın, vd., 2009)	325	182

Çalışma alanından alınan toprak örneklerinde bulunan radyoizotop aktivite konsantrasyonları ^{226}Ra için 2,7-27,8 Bq/kg, ^{232}Th için 3,2-39,4 Bq/kg, ^{40}K için 98–714 Bq/kg ve ^{137}Cs için <0,4-57,8 Bq/kg, aralıklarında ölçülmüştür. Bu sonuçlar Tablo 5.3'de sınır değerleri ve referans değerlerinin değer aralıkları ve ortalama değerleri ile birlikte verilmiştir. Tablo incelendiğinde ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K için elde edilen ortalama bulgular referans değerlerin çok altında olduğu görülüyor. Fakat ^{137}Cs için elde edilen ölçüm sonuçlarının ortalaması referans değerlerinin çok üstünde çıkmıştır. Bu yüksek değerlerin sebebi, Tablo 4.2 ve Şekil 4.9'dan da görüldüğü gibi Kemaliye Ağca Ağa Deresi analiz sonuçlarının ortalamasının çok üstünde çıkmış olmasıdır.

Özellikle Kemaliye Ağca Ağa Deresi, Kemaliye Ariki Deresi ve Kemaliye Venk Deresi verileri diğer noktalardan elde edilen verilerle karşılaştırıldığında bunların

daha yüksek olduğu görülmektedir(bak.Şekil 4.9).Bu durum Erzincan yerleşim merkezlerinde ki içme ve kullanma suları ile bu su örneklerinin alındığı yerlerin yakınlarından alınan toprak örnekleri üzerinde yapılan analizlerde, Taşkın, 2011; Yalçın ve vd., 2012 de Kemali civarlarında yaptıkları çalışmaya benzer olarak radyoizotop aktivite konsantrasyonları yüksek çıkmıştır.

Tablo 5. 3.Toprakta bulunan doğal radyonüklitlerin ölçüm sonuçlarının sınır değerlerle karşılaştırması (UNSCEAR, 2000).

		Radyonüklitlerin Konsantrasyonu (Bq/kg)			
		²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K	¹³⁷ Cs
Referans Değerler	Değişim Aralığı	17-60	11-64	140-850	0,33-14,08
	Ortalama	35	45	400	5,1
Bu çalışma	Değişim Aralığı	2,7-27,8	3,2-39,4	98-714	<0,4-57,8
	Ortalama	13,1	15,84	301,7	9,47

Yiyecek, içecek ve teneffüs ettiğimiz havadan maruz kaldığımız dozun dünya ortalaması yaklaşık 0,25 mSv/yıl'dır.Vücudumuzda bulunan özellikle ⁴⁰K ve diğer radyoaktif elementlerden dolayı da belli bir radyasyon dozuna maruz kalırız. Bir yıl boyunca bu şekilde maruz kaldığımız iç (dâhili) radyasyon dozunun dünya ortalaması 0,23 mSv kadardır.

Bazı topraklarda oluşan asit, ortamda bulunan kalsiyum karbonat vasıtası ile radionüklidlerin tutulmasını engeller. Topraktaki bu gelişim evreleri kayalardaki radionüklid konsantrasyonlarını ve dolayısıyla dış radyasyon seviyelerini de azaltır. Aktivite seviyeleri, içerisinde bulunan mineral oluşumu ve yoğunluğuna bağlı olarak toprak cinsine göre değişiklik gösterir. Topraktaki ⁴⁰K'ın aktivite konsantrasyonu, ²³⁸U ya da ²³²Th'den daha yüksek miktarlarda değişir (Değerlier, 2007). Bu durum, referans olarak kabul edilen Tablo 5.3 deki değerlerden de görülmektedir.

Bu tez çalışmasının Türkiye'nin radyasyon güvenliği altyapısının geliştirilmesi ve ülke genelinde doğal radyasyon değerlerini içeren bir veri tabanı oluşturulması çalışmalarına katkı sağlayacağı umulmaktadır. Ayrıca Erzincan ili ve çevresinde yaşayanların da bu çalışmanın verilerinden faydalanması beklenmektedir. Özellikle Sülperen Köprüsü araştırma noktasından alınan su örneğinde toplam beta (β) aktivitesinin referans değerlerden yüksek çıkması ve toprak örneklerinden Kemaliye Ağca Ağa Deresi analiz sonucunda ^{137}Cs için elde edilen ölçüm sonuçlarının ortalamasının referans değerlerin çok üstünde çıkması faydalanıcılar tarafından dikkate alınmalıdır. Bu tez çalışmasının bu konuda yapılacak yeni çalışmalara birçok açıdan referans olacağı da umulmaktadır.

Bu çalışmanın sonuçlarına göre, toplam beta (β) aktivite konsantrasyonu için Sülperen Köprüsü araştırma noktasının ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonu için de Kemaliye Ağca Ağa Deresi civarının bu aktivite konsantrasyonlarının nedenleri araştırılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Ajayi, OS.andOwolabi, TP., "Determination of natural radioactivity in drinking water in private dug wells in Akure, Southwestern Nigeria", *Radiat Prot Dosimetry*, 128(4): 477-484 (2008).
- Akyil, S., Aytas, S., Turkozu, D.A., Aslani, A.A.M., Yusan, S.D. andEral, M., "Radioactivity levels in surface water of lakes around Izmir/Turkey", *Radiation Measurements*, 44: 390–395 (2009).
- Alfatih, A. A. Osman, Salih, I., Shaddad, İbrahim A., Saif El Din, Siddeeg, M. B., Eltayeb, H., Idriss, H., Hamza, W. and Yousif, E. H., "Investigation of natural radioactivity levels in water around Kadugli, Sudan", *Applied Radiation and Isotopes*, 66: 1650–1653 (2008).
- Barış, C., "İzmir–Çeşme Yeraltı-Termal Suları ve Çevresindeki Topraklarda Radyoaktivite Araştırmaları", Yüksek Lisans Tezi, *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Manisa, 9-78 (2006).
- Bilge, H., "Radyasyonun eski ve yeni birimleri", *Çağdaş Fizik Bilimsel ve Meslek dergisi*, 20: 27-29 (1998).
- Bonotto, D.M., Bueno, T.O., Tessari, B.W. andSilva, A., "The natural radioactivity in water by gross alpha and beta measurements", *Radiation Measurements*, 44: 92-101 (2009).
- Bozkurt, A., Yorulmaz, N., Kam, E., Karahan, G. and Osmanlioglu, A.E., "Assessment of environmental radioactivity for Sanliurfa region of southeastern Turkey", *Radiation Measurements*, 42: 1387-1391 (2007).
- Burnett, J.L., Croudace, I.W. andWarwick, P.E., "Pre-concentration of naturally occurring radionuclides and the determination of ²¹²Pb from fresh waters" *Journal of Environmental Radioactivity*, 102: 326-330 (2011).
- Çabuk, T., "Radyasyon terapilerinde çeşitli radyoizotopların doz eşdeğerinin hesaplanması" Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 67 (2010).

- Damla, N., Cevik, U., Karahan, G., Kobya, A. I., Kocak, M. and Isık, U., "Determination of gross α and β activities in waters from Batman, Turkey", *Desalination*, 244: 208-214 (2009).
- Damla, N., Çevik, U., Karahan, G. and Kobya, A.I., "Gross α and β activities in tap waters in Eastern Black Sea region of Turkey", *Chemosphere*, 62: 957-960 (2006).
- Damla, N., Cevik, U., Kobya, A.I., Ataksor, B. and Isık, U., "Assessment of environmental radioactivity for Batman, Turkey", *Environ Monit Assess*, 160:401-412 (2010).
- Değerlier, M. and Karahan, G., "Natural radioactivity in various surface waters in Adana, Turkey", *Desalination*, 261: 126–130 (2010).
- Değerlier, M., "Adana ili ve çevresinin çevresel doğal radyoaktivitesinin saptanması ve doğal radyasyonların yıllık etkin doz eşdeğerinin bulunması", Doktora Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 17-191 (2007).
- Desideri, D., Meli, M. A., Feduzi, L., Roselli, C., Rongoni, A. and Saetta, D., " ^{238}U , ^{234}U , ^{226}Ra , ^{210}Po concentrations of bottled mineral waters in Italy and their dose contribution", *Journal of Environmental Radioactivity*, 94: 86-97 (2007).
- Doğru, M. and Canbazoglu, C., "Natural gross radioactivity in various surface and tap waters in Elazig, Turkey", *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 254 (2): 379-382 (2002).
- EPA., "Gross alpha and gross beta radioactivity in drinking water, Method 900.0", USA, 1980.
- Erdoğan, T., "Uşak ve çevresindeki derin kuyu sularında Radon (^{222}Rn) aktivitesinin tayini", Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Üniversitesi*, Afyon, 105 (2010).
- Esmeray, E., "Konya ve çevresinde bulunan su kaynaklarındaki doğal radyasyonun incelenmesi", Yüksek lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 55 (2005).

- Engizek, T., "Sağlık Fiziği", İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü, Kitap, VIII, 211s. İstanbul (1999).
- Fatima, I., Zaidi, J.H., Arif, M. and Tahir, S.N., "Measurement of natural radioactivity in bottled drinking water in Pakistan and consequent dose estimates", *Radiat Prot Dosimetry*, 123 (2): 234-240 (2007).
- Forte, M., Rusconi, R., Cazzaniga, M.T. and Sgorbati, G., "The measurement of radioactivity in Italian drinking waters", *Microchemical Journal*, 85: 98-102 (2007).
- Gelir, A., "İçme suyundaki radyoaktivitenin belirlenmesi ve yıllık doz eşdeğerinin hesaplanması", Yüksek lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Üniversitesi*, İstanbul, 13-68 (2001).
- Godoy, M.J. and Godoy, L.M., "Natural radioactivity in Brazilian groundwater", *Journal of Environmental Radioactivity*, 85: 71-83 (2006).
- Görür, Ş., "Çevresel radyoaktivite ile bu çevrede yaşayanlara ait dış örneklerindeki radyoaktivite arasındaki ilişkinin araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 91 (2006).
- Gruber, V., Maringer, F.J. and Landstetter, C., "Radon and other natural radionuclides in drinking water in Austria: Measurement and assessment", *Applied Radiation and Isotopes*, 67: 913-917 (2009).
- H. Aytekin, R. Baldık., "Radon Measurements in the Caves of Zonguldak", *Radiat. Prot. Dos.*, 118, (1): 117-121 (2006).
- Han, Y.L., Tom Kuo, M. C., Fan, K. C., Chiang, C. J. and Lee, Y. L., "Radon distribution in groundwater of Taiwan", *Hydrogeology Journal*, 14: 173-179 (2006).
- Holbert, K.E., Stewart B.D., Eshraghi, P., Measurement of Radioactivity in Arizona Groundwater Using Improved Analytical Techniques for Samples with High Dissolved Solids. *Health Physics*, 68(2).185-194, DOI: 10.1097/00004032-199502000-00004, 1995.

İbrahim, N.M., Abd El Ghani, A.H., Shawky, S.M., Ashfaf, E.M., Farouk, M.A.,
Measurement of Radioactivity Levels in Soil in The Nile, Delta and Middle
Egypt. *Health physics*, 64 (6). 1993. İnternet: www.taek.gov.tr

İnternet: http://www.taek.gov.tr/bilgi/bilgi_maddeler/radbiryasam.html.

İnternet: http://www.taek.gov.tr/bilgi/bilgi_maddeler/dogalrad.html.

İnternet: http://www.taek.gov.tr/bilgi/bilgi_maddeler/yapayrad.html.

İnternet: http://www.taek.gov.tr/bilgi/elkitabi_brosur/brakiterapi/temel16.html.

Idoeta, R. Herranz M. and Legarda, F., "The disequilibrium between ^{210}Po and ^{210}Pb
in raw and drinking waters", *Applied Radiation and Isotopes*, 69: 196-200
(2011).

International Atomic Energy Agency (IAEA), "Radiation Safety", IAEA Division of
Public Information, 96-00725 IAEA/PI/A47E, (1996).

Jia, G., Torri, G. and Magro, L., "Concentrations of ^{238}U , ^{234}U , ^{235}U , ^{232}Th , ^{230}Th ,
 ^{228}Th , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{224}Ra , ^{210}Po , ^{210}Pb and ^{212}Pb in drinking water in Italy:
reconciling safety standards based on measurements of gross α and β ", *Journal
of Environmental Radioactivity*, 100: 941-949 (2009).

Jobby, V., Kavasi, N., Somlai, J., Dombovari, P., Gyöngyösi, C. and Kovacs, T.,
"Gross alpha and beta activity concentrations in spring waters in Balaton
Upland, Hungary", *Radiation Measurements*, 46:159-163 (2011).

Kam, E. Bozkurt, A. and Ilgar, R. A., "Study of background radioactivity level for
Canakkale, Turkey", *Environ. Monit. Assess.*, 168: 685-690 (2010a).

Kam, E. and Bozkurt, A., "Environmental radioactivity measurements in
Kastamonu region of northern Turkey", *Applied Radiation and Isotopes*, 65:
440-444 (2007).

Kam, E., Yazar, Y. and Bozkurt, A., "A study of background radioactivity level for
Tekirdag, Turkey", *Radiat. Prot. Dosim.*, 138(1): 40-44 (2010b).

- Kam, E., Yazar, Y., Karahan, G., Çelebi, N. and Özüağ, C., "Tekirdağ İli ve çevresinin doğal radyasyon seviyelerinin belirlenmesi", (2005).
- Karahan, G., "İstanbul'un çevresel doğal radyoaktivitesinin tayini ve doğal radyasyonların yıllık etkin doz eşdeğeri", Doktora Tezi, İstanbul, 118s. (1997).
- Karahan, G., Öztürk, N. ve Bayülken, A., "Natural radioactivity in various surface waters in İstanbul, Turkey", *Water Research*, 34(18): 4367-4370 (2000).
- Karamanis, D., Stamoulis, K. and Ioannides, K.G., "Natural radionuclides and heavy metals in bottled water in Greece", *Desalination*, 213: 90-97 (2007).
- Kehagia, K., Koukoulou, V., Bratakos, S., Seferlis, S., Tzoumerkas, F. and Potiriadis, C., "Radioactivity monitoring in drinking water of Attika, Greece", *Desalination*, 213: 98-103 (2007).
- Kırkpınar, A., "İzmir ve Ankara ili çevrelerindeki termal su ve içme sularının radyoaktivite açısından incelenerek, bölgelerin kendi içerisinde ve bölgeler arasında termal su ve içme sularının radyoaktivitesi açısından karşılaştırılması", Yüksek lisans Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 52s (2010).
- Kleinschmidt, R., Black, J. and Akber, R., "Mapping radioactivity in groundwater to identify elevated exposure in remote and rural communities", *Journal of Environmental Radioactivity*, 102: 235-243 (2011).
- Kobyay, Y., "Doğu Karadeniz Bölgesindeki doğal kaynak suları ve maden sularındaki doğal radioaktivite Tayini", Doktora Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, 12-86 (2009).
- Kobyay, Y., Cevik, U., N. Damla, N., Kobyay, A.I., Taskın, H., and Kemer, B., "Radiological characterization of natural spring waters in Eastern Black Sea Region, Turkey", *Environmental Forensics*, 11: 187-192 (2010).
- Kozłowska, B., Walencik, A. and Dorda, J., "Natural radioactivity and dose estimation in underground water from the Sudety Mountains in Poland", *Radiat Prot Dosimetry*, 128 (3): 331-335 (2008).

- Küçükömeroğlu, B., Kurnaz, A., Damla, N., Cevik, U., Celebi, N., Ataksor, B. and Taskin, H., "Environmental radioactivity assessment for Bayburt, Turkey", *J. Radiol. Prot.*, 29: 417-428 (2009).
- Küçükönder, E., "Kahramanmaraş yöresinde doğal radyoaktivitenin tayini", Doktora Tezi, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kahramanmaraş, 79 (2009).
- Kusyk, M. and Mamont-Ciesla K., "Radon levels in household waters in southern Poland", *Nukleonika*, 47 (2): 65-68 (2002).
- Kumru, M.N. Aydın, B., Bakaç, M., Gediz Nehri'nden Ege Denizi'ne Taşınan Doğal Radyoaktivitenin (Radyum) Belirlenmesi, *Ekoloji Çevre Dergisi*. 10 (43), 22-25 (2002).
- Labidi, S., Mahjoubi, H., Essafi, F. and Ben Salah, R., "Natural radioactivity levels in mineral, therapeutic and spring waters in Tunisia", *Radiation Physics and Chemistry*, 79: 1196-1202 (2010).
- Lasheen, F. Y., Seliman, F. A. and Abdel-Rassoul, A. A., "Simultaneous measurement of ^{226}Ra and ^{228}Ra in natural water by liquid scintillation counting", *Journal of Environmental Radioactivity*, 95: 86-97 (2007).
- L'Annunziata, M.F., Radionuclide Tracers, ISBN 13: 9780124362529 - ISBN 10: 124362524, (1998)
- Merdanoğlu B., "Kestanbol (Çanakkale) civarındaki su, toprak ve granit örneklerinde Doğal radyoaktivitenin belirlenmesi", *İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 80 (2004).
- Meriwether, J. R., Burns, S. F., Thompson, R. H. ve Beck, J. N., "Evaluation of Soil Radioactivities Using Pedologically Based Sampling Techniques", *Health Physics*, 69 (3): 406-409, DOI: 10.1097/00004032-199509000-00015, (1995).
- Misdağ, M. A. and Elharti, A., "A new method for evaluating alpha- and beta-dose rates in various drinking water samples", *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 218: 219-222 (1997).
- NCRP National Council on Radiation Protection and Measurements Guidance on Radiation Received in Space Activities. 98, (1989).

- Osmanlioğlu, A.E., Kam, E. and Bozkurt, A., "Assessment of background radioactivity level for Gaziantep region of southeastern Turkey", *Radiat. Prot. Dosimerty*, 124: 407-410 (2007).
- Özdemir, F.B., "Afyon ve çevresindeki kuyu sularında Radon (^{222}Rn) aktivitesi tayini", Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyonkarahisar, 127 (2006).
- Özger, G. Ayşe, "Ceyhan, Yumurtalık ve Pozantı bölgelerinin doğal radyoaktivite düzeylerinin belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 100 (2005).
- Öztürk, N. and Yılmaz, Y. Z., "Trace elements and radioactivity levels in drinking water near tuncbilek coal-fired power plant in Kütahya, Turkey", *Wat. Res.*, 34 (2): 704-708 (2000).
- Palomo, M., Penalver, A., Borrull, F. and Aguilar, C., "Measurement of radioactivity in bottled drinking water in Spain", *Applied Radiation and Isotopes*, 65: 1165-1172 (2007).
- Saç, M., "İzmir ili içme ve kullanım sularında radyoaktivite ve veriler arasında korelasyon analizleri", Yüksek Lisans Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 76 (1994).
- Sanchez, A.M., Saenz, Garcia, G. and Jurado Vargas, M., "Study of self-absorption for the determination of gross alpha and beta activities in water and soil samples", *Applied Radiation and Isotopes*, 67: 817-820 (2009).
- Sağlık Bakanlığının İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik, 25730 sayılı Resmi Gazete, 17.02.2005.
- Singh, J., Singh, H., Singh, S. and Bajwa, B. S., "Estimation of uranium and radon concentration in some drinking water samples of Upper Siwaliks, India", *Environ Monit Assess*, 154: 15-22 (2009).
- Singh, S., Singh, L. and Kher, S., "A comparison of fission track and laser fluorimetry techniques for uranium analysis in water samples", *Radiation Measurements*, 36: 517-519 (2003).

- Şahin, Y., “Çekirdek Fiziğinin Esasları”, Çeviri, *Atatürk Üniversitesi*, 407, Erzurum (1989).
- Taşkın, H., “Erzincan İl Merkezi ve Yakın Yerleşim Alanlarındaki İçme ve Kullanma Sularında Doğal Radyasyon Tayini”, Yüksek Lisans Tezi, **Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Erzincan, 78 (2011).
- Temel Dilaver, A., Çifter, C. and Altay, T., “The determination of gross alpha and beta activity of drinking water in Turkey”, *Hidrolojide İzotop Tekniklerinin Kullanılması Sempozyumu*, Adana, 35-45 (2005).
- Theodórsson, P., Measurement Of Weak Radioactivity Paperback 333 p.ISBN-13: 978-9810223151– *World Scientific Publishing Co.*, Singapore, January 15, (1996)
- Tsiaili, A., Kiliari, T. and Pashalidis, I., “Seasonal variation of the alpha-radioactivity concentration in natural water systems in Cyprus”, *Radiation Measurements*, 46: 145-148 (2011).
- UNSCEAR Report, United Nations Scientific Committee on The Effects of Atomic Radiation Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiations, *New York* (2000).
- Uzal. C., “Kanserde Işınlama Teknikleri”, *Ankara Onkoloji Hastanesi*, 301, Ankara (1995).
- Vesterbacka, P., Mäkeläinen, I. and Arvela, H., “Natural radioactivity in drinking water in private wells in Finland”, *Radiat Prot Dosimetry*, 114 (4): 556 (2005).
- Villalba, L., Montero-Cabrera, ME., Manjón-Collado, G., Colmenero-Sujo, L., Rentería-Villalobos, M., Cano-Jiménez, A., Rodríguez-Pineda, A., Dávila-Rangel, I., Quirino-Torres, L. and Herrera-Peraza, EF., “Natural radioactivity in groundwater and estimates of committed effective dose due to water ingestion in the state of Chihuahua (Mexico)”, *Radiat Prot Dosimetry*, 121 (2): 148-157 (2006).
- Wisser, S., Frenzel, E. and Dittmer, M., “Innovative procedure for the determination of gross-alpha/gross-beta activities in drinking water”, *Applied Radiation and Isotopes*, 64: 368-372 (2006).
- World Health Organization, Guidelines for Drinking Water Quality, Recommendations, *Geneva*, 1 (3), (2004).

- Yalçın, P., “Radyoaktif bozulma sonucu meydana gelen gama, K ve L X-ışınları için emisyon ihtimaliyetlerinin ölçülmesi”, Doktora Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum, 81 (2002).
- Yalcin, S.andGurler, O.,“The radioactivity measurements in soil, coal and water insouth Marmara region of Turkey”, *Radiation Measurements*, 42: 281-285 (2007).
- Yalçın, P., Kam, E. and Bozkurt, A., “Erzincan kaplıca sularındaki doğal radyoaktivite düzeyi”, *X. Ulusal Nükleer Bilimleri ve Teknolojileri Kongresi*, Muğla (2009).
- Yalçın, P., Taşkın, H., Kam, E., Taşkın,H., Terzi, M., Vanlıoğlu, A., Bozkurt, A., Baştuğ, A. and Taşdelen, B. “Investigation of radioactivity level in soil and drinking watersamples collected from the city of Erzincan, Turkey”,*J Radioanal Nucl Chem* 292:999–1006(2012)DOI 10.1007/s10967-011-1596-7.
- Yaşar, S., “Radyasyon ve Radyasyonda Korunmak”, TAEK-*Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi*, 25s. İstanbul (1999).

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet KAVAZ 13.09.1970'de Erzurum'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Erzurum'da tamamladıktan sonra, Atatürk Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünden 1992'de mezun oldu ve 1993-2013 yılları arasında özel eğitim kurumlarında Fizik öğretmeni olarak çalıştı. 2011'de Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. Halen özel bir eğitim kurumunda yöneticilik yapmaktadır.