

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

FİZİK ANABİLİM DALI

**DOĞU KARADENİZ BÖLGESİNDEKİ DOĞAL KAYNAK VE MADEN
SULARINDA RADYOAKTİFLİK TAYİNİ**

DOKTORA TEZİ

Yaşar KOBYA

MART 2009

TRABZON

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

FİZİK ANABİLİM DALI

**DOĞU KARADENİZ BÖLGESİNDEKİ DOĞAL KAYNAK VE
MADEN SULARINDA RADYOAKTİFLİK TAYİNİ**

Yaşar KOBYA

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“Doktor (Fizik)”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 20.02.2009
Tezin Savunma Tarihi : 06.03.2009**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ali İhsan KOBYA
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Uğur ÇEVİK
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Mustafa ÖZDEMİR
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Engin TIRAŞOĞLU
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Mehmet ERTUĞRUL**

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Salih TERZİOĞLU

Trabzon 2009

ÖNSÖZ

Bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalında Doktora Tezi olarak hazırlandı.

Bu çalışmada, Doğu Karadeniz Bölgesindeki doğal kaynak suları ve maden sularındaki radyoaktiflik seviyeleri araştırılmış olup, deneysel çalışmalar Çekmece Nükleer Araştırma Merkezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Atom ve Molekül Fiziği Araştırma Laboratuvarı ve Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği'nde yapıldı.

Doktora tez çalışmalarım süresince bana ihtiyaç duyduğum her alanda yardımcı olan, bilgi ve deneyimini benimle paylaşan ve bana yol gösteren değerli hocam Prof. Dr. Ali İhsan KOBYA'ya teşekkürü borç bilirim.

Doktora tezimin hazırlanmasında benden yardım ve desteklerini esirgemeyen Prof. Dr. Uğur ÇEVİK'e, Prof. Dr. Engin TIRAŞOĞLU'na, Yrd. Doç. Dr. Gökhan APAYDIN'a, Arş. Gör. Nevzat DAMLA'ya ve Çekmece Nükleer Araştırma Merkezindeki kıymetli hocalarım Dr. Ahmet VARİNLİOĞLU ve Halim TAŞKIN'a teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemde en büyük pay sahibi olan, maddi ve manevi destekleriyle her zaman ve her durumda yanımda olan aileme ve nişanlım Fatime ERDEMİR'e en içten sevgi, minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Yaşar KOBYA
Trabzon 2009

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET	V
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ	VII
TABLolar DİZİNİ	IX
SEMBOLLER DİZİNİ.....	X
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Radyoaktivite	6
1.3. Radyasyon Çeşitleri.....	8
1.3.1. Alfa Parçacıkları.....	8
1.3.2. Beta Parçacıkları	8
1.3.3. Gama Işınları.....	9
1.3.4. X Işınları	9
1.3.5. Nötronlar.....	9
1.4. Radyoaktif Bozunma Türleri	10
1.4.1. Alfa Bozunması.....	10
1.4.2. Beta Bozunması	12
1.4.3. Gama Bozunması	14
1.5. Radyoaktif Bozunma Kanunu	15
1.6. Ardışık Bozunma Kanunu	18
1.7. Radyasyon Dozu ve Birimleri.....	20
1.8. Radyasyon Kaynakları.....	21
1.8.1. Sulardaki Doğal Radyoaktiflik.....	22
1.8.2. Topraktaki Doğal Radyoaktiflik	23
1.9. Radyasyonun İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri	24
1.9.1. Somatik Etkiler	25
1.9.2. Genetik Etkiler	25

2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	27
2.1.	Numune Alınacak Yerlerin Belirlenmesi	27
2.2.	Numunelerin Toplanması	29
2.3.	Toplam Alfa ve Toplam Beta Radyoaktiflik Ölçümleri.....	29
2.3.1.	Numunelerin Toplam Alfa, Beta Analizine Hazırlanması	29
2.3.2.	Deney Sistemi	30
2.4.	Gama Spektroskopisi Ölçümleri	31
2.4.1.	Numunelerin Gama Spektroskopisi Analizine Hazırlanması	31
2.4.2.	Deney Sistemi	32
2.4.2.1.	Enerji Kalibrasyonu.....	33
2.4.2.2.	Verim Kalibrasyonu	35
2.4.2.3.	Gama Spektrumu Analizi ve Aktivitenin Hesaplanması.....	36
2.5.	Kimyasal Ölçümler.....	36
2.5.1.	Numunelerin Kimyasal Analize Hazırlanması	36
2.5.2.	Deney Sistemi	36
3.	BULGULAR.....	38
3.1.	Doğal Kaynak Sularının Analizleri	38
3.1.1.	Toplam Alfa ve Beta Analiz Sonuçları	38
3.1.2.	Gama Spektroskopisi Analiz Sonuçları.....	46
3.1.3.	Kimyasal Analiz Sonuçları	54
3.2.	Maden Sularının Analizleri.....	56
3.2.1.	Toplam Alfa ve Beta Analiz Sonuçları	56
3.2.2.	Gama Spektroskopisi Analiz Sonuçları.....	57
3.2.3.	Kimyasal Analiz Sonuçları	62
4.	TARTIŞMA VE SONUÇLAR	63
5.	ÖNERİLER.....	70
6.	KAYNAKLAR	71

ÖZGEÇMİŞ

ÖZET

Bu çalışmada, Doğu Karadeniz Bölgesindeki doğal kaynak ve maden sularındaki doğal ve yapay radyoaktivite seviyeleri ve bunlara bağlı olarak yıllık etkin doz eşdeğerleri araştırıldı. Ayrıca bu suların kimyasal analizi de yapıldı.

Yapılan bu çalışmada, doğal kaynak suları için toplam alfa ve beta aktifliklerinin ortalama değerleri sırasıyla, 25,8 mBq/L ve 31 mBq/L, maden suları için ise yine sırasıyla 125 mBq/L ve 170,4 mBq/L olarak bulundu.

Gama spektroskopisi ölçümleri sonucunda, doğal kaynak suları için ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K aktivite değerlerinin ortalaması sırayla, 47 mBq/L, 22,6 mBq/L, 17,1 mBq/L ve 319,7 mBq/L, maden suları için ise bu ortalama değerler sırasıyla, 129 mBq/L, 30 mBq/L, 22 mBq/L ve 659 mBq/L olarak bulundu.

Yapılan yıllık doz eşdeğerleri hesaplamasında, doğal kaynak sularında, yetişkinler, çocuklar ve bebeklere göre ^{226}Ra için yıllık etkin doz eşdeğerleri sırayla 10,2 $\mu\text{Sv/y}$, 4,9 $\mu\text{Sv/y}$, 3,5 $\mu\text{Sv/y}$, ^{232}Th için 3,7 $\mu\text{Sv/y}$, 1,8 $\mu\text{Sv/y}$, 1,3 $\mu\text{Sv/y}$, ^{137}Cs için 1,7 $\mu\text{Sv/y}$, 0,8 $\mu\text{Sv/y}$, 0,6 $\mu\text{Sv/y}$ ve ^{40}K için 0,26 $\mu\text{Sv/y}$, 0,12 $\mu\text{Sv/y}$, 0,09 $\mu\text{Sv/y}$ olarak tespit edildi. Maden sularında ise bu değerlerin sadece yetişkinler için 13,2 $\mu\text{Sv/y}$, 2,7 $\mu\text{Sv/y}$, 1,6 $\mu\text{Sv/y}$ ve 0,13 $\mu\text{Sv/y}$ olduğu hesaplandı.

Kimyasal analiz sonucunda Na, Al, P, Cl, K, Ca, V, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn ve Ba elementlerinin doğal kaynak ve maden sularındaki miktarları tespit edildi.

Yapılan Pearson Correlation istatistiği ile de elde edilen tüm sonuçların birbirleri ile bağlantılılıkları incelendi.

Anahtar Kelimeler: Toplam α , Toplam β , Aktivite, Kimyasal Analiz, Doğal Kaynak ve Maden Suları, Doğu Karadeniz Bölgesi

SUMMARY

Determination of radioactivity levels of natural and mineral water in Eastern Black Sea Region

In this work, natural and artificial radioactivity levels have been measured, for natural and mineral waters collected from Eastern Black Sea region. Related annual dose equivalent rates have been calculated for these measurements. Also chemical analysis carried out for these waters.

Mean values of gross alpha and beta activities have been found as 25,8 mBq/L and 31 mBq/L for natural waters, and as 125 mBq/L and 170,4 mBq/L for mineral waters.

As a result gama spectroscopy measurements we found, 47 mBq/L, 22,6 mBq/L, 17,1 mBq/L and 319,7 mBq/L, for ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{137}Cs and ^{40}K respectively in natural waters; 129 mBq/L, 30 mBq/L, 22 mBq/L and 659 mBq/L in mineral waters.

Annual effective dose equivalent rates in natural waters for adults, children and babies have been calculated for ^{226}Ra 10,2 $\mu\text{Sv/y}$, 4,9 $\mu\text{Sv/y}$, 3,5 $\mu\text{Sv/y}$, for ^{232}Th 3,7 $\mu\text{Sv/y}$, 1,8 $\mu\text{Sv/y}$, 1,3 $\mu\text{Sv/y}$, for ^{137}Cs 1,7 $\mu\text{Sv/y}$, 0,8 $\mu\text{Sv/y}$, 0,6 $\mu\text{Sv/y}$ and for ^{40}K 0,26 $\mu\text{Sv/y}$, 0,12 $\mu\text{Sv/y}$, 0,09 $\mu\text{Sv/y}$, in mineral waters these rates for adults have been found as 13,2 $\mu\text{Sv/y}$, 2,7 $\mu\text{Sv/y}$, 1,6 $\mu\text{Sv/y}$ and 0,13 $\mu\text{Sv/y}$ for ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{137}Cs and ^{40}K respectively.

Amounts of Na, Al, P, Cl, K, Ca, V, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Ba in natural and mineral waters have been measured by chemical analyze method.

Relation between all measured and calculated data have been compared with Pearson Correlation Statistic.

Key Words : Gross α , Gross β , Activity, Chemical Analysis, Natural and Mineral Water, Eastern Black Sea Region.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Radyasyon türlerinin giricilik özellikleri.....	10
Şekil 1.2. Nötron sayısına karşılık gelen proton sayısı.....	15
Şekil 1.3. Aktifliğin zamana göre değişimi.....	18
Şekil 1.4. Radyasyonun DNA zincirine verdiği zarar.....	26
Şekil 2.1. Çalışma alanı.....	27
Şekil 2.2. Toplam alfa ve beta sayım cihazının blok diyagramı.....	30
Şekil 2.3. Toplam alfa ve beta sayım cihazı.....	31
Şekil 2.4. Gama spektroskopisi sayımları için numunelerin buharlaştırılması.....	32
Şekil 2.5. Ortec GEM55P4 model HPGe detektörü.....	33
Şekil 2.6. HPGe detektörü ile gama spektroskopisinin çalışma düzeneği.....	33
Şekil 2.7. Enerji-kanal grafiği.....	34
Şekil 2.8. Enerji-verim eğrisi.....	34
Şekil 2.9. ICP-OES kimyasal analiz cihazı.....	37
Şekil 3.1. Artvin ili için toplam alfa ve beta değerleri.....	39
Şekil 3.2. Rize ili için toplam alfa ve beta değerleri.....	40
Şekil 3.3. Trabzon ili için toplam alfa ve beta değerleri.....	41
Şekil 3.4. Gümüşhane ili için toplam alfa ve beta değerleri.....	42
Şekil 3.5. Bayburt ili için toplam alfa ve beta değerleri.....	43
Şekil 3.6. Giresun ili için toplam alfa ve beta değerleri.....	44
Şekil 3.7. Ordu ili için toplam alfa ve beta değerleri.....	45
Şekil 3.8. Artvin ili için aktivite değerleri.....	47
Şekil 3.9. Rize ili için aktivite değerleri.....	48
Şekil 3.10. Trabzon ili için aktivite değerleri.....	49
Şekil 3.11. Gümüşhane ili için aktivite değerleri.....	50
Şekil 3.12. Bayburt ili için aktivite değerleri.....	51
Şekil 3.13. Giresun ili için aktivite değerleri.....	52
Şekil 3.14. Ordu ili için aktivite değerleri.....	53
Şekil 3.15. Maden suları için toplam alfa ve beta değerleri.....	57
Şekil 3.16. Maden suları için ^{226}Ra aktivite değerleri.....	58

Şekil 3.17. Maden suları için ^{232}Th aktivite değerleri.....	59
Şekil 3.18. Maden suları için ^{137}Cs aktivite değerleri.....	60
Şekil 3.19. Maden suları için ^{40}K aktivite değerleri.....	61

TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1.1. Başlıca birincil radyoaktif çekirdekler.....	6
Tablo 1.2. Kozmik radyoaktif çekirdekler.....	7
Tablo 1.3. Bazı yapay radyoaktif çekirdekler.....	7
Tablo 1.4. Doğada bilinen dört radyoaktif seri.....	7
Tablo 1.5. Radyasyon terimleri ve özel birimlerle SI birimleri arasındaki ilişki.....	21
Tablo 1.6. Doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından gelen radyasyon dozlarının oransal değeri.....	22
Tablo 1.7. Kayalardaki radyoçekirdeklerin yıllık radyasyon dozları.....	24
Tablo 2.1. Doğal kaynak ve maden sularının alındığı yerler ve illerin nüfusları.....	28
Tablo 2.2. Enerji kalibrasyonunda kullanılan kaynaklar.....	34
Tablo 3.1. İllere göre toplam alfa ve beta için minimum, maksimum ve ortalama değerler.....	38
Tablo 3.2. İllere göre ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{137}Cs , ^{40}K aktiviteleri için minimum, maksimum ve ortalama değerler.....	46
Tablo 3.3. İllere göre kimyasal analiz değerleri.....	55
Tablo 3.4. Maden suları için toplam alfa ve beta değerleri.....	56
Tablo 3.5. Maden suları için ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{137}Cs , ^{40}K aktivite değerleri.....	58
Tablo 3.6. Maden suları için kimyasal analiz sonuçları.....	62
Tablo 4.1. Toplam alfa ve beta aktiflikleri verilerinin çeşitli kaynaklarla kıyaslanması.....	63
Tablo 4.2. ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K aktivite değerlerinin çeşitli kaynaklarla kıyaslanması.....	64
Tablo 4.3. Bazı radyoçekirdeklerin doz katsayıları.....	67
Tablo 4.4. Doğal kaynak sularındaki radyoaktif çekirdeklerin yıllık etkin doz eşdeğerleri.....	67
Tablo 4.5. Kimyasal analiz sonuçlarının bazı kaynaklarla kıyaslanması.....	68
Tablo 4.6. Toplam alfa ve beta, ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{137}Cs , ^{40}K aktivite değerleri ve elementler arasında Pearson Correlation verimler istatistiği.....	69

SEMBOLLER DİZİNİ

A	: Kütle numarası
A(t)	: Aktiflik
Becquerel	: Aktivite birimi
Curie	: Aktivite birimi
C_R	: Yıllık tüketilen su miktarı
D	: Yıllık etkin doz eşdeğeri
e	: Elektron
E_D	: Doz katsayısı
I_A	: Radyoçekerdeğin aktivitesi
N	: Çekirdekdeki nötron sayısı
Q	: Bozunma enerjisi
Sievert	: Doz eşdeğeri birimi
$t_{1/2}$: Radyoçekerdeğin yarı ömrü
τ	: Ortalama ömür
X	: X ışınları
W_R	: Radyasyon ağırlık faktörü
Z	: Çekirdekdeki proton sayısı
α	: Alfa parçacığı(ışınması)
β	: Beta parçacığı(ışınması)
γ	: Gama parçacığı(ışınması)
λ	: Bozunma sabiti
ν	: Nötrino

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

En küçük canlı organizmadan en büyük canlı varlığa kadar bütün biyolojik yaşamı ayakta tutan su, canlıların yaşamlarını sürdürebilmesi için gerekli olan en önemli elemanlarından biridir. Dünyamızın %70'i sularla kaplıdır, ancak yeryüzündeki su kaynaklarının yaklaşık %3'ü kullanılabilir ve içilebilir özelliktedir. Su, bedenimizin de yaklaşık %67'lik kısmını oluşturmaktadır. İnsanların tüm içsel tepkimeleri su ile doğrudan ilgilidir. Gıda maddelerinin ve artıklarının çözelti haline dönüştürülmesi, bunların vücutta kullanılıp atılması suya bağlıdır. Oksijenin dokulara, dokulardan CO₂'in akciğerlere taşınması kanın akış hızı ile ilgili olup, bu da suyun varlığı ile gerçekleşmektedir. İnsan vücudu gün boyunca ortalama 2–3 L civarında su kaybeder. İnsanın su kaybına dayalı herhangi bir sağlık sorunu yaşamaması için günlük olarak kaybedilen bu miktarın geri alınması gereklidir. İnsan vücudu ortalama 4 haftada vücuda alınan su ile yenilenmektedir. Bu fizyolojik ihtiyacın dışında günlük bedensel temizlik, ortamın temizliği ve yiyecek ve içeceklerin kir ve mikroplarından arındırılması ve hazırlanması için de su gereklidir. Örneğin,

- 1 hamburger üretimi için 4L,
- 4 adet otomobil lastiği üretimi için 7500 ton,
- 1 ton çelik üretmek için 240 ton,
- 1 kutu konserve elde etmek için 35L,
- 450gr plastik üretmek için 90L,
- 450gr pamuk ya da yün üretimi için 381L,

1 varil ham petrolü rafine etmek için 7 ton su kullanılmaktadır (Tosun, 2005). Yeryüzündeki suyun yalnızca %3'ünün içilebilir olduğu ve suyun canlıların yaşamlarını sürdürebilmeleri için ne kadar gerekli olduğu da göz önüne alındığında dünyadaki kullanma suyu sorununun önemi ortaya çıkmaktadır.

İnsan hayatı için bu denli gerekli ve zorunlu olan su, insan sağlığı üzerinde herhangi bir zararlı etkiye sebep vermemek için mümkün olduğunca temiz olmalıdır. Suyun temiz olması ifadesinden kasıt, yapısında insan sağlığı açısından tehlikeli olabilecek maddelerin bulunmamasıdır. Ancak suyun doğal ortamda yüzde yüz saf bir şekilde korunması

imkânsızdır. Çünkü yapı yönünden durağan bir bileşik olan su, diğer maddelerle temas ettiğinde olağanüstü çözücü özelliğe sahip bulunmaktadır. Su, toprak katmanlarından süzülerek geçerken, temas ettiği öğeleri de yapısına çeker. Suyu karışan maddelerin bir bölümü doğal toprak bileşenlerinden, bir kısmı da sanayi, ev ve tarımsal atıklardan ileri gelmektedir. Suyu karışan maddelerin bir bölümünü ise mineraller oluşturur. Bu minerallerin bir kısmı vücut için gerekli olmakla birlikte, bir kısmı da sağlık açısından risk unsuru taşımaktadır.

Su için kirletici özellik taşıyan ve dolayısıyla insan sağlığı ile direkt olarak ilişkili etmenlerden biri de radyasyondur. İnsan ve çevre sağlığının radyasyondan su yoluyla etkilenmesi genelde dört temel nedenden kaynaklanmaktadır. Bunlar; toprak ve atmosferde bulunan doğal radyoaktif elementler, nükleer silah denemeleri, radyoaktif atıkların çevresel ortamlara rastgele atılması ve reaktör kazalarıdır.

Dünyanın oluşumuyla birlikte tabiatta yerini alan çok uzun ömürlü radyoaktif elementler yaşadığımız çevrede normal ve kaçınılmaz olarak kabul edilen doğal bir radyasyon düzeyi oluşturmuşlardır. Bu nedenle, insanoğlu var oluşundan bu yana sürekli radyasyonla iç içe yaşamak zorunda kalmıştır. Geçtiğimiz yüzyılda bu doğal düzey, nükleer denemeler ve bazı teknolojik ürünlerin kullanımı ile bir hayli artış göstermiştir. Maruz kalınan doğal radyasyon seviyesinin büyüklüğünü belirleyen birçok etken vardır. Yaşanılan yer, bu yerin toprak yapısı, barınılan binada kullanılan malzemeler, mevsimler, kutuplara olan uzaklık, hava şartları, tüketilen besinler ve su bu nedenlerden bazılarıdır. Yağmur, kar, alçak basınç, yüksek basınç, ve rüzgar yönü gibi etkenler de doğal radyasyon seviyesinin büyüklüğünü belirler.

Doğal radyasyonlar, uzaydan gelen kozmik ışınlar ile kaya, toprak, su ve havada bulunan doğal radyoaktif çekirdeklerin radyoaktif bozunuma uğramaları sonucu yayınlanan ışınlardan ibarettir. Çevreye bu doğal kaynaklardan yayılmaktadırlar. İnsan, içinde yaşadığı doğal çevrede bulunan bu kaynaklardan yayınlanan değişik tipteki radyasyonlara her an maruz kalmaktadır. Radyasyon dozu değerlendirilmelerinde doğal kaynaklar oldukça önemli yer tutarlar. Çünkü insanlar hayatları süresince doğal kaynaklardan yayınlanan radyasyonlardan belli oranlarda doz almaktadırlar. Yıllar boyunca alınan bu radyasyon, bir süre sonra vücutta belirli tahribatlara yol açabilmekte, hatta bu tahribatlar ölümle sonuçlanabilmektedir.

Çevresel radyasyon ölçümlerindeki temel amaç, insanların çevresel kaynaklardan aldıkları radyasyon türü ile dozunun belirlenmesi ve oluşturacağı riskin

değerlendirilmesidir. Bunun için de, doğal radyasyon kaynaklarını oluşturan radyonüklidlerin çevresel ortamdaki konsantrasyonları ile radyasyonun özellikle insanda olmak üzere, biyolojik sistemler üzerindeki tesirinin tayin edilmesi gerekir. Ayrıca çevresel ortamda bulunan radyonüklidler ile insanların bu kaynaklardan aldıkları radyasyon dozu arasındaki ilişkinin de belirlenmesi gerekir. Ancak böyle bir araştırmadan sonra bir bölgenin doğal radyasyon açısından sağlıklı yaşamaya uygun olup olmadığına karar verilebilir (Bakaç, 1998). Bu amaçla yapılan araştırmalar; Uluslararası Radyolojik Korunma Komisyonu (ICRP), Amerika Birleşik Devletleri Radyasyon Korunması ve Ölçümü Milli Komitesi (UNSCEAR) ve Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (TAEK-ÇNAEM) ve benzeri milli ve uluslararası kuruluşlar tarafından yapılmaktadır.

Sulardaki doğal radyoaktifliği belirlemek amacıyla yapılmış birçok çalışmaya literatürde rastlamak mümkündür. Bu tür çalışmaların bazıları ülkeler bazında, bazıları da bu çalışmada olduğu gibi belli bir bölgeye has yapılmış çalışmalardır.

Duenas ve arkadaşları, İspanya'daki şişe sularında doğal radyoaktifliği belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmada toplanan numunelerin %26,2'sinde alfa aktifliğinin 100 mBq/L den büyük, beta aktifliklerinin ise 1000 mBq/L den büyük çıkmadığını tespit etmişlerdir (Duenas vd., 1997).

Sajo-Bohus ve arkadaşları, Venezüela'da şişelenmiş sularda toplam alfa radyoaktifliğini ölçmüşler ve numunelerin %54'ünü 0.185 Bq/L den daha az, sadece %12'sini 0.37 Bq/Lden daha çok bulmuşlardır (Sajo-Bohus vd., 1997).

Karahan ve arkadaşları, İstanbul'un değişik semtlerinden alınan musluk suyu örnekleri ile yaptıkları bir çalışmada musluk sularında ^{226}Ra ve ^{222}Rn için ortalama radyoaktiflik konsantrasyonları sırasıyla, 22 mBq/L ve 33 mBq/L olarak tespit etmişler. Bu çalışmada, musluk suyu örneklerinin yanı sıra içme suyu satan özel su istasyonlarından alınan su örneklerinin de toplam alfa ve toplam beta radyoaktiflik analizleri yapılmıştır. Bulunan değerler içme suyu için müsaade edilen üst sınır değerlerinin oldukça altındadır (Karahana vd., 2000).

Jose Marcus Godoy ve arkadaşları, Brezilya'daki maden sularında yaptıkları araştırmalarda en yüksek yıllık doz eşdeğerini 4.3 μSv olarak bulmuşlardır (Godoy vd., 2001).

Doğru ve Canbazoğlu, Elazığ'daki bazı kuyu ve yüzey sularında doğal radyoaktiflik seviyelerini belirlemişlerdir (Dogru ve Canbazoglu, 2002).

Malatya şehir merkezi ile ilçe merkezlerinin içme sularında toplam alfa ve beta aktifliklerini bulmak için yapılan bir çalışmada toplam ortalama alfa ve beta aktiflikleri sırayla $0,1185 \pm 0,0100$ Bq/L ve $0,2078 \pm 0,0122$ Bq/L olarak hesaplanmıştır (Yalçın, 2002).

Finlandiya’da içme suyu örneklerinde yapılan bir çalışmada ^{226}Ra ve ^{222}Rn analizleri yapılmış ve aktiflik değerleri, ^{226}Ra için $0,007-0,09$ Bq/L ve ^{222}Rn için ise ortalama 59 Bq/L civarında bulunmuştur (Arvela, 2002).

Amrani, Cezayir’deki maden sularında doğal radyoaktifliği belirlemek için yaptığı çalışmada ^{222}Rn , ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktiflik konsantrasyonlarını sırasıyla 7 Bq/L, 26 mBq/L, 30 mBq/L ve 1 Bq/L olarak bulmuştur (Amrani, 2002).

Davila Rangel ve arkadaşları, Meksika’daki şişelenmiş doğal kaynak sularındaki toplam alfa ve beta aktifliklerini ölçerek doz eşdeğerlerini hesaplamışlardır (Davila Rangel vd., 2002).

Osmanlıoğlu ve arkadaşları, Gaziantep ve çevresindeki musluk sularında toplam alfa ve beta radyoaktiflik seviyelerini belirleyerek yıllık efektif doz eşdeğerlerini hesaplamışlardır (Osmanlıoğlu vd., 2002).

Kovacs ve arkadaşları, Macaristan’daki şişelenmiş maden sularındaki ^{238}U , ^{226}Ra ve ^{210}Po konsantrasyonlarını ölçerek yıllık dozlarını hesaplamışlardır (Kovacs vd., 2004).

Damla ve arkadaşları, Doğu Karadeniz Bölgesindeki musluk sularında toplam alfa ve beta radyoaktifliğini tespit etmek amacıyla yaptıkları çalışmada toplam alfa radyoaktifliğinin $0,2 - 15$ mBq/L arasında, toplam beta radyoaktifliğinin ise $25,2 - 264,4$ mBq/L arasında değiştiğini tespit etmişlerdir (Damla vd., 2006).

Cevik ve arkadaşları, Doğu Karadeniz Bölgesindeki musluk sularında doğal radyoaktiflik seviyesini belirleyerek yıllık efektif doz eşdeğerlerini hesaplamışlardır (Cevik vd., 2006).

Wisser ve arkadaşları, Almanya’da bazı içme sularında toplam alfa ve beta aktifliklerini araştırmışlar ve sırasıyla toplam alfa, beta aktiflikleri için üst sınırlarını $25-210$ mBq/L bulmuşlardır (Wisser vd., 2006).

Kam ve Bozkurt, Kastamonu’daki içme sularında toplam alfa ve beta radyoaktifliğini belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmada ortalama aktiflik değerlerini alfa için $8,9$ mBq/L, beta için 271 mBq/L olarak tayin etmişlerdir (Kam ve Bozkurt, 2007).

Bozkurt ve arkadaşları, Şanlıurfa’daki içme sularında toplam alfa ve beta radyoaktiflik seviyelerini belirleyerek yıllık doz eşdeğerlerini hesaplamışlardır (Bozkurt vd., 2007).

Desiderei ve arkadaşları, İtalyada'ki şişelenmiş maden sularında ^{238}U , ^{234}U , ^{226}Ra , ^{210}Po 'nın aktiflik seviyelerini tayin ederek doz eşdeğerlerini hesaplamışlardır (Desiderei vd., 2007).

Karamanis ve arkadaşları Yunanistan'daki şişelenmiş sularda doğal radyoaktiflik ve ağır metal seviyelerini belirleyerek farklı yaş gruplarına göre yıllık dozları hesaplamışlardır (Karamanis vd., 2007).

Shahbazi-Gahrouei ve Saeb, İran'daki bazı illerdeki doğal kaynak ve maden sularındaki radyoaktiflik seviyelerini tayin etmişlerdir (Shahbazi-Gahrouei ve Saeb, 2008).

Chau ve Michalec, Polonya'daki şişelenmiş doğal kaynak ve maden sularındaki doğal radyoaktiflik seviyelerini belirleyerek yıllık efektif dozlarını tayin etmişlerdir (Chau ve Michalec, 2008).

Doğu Karadeniz Bölgesi, gerek coğrafi konumu gerekse Çernobil nükleer santral kazasından sonra radyasyonla kontamine olması ve bu bölgedeki doğal kaynak ve maden sularında doğal radyoaktiflik seviyelerinin belirlenmesi konusunda önceden yapılmış bir çalışmanın olmaması nedeniyle incelemeye alınmıştır. Ülkemiz hem coğrafik yapısı hem de komşu ülkelerde kurulmuş nükleer santraller sebebiyle sürekli radyoaktif kirliliğe maruz kalma riski ile karşı karşıyadır. Bu nedenle, dünya üzerindeki önemi giderek artan ve AB'ne giriş sürecinde olan ülkemizde doğal radyasyon düzeylerinin belirlenmesi son derece önemlidir.

Bu çalışmanın amacı; Doğu Karadeniz Bölgesindeki illerde, yaklaşık 3 milyon insanın kullanımında olan doğal kaynak suları ve maden sularındaki doğal-yapay radyoaktiflik seviyelerini belirlemek ve sulardan kaynaklanan radyoaktif doz hesaplarını yaparak, sözü geçen bölgede yaşayan insanların bu sular nedeniyle maruz kaldıkları yıllık radyoaktif dozu tayin etmektir.

Bu çalışmada, Doğu Karadeniz Bölgesinde yer alan 7 ildeki 53 istasyondan doğal kaynak suyu ve maden suyu örnekleri alınarak, bu örneklerde toplam alfa-beta aktifliklerine, kimyasal element ve ağır metal analizlerine bakılmış ve böylece Doğu Karadeniz Bölgesindeki doğal kaynak suları ve maden sularındaki doğal-yapay radyoaktiflik seviyelerinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

1.2. Radyoaktivite

Doğada mevcut elementlerin atomlarının bir kısmı kararlı, bir kısmı ise kararsız çekirdeklere sahiptirler. Kararlı bir çekirdekte, çoğu durumda nötron sayısı (N) proton sayısından (Z) biraz daha fazla ve N/Z oranı yaklaşık olarak 1,50 civarında olup, proton ve nötronlar birbirlerine nükleer kuvvetlerle çok sıkı bir şekilde bağlıdır ve hiçbir parçacık çekirdek dışına çıkamaz. Böylece çekirdek kararlı halde kalır. Ancak, çekirdek kararsızsa, yüksek enerjiye sahip olacak ve parçacıkları bir arada tutamayacaktır. En basit çekirdek olan Hidrojen çekirdeğinin dışındaki tüm çekirdekler nötron ve protonlardan oluşmuştur. N/Z oranı hafif izotoplarda 1 iken, ağır çekirdeklere doğru gidildikçe bu oran artmaktadır. Bu oran arttıkça çekirdeklerin artık kararlı olmadığı bir düzeye ulaşılır. En ağır kararlı çekirdek Bi-207'dir. Daha ağır çekirdekler sahip oldukları fazla enerjiden dolayı kararsızdır. Böyle çekirdeklere radyoaktif çekirdek veya radyoizotop adı verilir. Bunlar fazla enerjilerinden kurtulmaya ve kararlı duruma geçmeye çalışırlar ki bu olaya radyoaktivite veya radyoaktif parçalanma denir. Bu olay üstel bir fonksiyon şeklinde zayıflayan bir tempo ile azalarak kendiliğinden tükeninceye kadar devam eder. Radyoaktivite olayı doğal ve yapay olarak iki farklı şekilde meydana gelebilir. Doğada mevcut bulunan kararsız elementler kararlı yapıya geçmeye çalışırken, hiçbir dış müdahale olmadan, sahip oldukları fazla enerjilerini çekirdeklerinden dışarı salarlar. Böyle elementlere doğal radyoaktif elementler, bunların enerji salma olayına da doğal radyoaktivite denir. Doğal radyoaktif çekirdekler, büyük patlamadan sonra yıldızların oluşumu sırasında açığa çıktıkları varsayılan birincil radyoçekirdekler ve büyük oranda atmosferde üretilen kozmik çekirdekler olmak üzere iki ayrı grupta incelenebilir. Doğada kararlı olarak bulunan izotoplar da hızlandırıcılarda veya nükleer reaktörlerde yapay yollarla kararsız (radyoaktif) hale getirilebilirler. Radyoaktif hale gelen çekirdek parçalanmaya uğrar. Bu olay ise yapay radyoaktivite olarak adlandırılır.

Tablo 1.1. Başlıca birincil radyoaktif çekirdekler (IAEA, 1989)

Çekirdek	Yarı Ömür (yıl)	Yayılan Radyasyon
²³² Th	1,4x10 ¹⁰	α
²³⁸ U	4,5x10 ⁹	α
²³⁵ U	7,0x10 ⁸	α,γ
⁴⁰ K	1,3x10 ⁹	β, γ
⁸⁷ Rb	4,7x10 ¹⁰	β

Tablo1.2. Kozmik radyoaktif çekirdekler (IAEA, 1989)

Çekirdek	Yarı Ömür	Yayılan Radyasyon
^3H	12,4 (yıl)	β
^7Be	53 (gün)	γ
^{10}Be	$2,7 \times 10^6$ (yıl)	β
^{14}C	5730 (yıl)	β
^{35}S	88 (gün)	β
^{36}Cl	$3,0 \times 10^{15}$ (yıl)	β
^{39}Ar	269 (yıl)	β

Tablo 1.3. Bazı yapay radyoaktif çekirdekler (IAEA, 1989)

Çekirdek	Yarı Ömür	Yayılan Radyasyon
^{60}Co	5.3 (yıl)	β, γ
^{65}Zn	244 (gün)	γ
^{90}Sr	29 (yıl)	β
^{90}Y	64 (saat)	β
^{125}I	60 (gün)	X
^{134}Cs	2.1(yıl)	β, γ
^{137}Cs	30(yıl)	β, γ
^{239}Pu	2.4×10^2 (yıl)	α, γ
^{241}Am	432 (yıl)	α, γ

Tablo 1.4. Doğada bilinen dört radyoaktif seri

Seri Adı	Son Çekirdek	Ana Çekirdek	Yarı Ömür(yıl)
Toryum	$^{208}_{82}\text{Pb}$	$^{232}_{90}\text{Th}$	$1,41 \times 10^{10}$
Neptünyum	$^{209}_{83}\text{Bi}$	$^{237}_{93}\text{Np}$	$2,14 \times 10^6$
Uranyum	$^{206}_{82}\text{Pb}$	$^{238}_{92}\text{U}$	$4,47 \times 10^9$
Aktinyum	$^{207}_{82}\text{Pb}$	$^{235}_{92}\text{U}$	$7,04 \times 10^8$

1.3. Radyasyon Çeşitleri

Doğal ya da yapay radyoaktif çekirdeklerin kararlı yapıya geçebilmek için dışarı saldıkları hızlı parçacıklar ve elektromagnetik dalga şeklinde taşınan fazla enerjileri radyasyon olarak adlandırılır. Radyasyonu temel olarak iki şekilde sınıflandırabiliriz. Bunlar iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyonlardır. İyonlaştırıcı radyasyon, etkileştiği maddelerde yüklü parçacıklar (iyonlar) oluşturabilen radyasyon demektir. İyon oluşumu yani iyonizasyon olayı herhangi bir maddede meydana gelebileceği gibi insanlar dahil tüm canlılarda da oluşabilir. O halde iyonlaştırıcı radyasyonlar, önlem alınmadığı takdirde insanlar için zararlı olabilecek radyasyon çeşididir. İyonlaştırıcı radyasyonlar; parçacık ve dalga tipi olmak üzere iki kısımda incelenebilir. Parçacık radyasyonu; belli bir kütle ve enerjiye sahip çok hızlı hareket eden küçük parçacıkları ifade eder. Dalga tipi radyasyon; belli bir enerjiye sahiptir ancak kütsüz radyasyon çeşididir. Dalga tipi radyasyonlar, titreşim yaparak ilerleyen elektrik ve magnetik enerji dalgaları gibidir (www.taek.gov.tr/ogrenci/r02.htm, 2008).

Başlıca beş çeşit iyonlaştırıcı radyasyon vardır. Bunlar; alfa parçacıkları, beta parçacıkları, X ışınları, gama ışınları ve nötronlardır.

1.3.1. Alfa Parçacıkları

Alfa parçacığı, iki proton ve iki nötrondan oluşmuş bir helyum (${}^4_2\text{He}$) çekirdeğidir. Alfa parçacıkları, daha çok tabiatta oluşmuş ve atom ağırlıkları büyük olan polonyum, toryum, radyum ve uranyum gibi doğal radyoaktif izotoplardan yayınlanırlar. Büyük kütleleri nedeniyle çevrelerindeki maddeyi geçerken hızla soğurulduklarından kısa erişimlidirler. İnce bir kağıt, her çeşit kumaş ve insan derisi alfa parçacıklarını soğurmaya yeterlidir. Fakat yüksek iyonlaştırıcı olma özelliklerinden dolayı, bu ışınlar tehlikelidir. Solunum ve sindirim sistemlerine herhangi bir yolla girdiklerinde zararlı etkileri çok büyük olur.

1.3.2. Beta Parçacıkları

Beta parçacıkları, bir elementin çekirdeğindeki proton veya nötronların fazlalığından dolayı çekirdeğin yayınladığı yüksek enerjili elektronlardır. Çekirdekdeki enerji fazlalığı

proton fazlalığından meydana geliyorsa β^+ , nötron fazlalığından meydana geliyorsa β^- yayınlanır. Bu ışınların yüksek enerjili olanları bile birkaç milimetre kalınlığındaki metal levha ile durdurulabilir. Beta ışıması yapan radyoaktif çekirdeklere örnek olarak; Potasyum (K-40), Stronsiyum (Sr-90) ve Karbon (C-14) gösterilebilir.

1.3.3. Gama Işınları

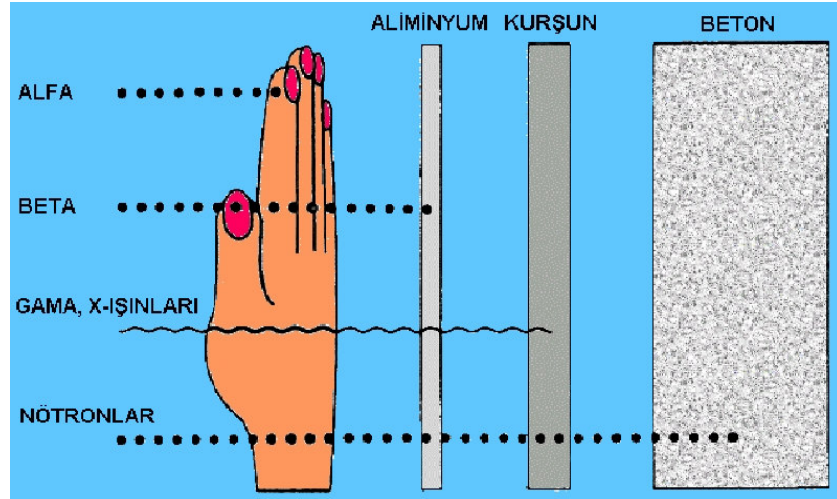
Gama ışınları, yüksek enerjili fotonlardan oluşan elektromagnetik dalgalar olup, dalgalar halinde yayıldıklarından giricilikleri daha fazladır. Elektrik olarak yüksüz ve kütleleri yoktur. Gama yayınlanması çoğunlukla alfa ve beta bozunmasından sonra olur, çekirdeğin yapısını değiştirmez. Örneğin havada birkaç yüz metre, kurşunda 8-10cm gittikleri halde yine de tümüyle soğurulamazlar. Gama saçan maddelere birkaç örnek olarak; Sezyum (Cs-137), Kripton (Kr-88), Kobalt (Co-60) verilebilir.

1.3.4. X Işınları

X ışınları, görünür ışık dalgaları ve mor ötesi ışınları gibi dalga şeklindedir. Bir atoma dışarıdan gelen veya gönderilen yüksek enerjili elektronlar o atomun ilk halkalarından elektronlar koparılır. Atomdan kopan bu elektronun yerine daha yüksek seviyelerden (üst halkalardan) elektronlar atlayarak kopan elektronun yerindeki boşluğu doldururlar. Bu sırada ortaya çıkan enerji fazlalığı x-ışını şeklinde dışarı salınır. Çekirdek içerisinde bulunan protonlardan bir tanesi hareketi esnasında atomun ilk halkalarındaki elektronu yakalar ve nötrleşir. Yakalanan bu elektronun halkasındaki boşalan yer diğer bir halkadan bir elektron atlamasıyla x-ışını meydana gelebilir.

1.3.5. Nötronlar

Nötronlar yüksüz parçacıklardır ve bu özelliklerinden ötürü herhangi bir madde içerisine kolaylıkla nüfuz edebilirler. Doğrudan bir iyonlaşmaya sebep olmazlar. Ancak atomlarla etkileşmeleri, iyonlaşmaya neden olan alfa, beta, gama veya x ışınlarının ortaya çıkmasına neden olabilir. Nötronlar sadece kalın beton, su veya parafin kütleleri ile durdurulabilirler.



Şekil 1.1. Radyasyon türlerinin giricilik özellikleri

1.4. Radyoaktif Bozunma Türleri

Yapılan incelemeler neticesinde radyoaktif ışınların tatbik edilen magnetik alan içerisindeki davranışlarına göre üç çeşit olduğunu göstermiştir.

1.4.1. Alfa Bozunması

Daha çok atom numarası 83'ten büyük olan elementlerde gözlenen bir bozunma olayıdır. Alfa ışınları esas itibarıyla Helyum çekirdeği olup enerjileri 4–9 MeV arasında değişen pozitif yüklü parçacıklardır. Bir başka deyişle her alfa parçacığı, 2 proton ve 2 nötrondan oluşmaktadır.

Alfa bozunması işleminde ana çekirdek iki proton ve iki nötron kaybederek kütlesi dört birim, yükü ise iki birim azalır. Bu işlem;



Şeklinde gösterilebilir. Burada, X ana çekirdeği, Y ürün çekirdeği, A çekirdeğin kütle numarasını, Z atom numarasını göstermektedir.

E_i ve E_s sistemin bozunmadan önceki ve sonraki toplam enerjileri olsun. Enerjinin korunumu yasasından,

$$E_i = E_s \quad (1.2)$$

olmalıdır. Sistemin bozunma enerjisi (Q);

$$Q = [M(A,Z) - M_Y(A-4,Z-2) - M_{\alpha} (4,2)] c^2 \quad (1.3)$$

bağıntısı ile verilir. Burada $M(A, Z)$ bozunan, $M_Y(A-4, Z-2)$ ürün çekirdeği, $M_{\alpha} (4, 2)$ ise α parçacığının kütlesidir. Kendiliğinden bozunmanın olabilmesi için $Q > 0$ olması gereklidir. Ayrıca Q değeri kinetik enerjideki artışa da eşit olduğundan (1.3) ifadesi,

$$Q = K_{\dot{U}} + K_{\alpha} \quad (1.4)$$

şeklinde olup sırasıyla $K_{\dot{U}}$ ve K_{α} ürün çekirdeğinin ve α parçacığının kinetik enerjileridir.

Enerji ve momentumun korunumundan yola çıkarak, A ana çekirdeğinin, A-4 ürün çekirdeğinin kütle numaraları olmak üzere α parçacıklarının kinetik enerjileri için,

$$K_{\alpha} = \frac{M}{M + m} Q \quad (1.5)$$

ifadesini yazabiliriz. Büyük A'larda (A-4)/A ifadesi 1'e yakın olacağından α -parçacığı Q bozunma enerjisinin büyük bir kısmını alacaktır.

1.4.2. Beta Bozunması

Beta ışınları, kararsız atom çekirdeklerinden yayınlanan yüksek enerjili elektronlardır. Kararsız çekirdeklerde protonlar ve nötronlar arasındaki çekirdek kuvvetleri daha yakından incelendiğinde enerji fazlalığından kurtulmak için nükleonlarda bazı değişiklikler olduğu göze çarpar. Bu değişiklikler protonların nötronlara, nötronların da protonlara dönüşmesi şeklindedir. Çekirdek fazla proton veya nötronundan bir protonu nötrona veya bir nötronu protona dönüştürerek kurtulabilir. Bu işlem üç farklı şekilde gerçekleşebilir. Her üçünde de elektrik yükünün korunabilmesi için başka bir yüklü parçacığın bulunması gerekir.

β^- Bozunumu : β^- yayınlanması işleminde elektrik yükünün korunumu bir nötronun bir protona dönüşmesini, yani atom numarasının bir artmasını gerektirir. Bozunma denklemi,



şeklindedir. Bu ifade, nötronun bozularak bir proton, bir elektron ve bir antinötrino parçacığına dönüştüğünü göstermektedir. Nötrinin elektrik yükü olmadığından, varlığı diğer son parçacıkların kimliğini etkilemez. Bozunma enerjisi,

$$Q_{\beta^-} = [M(A,Z) - M(A,Z+1)] c^2 \quad (1.7)$$

şeklinde yazılır. K_0 kinetik enerjideki net artış olmak üzere,

$$K_0 = K_{\beta^-} + K_X + K_Y = (K_{\beta^-})_{\max} + K_\gamma \quad (1.8)$$

şeklindedir ve K_0 , bozunma enerjisine eşittir.

β^+ Bozunumu: Bu işlem pozitron bozunumu olarak adlandırılır ve pozitif yüklü bir elektron yayınlanır. Böylece çekirdeğin atom numarası bir azalır. Bozunma denklemi,



şeklindedir. Bozunma enerjisi,

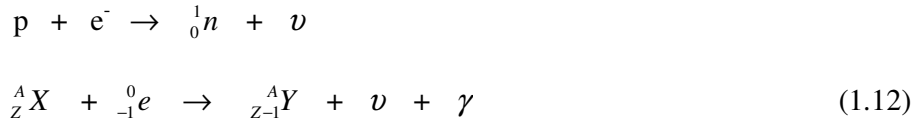
$$Q_{\beta^+} = [M(A,Z) - M(A,Z-1)] c^2 = 2 m_e c^2 + K_0 \quad (1.10)$$

dır. Burada K_0 ,

$$K_0 = K_{\beta^+} + K_X + K_Y = (K_{\beta^+})_{\max} + K_\gamma \quad (1.11)$$

olarak kinetik enerji artışlarının toplamıdır. Bu bozunmanın olabilmesi için $Q > 0$ olması gerekir. Bu şart ancak, ana çekirdek ile ürün çekirdeğin durgun kütle farklarının iki elektronun durgun kütlesinden büyük olduğu durumlarda sağlanır.

Elektron Yakalama: Bu işlemde ise çekirdek etrafında en yakın yörüngede dönen elektron çekirdek tarafından yakalanır ve bir proton bir nötrona dönüşür. Bozunma denklemi,



şeklindedir. Bu durumda bozunma enerjisi,

$$Q = [M(A,Z) - M(A,Z-1)] c^2 = K_0 \quad (1.13)$$

olur. Burada K_0 ,

$$K_0 = K_\nu + K_\gamma$$

şeklindedir. Burada $M(A, Z-1)$ oluşan çekirdeğin kütlesi, K_ν ve K_γ saçılan nötrino ve gama ışınlarının kinetik enerjileridir.

1.4.3. Gama Bozunması

Radyoaktif bir çekirdek alfa veya beta yayınlamasından sonra çoğu zaman kararlı durumda kalmayabilir. Bazen radyoaktif parçalanmadan sonra geride kalan çekirdek uyarılmış halde kalabilir. Bu çekirdek, oluştuğundan çok kısa bir zaman sonra bir veya birkaç gama ışını yayınlarak üzerindeki fazla enerjiyi atar ve kararlı hale gelir. Çekirdek ne kadar yüksek enerji seviyesinde uyarılmış olarak kalmışsa, çıkacak gama ışınları o kadar yüksek enerjili olacaklardır.

Yüksek bir enerji durumundan; (E_i), daha düşük bir enerji durumuna; (E_s) geçen bir çekirdekte yayınlanan gama ışınının enerjisi,

$$E = h\nu = E_i - E_s \quad (1.14)$$

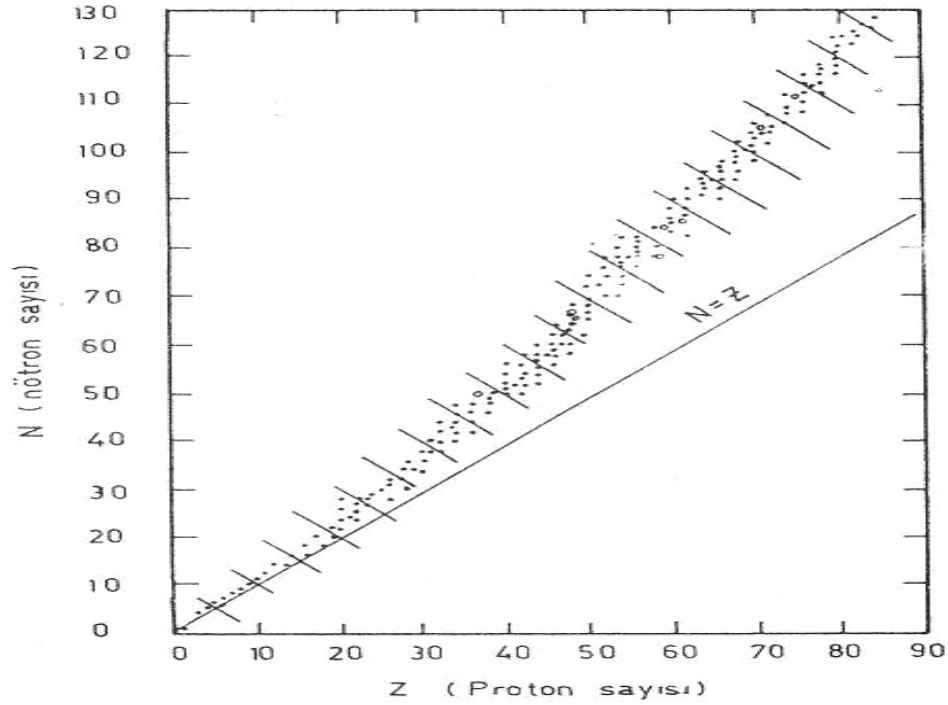
bağıntısı ile verilir. Alfa ve beta bozunmasından farklı olarak, gama bozunması çekirdeğin atom veya kütle numarasında bir değişikliğe sebep olmaz. Alfa ve beta yayınlayıcılara kıyasla gama yayınlayıcılar çok küçük yarı-ömlürlere sahiptirler.

1.5. Radyoaktif Bozunma Kanunu

Kararsız atomların fazla enerjilerini vererek kararlı hale dönüşmek için kendilerini yeniden düzenlemeleri işlemine radyoaktif bozunma adı verilir.

Z değerleri $Z = 92$ 'ye (uranyum) kadar olan çekirdekler doğal olarak bulunmasına karşın, bu çekirdeklerin tümü kararlı değildir. Atom numarası küçük Z 'li çekirdekler, eşit sayıda nötron ve protona ($N = Z$) sahip olma eğilimi gösterirler. Ancak Z arttıkça $N > Z$ olacak şekilde artar. Şekil 1.2'de kararlılık doğrusuna komşu çekirdekler gösterilmiştir. Bu şekle göre kabaca, küçük Z değerleri için $N \cong Z$, büyük Z değerleri için ise $N \cong 1.6 Z$ 'dir.

Ağır çekirdeklerde nötron sayısının proton sayısını aşmasının nedeni çekirdek kuvvetinin kısa ve Coulomb kuvvetinin uzun menzilli olmasıdır. Protonlar çekirdek içerisindeki tüm diğer protonlarla Coulomb kuvvetleri yoluyla etkileşirken, nükleonlar komşuları ile çoğunlukla çekirdek kuvvetleri ile etkileşirler. Bu nedenle ağır çekirdekler için itici Coulomb kuvveti daha önemli duruma gelir ve çekirdek, enerji bağlamında proton sayısına eşit nötrona sahip olma eğilimi göstermez.



Şekil 1.2. Nötron sayısına karşılık proton sayısı grafiği (Krane, 2001)

Yaklaşık olarak 250 kararlı izotop bulunmaktadır. Kararlı izotopların sayısı Z 'nin ve N 'nin tek yada çift olmasına göre değişir. Kararlı izotopların yaklaşık %60'ının hem Z hem de N sayıları çift; %20'sinin Z sayıları çift N sayıları tek; %20'sinin de hem Z hem N sayıları tektir. Yalnızca 5 kararlı izotopun hem Z hem de N sayıları tektir.

Belli bir çeşit radyoaktif atomların kendi kendine parçalanması zamandan bağımsızdır. Tamamıyla tesadüfi bir karakter gösterir. Parçalanma sayısı, sadece mevcut atom sayısı ile orantılıdır ve zaman birimindeki ortalama bozunma sayısından bahsedilir (Arya, 1999).

Eğer bir t anında N radyoaktif çekirdek varsa ve numuneye yeni çekirdekler ilave edilmiyorsa dt süresi içinde bozunan dN çekirdek sayısı, N ile orantılıdır.

$$\lambda = - \frac{(dN / dt)}{N} \quad (1.15)$$

Burada λ 'ya bozunma veya parçalanma sabiti adı verilir.. Denklem 1.15'in sağ tarafı bir atomun birim zamanda bozunma olasılığıdır. Denklem 1.15'in integrali alınır,

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad (1.16)$$

üstel radyoaktif bozunma kanunu elde edilir. Burada, N_0 integrasyon sabiti, $t=0$ 'da henüz bozunmamış çekirdeklerin sayısıdır. Yarı-ömür $t_{1/2}$, çekirdeğin yarısının bozunması için gerekli süreyi göstermektedir. Denklem 1.16'da $N = N_0 / 2$ konursa,

$$t_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda} \quad (1.17)$$

bulunur. τ ortalama ömür de bir çekirdeğin bozununcaya kadar geçirdiği ortalama süre olarak tanımlanır. t süresi içinde bozunmadan kalan çekirdeklerin sayısı $N(t)$ 'dir ve t ile $t + dt$ aralığında bozunan parçacıkların sayısı $|dN / dt| dt$ 'dir. Bu durumda ortalama ömür,

$$\tau = \frac{\int_0^{\infty} t |dN / dt| dt}{\int_0^{\infty} |dN / dt| dt} \quad (1.18)$$

olur. Paydadaki terim toplam bozunma sayısıdır. İntegral alınırsa,

$$\tau = \frac{1}{\lambda} \quad (1.19)$$

bulunur. Denklem 1.16 ile ancak t süre sonra bozunmamış belirli bir türdeki çekirdeklerin sayısı kestirilebilir. Bir numunedeki bozunmamış çekirdeklerin sayısını ölçmek yerine t_1 ve t_2 arasındaki bozunumların sayısını ölçmek (yayınlanan radyasyonları gözleyerek) daha kolaydır. Eğer t ve $t + \Delta t$ arasındaki çekirdeklerin sayısındaki değişiklik ΔN ile gösterilirse,

$$|\Delta N| = N(t) - N(t + \Delta t) = N_0 e^{-\lambda t} (1 - e^{-\lambda \Delta t}) \quad (1.20)$$

dir. Sayımın yapıldığı Δt aralığı λ^{-1} 'den çok daha küçük ise (yani $\Delta t \ll t_{1/2}$) ikinci üstel ifadenin açılımındaki yüksek mertebeli terimleri ihmal edilebilir ve

$$|\Delta N| = \lambda N_0 e^{-\lambda t} \Delta t \quad (1.21)$$

sonsuz küçük limitinde,

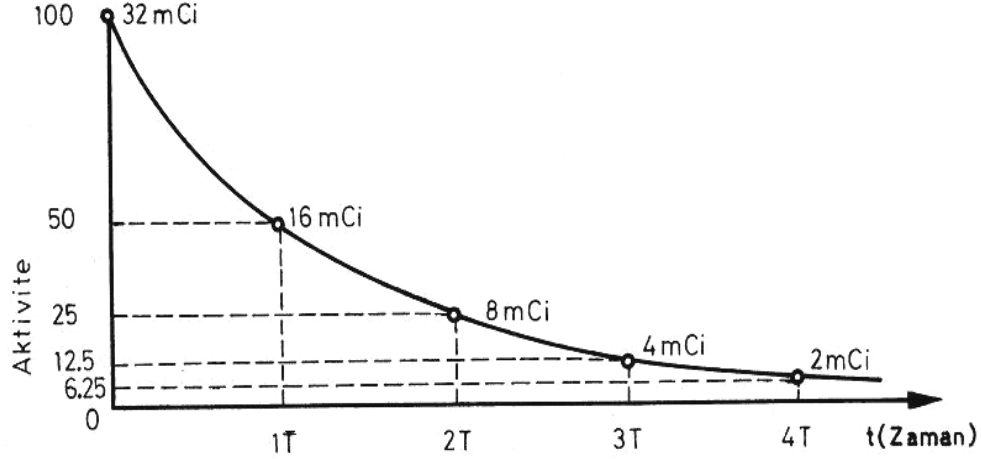
$$\left| \frac{dN}{dt} \right| = \lambda N_0 e^{-\lambda t} \quad (1.22)$$

elde edilir. Aktiflik, numunede birim zamanda bozunma sayısı, yani bozunma hızı olarak tanımlanır.

$$A(t) \equiv \lambda N(t) = A_0 e^{-\lambda t} \quad (1.23)$$

$t = 0$ 'daki başlangıç aktifliği $A_0 = \lambda N_0$ 'dır (Krane, 2001).

Radyoaktif bir numunenin aktifliği numunede birim zamandaki bozunma sayısıdır.



Şekil 1.3. Aktifliğin zamana göre değişimi

Denklem 1.23 aktifliğin zamanla üstel olarak azaldığını göstermektedir. Böylece, Δt kısa zaman aralıkları içindeki bozunmalar ard arda sayılarak aktiflik zamanın fonksiyonu olarak ölçülebilir. Bu ölçme yöntemi, çok kısa ve çok uzun yarı-ömürler için yararlı değildir. Yarı-ömür, numunenin bozulması fark edilebilecek kadar kısa olmalıdır. İnsan ömründen büyük yarı-ömürler için aktiflikte kayda değer herhangi bir azalma gözlenmez. Böyle durumlar için dN/dt 'nin ölçülmesi (bu bozunmanın aktifliğidir) ve atom sayısının tespit edilmesiyle (kimyasal yapısı kesin olarak bilinen numunenin tartılmasıyla) denklem 1.15 doğrudan doğruya kullanılabilir.

1.6. Ardışık Bozunma Kanunu

Radyoaktif bir çekirdek başka bir ürüne bozunduğunda eğer bu ürün de radyoaktif ise o da başka bir çekirdeğe bozunur. Herhangi bir t anında, λ_1 bozunma katsayısıyla ürüne bozunacak ana çekirdeğin atomlarının sayısı N_1 , ürün çekirdeğin atomlarının sayısı N_2 ile gösterilirse, bunlar da λ_2 bozunma katsayısı ile başka bir elemente bozunacaktır. Bu kararlı çekirdekteki atomların sayısı ise N_3 olduğu ve $t=0$ iken $N_1 = N_{10}$,

$N_2 = N_{20}, N_3 = N_{30}$ olduğu farz edilsin. Aktifliğin saniyede bozunma sayısı şeklindeki tanımından;

$$\frac{dN_1}{dt} = -\lambda_1 N_1 \quad (1.24)$$

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2 \quad (1.25)$$

$$\frac{dN_3}{dt} = \lambda_2 N_2 \quad (1.26)$$

1.24 bağıntısı N_1 'in bozunma hızını, 1.25 bağıntısı N_2 tipindeki atomların $\lambda_1 N_1$ hızıyla üretildiklerini ve $\lambda_2 N_2$ hızıyla gözden kaybolduklarını göstermektedir. 1.26 bağıntısı ise N_3 atomlarının üretim hızını verir.

1.24 denkleminde $t = 0$ da $N_1 = N_{10}$ integrali alınırsa

$$N_1 = N_{10} e^{-\lambda_1 t} \quad (1.27)$$

elde edilir. N_1 'in bu değeri denklem 1.25'de yerine konursa

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_{10} e^{-\lambda_1 t} - \lambda_2 N_2 \quad (1.28)$$

Bu bağıntının iki tarafı $e^{\lambda_2 t}$ ile çarpılır ve gerekli işlemler yapılırsa

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) \quad (1.29)$$

Benzer şekilde 1.26 bağıntısı $t=0$ 'da $N_3 = N_{30} = 0$ şartıyla çözümlerse

$$N_3 = N_{10} \left(1 + \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_2 t} - \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_1 t} \right) \quad (1.30)$$

elde edilir ve bu bağıntıya ardışık bozunma bağıntısı adı verilir.

1.7. Radyasyon Dozu ve Birimleri

Radyasyon dozu, hedef kütle tarafından belli bir sürede soğurulan veya alınan radyasyon miktarıdır.

Uluslararası Radyasyon Birimleri Komitesi (ICRU) radyasyon çalışmalarında kullanılan kavramlara özel birimler tanımlamıştır. Bunlar, aktivite için Curie, ışınlanma dozu için Röntgen, soğurulma dozu için rad ve doz eşdeğeri için ise rem olarak belirlenmiştir. Geçen yıllar sonucunda bu birimler, tüm dünyada kullanılan birimlerin aynı olması düşüncesiyle yerini Uluslararası Birimler Sistemi (SI)'ne bırakmıştır. Aynı kavramlar için SI birimleri sırasıyla; Becquerel, Coulomb/kg, Gray, Sievert olarak seçilmiştir. Tablo 1.5'de radyasyon birimleri ve doz hesaplamalarında kullanılan özel birimler ile SI birimleri arasında ilişki toplu halde verilmiştir. Bu çalışmamızda da SI birim sistemi esas alınmıştır.

Tablo 1.5. Radyasyon terimleri ve özel birimler ile SI birimleri arasındaki ilişki

TERİM	BİRİM		DÖNÜŞÜM
	ESKİ	YENİ	
AKTİVİTE	Curie (Ci) ; 3.7×10^{10} parçalanma / 1 saniye	Becquerel (Bq); 1 parçalanma/1sn	$1 \text{Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$ $1 \text{Ci} = 37 \text{GBq}$
İŞINLANMA DOZU	Röntgen (R) ; normal hava şartlarında havanın 1kg'ında 2.58×10^{-4} Coulomb'luk elektrik yükü değerinde (+) ve (-) iyonlar oluşturan X veya γ radyasyonu miktarıdır.	Coulomb / kilogram (C/kg) ; normal hava şartlarında havanın 1kg'ında 1Coulomb'luk elektrik yükü değerinde (+) ve (-) iyonlar oluşturan X veya γ radyasyonu miktarıdır.	$1 \text{C/kg} = 3876 \text{R}$ $1 \text{R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$
SOĞURULMUŞ DOZ	Radiation doze (rad); ışınlanan maddenin 1 kg'ında 10^{-2} Joule'lük enerji soğurulması meydana getiren herhangi bir radyasyon miktarıdır.	Gray (Gy) ; ışınlanan maddenin 1 kg'ında 1 Joule'lük enerji soğurulması meydana getiren herhangi bir radyasyon miktarıdır.	$1 \text{Gy} = 100 \text{rad}$ $1 \text{rad} = 0.01 \text{Gy}$
DOZ EŞDEĞERİ	Röntgen equivalent man (rem); 1 Röntgenlik X veya γ ışını ile aynı biyolojik etkiyi oluşturan herhangi bir radyasyon miktarıdır. $\text{rem} = (\text{rad}) \times (W_R)^*$	Sievert (Sv) ; 1 Gy'lik X ve γ ışını ile aynı biyolojik etkiyi meydana getiren herhangi bir radyasyon miktarıdır. $\text{Sv} = (\text{Gy}) \times (W_R)^*$	$1 \text{Sv} = 100 \text{rem}$ $1 \text{rem} = 0.01 \text{Sv}$

*WR, "Radyasyon ağırlık faktörü" olarak adlandırılır. Farklı radyasyonların biyolojik etkilerindeki farklılıkları hesaba katmak ve aynı zamanda radyasyondan korunma hesaplarını basitleştirmek için kullanılan bir faktördür.

1.8. Radyasyon Kaynakları

Doğal radyasyonların temel seviyeleri bölgenin jeolojik ve coğrafik yapısına bağlı olarak değişiklik gösterir. Bu bağlamda, toprak, su ve bitkilerde biriken radyoaktif maddeler yerel ve bölgesel radyoaktiviteyi önemli oranda değiştirmektedir. Buna dünyanın yapısında bulunan radyoaktif elementler, kozmik ışınlar, nükleer denemeler ve gelişen teknolojik ürünlerin kullanımı neden olmaktadır. Dünyada bir insanın yıllık olarak aldığı radyasyon dozunun yaklaşık %82'si doğal kaynaklardan ileri gelmektedir. Bu da kişi başına yaklaşık 2.4 mSv'lik doza eşdeğerdir (IAEA, 1996). Doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozunun dünya ortalaması 2.7 mSv/yıl'dır. Bu dozun radyasyon kaynaklarına göre dağılımı Tablo 1.6'da verilmiştir.

Tablo 1.6. Doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından gelen radyasyon dozlarının oransal değeri (IAEA,1990)

Kaynak	Eşdeğer Doz	Kaynak	Eşdeğer Doz
Kozmik	0.39 mSv	Serpinti	0.007 mSv
Gama	0.46 mSv	Mesleki	0.002 mSv
İç	0.23 mSv	Atıklar	0.001 mSv
Radon	1.30 mSv	Tüketici Ürünleri	0.0005 mSv
Tıbbi	0.30 mSv		

Doğada var olan radyonüklitlerin sayısı 340 civarındadır. Bunların 70 tanesi bilinen ağır elementler içinde yer almaktadır. Ağır elementlerden oluşan doğal radyoaktif izotoplar; uranyum, toryum ve aktinyum olmak üzere üç seri altında toplanırlar. Ayrıca dördüncü bir seri olan neptünyum serisinin de ^{241}Pu orijinli olduğu ve bir zamanlar mevcut olduğu zannedilmektedir. Neptünyum ailesinin halen bilinen tek elementi ^{209}Bi olup yarı ömrü $2,7.10^{17}$ yıldır (IAEA,1996).

1.8.1. Sulardaki Doğal Radyoaktiflik

Sulardaki radyoaktiflik önemli ölçüde su yataklarındaki doğal radyoizotoplardan, radyoaktif yağışlardan ve nükleer kuruluşlardan kaynaklanmaktadır. Bu radyoaktiflik düzeyi bazen sağlık açısından tehlike oluşturabilecek boyutlara ulaşabilmektedir (ICRP,1977). Sular doğada toprak ve kayalar ile temas halindedirler. Bu nedenle toprak ve kayaların içerisindeki bir takım element ve minerallerin suya karışması söz konusu olabilir. Toprak ve kayalarla temas haline geçmiş sular daha sonra su depolarında ve barajlarda toplanarak insanlara ulaşır. Sularda bulunabilecek Sr, Ba, Cs, Co gibi elementlerin radyoaktif izotopları insan sağlığı için tehlikeli olabilir. Böyle bir durumda su içerisinde yapılan analizler müsaade edilen sınırları aşıyor veya zorluyorsa, suyun radyoaktiflik bakımından kirli olduğu söylenir.

Yeraltı suları, yüzey sularından daha radyoaktiftir. Buna, temas ettikleri radyoaktif kütleler ya da mineraller neden olmaktadır. Sular farklı miktarlarda ^{235}U ve ^{232}Th serilerinden olan radyoaktif çekirdekleri içerebilirler (Duenas vd., 1983). Sularda uranyum serisine dahil olan ^{226}Ra , ^{223}Ra , ve ^{222}Rn izotoplarının ve toryum serisinden ^{224}Ra ve ^{228}Ra

gibi radyoizotopların bulunma olasılıkları oldukça yüksektir (Canbazoglu, 1998). Sularda en fazla uranyum ailesinden radyum ve radon bulunmaktadır (LUCAS, 1991).

İnsan vücudunda ^{226}Ra izotopunun birikimi içme ve kullanma sularından kaynaklanmaktadır. Genel bir yaklaşım olarak, şehir dağıtım şebekesine gelen sular yeraltından kaynaklanıyorsa, ^{226}Ra konsantrasyonu 0.037 Bq/L, yüzey suları ile besleniyorsa dünya ortalaması 0.0037 Bq/L'dir. Uranyum miktarı yüksek doğal radyoaktif çevre göz önüne alındığında yer altı sularının toprak, kaya ve radyum içeren maddeler ile etkileşimi sonucu radyum yer altı sularına karışır. Sularda ^{226}Ra ve ^{225}Ra miktarı su içerisindeki uranyum ve toryum dağılımına, radyoizotopların yarı ömrüne ve suyun bulunduğu ortamın jeokimyasal yapısına bağlıdır (Doğan ve Soylak, 2000).

Sularda bulunan radyum, insanın içsel kontaminasyonunda oldukça önemli yer tutar. Radyum kimyasal bakımdan kalsiyuma benzer. İnsan vücudu kalsiyumun %99'unu kemiklere dağıtır. Dolayısıyla radyum kalsiyumu izleyerek kemik ve kemik iliğinde toplanır. Sindirim yoluyla alınan radyumun %70-90'ı kemiklerde, geriye kalanı ise yumuşak dokuda toplanır (UNCEAR, 1993).

İçme ve kullanım sularına etki eden bir başka kirletici de radyoaktif yağışlardır. Yapılan nükleer silah denemeleri ile ^{90}Sr ve ^{137}Cs gibi radyoaktif elementler atmosfere yayılarak yağmur suları içerisinde yeryüzüne inerek çevrenin ve yüzey sularının kirlenmesine yol açar (Fry ve Britcher, 1987).

1.8.2. Topraktaki Doğal Radyoaktiflik

Toprakta özellikle ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K radyoizotopları bulunur. Bunlar daha çok volkanik, granit ve kaya tuzlarında bulunurlar. Bu kayalar doğa şartlarında ufalanarak çok küçük parçalar halinde yağmur veya akıntı sularıyla toprağa karışırlar ve böylece toprağın doğal radyoaktiflik seviyesini artırmış olurlar (Karahana, 1997)

Tablo 1.7. Kayalardaki radyoçekerdeklerin yıllık radyasyon dozları (Baykut vd., 1987)

Kaya Tipi	Çekirdek	Radyasyon Dozu (mrad/yıl)
Volkanik Kayalar	²²⁶ Ra	24
	²³⁵ U	26
	²³² Th	37
	⁴⁰ K	35
Kumtaşı	²²⁶ Ra	13
	²³⁵ U	7.7
	²³² Th	18
	⁴⁰ K	5
Kireçtaşı	²²⁶ Ra	7.7
	²³⁵ U	8.4
	²³² Th	4
	⁴⁰ K	4
Kiltaşı	²²⁶ Ra	20
	²³⁵ U	7.7
	²³² Th	31
	⁴⁰ K	36

1.9. Radyasyonun İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri

Radyasyonun insan sağlığı üzerinde çok uzun yıllardan beri de biline gelen birçok zararlı etkisi vardır. Bu etkiler; radyasyon yanıkları, kalıtsal bozukluklar, doğal yaşam süresinin kısılması ve kanser başta olmak üzere radyasyon kaynaklı hastalıklardır (ICRP, 1993). Hatta çok büyük miktarlarda radyasyona maruz kalınması halinde ani ölümlere bile rastlamak mümkündür.

Vücuda giren radyasyon, atom ve molekülleri uyarak, vücut içinde çeşitli iyonlaşmalara neden olur. Bu fiziksel etki süratle gelişir ve yaklaşık 10^{-15} s' den daha kısa sürer. Bu etkiyi, insan vücudunda meydana gelen ve 10^{-6} s süren kimyasal süreç takip eder. Bu iki basamağı takiben biyolojik değişimi içeren ileri etkileşmeler başlar. Sonuç olarak, vücuda girmiş olan radyasyon 1s'den daha kısa bir sürede atom ve molekülleri uyarır. Böylece vücutta fiziksel, kimyasal ve biyolojik değişimlerin oluşmasına neden olur. Vücuda giren tahrip edici radyasyonun genetik etkiler oluşturması ve bundan dolayı bir takım rahatsızlıkların görülmesi için uzun bir süre geçmesi gerekir. Radyasyona bağlı oluşan hastalıklar için gizli bir karakteristik süreç vardır. Örneğin bu süreç, kemik kanseri

ve lösemi için en az 2 yıl gibi bir gizlilik süreci gösterirken, vücutta bir tümör kitlesinin oluşumu için bu süreç 10 yıla kadar çıkabilir (Cohen, 1996).

İyonlaştırıcı radyasyonların biyolojik etkileri yüzeysel olabilir, deri ve saçlara etki eder veya bedenin derinliklerinde olabilir, kanda düzensizlik, tümörler kemik iliğinde hasar yaparlar. İyonlaştırıcı radyasyonun sağlığa ne kadar zararlı olduğu ve alınan doz miktarlarına bağlı olarak oluşacak zararlı etkilerin ne olduğu konusu halk sağlığı açısından daima önemli bir konudur. Eğer alınan doz çok fazla ise (örneğin 1Gy'den fazla), birkaç saatten başlayıp bir haftaya kadar vücutta biyolojik etkiler görülür. Bu tür kısa süreli etkilere akut etkiler denir ve bunlar doğal radyasyondan alınan dozun dışındaki kaynaklardan oluşur. Düşük dozlar için biyolojik etkiler, yıllarca süren bir periyottan sonra kendini gösterir ve bu tip etkilere kronik etkiler adı verilir. Düşük dozlarda alınan radyasyon zamanla insan üzerinde genetik etkilere yol açarken, yüksek dozlarda alınan radyasyon ise kısa süre içerisinde somatik etkilere neden olur (Şeker ve Çerezci, 1997).

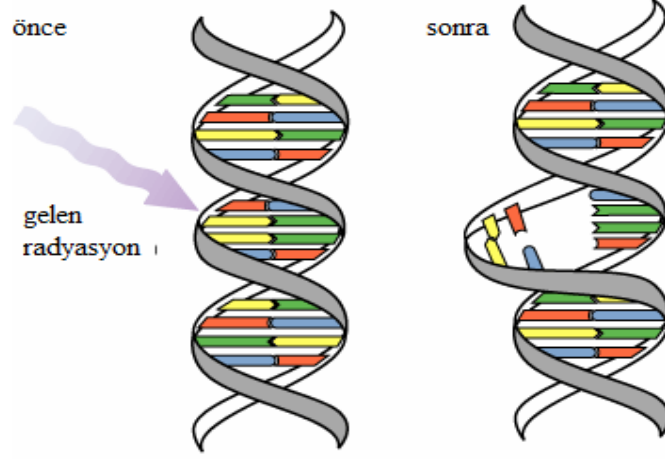
1.9.1. Somatik Etkiler

Somatik etkiler kısa süreli olarak alınan çok yüksek radyasyon dozlarının meydana getirdiği şiddetli etkilerdir. Somatik etkiler belirgin ve rastgele etkiler olmak üzere ikiye ayrılır. Belirgin etkiler alınan doz miktarına bağlı olarak değişebilir ve etkisi başlangıçta alınan doza göre değişir. Bu etki; göz bebeklerinde katarak oluşturması, erkeklerde geçici kısırlık, kadınlarda ise sürekli kısırlık şeklinde ortaya çıkar. Rastgele etkiler ise gelişigüzel olarak alınan doz miktarına bağlı olarak ortaya çıkar. Bu tür etkiler genelde kötü huylu tümörlerin oluşmasına yol açarak kanser hastalığına neden olurlar (Howe vd., 1987).

1.9.2. Genetik Etkiler

İyonlaştırıcı radyasyonunun en önemli özelliklerinden biri de canlı hücrelerinde kalıtsal bilgiyi içeren DNA molekülünde tahribat yaparak kuşaktan kuşağa aktarılabilen farklılıklar oluşturmasıdır. Bu genetik değişimler, iyonlaştırıcı radyasyonun hücreye alınmasıyla birlikte hücre çekirdeğini saran sitoplazmanın içerisinde bulunan su moleküllerinin yapısını bozmasıyla başlar. Canlıların tüm özellikleri genler tarafından belirlendiği için genlerdeki bu değişiklikler çok önem arz etmektedir. Örneğin; kalıtsal

açından üreme hücrelerinde oluşan değişiklikler büyük önemlidir. Çünkü bu değişiklikler sonraki kuşaklara aktarılabirler, böylece diğer nesiller de bu zararlı değişikliklerden etkilenmiş olurlar (Kence, 2000).

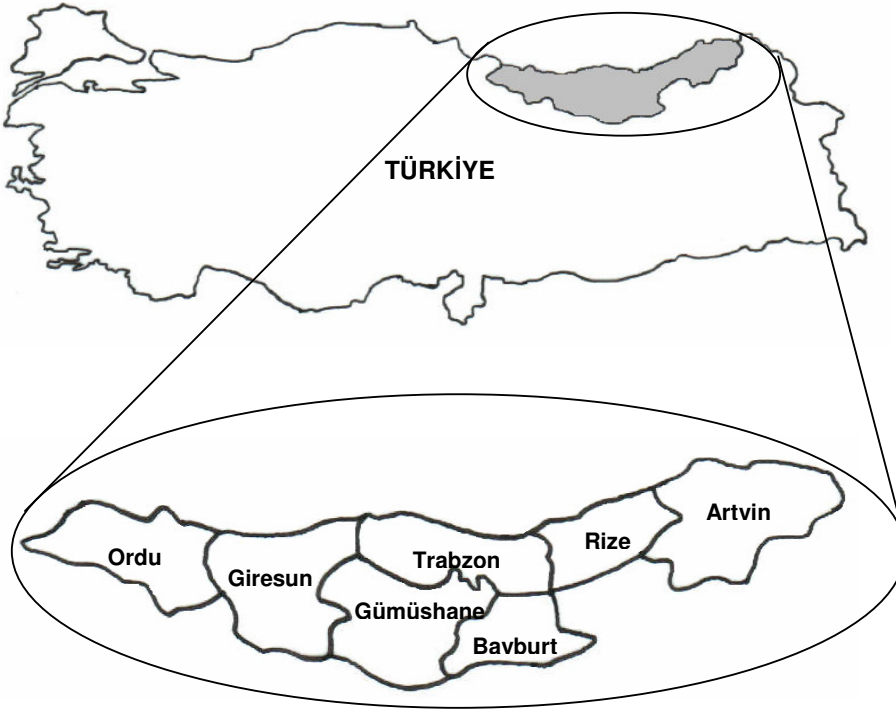


Şekil 1.4. Radyasyonun DNA zincirine verdiği zarar

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Numune Alınacak Yerlerin Belirlenmesi

Bu doktora tezi için belirlenen çalışma alanı Doğu Karadeniz Bölgesindeki 7 ildir (Artvin, Rize, Trabzon, Bayburt, Gümüşhane, Giresun ve Ordu). Türkiye Kalkınma Bankasının 2005 yılında yapmış olduğu “İçme ve Maden Suyu Sektör Araştırması” adlı araştırma projesi kapsamında sözü geçen 7 ilde belirtilen doğal kaynak ve maden suları esas alınarak ve numune alım yerlerinin mümkün olduğunca homojen bir dağılım göstermesine dikkat edilerek 53 adet doğal kaynak ve maden suyu toplanmıştır. Türkiye Kalkınma Bankasının 2005 yılında yaptığı araştırma projesinden sonra, bu projede işaret edilen bazı doğal kaynak ve maden sularının kullanılabilirliğini kaybetmiştir. Ayrıca bu bölgede yer alan ancak Türkiye Kalkınma Bankasının 2005 yılında yaptığı çalışmada gösterilmeyen bazı kaynak ve maden suları da dikkate alınmıştır. Bu nedenlerle, çalışma kapsamında numune toplanan yerler, Türkiye Kalkınma Bankasının 2005 yılında yapmış olduğu çalışmada belirtilen yerler ile bire bir uyumlu değildir.



Şekil 2.1. Çalışma alanı

Tablo 2.1. Doğal kaynak ve maden sularının alındığı yerler ve illerin nüfusları

İLLER	NUMUNELERİN ALINDIĞI YERLER	NÜFUS(2007)
ARTVİN	Murgul Küre Mahallesi	168.092
	Yusufeli Oruçlu Mevkii	
	Hopa Cumhuriyet Mahallesi	
	Borçka Hacılar Mahallesi	
	Arhavi Musazade Mahallesi	
	Merkez Şehitlik Mahallesi	
	Şavşat Ciritdüzü Maden Suyu	
RİZE	Ardeşen Ayder Yayla Suyu Armağan Köyü	316.252
	Güneysu Ulucami Mahallesi	
	Pazar Topluca Köyü	
	Merkez Hamzabey Mahallesi	
	İkizdere Şimşirli Maden Suyu	
TRABZON	Köprübaşı Kırmızısırt Mevkii	740.569
	Arsin Fındıklı Köyü	
	Akçaabat Horeften Mevkii	
	Beşikdüzü Beşikdağ Mahallesi Gözaçanlar Suyu	
	Çarşıbaşı Zeytinlik Mahallesi Kulus Suyu	
	Vakıkebir Rıdvanlı Köyü	
	Yomra Kuzdeğirmen Mevkii	
	Maçka Çatak Suyu	
	Of Çamlı Mahallesi	
	Çaykara Hadipazarı Maden Suyu	
	Şalpazarı Acısu	
	Araklı Bereketli Mevkii Acısu	
	Tonya Hırsafa Yaylası Acısu	
	Merkez Bengisu Mevkii Maden Suyu	
GÜMÜŞHANE	Kürtün Yücebelen Köyü	130.825
	Torul	
	Kelkit	
	Kale Nahiyesi	
	Yağmurdere Söğütağlı Köyü	
	Merkez Bağlarbaşı Kıran Mahallesi	
	Merkez Yeşildere Maden Suyu	
BAYBURT	Merkez Süleymaniye Çeşmesi Suyu	76.609
	Merkez Narkazan	
	Maden	
	Demirözü	
GİRESUN	Görelle Uncular Köyü Suyu	417.505
	Merkez İnişdibi Beldesi	
	Espiye Esentepe Mahallesi	
	Bulancak Kütükçülü Mahallesi	
	Şebinkarahisar Çobangöl Suyu	
	Pınarlar Köyü Kulakkaya Mevkii Maden Suyu	
Merkez İnişdibi Beldesi Maden Suyu		
ORDU	Ünye Çataltepe Suyu	715.409
	Fatsa Sazcılar Suyu	
	İkizce Kaynartaş Suyu	
	Gülyalı Merkez Mahallesi	
	Gölköy Hamamönü Suyu	
	Merkez Bayadı Köyü	
	Mesudiye Acısu	
	Aybastı Acısu	
Çatalpınar Acısu		

2.2. Numunelerin Toplanması

Önceden belirlenmiş Tablo 2.1’de gösterilen yerlere g n birlilik gidilerek, bu yerlerden yapılacak  l umlere uygun olarak her numuneden 30 L ve 2 L’lik örnekler alınmıştır. Numune toplama işleminde, örnek alımı direkt olarak suyun kaynağına ulaşılarak yapılmış, numunelerin koyuldukları kaplar ise steril su ile yıkanarak, dışarıdan istenmeyen herhangi bir katkının gelmesi mümkün olduğunca  nlenmiştir.

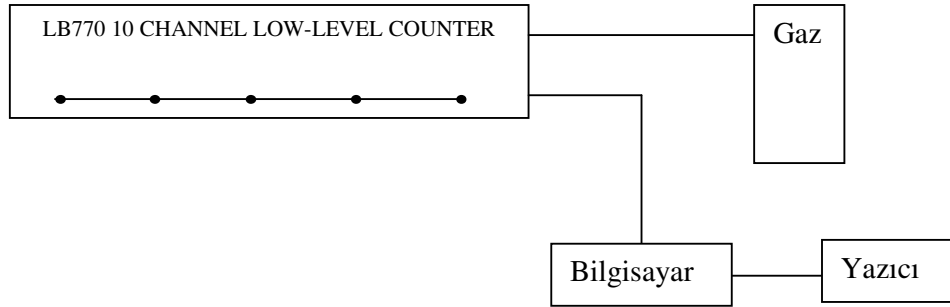
2.3. Toplam Alfa ve Toplam Beta Radyoaktiflik  l mleri

2.3.1. Numunelerin Toplam Alfa, Beta Analizine Hazırlanması

Su  rnekleri alınmadan önce konacakları polietilen kaplar bikromik asitten geçirildikten sonra iyice  eşme suyuyla durulanıp çift destile sudan geçirilerek ağzı kapatılmıştır. Numune alınmadan önce  eşme açılarak birkaç dakika suyun akması sağlanmış ve daha sonra 2000 mL’lik polietilen kap  c defa kendi suyuyla çalkalandıktan sonra doldurulup nitrik asitle pH ≤ 2 ’ye getirilerek ve ağzı sıkıca kapatıldıktan sonra etiketlenerek koruma altına alınmıştır. Bunun nedeni, su örnekleri içerisindeki elementlerin partiküler hale gelerek tortu oluşturmasını ve örnek kabının çeperlerine yapışmasını önlemektir. Bu şekilde paketlenen numuneler ÇNAEM araştırma laboratuvarına getirildi. Burada her bir numune  eker ocakta (hot plate) 500 mL’lik beherlere konarak 60°C’de yaklaşık 100 mL kalana kadar buharlaştırıldı. Kalan kısım darası alınmış 20 cm³’lük paslanmaz  elik kaplara (planşet) azar azar taşmayacak şekilde aktarıldı. Su tamamen buharlaşınca planşetler bir desikatörde oda ısısına getirilip hassas terazide tartıldı ve tortu(rezidü) miktarı tayin edildi. Sayımlarda, özellikle alfa sayımlarında tortu miktarı çok önemlidir. Tortu miktarı 400 mg’ı geçmemelidir, aksi takdirde alfa parçacıklarında self-absorpsiyon oluşmakta bu da analiz sonuçlarında hatalara neden olmaktadır. Daha sonra  elik kaplar 105°C sıcaklığındaki bir etüv fırını içine konularak iyice kurutuldu. Ardından bütün numuneler toplam alfa ve toplam beta aktiflikleri tayin edilmek üzere detektöre konularak 500 dakika süreyle sayıldılar.

2.3.2.Deney Sistemi

Numunelerin toplam alfa ve toplam beta radyoaktiflik analizleri için, ÇNAEM Sağlık Fiziği Bölümü Laboratuvarında bulunan Berthold marka LB770 model 10 kanallı düşük seviyeli alfa-beta sayım cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz, 10 numunenin alfa ve beta sayımlarını (radyoaktivite ölçümlerini) aynı anda yapabilecek şekilde tasarlanmıştır. Dedeksiyon ortamı ve elektronik devre olmak üzere başlıca iki kısımdan meydana gelir.



Şekil 2.2. Toplam alfa ve beta sayım cihazının blok diyagramı

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.

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 da 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 (Damla, 2006).



Şekil 2.3. Toplam alfa ve beta sayım cihazı

2.4. Gama Spektroskopisi Ölçümleri

2.4.1. Numunelerin Gama Spektroskopisi Analizine Hazırlanması

Belirlenmiş olan bölgelerden 30'ar litre su alınarak daha önceden steril hale getirilmiş plastik şişelere dolduruldu. Su numuneleri 15 L'lik temiz cam beherlere aktarılarak, 50–60 °C'lik bir ısıtıcı üzerine buharlaşmaya bırakıldı. 1-2 hafta süreyle su miktarları 100 mL kalana kadar buharlaştırmaya devam edildi. Buharlaşma esnasında beher cidarlarına yapışan maddeleri önlemek için beher içersine birkaç damla HCl katıldı. Sonra kalan miktarlar boş sayımları alınmış marinelli kaplarına konularak, iç dengeye gelmeleri için yaklaşık bir ay süreyle bekletildi. Daha sonra sırayla gama spektrometresi cihazında 30000 s süreyle sayıldılar.



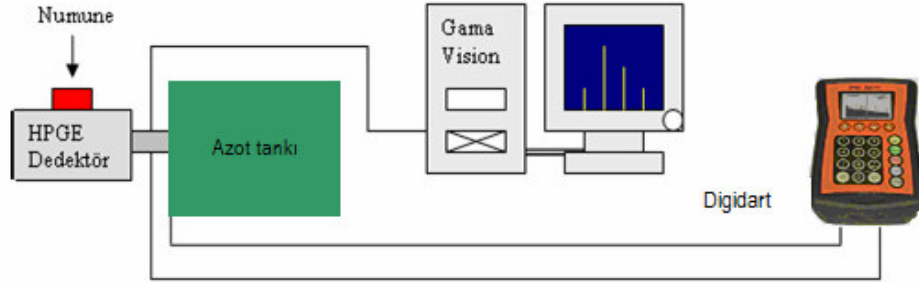
Şekil 2.4. Gama Spektroskopisi sayımları için numunelerin buharlaştırılması

2.4.2. Deney Sistemi

Numunelerin gama spektroskopisi ölçümleri için ORTEC GEM55P4 Model HPGe detektörü kullanıldı. Bu detektör özden yarı iletken prensibine göre çalışan yarı iletken kristalden oluşmaktadır. HPGe detektörlerinde cm^3 'te yaklaşık olarak 10^{10} safsızlık atomu vardır. Özden yarıiletkenler için elektron ve delik oranı yaklaşık 1'dir. HPGe detektörü çalıştırılırken karakteristik özelliği gereğince yarı iletken kristal düşük sıcaklıklarda tutulmalıdır. Çünkü düşük sıcaklıklarda termal gürültü azalır ve böylece pikler düzgün oluşur. HPGe detektörü %55 relatif verime sahip olup 1700 voltta çalışmaktadır. Gama spektroskopisi sisteminde önyükseltici, yüksek voltaj kaynağı, analog dijital dönüştürücü (ADC) ve çok kanallı analizör (MCA) digidart adı verilen bir sistem de bulunup aynı zamanda detektörün taşınabilir (portatif) olarak kullanılmasına imkân vermektedir. Ayrıca ölçümler Gama Vision yazılımı kullanılarak elde edilmiştir.



Şekil 2.5. Ortec GEM55P4 Model HPGe Detektörü



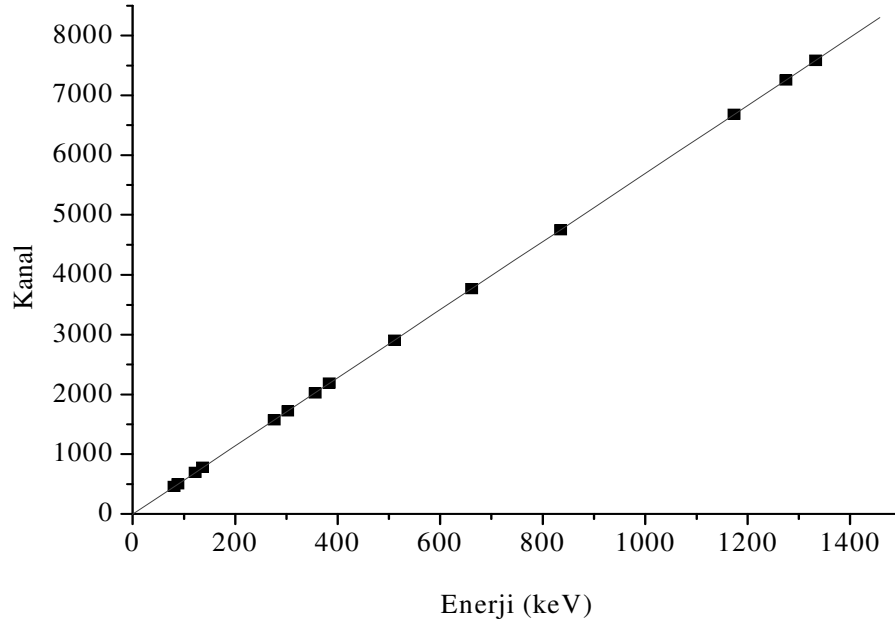
Şekil 2.6. HPGe detektörü ile gama spektroskopisinin çalışma düzeneği

2.4.2.1. Enerji Kalibrasyonu

Enerji kalibrasyonunun yapılabilmesi için önceden enerjileri bilinen standart kaynaklara ihtiyaç vardır. Çünkü gama spektrumlarının analiz edilebilmeleri için, hangi kanalın hangi enerjiye karşılık geldiği bilinmelidir. Enerji kalibrasyonu için enerjileri 80–1400 keV arasında değişen ^{109}Cd , ^{57}Co , ^{133}Ba , ^{22}Na , ^{137}Cs , ^{54}Mn ve ^{60}Co 'ın piklerini içeren standart nokta kaynaklar kullanıldı.

Tablo 2.2. Enerji kalibrasyonunda kullanılan kaynaklar

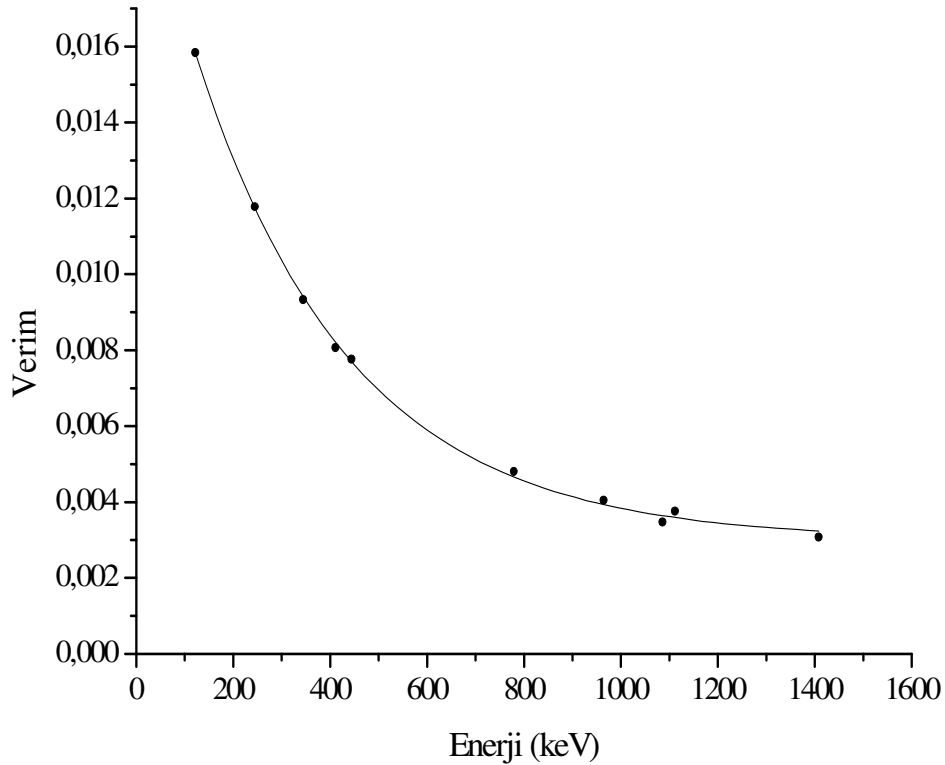
İzotoplar	Enerji (keV)	Yarı-ömür (gün)	Bolluk (%)
^{133}Ba	81	3830	33
^{109}Cd	88	464	3,72
^{57}Co	122,1	271	86
^{57}Co	136,5	271	11
^{133}Ba	276,4	3830	6,9
^{133}Ba	302,8	3830	19
^{133}Ba	383,8	3830	8,7
^{22}Na	511	946	180
^{137}Cs	661,6	11022	85
^{54}Mn	834,8	313	100
^{60}Co	1173,2	1922	100
^{22}Na	1274,5	946	100
^{60}Co	1332,5	1922	100



Şekil 2.7. Enerji – kanal grafiği

2.4.2.2. Verim Kalibrasyonu

Detektör verimi, detektörde sayılabilir büyüklükte puls üreten fotonların sayısının, detektöre gelen fotonların sayısına oranı ya da detektörde sayılabilir büyüklükte puls üreten fotonların yüzdesi olarak tanımlanır. Detektör veriminin tayini için standart kaynaklara ihtiyaç vardır. Bu kaynakların bozunmalarında foton yayımlama ihtimali değerleri bilinmelidir. Detektör verimliliğini etkileyen faktörleri kolimatör faktörü, detektör maddesi, detektörün hassas bölgesi, imalat faktörü ve kıyılardan kaçmalar şeklinde sıralayabiliriz. Detektörün verim kalibrasyonu için Eu-152 (Europium) radyoaktif kaynağı kullanılmıştır. Kaynağın şekli farklı olduğunda, kaynak homojen olarak foton yayımlayamayacağından bu durum detektör verimini etkiler. Bunun için kaynağın fotonları en çok yaydığı bölgesi detektörün ortasına gelecek şekilde yerleştirilmeli ve kaynak sabitlenmelidir.



Şekil 2.8. Enerji – verim eğrisi

2.4.2.3. Gama Spektrumu Analizi ve Aktivitenin Hesaplanması

Gama spektrumunun analizinde U-238 serisi için Pb-214 (351,9 keV), Bi-214 (609,3 keV) enerjilerindeki, Th-232 serisi için Tl-208 (583,2 keV), Ac-228 (911,2 keV) enerjilerindeki piklerinin alanlarının ortalaması, Cs-137 ve K-40 için sırayla 661.6 keV ve 1460,8 keV enerjisindeki pikin alanı alınmıştır. Bu enerjilerdeki alanların seçilmesinin sebebi doğada bulunma yüzdelerinin diğer izotoplara göre daha fazla olmasıdır.

Aktivite, aşağıdaki formül ile bulunur:

$$Aktivite(Bq/l) = \frac{Net\ Alan}{Sayı\ m\ Süresi \times Verim \times Numune\ Hacmi \times Bolluk} \quad (2.1)$$

Burada net alan, piklerin altında kalan alandan boş sayım (background) sonucu elde ettiğimiz alanın çıkarılmasıyla bulunur. Net alanın, sayım süresi, detektör verimi ve numune hacminin çarpımına bölümü aktiviteyi verir. Her numune HPGe detektöründe 30.000 sn sayılmıştır.

2.5. Kimyasal Ölçümler

2.5.1. Numunelerin Kimyasal Analize Hazırlanması

Belirlenen yerlerden toplanarak 2'şer litrelik kaplara koyulan numunelerin her biri, içerisinde herhangi bir tortu kalmaması için adi süzgeç kağıdı ile süzülerek 10mL'lik marinelli kaplara alınmış ve sayıma hazır hale getirilmiştir.

2.5.2. Deney Sistemi

Spectro Genesis marka ICP-OES kimyasal analiz cihazı, eş zamanlı ölçümler sağlayan, otomatik bir optik yayma spektrometresidir. Bu cihazda, indüklenecek çiftlenmiş plazma uyarılmasını ve sıvıların nicelik ile yarı nicelik analizi için detektör sistemine dayalı bir yarı iletken kullanır. Sıvı örneği buharlaştırılır ve plazma içine bir aerosol olarak beslenir. Plazmanın yüksek sıcaklığı (6000K-8000K) numuneyi buharlaştırır ve numunenin içerisinde var olan moleküller, atomlarına ayrılarak uyarılırlar ve kısmen iyonize edilirler. Uyarılmış atom ve iyonlar elemente özgü bir radyasyon yayarlar. Bir iletim optiği, optik sistemin içindeki bu radyasyonu besler. Yayılan radyasyon, optik sistemde bileşenlerine kırılır. Şiddet, yarı iletken detektörler kullanılarak ölçülür. Birim

sinyal ölçme sürecinden sonra, ölçülen element şiddetleri Smart Analyzer yazılımı ile değerlendirilir. Yöntemler ölçümden önce ayarlanır. Her element için belirlenen kalibrasyon fonksiyonları bu yöntemlerde saklıdır. Konsantrasyonlar bu yöntemler kullanılarak, ölçülen şiddetlerden hesaplanır.



Şekil 2.9. ICP-OES kimyasal analiz cihazı

3. BULGULAR

3.1. Doğal Kaynak Sularının Analizleri

3.1.1. Toplam Alfa ve Beta Analiz Sonuçları

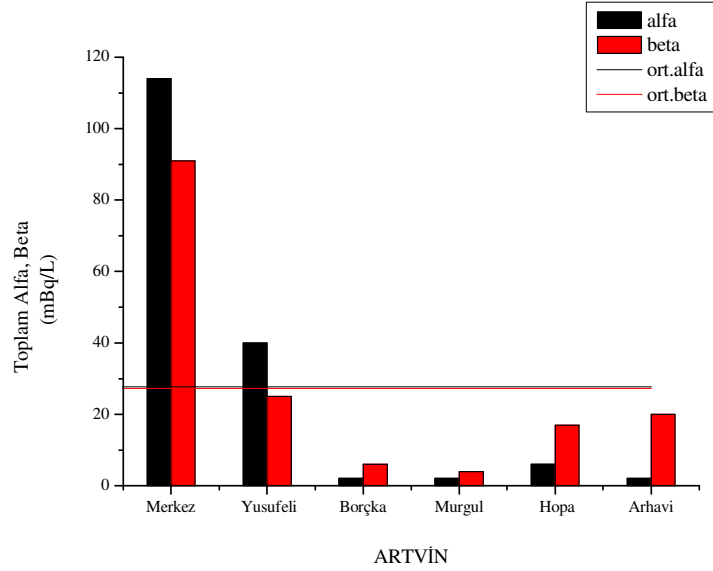
Berthold marka LB770 model 10 kanallı düşük seviyeli alfa-beta sayım cihazı ile yapılan ölçümler sonucunda illere göre elde edilen minimum, maksimum ve ortalama değerler Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1. İllere göre toplam alfa ve beta için minimum, maksimum ve ortalama değerler

İller	Numune Sayısı		Toplam Alfa (mBq/L)	Toplam Beta (mBq/L)
ARTVİN	6	Minimum	2	4
		Maksimum	114	91
		Ortalama	28	27
RİZE	4	Minimum	2	8
		Maksimum	74	45
		Ortalama	21	25
TRABZON	9	Minimum	2	3
		Maksimum	30	57
		Ortalama	8	25
GÜMÜŞHANE	6	Minimum	11	24
		Maksimum	188	78
		Ortalama	66	41
BAYBURT	4	Minimum	7	14
		Maksimum	34	26
		Ortalama	17	20
GİRESUN	5	Minimum	1	15
		Maksimum	67	46
		Ortalama	19	34
ORDU	6	Minimum	3	11
		Maksimum	92	75
		Ortalama	20	45

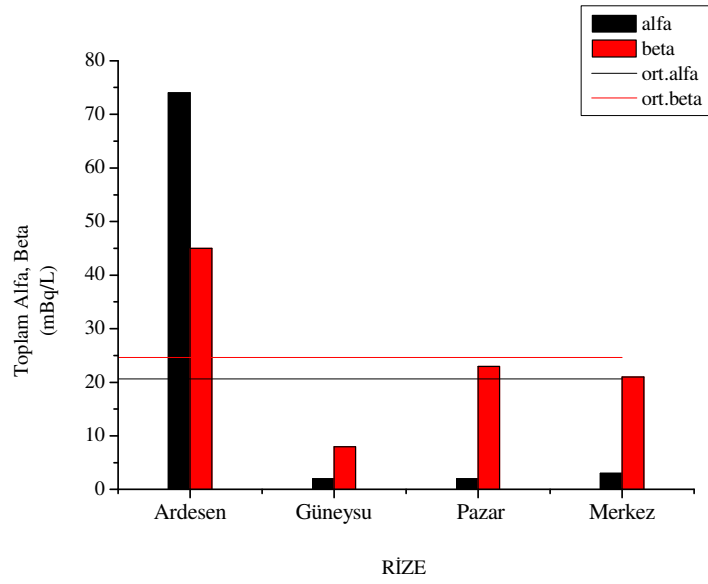
Toplam alfa ve beta konsantrasyonlarının illere göre değişimi şekiller 3.1-7’de gösterilmektedir. Bu şekiller daha yakından incelendiğinde aşağıdaki çıkarımlar elde edilebilir.

Şekil 3.1’de Artvin ili için; en düşük toplam alfa değerlerinin Borçka, Murgul ve Arhavi’de, en yüksek toplam alfa değerinin ise Merkezde, en düşük toplam beta değerinin Murgul’da ve en yüksek toplam beta değerinin Merkezde olduğu görülmektedir. Ayrıca Merkezde toplam alfa ve beta değerlerinin, Artvin ili için ortalama toplam alfa ve beta değerlerinin üzerinde olduğu görülmektedir. Yusufeli ilçesinde ise toplam alfa değeri, Artvin ili için ortalama toplam alfa değerinin üzerindedir.



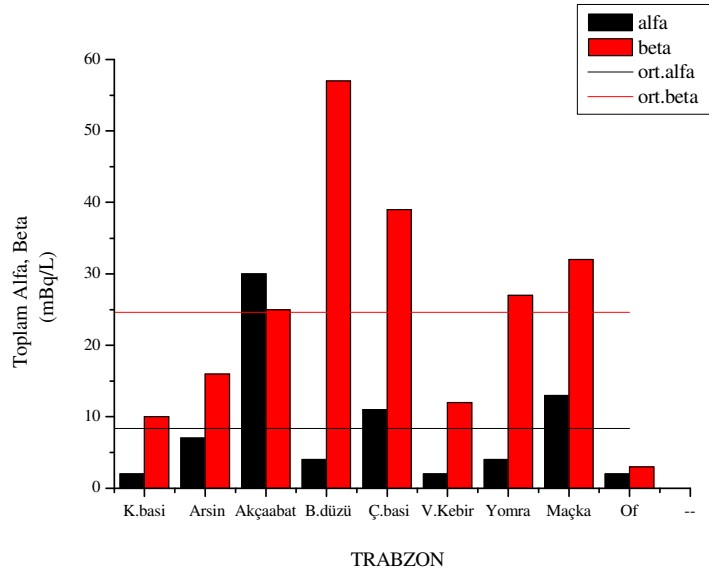
Şekil 3.1. Artvin ili için toplam alfa ve beta değerleri

Şekil 3.2’de Rize ili için; en düşük toplam alfa değerlerinin Pazar ve Güneysu’da, en yüksek toplam alfa değerinin Ardeşen’de, en düşük toplam beta değerinin Güneysu’da ve en yüksek toplam beta değerinin Ardeşen’de olduğu anlaşılmaktadır. Rize ili için ortalama toplam alfa değerinin yalnızca Ardeşen’de geçildiği, ortalama beta değerinin ise sadece Güneysu’da geçilmediği görülmektedir.



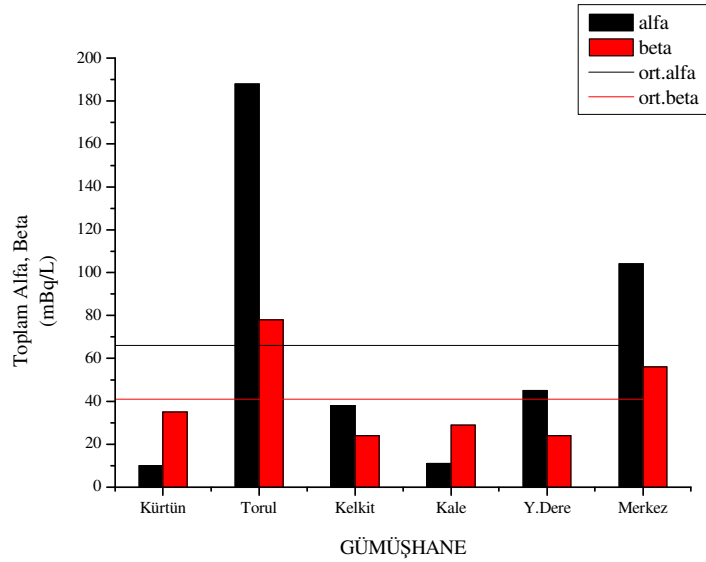
Şekil 3.2. Rize ili için toplam alfa ve beta değerleri

Şekil 3.3’de Trabzon ili için; en düşük toplam alfa değerlerinin Of, Köprübaşı ve Vakfıkebir’de, en yüksek toplam alfa değerinin ise Akçaabat’ta, en düşük toplam beta değerinin Of’ta, en yüksek toplam beta değerinin Beşikdüzü’nde olduğu anlaşılmaktadır. Bunun yanı sıra Trabzon ili için ortalama toplam alfa değerinin Akçaabat, Çarşıbaşı ve Maça’da geçildiği, ortalama toplam beta değerinin ise Akçaabat, Beşikdüzü, Çarşıbaşı, Maça ve Yomra’da geçildiği görülmektedir.



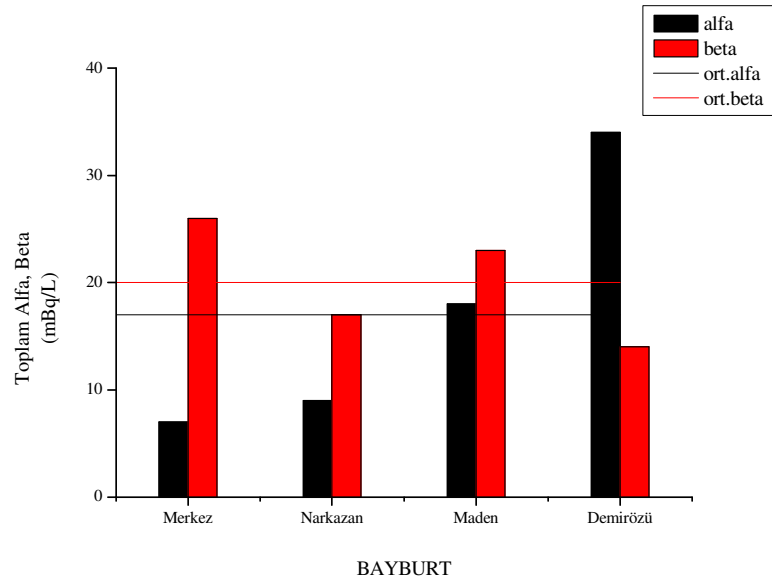
Şekil 3.3. Trabzon ili için toplam alfa ve beta değerleri

Şekil 3.4’de Gümüşhane ili için; en düşük toplam alfa değerinin Kürtün’de, en yüksek toplam alfa değerinin ise Torul’da, en düşük toplam beta değerlerinin Kelkit ve Yağmurdere’de, en yüksek toplam beta değerinin Torul’da olduğu, ayrıca Gümüşhane ili için ortalama toplam alfa ve beta değerlerinin her ikisinin de Merkez ve Torul’da geçildiği görülmektedir.



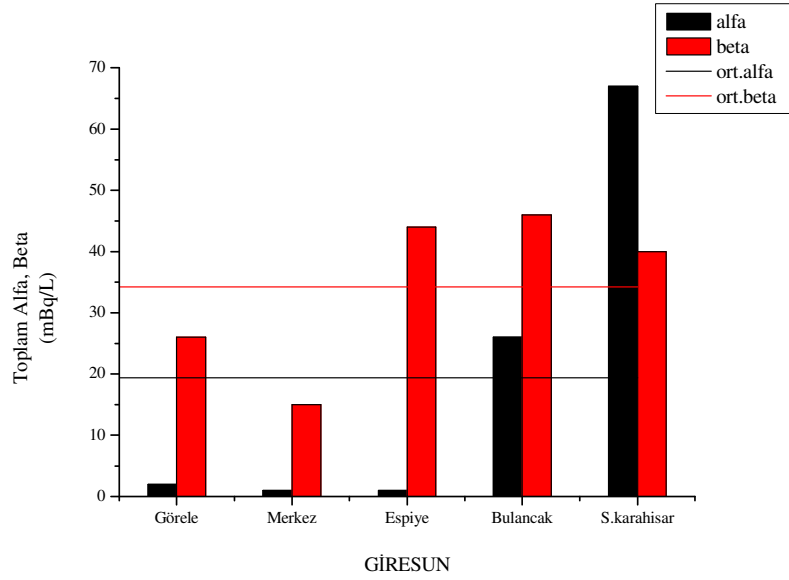
Şekil 3.4. Gümüşhane ili için toplam alfa ve beta değerleri

Şekil 3.5’de Bayburt ili için; en düşük toplam alfa değerinin Merkez Süleymaniye Çeşmesinde, en yüksek toplam alfa değerinin Demirözü’nde, en düşük ve en yüksek toplam beta değerlerinin ise sırasıyla Demirözü ve Merkez Süleymaniye Çeşmesinde olduğu gözlenmektedir. Demirözü ve Maden’de toplam alfa değerlerinin Bayburt ili için ortalama toplam alfa değerinden yüksek, Merkez ve Maden’de toplam beta değerlerinin de Bayburt ili için ortalama toplam beta değerinden yüksek olduğu görülmektedir.



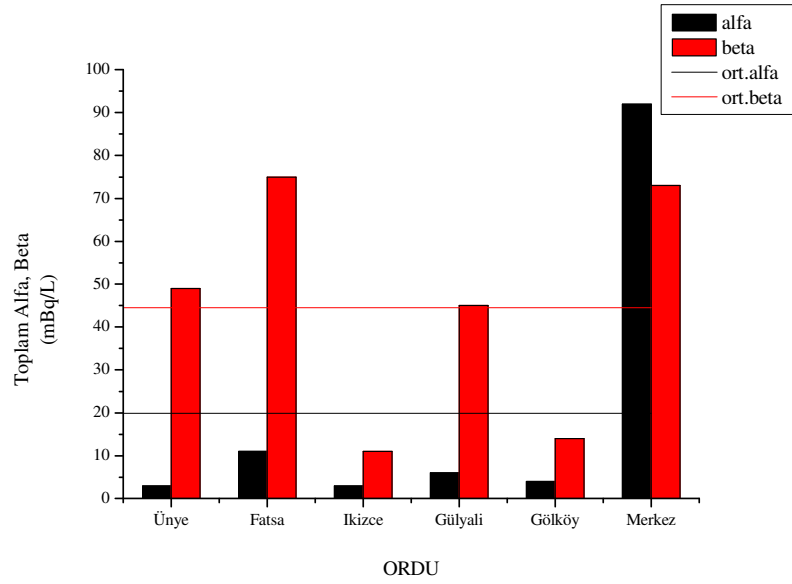
Şekil 3.5. Bayburt ili için toplam alfa ve beta değerleri

Şekil 3.6’da Giresun ili için; en düşük toplam alfa değerleri Merkez ve Espiye’de, en yüksek toplam alfa değeri Şebinkarahisar’da, en düşük ve en yüksek toplam beta değerlerinin sırasıyla Merkez ve Bulancak’tadır. Giresun ili için ortalama toplam alfa değerinin Bulancak ve Şebinkarahisar’da , ortalama toplam beta değerinin ise Bulancak, Şebinkarahisar ve Espiye’de geçildiği görülmektedir.



Şekil 3.6. Giresun ili için toplam alfa ve beta değerleri

Şekil 3.7’de Ordu ili için; en düşük toplam alfa değerleri Ünye ve İkizce’de, en yüksek toplam alfa değeri Merkezde, en düşük ve en yüksek toplam beta değerleri sırasıyla İkizce ve Fatsa’dadır. Ordu ili için ortalama toplam alfa değerinin yalnızca Merkezde, ortalama toplam beta değerinin ise Merkez, Fatsa ve Ünye’de geçildiği görülmektedir.



Şekil 3.7. Ordu ili için toplam alfa ve beta değerleri

3.1.2. Gama Spektroskopisi Analiz Sonuçları

Ortec GEM55P4 Model HPGe Detektörü ile yapılan ölçümler sonucunda illere göre elde edilen minimum, maksimum ve ortalama aktivite değerleri Tablo 3.2’de verilmiştir.

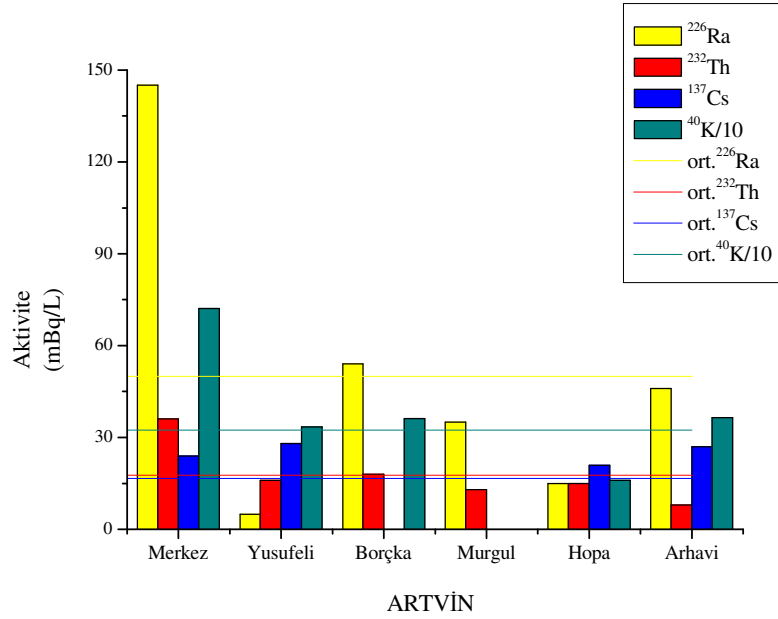
Tablo 3.2. İllere göre ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K aktiviteleri için minimum, maksimum ve ortalama değerler

İller	Numune Sayısı		^{226}Ra (mBq/L)	^{232}Th (mBq/L)	^{137}Cs (mBq/L)	^{40}K (mBq/L)
ARTVİN	6	Minimum	5	8	<DL	<DL
		Maksimum	145	36	28	721
		Ortalama	50	18	17	324
RİZE	4	Minimum	5	14	<DL	<DL
		Maksimum	131	43	23	760
		Ortalama	53	29	15	234
TRABZON	9	Minimum	<DL	<DL	<DL	<DL
		Maksimum	124	50	63	1059
		Ortalama	30	18	16	310
GÜMÜŞHENE	6	Minimum	12	6	<DL	<DL
		Maksimum	103	35	25	706
		Ortalama	44	20	18	186
BAYBURT	4	Minimum	14	8	<DL	404
		Maksimum	84	26	<DL	1271
		Ortalama	46	20	<DL	751
GİRESUN	5	Minimum	<DL	18	<DL	21
		Maksimum	163	42	70	394
		Ortalama	71	31	24	190
ORDU	6	Minimum	8	6	18	<DL
		Maksimum	87	41	43	511
		Ortalama	35	22	30	243

DL: Dedeksiyon limiti

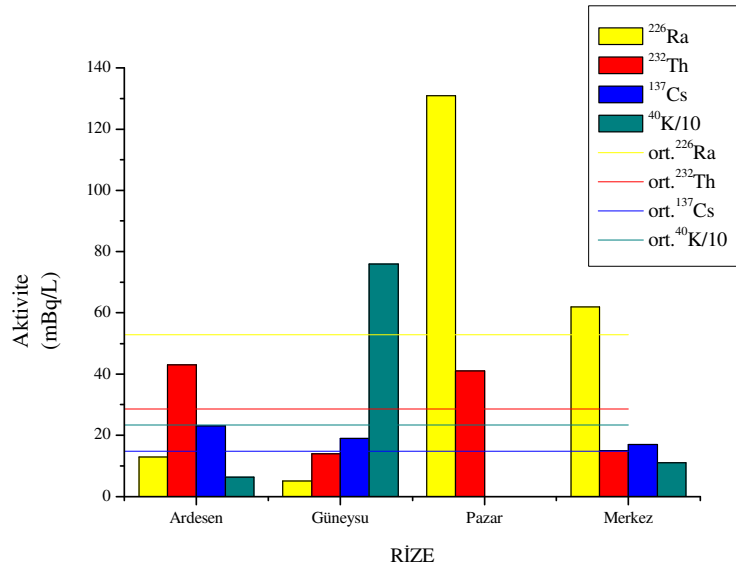
^{226}Ra , ^{232}Th , ^{137}Cs , ^{40}K aktiflik değerlerinin illere göre değişimi ve ortalama aktiflik değerleri şekiller 3.8-14'de gösterilmektedir. Şekiller daha yakından incelendiğinde aşağıdaki çıkarımlara varabiliriz.

Şekil 3.8'de Artvin ili için; en yüksek aktiflik değerlerinin ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K için Merkezde, ^{137}Cs için ise Arhavi'de olduğu görülmektedir. Ayrıca Borçka'da ^{137}Cs aktivitesi, Murgul'da ise hem ^{137}Cs hem de ^{40}K aktivitesinin bulunamadığı gözlenmektedir. ^{226}Ra aktivitesinin Merkez ve Borçka'da, ^{232}Th aktivitesinin Merkezde, ^{137}Cs aktivitesinin Merkez, Yusufeli, Hopa ve Arhavi'de, ^{40}K aktivitesinin de Merkezde Artvin ili için ortalama aktiflik değerlerinin üzerinde değerlere olduğu görülmektedir.



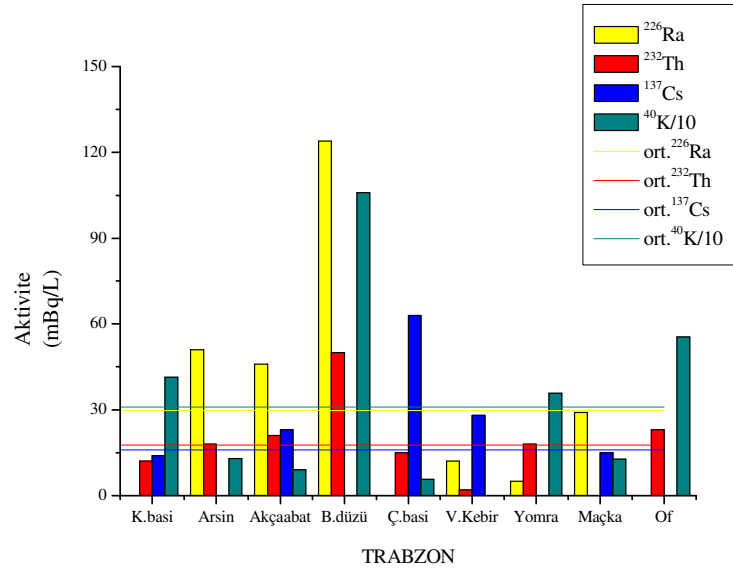
Şekil 3.8. Artvin ili için aktivite değerleri

Şekil 3.9’da Rize ilinde; en yüksek aktiflik değerlerinin ^{226}Ra için Pazar’da, ^{232}Th ve ^{137}Cs için Ardeşen’de, ^{40}K için Güneysu’da olduğu, Pazar’da ise ^{137}Cs ve ^{40}K aktifliklerinin sistemin ölçüm sınırları altında kaldığı görülmektedir. ^{226}Ra aktivitesinin Merkez ve Pazar’da, ^{232}Th aktivitesinin Pazar ve Ardeşen’de, ^{137}Cs aktivitesinin Merkez, Ardeşen ve Güneysu’da, ^{40}K aktivitesinin de Güneysu’da Rize ili için ortalama aktiflik değerlerinin üzerinde miktarlara sahip olduğu görülmektedir.



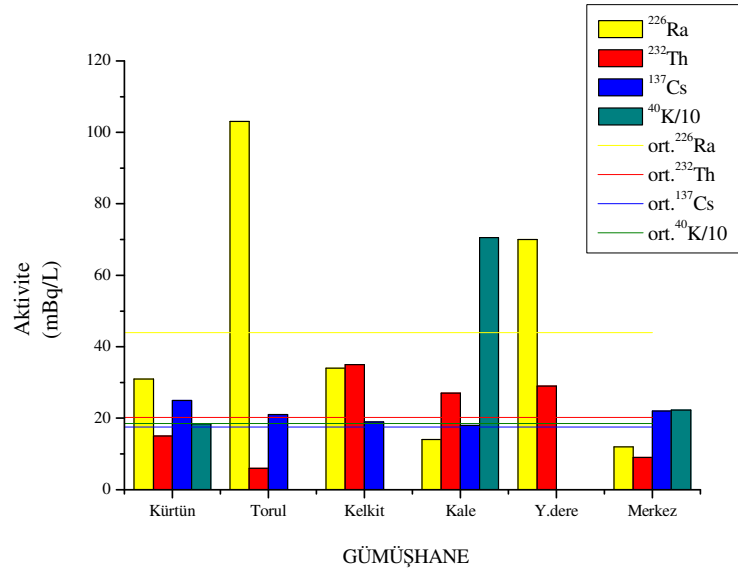
Şekil 3.9. Rize ili için aktivite değerleri

Şekil 3.10'da Trabzon ili için; en yüksek aktiflik değerlerinin ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K için Beşikdüzü'nde, ^{137}Cs için Çarşıbaşı'nda bulunduğu gözlenmektedir. Bunun yanı sıra Of, Köprübaşı ve Çarşıbaşı'nda ^{226}Ra , Maçka'da ^{232}Th , Of, Arsin, Yomra ve Beşikdüzü'nde ^{137}Cs ve Vakfıkebir'de ^{40}K aktivitelerinin bulunmadığı gözlenmektedir. ^{226}Ra aktivitesinin Arsin, Akçaabat, Beşikdüzü'nde, ^{232}Th aktivitesinin Of, Akçaabat, Beşikdüzü'nde, ^{137}Cs aktivitesinin Akçaabat, Çarşıbaşı, Vakfıkebir'de ve ^{40}K aktivitesinin ise Of, Köprübaşı, Yomra ve Beşikdüzü'nde Trabzon ili için ortalama aktiflik değerlerinin üzerinde olduğu görülmektedir.



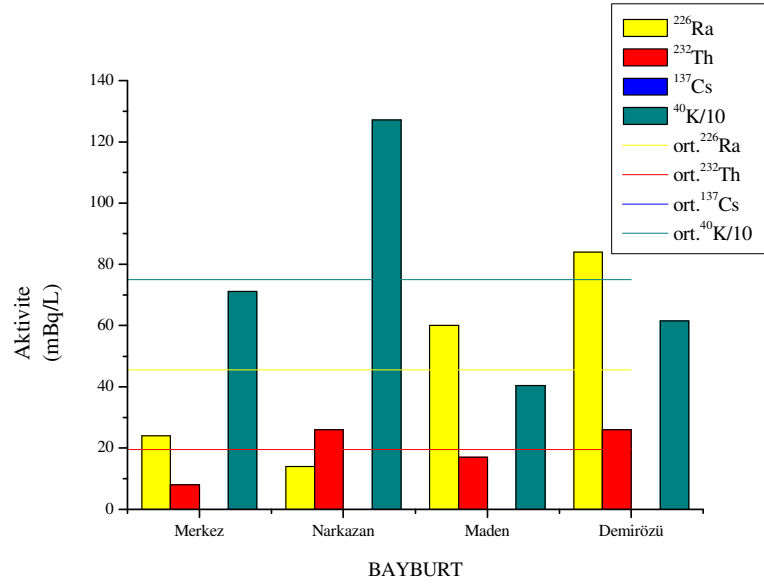
Şekil 3.10. Trabzon ili için aktivite değerleri

Şekil 3.11’de Gümüşhane ili için; en yüksek aktiflik değerleri ^{226}Ra için Torul’da, ^{232}Th için Kelkit’de, ^{137}Cs için Kürtün’de, ^{40}K için Kale’de bulunmaktadır. Buna ilave olarak Yağmurdere’de ^{137}Cs , Torul, Kelkit ve Yağmurdere’de ise ^{40}K aktivitelerinin sistemin ölçüm sınırlarının altında kaldığı gözlenmektedir. ^{226}Ra aktivitesinin Torul ve Yağmurdere’de, ^{232}Th aktivitesinin Kelkit, Kale ve Yağmurdere’de, ^{137}Cs aktivitesinin Kürtün, Torul, Kelkit ve Merkezde, ^{40}K aktivitesinin ise Merkez ve Kale’de Gümüşhane ili için ortalama aktiflik değerlerinin üzerinde miktarlara sahip olduğu görülmektedir.



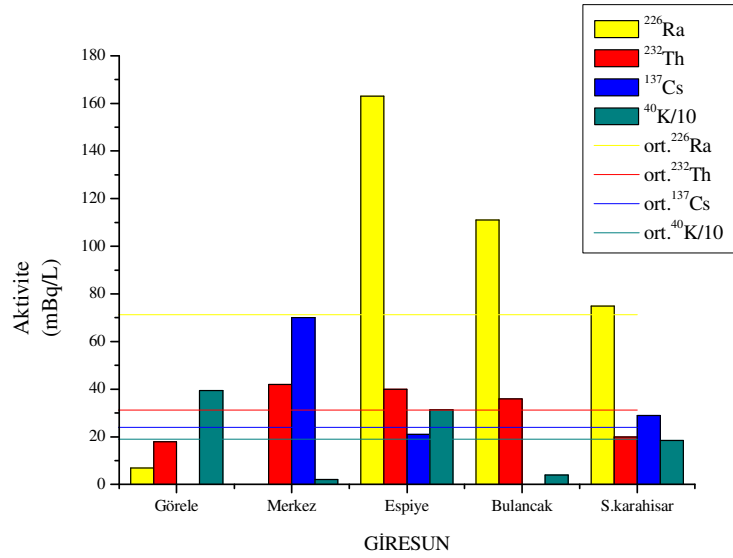
Şekil 3.11. Gümüşhane ili için aktivite değerleri

Şekil 3.12’de Bayburt ili için; en yüksek aktiflik değerleri ^{226}Ra için Demirözü’nde, ^{232}Th için Narkazan ve Demirözü’nde, ^{40}K için de Narkazan’da ölçülememiştir. ^{137}Cs aktivitesi Bayburt ili için alınan hiçbir numunede mevcut değildir. ^{226}Ra aktivitesinin Maden ve Demirözü’nde, ^{232}Th aktivitesinin Narkazan ve Demirözü’nde, ^{40}K aktivitesinin de Narkazan’da Bayburt ili için ortalama aktiflik değerlerinin üzerinde olduğu görülmektedir.



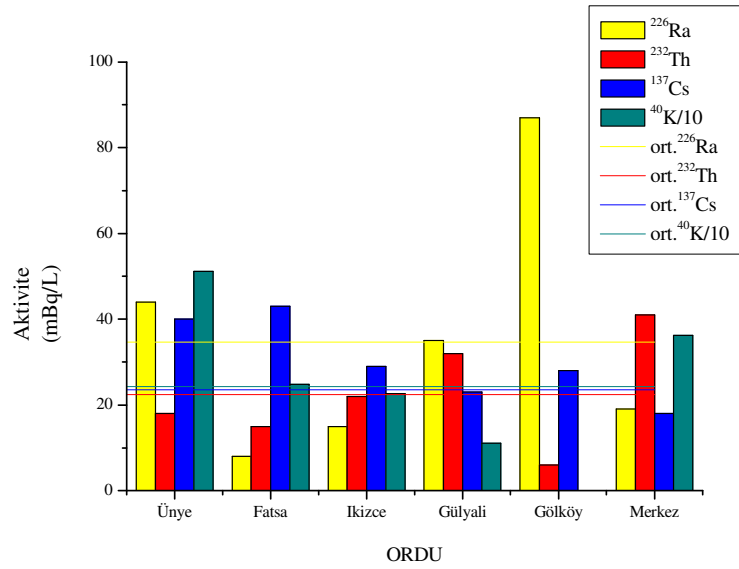
Şekil 3.12. Bayburt ili için aktivite değerleri

Şekil 3.13’de Giresun ili için; en yüksek aktiflik değerlerinin ^{226}Ra için Espiye’de, ^{232}Th ve ^{137}Cs için Merkezde, ^{40}K için ise Görele’de olduğu, ^{226}Ra aktivitesinin Merkezde ve ^{137}Cs aktivitesinin Görele ve Bulancak’ta bulunmadığı gözlenmektedir. ^{226}Ra aktivitesinin Espiye, Bulancak, Şebinkarahisar, ^{232}Th aktivitesinin Espiye, Bulancak, Merkez, ^{137}Cs aktivitesinin Merkez, Şebinkarahisar ve ^{40}K aktivitesinin Espiye, Görele ve Şebinkarahisar’da Giresun ili için ortalama aktiflik değerlerinin üzerinde olduğu görülmektedir.



Şekil 3.13. Giresun ili için aktivite değerleri

Şekil 3.14’de Ordu ili için; en yüksek aktiflik değerleri ^{226}Ra için Gölköy’de, ^{232}Th için Merkezde, ^{137}Cs için Fatsa’da ve ^{40}K için Ünye’de bulunmaktadır. Gölköy’de ^{40}K aktivitesi mevcut değildir. ^{226}Ra aktivitesinin Gölköy ve Ünye’de, ^{232}Th aktivitesinin Gölköy ve Merkezde, ^{137}Cs aktivitesinin Ünye ve Fatsa’da, ^{40}K aktivitesinin ise Merkez, Ünye ve Fatsa’da Ordu ili için ortalama aktiflik değerlerinin üzerinde değerlere sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 3.14. Ordu ili için aktivite değerleri

3.1.3. Kimyasal Analiz Sonuçları

ICP-OES cihazı ile doğal kaynak sularında yapılan kimyasal analiz sonucunda elde edilen veriler Tablo 3.3'de görülmektedir. Tablo 3.3'deki değerler göz önüne alındığında aşağıdaki değerlendirmeler yapılabilir.

Tablo 3.3'e genel bir bakışla; en düşük değerler Na için Artvin Borçka, Al için Gümüşhane Kürtün ve Giresun Şebinkarahisar'da, P için Gümüşhane Kürtün'de, Cl için Trabzon Vakfıkebir'de, K için Artvin Merkezde, Ca için Ordu Ünye'de, V için Trabzon Köprübaşı ve Ordu İkizce'de, Mn için Artvin Yusufeli, Trabzon Arsin ve Çarşıbaşı ve Gümüşhane Kürtün'de, Fe için Ordu Merkezde, Ni için Artvin Yusufeli ve Trabzon Arsin'de, Cu için Artvin Arhavi ve Gümüşhane Kürtün'de, Zn için Artvin Borçka ve Trabzon Köprübaşı'nda ve Ba için Trabzon Çarşıbaşı'ndadır. En yüksek değerler ise Na için Ordu Merkezde, Al için Trabzon Akçaabat'ta, P için Giresun Merkez'de, Cl için Ordu Fatsa'da, K için Artvin Murgul'da, Ca için Gümüşhane Kale'de, Trabzon Çarşıbaşı'nda, Mn için Artvin Arhavi'de, Fe için Trabzon Akçaabat'ta, Ni için Trabzon Köprübaşı'nda, Cu için Artvin Murgul'da, Zn için Trabzon Beşikdüzü'nde ve Ba için de Giresun Bulancak'tadır.

Tablo 3.3. İllere göre kimyasal analiz değerleri($\mu\text{g/L}$)

Numuneler		Na	Al	P	Cl	K	Ca	V	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Ba
Artvin	Merkez	13851	24	76	2166	119	27478	108	6	20	11	8	326	131
	Yusufeli	7964	19	83	391	609	24792	67	1	18	<DL	6	132	48
	Borçka	1315	1337	74	3618	137	4604	28	3	311	42	4	<DL	7
	Murgul	14104	34	104	11715	2718	15484	43	6	22	24	49	6	12
	Hopa	7229	18	127	888	812	15964	36	7	20	9	10	19	14
	Arhavi	5639	16	86	3892	589	3971	33	26	18	42	3	14	40
Rize	Ardeşen	11895	27	78	8911	1126	18654	66	2	23	8	7	125	40
	Güneysu	5573	26	89	1367	516	5870	33	5	24	43	6	12	22
	Pazar	5092	20	94	905	1039	13804	43	4	18	1	4	51	18
	Merkez	5162	20	73	3692	978	7202	43	6	22	10	8	75	18
Trabzon	K.Başı	4390	57	93	1562	820	3567	27	4	38	45	12	<DL	9
	Arsin	10546	19	89	11360	941	15745	95	1	19	<DL	10	246	107
	Akçaabat	3930	4383	156	1243	788	7036	55	23	2129	13	13	8	16
	Beşikdüzü	7847	27	143	7242	2304	8607	48	8	22	26	12	518	21
	Çarşıbaşı	10146	210	292	5350	1451	18161	138	1	189	6	5	2	5
	V.Kebir	2097	100	85	156	403	7286	33	2	19	2	5	13	8
	Yomra	7181	42	82	3657	1679	6395	83	5	27	3	13	180	44
	Maçka	14732	26	70	13597	1278	24287	77	3	21	8	7	168	49
	Of	7389	22	112	4012	469	10614	41	3	24	24	8	1	47
Gümüşhane	Kürtün	6063	15	69	5340	1148	19262	67	1	18	6	3	128	60
	Torul	16821	580	71	476	1346	29822	112	16	20	26	8	314	26
	Kelkit	18210	40	82	8343	2059	29213	90	5	26	12	17	209	71
	Kale	14651	31	96	16685	1624	30187	80	4	22	13	14	15	65
	Y.Dere	6389	195	70	8911	516	13829	40	3	23	25	7	4	16
	Merkez	7539	20	82	575	703	23666	65	7	19	26	7	127	56
Bayburt	Süly. Çeş.	3163	22	80	419	583	29214	34	7	19	26	8	5	38
	Narkazan	6591	26	83	3870	1040	27592	46	7	21	11	13	6	38
	Maden	2428	20	75	277	758	25516	76	3	20	26	7	165	131
	Demirözü	11393	29	77	781	304	23852	47	1	21	24	5	64	19
Giresun	Görele	18404	281	337	2432	1346	11401	91	3	22	8	11	118	17
	Merkez	2588	40	892	249	409	7334	31	1	22	24	6	5	11
	Espiye	13046	42	89	5148	2105	9404	40	3	26	11	14	4	23
	Bulancak	13040	23	144	5219	1851	29238	61	9	21	8	10	3	363
	Ş.Karahisar	32120	15	75	9940	559	29941	80	3	19	12	8	174	12
Ordu	Ünye	8577	77	91	3834	1869	2869	30	3	34	42	11	13	12
	Fatsa	23723	18	83	22365	2181	4447	28	4	20	5	8	7	10
	İkizce	4947	417	99	2485	934	5686	27	4	120	13	19	10	15
	Gülyalı	5574	17	91	5926	1352	18719	43	1	19	40	4	49	78
	Gölköy	2971	206	98	261	430	9474	34	2	59	7	6	16	31

Tablo 3.3'ün devamı

	Merkez	46471	42	81	685	1810	18222	134	1	15	7	10	79	261
Minimum		1315	15	69	156	119	2869	27	1	15	<DL	3	<DL	5
Maksimum		46471	4383	892	22365	2718	30187	138	26	2129	45	49	518	363
Ortalama		10270	215	122	4749	1093	15960	59	5	89	18	10	90	50

DL: Dedeksiyon limiti

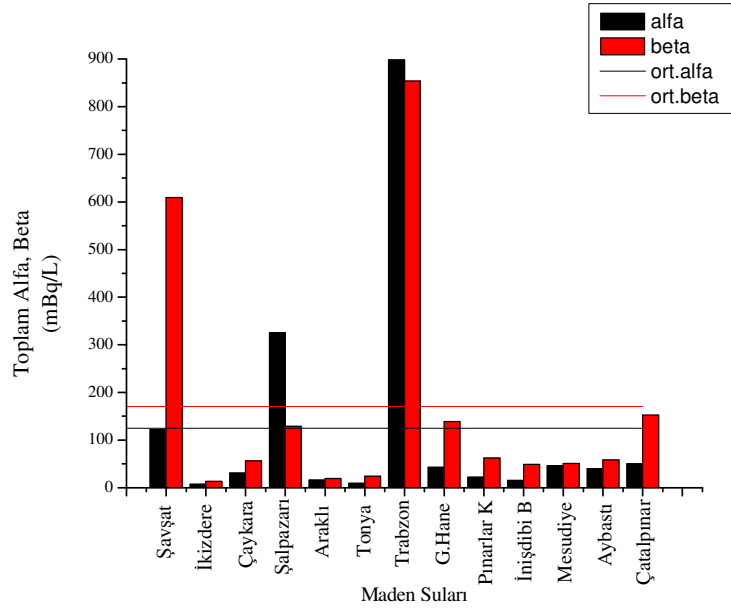
3.2. Maden Sularının Analizleri

3.2.1. Toplam Alfa ve Beta Analiz Sonuçları

Yapılan ölçümler sonucunda maden suları için elde edilen toplam alfa, beta değerleri Tablo 3.4'de gösterilmektedir. Bu değerlerin grafiksel gösterimi ise Şekil 3.15'de verilmiştir. Şekil 3.15 yakından incelendiğinde; en düşük ve en yüksek toplam alfa değerlerinin sırasıyla Rize İkizdere ve Trabzon Merkez'de, en düşük ve en yüksek toplam beta değerlerinin ise sırasıyla Rize İkizdere ve Trabzon Merkez'de olduğu görülmektedir. Alınan maden sularının ortalama toplam alfa, beta değerleri dikkate alındığında; ortalama toplam alfa değerinin Trabzon Merkez ve Şalpazarı'nda, ortalama toplam beta değerinin de Trabzon Merkez ve Artvin Şavşat'ta geçildiği gözlenmektedir.

Tablo 3.4. Maden suları için toplam alfa ve beta değerleri

Maden Suları			Toplam Alfa (mBq/L)	Toplam Beta (mBq/L)
Artvin	Şavşat	Cirtdüzü	122	609
Rize	İkizdere	Şimşirli	7	13
Trabzon	Çaykara	Hadipazarı	31	56
	Şalpazarı	Acısu	326	129
	Araklı	Bereketli	16	19
	Tonya	Hırsafa Yaylası	9	24
	Merkez	Bengisu Mevkisi	898	854
Gümüşhane	Merkez	Yeşildere	43	139
Giresun	Pınarlar Köyü	Çamdibi	22	62
	İnişdibi Beldesi	İnişdibi	15	49
Ordu	Mesudiye	Acısu	46	51
	Aybastı	Acısu	40	58
	Çatalpınar	Acısu	50	152
Ortalama			125	170,4



Şekil 3.15. Maden suları için toplam alfa ve beta değerleri

3.2.2. Gama Spektroskopisi Analiz Sonuçları

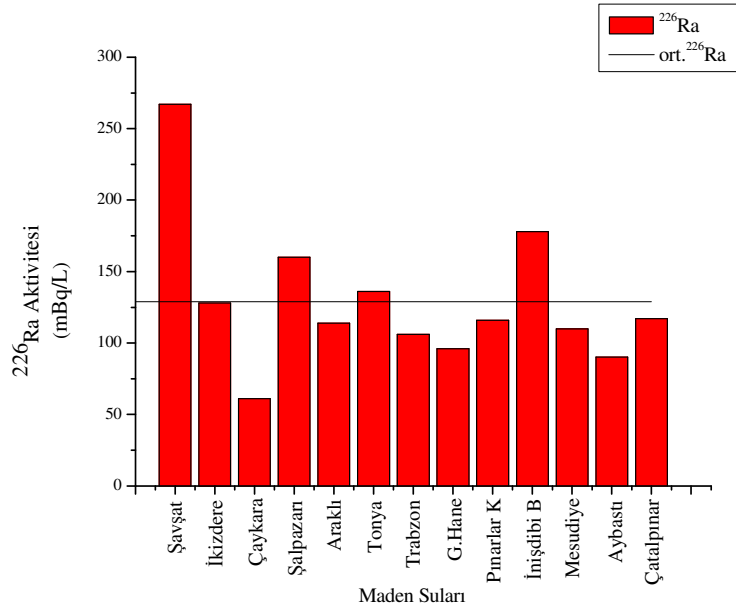
Yapılan ölçümler neticesince elde edilen aktivite değerleri Tablo 3.5’de gösterilmektedir. Her numunenin başında verilen numaralar, o numunenin grafiklerdeki gösteriminde kullanılmıştır.

Tablo 3.5. Maden suları için aktivite değerleri

Maden Suları		²²⁶ Ra (mBq/L)	²³² Th (mBq/L)	¹³⁷ Cs (mBq/L)	⁴⁰ K (mBq/L)
Artvin	Şavşat	267	22	25	108
Rize	İkizdere	128	50	28	801
Trabzon	Çaykara	61	18	<DL	<DL
	Şalpazarı	160	22	25	453
	Araklı	114	73	42	453
	Tonya	136	55	<DL	711
	Merkez	106	27	<DL	1088
Gümüşhane	Merkez	96	<DL	19	801
Giresun	Pınarlar	116	25	24	1404
	İnişdibi	178	22	33	388
Ordu	Mesudiye	110	33	33	1358
	Aybastı	90	22	29	469
	Çatalpınar	117	22	24	532
Ortalama		129	30	22	659

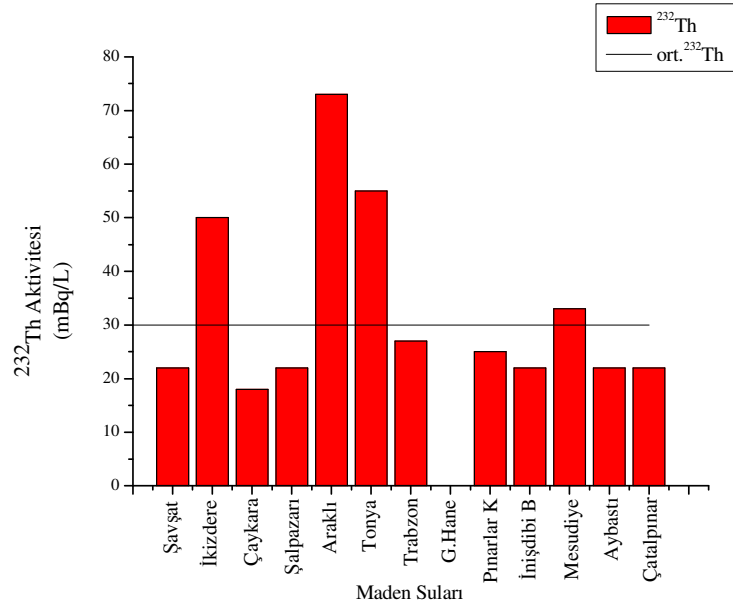
DL: Dedeksiyon limiti

Şekil 3.16’da maden suları için ^{226}Ra aktivitesinin en düşük Trabzon Çaykara ve en yüksek Artvin Şavşat’ta olduğu görülmektedir. Yine maden suları için ortalama ^{226}Ra aktifliği değerinin Artvin Şavşat, Trabzon Şalpaazarı ve Tonya ve Giresun Merkezde geçildiği gözlenmektedir.



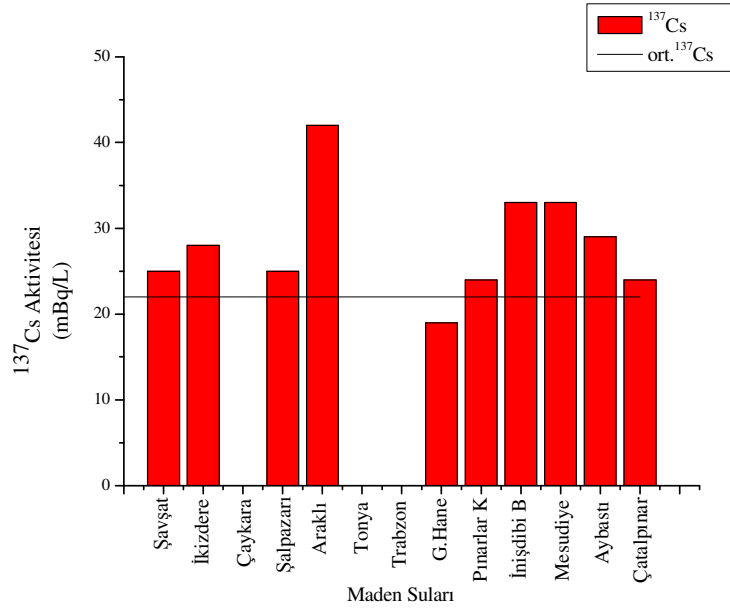
Şekil 3.16. Maden suları için ^{226}Ra aktivite değerleri

Şekil 3.17’de maden sularının ^{232}Th aktivitesi için en düşük ve en yüksek değerler sırasıyla Gümüşhane Merkez ve Trabzon Araklı’da olduğu, maden suları için ortalama ^{232}Th aktiflik değerinin Rize İkizdere, Trabzon Araklı ve Tonya ve Ordu Mesudiye’de geçildiği gözlenmektedir. Ayrıca Gümüşhane Merkezde ^{232}Th aktivitesi tespit edilememiştir.



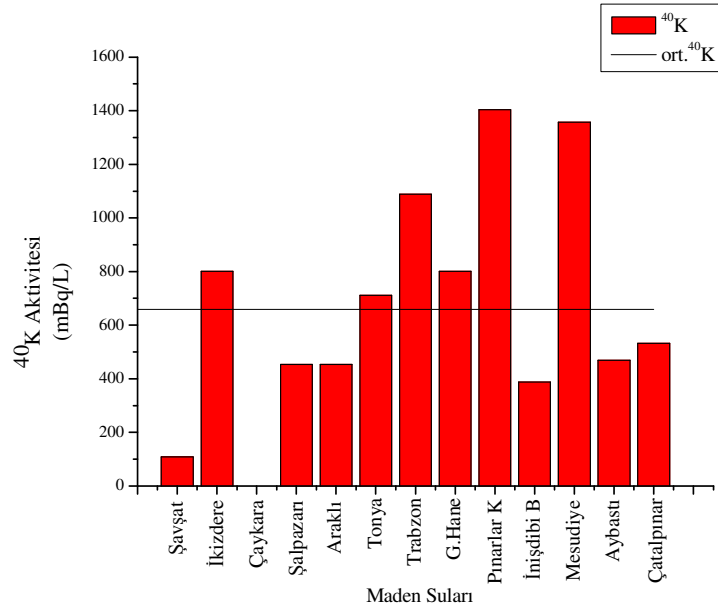
Şekil 3.17. Maden suları için ^{232}Th aktivite değerleri

Şekil 3.18’de maden sularının ^{137}Cs aktivitesi için en düşük değerler Trabzon Çaykara, Merkez ve Tonya’da (buralarda ^{137}Cs aktivitesi tespit edilememiştir) , en yüksek değer de Trabzon Araklı’dadır. Maden suları için ortalama ^{137}Cs aktiflik değeri ise ^{137}Cs aktivitesinin tespit edilemediği yerler haricinde, Gümüşhane Merkezdeki değer de üzerindedir.



Şekil 3.18. Maden suları için ^{137}Cs aktivite değerleri

Şekil 3.19’da maden sularının ^{40}K aktivitesi için en düşük ve en yüksek değerler sırasıyla Trabzon Çaykara (burada ^{40}K aktivitesi tespit edilememiştir) ve Giresun Pınarlar’dadır. Rize İkizdere, Trabzon Merkez ve Tonya, Gümüşhane Merkez, Giresun Pınarlar ve Ordu Mesudiye’de maden suları için ortalama ^{40}K aktiflik değeri geçilmiştir.



Şekil 3.19. Maden suları için ^{40}K aktivite değerleri

3.2.3. Kimyasal Analiz Sonuçları

ICP-OES cihazı ile maden sularında yapılan kimyasal analiz sonucunda elde edilen veriler Tablo 3.6'da gösterilmektedir. Tablo 3.6'daki verileri göz önüne aldığımızda aşağıdaki değerlendirmeler yapılabilir.

Tablo 3.6'ya yakından baktığımızda; en düşük değerler Na için Trabzon Merkez ve Şavşat'ta, Al için Şavşat'ta, P için Çaykara'da, Cl için Araklı'da, K için İkizdere'de, Ca için İkizdere'de, V için İkizdere'de, Mn için Çaykara ve Giresun Pınarlar'da, Fe için Araklı, Mesudiye ve Gümüşhane Merkezde, Ni için Trabzon Merkezde, Cu için İkizdere, Araklı ve Mesudiye'de, Zn için Gümüşhane Merkezde ve Ba için Tonya'dadır. En yüksek değerler ise Na için Şalpazarı'nda, Al için Çatalpınar'da, P için Trabzon Merkezde, Cl için Giresun Pınarlar'da, Ca için Şalpazarı'nda, V için Mesudiye'de, Mn için Şalpazarı'nda, Fe için Şavşat'ta, Ni için Gümüşhane Merkezde, Cu için Çatalpınar'da, Zn için Mesudiye'de ve Ba için de Araklı'dadır.

Tablo 3.6. Maden suları için kimyasal analiz sonuçları($\mu\text{g/L}$)

Maden Suları	Na	Al	P	Cl	K	Ca	V	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Ba
Artvin Şavşat	<DL	15	76	70350	33239	11975	163	16	33	10	12	573	44
Rize İkizdere	11816	61	130	756	373	8551	34	60	20	25	5	23	51
Trabzon Çaykara	70112	22	70	83780	3555	20173	127	2	22	9	6	376	21
Trabzon Şalpazarı	70269	24	106	13632	3212	30225	105	559	22	25	6	286	123
Trabzon Araklı	32021	19	127	568	1294	30217	83	131	19	7	5	194	412
Trabzon Tonya	28642	16	83	710	1142	30139	155	8	23	9	9	486	17
Trabzon Merkez	<DL	166	270	987	26961	12185	204	205	22	1	9	638	25
G.hane Merkez	35464	213	90	873	480	18149	191	500	19	45	7	4	41
Giresun Pınarlar	62938	153	74	139515	2744	14440	185	2	21	8	8	552	28
Giresun İnşidibi	8236	24	89	1065	1952	30115	87	236	20	11	13	5	31
Ordu Mesudiye	50872	148	85	8520	3137	11437	239	47	19	8	5	772	189
Ordu Aybastı	55558	131	83	1420	4115	13140	104	5	20	7	6	316	259
Ordu Çatalpınar	15521	1601	73	4189	3580	20180	43	103	21	12	26	13	45

DL: Dedeksiyon limiti

4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, Doğu Karadeniz Bölgesindeki 53 adet doğal kaynak ve maden suyunda doğal ve yapay radyoaktiflik tayini ve kimyasal analizler yapılmıştır. Bu çalışmanın 3. bölümünde, elde ettiğimiz verilerin kendi aralarında kıyaslamalarına değinilmiştir. Bu bölümde ise elimizdeki verilerin çeşitli kaynaklarla karşılaştırılması ve yorumlanması yapılmıştır.

Tablo 4.1. Toplam alfa ve beta aktifliği verilerinin çeşitli kaynaklarla kıyaslanması

ÜLKE	SU TİPİ	Toplam Alfa (mBq/L)	Toplam Beta (mBq/L)	REFERANSLAR
Türkiye	D.K.	1-188	3-91	*
Türkiye	M.S.	7-898	13-854	*
Türkiye(S.B.)	M.S.	1500	2000	(T.C. Resmi Gazete, 2004)
İtalya	M.S.	14-550	27-1108	(Rusconi vd., 2004)
Türkiye (Elazığ)	Y.S.	20-180	10-290	(Dogru ve Canbazoglu, 2002)
Türkiye (Eskişehir)	Y.S.	9-1640	6-890	(Örgün vd., 2005)
Brezilya	Y.S.	<DL-428	120-860	(Bonotto vd., 2008)
A.B.D.	Y.S.	<DL-270	14,8-199,8	(Blevins vd., 1985)
Meksika	İ.S.	<11-415	<26-695	(Davila Rangel vd., 2002)
İspanya	İ.S.	<DL- 2280	<DL-880	(Palomo vd., 2007)
Yunanistan	İ.S.	8-94	71-350	(Karamanis vd., 2007)
Türkiye (D.Karadeniz)	İ.S.	0.2-15	25.2-264.4	(Damla vd., 2006)
İtalya	İ.S.	<18.2-128.2	<41.6-258.9	(Desideri vd., 2007)
Türkiye (S.B.)	İ.S.	100	1000	(T.C. Sağlık Bakanlığı, 2005)
Türkiye (Ç. ve O.B.)	İ.S.	37	370	(T.C. Resmi Gazete, 2004)
WHO	İ.S.	500	1000	(World Health Organization, 2006)

*: Bu çalışma sonucunda elde edilen veriler DL: Dedeksiyon limiti

Bu çalışmada doğal kaynak suları için; toplam alfa aktiflik değerlerinin 1-188 mBq/L, toplam beta aktiflik değerlerinin 3-91 mBq/L arasında değiştiği, maden suları için ise; toplam alfa aktiflik değerlerinin 7-898 mBq/L, toplam beta aktiflik değerlerinin 13-854 mBq/L arasında değiştiği saptanmıştır.

WHO (Dünya Sağlık Örgütü) tarafından içme suları için belirlenmiş limit değerler toplam alfa ve beta aktiflikleri için sırasıyla 500 mBq/L ve 1000 mBq/L'dir. Toplam alfa aktifliği için WHO tarafından belirlenen üst limit değer sadece Trabzon Merkez Bengisu Mevkii'nden alınan maden suyunda geçilmiştir. Diğer bütün su numunelerinin toplam alfa ve beta aktiflik değerleri WHO'nun belirlediği limit değerlerin altındadır.

Sağlık Bakanlığının 2005 yılında yayınladığı bir çalışmada toplam alfa ve beta aktiflikleri için sınır değerlerini sırasıyla 100 mBq/L ve 1000 mBq/L olarak tespit

edilmiştir. Toplam alfa aktifliği için Sağlık Bakanlığının üst sınır değerleri Artvin Merkez ve Şavşat'ta, Trabzon Merkez ve Şalpazarı'nda, Gümüşhane Torul'da geçilirken, toplam beta aktifliği için bu çalışmadaki veriler Sağlık Bakanlığının limit değerlerinin altındadır.

2004 yılında Resmi Gazetede yayınlanan Çevre ve Orman Bakanlığının tebliğinde limit değerler, toplam alfa ve beta aktiflikleri için sırasıyla 37 mBq/L ve 370 mBq/L'dir. Artvin Yusufeli, Şavşat ve Merkezde, Rize Ardeşen'de, Trabzon Şalpazarı ve Merkezde, Gümüşhane Torul, Kelkit, Yağmurdere ve Merkezde, Giresun Şebinkarahisar'da, Ordu Mesudiye, Aybastı, Çatalpınar ve Merkezde Çevre ve Orman Bakanlığının çalışmasındaki toplam alfa aktifliği sınır değeri aşılmıştır. Toplam beta aktiflik limit değerinin ise Artvin Şavşat ve Trabzon Merkezde geçildiği gözlenmiştir.

2004 yılında Sağlık Bakanlığının Resmi Gazetede yayınlanan tebliğinde ise maden suları için toplam alfa ve beta limit değerleri sırasıyla 1500 mBq/L ve 2000 mBq/L olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada maden suları için elde edilen tüm değerler Sağlık Bakanlığının öngördüğü sınır değerlerin altındadır.

Tablo 4.1'e bakıldığında, bu çalışmanın diğer çalışmalarla genel olarak uyum içerisinde olduğu görülmektedir.

Tablo 4.2. ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K aktivite değerlerinin çeşitli kaynaklarla kıyaslanması

ÜLKE	SU TİPİ	^{226}Ra (mBq/L)	^{232}Th (mBq/L)	^{137}Cs (mBq/L)	^{40}K (mBq/L)	REFERANSLAR
Mısır	D.K.	970–1600	210–1100	–	970–23000	(El Arabi vd., 2006)
Tunus	D.K.	34–3900	–	–	–	(Labidi vd., 2002)
İspanya	D.K.	20–4000	–	–	–	(Soto vd., 1988)
Finlandiya	Y.S.	10–49000	–	–	–	(Salonen, 1994)
İsveç	Y.S.	16–4900	–	–	–	(Isam Salih vd., 2002)
Brezilya	Y.S.	10–3790	–	–	–	(Godoy J. and Godoy M., 2006)
Sudan	Y.S.	7,7–14,3	<0,1–39	–	–	(Alfatih vd., 2008)
İtalya	İ.S.	0,2–1200	–	–	–	(Sgorbati ve Forte, 1997)
Yunanistan	İ.S.	0,6–22,1	–	–	–	(Karamanis vd., 2007)
Türkiye	İ.S.	3–45	–	2–16	<DL–290	(Cevik vd., 2006)
Pakistan	İ.S.	8–15	4–6	–	92–216	(Fatima vd., 2006)
Macaristan	M.S.	106–3169	–	–	–	(Somlai vd., 2002)
İran	M.S.	8–61,2	–	–	–	(Gahrouei and Saeb, 2008)
Polonya	M.S.	<10–235	–	–	23–9904	(Kozlovska vd., 2007)
Türkiye	D.K.	<DL–163	<DL–50	<DL–70	<DL–1271	*
Türkiye	M.S.	61–267	<DL–73	<DL–42	<DL–1404	*

*: Bu çalışma sonucunda elde edilen veriler DL: Dedeksiyon limiti

Doğu Karadeniz Bölgesinde doğal kaynak ve maden sularında yapılan gama spektroskopisi analizleri bu sulara ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K gibi radyoaktif çekirdekler olduğunu göstermiştir. Gama Spektroskopisi analizleri sonucunda elde edilen ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K aktivite değerleri ve bu değerlerin bazı kaynaklarla kıyaslaması Tablo 4.2’de verilmiştir.

Bu çalışmada ^{226}Ra aktivite değerleri doğal kaynak suları için <DL-163 mBq/L, maden suları için 61-267 mBq/L aralıklarında bulunmuştur. Doğal kaynak suları için ^{226}Ra aktivitesi Trabzon Köprübaşı, Of ve Çarşıbaşı’nda tespit edilememiştir. ^{226}Ra aktivitesinin en yüksek olduğu doğal kaynak suyu Giresun Espiye’de, en yüksek olduğu maden suyu ise Artvin Şavşat’tadır. Doğal kaynak sularında ^{226}Ra aktivitesi için bu çalışma ile diğer çalışmaları karşılaştırıldığında, doğal kaynak sularında ^{226}Ra aktivitesi değerlerinin Mısır, Tunus ve İspanya’daki araştırma verilerinden daha küçük olduğu görülmüştür. Ancak içme suları için İtalya, Yunanistan, Pakistan ve Türkiye’de yapılmış çalışmalara baktığımızda, buradaki verilerin genel olarak bu çalışmadaki verilerden düşük olduğu görülmektedir. Maden suları için elde ettiğimiz değerler Macaristan, Polonya ve İran’da yapılan çalışmaların sonuçları ile nispeten uyum içerisindedir.

^{232}Th aktivite değerleri çalışmamızda doğal kaynak suları için <DL-50 mBq/L, maden sularında ise <DL-73 mBq/L aralıklarında bulunmuştur. Doğal kaynak suyu için ^{232}Th aktivitesi Trabzon Maçka’da, maden suyu için ise Gümüşhane Merkezde tespit edilememiştir. ^{232}Th aktivitesinin en yüksek olduğu doğal kaynak suyu Trabzon Beşikdüzü’nde, en yüksek olduğu maden suyu da Trabzon Araklı’dadır. ^{232}Th aktivitesi için elde ettiğimiz değerler, El Arabi’nin 2006 yılında Mısır’da yapmış olduğu çalışmadaki ^{232}Th aktivite değerlerinin oldukça altında olmasına rağmen, Sudan ve Pakistan’da yapılan çalışmalar ile genel manada uyumludur.

^{137}Cs tabiiatta doğal olarak bulunmamakta olup bir fisyon ürünüdür. Doğu Karadeniz Bölgesindeki doğal kaynak ve maden sularının çoğunda ^{137}Cs radyoaktif çekirdeğine rastlanmıştır. Bu da Doğu Karadeniz Bölgesinin muhtemelen Chernobyl radyoaktif santral kazası ile kontamine olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmada ^{137}Cs için aktivite değerleri, doğal kaynak sularında <DL-70 mBq/L ve maden sularında <DL-42 mBq/L olarak bulunmuştur. ^{137}Cs aktivitesi doğal kaynak suları için Artvin Borçka ve Murgul’da, Rize Pazar’da, Trabzon Of, Arsin, Yomra ve

Beşikdüzü'nde, Gümüşhane Yağmurdere'de, Giresun Bulancak'da ve Bayburt'un tamamında tespit edilememiştir. Bunun nedeni, Bayburt ilinin coğrafik konumu gereği Chernobyl radyoaktif santral kazasına diğer yerlere nazaran daha uzak, dolayısıyla daha az kontamine olması olabilir. Maden suları için ise ^{137}Cs aktivitesi Trabzon Çaykara, Merkez ve Tonya'da bulunamamıştır. Doğal kaynak suları içerisinde en yüksek ^{137}Cs aktivitesi Giresun Merkez İnişdibi Beldesi'nde, maden suları içerisinde de en yüksek ^{137}Cs aktivitesi Trabzon Araklı'da tespit edilmiştir. Bu çalışma ile Cevik ve arkadaşlarının yaklaşık aynı bölgede 2006 yılında yaptığı çalışma sonuçlarının da hemen hemen benzerlikler arz ettiği gözlenmektedir.

^{40}K aktivite değerleri bu çalışmada doğal kaynak suları için $<DL-1271$ mBq/L, maden suları için $<DL-1404$ mBq/L olarak bulunmuştur. ^{40}K aktivitesi doğal kaynak sularında Artvin Murgul'da, Rize Pazar'da, Trabzon Vakfıkebir'de, Gümüşhane Torul, Kelkit ve Yağmurdere'de, Ordu Gököyde, maden suları için de Trabzon Çaykara'da bulunamamıştır. Doğal kaynak suları içerisinde en yüksek ^{40}K aktivitesi Bayburt Narkazan'da, maden suları içerisinde de en yüksek ^{40}K aktivitesi Giresun Merkez Pınarlar'da tespit edilmiştir. Bu çalışmada elde edilen ^{40}K aktivitesi değerleri Mısır'da yapılan araştırma sonuçlarının oldukça altındadır. Bunun yanı sıra Türkiye, Pakistan ve Polonya'daki araştırma sonuçları ile uyum içindedir.

Radyasyona maruz kalan bir insanda oluşabilecek zararlı biyolojik etkilerin hesaplanabilmesi açısından, ölçülebilen bir radyasyon dozunun eşdeğerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle sivil halkın ve radyasyonla çalışanların aldığı radyasyon dozu için standartlar, belirli zamanlarda ifade edilirler. Su numunelerinden alınan yıllık etkin doz eşdeğerleri aşağıdaki bağıntıdan bulunur (Armani, 2002).

$$D=C_R \cdot I_A \cdot E_D \quad (4.1)$$

Burada D, yıllık etkin doz eşdeğeri (Sv/y) olmak üzere, C_R , yıllık tüketilen su miktarı (L/yıl), I_A , radyoçekirdeğin aktivitesi (Bq/L) ve E_D , doz katsayısı (Sv/Bq)'dır. Bazı radyoaktif çekirdekler için doz katsayıları Tablo 4.4'te verilmektedir.

Tablo 4.3. Bazı radyoçekerdeklerin doz katsayıları (WHO, 2003)

Radyoçekerdek	Doz Katsayısı(mSv/Bq)
²³⁸ U	4.5×10^{-5}
²²⁶ Ra	2.8×10^{-4}
²³² Th	2.3×10^{-4}
²²⁸ Ra	6.9×10^{-4}
¹³⁴ Cs	1.9×10^{-5}
¹³⁷ Cs	1.3×10^{-5}
¹³¹ I	2.2×10^{-5}
²¹⁴ Bi	1.1×10^{-7}
²¹⁴ Pb	1.4×10^{-7}
⁴⁰ K	6.2×10^{-6}
²²² Rn	6×10^{-6}

Bu çalışmada elde edilen sonuçların yanı sıra, Denklem 4.1 ve Tablo 4.4 dikkate alınrsa, su numuneleri içinde tespit edilen bazı radyoaktif çekirdeklerin yıllık etkin eşdeğer doz değerleri hesaplanabilir. Bu hesaplamalarda doğal kaynak suları için günlük içim miktarının yetişkinlerde 2L, çocuklarda yaklaşık 1L ve bebeklerde ise yaklaşık 0,75L olduğu, maden suları için ise günlük içim miktarının 1L olduğu (Chau and Michalec, 2008) kabul edilmiştir.

Doğal kaynak suları için yetişkinler, çocuklar ve bebeklerde tespit edilen yıllık etkin doz eşdeğerleri Tablo 4.4’de gösterilmektedir. Elde edilen tüm yıllık etkin doz eşdeğerlerinin WHO’nun belirlediği yıllık etkin doz eşdeğeri için sınır değer olan 0,1 mSv/y’in çok altında olduğu ve insan sağlığı için bir tehlike arz etmediği anlaşılmaktadır.

Tablo 4.4. Doğal kaynak sularındaki radyoaktif çekirdeklerin yıllık etkin doz eşdeğerleri

Yaş Grupları	D ($\mu\text{Sv.y}^{-1}$)			
	²²⁶ Ra ($\mu\text{Sv.y}^{-1}$)	²³² Th ($\mu\text{Sv.y}^{-1}$)	⁴⁰ K ($\mu\text{Sv.y}^{-1}$)	¹³⁷ Cs ($\mu\text{Sv.y}^{-1}$)
Yetişkinler	10.2	3.7	1.7	0.26
Çocuklar	4.9	1.8	0.8	0.12
Bebekler	3.5	1.3	0.6	0.09

Maden suları için yapılan hesaplamalar neticesinde ise yıllık etkin doz eşdeğerleri ^{226}Ra için 13,2 $\mu\text{Sv/y}$, ^{232}Th için 2,7 $\mu\text{Sv/y}$, ^{137}Cs için 1,6 $\mu\text{Sv/y}$ ve ^{40}K için 0,13 $\mu\text{Sv/y}$ olarak tespit edilmiştir.

Doğu Karadeniz Bölgesinde doğal kaynak ve maden sularında yapılan kimyasal analizler sonucunda on üç elementin doğal kaynak ve maden suları için elde edilen ortalama değerleri ve bu değerlerin çeşitli ülkelerde yapılan çalışmalarla ve bazı kurum ve kuruluşların belirlediği sınır değerlerle karşılaştırılması Tablo 4.5’de verilmiştir.

Tablo 4.5’de bu çalışmanın verileriyle WHO’nun verileri karşılaştırıldığında, bu çalışma verilerinin tamamıyla WHO’nun sınır değerlerinin altında olduğu görülmektedir. Sağlık Bakanlığının 2005 yılında yaptığı çalışma ile kıyaslama yapıldığında, doğal kaynak sularında Al ve Fe’in ortalama değerlerinin Sağlık Bakanlığının sınır değerlerinin üzerine çıktığı görüldü. Diğer elementler ise sınır değerlerinin altındadır.

Tablo 4.5. Kimyasal analiz sonuçlarının bazı kaynaklarla kıyaslanması ($\mu\text{g/L}$)

Element	Türkiye ¹		Pak. ²	Yun. ³	İsv. ⁴	Kan. ⁵	İta. ⁶	WHO ⁷	S.B. ⁸		Ç.O.B. ⁹
	D.K	M.S	İ.S	İ.S	İ.S	İ.S	M.S		D.K	M.S	D.K
Na	10270	33958	23618	–	–	–	8395	–	30000	–	125000
Al	215	200	–	–	–	–	–	–	50	200	300
P	122	104	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Cl	4749	25105	25882	–	–	–	9900	–	40000	–	–
K	1093	6599	1745	–	–	–	1167	–	10000	–	–
Ca	15960	19302	27100	–	–	–	70124	–	100000	–	–
V	59	132	–	0.72	0.39	0.32	–	70	–	–	–
Mn	5	144	–	1.24	1	0.57	–	500	20	2000	100
Fe	89	22	–	1.25	2	–	–	–	50	–	300
Ni	18	13,5	–	0.56	0.42	0.73	–	20	20	500	20
Cu	10	9	–	0.43	1.53	0.9	–	2000	100	1000	20
Zn	90	326	–	1.1	3.38	1.6	–	–	5000	6000	200
Ba	50	99	–	–	–	–	–	–	–	1000	1000

¹: Bu çalışmanın sonuçları ²: (Fatima vd., 2006) ³: (Karamanis vd., 2007) ⁴: (Rosborg vd., 2005)

⁵: (Dabeka vd., 2002) ⁶: (Rusconi vd., 2004) ⁷: (World Health Organization, 2006)

⁸: (T.C. Sağlık Bakanlığı, 2005) ⁹: (T.C. Resmi Gazete, 2004)

Tablo 4.6. Toplam alfa ve beta, ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{137}Cs , ^{40}K ve elementler arasında Pearson Correlation verimler istatistiği

	Na	Al	P	Cl	K	Ca	V	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Ba	Gross α	Gross β	^{226}Ra	^{232}Th	^{137}Cs	^{40}K	
Na	1																			
Al	-0,16	1																		
P	-0,11	0,03	1																	
Cl	0,35*	-0,15	-0,16	1																
K	0,42**	-0,14	-0,08	0,51**	1															
Ca	0,32*	-0,21	-0,19	0,09	0,01	1														
V	0,58**	-0,03	-0,02	0,06	0,19	0,53**	1													
Mn	-0,12	0,52**	-0,11	-0,13	-0,01	-0,08	-0,08	1												
Fe	-0,15	0,98**	0,05	-0,12	-0,10	-0,19	-0,02	0,51**	1											
Ni	-0,31	0,02	-0,01	-0,18	-0,21	-0,24	-0,39*	0,20	-0,04	1										
Cu	0,16	0,04	-0,05	0,27	0,57**	-0,01	-0,04	0,07	0,06	-0,30	1									
Zn	0,18	-0,10	-0,14	0,05	0,13	0,27	0,46*	0,04	-0,14	-0,02	-0,05	1								
Ba	0,39*	-0,14	-0,11	-0,03	0,18	0,41**	0,40*	-0,01	-0,11	-0,18	-0,04	0,08	1							
Gross α	0,45**	0,06	-0,17	-0,13	-0,08	0,52*	0,56*	0,20	-0,01	-0,06	-0,10	0,45**	0,24	1						
Gross β	0,54**	-0,08	-0,13	-0,18	0,33*	0,31	0,49**	0,09	-0,08	-0,19	-0,17	0,47*	0,36	0,67**	1					
^{226}Ra	-0,02	0,00	-0,08	-0,13	0,03	0,09	0,05	0,11	-0,02	-0,02	-0,08	0,33	0,16	0,20	0,32	1				
^{232}Th	0,26	-0,07	0,25	0,14	0,29	0,12	0,13	-0,20	-0,04	-0,18	0,01	0,25	0,33	0,05	0,29	0,44*	1			
^{137}Cs	-0,13	-0,05	0,77**	0,02	-0,03	-0,24	-0,01	-0,19	-0,02	-0,06	-0,25	-0,34	-0,31	-0,21	-0,00	-0,09	0,08	1		
^{40}K	-0,72	-0,18	-0,24	-0,09	-0,01	0,13	-0,14	0,06	-0,19	0,24	0,23	0,24	-0,11	-0,06	-0,01	0,10	0,11	-0,33	1	

Bu çalışmada doğal kaynak suları için elde edilen bütün veriler kullanılarak, Pearson Correlation istatistik yöntemiyle aralarındaki muhtemel ilişkiler araştırıldı. Yapılan bu istatistik sonucunda; K-Cl ($r=0,506$), V-Ca ($r=0,534$), Cr-Al ($r=0,564$), Mn-Al ($r=0,521$), Fe-Al ($r=0,977$), Fe-Cr ($r=0,614$), Cu-K ($r=0,573$), Toplam α -Ca ($r=0,518$), Toplam α -V ($r=0,559$), Toplam β -Na ($r=0,542$), Toplam β -Toplam α ($r=0,670$) ve ^{137}Cs -P ($r=0,769$) arasında sıkı bir ilişki olduğu sonucuna varıldı.

5. ÖNERİLER

Radyasyonun insan sağlığı üzerindeki zararlı etkileri tartışma götürmez bir gerçektir. Bu nedenle çalışma iki-üç yılda bir aynı noktalardan örnekler alınarak tekrarlanmalı, varsa değişimler gözlenmelidir.

Ayrıca doğal kaynak ve maden suları ile yapılan bu çalışma tüm ülke geneline yayılmalı ve ülkemiz için bir radyasyon risk haritası oluşturulmalıdır. Bu çalışma periyodik hale getirilerek değişimler izlenmelidir.

6. KAYNAKLAR

- Alfatih A.A. Osman, Isam Salih, Ibrahim A. Shaddad, Saif El Din, M.B. Siddeeg, Hatem Eltayeb, Hajo Idriss, Walid Hamza ve E.H. Yousif, 2008. Investigation of Natural Radioactivity Levels in Water Around Kadugli, Sudan, Applied Radiation and Isotopes, 66, 1650-1653.
- Amrani, D., 2002. Natural Radioactivity in Algerian Botteled Mineral Waters, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 252, 597-600.
- Arvela, H., 2002. Population Distribution of Doses from Radiation in Finland, International Congress Series 1225, 9-14.
- Arya A.P. (Edit: Şahin, Y.) 1999. "Çekirdek Fiziğinin Esesları", Aktif Yayın, Dağıtım Ltd. Şti., İstanbul.
- Bakaç, M. 1998. Gediz Nehri ve Çevresindeki Radyoaktif, Major ve İz Element Seviyelerinin Belirlenerek Faktör Analizi Yöntemi ile İncelenmesi, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Baykut, F., Aydın, A. ve Baykut, S., 1987. "Çevre Sorunları ve Korunma, Günyay Matbaacılık, İstanbul.
- Blevins, R.D., Schreiber J.C. ve Pancorbo, O.C., 1985. Gross Alpha and Gross Beta Radioactivities Associated with Aquatic Environments of Upper-East Tennessee Impacted by Industrial and Mining Activities, Archives of Environmental Contamination and Toxicology 14, 83-88.
- Bonotto, D.M. ve Bueno, T.O., 2008. The Natural Activity in Guarani Aquifer Groundwater, Brazil, Applied Radiation and Isotopes, 66, 1507-1522.
- Bozkurt, A., Yorulmaz, N., Kam, E., Karahan, G. ve Osmanlıoğlu, A.E., 2007. Assessment of Environmental Radioactivity for Sanliurfa Region of Southeastern Turkey, Radiation Measurements, 42, 1387-1391.
- Canbazoğlu, C., 1998. Elazığ ve Çevresindeki İçme ve Kullanım Sularındaki Radyoaktivite Seviyelerinin Tayini, Yüksek Lisans Tezi, F.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Cevik, U., Damla, N., Karahan, G., Çelebi, N. ve Kobyay, A.İ., 2006. Natural Radioactivity in Tap Waters of Eastern Black Sea Region of Turkey, Radiation Protection Dosimetry, 118, 88-92.
- Chau, N.D. ve Michalec, B., 2008. Natural Radioactivity in Bottled Natural Spring, Mineral and Therapeutic Waters in Poland, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 279,1, 121-129.
- Cohen, B., 1996. "Çok Geç Olmadan", Tübitak Yayınları, Ankara.
- Dabeka, R.W., Conacher, H.B., Lawrence, J.F., Newsome, W.H., McKenzie, A., Wagner, H.P., Chadla, R.K. ve Pepper, K., 2002. Survey of Bottled Drinking Waters Sold in Canada for Chlorate, Bromide, Bromate, Lead, Cadmium and Other Trace Elements. Food Addit. Contamin., 19,8, 721-732.

- Damla, N., Cevik, U., Karahan, G. ve Kobya, A.İ., 2006. Gross Alpha and Beta Activities in Tap Waters in Eastern Black Sea Region of Turkey, Chemosphere, 62, 957-960.
- Damla, N., 2006. Doğu Karadeniz Bölgesindeki İçme Sularında Toplam Alfa, Toplam Beta ve Gama Radyoaktifliği, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Davila Rangel, J.I., Lopez del Rio, H., Mireles Garcia, F., Quirino Torres, L.L., Villalba, M.L., Colmenero Sujo, L. ve Montero Cabrera, M.E., 2002. Radioactivity in Bottled Waters Sold in Mexico, Applied Radiation and Isotopes, 56, 931-936.
- Desideri, D., Meli, M.A., Feduzi, L., Roselli, C., Rongoni, A. ve Seatta, D., 2007. ^{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.
- Doğan, M. ve Soylak, M., 2000. Su Kimyası, Erciyes Üniversitesi Yayınları, Kayseri
- Dogru, M. ve Canbazoglu, C., 2002. Natural Gross Radioactivity in Various Surface and Tap Waters in Elazığ, Turkey, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 254, 379-382.
- Duenas, C., Fernandez, M.C., Gonzalez, J.A., Carretero, J. ve Perez, M., 1983. ^{226}Ra and ^{224}Ra in Waters in Spain, Toxicological and Environmental Chemistry, 39, 71-79.
- Duenas, C., Fernandez, M.C., Liger, E. ve Carretero, J., 1997. Natural Radioactivity Levels in Bottled Waters in Spain, Wat. Res., 31, 1919-1924.
- El Arabi, A.M., Ahmed, N.K. ve Salahel Din, K., 2006. Natural Radionuclides and Dose Estimation in Natural Water Resources from Elba Protective Area, Egypt, Radiation Protection Dosimetry, 121, 284-292.
- Fatima, I., Zaidi, J.H., Arif, M. ve Tahir, S.N.A., 2006. Measurement of Natural Radioactivity in Bottled Drinking Water in Pakistan and Consequent Dose Estimates, Radiation Protection Dosimetry, 1-7.
- Fry, F. ve Britcher, A., 1987. Doses from Chernobyl Radiocaesium, Lancet, 160-161.
- Godoy, J.M., Amaral, E.C.da S., Godoy ve Maria Luiza D.P., 2001. Natural Radionuclides in Brazilian Mineral Water and Consequent Doses to The Population, Journal of Environmental Radioactivity, 53, 175-183.
- Godoy, J.M. ve Godoy, M.L., 2006. Natural Radioactivity in Brazilian Groundwater, Journal of Environmental Radioactivity, 85, 71-83.
- Howe, J., Bresford, N. ve Shaw, P.V., 1987. A Comparison of Caesium 137 and 134 Activity in Sheep Remaining on Upland Areas Contaminated by Chernobyl Fallout with House Removed to Less Active Pasture, 7, 71-73.
- IAEA (International Atomic Energy Agency), 1989. Measurement of Radionuclides in Food and The Environmental, Viena.
- IAEA, Seligman, H., 1990. "Isotopes in Everyday Life", IAEA/PI/A6E.
- IAEA, 1996. "Radiation Safety", IAEA Division of Public Information, 96-00725 IAEA/PI/A47E.
- ICRP, 1977. International Commission on Radiological Protection Publication, No:26, Oxford Pergomanpress.

- ICRP, 1993. Protection Against Radon-222 at Home and at Work. Annals of the ICRP, ICRP Publication, No:65, Pergamon, Oxford.
- Isam Salih, M.M., Pettersson, H.B.L. ve Lund, E., 2002. Uranium and Thorium Series Radionuclides in Drinking Water from Drilled Bedrock Wells: Correlation to Geology and Bedrock Radioactivity and Dose Estimation, Radiation Protection Dosimetry, 102, 249-258.
- Kam, E. ve Bozkurt, A., 2007. Environmental Radioactivity Measurements in Kastamonu Region of Northern Turkey, Applied Radiation and Isotopes, 65, 440-444.
- Karahan, G., 1997. İstanbul'un Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Tayini ve Doğal Radyasyonların Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri, Doktora Tezi, İ.T.Ü., Nükleer Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- Karahan, G., Öztürk, N. ve Bayülken, A., 2000. Natural Radioactivity in Various Surface Waters in İstanbul, Turkey, Wat. Res., 34, 4367-4370.
- Karamanis, D., Stamoulis, K. ve Ioannides, K.G., 2007. Natural Radionuclides and Heavy Metals in Bottled Water in Greece, Desalination, 213, 90-97.
- Kence, A., 2000. Bilim ve Teknik Dergisi, Sayı: 388, Ankara.
- Krane, S.K., (Edit: Şarer, B.), 2001. Nükleer Fizik Ders Kitabı 1. Cilt, Birinci Baskı, Palme Yayıncılık Dağıtım Ltd. Şti., Ankara.
- Kovacs, T., Bodrogi, E., Dombovari, P., Somlai, J., Nemeth, Cs., Capote, A. ve Tarjan, S., 2004. ^{238}U , ^{226}Ra , ^{210}Po Concentrations of Bottled Mineral Waters in Hungary and Their Committed Effective Dose, Radiation Protection Dosimetry, 108, 175-181.
- Kozłowska, B., Walencik, A., Dorda, J. ve Przylibski, T.A., 2007. Uranium, Radium and ^{40}K Isotopes in Bottled Mineral Waters from Outer Carpathians, Poland, Radiation Measurements, 42, 1380-1386.
- Labidi, S., Dachraoui, M., Mahjoubi, H. ve Lemaitre, N., 2002. Natural Radioactive Nuclides in Some Tunisian Thermo-Mineral Springs, Journal of Environmental Radioactivity, 62, 87-96.
- LUCAS, H.F., 1991. Radium-226 Whole-Body Gama Counting and Radon-222 Breath Analysis. Health Physics. 60,163-167.
- Osmanlioglu, A.E., Kam, E. ve Bozkurt, A., 2002. Assessment of Background Radioactivity Level for Gaziantep Region of Southeastern Turkey, Radiation Protection Dosimetry, 124, 407-410.
- Örgün, Y., Altınsoy, N., Gültekin, A.H., Karahan, G. ve Çelebi, N., 2005. Natural Radioactivity Levels in Granitic Plutons and Groundwaters in Southeast Part of Eskisehir, Turkey, Applied Radiation and Isotopes, 63, 267-275.
- Palomo, M., Penalver, A., Borrull, F. ve Aguilar, C., 2007. Measurement of Radioactivity in Bottled Drinking Water in Spain, Applied Radiation and Isotopes, 65, 1165-1172.
- Rosborg, I., Nihlgård, B., Gerhardsson, L., Garnesson, M.L., Ohlin, R. ve Olsson, T., 2005. Concentrations of Inorganic Elements in Bottled Water of The Swedish Market, Environmental Geochemistry and Health, 27, 217-227.

- Rusconi, R., Forte, M., Abbate, G., Gallini, R. ve Sgorbati, G., 2004. Natural Radioactivity in Bottled Mineral Waters: A Survey in Northern Italy, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 260, 421-427.
- Salonen, L., 1994. ^{238}U Series Radionuclides as a Source of Increased Radioactivity in Groundwater Originating from Finnish Bedrock. In: Future Groundwater Resources at Risk. IAHS Publ. 222, 71-84.
- Saja-Bohus, L., Gomez, J., Capote, T., Greaves, E.D., Herrera, O., Salazar, V. ve Smith, A., 1997. Gross Alpha Radioactivity of Drinking Water in Venezuela, J. Environ. Radioactivity, 35, 305-312.
- Sgorbati, G. ve Forte, M., 1997. Determination of ^{238}U and ^{226}Ra Concentrations in Drinking Waters in Lombardia Region, Italy, Communication to UNSCEAR Secretariat.
- Shahbazi-Gahrouei, D. ve Saeb, M., 2008. Dose Assessment and Radioactivity of the Mineral Water Resources of Dimeh Springs in the Chaharmahal and Bakhtiari Province, Iran, Nukleonika, 53,1, 31-34.
- Somlai, J., Horvath, G., Kanyar, B., Kovacs, T., Bodrogi, E. ve Kavasi, N., 2002. Concentration of ^{226}Ra in Hungarian Bottled Mineral Water, Journal of Environmental Radioactivity, 62, 235-240.
- Soto, J., Quindos, L.S., Diaz-Caneja, N., Gutierrez, I. ve Fernandez, P.L., 1988. ^{226}Ra and ^{222}Rn in Natural Waters in Two Typical Locations in Spain, Radiation Protection Dosimetry, 24, 109-111.
- Şeker, S. ve Çerezci, O., 1997. Çevremizdeki Radyasyon ve Korunma Yöntemleri, Boğaziçi Üniversitesi Yayınları, İstanbul
- T.C. Resmi Gazete, 2004. Doğal Mineralli Sular Hakkında Yönetmelik (Sağlık Bakanlığı), Sayı: 25657.
- T.C. Resmi Gazete, 2004. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (Çevre ve Orman Bakanlığı), Sayı:25687.
- T.C. Sağlık Bakanlığı, 2005. Su Temini ve Denetimi ile İlgili Yasal Düzenlemeler, Ankara.
- Tosun, M., 2005. İçme ve Maden Suyu Sektör Araştırması, Türkiye Kalkınma Bankası A.Ş. Araştırma Müdürlüğü, Ankara.
- UNSCEAR, 1993. Sources Effects of Ionizing Radiation, Report to the General Assembly, United Nations.
- URL-1, <http://www.taek.gov.tr/ogrenci/r02.htm>, 5 Eylül 2008.
- Yalçın, M., 2002. Malatya Şehir Merkezi ile İlçe Merkezlerinin İçme Sularının Toplam Alfa ve Beta Radyoaktivite Seviyelerinin Tayini, Yüksek Lisans Tezi, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- WHO, 2003. Guidelines for Drinking Water Quality, 3rd. ed., Radiological Quality of Drinking Water, World Health Organization, Geneva, Switzerland.
- WHO, 2006. Radiological Aspects, World Health Organization, Geneva, Switzerland.
- Wisser, S., Frenzel, E. ve Dittmer, M., 2006. Innovative Procedure for the Determination of Gross Alpha/Gross Beta Activities in Drinking Water, Applied Radiation and Isotopes, 64, 368-372.

ÖZGEÇMİŞ

Yaşar KOBYA, 1979 yılında Trabzon Çarşıbaşı'nda doğdu. İlk öğrenimini Zeytinlik Mahallesinde, orta ve lise öğrenimlerini ise Çarşıbaşı merkezde tamamladı. 1998 yılında Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fizik Bölümü'nde lisans eğitimine başladı. Burada bir yıl eğitim gördükten sonra, sınıf birincisi olarak Karadeniz Teknik Üniversitesi Fizik Bölümüne yatay geçiş yaptı ve 2002 yılında mezun oldu. Aynı yıl Erzurum Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Eğitimi Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2004 yılında yüksek lisans eğitimini tamamlamasını takiben, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fizik Bölümü'nde doktora eğitimine başladı. Uluslararası dergilerde ve kongrelerde yayınlanmış çeşitli makaleleri ve bildirileri bulunan Yaşar KOBYA, iyi derecede İngilizce bilmektedir.

