

BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ZONGULDAK İLİNDEKİ DOĞAL KAYNAK SULARINDA TOPLAM ALFA VE
TOPLAM BETA RADYOAKTİVİTE DEĞERLERİNİN BELİRLENMESİ**

FİZİK ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
NAZMİ BAYRAKTAROĞLU

MAYIS 2017

BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ZONGULDAK İLİNDEKİ DOĞAL KAYNAK SULARINDA TOPLAM ALFA VE
TOPLAM BETA RADYOAKTİVİTE DEĞERLERİNİN BELİRLENMESİ**

FİZİK ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nazmi BAYRAKTAROĞLU

DANIŞMAN: Prof. Dr. Hüseyin AYTEKİN

ZONGULDAK

Mayıs 2017

KABUL:

Nazmi BAYRAKTAROĞLU tarafından hazırlanan “Zonguldak İlindeki Doğal Kaynak Sularında Toplam Alfa Ve Toplam Beta Radyoaktivite Değerlerinin Belirlenmesi” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir.
24/05/2017

Danışman: Prof. Dr. Hüseyin AYTEKİN



Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü

Üye: Doç. Dr. Erhan ESER



Gazi Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü

Üye: Doç. Dr. Rıdvan BALDIK



Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü

ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım./..../2017



Doç. Dr. Ahmet ÖZARSLAN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”



Nazmi BAYRAKTAROĞLU

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ZONGULDAK İLİNDEKİ DOĞAL KAYNAK SULARINDA TOPLAM ALFA VE RADYOAKTİVİTE DEĞERLERİNİN BELİRLENMESİ

Nazmi BAYRAKTAROĞLU

Bülent Ecevit Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hüseyin AYTEKİN

Mayıs 2017, 57 sayfa

Bu tez çalışmasında, Zonguldak ilinden toplanan ve halkın içme suyu olarakta kullandığı doğal kaynak suyu örneklerinin radyoaktivite seviyelerinin belirlenmesi amacıyla bir araştırma yapılmıştır. Zonguldak merkez ilçe ile Ereğli, Kozlu, Kilimli ve Çaycuma ilçelerinden toplanan toplam 49 örnek analiz edilmiştir. Örneklerin radyoaktivite seviyelerinin belirlenmesi için toplam alfa ve toplam beta aktivite konsantrasyonları düşük arka fon sayımlı çoklu orantılı gaz detektörleri ile ölçülmüştür. Ölçülen aktivite konsantrasyonları, alfalar için $2.9\pm 0.8-179\pm 41.7$ mB/L ve betalar için $15.4\pm 11.2-244.3\pm 53.0$ mB/L aralığındadırlar. Ölçülen tüm aktivite konsantrasyonları, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından belirlenen, alfalar için 500 mBq/L ve betalar için 1000 mBq/L limit değerlerinin altındadır. Tez çalışmasında ilave olarak, örneklerin alındığı anda ölçülen sıcaklık (T) iletkenlik (EC), pH ile toplam alfa ve beta aktivite konsantrasyonları arasındaki korelasyonlar da incelenmiştir.

ÖZET (devam ediyor)

Anahtar Kelimeler: Doğal kaynak suları, toplam alfa ve beta, etkin doz eşdeğeri, Zonguldak, Türkiye.

Bilim Kodu: 404.04.01.

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

DETERMINATION OF GROSS ALPHA AND BETA RADIOACTIVITY IN NATURAL SPRING WATERS IN ZONGULDAK

Nazmi BAYRAKTAROĞLU

**Bülent Ecevit University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Physics**

Thesis Advisor: Assoc. Prof. Dr. Hüseyin AYTEKİN

May 2017, 57 pages

In this thesis, to determine the radioactivity levels of natural spring waters, which are used as drinking water by the people, in Zonguldak province an investigation was carried out. Totally, 49 water samples collected from the central Zonguldak and its districts Ereğli, Kozlu, Kilimli and Çaycuma were analyzed. To determine the radioactivity level of the water samples the gross alpha and beta activity concentrations were measured using a gas flow proportional counter with low background count multiple detectors. The measured gross alpha and beta activity concentrations were found to be from 2.9 ± 0.8 to 170.5 ± 41.7 mB/L for alphas and from 15.4 ± 6.0 to 244.3 ± 53.0 mB/L for betas. All the measured activity concentrations are lower than the limit values 500 mBq/L for alphas and 1000 mBq/L for betas, which are recommended by the World Health Organization (WHO). In this thesis, additionally, the correlations between the gross alpha/beta activity concentrations and the temperature (T), electrical conductivity (EC), pH , which were measured during sample collection.

ABSTRACT (continued)

Keywords: Natural spring waters, gross alpha and beta activity, effective dose equivalent, Zonguldak, Turkey.

Science Code: 404.04.01.

TEŞEKKÜR

Öncelikle, tez çalışmamın 014-22794455-01 kodlu proje tarafından desteklenmesi nedeniyle Bülent Ecevit Üniversitesi'ne teşekkür ederim.

Tez çalışmamın hayata geçirilmesini sağlayan ve her türlü desteği esirgemeyen saygıdeğer hocam Prof. Dr. Hüseyin AYTEKİN ve eşine,

Yararlı görüş ve yönlendirici değerli katkılarından dolayı sayın hocalarım, Doç. Dr. Erdal ESER ve Doç. Dr. Rıdvan BALDIK'a

Veri ve hesaplamalarda yardımlarını esirgemeyen saygıdeğer ağabeyim Prof. Dr. Taner BAYRAKTAROĞLU'na, rahmetle andığım babama, sabırla büyüten anneme, ağabeylerime, sevgili eşim Asuman'a, kızım Asude'ye ve oğlum Egemen'e en içten duygularıyla teşekkür ederim,

Katkılarından dolayı Doç. Dr. Hasan ÇABUK'a, Arş. Gör. Dr. Gülçin DEMİREL BAYIK'a, Ayrıca, Devlet Su İşleri Müdürlüğü 'ne laboratuvar hizmetinden dolayı teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL:	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xv
BÖLÜM 1 GİRİŞ	1
BÖLÜM 2 RADYOAKTİVİTE.....	5
2.1. GİRİŞ.....	5
2.2. RADYOAKTİF BOZUNMA SÜREÇLERİ.....	9
2.3. RADYOAKTİF BOZUNMA KANUNU	13
2.3.1. Aktivite	14
2.3.2. Yarı-Ömür ve Ortalama Ömür	14
2.3.3. Ard Arda Parçalanma Kanunu	15
2.3.4. Radyoaktif Denge	17
2.4. DOĞAL RADYOAKTİFLİK	18
2.4.1. Topraktaki Doğal Radyoaktivite	22
2.4.2. Sulardaki Doğal Radyoaktivite	22
BÖLÜM 3 NÜKLEER RADYASYON ÖLÇÜMÜ	23
3.1. GİRİŞ.....	23
3.2. RADYASYON SAYAÇLARI.....	24

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
3.2.1. Yarı-İletken Dedektörler	24
3.2.2. Sintilasyon Dedektörleri	24
3.2.3. Gaz Akışlı Dedektörler	24
3.2.4. Gazlı Dedektörlerle Su Örneklerinde Radyoaktivite Ölçümü	26
3.2.4.1. Alfa ve Betaların Sayılması.....	26
3.3. RADYASYON ÖLÇÜM BİRİMLERİ	27
3.3.1. Aktivite Birimleri.....	27
3.3.2. Işınlama Dozu Birimleri	27
3.3.3 Soğrulan Doz Birimleri.....	27
3.3.4 Eşdeğer Doz Birimleri	28
BÖLÜM 4 MATERYAL VE METOT	29
4.1. ÇALIŞMA ALANI	29
4.2. TOPLAM ALFA VE TOPLAM BETA SAYIM SİSTEMİ.....	30
4.2.1. İletkenlik, <i>pH</i> ve Sıcaklık Ölçümü.....	35
BÖLÜM 5 ÖLÇÜM VE HESAPLAMA SONUÇLARI	37
5.1 SU ÖRNEKLERİNE İLİŞKİN TOPLAM ALFA VE TOPLAM BETA AKTİVİTE SONUÇLARI	37
5.2. SU ÖRNEKLERİNİN <i>T</i> , <i>PH</i> , VE <i>EC</i> DEĞERLERİ.....	43
BÖLÜM 6 SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	51
KAYNAKLAR.....	53
ÖZGEÇMİŞ	57

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>		<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1	Nükleon başına bağlanma enerjisi (B/A).	5
Şekil 2.2	Çekirdek potansiyelinin sembolik gösterimi.	6
Şekil 2.3	Kararlılık eğrisi. Giancoli'den uyarlanmıştır	7
Şekil 2.4	Alfa parçacığı ve ortaya çıkan yeni çekirdek için potansiyel enerji ve alfa parçacığının tünelleme ile Coulomb engelinden sızması.	8
Şekil 2.5	^{210}Bi 'un beta bozunumunun sürekli elektron dağılımı.	9
Şekil 2.6	Alfa, beta ve gama ışınlarının manyetik alandaki davranışları.	10
Şekil 2.7	Radyoaktif ışınların maddelerde ilerleyişi.	10
Şekil 2.8	Alfa bozunum sürecinin şema olarak gösterimi.	11
Şekil 2.9	β^- bozunum sürecinin şema olarak gösterimi.	11
Şekil 2.10	β^+ bozunum sürecinin şema olarak gösterimi.	12
Şekil 2.11	Radyoaktivitenin üstel bozunumu.	14
Şekil 3.1	Gaz dolu bir sayaçta toplanan iyonların voltajın fonksiyonu olarak göreceli sayıları.	25
Şekil 3.2	Bir silindirik sayaç geometrisi. Krane'den uyarlanmıştır	26
Şekil 4.1	Doğal kaynak su örneklerinin alındığı Zonguldak il ve ilçeleri haritası.	30
Şekil 4.2	Düşük ortam saymalı gaz akışlı orantılı alfa ve beta sayma aygıtı.	31
Şekil 4.3	Ölçümden önce, örnekleri korumak için örneklere pH değerleri 2 olacak şekilde 1 N HNO_3 asit ilave edilmesi.	32
Şekil 4.4	Suyun kalıntısını elde etmek için öncelikle su numunesinin bir behere konulup ısıtılmasını sağlayan buharlaştırma sistemi.	32
Şekil 4.5	İnfrared lamba altında çelik planşetlere aktararak yapılan buharlaştırma işlemi. .	33
Şekil 4.6	Sabit tartım elde edinceye kadar kurutma işleminin tamamlandığı etüv.	33
Şekil 4.7	Düşük ortam saymalı toplam alfa ve toplam beta sayma sistemi.	34
Şekil 4.8	Alfa (a) ve betalar (b) için verimlilik eğrileri.	34
Şekil 4.9	pH , EC ve T değerleri ölçüm sistemi.	35
Şekil 5.1	Toplam alfa ve beta aktivite konsantrasyonları arasındaki korelasyon.	37
Şekil 5.2	Su örneklerinin pH değerlerinin dağılımı.	43
Şekil 5.3	EC değerleri ile toplam alfa aktivite konsantrasyonları arasındaki korelasyon. ...	49
Şekil 5.4	EC değerleri ile toplam beta aktivite konsantrasyonları arasındaki korelasyon. ..	49

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>		<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1	Uranyum serisi. Şahin ve Krane'den uyarlanmıştır	20
Çizelge 2.2	Toryum serisi. Şahin ve Krane'den uyarlanmıştır	20
Çizelge 2.3	Aktinyum serisi. Şahin ve Krane'den uyarlanmıştır	21
Çizelge 2.4	Doğada tek başına bulunan doğal radyoaktif elementler	21
Çizelge 5.1	Zonguldak ili doğal kaynak suyu örneklerinde toplam alfa ve beta aktivite konsantrasyonları	38
Çizelge 5.2	Zonguldak ili doğal kaynak sularında ölçülen toplam alfa ve beta aktivite konsantrasyonlarının Türkiye ve Dünya'da yayınlanmış başka çalışmalarla karşılaştırılması.	42
Çizelge 5.3	Zonguldak ili doğal kaynak suyu örneklerinde hesaplanan yıllık etkin doz değerleri.	42
Çizelge 5.4	Zonguldak ili doğal kaynak suyu örneklerinin koordinatları, <i>T</i> , <i>pH</i> , <i>EC</i> ve toplam alfa ve toplam beta aktivite konsantrasyonları	45

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

mBq/L	: milibecquerel/Litre
T	: Sıcaklık
EC	: İletkenlik
pH	: Bir çözeltinin asitlik veya bazlık derecesinin bir ölçüsü
μScm^{-1}	: mikrosiemensantimetre ⁻¹
Th	: Toryum
U	: Uranyum
K	: Potasyum
^3H	: Tritiyum
mSvy^{-1}	: milisievertyıl ⁻¹
Ra	: Radyum
Rn	: Radon
g	: gün
m	: metre
MeV	: Megaelektronvolt
mm	: milimetre
α	: Alfa
β	: Beta
γ	: Gama
C	: Karbon
N	: Azot
$\bar{\nu}$: antinötrino
e	: elektron
ν	: nötrino

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

Be	: Berilyum
Li	: Lityum
Ar	: Argon
Fe	: Demir
Mn	: Mangan
Po	: Polonyum
Pb	: Kurşun
y	: yıl
sa	: Saat
s	: Saniye
dk	: Dakika
Rb	: Rubidyum
In	: İndiyum
I	: İyot
La	: Lantan
Sm	: Samaryum
Lu	: Lutesyum
Pu	: Plütonyum
μm	: mikrometre
cm	: santimetre
Ci	: Curie
Bq/L	: Becquerel/Litre
Bq/kg	: Becquerel/kilogram
Bq/m ²	: Becquerel/metrekare
Bq/m ³	: Becquerel/metreküp
R	: Röntgen
Q	: Yük
X	: Poz
Q/m	: Yük/metre
C/kg	: Coulomb/kilogram
Rad	: Soğrulan Radyasyon Dozu
erg/gr	: erg/gram

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

J/kg	: Joule/kilogram
Gy	: Gray
kg	: Kilogram
BBE	: Bağlı biyolojik etkinlik
QF	: Kalite Faktörü
ED	: Eşdeğer doz
D	: Soğrulan doz
Rem	: Eşdeğer doz birimi
mL	: Mililitre
CH ₄	: Metan
HNO ₃	: Nitrik asit
°C	: Celcius
mg	: Miligram
Am	: Amerikyum
Sr	: Stronsiyum
$A_{\alpha,\beta}$: Toplam alfa/beta aktivitesi
ϵ %	: Sayım verimi
V	: hacim
L	: Litre
MDA	: Minimum dedekte edilebilir aktivite
CR_B	: Dakıkada sayım cinsinden arka plan sayımı
t	: Dakika cinsinden zaman
DR_w	: Yıllık etkin doz eşdeğeri
A_w	: Toplam alfa konsantrasyonu
IR_w	: Bir Yetişkin İçin Yılda Tüketilen Su Miktarı
IDF	: USEPA tarafından alfalar için verilen etkin doz çevirme faktörü

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

KISALTMALAR

- WHO** : World Health Organization(Dünya Sağlık Örgütü)
- TSE** : Türk Standartları Enstitüsü
- UNSCEAR** : United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
- USEPA** : United States Environmental Protection Agency Amerika (Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı)
- NCRP** : National Council on Radiation Protection and Measurements
- ICRU** : International Commission on Radiological Units (Uluslararası Radyolojik Birimler Komisyonu)
- SI** : Uluslararası Birim Sistemi
- EPA** : United States Environmental Protection Agency

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Su, yaşayan tüm varlıklar için gerekli olan önemli bir doğal kaynaktır. Kullanım amaçlı sular; doğal kaynak suları ve işlem görmüş sular olarak ikiye ayrılır. Doğal kaynak suları; yeraltında farklı derinliklerde jeolojik durumlara uygun olarak oluşabilen, kaynak veya kaynaklardan yerüstüne kendiliğinden ya da teknolojik yöntemlerle çıkarılan, mineral kapsamlı artık elementler, aynı zamanda başka bileşenleriyle tariflenen her çeşit kirlenme sebeplerine rağmen muhafaza edilebilen yer altı sularıdır. İşlem görmüş sular ise; yeraltı sularından elde edilen, ters ozmos (ya da membran filtrasyon) tekniği ile saflaştırılmış, ozonlama işleminden geçirilmiş, bazı minerallerin ve tatlandırıcıların eklenmesiyle tüketiciye sunulan paketlenmiş sular veya şebeke sularıdır. Sular kendilerine karakteristik özelliklerini veren birçok kimyasal element ve mineraller içerirler. İçme ve kullanma sularının pH ve iletkenlik değerleri ile içerdikleri iyon miktarlarının belli standartlarda olması tavsiye edilmektedir. Dünya Sağlık Örgütü'nce içilebilir sular için pH değerleri 6.5-8.5 aralığında tavsiye edilmektedir (WHO 2011). Türk Standartları Enstitüsü'ne (TSE) göre kaynak suları için tavsiye edilen iletkenlik değeri ise $650 \mu\text{Scm}^{-1}$ dir (TSE 1997).

Arka plan radyasyon her yerde sabit olsa da radyonüklit konsantrasyonu dağılımı sabit değildir. Bu nedenle gerek Türkiye'de ve gerekse Dünya'da bu alanda birçok araştırma bulunmaktadır. Birleşmiş Milletler Bilimsel Komitesinin Atomik Radyasyonun Etkileri Üzerine Olan Raporuna göre (UNSCEAR 2000) doğal çevresel radyoaktivite, esas olarak, yerel jeolojik ve coğrafi koşullara bağlıdır ve dünyada her bölgede farklı düzeylerde görünür. Yeraltı suları, değişik jeolojik yapılarla temas halinde olup doğal radyoaktif elementler suda çözünebilirler. Suda çözünen radyoaktif element miktarı suyun sıcaklığı ve akış hızına, jeolojik yapı tipine, ortamın basıncına, suyun akış süresine bağlı olarak değişiklik gösterir. Sudaki radyoaktivitenin esas kaynağı ^{232}Th ve ^{238}U radyoaktif serileri, ile ^{40}K radyoaktif elementidir.

Bununla birlikte ^3H (Tritiyum) da radyoaktif bir element olup içme suyu içinde bulunmaktadır ve içme sularında radyoaktivite seviyesinin belirlenmesi açısından analizi önemlidir. Halkın maruz kaldığı doğal kaynaklardan alınan ortalama yıllık radyasyon dozu 2.4 mSvy^{-1} olup, bunun dağılımı şu şekildedir: Kozmik ışınlardan 0.4 mSvy^{-1} , karasal gama ışınlarından 0.5 mSvy^{-1} , iç etkilerden maruz kalınanı ise; soluma ile (radon) 1.2 mSvy^{-1} , yutma yoluyla (gıda ve içme suyu ile) 0.3 mSvy^{-1} dır (Görür et al. 2011).

Sıcaklık, *pH* ve elektriksel iletkenlik gibi fizikokimyasal parametreler yanında suyun kullanımını denetleyen en önemli özelliklerinden biri de radyoaktivite özelliğidir. ^{238}U serisinin bozunma ürününü ^{226}Ra ve onun da bozunma ürünü olan ^{222}Rn sudaki en yaygın olarak bilinen alfa yayınlayıcısı olduğu halde ^{40}K ile ^{232}Th serisinin bozunma ürünü ^{228}Ra da beta yayınlayıcısıdır. ^{226}Ra ($t_{1/2}=1620 \text{ y}$) ve ^{228}Ra ($t_{1/2}=5.75 \text{ y}$) yutulduğunda da en tehlikeli radyoaktif elementlerdir (Altınkulaç et al. 2015). İçme suları vasıtasıyla yutulan radyoaktif yayınlayıcılar kana geçip bazı organlarda birikerek onlara zarar verebilmektedirler (Canu et al. 2011). ^{226}Ra yutulursa büyük çoğunluğu vücudu çabucak terk eder fakat küçük bir kesri kana ve kemik dokusuna girer bu da kemik kanserine neden olabilir, diğer taraftan, ^{238}U serisindeki ^{222}Rn ($t_{1/2}=3.82 \text{ g}$) ve onun radyoaktif katı ürünleri solunursa akciğer kanserine neden olabilmektedirler (Walencik 2010).

Yukarıda açıklanan nedenlerden dolayı içme sularının radyoaktivite içeriklerinin araştırılması halk sağlığı açısından oldukça önemlidir. İçme sularında toplam alfa ve toplam beta aktivite ölçümü radyoaktivite seviyesini belirlemek amacıyla yapılan bir girişim olup sudaki belli başlı radyonüklid analizinin gerekip gerekmediğini göstermesi bakımından önemlidir (Turhan et al. 2013). Bu bakımdan, içme suyu örneklerinin radyolojik karakterleri, onların toplam alfa ve toplam beta aktivite konsantrasyonlarının ölçülmesiyle kontrol altına alınabilir. İçme sularında toplam alfa ve toplam beta aktivite konsantrasyonu ölçümüne yönelik Türkiye’de ve Dünya’da bazı çalışmalar yapılmıştır (Görür et al. 2011; Turhan et al. 2013; Değerliler and Karahan 2010; Kobya et al. 2015; Turgay et al. 2016; Jobaggy et al. 2011; Korkmaz and Ağar 2016; Ogundare and Adekoya, 2015; Nguelem and Adekoya 2013; Pentile et al. 2016; Jankovic et al. 2015). Bununla birlikte, literatürde Zonguldak ilinde doğal kaynak sularındaki toplam alfa ve beta ölçümüne yönelik olarak sistematik bir çalışma yapılmamıştır. Zonguldak ili doğal kaynak suları bakımından oldukça zengin olup kaynak suları borularla kaynağından taşınarak belli rezervuarlarda toplanmaktadır. Bu sular, herhangi bir ön işlemden geçirilmeden içme suyu olarak halkın hizmetine sunulmaktadır. Bu tez çalışmasında, Zonguldak merkez

ilçe ile Ereğli, Kozlu, Kilimli ve Çaycuma ilçelerindeki su rezervuarlarından toplanan 49 örnekte toplam alfa ve toplam beta aktivite konsantrasyonlarını belirlemek amacıyla analiz edilmiştir. Ayrıca, örneklerin alınması esnasında, örneklerin sıcaklık, *pH* ve iletkenlik gibi parametreleri de ölçülmüştür.

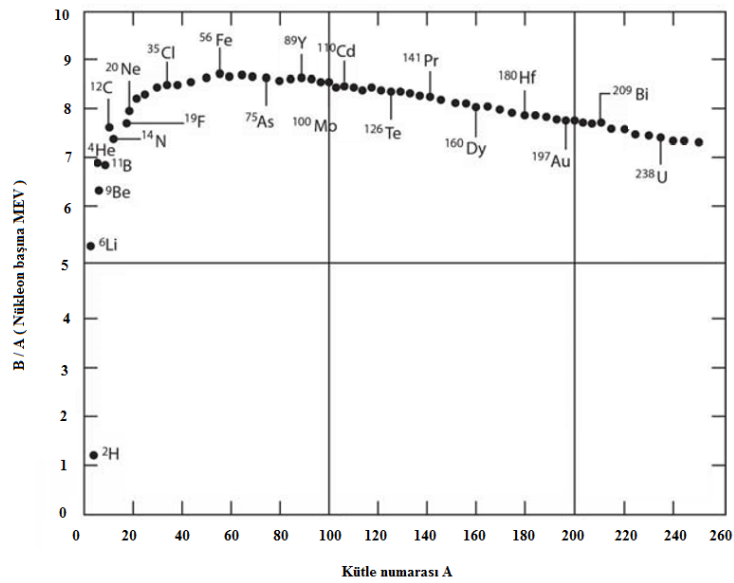
Tezin ikinci bölümünde, radyoaktivite ile ilgili olarak genel bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümde, nükleer radyasyon ölçümü başlığı altında, radyasyonun madde ile etkileşimi hakkında kısa bilgi verdikten sonra alfa ve betaların sayılmasında kullanılan gazlı detektörler anlatılmıştır. Dördüncü bölümde tez çalışmasında kullanılan material ve metot tanıtılmıştır. Beşinci bölümde ise elde edilen bulgular ve ilgili tartışmalar yer almaktadır. Son olarak altıncı bölümde ise elde edilen sonuçlar hakkında genel değerlendirme yapılmaktadır.

BÖLÜM 2

RADYOAKTİVİTE

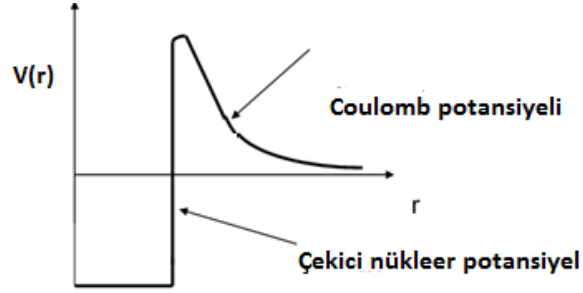
2.1. GİRİŞ

Canlı ve cansız maddeler atom deneni küçük yapı taşlarından oluşmaktadır. İki veya daha fazla atom bir araya gelerek molekülleri oluştururlar. Büyük sayıda moleküller de birleşerek nesnelere oluştururlar. Atomlar, kabukta negatif yüklü elektronlar ve merkezindeki çekirdekte bulunan proton (p) ve nötronlardan (n) oluşur. Atom çekirdeğinin çapı 10^{-15} m mertebesindedir. Herhangi bir çekirdek Z sayıda proton ve N sayıda nötronla oluşur ve bunların toplamı A kütle numarasını oluşturur. Bir çekirdek genellikle A_ZX sembolü ile gösterilir. Çekirdekteki nötron ve protonlar, protonlar arasındaki Coulomb itme kuvvetine baskın gelen nükleer kuvvetler ile bağlıdır. Nükleer kuvvetlerin etki mesafesi yaklaşık olarak 10^{-15} m mertebesindedir. Çekirdek içinde nükleonları bir arada tutan enerjiye bağlanma enerjisi adı verilir. Şekil 2.1 de nükleon başına bağlanma enerjisinin kütle numarasına göre değişimi görülmektedir.



Şekil 2.1 Nükleon başına bağlanma enerjisi (B/A). Krane'den uyarlanmıştır (Krane 2001)

Nükleonların çekirdeğe bağlanma enerjisi MeV mertebesinde olup p-p, n-n ve n-p arasındaki kuvvetler aynı doğadadırlar, yani, yükten bağımsızdırlar. Çekirdek kuvvetleri çekici kuvvetler olup çekirdek yüzeyinde sifıra giderler. Coulomb kuvvetleri ise çekirdek sınırında ağır çekirdekler için yaklaşık 30 MeV olan bir bariyer oluştururlar (Tanyel 1994). Çekirdek potansiyeli yaklaşık dikdörtgensel bir kuyu şeklinde düşünülürse bu potansiyel Coulomb potansiyeli ile birlikte Şekil 2.2 deki gibi gösterilebilir.

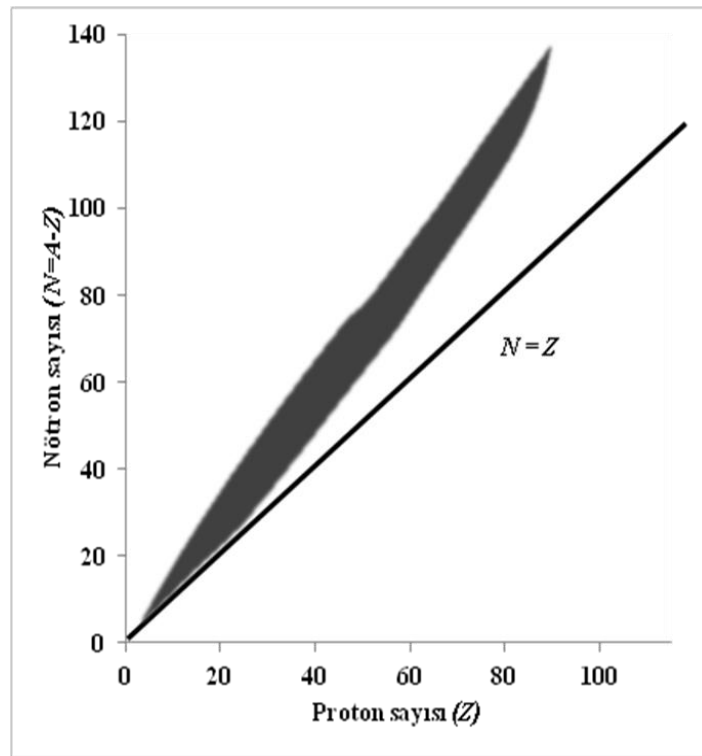


Şekil 2.2 Çekirdek potansiyelinin sembolik gösterimi.

Z=82 'nin üzerinde olan çekirdeklerde çekirdek kuvvetleri Coulomb kuvvetleriyle rekabet edemezler ve kararsızdırlar. Kararsız atom çekirdeklerinin kararlı hale gelebilmeleri parçacık ve dalga formunda enerji yayınlama yoluyla olur. Bu olaya radyoaktivite adı verilir. Radyoaktivite, 1896 da Henry Becquerel tarafından keşfedilmiştir. Henry Becquerel, fosferesans çalışmasında, belli bir mineralin (içeriğinde uranyum olan) ışıktan uzak kalacak şekilde bir fotoğraf filminin içine sarıldığında, x-ışımından farklı olarak yeni tipte bir radyasyon yaydığını fark etti. Bu yeni olay radyoaktivite olarak adlandırıldı. Henry Becquerel'in keşfinden hemen sonra, Marie Curie ve eşi Pierre Curie önceden bilinmeyen yüksek derecede radyoaktif iki element tespit ettiler ve bunlara polonyum ve radyum adını verdiler. Daha sonra diğer radyoaktif elementler keşfedildi. Radyoaktivitenin güçlü fiziksel (örneğin, güçlü bir şekilde ısıtma ve soğutma gibi) ve güçlü kimyasal işlemlerden etkilenmediği bulunmuştur (Giancoli 2008). Günümüzde, yaklaşık 1500 farklı atomun olduğu bilinmektedir. Bunlardan sadece 249 tanesinin çekirdekleri kararlıdır ve geri kalanı kararsızdırlar. Radyoaktiflikten yayınlanan ışınlar yoğun olarak incelenmiş ve bulunan bilgiler ışığında nükleer teknolojide uygulama alanları ortaya çıkmıştır. Radyoaktif çekirdeklerden yayınlanan ışınlar (radyasyonlar), alfa (α) ve beta (β) partikülleriyle gama (γ) fotonları olup bunlar atomları iyonlaştırma yeteneğine sahiptirler. Bu bakımdan bu ışınlar iyonize radyasyonlar olarak bilinirler. Alfa parçacıkları +2 birim yüke ve 4 birim kütleyle

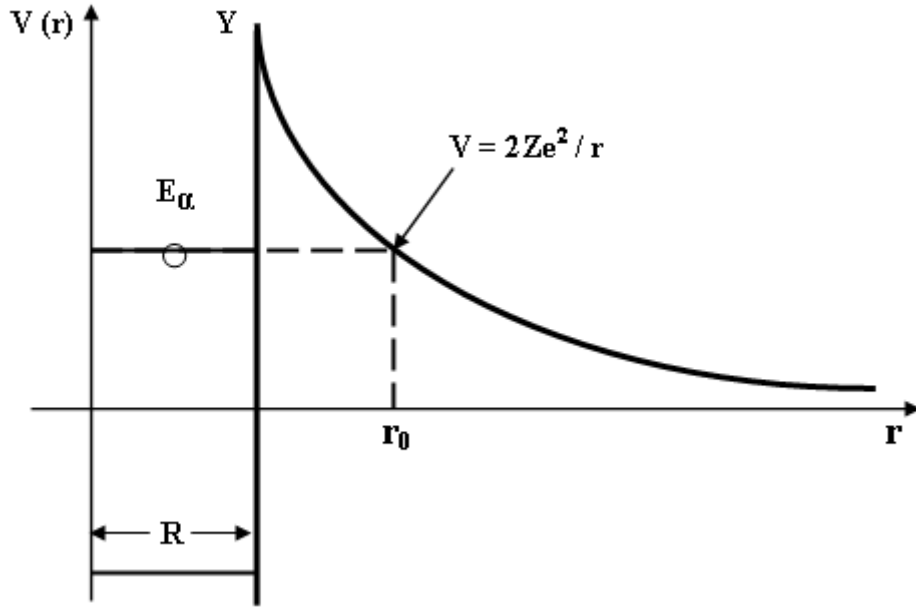
sahip olan helium çekirdekleridirler. Beta parçacıkları, kütlesi ve yükü elektronunki ile aynıdır. Gamma ışınlarının yük ve kütleleri yoktur, yani, bunlar fotondurlar.

Kararlı çekirdekler, $N=Z$ olma eğilimindedirler. Yaklaşık $Z=20$ den sonra artan proton sayısı ile birlikte çekirdekler bu kararlılık doğrusundan saparlar. Kararlılıktan uzaklaşan çekirdeklerin kararlılığı için, nükleer kuvvetler yükten bağımsız olduğundan, daha çok nötron gereklidir. Bu bakımdan kararlılık doğrusu nötronlar lehine sapma gösterir. Gerçekte kararlı çekirdekler, Şekil 2.3 teki gibi bir kararlılık bandının içinde yer alırlar. Buna göre $Z=82$ den büyük çekirdekler kararlılık için büyük kütleleri ve $+2$ birim yüklerinden dolayı α -bozunması yapmaya meyillidirler. Kararlılık bandının solundaki çekirdekler β^- bozunumuna (yani elektron yayınlamaya), sağındaki çekirdekler ise β^+ bozunumuna (yani, pozitron yayınlamaya) meyillidirler.



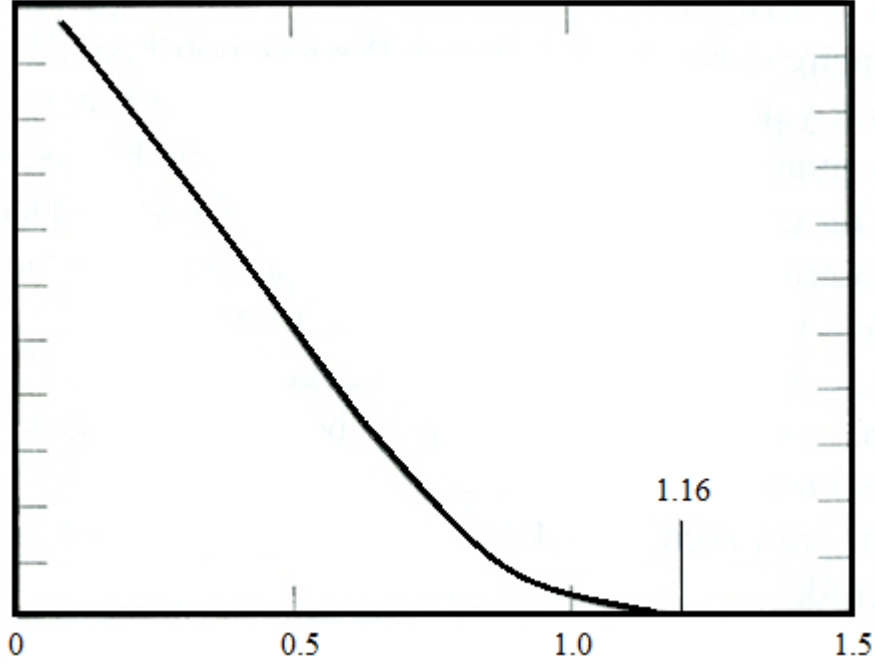
Şekil 2.3 Kararlılık eğrisi. Giancoli'den uyarlanmıştır (Giancoli 2008).

Alfa bozunumunda yayınlana alfa parçacıklarının enerjileri yaklaşık olarak 4-10 MeV basamağındadırlar (Tanyel 1994). Alfa bozunması yapan bir çekirdekten yayınlanan alfa parçacıkları tek enerjilidir. Alfa bozunmasından önce çekirdek içinde alfa parçacığı yaratılır ve tünelleme ile Coulomb bariyerinden geçerler (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 Alfa parçacığı ve ortaya çıkan yeni çekirdek için potansiyel enerji ve alfa parçacığının tünelleme ile Coulomb engelinden sızması. Tanyeli'den uyarlanmıştır (Tanyel 1994). Burada R ortalama çekirdek yarıçapı ve r_0 ise alfa parçacıklarının engeli terk ettiği mesafedir.

Beta bozunumunda ise çekirdek içinde bir nötron protona dönüşür ve bir elektron yayınlanır veya bir proton nötrona dönüşür ve bir pozitron yayınlanır. Pozitron, + yüklü elektron olarak tanımlanır. Beta bozunumunda yayınlanan parçacıkların enerjileri sıfırdan birkaç MeV'e kadar değişebilmektedir. Beta bozunumunda beta parçacığı ile birlikte bir de antinötrino parçacığı yayınlanır ve bu iki parçacık bozunma enerjisini paylaşırlar. Dolayısıyla betaların spektrumu sürekli dir. Şekil 2.5 te ^{210}Bi 'un beta bozunumunun sürekli spektrumu görülmektedir. Radyoaktiflikten yayınlanan gama ışımalarının enerjileri 0.1-10 MeV arasındadır (Krane 2001). Beta bozunumunda da alfa bozunumunda olduğu gibi betaların Coulomb engelinden tünelleme etkisi ile çıktıkları düşünülebilir (Jensen 2000).

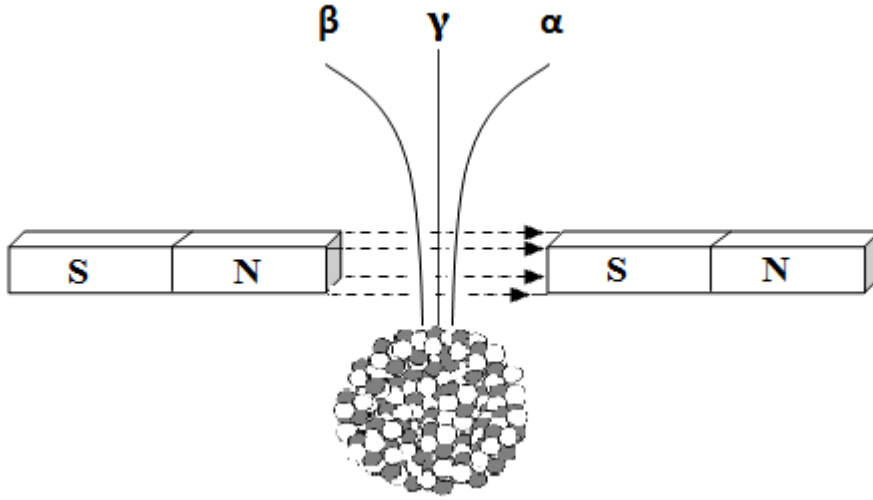


Şekil 2.5 ^{210}Bi 'un beta bozunumunun sürekli elektron dağılımı. Krane'den uyarlanmıştır (Krane 2001).

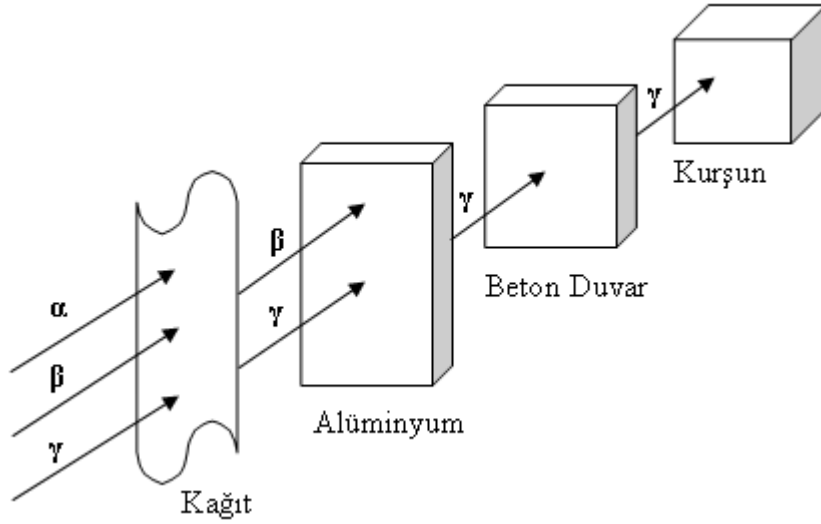
Bazı durumlarda, radyoaktif çekirdekler alfa veya beta bozunumu sonucu tamamen kararlı duruma geçemezler uyarılmış durumda kalırlar. Bu uyarılmış durumdan gama fotonu yayınlayarak kararlı duruma geçerler.

2.2. RADYOAKTİF BOZUNMA SÜREÇLERİ

Alfa, beta ve gama radyasyonlarının manyetik alandaki davranışları Şekil 2.6 da görülmektedir. Alfa parçacıkları ağır ve yüklü parçacıklar oldukları için bir kağıt parçacığı yardımıyla durdurulabilirler, dolayısıyla ölü derilerden geçemezler. Beta parçacıkları ise yüklü olmalarına karşın alfa parçacıklarının kütlelerin yaklaşık 7000 de biri kadardır ve yaklaşık 3 mm kalınlığındaki kurşun levhalarla durdurulabilirler dolayısıyla dışarıdan göz merceğine zarar verebilirler. Gama ışınları en girici radyoaktif ışınlar olup havada birkaç m yol alabilirler ve ancak bir kurşun blok ($Z=82$) gibi büyük atom numaralı materyal ile durdurulabilirler. Alfa, beta ve gama ışınlarının madde tarafından durdurulması Şekil 2.7 de görülmektedir.

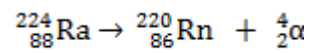
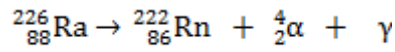


Şekil 2.6 Alfa, beta ve gama ışınlarının manyetik alandaki davranışları.

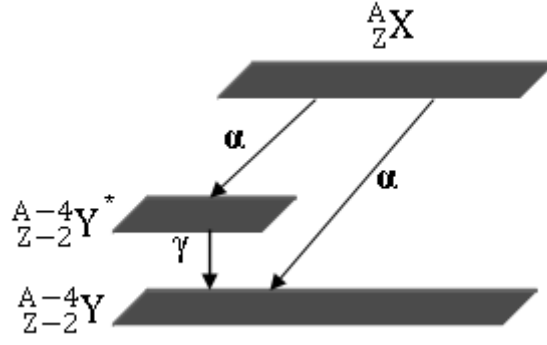


Şekil 2.7 Radyoaktif ışınların maddelerde ilerleyişi.

Alfa bozunumuna aşağıdaki örnekler verilebilir:

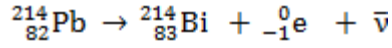
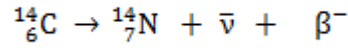


Kararsız çekirdekler, doğrudan alfa ışınmasıyla kararlı hale girebileceği gibi alfa ışınmasıyla çekirdeğin bir uyarılan halinde durabilir ve buradandan da gama ışınmasıyla kararlı hale ulaşabilir. Şekil 2.8, bir ${}^A\text{X}$ çekirdeğindeki alfa ışınmasını şema olarak göstermektedir.

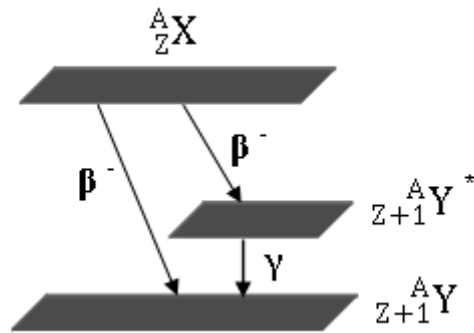


Şekil 2.8 Alfa bozunum sürecinin şema olarak gösterimi.

Beta bozunumuna örnek olarak aşağıdaki bozunmalar verilebilir:

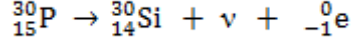
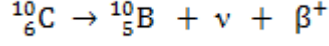


Burada, çekirdekte bir nötron protona dönüşmekte ve çekirdek içinde yaratılan bir elektronla antinötrino yayımlanmaktadır. Burada $\bar{\nu}$, enerji ve momentumun korunumu gereğince yayımlanan antinötrino parçacığıdır. Beta bozunumu sonucunda da alfa bozunumunda olduğu gibi çekirdek taban duruma geçebileceği gibi uyarılmış durumda da kalabilir. Uyarılmış durumdaki çekirdek gama bozunumu ile taban duruma geçebilir (Şekil 2.9).

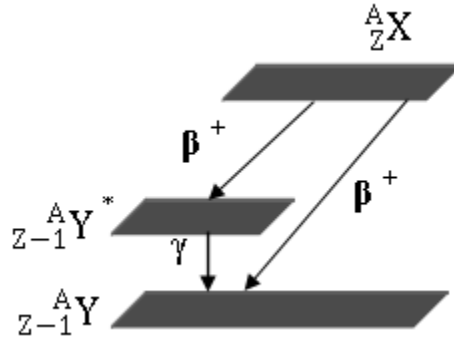


Şekil 2.9 β^- bozunum sürecinin şema olarak gösterimi.

Çekirdek içinde bir protonun nötrona dönüştüğü ve bir pozitronla birlikte bir nötrinonun yayımlandığı bozunma ise pozitron bozunumu olarak adlandırılır. Pozitron bozunumuna aşağıdaki örnekler verilebilir:

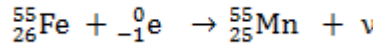
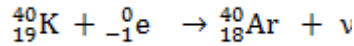
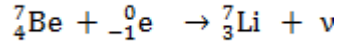


Burada, enerji ve momentumun korunumu gereğince β^+ parçacığı ile birlikte bir de nötrino (ν) parçacığı yayınlanmaktadır. Pozitron bozunumu sonucunda da çekirdek taban duruma geçebileceği gibi uyarılmış durumda kalabilir ve uyarılmış durumdan gama yayınlayarak taban duruma geçebilir (Şekil 2.10).



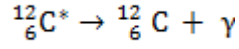
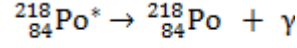
Şekil 2.10 β^+ bozunum sürecinin şema olarak gösterimi.

Pozitron bozunumuna alternatif bir bozunum türü de elektron yakalama olayıdır. Çekirdek kütlesi pozitron bozunumu için yeterince büyük değilse çekirdek yörünge elektronlarından birini yakalar (bu genellikle K-kabuğundan olur) ve çekirdekte bir proton nötrona dönüşür ve bir nötrino yayınlar. Bu süreçte elektron yok olur. Bu olaya elektron yakalama olayı adı verilir. Elektron yakalamaya aşağıdaki örnekler verilebilir:



Bu durum, elverişli enerjide X-ışın deteksiyonuyla algılanabilir.

Son olarak gama bozunumuna örnekler verebiliriz :



Burada * işareti çekirdeğin uyarılmış olduğunu gösterir. Bazen uyarılmış çekirdek gama bozunumu yapacağı yerde enerjisini yörünge elektronlarına aktararak onun sökülmesine neden olur. Buna iç dönüşüm olayı denir. Bu olay X-ışını yayınlanmasıyla gözlenir.

2.3. RADYOAKTİF BOZUNMA KANUNU

Alınan radyoaktif örnekte; bir t zamanında bozunmadan kalan N tane çekirdek bulunuyorsa, sisteme yeniden eklenen çekirdek de yoksa, bir dt zaman süresinde bozunan çekirdeklerin sayısı dN , başlangıçtaki çekirdek sayısı N , örneğin parçalanma sabiti λ ve dt zamanı ile orantılıdır:

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

Burada, “-” işareti azalmayı temsil eder. (2.1) eşitliğinden aşağıdaki ifade yazılabilir:

$$\frac{dN}{N} = -\lambda dt \quad (2.2)$$

Her iki tarafın integrali alınarak (N_0 , $t=0$ anındaki bozunmamış radyoaktif çekirdeklerin sayısı ise)

$$\int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = \int_0^t -\lambda dt \quad (2.3)$$

elde edilir. İntegral, $\ln N = -\lambda t + C$ (sabit) olup $t=0$ için $C = \ln N_0$ dır. Buna göre aşağıdaki ifadeler türetilebilir:

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t \quad (2.4)$$

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2.5)$$

Buna göre, radyoaktif bozunma üstel bozunma kanununa uymaktadır (Şekil 2.11).

2.3.1. Aktivite

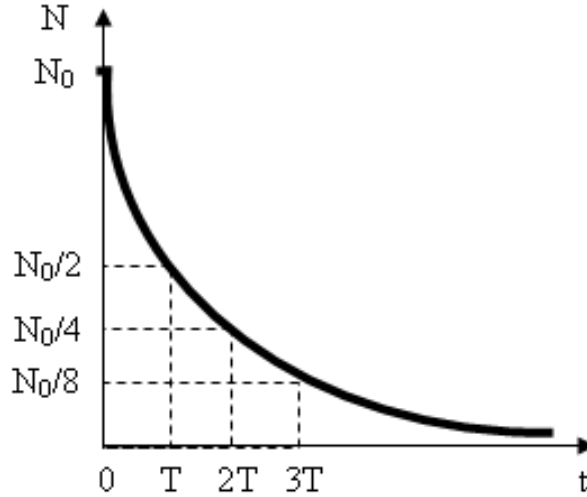
Radyoaktif çekirdekler kendiliğinden bozunuma uğrarken parçacıklar yayarlar. Birim zamanda bozunan çekirdek sayısına aktivite adı verilir. Buna göre (2.5) eşitliğinden aktivite aşağıdaki şekilde elde edilir:

$$A = \left| \frac{dN}{dt} \right| = \lambda N \quad (2.6)$$

Aktivite birimi 1 Bozunma/s = 1 Becquerel (Bq/s) dir.

2.3.2. Yarı-Ömür ve Ortalama Ömür

Bozunma sabiti sezgisel bir büyüklüktür. Bu yüzden yarılanma süresi ($t_{1/2}$) ya da yarı ömür'ü tanımlamalıyız. Yarılanma süresi, başlangıçta var olan radyoaktif çekirdeklerin sayısının yarıya düşmesi ve dolayısıyla aktifliğin yarıya inmesi için geçen zamanı gösterir. İkinci bir yarılanma süresinde çekirdek sayısı tekrar yarıya iner, yani, yarısının yarısı ya da dörtte bir ($1/4$) olur. Devam eden yarılanmada çekirdek sayısı $1/8$, sonraki yarılanmada da $1/16$ olarak devam eder (Şekil 2.11).



Şekil 2.11 Radyoaktivitenin üstel bozunumu.

Yarılanma süresi maddeden maddeye göre farklılık gösterir.

(2.5) bağıntısında $t_{1/2}$ için $N(t) = N_0/2$ yazarsak, $t_{1/2}$ yarı ömrü elde edilir:

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2.7)$$

$$\ln \frac{1}{2} = -\lambda t \quad (2.8)$$

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \quad (2.9)$$

Radyoaktif parçalanmanın üssel değişimi ile radyoaktif çekirdeklerin tamamının parçalanarak yok olması için sonsuz bir zamanın gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Ürün çekirdeklerin ne zaman bozunmaya uğrayacağı bilinemediğinden bir çekirdeğin ömrü sıfır ile sonsuz süre aralığında olabilir. Bir çekirdeğin bozununcaya kadar geçirdiği zamanı belirlemek için ‘Ortalama Ömür’ den bahsedilir. Ortalama ömür $1/\lambda$ ile ifade edilir.

2.3.3. Ard Arda Parçalanma Kanunu

Doğal ve yapay radyoizotopların parçalanması ard arda parçalanmalar halinde gerçekleşebilir. Gerek doğal halde varolan radyoaktif yapıdaki izotoplarda, gerekse yapay şekilde oluşturulan radyoaktif izotoplarda bozunum, eğer ürün çekirdek de radyoaktif ise ard arda parçalanmalar halinde gerçekleşebilir. Çoğu durumlarda ard arda bozunum, temel maddenin ürün çekirdeğe ve ürün çekirdeğin de kararlı bir izotopa bozunmasıyla son bulur.

Bir t zamanında λ_1 bozunum sabitiyle ürüne dönüşecek temel elementin atomları sayısı N_1 ise, ürün atomlarının sayısı ise N_2 olsun. Ürün atomları da λ_2 bozunum sabiti ile sayısı N_3 olan kararlı bir elemente dönüşsün. Öncelikle ($t=0$ da) $N_1=N_{10}$; $N_2=N_{20}$ ve $N_3=N_{30}=0$ olacağını düşünelim. Bunu dikkate alarak aşağıda gösterilen denklemler yazılabilir (N_1 : temel ürün, N_2 : 1. ürün, N_3 : 2. ve kararlı ürün ise) (Krane 2001):

$$\frac{dN_1}{dt} = -\lambda_1 N_1 \quad (2.10)$$

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2 \quad (2.11)$$

(2.11) denkleminde göre N_2 türündeki atomlar $\lambda_1 N_1$ hızı ile üretilerek $\lambda_2 N_2$ hızı ile ortadan yok olurlar. N_2 türündeki atomlar da radyoaktif olmalarından dolayı N_3 atomlarının ortaya çıkma hızı,

$$\frac{dN_3}{dt} = \lambda_2 N_2 = N_3 \quad (2.12)$$

biçiminde olur. (2.11)' de belirtilen aşağıda ifade edilen denklemin her iki yanını $e^{\lambda_2 t}$ ile çarpıp integrali alınarak aşağıdaki ifadeler elde edilir:

$$\frac{dN_2}{dt} + \lambda_2 N_2 = \lambda_1 N_{10} e^{-\lambda_1 t} \quad (2.13)$$

$$N_2 e^{\lambda_2 t} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10} e^{(\lambda_2 - \lambda_1)t} + C \quad (2.14)$$

$T=0$ da $N_2=N_{20}$ alınırsa,

$$C = -\frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10} \quad (2.15)$$

olur. Buradan,

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10} e^{(-\lambda_1 - \lambda_2)t} \quad (2.16)$$

veya,

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) \quad (2.17)$$

olarak bir t zamanında N_2 atomları sayısını gösteren eşitlik ile ifade edilir. (2.12) ve (2.17) eşitliklerini kullanarak,

$$\frac{dN_3}{dt} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) \lambda_2 \quad (2.18)$$

ifadesini elde edebiliriz. Buna göre, (2.18) eşitliğinin integrali alınırsa, $t=0$ da $N_3=N_{30}=0$ uygulanırsa, rastgele bir t zamanındaki N_3 atomlarının sayısı bulunur:

$$N_3 = N_{10} \left[1 + \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_2 t} - \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_1 t} \right] \quad (2.19)$$

2.3.4. Radyoaktif Denge

Geçici Denge: Bir ana çekirdeğin λ_1 bozunum sabiti ile 1. ürüne, bunun da λ_2 sabitiyle 2. ürüne bozunuma uğradığını varsayalım. Bu çekirdekler için $\lambda_2 \approx \lambda_1$ olduğunu kabul edersek, (2.17) eşitliğinin zamana göre türevi alınarak, sıfıra eşitlendiğinde N_2 'nin maksimum olduğu zaman aşağıdaki gibi elde edilebilir:

$$t_m = \frac{1}{\lambda_2 - \lambda_1} \ln \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \quad (2.20)$$

Bu t_m zamanından sonra 1. ürünün bozunum hızı olan (dN_2/dt) 'ye λ_1 ve λ_2 'lerden büyük olanı daha etkin olur. Bu nedenle aşağıdaki eşitlikler elde edilebilir:

i. $\lambda_1 < \lambda_2$ ise

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} (N_{10} e^{-\lambda_1 t}) \quad (2.21)$$

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_1 \quad (2.22)$$

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} \quad (2.23)$$

Aktivite oranı ise şu şekilde yazılabilir:

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{dN_2/dt}{dN_1/dt} = \frac{\lambda_2 N_2}{\lambda_1 N_1} = \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} \quad (2.24)$$

Buna göre ana çekirdek ürünle geçici denge halindedir denir. Bundan dolayı, (2.21) eşitliğine göre N_2 , λ_1 ile bozunuma uğrayacak ve (2.23) eşitliğine göre de N_2/N_1 değeri sabit olacaktır.

ii. $\lambda_1 > \lambda_2$ ise (2.17) ifadesinde sağdaki $e^{-\lambda_1 t}$ terimi $e^{-\lambda_2 t}$ teriminden daha hızlı sifıra ulaşacağından, $e^{-\lambda_1 t}$ terimi ihmal edilebilir. Buradan,

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} (N_{10} e^{-\lambda_2 t}) \quad (2.25)$$

eşitliği elde edilebilir. Bundan dolayı, bir süre sonra 1.ürün λ_2 bozunum sabiti ile bozunuma uğrayacağından bir müddet sonra da ana ürün bitecek ve 1. ürün de kendi bozunum hızı ile bozunumunu sürdürecektir.

Kalıcı veya Sürekli Denge:(2.17) ifadesinde $\lambda_1 \ll \lambda_2$, yani ana elementin yarı ömrünün 1.ürün elementinin yarı ömrüne oranla daha uzun olduğunu varsayalım. Bu durumda $\lambda_2 - \lambda_1 \cong \lambda_2$ ve $e^{-\lambda_1 t} \cong 1$ alabiliriz ve buradan (2.17) ifadesi,

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} N_{10} (1 - e^{-\lambda_2 t}) \quad (2.26)$$

olarak yazılabilir. Burada $\lambda_2 t \gg 1$ olup $e^{-\lambda_2 t} \approx 0$ (1 'in yanında ihmal edilebilir). Buradan,

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} N_{10} \quad (2.27)$$

durumuna gelir. Bu sonuç, 1.ürünün miktarı N_2 'nin değişmez olacağını belirtir. Bundan dolayı 1.ürünün ana ürünle sürekli dengede olacaktır. Bunun yanısıra ana elementin yarı ömrü çok büyük olduğundan başlangıçtaki miktar N_1 için $N_1 \approx N_{10}$ yazılabilir. Böylece,

$$\lambda_2 N_2 = \lambda_1 N_1 \quad (2.28)$$

şeklinde elde edilir. Bu eşitlik ‘‘Kalıcı Denge Şartı’’ olarak bilinir.

2.4. DOĞAL RADYOAKTİFLİK

Bugün bilinen aşağı yukarı 1500 nüklidin yaklaşık 500' ü milyarlarca yıldan beri doğada bulunmaktadır. Bunlardan 249'u kararlı, geri kalanı ise radyoaktiftir. Bu radyoaktif

elementlerin bozunumundan yayınlanan radyasyona, doğal iyonlaştırıcı radyasyon diyoruz. Radyoaktif elementlere genellikle radyoaktif izotoplar veya radyonüklidler denir. Aşağı yukarı 100 yıldır radyasyon yayımlayan yaklaşık 1000 radyoaktif element, nükleer araştırma ve nükleer teknoloji ile uğraşları sonucu yapay olarak oluşturuldu. Bu radyoaktif elementlerden kaynaklanan radyoaktiviteye yapay radyoaktivite adı verilir.

Radyoaktif elementler, doğal olarak havada, suda ve toprakta bulunmaktadır. Hergün solunum, su ve gıdalarla radyoaktif elementler vücudumuz tarafından emilmektedir. Doğal radyoaktivite, gezegenimizi oluşturan kayalar ve topraklarda, suda ve okyanuslarda, yapı malzemeleri ve evlerimizde yaygın olarak bulunmaktadır. Doğal radyoaktiviteyi bulamayacağımız hiçbir yer yoktur. Doğal radyoaktivite karasal ve uzay kökenli radyoaktif elementlerden ileri gelmektedir. Karasal kökenli radyoaktif elementlere örnek olarak yerin yaşı mertebesinde yarılanma süresine sahip ve yer kabuğunda bulunan ^{235}U , ^{238}U ve ^{232}Th seri elementleri ile tek başına bulunan ^{40}K ve uzay kökenli radyoaktif elementlere örnek olarak ta ^3H ve ^{14}C verilebilir.

Günümüzde, sadece, doğal olarak var olan ve Dünya'nın yaşı mertebesinde yarı-ömre sahip olan ^{238}U , ^{235}U , ve ^{232}Th radyoaktif serileri bulunmaktadır. Bu elementlerle başlayan serilere, sırasıyla, Uranyum, Aktinyum ve Toryum serileri adı verilir. Bu serilerde birçok radyoaktif element vardır. Her bir seri, peş peşe alfa ve beta bozunumlarıyla kurşun elementinin bir izotopunda son bulur. Bu biçimde peş peşe olan bozunumlara bozunma serisi denir. ^{238}U ile başlayan seri ^{206}Pb de, ^{235}U ile başlayan seri ^{207}Pb de ve ^{232}Th ile başlayan seri ise ^{208}Pb de son bulur. Bu radyoaktif seriler Çizelge 2.1, Çizelge 2.2 ve Çizelge 2.3 ile verilmektedir. Her serinin radyoaktif bir gaz ürünü olup uranyum, toryum ve aktinyum serilerinin radyoaktif gaz ürünleri, sırasıyla, ^{222}Rn , ^{220}Rn ve ^{219}Rn dur. Bu seriler dışında bir de doğada tek başına bulunan doğal radyoaktif elementler vardır (Çizelge 2.4).

Çizelge 2.1 Uranyum serisi. Şahin ve Krane'den uyarlanmıştır (Şahin 1999, Krane 2011).

Çekirdek	Bozunma Şekli	Yarı Ömür	Açığa Çıkan Enerji (MeV)	Bozunum Ürünü
²³⁸ U	α	4,68x10 ⁹ y	4,270	²³⁴ Th
²³⁴ Th	β	24,10 g	0,273	²³⁴ Pa
²³⁴ Pa	β	1,08 dk	2,197	²³⁴ U
²³⁴ U	α	2,45x10 ⁵ y	4,859	²³⁰ Th
²³⁰ Th	α	7,6x10 ⁴ y	4,770	²²⁶ Ra
²²⁶ Ra	α	1602 y	4,871	²²² Rn
²²² Rn	α	3,8235 g	5,590	²¹⁸ Po
²¹⁸ Po	α	3,05 dk	6,615	²¹⁴ Pb
²¹⁴ Pb	β, γ	26,8 dk	0,65 ; 0,295	²¹⁴ Bi
²¹⁴ Bi	β, γ	19,9 dk	3,272 ; 1,050	²¹⁴ Po
²¹⁴ Po	α	1,6x10 ⁻⁴ s	7,883	²¹⁰ Pb
²¹⁰ Pb	β	22,3 y	0,064	²¹⁰ Bi
²¹⁰ Bi	β	5,013 g	1,426	²¹⁰ Po
²¹⁰ Po	α	138 g	5,407	²⁰⁶ Pb
²⁰⁶ Pb	KARARLI	-	-	-

Çizelge 2.2 Toryum serisi. Şahin ve Krane'den uyarlanmıştır (Şahin 1999, Krane 2011).

Çekirdek	Bozunma Şekli	Yarı Ömür	Açığa Çıkan Enerji (MeV)	Bozunum Ürünü
²³² Th	α	1,405x10 ⁶ y	4,081	²²⁸ Ra
²²⁸ Ra	β	5,75 y	0,046	²²⁸ Ac
²²⁸ Ac	β, γ	6,25 sa	2,124 ; 0,91	²²⁸ Th
²²⁸ Th	α	1,9116 y	5,520	²²⁴ Ra
²²⁴ Ra	α	3,6319 g	5,789	²²⁰ Rn
²²⁰ Rn	α	55,6 s	6,404	²¹⁶ Po
²¹⁶ Po	α	0015 s	6,906	²¹² Pb
²¹² Pb	β, γ	10,64 sa	0,570 ; 0,24	²¹² Bi
²¹² Bi	β, γ	60,55 dk	2,252 ; 0,73	²¹² Po
²¹² Po	α	3x10 ⁷ s	8,955	²⁰⁸ Tl
²⁰⁸ Tl	β, γ	3,053 dk	4,999 ; 2,62	²⁰⁸ Pb
²⁰⁸ Pb	KARARLI	-	-	-

Çizelge 2.3 Aktinyum serisi. Şahin ve Krane'den uyarlanmıştır (Şahin 1999, Krane 2011).

Çekirdek	Bozunma Şekli	Yarı Ömür	Açığa Çıkan Enerji (MeV)	Bozunum Ürünü
²³⁵ U	α	7,04x10 ⁸ y	4,678	²³¹ Th
²³¹ Th	β	25,52 sa	0,391	²³¹ Pa
²³¹ Pa	α	32760 y	5,150	²²⁸ Ac
²²⁸ Ac	β, α	21,772 y	0,045 ; 5,0402	²²⁷ Th
²²⁷ Th	α	18,68 g	6,147	²²³ Ra
²²³ Ra	β	22,00 dk	1,149	²²³ Ra
²²³ Ra	α	11,43 g	5,979	²¹⁹ Rn
²¹⁹ Rn	α	3,96 s	6,946	²¹⁵ Po
²¹⁵ Po	α, β	1,781 ms	7,527 ; 0,715	²¹⁵ At
²¹⁵ At	α	0,1 ms	8,178	²¹¹ Pb
²¹¹ Pb	β	36,1 dk	1,367	²¹¹ Bi
²¹¹ Bi	α, β	2,14 dk	6,751; 0,575	²¹¹ Po
²¹¹ Po	α	516 ms	7,595	²⁰⁷ Tl
²⁰⁷ Tl	β	4,77 dk	1,418	²⁰⁷ Pb
²⁰⁷ Pb	KARARLI	-	-	-

Çizelge 2.4 Doğada tek başına bulunan doğal radyoaktif elementler (Tanyel 1994).

Çekirdek	Bozunma Şekli	Yarı Ömür	Açığa Çıkan Enerji (MeV)	Bağlı Bolluk
³ H	β	12,4 y	180	100
¹⁴ C	β	5400 y	155	100
⁴⁰ K	β, γ	1,3x10 ⁹ y	1300 ; 1460,8	90 ; 10
⁸⁷ Rb	β	6,1x10 ¹⁰ y	250	100
¹¹⁵ In	β	10 ¹⁴ y	630	100
¹²⁹ I	β	1,7x10 ⁷ y	120	100
¹³⁸ La	β, γ	7x10 ¹⁰ y	1210 ; 1390	7,93
¹⁴⁷ Sm	α	6,7x10 ¹¹ y	2180	-
¹⁷⁶ Lu	β	6,7x10 ¹⁰ y	425	-
²³⁹ Pu	α	2,4x10 ¹⁰ y	5150	69

2.4.1. Topraktaki Doğal Radyoaktivite

Topraktaki U-238, Th-232, K-40 gibi doğal radyoaktif elementler toprağın radyoaktif yapıya sahip olduğunu gösterir. Doğal radyoaktif elementler, volkanik, fosfat ve tuz kayaçlarında fazla miktarlarda bulunmaktadır. Bu kayaçlar, doğal nedenlerden dolayı zamanla oldukça minimal yapıda yağmur ya da akan sularla toprağa nüfuz ederler. Bundan dolayı da topraktaki doğal radyoaktivite yapısının artmasına neden olurlar (NCRP 1975). U-238, Th-232, K-40 gibi doğal radyonüklitlere karasal radyonüklitler adı verilir. Bunlardan yayınlanan gama radyasyonu ön plana çıkar ve karasal gama radyasyonu adını alır. Karasal gama radyasyonunun büyük bir kısmı 0-25 cm derinlikteki yüzey katmanından kaynaklanır (UNSCEAR 1988). Suni tohumlama ve gübreleme gibi insanların sebep olduğu aktiviteler de topraktaki yüzey radyoaktivite seviyesinin artmasına sebep olurlar.

2.4.2. Sulardaki Doğal Radyoaktivite

Yer yüzeyindeki sular, güneş enerjisinden dolayı devamlı bir döngü halindedirler. Canlılar ihtiyaç duyduğu suyu bu döngü sayesinde alır ve kullanımından sonra döngüye tekrar geri verirler. Bu zaman içinde suların kimyasal ve fiziksel yapısı, içerisinden geçerek yol aldıkları akiferli kayaların minerolojik ve kimyasal yapılarını yansıtırlar. Bu bakımdan, yer altındaki suların yer yüzeyindeki sulardan daha radyoaktif yapıda olmasına, içerisinden geçtikleri ya da temas ettikleri radyoaktif maddeler veya minerallerden kaynaklandığı şeklinde açıklanabilir (Freeze and Cherry 1979; Örgün 1997). Sulardaki radyoaktivitenin esas kaynağının ^{238}U , ^{232}Th ve bunların seri ürünleri ile ^{40}K olduğu bilinmektedir ve bunlar da en çok granit kayaçlarda zenginleşmektedir (Abdel Hady et al. 1994). Bu nedenle, toplam alfa ve toplam beta aktivite konsantrasyonu ile ^{222}Rn konsantrasyonunun yüksek olduğu sular jeolojik yapıyla ilişkilendirilebilir (Choubey 1997).

BÖLÜM 3

NÜKLEER RADYASYON ÖLÇÜMÜ

3.1. GİRİŞ

Birçok atom elektriksel bakımdan nötr olup iyonize radyasyon atomun iyonlaşmasına neden olabilir. Bu olay, radyasyonun elektronları atomdan uzaklaştırması olayıdır. Bu durumda biri negatif elektron diğeri ise pozitif yüklü atom ortaya çıkar. Radyoaktif çekirdeklerden yayınlanan α ve β radyasyonları madde ile Coulomb etkileşmesi yaparlar. Eğer α ve β radyasyonları atomun elektronları ile etkileşirse enerjisinin tümünü elektronlara aktarabilir ve atomu iyonlaştırabilir. Başka bir seçenek, tanecik elastik saçılmaya uğrayabilir. Gama ışınları ise maddeyle, fotoelektrik (fotonun soğurulması ve atomik elektronun yayınlanması), Compton saçılması (gama fotonu atomlara zayıf bağlı hemen hemen serbest elektronlarla etkileşir ve elektron ve foton saçılırlar) ve çift oluşumu (foton çekirdeğin elektromanyetik alanında yok olur ve bir elektron ve pozitron çiftine dönüşür) yoluyla etkileşirler (Krane 2001).

Nükleer radyasyonları tespit etmede kullanılan dedektörlerin çalışma prensipleri hemen hemen aynıdır. Radyasyon, dedektör içine girdiğinde enerjisinin bir kısmını veya tamamını kaybeder ve bunun sonucu olarak atomik yörüngelerinden daha çok düşük enerjili elektronlar yayınlanır. Yani, radyasyon atomları iyonlaştırır. Yayınlanan elektronlar, toplanarak analiz için elektronik devre sayesinde akım veya voltaj pulsuna dönüştürülürler. Ölçülecek radyasyonun tipine göre dedektör materyali seçilir. Dedektörlerden hangisinin kullanılacağı radyasyon türüne göre değişebilir. Alfa, beta ve gama ışınları için dedektörün kalınlıkları yaklaşık olarak, α için 100 μm , β lar için 0,1 – 1 mm ve γ lar için 5 cm dir (Krane 2001).

3.2. RADYASYON SAYAÇLARI

Radyasyon ölçme sayaçlarının bir kısmı, radyasyona maruz kalınmadan sonra iyonize radyasyonun var olduğunu gösterir. Radyasyondan dolayı fiziksel ve kimyasal bir değişme meydana gelir ve bu durum bazı işlemlerle ölçülebilir. Bu dedektörler pasif dedektörler bilinirler ve iyonize radyasyona maruz kalmayı göstermede yaygın olarak kullanılırlar. Aktif dedektörler ise radyasyonun varlığını gösterecek şekilde gerçek bir zamanda gerçek bir sinyal oluştururlar ve puls modu, akım modu ve integre mod gibi modlarda çalışırlar (Knoll 2000). Aktif dedektörler gaz akışlı veya katı hal dedektörleri olarak hizmet verirler .

Katı hal dedektörlerinde aktif hacim katı olduğundan verimi daha yüksektir. Bunlardan sintilasyon ve yarı-iletken dedektörler yaygın olarak kullanılırlar.

3.2.1. Yarı-İletken Dedektörler

Yarı-iletken dedektörler P ve N tipi yarı iletkenlerden oluşur. Bir P-N eklemine uygun yönde bir gerilim uygulanır, serbest yüklerden (elektron ve deşiklerden) arındırılmış bir bölge elde edilir. Bu bölgeye gelen radyasyon etkisiyle iyonlaşma olur ve bunun sonucu olarak elektron ve deşikler oluşur. Bu da gaz dolu dedektörlere nazaran on kat fazla iyon çifti oluşmasına neden olur.

3.2.2. Sintilasyon Dedektörleri

Sintilasyon dedektörlerinde ise NaI gibi sintilatör adı verilen bazı maddelerde radyasyonun etkisi ile uyarılma olur ve görünür bölgede foton yayınlanır. Sintilatörden yayınlanan ışığın şiddeti gelen radyasyonun sintilatöre bıraktığı enerjiyle orantılıdır. Bu düşük şiddetteki ışığı algılamak ve elektrik pulsuna haline dönüştürmek için foton çoğaltıcı tüp kullanılır.

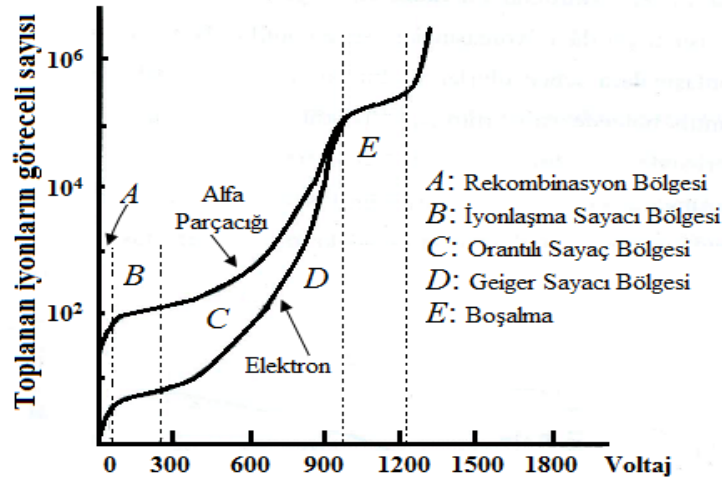
3.2.3. Gaz Akışlı Dedektörler

Gazlı dedektörlerde ise aktif hacim gaz olduğundan radyasyon ölçümünde verim daha düşüktür. Radyasyonun gaz atomlarını iyonlaştırmasıyla açığa çıkan – yüklü elektronlarla pozitif iyonlar bir gerilim kaynağı ile oluşturulan elektrtik alan vasıtasıyla elektrotlar üzerinde toplanır. Oluşturulan iyonizasyon akımı voltaj pulsuna dönüştürülür. Voltaj pulsunun genliği

gelen radyasyonun enerjisiyle orantılıdır. Gazlı dedektörler, amaca uygun olarak, iyon odaları, orantılı sayaç ve Geiger-Müller dedektörleri olarak hizmet verirler.

Bir orantılı sayaç, iyonlaşma odasının geliştirilmiş şekli olup bazı bakımlardan ondan farklıdır. Orantılı sayacın elektrotlardan biri içi boş bir silindir içinden geçen ve silindir eksenini boyunca uzanan bir tel olup (anot) diğeri ise silindirin kendisidir (katot). Elektronlara uygulanan voltaj iyonlaşma odasına uygulanandan çok daha fazladır. Pulsun büyüklüğü belli bir değere kadar artan voltajla artar. Şekil 3.1’de görüldüğü gibi bu orantılı bölge alfa ve betaların sayılmasını mümkün kılar” (Şahin 1999).

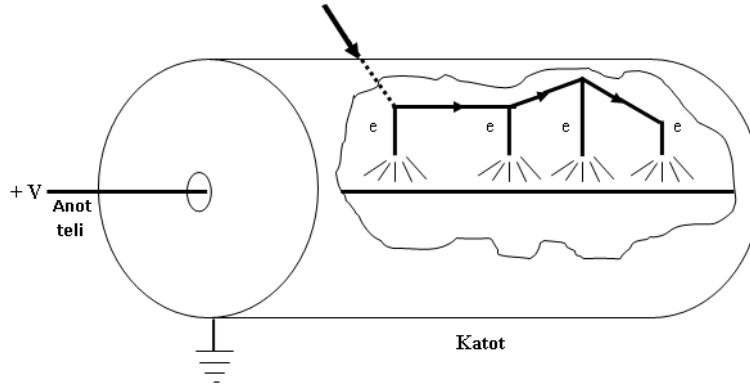
Orantılı bölgeye göre daha yüksek voltaj uygulandığında dedektör içindeki iyon sayısı çok hızlı bir şekilde artar ve belli bir değere ulaşır. Bu nedenle, gelen radyasyonun enerjisine bağlı olmaksızın dedektörde gözlenen pulslar yaklaşık 10^9 - 10^{10} düzeyine çıkar. Bu bölge Geiger-Müller (G-M) bölgesidir. G-M dedektörleri enerji ayırımı yapmadıklarından düşük enerjili X ve gamma ışınlarının hassas olmamalarına rağmen düşük şiddetteki radyasyona duyarlıdır. G-M dedektörü sadece radyasyonun varlığını gösterecek şekilde bir ses verir. Bu da tüm radyasyonlar için aynıdır. G-M dedektörleri sağlık fiziği alanında yaygın olarak kullanılırlar. (Baldık 2005).



Şekil 3.1 Gaz dolu bir sayacın toplanan iyonların voltajın fonksiyonu olarak göreceli sayıları (Şahin 1999).

3.2.4. Gazlı Dedektörlerle Su Örneklerinde Radyoaktivite Ölçümü

Su örneklerindeki düşük seviyeli toplam alfa-beta radyoaktivite konsantrasyonlarının tespit edilmesi yaygın olarak gaz akışlı orantılı dedektörler kullanılarak yapılmaktadır. Bunun için, örneklerdeki alfa ve beta parçacıklarının gaz içinde meydana getirdikleri iyonizasyondan yararlanılarak, meydana gelen + ve – yükleri elektrik alan yardımıyla bir elektrot üzerinde toplayarak yüklü parçacığın deteksiyonunu sağlamak en uygun yöntemdir. Bu sayaçlarla radyoaktivite tayini, özgün radyoizotop analizleri ile karşılaştırıldığında oldukça düşük maliyetli maaliyetlidirler ve sonuca çabuk ulaşılması ve özgün radyoizotopların tayini için de ön bilgiyi sağlamada bir ön tarama işlemidir (NCRP 1976). Silindirik bir orantılı sayaç geometrisi Şekil 3.1’de görülmektedir.



Şekil 3.2 Bir silindirik sayaç geometrisi. Krane’den uyarlanmıştır (Krane 2001)

3.2.4.1. Alfa ve Betaların Sayılması

Alfa ve beta parçacıkları kısa mesafelerde tüm enerjilerini aktararak gaz atomlarını kısa mesafede iyonize ettiklerinden gazın yapısını da bir miktar bozabilirler. Doğru bir sayım elde etmede dedektör içinde sabit miktarda ve aynı özellikte gazın bulunması gereklidir. Bu sayaçlar, düşük seviyeli radyoaktivite ölçümü için gerekli düşük doğal fon ve yüksek verim koşullarını yerine getirmektedirler. Sularda toplam alfa ve beta radyoaktivite tayininde dikkat edilmesi gereken bir husus da örnek soğurmasıdır. Buharlaştırma sonucu elde edilen kalıntı miktarı fazla olursa örnek soğurması da fazla olmaktadır. Bu olaya örnek içindeki parçacıklardan bir kısmının dedektöre ulaşmadan kendi içinde yutulmaları da neden olabilmektedir. Bu durumda daha az parçacık dedektöre ulaşacağından sayım verimi olumsuz etkilenir. Bunu önlemek için plansetteki (plakalardaki) kalıntının yüzeysel yoğunluğunun,

toplam alfa analizi için üst sınır değeri olan 5 mg/cm² ve toplam beta analizi için olan 10 mg/cm² değerlerini aşmamasına dikkat edilmelidir (Ataksor 2002).

3.3. RADYASYON ÖLÇÜM BİRİMLERİ

Radyasyonun madde üzerinde meydana getirdiği fiziksel etkiyi (iyonlaşma etkisi) ölçmek için radyasyon ölçüm birimlerine ihtiyaç duyulur. Alfa, beta, gamma veya nötron gibi iyonize radyasyonun şiddet ve özelliklerini tayin etmekte kullanılan teknik, radyasyon ölçümünün esas konusudur. Uluslararası Radyolojik Birimler Komisyonu (International Commission on Radiological Units (ICRU)) tarafından belirlenen belli radyasyon ölçüm birimleri bilim dünyasında kullanılmaktadır. Bunlar, aktivite, ışınlama dozu, soğurulan doz ve eşdeğer (etkin doz) birimleridir. 1983 te yapılan tanımlamaya göre kullanılan eski birimler, temel fiziksel büyüklüklere dayanan yeni birimlere paralel olarak kullanılmaktadır. Eski birimler, yeni SI (Uluslararası Sistem) birimleriyle uluslararası anlaşmalı olarak 1985 yer değiştirmiştir (Krane 2001).

3.3.1. Aktivite Birimleri

Curie (Ci): Bu birim, 1 gr Ra-226 'nın aktivitesine karşılık gelmektedir ve saniyede 3.7×10^{10} bozunuma karşılık gelmektedir. Yeni birim sisteminde aktivite birimi Becquerel (Bq) olup 1 Bq, saniyedeki 1 nükleer bozunuma karşılık gelmektedir (Krane 2001). Özgün radyoaktivite birimleri, sıvılarda Bq/L, katılarda Bq/kg ve gazlarda ise Bq/m³ tür.

3.3.2. Işınlama Dozu Birimleri

Röntgen (R): Bu birim X- ve gama ışınlarının havadaki etkisini ölçmede kullanılan ışınlama doz birimi olup 1 Röntgen, bir kg havada 2.58×10^{-4} Coulomb yük üreten elektromanyetik radyasyon olarak tanımlanır (Krane 2001).

3.3.3 Soğurulan Doz Birimleri

Soğurulan radyasyon doz birimi eski birimlerle Rad olup bir iyonize radyasyon tarafından soğurucu ortamın birim kütesine verilen enerji olarak tanımlanır. Buna göre 1 Rad= 100 erg/gr veya 0.01 J/kg 'a karşılık gelmekte olup herhangi bir iyonize radyasyon veya herhangi

bir ortam için kullanılabilir. Yeni birim sisteminde soğurulan doz birimi Gray (Gy) olup herhangi bir maddenin 1 kg'ı başına 1 joule'lük enerji soğurulmasını gerektiren herhangi bir radyasyon miktarıdır (Krane 2001).

3.3.4 Eşdeğer Doz Birimleri

Radyasyona maruz kalınmada meydana gelebilecek zararlı biyolojik etkileri de ölçebilen bir birime ihtiyaç duyulmaktadır. Maruz kalınan radyasyonun cinsine ve enerjisine bağlı olarak vücudun kilogramı başına soğurduğu enerjinin meydana getirdiği biyolojik etki farklılık göstermektedir. Alfa tanecikleri beta taneciklerine göre daha ağır ve yüksek enerjili olduklarından vücut içinde birim mesafede kaybettikleri enerji betalara ve gamalara göre daha fazla olduğundan geçtikleri bölgenin daha fazla tahrip olmasına neden olmaktadır. Diğer taraftan, bazı organların diğer organlara göre radyasyon hassasiyeti farklı olduğundan aynı doza karşı oluşan biyolojik etki de farklıdır. Buna göre eşdeğer doz (etkin doz), bütün bu faktörleri içine alan radyasyon dozu için kullanılmakta olup soğurulan doz ile radyasyonun doku üzerindeki etkisini belirleyen kalite faktörünün (QF) çarpımına eşittir. Eşdeğer doz, radyasyondan korunma da, standartların tanımlanması için farklı tipteki radyasyonların biyolojik etkilerinin ölçümü için gerekli olan bir niceliktir. Kalite faktörü, α - radyasyonu için 1 den 20 ye kadar değişirken beta ve gamalar için kalite faktörü 1 civarındadır. Diğer taraftan, düşük enerjili (keV) proton (p) ve nötronlar (n) için QF=1, yüksek enerjili (MeV) p ve n'ler için QF değerleri 5-10 arasındadır (Krane 2001). Buna göre eşdeğer doz aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$\text{Eşdeğer doz (ED)} = \text{soğurulan doz (D)} \times \text{kalite faktörü (QF)}$$

Eşdeğer doz birimi, eski birim sisteminde Rem olup $1 \text{ Rem} = \text{Rad} \times \text{QF}$ dır. Yeni birim sisteminde ise eşdeğer doz birimi Sievert (Sv)'dir. Sievert çok büyük bir birim olduğundan genellikle bunun alt birimleri olan milisievert (mSv), mikrosieverd (μSv) ve nanosieverd (nSv) kullanılır. Buna göre, $1 \text{ Sv} = \text{Gy} \times \text{QF} = 1 \text{ J/kg}$ dir (Krane 2001).

BÖLÜM 4

MATERYAL VE METOT

4.1. ÇALIŞMA ALANI

Zonguldak ili, 41°00' ve 41°59' Kuzey enlemleri ile 31°29' ve 32°29' Doğu boylamları arasında yer alan 595.907 nüfuslu (2015) ve 3.310 km² yüz ölçümüne sahip bir ilimizdir. Zonguldak merkezi Batı Karadeniz sahilinde olup, başkent Ankara'nın yaklaşık 270 km Kuzey-Doğusundadır. Şekil 4.1, Zonguldak ili haritasını göstermektedir. İlin jeolojisi hakkında bazı bilgilere (Karacan and Okandan 2001) kaynağından ulaşılabilmektedir. Bölgenin jeolojisi kırık yapıda olup, volkanik, yanardağ-sedimanter ve tortul kaya birimlerinden oluşmaktadır. Su örnekleri, toplam alfa ve beta aktivitelerini ölçmek için Zonguldak merkez ilçe, Ereğli, Kozlu, Kilimli ve Çaycuma ilçelerindeki su kaynaklarından 1.5 litrelik pet şişeler içinde toplandı. Analizler, Devlet Su İşleri İzotop Laboratuvarı'nda yapıldı (Aytekin and Bayraktaroğlu 2016).



Şekil 4.1 Doğal kaynak su örneklerinin alındığı Zonguldak il ve ilçeleri haritası.

4.2. TOPLAM ALFA VE TOPLAM BETA SAYIM SİSTEMİ

Sulardaki toplam alfa ve toplam beta sayımları, Ankara'da Devlet Su İşleri İzotop Laboratuvarında bulunan, Berthold marka, LB 770 model, düşük ortam saymalı çoklu (10 dedektörlü) orantılı gaz dedektörleri ile yapıldı (Şekil 4.2). Dedektörlerin etkin pencereleri oldukça ince alüminyum malzemeden yapılmış olup, kullanılan gaz ise %90 argon (Ar), %10 metan (CH₄) karışımından oluşmaktadır.



Şekil 4.2 Düşük ortam saymalı gaz akışlı orantılı alfa ve beta sayma aygıtı.

Ölçümden önce, örnekleri korumak için örneklere pH değerleri 2 olacak şekilde 1 N HNO_3 asit ilave edildi (Şekil 4.3). Suyun kalıntısını elde etmek için öncelikle su numunesi bir behere konulup, ısıtıcı üzerinde Şekil 4.4 deki sistemde buharlaştırıldı. Kalan numune Şekil 4.5 de gösterildiği gibi infrared lamba altında çelik planşetlere aktarılarak buharlaştırma işlemi tamamlandı. Alfa ve beta sayımlarında kullanılacak kuru kalıntı için su örneğinin belli bir hacimde olması gerekmektedir. Bu amaçla, sabit tartım elde edilinceye kadar Şekil 4.6 daki kalibre edilmiş etüvde paslanmaz çelik sayım levhalarına konularak $105\text{ }^{\circ}C$ de en az üç gün bekletilerek kurutma işlemi tamamlandı. Kuru kalıntılar α ve β sayımları için her biri 60 mg olacak şekilde tartıldı. Daha sonra Şekil 4.7 deki düşük ortam saymalı toplam alfa ve toplam beta sayma sistemi cihazında sayma işlemine geçildi. Aynı anda 10 sayma yapılabilecek düzenlenmiş olan cihaz, elektronik devre yardımıyla dedektörlerden gelen pulsları algılayıp, uygun şekilde programlanmış bilgisayara iletmektedir. İstenilen süre ve sayıda sayım yapıp, her örnek için bulunan değerlerle ilgili sonuçlar sistem yazıcısından alındı.



Şekil 4.3 Ölçümden önce, örnekleri korumak için örneklere *pH* değerleri 2 olacak şekilde 1 N HNO₃ asit ilave edilmesi.



Şekil 4.4 Suyun kalıntısını elde etmek için öncelikle su numunesinin bir behere konulup ısıtılmasını sağlayan buharlaştırma sistemi.



Şekil 4.5 İnfrared lamba altında çelik planşetlere aktararak yapılan buharlaştırma işlemi.

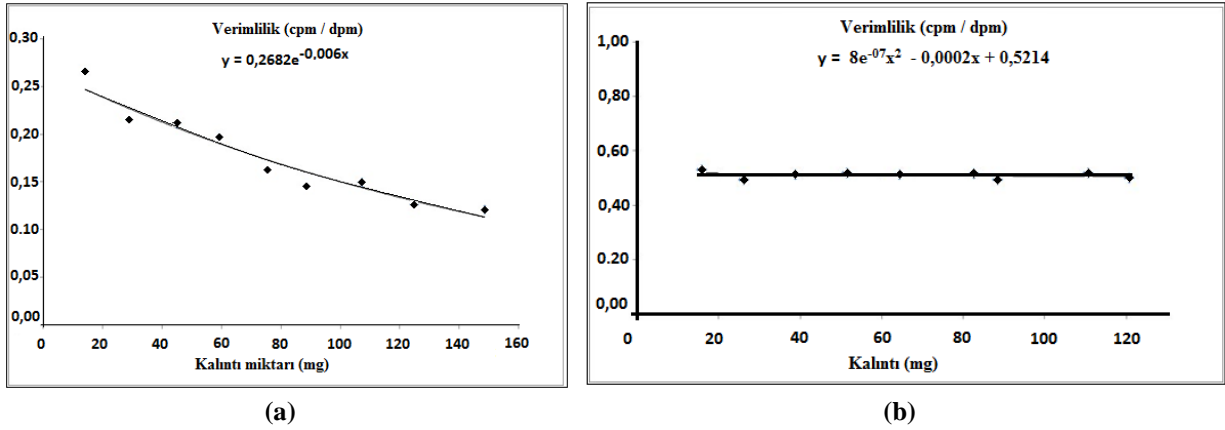


Şekil 4.6 Sabit tartım elde edinceye kadar kurutma işleminin tamamlandığı etüv.



Şekil 4.7 Düşük ortam saymalı toplam alfa ve toplam beta sayma sistemi.

Sayma sistemin kalibrasyonunda, alfalar için ^{241}Am ve betalar için ^{90}Sr içeren standard solusyonlar kullanıldı. Detektör verimleri alfalar için % 20 ve betalar için % 50 olarak belirlendi (Şekil 4.8).



Şekil 4.8 Alfa (a) ve betalar (b) için verimlilik eğrileri

Örneklerdeki toplam alfa ve beta konsantrasyonları, çok yaygın bir metot olan EPA 900 metodu yardımıyla belirlenmiştir (Turhan et al. 2013; Jankovic 2015; Krieger H L and Whittaker E L 1980). Toplam alfa ve beta aktivite konsantrasyonları, BqL^{-1} biriminde aşağıdaki eşitlik kullanılarak elde hesaplandı (Korkmaz and Ağar 2016):

$$A_{\alpha,\beta} (\text{Bq L}^{-1}) = \frac{N}{\epsilon V 60} \quad (4.1)$$

Burada, $A_{\alpha,\beta}$ toplam α/β aktivitesini temsil etmektedir. N , dakikada sayım cinsinden net sayım hızını, ε % olarak sayım verimini ve V ise L cinsinden örnek hacmini temsil ederler. Buradaki 60 sayısı ise dakikadan saniyeye çevirme katsayısıdır.

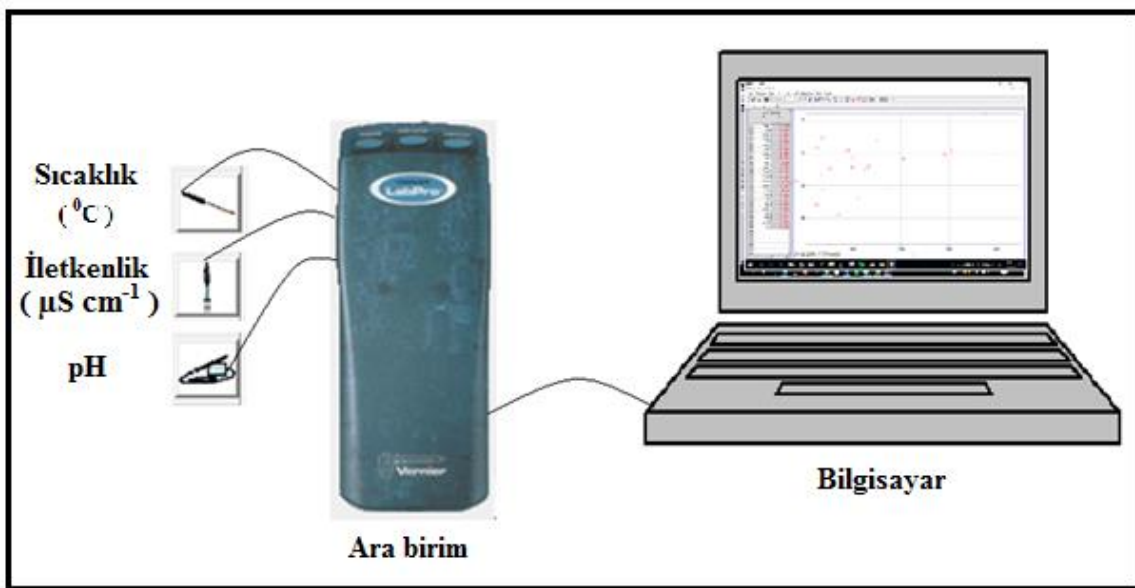
Minimum dedekte edilebilir aktivite (MDA) aşağıdaki formülle hesaplandı (Görür et al.2011):

$$MDA \text{ (Bq L}^{-1}\text{)} = \frac{2.71 + 4.65\sqrt{CR_B t}}{Vt\varepsilon 60} \quad (4.2)$$

Burada, CR_B dakikada sayım cinsinden arka plan sayımı ve t dakika cinsinden zamanı göstermektedir. Örnek ve arka plan sayımları, sırasıyla, 900 dakika ve 1000 dakika için yapıldı. Minimum MDA değerleri alfalar için 1.7 mBL^{-1} ve betalar için 2.4 mBL^{-1} olarak hesaplandı.

4.2.1. İletkenlik, pH ve Sıcaklık Ölçümü

Su örneklerinin sıcaklık (T), pH ve elektriksel iletkenlik (EC) gibi fiziko-kimyasal parametreleri örneklerin toplanması esnasında ölçülmüştür (Aytekin ve Bayraktaroğlu baskıda). Ölçümde, bir LoggerPro 3.9 programının yüklü olduğu bir bilgisayarla birlikte yüzey sıcaklık sensörü, Vernier pH sensörü, iletkenlik probu ve bir bir ara birimden oluşmaktadır. Ölçüm sistemi Şekil 4.9 da görülmektedir.



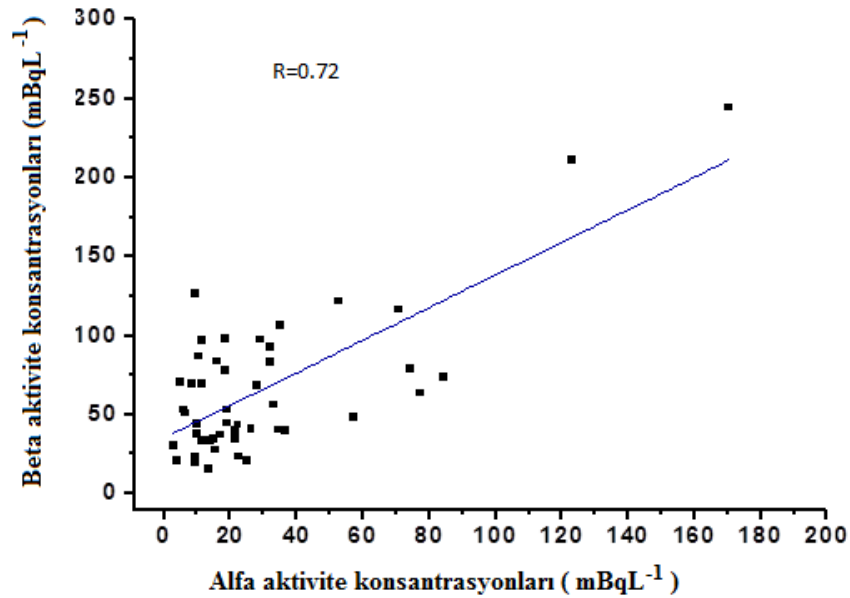
Şekil 4.9 pH , EC ve T değerleri ölçüm sistemi.

BÖLÜM 5

ÖLÇÜM VE HESAPLAMA SONUÇLARI

5.1 SU ÖRNEKLERİNE İLİŞKİN TOPLAM ALFA VE TOPLAM BETA AKTİVİTE SONUÇLARI

Ölçülen toplam alfa ve beta aktivite konsantrasyonları, (Çizelge 5.1) den de görüleceği üzere, sırasıyla, 2.9 ± 0.8 - 170.5 ± 41.7 mBqL^{-1} ve 15.4 ± 11.2 - 244.3 ± 53.0 mBqL^{-1} aralıklarında değişmektedir (Aytekin and Bayraktaroğlu 2016). Çizelge 5.1 de örnek yerleri, bu yerlerde ölçülen konsantrasyon değerlerinin minimum ve maksimum değerleri, ortalama değerleri ve standart sapmalar (SS) görülmektedir. Genellikle, toplam β aktivite konsantrasyonları toplam α aktivite konsantrasyon değerlerinden daha yüksektir. Toplam alfa ve beta konsantrasyonları arasında $R=0.72$ gibi güçlü bir korelasyon bulunmuştur (Şekil 5.1).



Şekil 5.1 Toplam alfa ve beta aktivite konsantrasyonları arasındaki korelasyon.

Çizelge 5.1 Zonguldak ili doğal kaynak suyu örneklerinde toplam alfa ve beta aktivite konsantrasyonları (Aytekin and Bayraktaroğlu 2016).

Yerler	Toplam alfa (mBq L ⁻¹)					Toplam beta (mBq L ⁻¹)			
	Örnek Sayısı	Min	Max	Ortalama	SS	Min	Max	Ortalama	SS
Zonguldak	16	2.9±0.8	74.4.0±30.6	25.3±8.4	20.4±7.8	15.4±11.2	126.5±12.5	59.0±13.3	35.6±8.1
Kdz. Ereğli	7	5.1±3.1	22.5±8	11.4±5.1	6.7±1.9	23.7±11.9	98.4±13.5	53.5±8.5	24.8±3
Kozlu	7	4.1±1.4	123.3±47.5	30.7±11.1	41.6±16.3	20.8±6.5	210.9±65	69.6±18.2	65.6±20.8
Kilimli	12	9.4±2.8	33.2±12.3	22.2±8.1	7.8±3.8	19.6±3.6	98.0±14.7	59.2±11.8	29.7±5.7
Çaycuma	7	11.3±11	170.5±41.7	68.1±23.9	52.9±12.2	40.2±16.5	244.3±53	100.6±29.6	67.9±15.5

Ölçülen tüm aktivite konsantrasyonları, WHO tarafından tavsiye edilen, alfalar için olan 500 mBq L⁻¹ ve betalar için olan 1000 mBqL⁻¹ limitinin altındadırlar (WHO 2011). Bundan dolayı, su örneklerinin radyolojik karakterleri, örneklerinin içme suyu olarak kullanımlarının kabul edilebilir olduğunu göstermektedir.

Ölçülen toplam alfa ve toplam beta aktivite konsantrasyonlarının Türkiye ve Dünya’da ki yayınlanmış başka su örnekleriyle karşılaştırılması Çizelge 5.2’de görülmektedir (Aytekin and Bayraktaroğlu 2016). Çizelge 5.2’den anlaşılacağı üzere, örneklerde ölçülen aktivite konsantrasyonlarının Türkiye ve diğer ülkelerdeki yayınlanmış sonuçlarla karşılaştırılabilir düzeydedirler (Aytekin and Bayraktaroğlu 2016).

Yıllık etkin doz değerlerini hesaplamada USEPA (United States Environmental Protection Agency: Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı) tarafından verilen aşağıdaki formül kullanıldı (Turhan et al. 2013; USEPA 1988):

$$DR_w = A_w \times IR_w \times IDF \times 2 \quad (\text{hem } \alpha \text{ ve hem de } \beta \text{ için}) \quad (5.1)$$

Yukarıdaki (5.1) eşitliğindeki DR_w yıllık etkin doz eşdeğerini temsil etmektedir. Eşitlikteki A_w toplam α aktivite konsantrasyonu, IR_w bir yetişkin için yılda tüketilen su miktarını (730 L) (WHO 2011) ve IDF ise USEPA tarafından alfalar için verilen etkin doza çevirme faktörünü (3.58×10^{-7} SvBq⁻¹) göstermektedir (USEPA 1988). Su örnekleri için hesaplanan DR_w değerleri Çizelge 5.3 te görülmektedir (Aytekin and Bayraktaroğlu 2016). Çizelge 5.3 te görüldüğü üzere DR_w değerleri 1.5 μSvy^{-1} -89.1 μSvy^{-1} arasında değişmektedir. Bu değerler WHO tarafından önerilen 100 μSvy^{-1} değerinin altındadır (WHO 2011).

Çizelge 5.2 Zonguldak ili doğal kaynak sularında ölçülen toplam alfa ve beta aktivite konsantrasyonlarının Türkiye ve Dünya’da yayınlanmış başka çalışmalarla karşılaştırılması.

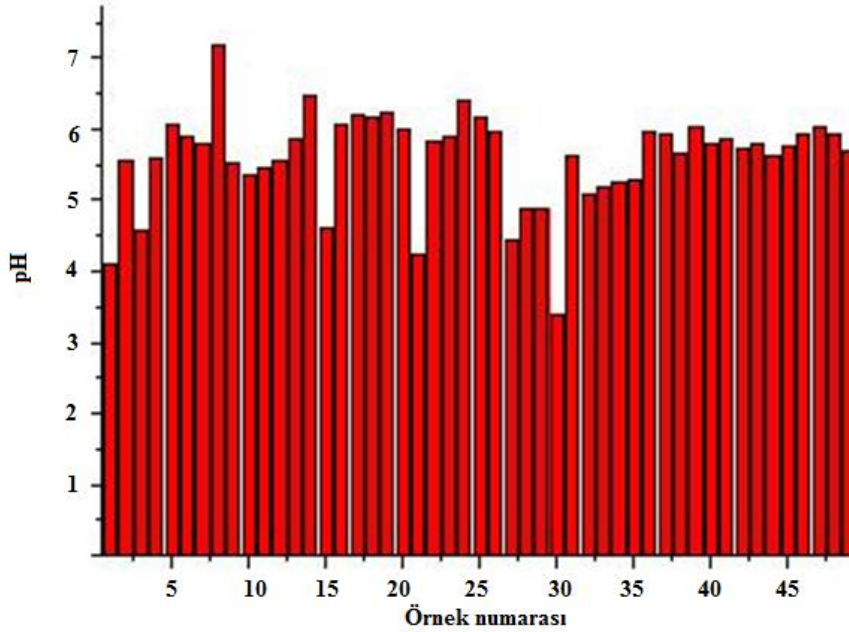
Ülke	Toplam alfa (mBq L ⁻¹)	Toplam beta (mBq L ⁻¹)	Kaynaklar
Samsun (Turkey)	51.9	77.8	(Görür et al. 2011)
Nevsehir (Turkey)	192	579	(Turhan vd.. 2013)
Adana (Turkey)	9.6	86	(Değerli ve Karahan 2010)
Artvin (Turkey)	46	91	(Kobyay vd. 2015)
Hatay (Turkey)	36.7	116.4	(Turgay vd. 2016)
Eregli (Turkey)	17	29	(Korkmaz ve Ağar 2016)
Hungary	26-1749	33-2015	(Jobbagy vd. 2011)
Nigeria	6.4-18.2	46-126	(Ogundare ve Adekoya 2015)
Ghana	34	501	(Nguelem, vd. 2013)
Romania	21.3	100.3	(Pentile vd. 2016)
Zonguldak (Turkey)	2.9-170.5	15.4-244.3	Mevcut çalışma
WHO	500	1000	(WHO 2011)

Çizelge 5.3 Zonguldak ili doğal kaynak suyu örneklerinde hesaplanan yıllık etkin doz değerleri.

Yıllık etkin doz eşdeğerleri (µSv y ⁻¹)				
Places	Min	Max	Ortalama	SS
Zonguldak	1.5	38.9	13.2	10.7
Kdz. Eregli	2.7	11.8	6	3.5
Kozlu	2.1	64.4	16	21.7
Kilimli	4.9	17.4	11.6	4.1
Caycuma	5.9	89.1	35.6	27.7

5.2. SU ÖRNEKLERİNİN *T*, *pH*, VE *EC* DEĞERLERİ

Zonguldak merkez ilçe ve Ereğli, Kozlu, Kilimli ve Çaycuma’da toplanan 49 su örneğinin *T*, *pH* ve *EC* değerleri yukarıda Şekil 4.9 ile verilen sistem kullanılarak ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları (topam α/β konsantrasyonları dahil) olmak üzere örnek toplama noktalarının koordinatları ile birlikte Çizelge 5.4 de görülmektedir (Aytekin ve Bayraktaroğlu baskıda). Su örneklerinin sıcaklık değerleri çevre sıcaklığına yakın bulunmuştur. Bu nedenle, örneklerin tadı, kokusunda bir değişiklik olması beklenmemelidir (Oyem et al. 2014). Çizelge 5.4 ten görüleceği üzere, *T*, *pH* and *EC* değerleri 15.44-26.21 °C, 3.4-7.2 ve 35.13-1319 μScm^{-1} aralıklarındadırlar. Şekil 5.2’den anlaşılacağı üzere su örneklerinin *pH* değerleri, Dünya Sağlık Örgütü’nce tavsiye edilen 6.5 değerinin altındadır (WHO 2011) ve su örnekleri genellikle asidik olup içilmesi tavsiye edilmez. Sadece, 8 nolu örneğin (Terakki2) *pH* değeri 7 olup tavsiye edilen limit değer aralığındadır. İletkenlik değerlerine bakıldığında Çayköy, Karaman2, Saltukova, Perşembe2 ve Nebioğlu örneklerinin iletkenlik değerleri Türk Standartları’nca kaynak suları için tavsiye edilen 650 μScm^{-1} değerinin üstündedir (TSE 1997).



Şekil 5.2 Su örneklerinin *pH* değerlerinin dağılımı (Aytekin ve Bayraktaroğlu baskıda).

Tez çalışmasında, *EC* değerleri ile toplam alfa/beta aktivite konsantrasyonları arasındaki korelasyonlar da incelendi (Aytekin ve Bayraktaroğlu baskıda). *EC* değerleri ile toplam alfa aktivite konsantrasyonları arasında $R=0.88$ gibi güçlü bir korelasyon bulunmuştur (Şekil 5.3). Beta aktivite konsantrasyonları ile *EC* değerleri arasında da $R=0.56$ gibi güçlü bir korelasyon

bulunmuştur (Şekil 5.4). Genellikle *EC* değerlerinin büyük olduğu yerlerde alfa aktiflikleri büyük bulunmuştur (Aytekin ve Bayraktaroğlu baskıda). Önceki çalışmalarda ^{226}Ra içeriği ile *EC* değerleri arasında güçlü korelasyonlar bulunmuştur (Tabar and Yakut 2014; Shivakumara et al. 2014). Böylece, *EC* değerleri ile alfa aktiviteleri arasında güçlü korelasyon bulunması örneklerin içeriklerindeki yüksek ^{226}Ra izotopunun bir göstergesi olarak yorumlanabilir. Ayrıca, *EC* değerleri ile beta aktivite konsantrasyonları arasındaki güçlü korelasyon ise örneklerimizin ^{40}K ve ^{228}Ra içeriklerinden kaynaklandığı şeklinde yorumlanabilir.

Çizelge 5.4 Zonguldak ili doğal kaynak suyu örneklerinin koordinatları, *T*, *pH*, *EC* ve toplam alfa ve toplam beta aktivite konsantrasyonları (Aytekin and Bayraktaroğlu 2016).

Yerler	Enlem	Boylam	<i>T</i> (°C)	<i>pH</i>	<i>EC</i> ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Toplam alfa (mBqL^{-1})	Toplam beta (mBqL^{-1})
Zonguldak							
1.Ontemmuz-1	N41° 26' 10,5"	E031° 46' 25,9"	19,04	4,10	135,9	11,60	69,80
2.Ontemmuz-2	N41° 26' 23,9"	E031° 46' 30,8"	18,2	5,57	264,3	35,00	106,20
3.Çaydamar	N41° 25' 1"	E031° 48' 2"	18,16	4,57	35,13	14,20	33,70
4.Rüzgarlımeşe	N41° 27' 28,1"	E031° 48' 22,7"	18,56	5,59	254,4	18,90	44,60
5.Milli Egemen	N41° 19' 57,1"	E032° 02' 44,5"	21,46	6,05	608,7	57,00	48,30
6. Çayköy	N41° 20' 32,0"	E032° 01' 51,6"	25,58	5,91	800,7	74,40	78,70
7. Karaman-1	N41° 22' 48,01"	E031° 57' 23,8"	19,4	5,80	409,5	36,80	40,00
8. Karaman-2	N41° 22' 153"	E031° 57' 8,4"	20,89	7,18	759,1	52,60	122,00
9. Sapça	N41° 25' 08,6"	E031° 55' 49,7"	21,54	5,52	103	9,70	23,10
10. Mevlana	N41° 25' 46,2"	E031° 53' 32,4"	20,76	5,34	64,1	2,90	30,10
11.Elvanpazar1	N41° 25' 44,5"	E031° 52' 19,1"	22,44	5,47	251,9	13,40	15,40
12. Elvanpazar2	N41° 25' 47"	E031° 51' 43,8"	18,18	5,55	192,9	24,90	20,90

Çizelge 5.4 (devam ediyor)

13. Terakki-1	N41° 26' 47,6"	E031° 46' 58,3"	16,59	5,86	195,4	9,60	126,50
14. Terakki-2	N41° 26' 68,6"	E031° 46' 64,9"	22,71	6,46	68,36	8,70	69,30
15. Terakki-3	N41° 26' 48,8"	E031° 46' 35,1"	20,2	4,62	215	18,70	77,70
16. Asma	N41° 27' 01,0"	E031° 50' 07,4"	20,49	6,06	181,2	17,00	37,20

Ereğli

17. Ömerli	N41° 10' 02,1"	E31° 25' 51,9"	21,02	6,21	331,5	22,50	23,70
18. Ören	N41° 16' 41,4"	E031° 30' 20,6"	22,42	6,17	77,86	5,10	70,50
19. Aydınlar	N41° 16' 01,7"	E031° 33' 49,6"	22,62	6,23	140,2	18,50	98,40
20. Soğanlı	N41° 18' 27,9"	E031° 31' 29,6"	18,33	5,99	69,21	6,00	53,20
21. Gökçeler	N41° 20' 27,2"	E031° 32' 09,6"	16,83	4,25	117,1	10,20	44,00
22. Terziköy	N41° 19' 27,2"	E031° 33' 40,1"	20,63	5,84	102	11,40	33,70
23. Sücüllü	N41° 19' 49,4"	E031° 36' 07,1"	18,49	5,91	93,14	6,40	51,10

Kozlu

24. Seyfetler	N41° 22' 04,5"	E031° 39' 31,4"	23,24	6,39	297,5	19,10	53,10
25. Ilıksu	N41° 23' 53,1"	E031° 41' 03,4"	20,59	6,15	45,55	9,90	37,60
26. Günbatımı	N41° 24' 42,6"	E031° 41' 24,9"	23,96	5,96	580,6	123,30	210,90

Çizelge 5.4 (devam ediyor)

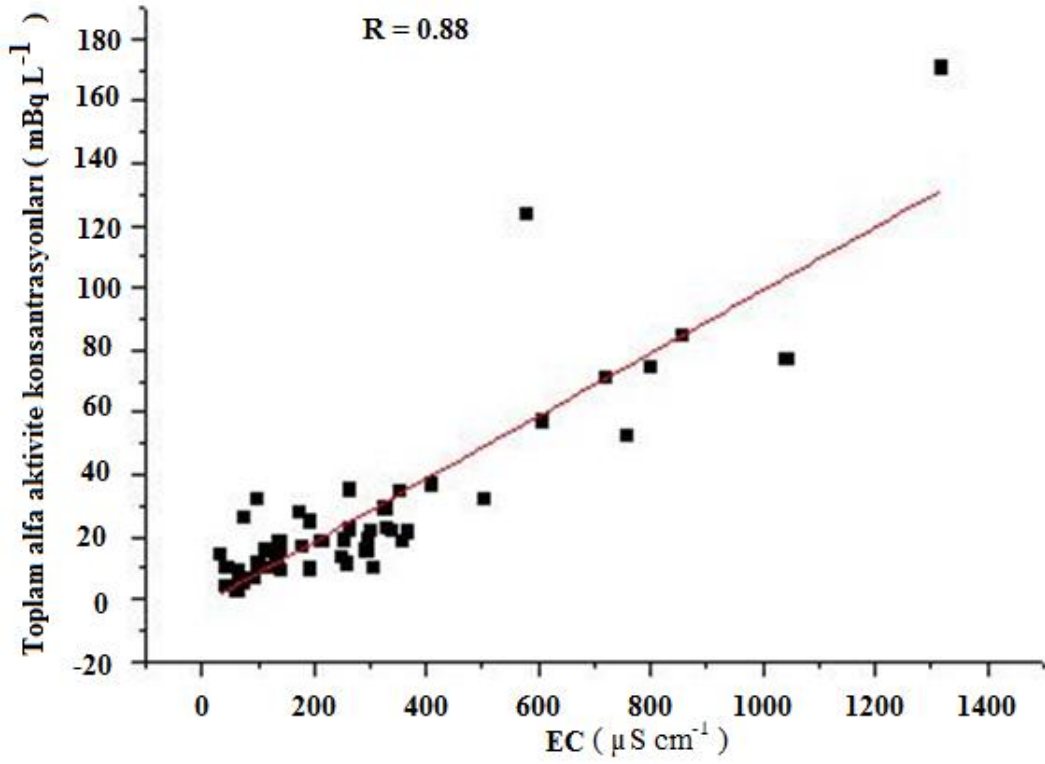
27. Esenköy	N41° 24' 34,7"	E031° 41' 32,2"	22,5	4,43	43,15	4,10	20,80
28. Değirmenağzı1	N41° 25' 04,0"	E031° 43' 20,6"	15,44	4,88	340,7	21,60	36,70
29. Değirmenağzı2	N41° 24' 49,5"	E031° 43' 06,4"	22,15	4,87	75,73	26,30	41,10
30. İncivez	N41° 26' 47,2"	E031° 45' 26,7"	21,56	3,38	307,9	10,30	86,80

Kilimli

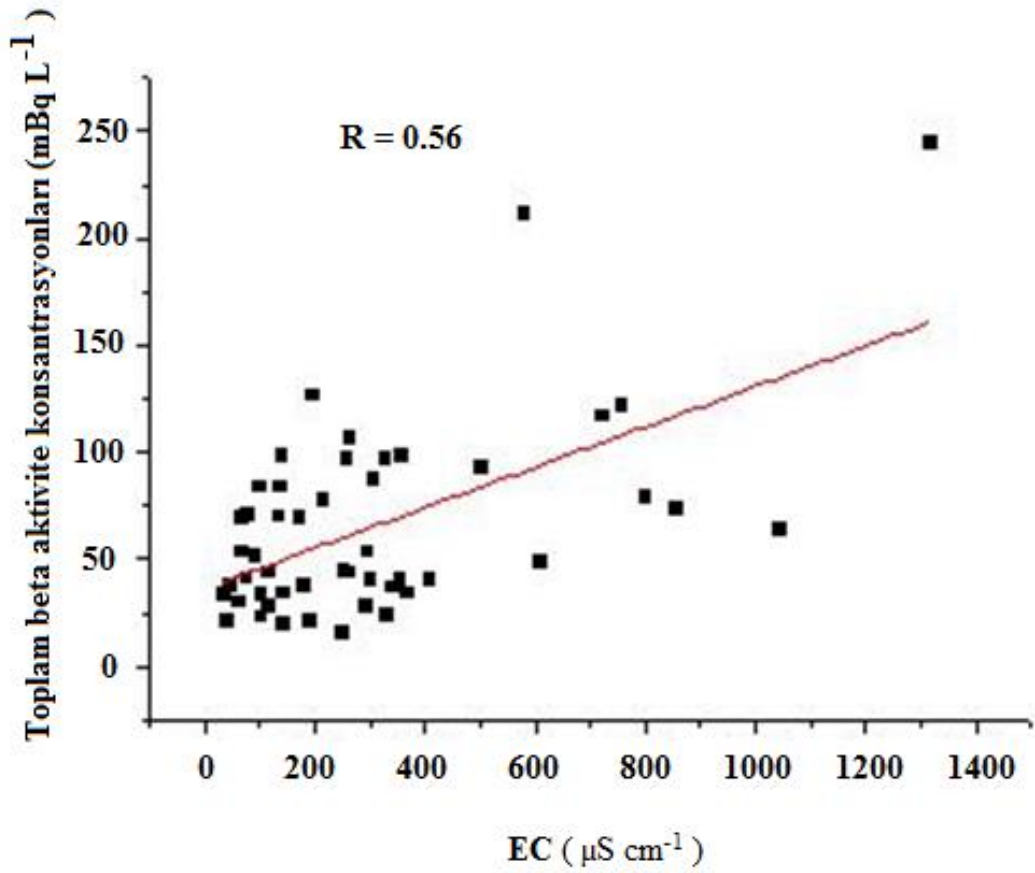
31. Soğuksu	N41° 29' 04,7"	E031° 50' 23,8"	16,76	5,63	358,5	18,40	98,00
32. Balıkçı Bar.	N41° 29' 39,8"	E031° 50' 28,4"	21,7	5,09	143	9,40	19,60
33. Radaraltı	N41° 29' 37,1"	E031° 50' 55,6"	26,21	5,18	263,3	22,30	43,60
34. Karadon-1	N41° 28' 58,3"	E031° 51' 00,5"	15,66	5,25	136,2	16,20	83,80
35. Karadon-2	N41° 28' 45,6"	E031° 51' 36,9"	16,79	5,27	100,4	31,90	83,40
36. Gelik-Ayiçi	N41° 28' 31,7"	E031° 53' 26,5"	21,24	5,95	143,6	15,20	34,30
37. Çatalağzı	N41° 29' 43,3"	E031° 51' 39,2"	22,01	5,93	115	15,40	27,60
38. Muslu-1	N41° 31' 01,4"	E031° 54' 40,5"	20,7	5,66	369,2	21,40	34,30
39. Muslu-2	N41° 37' 30,1"	E031° 56' 10,1"	21,72	6,02	503,8	32,20	92,60
40. Göbü	N41° 31' 45,5"	E031° 57' 23,9"	20,87	5,81	302,3	21,70	40,10
41. Türkali-1	N41° 32' 22,4"	E031° 58' 20,0"	18,07	5,85	328,6	29,00	97,30
42. Türkali-2	N41° 32' 33,31"	E031° 58' 45,8"	20,45	5,74	295,1	15,40	27,60

Çizelge 5.4 (devam ediyor)

Çaycuma							
43. Filyos	N41° 33' 04,2"	E032° 00' 20,8"	17,47	5,79	355,5	34,70	40,20
44. Gökçeler	N41° 38' 08,2"	E032° 04' 20,7"	22,14	5,63	259,5	11,30	97,00
45. Çömlekçi	N41° 31' 37,6"	E032° 04' 52,3"	21,89	5,75	173,4	28,00	68,80
46. Saltukova	N41° 30' 08,6"	E032° 05' 51,0"	25,31	5,93	1044	77,20	63,90
47. Perşembe1	N41° 24' 58,5"	E032° 09' 00,3"	23,07	6,02	722,1	70,70	116,80
48. Nebioğlu	N41° 26' 19,9"	E032° 14' 24,8"	23,71	5,92	858,8	84,50	73,50
49. Perşembe2	N41° 25' 18,5"	E032° 10' 33,4"	21,89	5,69	1319	170,50	244,30



Şekil 5.3 EC değerleri ile toplam alfa aktivite konsantrasyonları arasındaki korelasyon.



Şekil 5.4 EC değerleri ile toplam beta aktivite konsantrasyonları arasındaki korelasyon.

BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tezde, Zonguldak merkez ilçe ile Ereğli, Kozlu, Kilimli ve Çaycuma ilçelerinden toplanan 49 doğal kaynak suyu örneklerinde toplam alfa ve toplam beta aktivite konsantrasyonları ölçülmüştür. Su örnekleri alındığı anda, örneklerin sıcaklığı, *pH* ve elektriksel iletkenlik değerleri de ölçülmüştür. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Toplam alfa ve beta aktivite konsantrasyonları, sırasıyla, 2.9 ± 0.8 - 170.5 ± 41.7 mBqL⁻¹ ve 15.4 ± 11.2 - 244.3 ± 53.0 mBqL⁻¹ aralıklarında değişmekte olup bu sonuçlar, Dünya Sağlık örgütü (WHO) tarafından tavsiye edilen alfalar için 500 mBq/L ve betalar için olan 1000 Bq/L nin altındadırlar.
2. Toplam alfa ve toplam beta aktivite konsantrasyonlarından hesaplanan yıllık etkin doz değerleri $1.5 \mu\text{Svy}^{-1}$ - $89.1 \mu\text{Svy}^{-1}$ arasında değişmekte olup bu sonuçlar, WHO tarafından önerilen $100 \mu\text{Sv/y}$ değerinin altındadır.
3. Su örneklerinin *pH* değerleri genellikle WHO önerilen alt limit 6.5 değerinin altında olup asidik karakterlidirler.
4. Su örneklerinin elektriksel iletkenlik değerleri TSE tarafından önerilen $650 \mu\text{S cm}^{-1}$ değerinin altındadır.
5. Örneklerin elektriksel iletkenlik değerleri ile toplam alfa ve toplam beta aktivite konsantrasyonları arasında, sırasıyla, 0.88 ve 0.56 gibi pozitif korelasyon katsayıları elde edilmiştir. Buna göre, su içeriklerinin toplam alfa aktifliklerinin, ²²⁶Ra ve beta aktifliklerinin de ⁴⁰K ve ²²⁸Ra içeriklerinden kaynaklanabileceği anlaşılmaktadır.

Sonuç olarak, çalışma alanından toplanan doğal kaynak suyu örneklerinin toplam alfa ve toplam beta aktivite konsantrasyonları WHO tarafından önerilen limit değerlerin oldukça altında olup su kaynakları radyolojik açıdan iyi kalitededirler ve içilebilir özelliktedirler. Örneklerin elektriksel iletkenlikleri, TSE tarafından önerilen limit değerinin altında olup bu açıdan içilmesi kabul edilebilir özelliktedirler. Diğer taraftan su örneklerinin, genellikle asidik karakterli olup içilebilmesi için *pH* değerlerinin 6.5–8.5 arasında ayarlanması önerilmektedir.

Bu tez çalışmasının sonuçları, su kaynaklarının radyoaktivite seviyelerinin ve *pH* ve elektriksel iletkenlik gibi fizikokimyasal parametrelerinin gelecekte meydana gelebilecek mümkün değişimler için bir veri kaynağı teşkil edecektir. Bu sonuçlar, aynı zamanda Türkiye ve Dünya literatürüne kaynak sularının gerek radyoaktivite seviyelerinin ve gerekse fizikokimyasal parametrelerinin incelenmesinde referans teşkil edecektir.

KAYNAKLAR

- Abdel Hady E E, El-Sayed A M A, Ahmed A A, Hussein A Z** (1994) Natural radioactivity of basement younger granite rocks from the eastern desert. *Elsevier: Radiation Physics and Chemistry*, Volume 44, Issue 1: 223-224.
- Altinkulaç A, Turhan Ş and Gümüş H** (2015) The Natural and Artificial Radionuclides in Drinking Water Samples and Consequent Population Doses. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, The Netherlands, 8: 578-582.
- Aytekin H, Bayraktaroğlu N** (2016) An Investigation on the Radiological characters of Spring Waters in Zonguldak Province (Turkey). *Fresenius Environmental Bulletin*, 25 (12/a): 6198-6201.
- Aytekin H, Bayraktaroğlu N** (baskıda) An Investigation on the Quality of Natural Spring Waters in Zonguldak province (Turkey). *Karaelmas Science and Engineering Journal*.
- Baldık R** (2005) Gökgöl ve Cehennemağzı Mağaraları ile Amasra Taşkömürü İşletmesinde Radon- 222 Ölçümü, *Bilim Uzmanlığı Tezi*, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Zonguldak, 81.
- Canu I G, Laurent O, Pires N, Laurier D and Dublineau I** (2011) Health Effects of Naturally Radioactive Water Ingestion: The Need for Enhanced Studies. *Environmental Health Perspectives*, USA, 119(1): 1676-1680.
- Değerlier M and Karahan G** (2010) Natural radioactivity in various surface waters in Adana, Turkey. *Elsevier*, The Netherlands, *Desalination* 261(1-2): 126-130.
- Freeze R A and Cherry J A** (1979) *Groundwater*. Prentice-Hall Inc, Englewood Cliffs, New Jersey 07632, 38-46.
- Giancoli D C** (2008) *Physics for Scientists and Engineers*, 4 th Edition, ISBN: 0-13-017976-0, Prentice Hall, New Jersey, 1172 pp/s.
- Görür F K, Keser R, Dizman S and Okumusoglu N T** (2011) Annual effective dose and concentration levels gross alpha and gross beta in various waters from Samsun, Turkey, *Elsevier*, *Desalination* 279 (1): 135–139.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Jankovic M M, Sarap N B, Pantelic G K, Todorovic D J** (2015) Comparison of two different methods for gross alpha and beta activity determination in water samples. *Open Chemistry*, 13: 668–674.
- Jensen C** (2000) *Controversy and Concensus: Nuclear Beta Decay 1911-1934*, ISBN: 978-3-0348-9569-9, Springer Basel AG, Berlin: Birkhauser, 213 pp/s.
- Jobbagy V, Kavasi N, Somlai J P, Dombovari C, Gyongyosi T and Kovacs T** (2011) Gross alpha and beta activity concentrations in spring waters in Balaton Upland, Hungary. *Radiation Measurement*, 46 (1): 159-163.
- Karacan C O and Okandan E** (2000) Fracture/cleat analysis of coals from Zonguldak basin (northwestern Turkey) relative to the potential of coalbed methane production, *International journal of coal geology*, 44 (2): 109–125.
- Knoll G F** (2000) *Radiation Detection and Measurement*, 3 st Edition. ISBN: 0-471-07338-5, John Wiley & Sons, New Jersey, USA, 802 pp/s
- Kobyay Y, Taskin H, Yesilkanat C M, Cevik U, Karahan G and Cakir B** (2015) Radioactivity survey and risk assessment study for drinking water in the Artvin province, *Water Air and Soil Pollution*, 226 (1-3): 1-9.
- Korkmaz M E and Agar O** (2016) A survey of gross alpha and beta measurements in drinking waters in Eregli, Turkey, *Fresenius Environmental Bulletin* 25 (9): 3507-3512.
- Krane S K** (2001) *Introductory Nuclear Physics*, ISBN: 975-7477-88-5, John Wiley and Sons, Çeviri Editörü Başar Şarer, Palme Yayıncılık, Ankara-(2001), 1: 67.
- Krieger H L and Whittaker E L** (1980) Prescribed Procedures for Measurement of Radioactivity in Drinking Water, *United States Environmental Protection Agency(EPA)*, USA, 600/4-80-032: 1-9.
- NCRP Report 45** (1975) Natural Background Radiation in the U.S. SoilRadioactivity. *National Council on Radiation Protection and Measurement*, 38: 153-165.
- Nguelem E J M, Darko E O, Ndontchueng M M, Schandorf C, Akiti T T, Muhulo A P, Bam E K P** (2013) Natural radioactivity by gross alpha and gross beta measurements in groundwater from Greater Accra, Ghana. *Radiation Protection and Environment* 36(1): 14-19.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Ogundare F O and Adekoya O I** (2015) Gross alpha and beta radioactivity in surface soil and drinkable water around a steel processing facility, *Journal of Radiation Applied Sciences*, 8 (3): 411-417.
- Örgün Y** (1997) Büyükçekmece su havzasının jeolojik ve hidrojeokimyasal özellikler, İstanbul. *Su ve Çevre sempozyumu, Bildiriler kitabı*, İstanbul, 71-79.
- Oyem H H, Oyem I M, Ezeweali D** (2014) Temperature, pH, Electrical Conductivity, Total Dissolved Solids and Chemical Oxygen Demand of Groundwater in Boji-BojiAghor/Owa Area and Immediate Suburbs, *Research Journal of Environmental Sciences*, 8: 444-450.
- Pentile V, Ene A, Georgescu L P, Mararu L and Iticescu C** (2016) Measurements of gross alpha and beta activity in drinking water from Galati region, Romania. Romanian. *Reports in Physics*, 68 (3): 1208-1220.
- Shivakumara B C, Chandrashenkara M S, Kavita E and Paramesh L** (2014) Studies on ^{226}Ra and ^{222}Rn concentration in drinking water of Mandya region, Karnataka State, India. *Journal of Radiation Applied Sciences*, 7:491-498.
- Şahin Y** (1999) *Çekirdek Fiziğinin Esasları*, ISBN: 975-6755-00-8, Aktif Yayın Dağıtım San. Tic. Ltd. Şti., Cağaloğlu, İstanbul, 427 s.
- Tabar E and Yakut H** (2014) Determination of ^{226}Ra concentration in bottled mineral water and assessment of effective doses, a survey in Turkey. *International Journal of Radiation Research*, 12 (3): 193-20.
- Tanyel B** (1994) *Nükleer Fizik*, Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Ders Kitapları Serisi No:139, Bornova, İzmir.
- TSE** (1997) Drinking Water Turkish Standards. *Turkish Standards (TSE-266)*, Ankara.
- Turgay M E, Yazici A N, Taskin H, Kam E and Karahan G** (2016) Assessment of gross α and β radioactivity for drinking water in Hatay province, *Desalination and Water Treatment*, 57 (11): 4960–4965.
- Turhan Ş, Ozcitak E, Taskin H and Varinlioglu A** (2013). Determination of natural radioactivity by gross alpha and beta measurements in ground water samples, *Elsevier, Water Research*, 47 (3): 3103–3108.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

UNSCEAR 88 Report (1988) Annex A Terrestrial Sources of Radiation. *United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation*, 57-58.

UNSCEAR Report (2000) *Sources and Effects of Ionizing Radiation Annex B*, Exposures from natural radiation sources, 1: 83-157

USEPA (1988) *United States Environmental Protection Agency federal guide report No: 11*. Limiting values of the radionuclide intake and air concentration and dose conversion factors for inhalation. Submersion and Ingestion EPA 520/1-88-020 Washington, USA.

Valencik A, Kozłowska B, Dorda J, Zipper W (2010) Natural radioactivity in underground water from the Outer Carpathians in Poland with the use of nuclear spectrometry techniques, *Elsevier, Applied Radiation and Isotopes*, Volume 68: 839-843.

WHO (2011) *Guidelines for Drinking Water Quality*, Fourth Ed. World Health Organization, Geneva.

ÖZGEÇMİŞ

1972 yılında Ardahan ili Posof İlçesi Yaylaaltı (Satlel) Köyü'nde dünyaya gelen Nazmi Bayraktaroğlu, evli ve iki çocukludur. İlk, orta ve lise öğrenimini Posof'da tamamladı, 1994 yılında Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Fizik Ana Bilim Dalı (Almanca) Bölümü'nden mezun oldu. 1995 yılında Sivas-Gürün-Karakuyu, 1996 yılında Artvin-Şavşat-Tepeköy İlköğretim Okulu'nda görev yapan Nazmi Bayraktaroğlu, 1997-2001 Artvin Anadolu Öğretmen Lisesi'nde Fizik Öğretmeni olarak çalıştı. 2001 yılından itibaren ise Zonguldak Fen Lisesi'nde Uzman Fizik Öğretmeni olarak görevini yürütmektedir.

2014 yılında Bülent Ecevit Üniversitesi Fizik Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans öğretimine başlayan Nazmi Bayraktaroğlu'nun aşağıda verilen yayınlanmış ve yayınlanma aşamasında olan makaleleri bulunmaktadır.

1. Aytekin H, Bayraktaroğlu N (2016) An Investigation On The Radiological Characters of Spring Waters In Zonguldak Province (Turkey). *Fresenius Environmental Bulletin*, 25 (12/a): 6198-6201.
2. Aytekin H, Baldık R, Bayraktaroğlu N (2017) Natural Radioactivity Measurement and Dose Assessment in Zonguldak, Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, 26 (4): 2596-2503.
3. Aytekin H, Bayraktaroğlu N (Baskıda) An Investigation on the Quality of Natural Spring Waters in Zonguldak province (Turkey). *Karaelmas Science and Engineering Journal*.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Zonguldak Fen Lisesi, Bahçelievler Mah. Zambak Sokak, Merkez/ZONGULDAK
Tel : (+90) 505 676 54 65
E-posta : baynazmi@hotmail.com