

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ANKARA İLİ AYAŞ İLÇESİ CİVARINDAKİ TAŞ VE KUM OCAKLARININ
DOĞAL RADYOAKTİVİTEYE OLAN KATKISININ İNCELENMESİ**

Kadri Furkan NAZIR

KİMYA ANABİLİM DALI

**ANKARA
2020**

Her hakkı saklıdır

TEZ ONAYI

Kadri Furkan NAZIR tarafından hazırlanan “Ankara İli Ayaş İlçesi Civarındaki Taş ve Kum Ocaklarının Doğal Radyoaktiviteye Olan Katkısının İncelenmesi” adlı tez çalışması 17/01/2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Orhan ATAKOL
Ankara Üniversitesi Kimya Anabilim Dalı



Jüri Üyeleri :

Başkan : Prof. Dr. Orhan ATAKOL
Ankara Üniversitesi Kimya Anabilim Dalı



Üye : Doç. Dr. Nurcan ACAR
Ankara Üniversitesi Kimya Anabilim Dalı



Üye : Doç. Dr. Nazife ASLAN
Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi Kimya Anabilim Dalı



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Özlem YILDIRIM
Enstitü Müdürü

ETİK

Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

17/01/2020



Kadri Furkan NAZIR

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ANKARA İLİ AYAŞ İLÇESİ CİVARINDAKİ TAŞ VE KUM OCAKLARININ DOĞAL RADYOAKTİVİTEYE OLAN KATKISININ İNCELENMESİ

Kadri Furkan NAZIR

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Kimya Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Orhan ATAKOL

Ankara ili Ayaş ilçesi civarında bulunan taş ocaklarının, bölgedeki su kaynaklarının radyoaktivite seviyesine etkisini araştırmak amacıyla yedi farklı su kaynağından iki farklı zamanda su örnekleri alındı. Bu su örneklerinde toplam alfa ve toplam beta aktiviteleri ölçüldü ve Ayaş civarındaki taş ocaklarının bu aktivite üzerine etkileri yorumlandı. Taş ocaklarına yakın olan su kaynaklarında toplam alfa ve toplam beta aktivitelerinin yüksek çıkması nedeniyle taş ocaklarının aktiviteleri arttırdığı sonucuna varıldı. Taş ocaklarında kayaçların sürekli parçalanması sonucu kayaç içinde hapsolmuş olan Rn gazının, etraftaki su kaynaklarında toplam alfa ve toplam beta aktivitelerini etkilediği düşünüldü. Ayrıca aynı kaynaklardan toprak örnekleri toplandı ve bu örneklerde de toplam alfa, toplam beta ve gama aktiviteleri ölçüldü. Toprak örneklerinde jeolojik yapının aktiviteyi etkilediği görüldü.

Ocak 2020, 66 sayfa

Anahtar Kelimeler: Ayaş, toplam alfa ve toplam beta, doğal radyoaktivite

ABSTRACT

Master Thesis

THE INVESTIGATION OF THE EFFECT OF QUARRYING AND STONE MINING ON THE NATURAL RADIOACTIVITY IN THE AYAŞ DISTRICT OF ANKARA

Kadri Furkan NAZIR

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Chemistry

Supervisor: Prof. Dr. Orhan Atakol

Water samples were obtained from seven different sources at two different periods within the Ankara province Ayaş district. Gross alpha and gross beta radiation activities were measured and the effect of stone quarries on this activity was discussed. In addition to water samples, soil samples were also collected and the gross alpha, gross beta and gamma activities were measured. Results showed the gross alpha and gross beta activities for water samples collected close to the quarries on other hand geological structure was seen to have effect of the gross alpha and gross beta activities for soil samples. It was concluded that continuous the liberation of Rn gases through fragmentation (crumbling) of rocks within quarries increased the gross alpha and gross beta activities.

January 2020, 66 pages

Key Words: Ayaş, gross alpha and gross beta, natural radioactivity

TEŞEKKÜR

Tez konusunun belirlenmesi ve yürütülmesinde bana her zaman destek olan hocam sayın Prof. Dr. Orhan ATAKOL'a teşekkür ederim.

Yüksek Lisans kapsamında yapmış olduğum analizlerde yardımlarını esirgemeyen TAEK çalışma arkadaşlarıma ve yorumlama aşamasında teknik bilgi birikimini benden esirgemeyen Prof. Dr. Yusuf Kaan KADIOĞLU'na teőekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bütün yaşamım boyunca beni daima desteklemiş ve yanımda olmuş olan sevgili aileme çok teşekkür ederim.

Kadri Furkan NAZIR
Ankara, 2020

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI

ETİK.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	iv
SİMGELER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı ve Hipotezi.....	1
1.2 Çalışmanın Önemi.....	3
1.3 Kaynak Özetleri	3
2. KURAMSAL TEMELLER.....	10
2.1 Radyoaktivite.....	10
2.1.1 Doğal radyoaktivite.....	10
2.1.2 Yapay radyoaktivite.....	12
2.1.3 Radyoaktif bozunumun zamana bağlılığı ve üstel bozunma yasası	13
2.1.4 Radyoaktif denge.....	15
2.2 Radyasyon.....	18
2.2.1 Radyasyon kaynakları	18
2.2.2 İyonlaştırıcı olmayan radyasyon.....	21
2.2.3 İyonlaştırıcı radyasyon	21
2.2.3.1 Alfa parçalanması	21
2.2.3.2 Beta parçalanması.....	22
2.2.3.3 Gama ışıması	23
2.2.4 Radyasyonun madde ile etkileşimi	24
2.2.4.1 Fotoelektrik olay.....	24
2.2.4.2 Compton saçılması	25
2.2.4.3 Çift oluşumu	26
2.2.5 Radyasyon birimleri	27
2.2.5.1 Aktivite birimleri.....	28

2.2.5.2 Işınlama birimi	28
2.2.5.3 Soğurulan doz birimi	29
2.2.5.4 Eşdeğer doz birimi	29
2.3 Radyasyon Ölçüm Yöntemleri	30
2.3.1 Sintilasyon dedektörleri.....	30
2.3.2 Yarı iletken dedektörler	31
2.3.3 Gaz dolgulu dedektörler	31
2.3.3.1 İyon odası dedektörü	33
2.3.3.2 Orantılı dedektör.....	33
2.3.3.3 Geiger müller dedektörü	34
2.4 Gaz Dolgulu Orantılı Dedektörlerin Sayıma Hazırlanması.....	34
2.4.1 Voltaj kalibrasyonu.....	34
2.4.2 Verim kalibrasyonu	35
2.4.3 Zemin sayımı	35
2.4.4 Crosstalk kalibrasyonu.....	36
2.5 Numunede Toplam Alfa/Beta Aktivitesinin Belirlenmesi	36
2.5.1 Numunenin alınması	36
2.5.2 Numunenin analize hazırlanması	37
2.5.3 Numunenin sayımı	38
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	40
3.1 Kullanılan Kimyasallar ve Cihazlar.....	40
3.2 Yöntem	40
3.2.1 Numune alma.....	40
3.2.2 Su numunelerinin analize hazırlanması.....	46
3.2.3 Toprak numunelerinin analize hazırlanması	46
3.2.4 Su ve toprak numunelerinin toplam Alfa-Beta sayımı	47
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	52
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	57
KAYNAKLAR	64
ÖZGEÇMİŞ.....	66

SİMGELER DİZİNİ

^3H	Tritiyum
A	Aktivite
Am	Amerikyum
As	Arsenik
Bi	Bizmut
Bq	Becquerel
Cd	Kadmiyum
Ci	Curie
Cr	Krom
Cs	Sezyum
Cu	Bakır
e	Elektron
E	Enerji
Eff	Verim
Fe	Demir
Ge	Germanyum
Gy	Gray
h	Planck Sabiti
HNO_3	Nitrik Asit
IR	İnfrared
K	Potasyum
K_2O	Potasyum Oksit
keV	Kilo elektron Volt
Kg	Kilogram
m	Metre
MeV	Milyon elektron Volt
Mn	Mangan
n	Nötron
NaI	Sodyum iyodür
p	Proton
Pb	Kurşun
pH	Hidrojen iyonu derişiminin eksi logaritması
Ra	Radyum
Rn	Radon
Si	Silisyum
Sr	Stronsiyum
Sv	Sievert
$t_{1/2}$	Yarılanma Süresi
U	Uranyum
V	Hacim
Zn	Çinko
ZnS	Çinko Sülfür
α	Alfa Parçacığı
β	Beta Parçacığı
β^+	Pozitron

β^-	Elektron
γ	Gama Işını
λ	Bir çekirdeğin birim zamanda bozunma olasılığına
ν	Frekans
τ	Zaman

Kısaltmalar

cpm	Counts per minute
dpm	Disintegrations per minute
dps	Disintegrations per second
EPA	Environmental Protection Agency
HPGe	High Purity Germanium
IAEA	International Atomic Energy Agency
ICRU	International Commission on Radiation Units
NCRP	National Council on Radiation Protection & Measurements
ÖMD	Ölçülebilen Minimum Değer
SI	International System of Unit
TAEK	Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
TS	Türk Standartları
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
UNSCEAR	United Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
WHO	World Health Organization (Dünya Sağlık Örgütü)
DSİ	Devlet Su İşleri
UV	Ultraviyole
MDA	Minimum Detectable Activity (Minimum Dedekte Edilebilen Aktivite)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 ^{238}U 'in Bozunma Ürünleri Şeması (NCRP 97 1988).....	11
Şekil 2.2 ^{232}Th 'nin Bozunma Ürünleri Şeması (NCRP 97 1988).....	12
Şekil 2.3 Radyoaktif Numunenin Miktarının Zamana Bağlı Değişim Grafiği (Krane 1998).....	13
Şekil 2.4 Denge çeşitleri	17
Şekil 2.5 Radyasyon Çeşitleri	18
Şekil 2.6 Doğal Radyasyon Döngüsü.....	19
Şekil 2.7 Yapay Radyasyon Döngüsü.....	20
Şekil 2.8 Radyasyon Kaynakları	20
Şekil 2.9 Alfa Bozunumu	22
Şekil 2.10 Gama Bozunumu	24
Şekil 2.11 Elektromanyetik Radyasyon ile Alüminyum Atomunun Etkileşmesi (Krane,1998).....	24
Şekil 2.12 Fotoelektrik Olay	25
Şekil 2.13 Compton Saçılması	26
Şekil 2.14 Çift Oluşumu (Knoll 1989).....	27
Şekil 2.15 Sintilasyon dedektörleri	31
Şekil 2.16 Gaz dolgulu dedektörler.....	32
Şekil 2.17 Voltaj - İyon çifti grafiği.....	32
Şekil 3.1 Düşük zemin sayımlı gaz orantılı dedektör (Protean Instrument Corporation MPC-9604).....	40
Şekil 3.2 Gökler Köyü Göleti	41
Şekil 3.3 Taş ocakları su birikintileri	42
Şekil 3.4 DSİ Göleti ve Başayaş Köyü	42
Şekil 3.5 Bayat Göleti ve Asartepe Barajı	43
Şekil 3.6 Asartepe Barajı.....	44
Şekil 3.7 Bayat Göleti	44
Şekil 3.8 DSİ Göleti	44

Şekil 3.9 Gökler Köyü Göleti	45
Şekil 3.10 Taş ocakları küçük su birikintisi	45
Şekil 3.11 Taş ocakları büyük su birikintisi	45
Şekil 3.12 Voltaj kalibrasyon eğrisi	47
Şekil 3.13 Alfa verim kalibrasyon eğrisi	49
Şekil 3.14 Beta verim kalibrasyon eğrisi	49
Şekil 3.15 Crosstalk verim kalibrasyon eğrisi	50
Şekil 5.1 Beypazarı-Ayaş-Kazan Arasında Jeolojik Kayaç Formasyonları	61
Şekil 5.2 Ayaş Civarında Daha Küçük Ölçekli Olarak Jeolojik Kayaç Formasyonları	62

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Bütün Radyasyon Birim Çeşitleri ve Karşılıkları (ICRU 1971).....	27
Çizelge 2.2 Aktivite formülündeki sembollerin tanımları	39
Çizelge 2.3 ÖMD formülündeki sembollerin tanımları	39
Çizelge 3.1 Am-241 ve Sr-90 Kalıntı-%Verim değerleri	48
Çizelge 3.2 Crosstalk Kalıntı-%Verim değerleri	50
Çizelge 4.1 Su Örneklerinde Ölçülen Toplam Alfa ve Toplam Beta Aktiviteleri	52
Çizelge 4.2 Toprak Örneklerinde Ölçülen Toplam Alfa ve Toplam Beta Aktiviteleri...	55
Çizelge 4.3 Toprak Örneklerinde Ölçülen ^{40}K , ^{137}Cs , ^{226}Ra ve ^{232}Th Aktiviteleri	56

1. GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Amacı ve Hipotezi

Gelişmekte olan tüm ülkelerde yaklaşık son 20 yıldır otoyol, köprü, baraj, viyadük gibi yapılar hızla artmakta ve buna paralel olarak da inşaat sektöründe hammadde gereksinimi artmaktadır. Bu bayındırlık işlerinin yanı sıra maalesef gelişmekte olan ülkelerdeki nüfus artışı ve kırsaldan şehirlere göç sonucu metropollerde oluşan saha darlığı nedeniyle alışveriş merkezleri ve yüksek yapılardaki artış inşaat sektöründe hammadde gereksinimini eskiye göre onlarca kez artırmıştır. Bunun sonucu olarak gerek çimento ve kireç fabrikalarının ihtiyacı olan kireçtaşı ve silikatlar, gerekse yol yapımında kullanılacak mıcır gereksiniminden dolayı ülkemiz başta olmak üzere gelişmekte olan, inşaat malzemeleri üreten tüm ülkelerde gelişigüzel açılan taş ocaklarının sayısı çok yüksek oranda artmıştır. Gelişigüzel olarak açılan taş ocakları henüz çevre açısından değerlendirilmiş durumda değildir, bu ocakların çevreye, o civarda yaşayan insanlara ve tarıma ne kadar zarar verdiği veya fayda sağladığı üzerine çalışmalar yapılmamış durumdadır. Belki bu taş ocaklarının bölge insanına iş olanağı yaratmasından dolayı yarattığı sosyoekonomik analizler yapılmış olabilir ama henüz bir fayda – zarar muhasebesi yapılmış değildir.

1990 yılından beri gelişmiş ülkelerde Radon tehlikesi adı altında yeni sayılabilecek bir tehlikeden bahsedilmektedir. Son 20 yıldır tıp alanındaki araştırmalar akciğer kanserinin en büyük sebebinin atmosferde bulunan Rn gazı olduğunu göstermektedir. Rn gazı atmosferde çok eser miktarda bulunan, yarılanma süresi $t_{1/2}=3,8$ gün olan ve aktivitesi son derece yüksek alfa bozunumu yapabilen bir gazdır. Radyoaktif ışınlar arasında dokulara en çok zarar veren radyoaktif tanecik alfa taneciğidir. Alfa tanecikleri her ne kadar atmosferde çok yol alamadan enerjilerini kaybetse de atmosferde gaz halinde bulunan Rn solunum sonucu akciğerde doku ile direkt temasta bulunduğu için akciğer dokusu için çok tehlikeydir. Atmosferde Rn gazının bulunmasının sebebi kayaçların içinde bulunan radyoaktif izotoplar ve bu izotopların bozunma süreleri içinde ara basamaklardan bir tanesinin Rn olmasıdır. ^{238}U , ^{232}Th gibi radyoizotoplar bozunma süreçleri içinde ^{222}Rn ve ^{220}Rn gibi radyoaktif ara ürünler meydana getirirler. Bu

radyoizotop toprak altında veya kayaçların içinde meydana geldikten kısa bir süre sonra radyoaktif ışınlar sonucu bozunur ve nihayetinde ²¹⁰Pb izotopuna veya Pb elementinin diğer izotoplarından bir tanesine dönüşür. Kayacın içinde gerçekleşen bu olayda oluşan Rn gazı atmosfere karışamaz kayacın içinde kalır. Bununla birlikte kayaçları sürekli kazın, oyan, parçalayan endüstriyel faaliyetler kayaç yüzeyini kuvvetle artırdığından kayaçların içinde kalan Rn gazı artan yüzey alanından dolayı serbest kalır ve atmosfere karışır, hava hareketleriyle de çevreye yayılır. Gerçekten de inşaat hammaddesi üretilen ocakların yakınlarında ölçülen zemin radyoaktivite değerleri, diğer kırsal alanlarla karşılaştırıldığında çok daha yüksektir. Bu olay Rn tehlikesi olarak tanımlanmaktadır. Bunun yanı sıra kayaçların parçalanması, yer kabuğunun kazılması sonucu atmosfere Rn karışması ile birlikte radyoaktif parçalanma süreçleri sonucunda açığa çıkan diğer radyoizotoplarda atmosferle direkt temas haline geçerler. Özetle söylemek gerekirse taş ocakları çevrelerindeki radyoaktiviteyi artıran kaynaklardır. İnşaat sektörünün çok hızlı gelişmesinden Türkiye’de payını büyük ölçüde almış bir ülkedir. Çimento ve kireç fabrikalarının yanı sıra yol inşaatları için mıcır elde etmek, inşaatlar için belli çapta kum üretebilmek amacıyla Türkiye’nin dört bir yanında çok sayıda kum ve taş ocağı açılmıştır. Bu taş ve kum ocaklarının çevreye olan etkileri sadece görsel kirlilik açısından ve yerleşim bölgelerinin atmosferlerinde partikül derişimi açısından değerlendirilmektedir. Bölgedeki su kaynaklarına olan etkiler üzerine, bölgenin florası ve faunası üzerine hazırlanmış bir çalışma, bir proje yoktur.

Bu çalışma bu bağlamda tasarlanmış analitik bir çalışmadır. Ankara ilinin hemen hemen tüm ilçelerinde bu türde taş ve kum ocakları bulunmaktadır bununla birlikte ocakların çevreye etkileri üzerine bir çalışmaya rastlanmamıştır. Yapılan çalışmada Ankara ili Ayaş ilçesinde bulunan durum değerlendirilmiştir. Ayaş ilçe merkezine oldukça yakın, Ayaş’a bağlı köylerin hemen yakınlarında dört büyük taş ocağı ruhsat almış ve büyük oranda üretim yapılmaktadır. Bu taş ve kum ocaklarının hemen yakınlarında sulama amaçlı göletler inşa edilmiştir. Taş ocaklarının göletlerdeki radyoaktivite seviyesi üzerine etkisinin olup olmadığını tespit edebilmek amacıyla planlanmıştır.

1.2 Çalışmanın Önemi

Çalışmanın amacında belirtildiği gibi Türkiye’de bu amaçla yapılmış bir çalışma mevcut değildir. Kayaçları keserek yer döşemesi, banyo ve mutfaklar için ıslak zemin hammaddesi üretiminde kullanılan granit, mermer, karo gibi malzemelerin yaydığı radyoaktivite üzerine yorumlar ve bazı sayısal değerler verilmektedir. Benzer şekilde jeotermal tesislerde kullanılan su ve kaplıca tesislerinde kullanılan sulardaki doğal radyoaktivite üzerine çok sayıda çalışma mevcuttur, çünkü sağlıkla ilgili olduğundan yönetmelikler gereği bu maddelerde radyoaktivite ölçümleri ve bu ölçümlerin periyodik olarak tekrarlanması zorunludur. Fakat taş ocaklarının su kaynakları üzerine etkilerine dair bir araştırma bulunmamaktadır. Bu tez çalışması bu amaçla planlanmış bir durum değerlendirmesi çalışmasıdır. Ankara ili Ayaş ilçesi sınırları içinde bulunan taş ocaklarına farklı uzaklıklarda 7 istasyon seçilmiş ve bu istasyonlardan iki farklı zamanda, suyun minimum miktarda olduğu ve suyun en yüksek miktarda olduğu dönemlerde su ve toprak örnekleri alınarak toplam alfa ve toplam beta ölçümleri yapılmıştır.

Bu tür çalışmaların sayısı artarsa taş ocaklarının olumlu olumsuz etkilerine dair bilgilerin genelleşeceği açıktır. Tek bir durum değerlendirme çalışması istatistik olarak çok fazla bir değer oluşturmaz ancak çok fazla sayıda ölçüm sonucunda istatistik ve güven aralığı yüksek sonuçlar elde edilebilir. Muhakkak ki bu çalışma Ankara ilinin tüm durumunu ortaya koyamamaktadır çünkü tek bir ilçede yapılmış bir ölçüm çalışmasıdır. Ankara’nın diğer ilçelerinde de uygulanırsa istatistik açıdan bir anlam kazanacaktır. Ama belirtildiği gibi bu çalışma bir ilktir ve bundan sonraki çalışmalara örnek olması ve yol açması bakımından önem arz etmektedir.

1.3 Kaynak Özetleri

Bu bölümde tezin konusuyla ilgili, ülkemizi de ilgilendiren ve örnek alınabilecek olan literatür çalışmaları özetlenmiştir.

İçme suyunda radyoaktivite ölçümleri sürekli yapılan sıradan bir işlemdir. Ancak Bohus ve arkadaşlarının 1997’de yaptığı "Gross Alpha Radioactivity of Drinking Water in Venezuela” isimli çalışmasında Venezuela’da şişe suyu olarak tüketilen su kaynaklarından örnekler alınmış ve radyoaktivite ölçümü yapılmıştır. Bu çalışmada doğal mineralli su kaynaklarının 9630 tanesi incelenmiş ve çalışmanın sonucunda bütün kaynaklardan çıkan suların doğal ve yapay radyasyon değerlerinin veri tabanı oluşturulmuştur. Bu çalışma hem Venezuela’nın su kaynaklarının kontrol altına alınması hem de kaynaklarının sonraki yıllarda yapılacak rutin kontrollerinde karşılaştırılabilir bir veri tabanı oluşturması bakımından önemlidir. Bohus ve arkadaşlarının aldığı sonuçlar alınan su örneklerinin %54’ünün toplam alfa radyoaktivitesinin 0.185 Bq.L^{-1} ’in altında, %12’sinin ise 0.37 Bq.L^{-1} ’in üzerinde olduğunu göstermiştir. Bu değerler hesaplanarak Venezuela’da içme suyunu tüketen insanların maruz kaldığı yıllık ortalama doz miktarının 2.3 mSv bulunmuştur. (Bohus ve ark. 1997). Su kaynakları bakımından zengin olduğu bilinen ülkemizde henüz bu çapta böyle bir çalışma yapılmamıştır.

Ülkemizde literatürde rapor edilen kayda değer ilk çalışmalar 2000 yıllarında başlamıştır. İlk çalışmalardan olan Öztürk ve arkadaşlarının yaptığı "Trace Elements And Radioactivity Levels In Drinking Water Near Tunçbilek Coal-Fired Power Plant In Kütahya, Turkey” isimli çalışmada 8 farklı bölgeden alınan içme suyu örneklerinde As, Pb, Fe, Cu, Zn, Cd, Mn ve Cr elementlerinin ve suların doğal radyoaktivitelerinin analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda elementlere yüksek değerlerde rastlanmamıştır. Toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite sonuçlarına göre sadece bir bölgenin toplam alfa değeri hariç diğer bütün noktalardan alınan örneklerin değerleri ise WHO limitlerini aşmaktadır. Dolayısıyla ileri radyoizotop analizleri gerektiren bu çalışmalar için radyoaktivite analizleri de yapılmıştır (Öztürk ve ark. 2000). Canbazoglu ve arkadaşlarının yaptıkları çalışma ise Elazığ ilinin kullanım suyuyla ilgilidir. Çalışma "Elazığ İli İçme ve Kullanım Sularındaki Toplam Alfa ve Beta Radyoaktivite Seviyelerinin Belirlenmesi” üst başlığı ile yapılmıştır. Çalışmada ilin genelinden alınan örneklerle çalışıldığı ifade edilmektedir. Elde edilen veriler Elazığ ilinin bulunduğu coğrafi şartlar göz önünde bulundurularak irdelenmiş ve bu veriler kapsamında bir harita da çıkartılmıştır (Canbazoglu ve ark. 2000). Bu yılda yapılan

bir diğerk çalışma da Karahan ve arkadaşlarına aittir. Yaptıkları çalışma "Natural radioactivity in various surface waters in İstanbul, Turkey" üst başlığı ile rapor edilmiştir. Bu çalışmada İstanbul ilinde bulunan sekiz tane kuyu ve beş tane musluk suyundan alınan örnekler ile çalışılmış ve toplam alfa ve toplam beta aktiviteleri belirlenmiştir. Bunun yanı sıra ^{226}Ra , ^{222}Rn , ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{40}K , ^{137}Cs radyoizotoplarının aktivitelerini belirlemek için dört adet göl, dört adet deniz, bir adet kar suyu ve bir adet de yağmur suyu örnekleri alınmıştır. Sonuçlar içme sularındaki doğal radyoaktivite miktarının WHO ve TS 266 standartlarında belirtilen limit değerleri aşmadığını göstermiştir. Göl ve deniz suyundan alınan dört tane numunede ölçülen değerler ise limitlerin üzerine çıkmıştır. İçme sularında yapılan analiz sonucu alfa beta toplam aktiviteleri sırasıyla 7×10^{-3} - 4×10^{-2} Bq.L⁻¹ ve 0.02-0.1 Bq.L⁻¹ aralıklarında değişmektedir. Bu radyoaktivite ölçümlerinde Kriegerstandart metodu (Krieger, 1975) kullanıldığı belirtilmektedir (Karahan ve ark. 2000).

2000 yılında Pujol ve arkadaşlarının yaptıkları "Natural and artificial radioactivity in surface waters of the Ebro river basin (Northeast Spain)" isimli çalışmada 1994 yılının Kasım ayında İspanya'da bulunan Ebro nehrinin 75 farklı noktasında yüzeyden alınan su örneklerinin toplam alfa ve toplam beta değerleri ölçülmüştür. İçeriğinde bulunan doğal radyonüklitler olan ^{40}K , ^{226}Ra , ^{234}U , ^{238}U ve yapay radyonüklitler olan ^3H , ^{90}Sr ile aktiviteleri değişkenlik göstermektedir. Sonuçlar toplam alfa ve toplam beta için sırasıyla 0.004-0.095 Bq.L⁻¹ ve 0.012-0.213 Bq.L⁻¹ aralıklarında belirlenmiştir. Hiç bir numunede yapay radyoizotop olan ^{137}Cs tespit edilmemiştir. Sonuç olarak nehrin yakınında bulunan nükleer santralin nehir suyunda radyoaktif bir kontaminasyona sebep olmadığı ifade edilmiştir.

Bohus ve arkadaşlarının kapsamlı çalışmasına benzer bir çalışma da Olivere ve arkadaşları (2001) tarafından Brezilya'nın São Paulo eyaleti için yapılmıştır. "Natural radionuclides in drinking water supplies of São Paulo State, Brazil" isimli çalışmada São Paulo bölgesinde bulunan 574 vilayetin %54'ündeki toplam 452 su kaynağından örnekler alınmıştır. 1994 yılında başlayan ve 2001 yılında tamamlanan bu çalışma 6 yıl sürmüş uzun soluklu bir çalışma olmuştur. Alınan örneklerde sayımlar için düşük zemin sayımlı gaz akışlı orantılı dedektör kullanılmıştır. Çalışmanın amacı alınan su

örneklerindeki ^{226}Ra , ^{228}Ra ve ^{222}Rn radyoizotoplarının radyoaktivite miktarının belirlenmesidir. Yapılan analiz sonuçlarına göre ^{226}Ra ve ^{228}Ra 'nın en yüksek aktivite değerleri sırasıyla 235 mBq.L^{-1} ve 131 mBq.L^{-1} 'dir. ^{222}Rn 'nin ölçülen en yüksek aktivite değeri 315 Bq.L^{-1} 'dir. Uluslararası geçerliliği olan yıllık kritik doz eşik değerleri üç radyoizotop için sırasıyla $2 \times 10^{-2} \text{ mSv}$, $6 \times 10^{-3} \text{ mSv}$ ve $3 \times 10^{-1} \text{ mSv}$ olarak bulunmuştur. Alınan su örneklerinden ölçülen ve hesaplanan en yüksek yıllık doz miktarları da sırasıyla 0.6 mSv , 0.3 mSv ve 3.2 mSv olarak rapor edilmiştir. Ayrıca bu sonuçlar göstermiştir ki ^{222}Rn gazının toplam doza etkisi diğer radyoizotoplara oranla çok daha fazladır.

Bilimsel literatürde yapılan tartışmalar arasında doğrudan halka arz edilen içme sularıyla da ilgili çalışmalar sürekli olarak yapılmaktadır. Farklı iki tarihli çalışmaya örnek olması bakımından burada iki çalışma değerlendirilmiştir. Birinci çalışma Dâvia ve arkadaşlarının 2002 yılında yaptıkları "Radioactivity in bottled waters sold in Mexico" isimli çalışma gösterilebilir. Bu çalışmada Meksika'da mağazalarda satışı gerçekleştirilen 21 adet şişe suyundeki radyoaktivite değerlerini belirlemek için toplam alfa ve toplam beta ölçümleri yapılmıştır. Bu aktivite ölçümlerinde Wallac-1411-001TM DSA marka sıvı sintilasyon detektörü kullanılmış ve içme suları için ölçülen bütün toplam beta aktiviteleri, üst limit olan 1 Bq.L^{-1} 'den düşük olarak rapor edilmiştir. Ancak üç çeşit suda toplam alfa değerleri Meksika kanunlarında üst limit olan 0.1 Bq.L^{-1} değerinden fazla bulunmuştur. Bu örnekler için suyun kaynağından alınan su numunelerinde de aynı değerler ölçülmüştür. Dolayısıyla, çalışmada sudaki radyoaktivite miktarının suyun kaynağındaki mineral tuzları ile bağlantılı olduğu ve bunlardan arıtılmasının önemli olduğu vurgulanmıştır. İkinci çalışma ise 2007 yılında İspanya'da M. Palomo ve arkadaşlarının "Measurement of radioactivity in bottled drinking water in Spain" adlı çalışmalarıdır. Bu çalışmada ülkede en çok satılan 30 marka içme suyu analiz edilmiştir. Bu kapsamda toplam alfa, toplam beta ve trityum ölçümleri yapılmıştır. Sadece örneklerin %16'sının toplam alfa değeri İspanyanın kanunlarına göre üst limit olan 0.1 Bq.L^{-1} den fazla çıkmıştır. Fakat o örneklerin değerleri Dünya Sağlık Örgütü'nün belirlediği 0.5 Bq.L^{-1} değerini geçmemektedir. Aynı örneklerde toplam alfa değerinin yüksek çıkmasının sebepleri araştırılmıştır. Bunun için

^{226}Ra ve ^{224}Ra analizleri yapılmıştır. Sonuçlar sırayla 0.01 ve 1.52 Bq.L^{-1} aralığında ve 0.01 ve 0.38 Bq.L^{-1} aralığında bulunmuştur.

Ülkemizde sediment ve yüzey sularıyla ilgili kayda değer bir başka çalışma da Özmen ve arkadaşlarının 2003 yılında yaptıkları "Concentrations of heavy metal and radioactivity in surface water and sediment of Hazar Lake (Elazığ, Turkey)" çalışmalarıdır. Elazığ ilinde, Hazar gölündeki sedimentin ve yüzey sularının radyoaktivitesi ile ağır metallerin konsantrasyonu ölçülmüştür. Çalışma kapsamında 8 farklı noktadan su ve sediment örneği alınmıştır. Ölçüm sonucunda toplam alfa ve toplam beta değer aralıkları sırasıyla 0.651 Bq.L^{-1} ile 2.524 Bq.L^{-1} ve 0.01 Bq.L^{-1} ile $0,14 \text{ Bq.L}^{-1}$ değişim gösterdiği rapor edilmiştir.

Radyasyon ölçümlerinin farklı bir bakışla irdelenmesine ilginç bir örnek de Yalım ve arkadaşlarının 2007 yılında yaptıkları "Measurements of radon concentrations in well waters near the Akşehir fault zone in Afyonkarahisar, Turkey" başlıklı çalışmadır. Bu çalışmada fay hattı üzerinde bulunan Afyonkarahisar ilinden ve çevresinden alınan kuyu suyu örneklerinde ^{222}Rn konsantrasyonu ölçülmüştür. Bölgede gerçekleşen deprem şiddetleri Richter ölçeğine göre 3.0 ile 7.1 arasında değişmektedir. Çalışma, fay hattında bulunan çatlaklardan yer altı sularına radyoizotop karışımını belirlemek için yapılmıştır. Ölçümlerin Packard Tri-Carb 2770TR/SL marka sıvı sintilasyon cihazı ile yapıldığı, sonuçların da 0.7 kBq/m^3 ile 31.7 kBq/m^3 arasında değiştiği rapor edilmiştir. Yalım ve arkadaşlarının aynı yıl yaptığı bir diğer çalışma olan "The measurement of radon and radium concentrations in well water in the Afyonkarahisar area of Turkey" başlığı ile yayımlanan çalışma, Afyonkarahisar bölgesindeki kuyu sularının Radon ve Radium derişimlerinin ölçülmesiyle ilgilidir. Afyonkarahisar'dan alınan on adet su örneğindeki Radon ve Radium aktiviteleri ölçülmüştür. Radon sonuçları 0.42 Bq.L^{-1} ile 28.82 Bq.L^{-1} aralığında, Radium ise 0.07 Bq.L^{-1} ile 16 Bq.L^{-1} aralığında ifade edilmiştir. Ayrıca yaptıkları ölçüm sonucunda elde ettikleri aktivite değerlerinin kullanarak ortalama dozu $778.96 \mu\text{Sv.y}^{-1}$ olarak hesaplamışlardır. Benzer bakış açısıyla başka bir çalışma da Kobyay ve arkadaşları (2014) tarafından "Artvin, Rize ve Trabzon'daki Doğal Kaynak Sularında Toplam Alfa, Toplam Beta Aktivite Değerlerinin Belirlenmesi ve Jeostatistiksel Olarak Modellenmesi" olarak rapor edilmiştir. Bu çalışmada üç ilden 20

adet içme suyu kaynağından örnekler alınarak toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite analizi gerçekleştirilmiştir. Ölçümler Berthold LB770 marka sayım cihazıyla yapılmış ve toplam alfa aktivitelerinin 1.7 mBq.L^{-1} ile 114.2 mBq.L^{-1} aralığında, toplam beta aktivitelerinin ise 2.9 mBq.L^{-1} ile 90.8 mBq.L^{-1} aralığında değiştiği rapor edilmiştir. Sonuçların Dünya Sağlık Örgütü'nün belirlediği sınırlar içerisinde olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca sonuçların jeoistatistik analizi yapılmış harita üzerinde gösterilerek bölge için risk haritası da oluşturulmuştur.

Suyun popüler ve turistik amaçlı kullanımına imkan veren güzel bir çalışma örneği olarak Teğin ve arkadaşlarının (2016) "Assessment of gross alpha and beta activity levels and element concentrations in SPA waters from Siirt and Şırnak, Turkey" başlıklı çalışması gösterilebilir. Çalışma Siirt ve Şırnak'taki kaplıca sularının toplam alfa ve toplam beta radyoaktivitelerinin ölçülmesiyle ilgilidir. Bu çalışmada MPC-9604 marka dedektör kullanıldığı ve toplam alfa radyoaktivite sonuçlarının 0.05 Bq.L^{-1} ile 5.64 Bq.L^{-1} arasında, toplam beta radyoaktivitelerinin ise 0.06 Bq.L^{-1} ile 2.76 Bq.L^{-1} arasında değiştiği rapor edilmiştir. Sonuçlar Dünya Sağlık Örgütü, ABD Çevre Koruma Ajansı, Türk Standartları ve literatür sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca ölçülen radyoaktivite değerlerinin karşılaştırmada kullanılan değerler ile %91 oranında benzerlik gösterdiği de ifade edilmiştir.

Su analizlerinin gerekliliğine vurgu yapan önemli bir çalışma da Kaya ve arkadaşlarının (2016) "Gümüşhane Merkez ve Merkeze Bağlı Bahçecik Köyü Su Kaynaklarının Radyoaktivitesinin Tayini" adlı çalışmasıdır. Bu çalışmada şebeke sularının radyoaktivitesinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Nedeni ise Bahçecik köyüne yapılması planlanan su toplama barajının Gümüşhane içme suyunu karşılayacak olmasıdır. Alınan su numunelerinin toplam alfa ve toplam beta analizleri TAEK'in İstanbul'da bulunan araştırma merkezinde, Gama analizleri ise Gümüşhane Üniversitesi laboratuvarlarında yapılmıştır. Bahçecik köyünde yayladan ve çeşmeden alınan numunelerin sayımı sonucu toplam alfa aktivitesinin 10 mBq.L^{-1} ile $40 \pm 10 \text{ mBq.L}^{-1}$ arasında, toplam beta aktivitesinin ise $13 \pm 1 \text{ mBq.L}^{-1}$ ile $70 \pm 10 \text{ mBq.L}^{-1}$ arasında değiştiği ölçülmüştür. Gümüşhane merkezindeki şebeke suyunun iki farklı noktasından alınan numunelerin toplam alfa değerleri de sırasıyla $30 \pm 10 \text{ mBq.L}^{-1}$ ve $40 \pm 10 \text{ mBq.L}^{-1}$ ve toplam beta

değerleri $112 \pm 10 \text{ mBq.L}^{-1}$ ve $118 \pm 10 \text{ mBq.L}^{-1}$ olarak ölçülmüştür. Yapılan ölçüm sonuçlarında belirlenen toplam alfa ve toplam beta aktivitelerinin üç noktada da WHO'nun belirlediği insan sağlığına zararlı olan limit değerinin altında olduğu tespit edilmiştir. Gama analizinin sonuçları da ^{226}Ra için 4.6 mBq.L^{-1} ile 5.5 mBq.L^{-1} , ^{232}Th için 2.1 mBq.L^{-1} ile 3.6 mBq.L^{-1} ; ^{40}K içinde 91.25 mBq.L^{-1} ile 117.9 mBq.L^{-1} aralığındadır. Bu aktiviteler için yıllık etkin doz eşdeğeri hesaplandığında, WHO'nun üst limiti olan 0.100 mSv.y^{-1} 'in altında olduğu görülür. Sonuç olarak Gümüşhane ilindeki, Bahçecik köyü ve yaylasındaki kaynak ve çeşme sularının insan sağlığına zarar verecek derecede radyoaktif olmadığı tespit edilmiştir.

Ülkemizde yerelde yapılan bazı çalışmalarda vardır. Yakın tarihli seçilen örnek çalışmaların birincisi: 2017 yılında Şahin ve arkadaşlarının Bitlis ili kaynak sularıyla ilgili "Bitlis Kaynak Sularında Toplam Alfa ve Toplam Beta Radyoaktivite Seviyelerinin Belirlenmesi" adlı çalışmasıdır. Çalışmalarında Bitlis ilindeki kayaçların içinde bulunan radyoizotopların, su kaynakları ile etkileşmesi sonucu bu sulara kazandırdıkları radyoaktivite miktarını ölçmüşlerdir. Çeşitli noktalardan alınan örneklerin toplam alfa radyoaktivite değerlerinin $0,068 \pm 0,048 \text{ Bq.L}^{-1}$ ile $1,153 \pm 0,263 \text{ Bq.L}^{-1}$ arasında ve toplam beta radyoaktivite değerlerinin ise $0,075 \pm 0,066 \text{ Bq.L}^{-1}$ ile $5,907 \pm 0,551 \text{ Bq.L}^{-1}$ arasında değiştiğini rapor etmişlerdir. Ayrıca çalışmada ölçülen sonuçlar bölgenin jeolojik özellikleri düşünülerek değerlendirmiş ve haritalandırmıştır. İkincisi ise: Aynı yıl Cengiz ve arkadaşlarının yaptıkları "İğdır Yöresinde Çevresel Radyoaktivitenin Belirlenmesi" adlı çalışmasıdır. Çalışmada şehrin farklı yerlerinden alınan 11 toprak ve su örneğinde radon, çeşitli radyoizotoplar ve toplam alfa ve toplam beta sayımı gerçekleştirmiştir. Toprak örneklerinin ölçümünde Canberra marka HPGe dedektörü kullanılmış ve analiz değerleri ortalaması sırasıyla ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K için 15.7, 18.3 ve 332.6 Bq.kg^{-1} rapor edilmiştir. Ayrıca yapay radyoizotop olan ^{137}Cs aktivitesi de ölçülmüş ve 17.7 Bq.kg^{-1} olarak bulunmuştur. Aras Nehri'nden alınan su örneklerinde ise düşük doğal zemin sayımlı bir cihaz olan Berthold LB 770 ile toplam alfa ve toplam beta sayım sisteminde çalışılmıştır. Çalışmanın sonucunda İğdır ilindeki ortalama ev için radon aktivitesi ise pasif CR-39 nükleer iz detektörleriyle 105.62 Bq.m^{-3} olarak ölçülmüştür. Sonuçlar WHO'nun içme suları için belirlemiş olduğu sınır değerlerini aşmamaktadır.

2. KURAMSAL TEMELLER

1895 yılında Wilhelm Conrad Röntgen tarafından yapılan çalışmalar sonucu X ışınlarının varlığı keşfedilmiştir. Bir sene sonra 1 Mart 1896 yılında Fransız fizikçi Henri Becquerel Uranyum tuzlarının gözle görünmeyen ışınlar yaydığını fark etmiştir. Becquerel'in bu buluşu 1898 yılına kadar Becquerel Işınları olarak adlandırılmıştır. Daha sonra ise kendisi buluşuna Radyoaktivite adını vermiştir. 1900'lü yılların başlarında Marie Curie ve eşi Pierre Curie Uranyum ile deneyler yapmış ve benzer ışınlarla rastlamışlardır. O tarihlerden günümüze kadar çalışmalar hız kazanarak devam etmiştir. Aşağıda, yapılan bu çalışmalar sonucunda elde edilen kuramsal temellerden bahsedilecektir.

2.1 Radyoaktivite

Hidrojenin dışındaki bütün atomlar merkezlerindeki çekirdeklerde proton ve nötron içerirler. Atom çekirdeğindeki bu nötronların protonlara olan oranı düşük atom numaralı elementlerde 1'dir. Fakat periyodik tablonun sonuna doğru giderken yani atom numarası fazla olan elementlere doğru giderken bu oran artar. En sonunda nüklitin kararlı olamadığı değere ulaşır. En son ve en ağır kararlı bulunan nüklit ${}_{83}\text{Bi}^{207}$ 'dir. Bundan ağır nüklitlerin verecekleri fazla enerjileri olduğundan kararsızdırlar. Bunlara radyonüklit denir ve enerji fazlalıklarını radyasyon yayımlayarak kararlı hale gelirler. Bu olay radyoaktivite veya diğer adıyla radyoaktif parçalanma olarak adlandırılır. Radyoaktivite kontrol edilmesi mümkün olmayan bir olaydır; yavaşlatılması veya durdurulması mümkün değildir. Yıllar süren araştırmalar sonucunda radyoaktiviteyi en temel şekilde yapay ve doğal olarak ikiye ayırabiliriz.

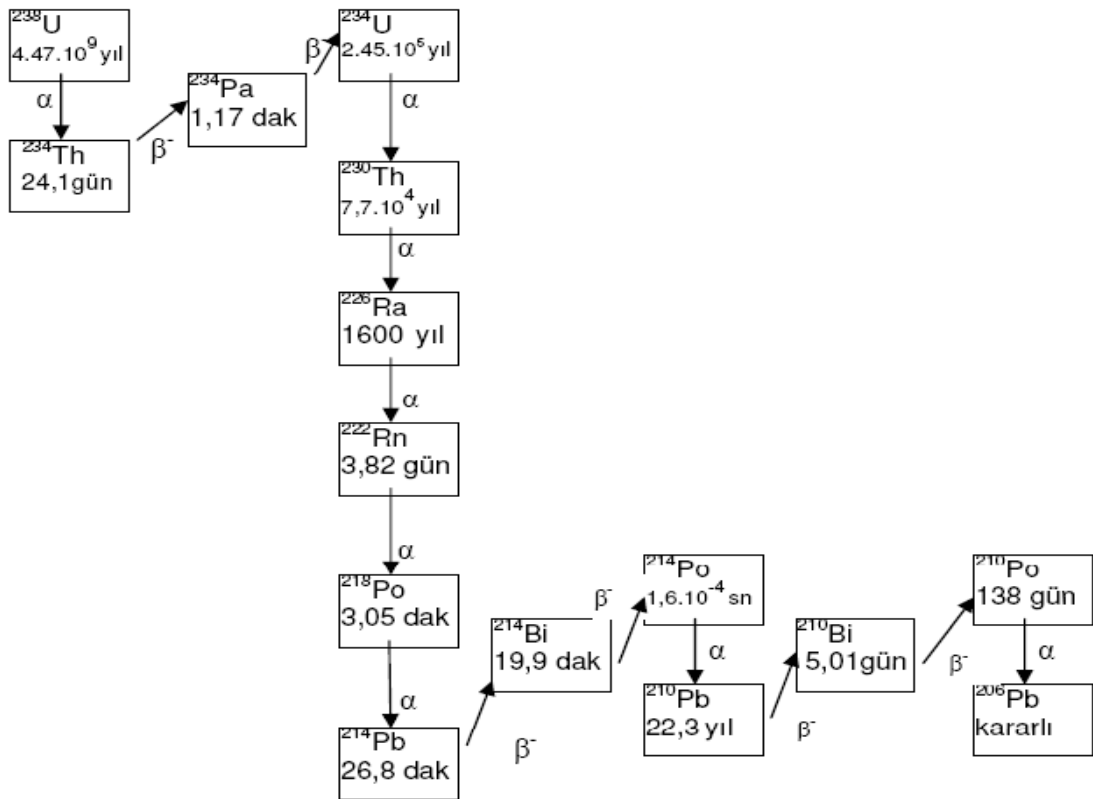
2.1.1 Doğal radyoaktivite

Evrenin başlangıcı olarak kabul edilen büyük patlamadan günümüze kadar geçen milyarlarca yıl süresince helyum ve hidrojen atomları yıldızların içinde çok yüksek basınç ve sıcaklıkta birleşerek ağır elementleri oluşturmuşlardır. Oluşan ağır elementler

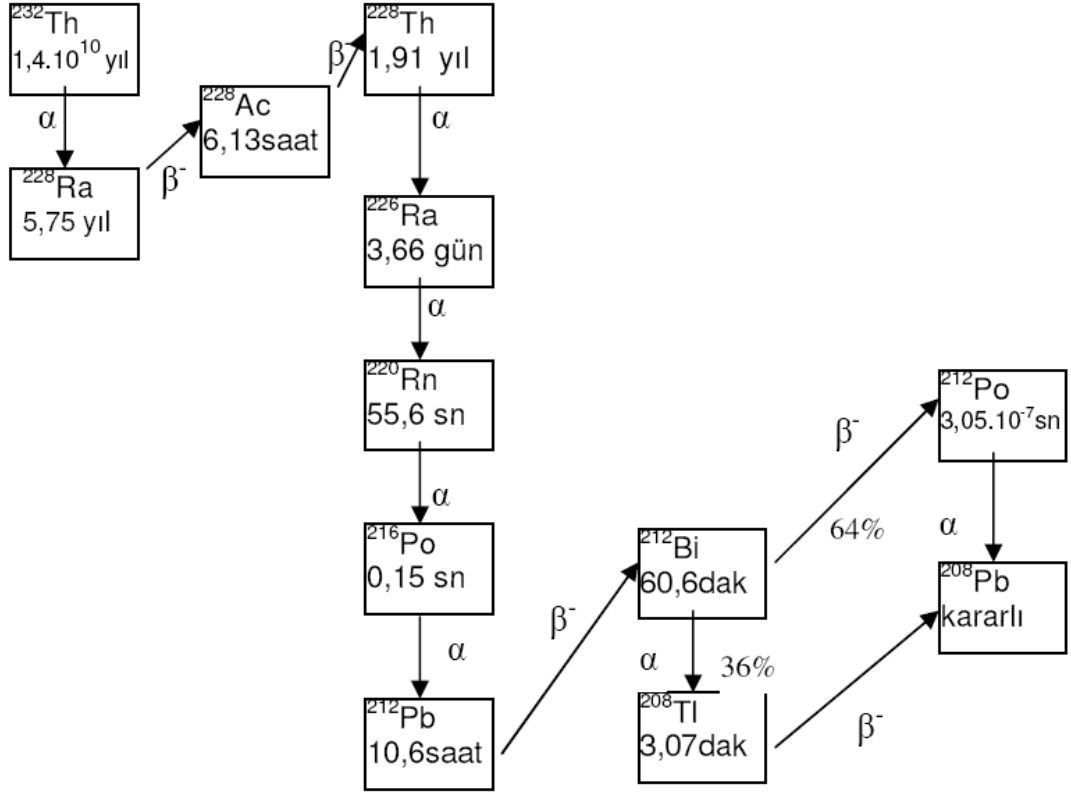
yıldızların süpernova olarak patlamaları sonucu bütün evrene yayılmışlardır. Kararsız olan bu elementler o zamanlardan bu yana bozunmaktadırlar. Bazı radyoaktif elementlerin aktivitelerinin yarılanma süreleri dünyanın yaşına oranla çok fazladır. Dolayısıyla dünyanın oluşumunda bozunmaya başlamış olan radyoizotopların aktiviteleri bugün hâlâ ölçülebilmektedir.

Doğada bulunan izotopların 66 tanesi kararsızdır. Dışarıdan herhangi bir müdahale gerektirmeden kendiliğinden bozunan elementlere doğal radyoaktif elementler denir. Buna doğal radyoaktivite adı verilir. Doğal radyoaktivite maruz kaldığımız çevresel radyasyonun büyük bölümünü oluşturur.

Bozunmalar, alfa ve beta parçacıkları atarak sırayla başka radyoaktif elementlere dönüşerek gerçekleşir. Bunlara radyoaktif bozunma serileri adı verilir. Doğada iki adet bulunan bu doğal radyoaktif serileri aşağıda görebilirsiniz.



Şekil 2.1 ^{238}U 'in Bozunma Ürünleri Şeması (NCRP 97 1988)



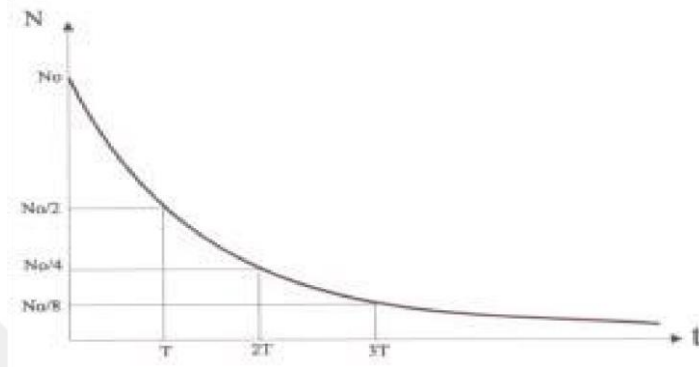
Şekil 2.2 ²³²Th'nin Bozunma Ürünleri Şeması (NCRP 97 1988)

2.1.2 Yapay radyoaktivite

Kararlı olan atomlar, yüklü parçacıklarla ya da nötronlar ile bombardımanı sonucu yapay olarak radyoaktif hale getirilebilir. Eğer bombardımanı yapılan parçacıkların enerjisi yeterince fazla ise çekirdekle birleşir ve yeni bir çekirdek meydana getirirler. Oluşan yeni çekirdek kararsızdır ve radyoaktiftir. Bunun yanı sıra kararlı olmasına rağmen foton bombardımanı sonucu fazla enerji ile yüklenen atomlarda kararsızlaşıp radyoaktif hale gelebilirler. Bu olayların sonucunda yapay radyoaktivite meydana gelir. Radyoaktivitenin keşfinden itibaren gün geçtikçe artan yapay radyoaktivite çalışmaları sonucu birçok yeni elementinde keşfiyle özellikle tıp ve teknoloji alanlarında ihtiyacı karşılamak üzere 400'ün üzerinde radyoaktif izotop yapay olarak elde edilmiştir.

2.1.3 Radyoaktif bozunumun zamana bağıllığı ve üstel bozunma yasası

Her radyoaktif çekirdek farklı zamanlarda bozunuma uğrar. Bir radyoaktif maddenin bozunum hızı, sahip olduğu radyoaktif çekirdek sayısı ile orantılıdır.



Şekil 2.3 Radyoaktif Numunenin Miktarının Zamana Bağlı Değişim Grafiği (Krane, 1998)

Bir çekirdeğin birim zamanda bozunma olasılığına λ diyelim. Bu parametreye o çekirdeğin “Bozunma Sabiti” denir. Bir radyoaktif izotopun N tane çekirdeği bulsun. Birim zamanda bozunması beklenen çekirdeklerin sayısı $\lambda N(t)$ olur. Birim zamanda bozunan çekirdek sayısına “Bozunma Hızı” denir. $R(t)$ ile gösterilir.

$$R(t) = \lambda N(t)$$

R birim zamanda N ’deki azalma olduğuna göre,

$$R = -\frac{dN}{dt}$$

bu iki denklem birleştirilirse;

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N$$

Bu diferansiyel denklemin çözümü,

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \text{ şeklindedir.}$$

N_0 , $t = 0$ başlangıç anındaki radyoaktif çekirdek sayısıdır. Görülmektedir ki, N çekirdek sayısı t zamanına bağlı olarak üstel olarak azalır. $t = 0$ 'da, $N = N_0$, $t = t_{1/2}$ ($t_{1/2}$: yarılanma süresi)

$$N = \frac{N_0}{2},$$

Radyoaktif çekirdek sayısı ile bozunma hızı arasında

$$R = \left| \frac{dN}{dt} \right| = N_0 \lambda e^{-\lambda t} = R_0 e^{-\lambda t}$$

bağıntısı vardır.

R_0 , $t = 0$ anındaki bozunma vardır. Bir radyoaktif izotopun bozunma hızı aktiflik olarak adlandırılır.

Radyoaktif izotopun yarılanma süresi;

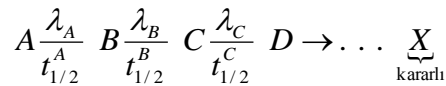
$$N(t_{1/2}) = N_0 e^{-\lambda t_{1/2}} = N_0 / 2$$

$$e^{-\lambda t_{1/2}} = \frac{1}{2} \text{ denkleminin logaritması alınarak,}$$

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}$$

şeklinde ifade edilir.

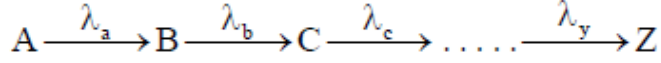
Bu radyoaktif bozunumlar sonucunda radyoaktif çekirdekler belirli ürün çekirdeklere dönüşürler. Bu dönüşümler kararlı bir çekirdeğe ulaşıncaya kadar devam eder. Bu zincir sembolik olarak;



şeklinde gösterilebilir. Burada A, B, C... radyoizotopları aynı bozunum hızlarına sahiptirler. Bu durum, radyoaktifliğin eşit olduğu anda görülür. Buna “Radyoaktif Denge” adı verilir.

2.1.4 Radyoaktif denge

Radyoaktif bozunma sonucu oluşan çekirdeğin de radyoaktif olup bozunması söz konusu olabilir. Bu durumda oluşum ve bozunum sürekli devam eder. Bu tarz bozunumlara radyoaktif seri adı verilir ve ^{238}U ve ^{232}Th bozunum serileri böyle oluşur.



Ana çekirdek A'dır. Onun bozunmasıyla oluşan B çekirdeğine kız çekirdek denir. B'nin bozunması sonucu oluşan çekirdek ise torun olarak adlandırılan C çekirdeğidir. Bozunma böyle devam eder ve en son bozunmanın olmadığı kararlı Z çekirdeğine ulaşılır.

Bir radyoaktif seride ana çekirdek kız ve torun çekirdeklerinkinden daha uzun bir yarılanma süresine sahiptir. Dolayısıyla ana çekirdek sayısı değişmez olarak kabul edilebilir. Ortamda kız çekirdek oluşurken aktivite artar. Sonra bozunan ana çekirdek sayısının oluşan kız çekirdek sayısına eşit olduğu bir değere gelinir. Bu andan sonra ortamda radyoaktif denge olduğu söylenir.

Denge durumunun matematiksel ispatını yapabilmek için $t = 0$ anında ortamda sadece ana çekirdek olan A'nın bulunduğunu ve C'nin kararlı olduğunu varsayalım. Yani

$$N_A(t=0) = N_0, N_B(t=0) = N_C(t=0) = 0 \text{ olsun.}$$

$$dN_A = -\lambda_A N_A dt$$

$$dN_B = (\lambda_A N_A - \lambda_B N_B) dt$$

İlk denklem ana çekirdeğin zamanla azalan sayısını; ikinci denklem de kız çekirdeğin zamanla değişimini verir. Kız çekirdeklerin sayısı ana çekirdeklerin sayısı ile artarken kendi bozunmasıyla azalır. İlk eşitliğin çözümü sonucunda;

$$N_A = N_0 e^{-\lambda_A t}$$

denklemini bulunur. İkinci diferansiyel denklemin çözümü içinse;

$$N_B = c_1 e^{-\lambda_A t} + c_2 e^{-\lambda_B t}$$

çözümü kullanılırsa B kız çekirdeğinin zamana göre değişimi ve aktivitesi sırasıyla

$$N_B = \frac{\lambda_A}{\lambda_B - \lambda_A} N_0 (e^{-\lambda_A t} - e^{-\lambda_B t})$$

$$I_B = \lambda_B N_B = \frac{\lambda_B \lambda_A}{\lambda_B - \lambda_A} N_0 (e^{-\lambda_A t} - e^{-\lambda_B t})$$

olarak bulunur. Burada λ_A ve λ_B üç şekilde değerlendirilebilir: $\lambda_A \ll \lambda_B$ ise A çok uzun yarı ömre sahiptir ve sabit hızla bozunur. Sonuç olarak $e^{-\lambda t} = 1$ kabul edilerek

$$N_B = \frac{N_0 \lambda_A}{\lambda_B} (1 - e^{-\lambda_B t})$$

yazılabilir. Bulunan sonuç kalıcı dengenin örneğidir ve t arttıkça kız çekirdekler oluşma hızlarında tekrar bozunurlar:

$$\lambda_A N_A = \lambda_B N_B$$

Burada eğer $\lambda_A < \lambda_B$ ise

$$\frac{\lambda_B N_B}{\lambda_B N_B} = \frac{\lambda_B}{\lambda_B - \lambda_A} (1 - e^{-(\lambda_A - \lambda_B)t})$$

olur. Zaman içinde üstel terim küçülerek I_B/I_A , $\lambda_B/(\lambda_B - \lambda_A)$ sabit sınır değerine yaklaşır. Aktivite değişebilir fakat kız çekirdekler, ana çekirdekler ile aynı bozunma sabitine sahiptir. Bu sürece geçici denge adı verilir. $\lambda_B < \lambda_A$ durumunda ana çekirdekler bozunur ve kız çekirdeklerin aktivitesi maksimum değere ulaşır. Sonrasında kendilerine özgü olan bozunma sabitleriyle bozunurlar. Ana çekirdek sayısı ihmal edilebilir.

Belirli bir süre sonunda ana çekirdeğin üstel değeri sıfıra iner ve kız çekirdek bozunma denklemi;

$$N_B = \frac{\lambda_A N_0}{\lambda_A - \lambda_B} e^{-\lambda_B t}$$

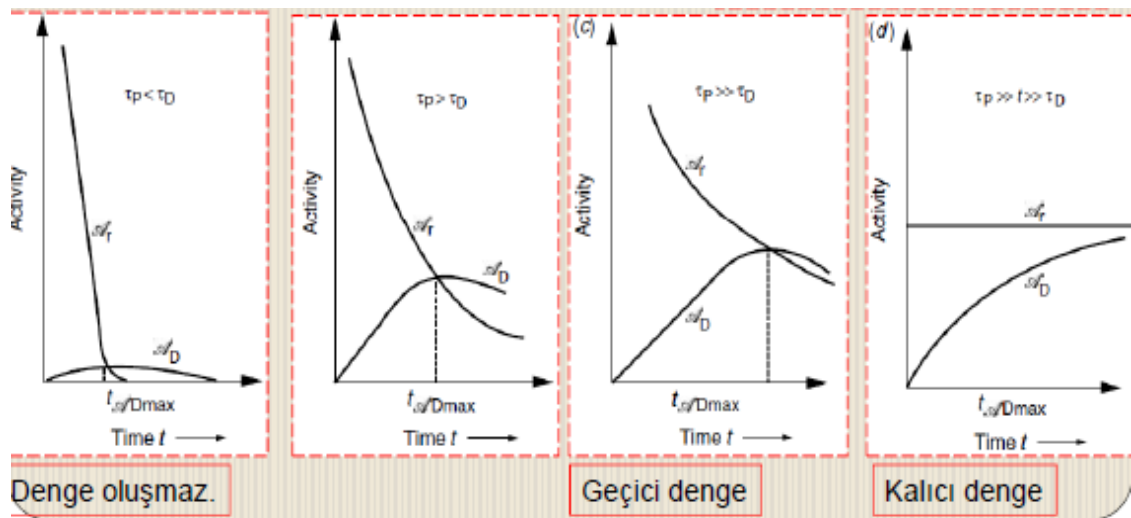
olur. Sonuçta B tipi çekirdekler üstel şekilde bozunurlar. C tipi çekirdek olan torun ve onun bozunum ürünü olan çekirdekler de radyoaktif ise en baştaki ana çekirdeklerin ilk sayısının N_0 ve diğer bütün çekirdeklerin yok sayıldığı durumu çözmek için Bateman Denklemleri yazılır. Serideki n' inci üyenin aktivitesi diğer bütün çekirdeklerin bozunma sabiti cinsinden yazılır.

$$I_n = N_0 \sum_{i=1}^n c_i e^{-\lambda_i t} = N_0 (c_1 e^{-\lambda_1 t} + c_2 e^{-\lambda_2 t} + K + c_n e^{-\lambda_n t})$$

Buradaki c_i katsayıları aşağıdaki gibidir.

$$c_i = \frac{\prod_{i=1}^n \lambda_i}{\prod_{i=1}^n (\lambda_i - \lambda_m)} = \frac{\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 K \lambda_n}{(\lambda_1 - \lambda_m)(\lambda_2 - \lambda_m) K (\lambda_n - \lambda_m)}$$

$t_{1/2}$ (Ana) \neq $t_{1/2}$ (Kız) durumunda:



Şekil 2.4 Denge çeşitleri

2.2 Radyasyon

Atomlar bilindiği üzere merkezdeki çekirdeğinde nötronlar ve protonlardan ve bu çekirdeğin etrafında hızla dönen elektronlardan oluşmuştur. Çekirdeğinde 83'ten fazla proton barındırarak doğal radyoaktif olan veya dışarıdan insan müdahalesiyle yapay olarak radyoaktif hale getirilen atomların, dalga, parçacık veya foton olarak isimlendirilen enerji paketçikleri ile yayımladığı, madde içinde soğurulan veya transfer edilen enerji şekline radyasyon denir.

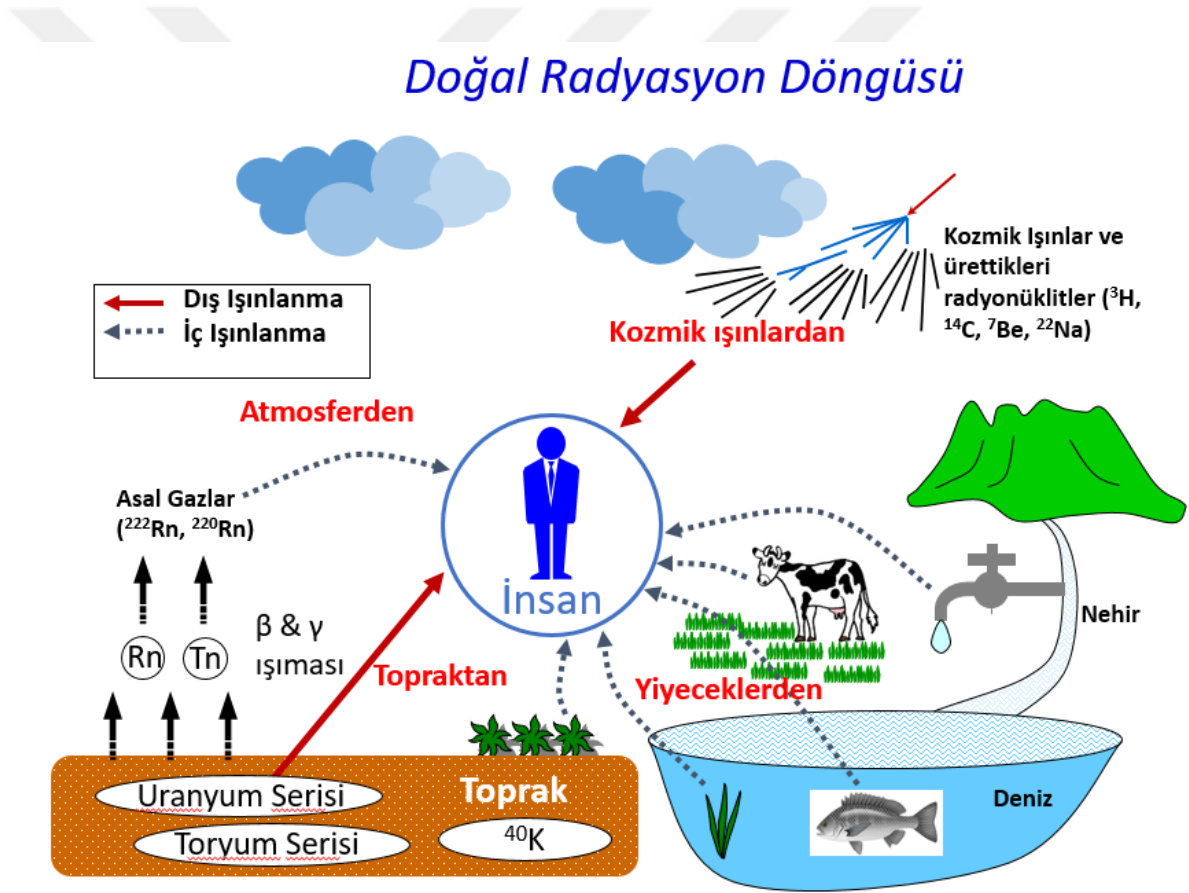
Radyasyon, maddesel ortamlarda yayılırken önüne çıkan atom veya moleküllerle etkileşir. Bu etkileşme sonucunda atom veya moleküllerde oluşturduğu etkiye göre iyonlaştırıcı radyasyon ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olmak üzere iki kategoriye ayrılır.



2.2.1 Radyasyon kaynakları

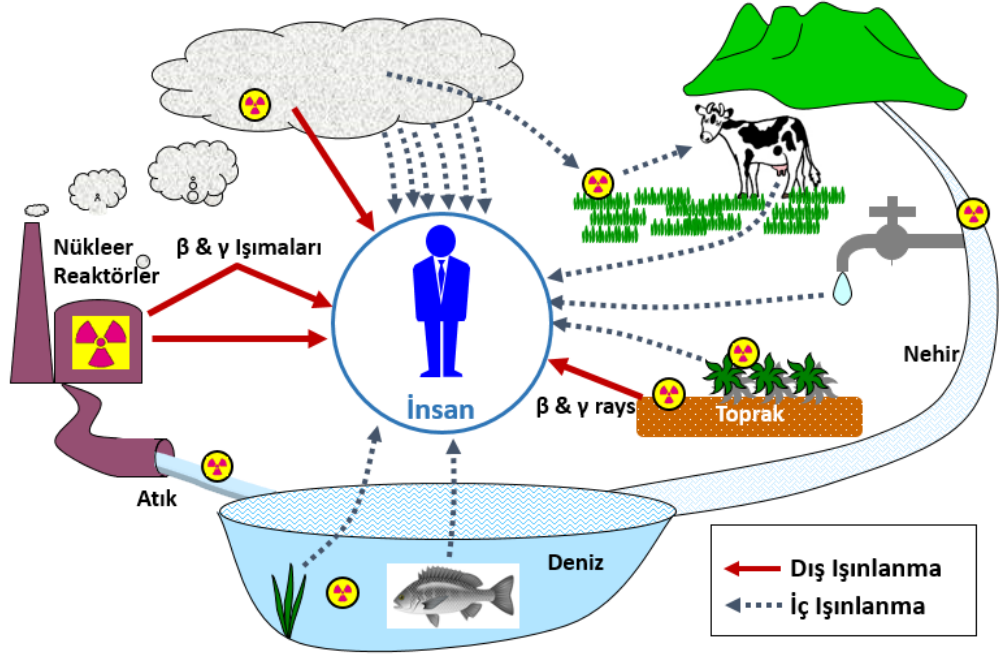
Yerkabuğunda bulunan Uranyum (^{238}U) ve Toryum (^{232}Th) serilerindeki radyonüklitler ve bu serilerde bulunmayan yerkabuğunun doğal olarak içerdiği radyoaktif Potasyum (^{40}K) çevremizdeki doğal radyoaktivitenin en büyük kaynaklarıdır. Bahsi geçen bu

radyonüklitlerin aktiviteleri, toprağın jeokimyasal içeriğine bağlıdır ve bölgeden bölgeye değişkenlik gösterir (UNSCEAR, 2000). Sonuç olarak insanlar yaşadıkları ortamda sürekli olarak doğal veya yapay kaynaklı iyonlaştırıcı radyasyon türüne maruz kalır. Doğal veya yapay radionüklitler gama ışınları yapıyorlar ise bu dış ışınlamaya sebep olur. Herhangi bir şekilde örneğin solunum veya sindirim yoluyla vücut içine alınan radionüklitler alfa veya beta bozunması gerçekleştiriyor ise iç ışınlama gerçekleştirirler. İnsanların yaşam şartlarına, yaşadığı ortamın fiziksel ve coğrafi durumuna göre alınan doz miktarı farklılık gösterir. Bir yılda ortalama 2.8 mSv'lik radyasyon dozunun %85'inin doğal ve %15'inin de yapay radyasyon kaynaklarından alındığı rapor edilmiştir (UNSCEAR, 2000).

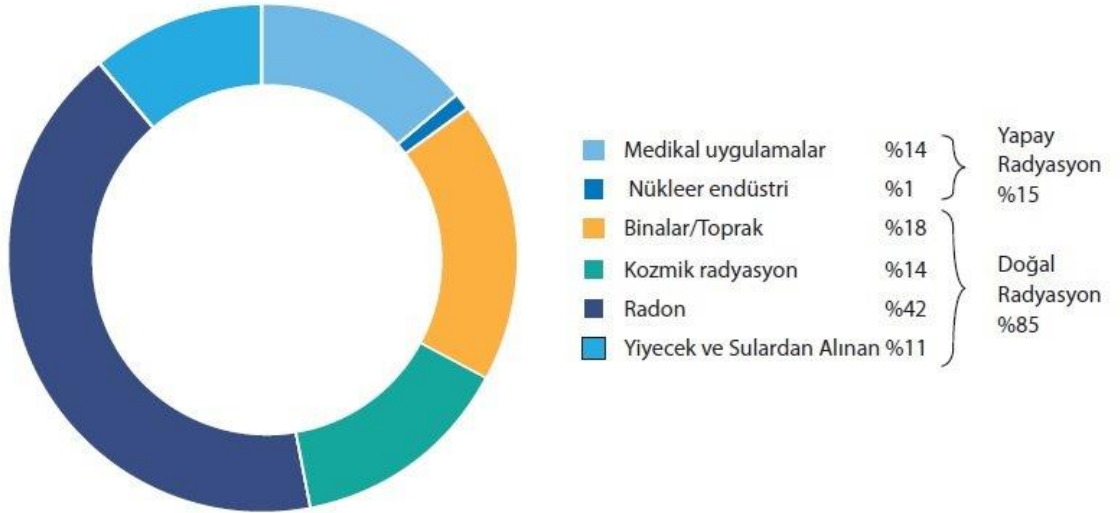


Şekil 2.6 Doğal Radyasyon Döngüsü

Yapay Radyasyon Döngüsü



Şekil 2.7 Yapay Radyasyon Döngüsü



Şekil 2.8 Radyasyon Kaynakları

2.2.2 İyonlaştırıcı olmayan radyasyon

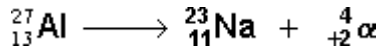
Madde ile etkileşmesi sonucunda iyonizasyon meydana getirmeyen radyasyon türlerine iyonlaştırıcı olmayan radyasyon denir. İyonlaştırıcı olmayan radyasyonlar; UV, gün ışığı, radyo, televizyon, bilgisayar ve cep telefonu kaynaklı elektromanyetik dalgalar ve benzerlerini kapsamaktadır.

2.2.3 İyonlaştırıcı radyasyon

Eğer radyasyon bir atom ile etkileşiyor ve bu etkileşme sonucunda çarpışma şiddetine bağlı olarak atomun elektronunu serbest hale geçirebiliyorsa yani pozitif ve negatif elektrik yüklere sahip bir iyon çifti oluşturabiliyorsa bu radyasyon tiplerine iyonlaştırıcı radyasyon adı verilir. İyonlaştırıcı radyasyonlar kendi içinde ikiye ayrılır. Bunlar; dalga tipi olarak adlandırılan kozmik ışınlar, X-ışınları, gama ışınları ve parçacık tipi olarak adlandırılan, radyoaktif maddelerin bozunması sonucu açığa çıkan alfa, beta, nötron gibi çeşitli türdeki radyasyonları kapsamaktadır. Aşağıda bu radyasyon tiplerini detaylıca inceleyeceğiz.

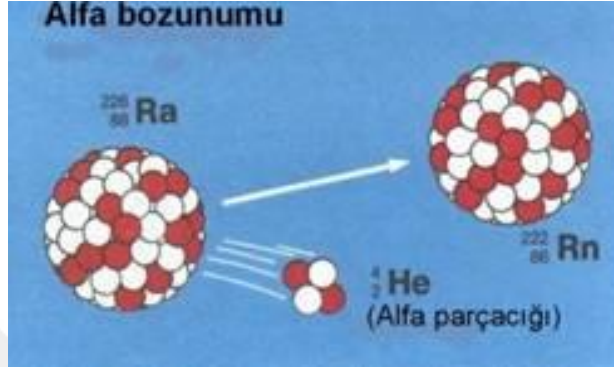
2.2.3.1 Alfa parçalanması

Alfa parçacıkları atom ağırlıkları büyük olan radyoaktif izotoplardan yayımlanır. Bir atomun 2 proton 2 nötrondan oluşan Helyum atomu fırlatması olayıdır. Dolayısıyla alfa bozunumu gerçekleştiren bir atomun atom numarası 2, kütle numarası 4 azalır.



Pozitif yüklü alfa parçacıkları elektrik ve manyetik alanda negatif kutba doğru yönelirler. Diğer parçacık tiplerine kıyasla daha yüksek elektrik yüküne sahiptirler (4-9 MeV). Bu sebeple alfa parçacıkları yolları üzerinde etkileştikleri maddeleri yoğun şekilde iyonize ederler. Büyük ve ağır oldukları için havada yol aldıkları mesafe maksimum 10 santimetredir ve giricilikleri çok azdır, dolayısıyla ince bir malzemeyle

örneğin bir kağıtla bile durdurulmaları mümkündür. Havada çok uzun mesafe gidemediklerinden ve kolay şekilde durdurulmalarından dolayı dış radyasyon tehlikesi yaratmazlar. Fakat doğrudan vücut içerisine alındığında çok yoğun iyonlaşmaya neden olurlar. Mide, solunum yolu veya yaralar ile vücuda girdiklerinde çok şiddetli iç ışınlama tehlikesine sahiptirler.

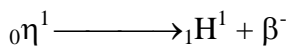
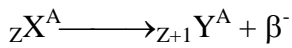


Şekil 2.9 Alfa Bozunumu

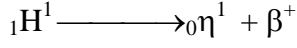
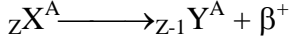
2.2.3.2 Beta parçalanması

Parçacık tipi radyasyon çeşitlerinden bir diğeri de beta radyasyonudur. Çekirdek sahip olduğu fazla enerjiyi nötron-proton veya proton-nötron dönüşümü sonucu elektron veya pozitron salınımı yaparak iki şekilde azaltır. Bunlar negatif ve pozitif yüklü elektronlardır.

β^- Bozunması: Eğer çekirdekteki enerji fazlalığı nötron fazlalığından kaynaklanıyorsa bu nötron, proton ve (-) yüklü elektrona bozunur. Sonuç olarak çekirdeğin nötron sayısı bir azalır, proton sayısı bir artar ve bir elektron yayımlanır.



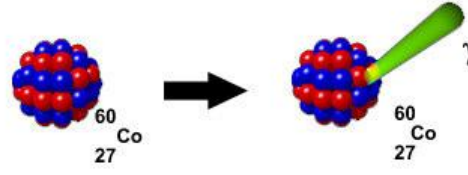
β^+ bozunması: Eğer çekirdekteki enerji fazlalığı proton fazlalığından kaynaklanıyorsa proton, nötron ve (+) yüklü elektron olan pozitrona bozunur. Bunun sonucunda ise çekirdeğin proton sayısı bir azalır, nötron sayısı bir artar ve bir pozitron yayımlanır.



Beta parçacığı sadece bir elektron olduğu için kütlesi çok düşüktür. Dolayısıyla havada ışık hızına yaklaşan hızlarda hareket edip aldığı mesafe alfa parçacığına kıyasla çok daha fazla olup yaklaşık bir metredir. İnce bir alüminyum levha ile durdurulması mümkündür. Yüklü oldukları için elektrik ve manyetik alana girdiklerinde yollarından saparlar. Sapma miktarı alfa parçacıklarına kıyasla çok daha fazladır. Bunun sebebi elektronların kütlelerinin alfa parçacığı olan Helyum atomuna kıyasla çok daha düşük ağırlığa sahip olmasıdır.

2.2.3.3 Gama ışıması

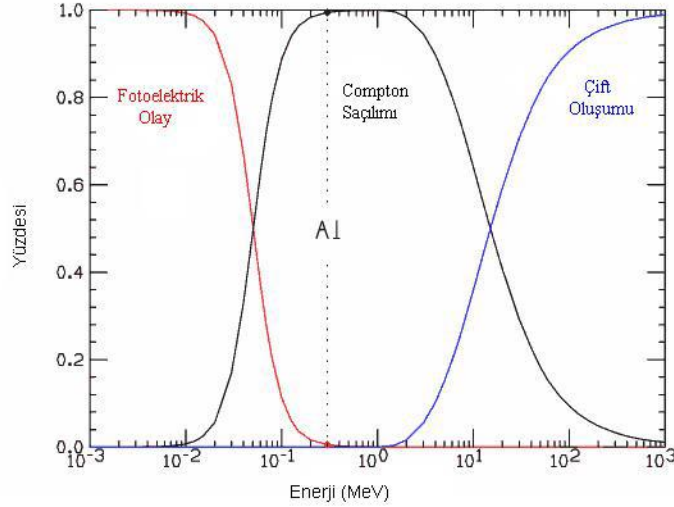
Nükleer reaksiyonlar veya alfa ve beta bozunmaları sonucu çekirdek sahip olduğu enerjisini tamamen boşaltamayıp uyarılmış halde kalmaya devam eder. Kararlı hale geçmek için çok hızlı bir şekilde yüksek enerjili, kısa dalga boylu elektromanyetik enerji dalgaları yani gama ışınlarını yayar. Yüksüz olan gama ışınları yayımlandıkları nükleonun atom ve kütle numaralarında değişikliğe neden olmaz. Bu sebeple bu ışıma olayına izomerik bozunma adı verilir. Foton yapısında olduklarından dolayı ışık hızında hareket ederler ve durdurulmaları çok zordur. Elektrik ve manyetik alandan etkilenmezler. Alfa ve beta parçacıklarına kıyasla giricilikleri çok daha fazladır. Sadece kalın kurşun blok, kalın beton duvar gibi yoğun malzemeler ile durdurulabilir. Dış ışınlama etkisi yüksektir fakat enerjisi düşük olduğu için iyonlaştırma etkisi alfa ve beta bozunmalarına kıyasla daha düşüktür.



Şekil 2.10 Gama Bozunumu

2.2.4 Radyasyonun madde ile etkileşimi

Radyasyonun yani enerji paketçiklerinin madde ile etkileşmesi, dalga hareketi yapan parçacık olarak nitelendirilen fotonlar ile gerçekleşir. İyonlaştırıcı radyasyon çeşitlerinden olan bu fotonlar X ve gama ışınlarıdır. Bu tür elektromanyetik ışınlar maruz kalan maddelerde meydana gelme ihtimali bulunan üç farklı olay mevcuttur. Bunlar; “Fotoelektrik Olay”, “Compton Saçılımı” ve “Çift Oluşumu” olaylarıdır.

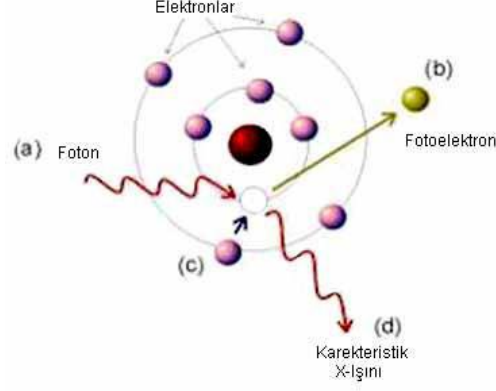


Şekil 2.11 Elektromanyetik Radyasyon ile Alüminyum Atomunun Etkileşmesi (Krane, 1998)

2.2.4.1 Fotoelektrik olay

Bir kaynaktan yayımlanan foton veya elektromanyetik dalga, hareket yönündeki atomun K veya L tabakasındaki elektron ile etkileşir. Bu etkileşme sırasında elektron bağlanma enerjisinden daha fazla bir enerjiye maruz kaldığı için atomun yörüngesinden kurtulur

ve fazla enerjiyi de kinetik enerjiye çevirerek başka yöne hareket etmeye başlar. Bu elektrona fotoelektron adı verilir. Boşalan yörüngeye bir üst yörüngedeki elektron yerleşir. İki yörünge arasındaki enerji farkı kadar enerjiye sahip, her atoma özgü olan karakteristik bir X ışını salınır.



Şekil 2.12 Fotoelektrik Olay

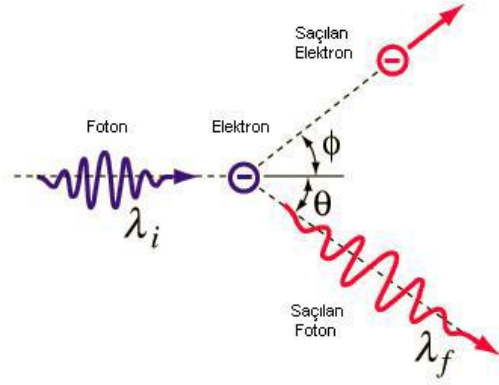
1887 yılında Heinrich Hertz tarafından deneysel gözlemlenen fotoelektrik olay 1905 yılında Albert Einstein tarafından formülize edilmiştir. Einstein, Planck'ın foton hipotezinin de yardımıyla fotoelektronların enerjilerinin ışık şiddetinden bağımsız olduğunu bulmuş ve enerjilerinin

$$E=h.v$$

formülü ile hesaplanabileceğini kanıtlamıştır.

2.2.4.2 Compton saçılması

Atomun dış yörüngelerinde olduğu için düşük bağlanma enerjisi ile yörüngede duran elektrona yüksek enerjili bir foton çarpar. Elektron, kütlesi olan bir parçacık olduğundan dolayı çarpan fotonun tüm enerjisini absorblaması sahip olduğu momentumun korunumundan dolayı gerçekleşemez. Bu çarpışma sonucunda elektron bir miktar enerji absorblayarak yörüngeden ayrılır. Enerjisinin bir kısmını kaybeden foton saçılıp yön değiştirerek yoluna devam eder



Şekil 2.13 Compton Saçılması

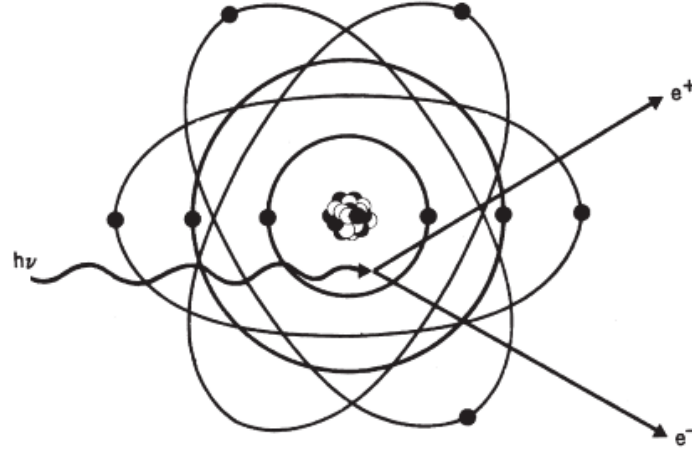
Bu durum, fotoelektrik olaydan bağımsız olarak, ilk defa Arthur Compton tarafından kanıtlanmıştır. Bu çalışma 1927 yılında Compton'a Nobel ödülünü kazandırırken bu olay da "Compton Saçılması" olarak adlandırılmıştır. Compton yaptığı hesaplamalar sonucunda elektrona çarpan fotonun sahip olduğu dalga boyu ile elektrondan saçılan fotonun dalga boyu arasındaki farkın, aralarındaki açı ile olan bağıntısını aşağıdaki gibi bulmuştur:

$$\lambda_f - \lambda_i = \Delta\lambda = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos\theta)$$

Yüksek enerjili fotonlar önce Compton saçılmasına uğrarlar sonra da fotoelektrik olayla absorblanırlar (Görür 2006).

2.2.4.3 Çift oluşumu

Yüksek enerjili bir foton yüksek atom numaralı bir elementin çekirdeğinin yakınından geçecek olursa elektrik alandan etkilenerek yok olur ve enerji kütleye dönüşerek iki parçacık meydana gelir. Bunlardan birisi negatif yüklü elektron diğeri ise pozitif yüklü pozitrondur. Bunların enerjileri aynı ve 0.511 MeV dir. Fotonun bu iki parçacığa dönüşebilmesi için enerjisinin en az 1.022 MeV olması gerekir. Fotonda enerjinin fazlası mevcut ise bu enerji elektron ve pozitrona kinetik enerji olarak aktarılır.



Şekil 2.14 Çift Oluşumu (Knoll 1989)

Kütleleri, enerjileri, çizgisel momentumları aynı olduğu için bu olay hiçbir kanunu çiğnememektedir. Ayrıca olay meydana geldiğinde atomun çekirdeğinde önemsenebilecek enerji değişimleri olmamaktadır.

2.2.5 Radyasyon birimleri

Radyasyonun etkisini ve aktivitesini ölçmek amacıyla çeşitli birimler kullanılmaktadır. Uluslararası Radyasyon Birimleri Komisyonu (ICRU) aktivite, ışınlama, absorblanan doz ve eşdeğer doz için sırasıyla Curie, Röntgen, Rad ve Rem'i radyasyon birimi olarak tanımlamıştır. Sonrasında SI Birim Sistemi kabul edilmesinin ardından, ICRU 1971 yılında eski birimlerin yerine yenilerinin kullanılmasını önermiştir. Çizelge 2.1'de günümüzde kullanılan birimler ve eski karşılıkları gösterilmiştir.

Çizelge 2.1 Bütün Radyasyon Birim Çeşitleri ve Karşılıkları (ICRU 1971)

Büyüklik	SI Birimi ve Sembolü	Eski Birimler ve Sembolü	Dönüşüm Faktörü
Aktivite	Becquerel(Bq)	Curie (Ci)	1 Ci = 3.7×10 ¹⁰ Bq
İşinlama	Röntgen (C/kg)	Röntgen (R)	1 C/kg = 3876 R
Absorblanan Doz	Gray (Gy) (j/kg)	Rad (rad)	1 Gy = 100 rad
Eşdeğer Doz	Sievert (Sv)	Rem (rem)	1 Sv = 100 rem

2.2.5.1 Aktivite birimleri

Aktivite birim zamanda bozunma gerçekleştiren atomların toplam sayısı şeklinde tanımlanır. Aktivite ilk olarak bir gram Radyumun parçalanma hızı esas alınarak Curie ile ifade edilmiştir. Ancak zaman içerisinde bir gram Radyum ile denge halinde bulunan Radon miktarı bir saniyedeki bozunma sayısı gibi değişikliklere uğramıştır. Nihayet ICRU aktivite tanımını bütün radyonüklitleri kapsayacak biçimde genişleterek, Curie'yi; bir saniyede $3,7 \times 10^{10}$ parçalanma gösteren radyoaktif madde miktarının aktivitesi şeklinde tanımlamıştır. SI birim sisteminde ise aktivite birimi Becquerel (Bq)'dir. Bir Bq, bir saniyede bir parçalanma gerçekleştiren maddenin aktivitesi olarak tanımlanır. Sonuçta Ci ve Bq arasında bir dönüştürme işlemi gerekmektedir.

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ bozunma/saniye}$$

$$1 \text{ Bq} = 2,7 \times 10^{-11} \text{ Ci} = 27 \text{ pCi}$$

Yüzeydeki aktivite ise, birim alanın saniyedeki parçalanmasıdır ve Ci/cm² veya Bq/m² şeklinde tanımlanır.

$$1 \text{ Bq/m}^2 = 2,7 \times 10^{-15} \text{ Ci/cm}^2$$

Aktivite sadece radyoaktif bir numunenin çevreye olan etkisinin derecesi değildir. Etki, bozunma esnasından yayımlanan radyasyon çeşidine göre değişkenlik gösterecektir. Örneğin; 100 Ci'lik ⁶⁰Co'nun bir metre uzağında 8 saat boyunca bekleyen bir insanın maruz kalacağı doz 1050 rem'dir. Bu öldürücü bir dozdur. Fakat aynı şartlarda 100 Ci'lik ³H kaynağı ile çalışan birisi neredeyse hiç etkilenmemektedir (Krane, 1998).

2.2.5.2 Işınlama birimi

SI birim sisteminde ışınlamaya yeni bir tanımlama yapılmamıştır. Işınlama biriminin tanımı, X ve gama ışınlarının etkileştikleri havayı iyonlaştırma derecesinin ölçüsüdür.

Işınlama birimi Röntgen (R)'dir. Normal koşullarda (0°C ve 760 mmHg basıncı) 1 kg havada toplam 2.58×10^{-4} Coulomb'luk negatif veya pozitif yüklü iyonlar oluşturan radyasyon miktarı olarak tanımlanır.

2.2.5.3 Soğurulan doz birimi

Soğurulan doz miktarı aslında soğurulan enerjinin bir değeridir. Soğurulan dozu tanımlamak için eskiden rad kullanılmaktaydı. Fakat sonradan SI Birim Sistemine geçilmesiyle birlikte gray (Gy) olarak kullanılmaya başlanmıştır. Gy, 1kg ağırlığa sahip herhangi bir malzemeye 1 joule enerji verebilen iyonlaştırıcı radyasyonun dozudur (Krane, 1998). Rad ve Gy dönüşümleri aşağıdaki gibidir:

$$1\text{Gy} = 1 \text{ J/kg}$$

$$1 \text{ Rad} = 10^{-2} \text{ J/kg}$$

$$1\text{Gy} = 100 \text{ rad}$$

2.2.5.4 Eşdeğer doz birimi

İyonlaştırıcı radyasyon türlerinin neden olduğu zararlı biyolojik etkilerin ölçüsü eşdeğer doz birimi olarak tanımlanmaktadır (Krane, 1998; Merdanoğlu, 2004). Eşdeğer doz birimi, her radyasyon tipine göre değişkenlik gösteren kalite faktörünün absorblanmış doz ile çarpımına eşittir. Birimi Joule/kg olarak tanımlanmış ve Sievert(Sv) olarak adlandırılmıştır (Özger, 2005). Eski gösterim biçimi olan rem ile dönüşümleri aşağıdaki gibidir:

$$1 \text{ Sv} = 1 \text{ J/kg}$$

$$1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$$

2.3 Radyasyon Ölçüm Yöntemleri

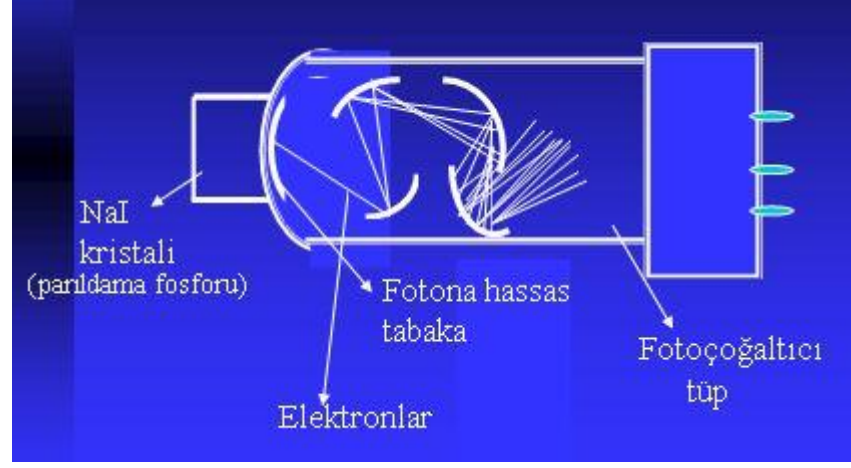
Radyasyon ölçme cihazlarının çalışma prensipleri temelde aynıdır. Radyasyon dedektöre girer, dedektör materyalinin atomları ile etkileşir ve bu etkileşim sonucunda atomun yörüngesinden düşük enerjili elektronların salınmasına sebep olur. Salınan bu elektronlar bir şekilde toplanarak analizi gerçekleştirmek için cihaz tarafından ya akım pulsusu ya da voltaja dönüştürülerek sayım alınır. Ölçümü gerçekleştirilecek olan radyasyonun çeşidine göre dedektör seçimi yapılır. Nükleer radyasyon ölçümünde yaygın olarak kullanılan dedektör türleri aşağıdakilerdir:

- Sintilasyon dedektörleri
- Yarı iletken dedektörler
- Gaz dolgulu dedektörler

2.3.1 Sintilasyon dedektörleri

Verilen enerji elektronu ortamdaki yerinden koparmaya yeterli olmadığı zaman uyarılan elektron, tekrar eski haline dönerken görünür ışık yayar. Bu temel prensip ile çalışan Sintilasyon fosforlarının yaydığı ışığa toplanır ve voltaj pulsusu haline getirilir. Meydana gelen pulsun büyüklüğü radyasyonun enerjisi ile orantılıdır. Bu dedektörler sayım ve aynı zamanda enerji ayırımı için kullanılır. Sintilasyon dedektörleri temel olarak ikiye ayrılır; organik sintilatörler ve saf organik kristaller. Bu tip dedektörlerde foto çoğaltıcı tüp ve kullanılan fosfor değiştirilerek değişik türde radyasyonların analizi gerçekleştirilebilir. Örneğin;

- Alfa parçacıklarının ölçümü gümüşle aktive edilmiş ZnS fosforu,
- Beta parçacıklarının ölçümü naftalin ve stilben,
- Düşük enerjili X ve gama ışınlarının ölçümü Talyumla aktive edilmiş NaI kristali kullanılarak yapılır.



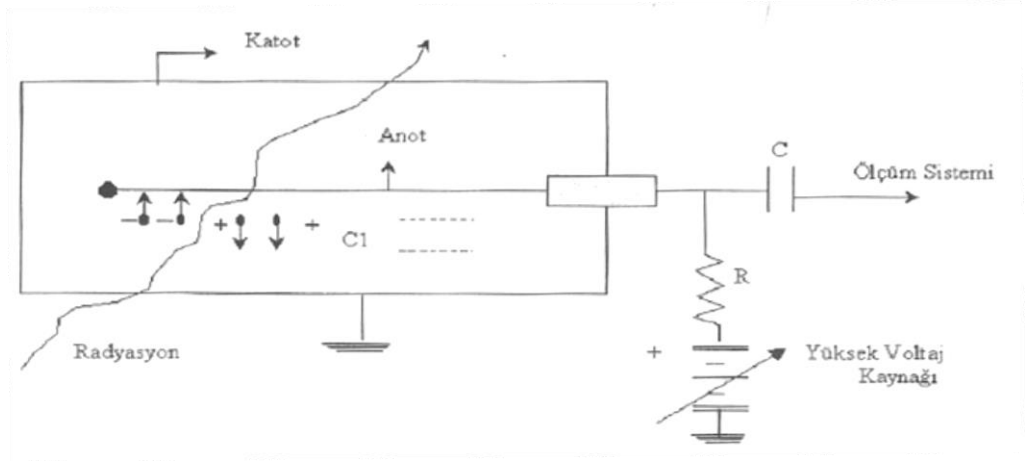
Şekil 2.15 Sintilasyon dedektörleri

2.3.2 Yarı iletken dedektörler

Yarı iletkenler normalde elektriği iletmeyen materyallerdir. Çünkü bunların kristalleri akımı taşımak için serbest yüklenmiş tanecikleri yeterince içermezler. Fakat kristaldeki atomlar iyonlaştığı zaman iletkenlik kazanırlar. Sintilasyon dedektörleri gibi, yarı iletken dedektör de genellikle gama spektrometrelerinde radyo-çekirdekleri teşhis etmek ve aktivitelerini bulmak için kullanılır. Silisyum (Si) ve Germanyum (Ge) gibi yarı iletken maddelerden yapılır. Bu dedektörler radyasyonun bu maddelerde oluşturduğu iyonizasyon ilkesi ile çalışırlar.

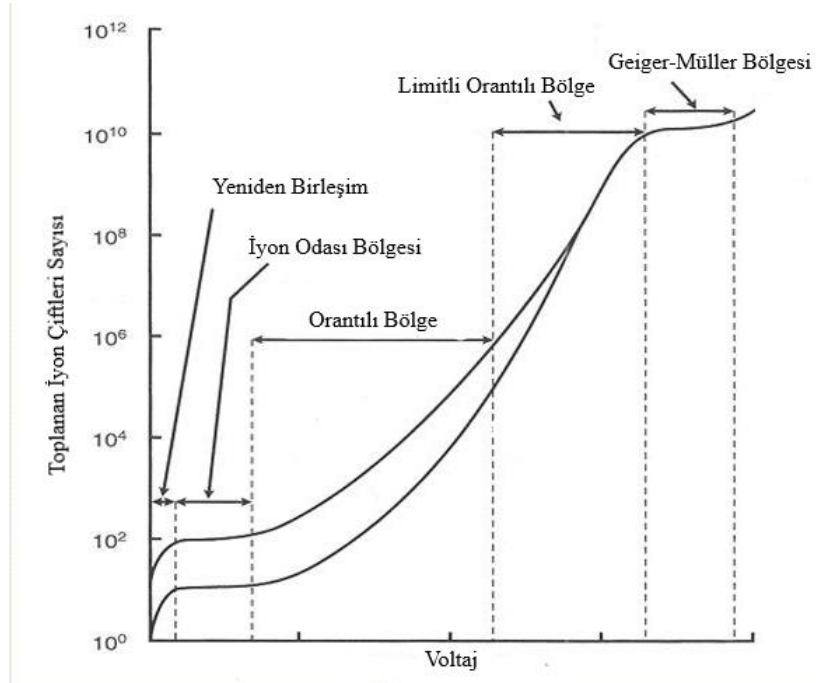
2.3.3 Gaz dolgulu dedektörler

Yüklü parçacıkların gaz odalarında iyonlaştırılması prensibine dayanır. Aslında dedektör olan bu odanın çeperi negatif yüklü katottur ve içinden pozitif yüklenmiş anot olarak görev yapan çok ince bir tel geçmektedir.



Şekil 2.16 Gaz dolgulu dedektörler

İyonlaştırıcı radyasyon tipine maruz kalan gaz serbest elektronlar ve pozitif iyonlar haline gelir. Yüksek gerilim altında elektronlar anot tele doğru çekilir ve temas sonucu elektrik pulsu oluşur ve sayım gerçekleşmiş olur. Aşağıdaki grafikte de görüleceği üzere çalıştıkları voltaj aralığına göre 3 çeşide ayrılmaktadırlar. Bunlar sırasıyla iyon odası, orantılı dedektör ve Geiger Mülller detektörüdür.



Şekil 2.17 Voltaj - İyon çifti grafiği

2.3.3.1 İyon odası dedektörü

Gaz dolgulu dedektörlerin en basit halidir. Gaz olarak atmosfer basıncında hava kullanılır. Diğer dolgulu dedektörlere kıyasla daha düşük, yaklaşık 10^4 V/m mertebesinde elektrik alanda sayım gerçekleşir. Bu değerlerde düşük radyasyon şiddetine karşı çok duyarlı değildir. Ancak yüksek dozları ölçmekte gayet yararlıdır. Yine çalıştığı voltajla ilgili olarak alfa parçacıklarından kaynaklı radyasyonu tespit etmesi mümkün değildir. İyon odasında X ışınları, gama ışınları ve beta parçacıklarının ölçümü yapılır. Dolayısıyla göstergeleri C/kg.s, R/h (X) veya Sv/h (X) birimlerinde sonuçlar verir.

2.3.3.2 Orantılı dedektör

Anot tel ile oda duvarı arasına uygulanan çalışma voltajı orantılı bölgede bulunan uygun bir değere ayarlanırsa, orantılı bölgede çalıştırılan dedektör tipi elde edilir. 10^6 V/m elektrik alanda sayım yapılır. Dedektörün içinde genellikle argon, ksenon, izobütan, helyum veya metan gazları iyonlaştırılır. Düşük zemin sayımına sahiptir dolayısıyla diğer gaz dolgulu dedektörlere kıyasla daha hassas ölçüm yapabilirler. Bu tip dedektörlerde sabit bir gerilimde darbe yüksekliğinin birincil iyonlaşma ile orantılı olması nedeniyle farklı radyasyonların ayırımı mümkün olur. Bu ayırımı bir örnek olarak alfa ve beta parçacıklarının oluşturduğu iyonlaşma verilebilir. Alfaların iyonlaştırma etkisi betalarınkinden çok daha büyük olduğundan ikisinin birden yayımlandığı bir ortamda darbe boylarının farklı olması nedeniyle hem alfalar hem de betalar birbirinden bağımsız olarak sayılabilir. Bu tez kapsamında alınan örneklerin sayımı Türkiye Atom Enerjisi Kurumunda bu tür dedektör sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İlerleyen konularda bu sistemin sayıma hazırlanması daha detaylı bir şekilde anlatılacaktır.

2.3.3.3 Geiger müller dedektörü

Gaz dolgulu dedektörler içerisinde en yüksek voltajda çalışan detektörlerdir. Ortamda 10^6 V/m den büyük bir elektrik alan olduğunda sayım gerçekleşir. Yüksek voltajda çalıştığı için az iyonlaşma meydana getiren düşük enerjili X ve gama ışınlarından kaynaklı iyonizasyona karşı çok duyarlıdır. Bu dedektör ile alfa veya beta parçacıklarının ayırımı mümkün değildir ve enerjileri de ölçülemez. Gaz olarak genellikle argon ve helyum kullanılır. İki ölçüm arasındaki ölü zaman diğer dedektörlere kıyasla daha uzundur. Fakat basit, maliyeti az ve kullanımı diğerlerine göre daha kolay bir dedektör tipidir.

2.4 Gaz Dolgulu Orantılı Dedektörlerin Sayıma Hazırlanması

Dedektörlerin sayıma hazır hale gelmesinin ve ölçümlerin doğru bir şekilde yapılabilmesinin ilk şartı sistem kalibrasyonlarının doğru yapılmasıdır. Aşağıda detaylı bir şekilde yapılması gereken kalibrasyonlar ve bulunması gereken değerler anlatılmıştır. Ayrıca Bölüm 3.2.4'te laboratuvarında yapmış olduğum kalibrasyon sonuçları verilmiştir.

2.4.1 Voltaj kalibrasyonu

Voltaj kalibrasyonu, detektörde gazı iyonlaştıran radyasyon tipinin alfa parçacıklarından mı yoksa beta parçacıklarından mı kaynaklandığını anlamamız için yapılır. Voltaj kalibrasyonunda kullanılmak üzere radyoaktivitesi bilinen Sr-90 beta kaynağı temin edilir. Referans olarak sadece beta kaynağının kullanılmasının sebebi enerjisi yüksek olan alfa parçacıklarının gazı iyonlaştırması sonucu oluşan elektronların betaya kıyasla düşük voltajlarda dahi anota hareket edebilmeleridir.

Sayım 705 Volt'tan başlatılarak 30 Volt artışlarla 1875 Volt'a ulaşıncaya kadar devam eder ve bunun sonucunda aşağıdaki grafik elde edilir. Sistem her voltaj değeri için sayım değeri alır, hesaplar ve raporlar. Bunun sonucundan eğimin %3'ten küçük olduğu

bir plato bölgesi elde edilir. Plato bölgesinde bulunan voltaj değerinde çalışılmalıdır. Bu çalışma voltajında alfalar ve betalar aynı anda sistem tarafından sayılabilmektedir.

2.4.2 Verim kalibrasyonu

Analizi gerçekleştirilecek maddenin içerdiği radyoizotop çeşitliliği bilinmediği için sayım sisteminin kalibrasyonu ve bunun için kullanılan standart seçimi çok önemlidir. Sertifikalı ve aktivitesi bilinen standart kullanmanın yanı sıra kalibrasyon kaynaklarının sayılan örneklerin alanını, yoğunluğunu, kalınlığını ve aktivite dağılımını sağlayacak şekilde hazırlanması gerekmektedir.

Verim kalibrasyonlarında sayımı gerçekleştirilecek numunenin yukarıda verilen özelliklerini temsil etmesi amacıyla, alfa standart kaynağı olarak sertifikalı ve aktivitesi bilinen Am-241, Pu-239, Pu-240 ve beta standart kaynağı olarak sertifikalı ve aktivitesi bilinen Sr-90, Cs-134, Cs-137, K40 kullanılabilir.

Verim kalibrasyonları sonucunda alfa parçacıklarının tayin verimi beta parçacıklarının tayin veriminden daha düşük olduğu gözlemlenir. Kalıntı miktarının artması, hareket mesafeleri kısa olan alfa parçacıklarının detektöre ulaşmasını gittikçe zorlaştırmaktadır. Buna öz soğurma etkisi denir. Bundan dolayı EPA 900.0 standart metodunda tavsiye edilen maksimum kalıntı miktarı 5cm çapı olan planşetler için maksimum 100 miligramdır.

2.4.3 Zemin sayımı

Bir radyoaktivite ölçüm sisteminde, radyoaktif örnek yokken sistemin verdiği sayımlara zemin sayımı denir. Bu değer kozmik ışınlardan, yapı malzemelerinde bulunan Potasyum, Radyum, Toryum gibi elementlerden ve bunların bozunma ürünlerinden meydana gelen radyasyondan ve elektronik gürültülerden kaynaklanır.

Ortamın zemin sayımı tespit edilirken örnek sayımında kullanılan boş bir planşet sisteme yerleştirilir ve sayımlar alınır. Bu sayımların ortalaması sistemin hafızasına kaydedilir.

2.4.4 Crosstalk kalibrasyonu

Crosstalk bir detektör veya sayım sisteminde alfa ve beta sayım bölgelerinin çakışmasıdır. Genelde alfa pulsları beta pulslarına girişim yapar ve böylece alfalar eksik sayılmış olur. Bunun önüne geçmek için cihaz üreticileri genelde alfa için Po-210 ve beta için Sr-90 kaynakları kullanarak sayım gerçekleştirir ve değerleri kullanıcıya verir. Laboratuvar şartlarındaki güncel crosstalk değerlerinin bilinmesi için kullanıcılar isterlerse kendi alfa ve beta kaynaklarıyla sayım yapabilirler. Elde edilen değerler doğru sonuçların hesaplanabilmesi için ilgili diğer değerlerden çıkartılır.

2.5 Numunede Toplam Alfa/Beta Aktivitesinin Belirlenmesi

2.5.1 Numunenin alınması

Toplam alfa ve toplam beta ölçümleri için numunelerin alımında orada bulunan yapıyı en iyi şekilde temsil edecek bölgenin tespiti ve bu bölgeden numunenin alınması çok önemlidir. Eğer insani tüketim amaçlı olan sulara analiz yapılacak ise içme ve kullanma sularını temsil eden depolardan alınması önerilir. Numunelerin miktarı ölçüm için gerekli olan kalıntının elde edilmesini sağlayacak kadar olmalıdır. Numuneler temiz plastik şişelere konulmalıdır.

Toplam alfa ve toplam beta ölçümleri için alınan numuneler pH değeri en fazla 2 olacak şekilde 1 M HNO₃ eklenerek korunmaya alınır. Asit ile pH değeri 2 ye düşürülmeyen sular en fazla 5 gün içinde laboratuvara götürülmelidir. Numune kaplarının üzerine numunenin adı, alındığı yer, tarih ve asit bilgisi yazılır.

Toprak numunelerinde ise yüzeydeki otlar ve büyük taşlar ayklanır. Sonrasında bir nokta seçilir ve birer metre etrafından örnek toplanır. Burada amaç belirlenen noktadan mümkün olduğunca homojen bir şekilde numune alabilmektir. Alınan numuneler plastik kap veya iki kat poşet içine konarak paketlenir ve etiketlenir.

2.5.2 Numunenin analize hazırlanması

Su numunesinin sayıma hazırlanması, kalıntı elde edilmesi esasına dayanmaktadır. İlk olarak pH kontrolü yapılmalıdır. Asitlendirme işleminin üzerinden 16 saat geçmesi beklenir. Süre tamamlandıktan sonra numune hazırlama işlemine başlanabilir.

Numuneyi hazırlamak için ilk olarak su örneği istenilen hacimde balon joje ile alınarak temiz bir beher içine aktarılır. IR lambalar altında, 20-30 mL kalıncaya kadar kaynama sıcaklığının altında buharlaştırılır. Daha sonra kalan miktar sabit tartıma getirilmiş planşete aktarılarak su örneğinin tamamı kurutulur. Elde edilen kalıntı etüvde 105 ± 2 °C'de 2 saat tutularak sabit tartıma getirilir. Burada önemli olan nokta elde edilen kalıntının minimum öz soğurma (self absorption) yapmayacak miktarda olmasıdır. Bu miktar kalibrasyonla 5 mg/cm^2 olarak saptanmıştır. Suların içindeki toplam çözünmüş madde miktarına bağlı olarak elde edilen kalıntı miktarları değişir. Bu bakımdan başlangıçta genellikle 100 mL suya bu işlemler uygulanır ve kalıntı analizi yapılır. Buna göre buharlaştırılacak suyun hacmi hakkında karar verilir. Hesaplanan hacimdeki su numunesi uygun balon jojeye alınır ve kalan kısım planşete aktarılarak IR lamba altında kuruluğa kadar buharlaştırılır ve yukarıda bahsettiğimiz işlem basamakları aynen uygulanır. Örnek sayımı yapılmadan önce planşetler en az 72 saat desikatörde muhafaza edilir. Bunun sebebi kısa yarı ömürlü izotopların aktivitelerinin düşerek sayımda majör bir hataya sebep olmasını önlemektir.

Toprak numunelerinde yapılacak işlem sulardaki gibi belli hacimden bir kalıntı elde etme durumu yerine; elimizde var olan numuneden nem uzaklaştırılarak, kalan kuru kısmın öz soğurma yapmayacak kalınlıkta planşete yayılması esasına dayanır. Bunun için toplanan numune bir tepsiye yayılır. Homojenliği arttırmak için farklı yerlerinde azar azar örnek cam planşetlere toplamda 5 gr olacak şekilde alınır ve tartılır. Sonra

planşet 2 saat etüvde, peşinden yarım saat desikatörde bekletilerek içindeki nem uzaklaştırılmış ve sabit tartıma getirilmiş olur. Tekrar tartılarak aradaki farktan %nem değeri hesaplanır. Sayıma hazırlama da bir sonraki aşama toprak numunelerinin 500 mikrometre gözenek boyutuna sahip elekten geçirilmesidir. Elde edilen elenmiş toprak 100 mg geçmeyecek şekilde paslanmaz çelik planşetlere alınarak üzerine saf su eklenir. Yüze yayılan toprak IR lamba altında kurutulur. Daha sonra desikatöre alınan numuneler sularda olduğu gibi 72 saat beklendikten sonra sayıma hazır hale gelmiş olur.

2.5.3 Numunenin sayımı

Yukarıda da bahsedildiği üzere örneklerin toplam alfa/beta sayımları yapılmadan önce zemin sayım değerinin tespit edilmesi gerekir. Günlük zemin sayımı gerçekleştirilir ve değerlerin uygun olduğu görüldükten sonra, örneklerin buharlaştırma işlemi sonrasında elde edilen ve sabit tartıma getirilmiş olan net kalıntı miktarı, buharlaştırılan örneğin hacmi, numune sayım süresi, zemin sayım hızı değerleri sisteme girilir.

Sayım sistemi hafızada yüklü olan sayım verimi kalibrasyonunu kullanarak numunenin buharlaştırılmasından elde edilen kalıntıya karşı gelen alfa ve beta sayım verimlerini seçerek, net sayım hızını ve diğer değerleri kullanarak toplam alfa ve toplam beta radyoaktivitelerini hesaplar. Toplam alfa ve toplam beta aktiviteleri aşağıdaki formüle göre hesaplanır:

$$\begin{array}{l} 1 \text{ Bq} = 1 \text{ dps} \\ 60 \text{ dps} = 1 \text{ dpm} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{Bq} = \text{dpm} / 60 \\ \text{dpm} = \text{cpm} / \text{Eff} \end{array}$$

$$\text{Bq} = \text{cpm} / \text{Eff} \cdot 60$$

$$A_{\alpha, \beta} (\text{Bq} / L) = \frac{N}{60 * \text{Eff} * V}$$

Çizelge 2.2 Aktivite formülündeki sembollerin tanımları

$A_{\alpha\beta}$	Toplam alfa/beta radyoaktivitesi (Bq/L)
N	Net sayım hızı (cpm)
Eff	Sistemin sayım verimi (cpm/dpm)
V	Hacim (L)
cpm	Dakikadaki sayım (counts per minute)
dps	Saniyedeki parçalanma (disintegrations per second)
dpm	Dakikadaki parçalanma (disintegrations per minute)
60	Dönüşüm faktörü (dakika/saniye)

Ayrıca dedektör sisteminde ki sayımı gerçekleştirilen numunede bir radyonüklite ait tespit edilebilen en küçük aktivite değeri Ölçülebilir Minimum Aktivite Değeri (ÖMD) veya Minimum Dedekte Edilebilen Aktivite (MDA) olarak tanımlanmıştır. Aşağıdaki formüller yardımıyla alfa ve beta için ÖMD hesaplamak mümkündür.

$$MDA_{\alpha} = \frac{\frac{2,71}{t_{(Samplecounttime)l}} + 3,29 \sqrt{\frac{cpm_{\alpha_{BKG}}}{t_{(SampleCountTime)}} + \frac{cpm_{\alpha_{BKG}}}{t_{(BackgroundCountTime)}}}}{\% Eff_{\alpha}} * \frac{1}{60xV_{(SampleofVdume)}}$$

$$MDA_{\beta} = \frac{\frac{2,71}{t_{(Samplecounttime)l}} + 3,29 \sqrt{\frac{cpm_{\beta_{BKG}}}{t_{(SampleCountTime)}} + \frac{cpm_{\beta_{BKG}}}{t_{(BackgroundCountTime)}}}}{\% Eff_{\beta}} * \frac{1}{60xV_{(SampleofVdume)}}$$

Çizelge 2.3 ÖMD formülündeki sembollerin tanımları

$cpm_{\alpha_{BKG}}$	Alfa zemin sayım oranı (sayım/dakika)
$cpm_{\beta_{BKG}}$	Beta zemin sayım oranı (sayım/dakika)
$\% Eff_{\alpha}$	Alfanın yüzde verim değeri
$\% Eff_{\beta}$	Betanın yüzde verim değeri
V	Hacim (L)
60	Saniye-dakika dönüşüm faktörü

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Kullanılan Kimyasallar ve Cihazlar

Am-241 standardı (Sertifika: Isotope Products Laboratories 2115-23-1), Sr-90 standardı (Sertifika: Isotope Products Laboratories 2115-23-2), HNO₃ (Merck), filtre kağıdı (Whatman 42), A sınıfı balon joje, 500 mikrometre gözenekli elek (Fisher Scientific Company No. 35), IR lamba (250 Watt, General Electric), etüv (Nüve FN 500), desikatör, sıcaklık ve nem ölçer, yarı mikro hassasiyetli ve virgülden sonra 5 hane ölçme derecesine sahip terazi (Sartorius CP225D)



Şekil 3.1 Düşük zemin sayımlı gaz orantılı dedektör (Protean Instrument Corporation MPC-9604)

3.2 Yöntem

3.2.1 Numune alma

Taş ocaklarının doğal radyoaktiviteye olan etkisinin ölçülmesi amacıyla Ayaş ilçesi ve çevresinden Kasım ve Mayıs aylarında 7 farklı bölgeden (Asartepe Barajı, Başayaş

Köyü çeşmesi, Bayat Göleti, DSİ Göleti, Gökler Köyü Göleti, taş ocakları küçük su birikintisi, taş ocakları büyük su birikintisi) su ve 5 farklı bölgeden (Asartepe Barajı, Bayat Göleti, DSİ Göleti, Gökler Köyü Göleti, taş ocakları su birikintisi) toprak numunesi alındı. Su numuneleri suyun yüzeyinden 5 litrelik pet şişelere doldurularak alındı. Önceden saf su ile yıkanarak temizlenen pet şişeler doldurulmadan önce bir miktar su örneği ile çalkalandı ve herhangi bir kalıntı olmadığından emin olundu. Toprak numuneleri alınırken bazı özelliklere dikkat edildi. Bunlar; toprağın üstünün kapalı olmaması, sürülmemiş olması, yakınında herhangi bir yapının bulunmaması, insan kaynaklı bir bulaşmanın olmamasıdır. Numune alınırken homojenitenin sağlanması için her bölgede birer metre aralıklarla en az 4 noktadan alım yapıldı. Numune alma işlemi yüzeydeki taş ve otlar temizlendikten sonra kaşık ile toprağın maksimum 2 cm derinine incek şekilde yapıldı. Alınan toprak numuneleri 250 mL pet kaplara kondu ve aynı gün laboratuvara götürüldü.

Numune alınan bölgelerin haritası aşağıda verilmiştir.



Şekil 3.2 Gökler Köyü Göleti

Haritada görünen Gökler Köyü Göleti'nin taş ocaklarına kuş uçuşu mesafesi 4240 metredir. Buradan Kasım ayında su, toprak ve Mayıs ayında su örnekleri alındı.



Şekil 3.3 Taş ocakları su birikintileri

Haritada görünen taş ocaklarına kuş uçuşu mesafesi 500 metre olan büyük su birikintisi lagünden Kasım ve Mayıs aylarında su örnekleri alındı. Daha uzakta bulunan taş ocakları küçük su birikintisinden ise yine aynı aylarda su örnekleri ve ayrıca Kasım ayında toprak örneği alındı.



Şekil 3.4 DSI Göleti ve Başayaş Köyü

Taş ocaklarının kuzeyinde bulunan ve kuş uçuşu 2090 metre uzaklıkta bulunan DSİ Göleti'nden Kasım ve Mayıs aylarında su ve Kasım ayında toprak örnekleri alındı. Ayrıca DSİ Göleti'nin doğusunda olan taş ocaklarına uzaklığı DSİ Göleti ile aynı olan Başayaş Köyündeki doğal kaynak suyu çeşmesinden de Kasım ve Mayıs aylarında su örnekleri alındı.



Şekil 3.5 Bayat Göleti ve Asartepe Barajı

Taş ocaklarının kuzeyinde, kuş uçuşu uzaklığı 14700 metre olan ve temsili referans numune olması amacıyla haritada görülen Asartepe Barajı'ndan ve buranın da kuzeyinde bulunan kuş uçuşu uzaklığı 19200 metre olan Bayat Göleti'nden Kasım ayında su ve toprak, Mayıs ayında ise su örnekleri alındı.



Şekil 3.6 Asartepe Barajı



Şekil 3.7 Bayat Göleti



Şekil 3.8 DSİ Göleti



Şekil 3.9 Gökler Köyü Göleti



Şekil 3.10 Taş ocakları küçük su birikintisi



Şekil 3.11 Taş ocakları büyük su birikintisi

3.2.2 Su numunelerinin analize hazırlanması

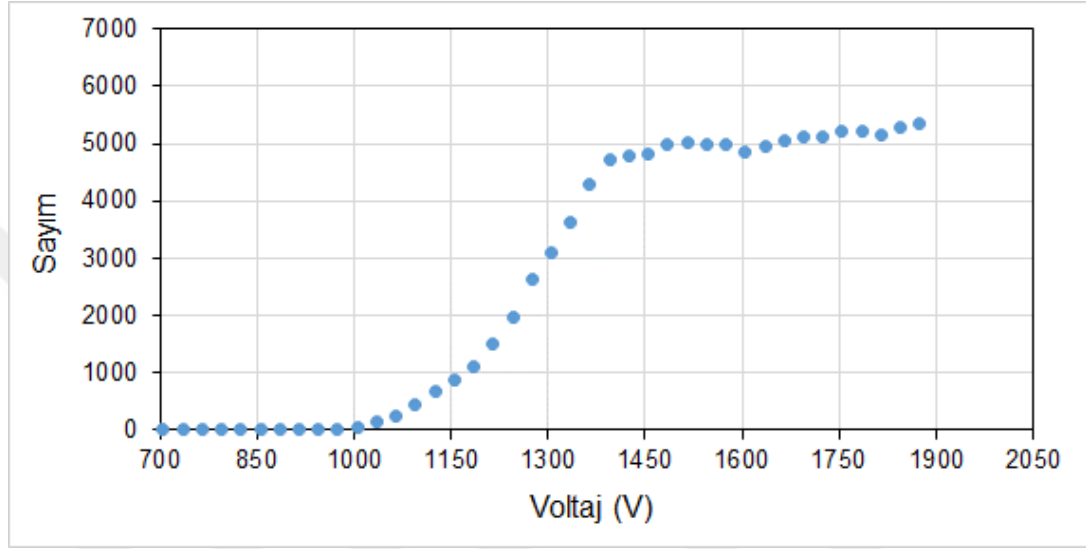
7 bölgeden iki farklı zamanda alınan su örneklerinden en az üçer tane numune hazırlandı. Su numuneleri alındığı gün laboratuvara götürülerek 1 M HNO₃ ile pH 2 den az olacak şekilde asitlendirildi. En az 16 saat sonra örnekler Whatman No 42 filtre kağıdı ile süzülerek kalıntılardan arındırıldı. Sonra A sınıfı balon joje yardımıyla numunelerden 100 mg kalıntıyı geçmeyecek şekilde 100 mL veya 50 mL alınarak beherlere aktarıldı. Beherler IR lamba altında 20 mL kalıncaya kadar buharlaştırıldı. Kalan 20 mL numune, 25 °C'den düşük sıcaklık ve %35'ten az nemin olduğu ortamda boş halde tartımları alınmış ve not edilmiş olan plaşetlere aktarıldı. Beher saf su ile yıkandı ve yıkama suyu da plaşete eklendi. Plaşetteki su IR lamba altında kuruluğa kadar buharlaştırıldı. Kalıntı içeren plaşetler 105 °C'deki etüvde 2 saat bekletilerek içlerindeki nem tamamen uzaklaştırıldı. Etüvden sonra yarım saat oda sıcaklığına gelmesi için desikatörde bekletilen plaşetler sabit tartıma getirilmiş oldu. Yarı mikro hassasiyetli terazi ile plaşetler tartıldıktan sonra boş ağırlıkları çıkartılarak kalıntı miktarları hesaplandı. Numuneler kısa yarı ömürlü izotopların aktivitelerini kaybetmeleri için üç gün desikatörde bekletildi. Daha sonra saf alkolle silinerek temizlenen taşıyıcılara konularak sayım sistemine yerleştirildi.

3.2.3 Toprak numunelerinin analize hazırlanması

250 mL plastik kaplarda getirilen toprak numuneleri metal doğrayıcı ile iyice öğütülerek geniş tepsilere döküldü. Homojeniteyi sağlamak adına tepsinin mümkün olan her noktasından az miktarda toprak numunesi darası alınmış cam kaba alındı ve tartıldı. 5 gram civarında olan toprak numuneleri 105 °C'deki etüvde 2 saat bekletildi. Etüvden çıkartılan numuneler desikatörde yarım saat bekletilip sabit tartıma getirildikten sonra tekrar tartıldı. Aradaki ağırlık farkı alınarak % nem değeri hesaplandı. Sonra 5 gr numune gözenek boyutu 500 mikrometre olan elekten geçirilerek toplam ağırlık 100 mg geçmeyecek şekilde sabit tartıma getirilen ve ağırlıkları not edilen plaşetlere aktarıldı. Plaşetler dolu halde tekrar tartılıp eklenen toprak miktarı hesaplandı. Sonra saf su ile bir miktar ıslatılıp plaşete homojen şekilde yayılıp IR lamba altında kuruluğa kadar bekletildi. 3 gün desikatörde bekletildikten sonra sayımları gerçekleştirildi.

3.2.4 Su ve toprak numunelerinin toplam Alfa-Beta sayımı

Dedektörde sayım için yapılması gereken kalibrasyonlardan birisi olan, Bölüm 2.4.1’de anlatılan voltaj kalibrasyonu gerçekleştirilerek aşağıdaki voltaj kalibrasyon eğrisi elde edildi.



Şekil 3.12 Voltaj kalibrasyon eğrisi

Elde edilen bu eğrinin plato bölgesinde bulunan, eğimin 3%'den küçük olduğu voltaj değeri olan 1515 V dedektörün çalışma voltajı olarak belirlendi.

Dedektörün bir diğer kalibrasyon çeşidi olan verim kalibrasyonu belirlemek için daha önceden sayımı yapılmış, radyasyon miktarı ihmal edilebilecek seviyede düşük olan bir su örneği seçildi. Bu su örneğinden alfa için 12 ve beta için 11 adet değişik hacimlerde su beherlere alındı. Sular IR lamba altında 5 mL kalıncaya kadar buharlaştırıldı. Sonra deney tüplerine alınarak aktiviteleri bilinen Am-241 ve Sr-90 standartları eklendi. Tekrar planşetlere alınan sular IR lamba altında kuruluğa kadar buharlaştırıldı. Farklı miktarlarda kalıntı içeren planşetler, etüvde 2 saat ardından da yarım saat desikatörde bekletilerek sabit tartıma getirildi. Tartımları yapılarak kalıntı miktarları tespit edildi. Hazırlanan kaynaklar dedektörde sayıldı ve elde edilen aktiviteler aşağıda Am-241 ve Sr-90 için verilen formüllerde ilgili yerlere yazılarak % verimler hesaplandı.

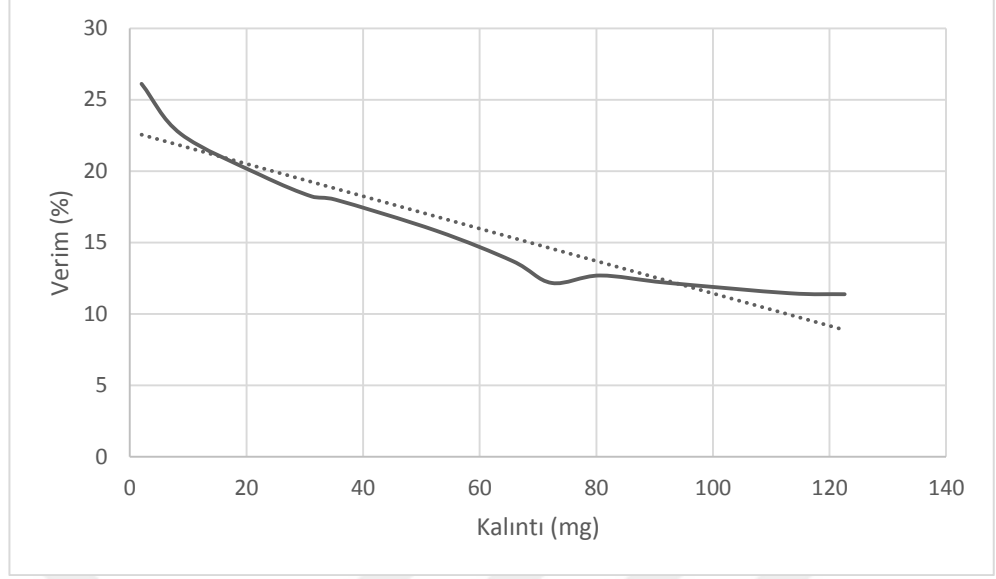
$$\% Eff_{Am-241} = \frac{N_{Am-241}}{A_{Am-241} * t_m} * 100$$

$$\% Eff_{Sr-90} = \frac{N_{Sr-90}}{A_{Sr-90} * t_m} * 100$$

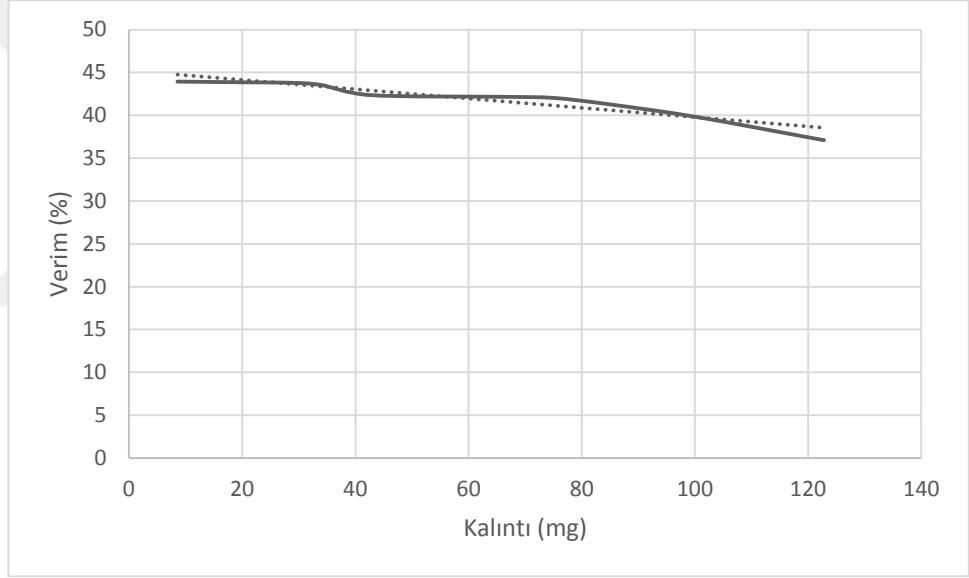
Çizelge 3.1 Am-241 ve Sr-90 Kalıntı-%Verim değerleri

Am-241		Sr-90	
Kalıntı (mg)	Verim (%)	Kalıntı (mg)	Verim (%)
2	26,11	8,55	43,94
8,74	22,6	21,68	43,85
22,44	19,72	28,57	43,8
31,17	18,23	33,9	43,55
35,27	18	42,57	42,37
52,58	15,82	64,78	42,17
65,66	13,7	67,96	42,15
72,35	12,17	75,3	42,02
80,64	12,69	84,87	41,29
92,12	12,18	100,3	39,81
113,1	11,45	122,8	37,1
122,6	11,38		

Sonrasında % verimler, kalıntılar ile eşlenerek aşağıdaki alfa ve beta verim kalibrasyon eğrileri elde edildi.



Şekil 3.13 Alfa verim kalibrasyon eğrisi



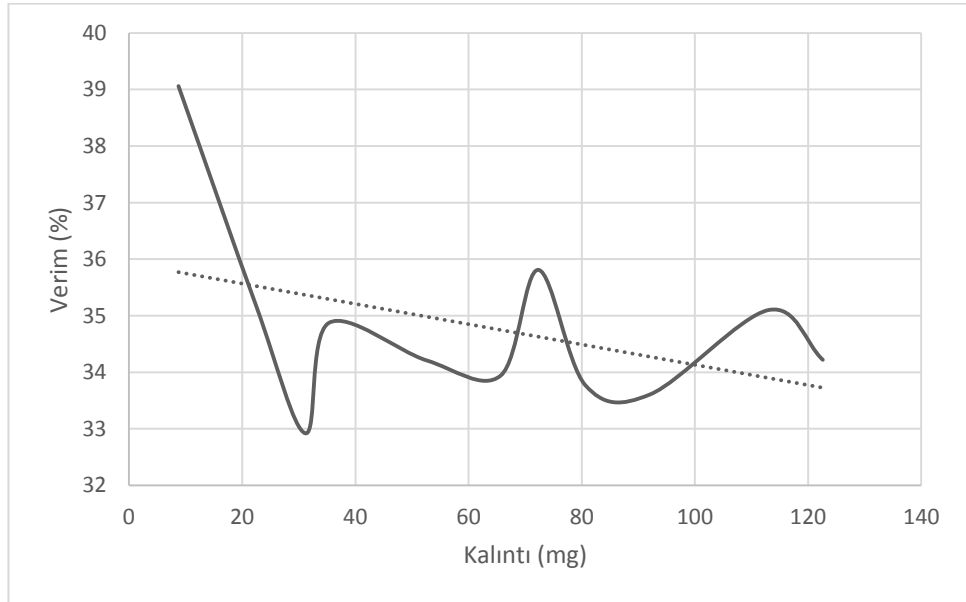
Şekil 3.14 Beta verim kalibrasyon eğrisi

Bölüm 2.4.2'de bahsedilen öz soğurma etkisini yukarıda verilen verim kalibrasyon eğrilerinde görmek mümkündür. Kalıntının 100 mg olduğu noktada beta parçacığının tayin verimi yaklaşık %40 iken alfa parçacığında bu değer %15'in altına düşmektedir. Verimi mümkün olduğunca yüksek tutmak için, EPA 900.0 metodunda tavsiye edilen maksimum kalıntı miktarı olan 100 miligramı geçmeyecek şekilde, su ve toprak numuneleri 20.1 ile 98.7 mg arasında hazırlanarak sayıldı.

Crosstalk kalibrasyonu için yine alfa kaynağı olarak Am-241 ve beta kaynağı olarak Sr-90 standartlarından aşağıda verilen kalıntılarda kaynaklar hazırlayarak sayımları gerçekleştirildi ve % verim değerleri hesaplandı. Sonuç olarak crosstalk verim kalibrasyon eğrisi elde edildi.

Çizelge 3.2 Crosstalk Kalıntı-%Verim değerleri

Kalıntı (mg)	Verim (%)
8,74	39,06
22,44	35,18
31,17	32,92
35,27	34,87
52,58	34,21
65,66	33,94
72,35	35,81
80,64	33,77
92,12	33,61
113	35,1
122,6	34,22



Şekil 3.15 Crosstalk verim kalibrasyon eğrisi

Laboratuvar ortamındaki zemin sayımını belirlemek için dedektörde 20 defa numune olmadan sayım yapıldı ve ortalamalar hesaplanarak alfa 0.072 cpm, beta 0.634 cpm bulundu. Bu zemin sayımı değerleri Bölüm 2.5.3'te verilen ÖMD hesaplama formülünde ilgili yerlere yazılarak, ÖMD alfa için 0.037 Bq.L^{-1} ve beta için 0.045 Bq.L^{-1} bulundu.

Dedektörde yapılan bu işlemler aktivite hesabında kullanılmak üzere sisteme kaydedildikten sonra desikatörde 3 gün bekletilen numunelerin sayım işlemine geçildi. Dedektörlerin bağlı olduğu bilgisayarda kurulu olan Vista 2000 programına her numuneye özgü bilgiler yazıldı. Bunlar sırasıyla; numunenin adı, mg cinsinden kalıntı miktarı, hacim olarak su numuneleri için kullanılan suyun mililitresi veya toprak numunelerinin % nem eklenmiş mg değerleri, tartım belirsizliğinin hesaplanabilmesi için terazinin hata payı, hacim belirsizliğinin hesaplanabilmesi için A sınıfı balon jolenin hata payı ve son olarak tarihtir. EPA 900.0 standart metoduna uygun şekilde %90 Argon %10 Metan olan P10 gazı olarak da bilinen gaz karışımı dedektörün içinden dakikada 50 mL geçecek şekilde ayarlandı. Sayım süresi standart sapmanın en ideal seviyeye düştüğü 900 dakika olarak seçildi. Hesaplama işlemi için kullanılan denklem sonucunda $k=2$ seviyesinde, %95 güven aralığında su numuneleri için Bq/L, toprak numuneleri için Bq/kg birimlerinde aktivite değerleri hesaplandı.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Çizelge 4.1 Su Örneklerinde Ölçülen Toplam Alfa ve Toplam Beta Aktiviteleri

Su Örneğinin Alındığı Kaynak		Ölçümün Yapıldığı Tarih	Kalıntı Miktarı (mg/100 cm ³)	Toplam α Aktivitesi (Bq.L ⁻¹)	Toplam β Aktivitesi (Bq.L ⁻¹)	Ortalama Sonuç (Bq.L ⁻¹) (Birleştirilmiş st sapma ile)
Asartepe Barajı	Kış	13.12.2018	63.3	0,049 ± 0,029	0,190 ± 0,030	Alfa Kış Ort = 0,072±0,037 Beta Kış Ort = 0,194±0,032
		13.12.2018	63.8	0,054 ± 0,030	0,787 ± 0,047	
		31.01.2019	55	0,103 ± 0,032	0,861 ± 0,049	
		31.01.2019	56.8	0,082 ± 0,031	0,197 ± 0,029	
		31.01.2019	55.6	≤ ÖMD*	0,123 ± 0,026	
	Yaz	24.05.2019	66	≤ ÖMD	0,101 ± 0,027	Alfa Yaz Ort = ≤ ÖMD Beta Yaz Ort = 0,110±0,030
30.05.2019	67.4	≤ ÖMD	0,108 ± 0,028			
30.05.2019	57.7	≤ ÖMD	0,106 ± 0,027			
Bayat Köyü Göleti	Kış	13.12.2018	52.8	0,080 ± 0,029	0,110 ± 0,027	Alfa Kış Ort = 0,078±0,036 Beta Kış Ort = 0,118±0,038
		13.12.2018	53.4	0,076 ± 0,027	0,127 ± 0,026	
		10.01.2019	52.7	0,043 ± 0,026	0,133 ± 0,027	
		14.02.2019	28.9	0,113 ± 0,045	0,102 ± 0,049	
	Yaz	24.05.2019	71	≤ ÖMD	0,122 ± 0,029	Alfa Yaz Ort = ≤ ÖMD Beta Yaz Ort = 0,101±0,030
		30.05.2019	76.4	≤ ÖMD	0,080 ± 0,025	
Başayaş Köyü Çeşme	Kış	13.12.2018	23.6	0,047 ± 0,019	0,073 ± 0,024	Alfa Kış Ort = 0,052±0,022 Beta Kış Ort = 0,067±0,026
		13.12.2018	24	0,061 ± 0,020	0,075 ± 0,024	
		10.01.2019	23.9	0,050 ± 0,020	0,052 ± 0,023	
		05.02.2019	24.6	≤ ÖMD	≤ ÖMD	
	Yaz	24.05.2019	26.8	≤ ÖMD	≤ ÖMD	Alfa Yaz Ort = ≤ ÖMD Beta Yaz Ort = 0,046±0,025
		30.05.2019	31.8	≤ ÖMD	≤ ÖMD	
30.05.2019		23.9	≤ ÖMD	0,097 ± 0,025		

Çizelge 4.1 Su Örneklerinde Ölçülen Toplam Alfa ve Toplam Beta Aktiviteleri (devam)

DSİ Göleti	Kış	12.12.2018	79.9	$0,201 \pm 0,047$	$0,280 \pm 0,031$	Alfa Kış Ort = 0,221±0,058 Beta Kış Ort = 0,297±0,037
		10.01.2019	92.4	$0,208 \pm 0,055$	$0,294 \pm 0,034$	
		10.01.2019	91.3	$0,232 \pm 0,056$	$0,366 \pm 0,036$	
		05.02.2019	83.5	$0,230 \pm 0,052$	$0,260 \pm 0,032$	
		05.02.2019	85	$0,237 \pm 0,051$	$0,284 \pm 0,032$	
	Yaz	24.05.2019	94.7	$0,098 \pm 0,029$	$0,224 \pm 0,033$	Alfa Yaz Ort = 0,091±0,031 Beta Yaz Ort = 0,189±0,036
30.05.2019	87.9	$0,086 \pm 0,027$	$0,188 \pm 0,032$			
30.05.2019	105.3	$0,088 \pm 0,028$	$0,156 \pm 0,031$			
Gökler Köyü Göleti	Kış	07.01.2019	48.2	$0,247 \pm 0,060$	$0,251 \pm 0,051$	Alfa Kış Ort = 0,256±0,070 Beta Kış Ort = 0,284±0,060
		07.01.2019	49.9	$0,236 \pm 0,063$	$0,321 \pm 0,057$	
		10.01.2019	49.9	$0,286 \pm 0,067$	$0,282 \pm 0,054$	
	Yaz	24.05.2019	110.2	$0,147 \pm 0,034$	$0,249 \pm 0,032$	Alfa Yaz Ort = 0,0165±0,040 Beta Yaz Ort = 0,225±0,035
		30.05.2019	111.2	$0,157 \pm 0,036$	$0,177 \pm 0,029$	
		30.05.2019	107.5	$0,190 \pm 0,039$	$0,251 \pm 0,033$	
Taş Ocakları Küçük Su Birikintisi	Kış	13.12.2019	65.8	$0,087 \pm 0,033$	$0,081 \pm 0,025$	Alfa Kış Ort = 0,073±0,035 Beta Kış Ort = 0,062±0,028
		13.12.2018	65.9	$0,053 \pm 0,032$	$\leq \text{ÖMD}^*$	
		05.02.2019	55.1	$0,080 \pm 0,030$	$0,061 \pm 0,025$	
	Yaz	24.05.2019	86.6	$0,061 \pm 0,024$	$\leq \text{ÖMD}$	Alfa Yaz Ort = 0,053±0,025 Beta Yaz Ort = $\leq \text{ÖMD}$
		24.05.2019	81.6	$\leq \text{ÖMD}$	$\leq \text{ÖMD}$	
		30.05.2019	81.3	$0,070 \pm 0,024$	$\leq \text{ÖMD}$	

Taş Ocakları Büyük Su Birikintisi	Kış	12.12.2018	23.2	≤ ÖMD*	0,066 ± 0,025	Alfa Kış Ort = ≤ ÖMD Beta Kış Ort = 0,074±0,027
		10.01.2019	23.6	≤ ÖMD	0,088 ± 0,024	
		10.01.2019	23.9	≤ ÖMD	0,073 ± 0,023	
		31.01.2019	20.3	≤ ÖMD	0,067 ± 0,024	
		31.01.2019	20.1	≤ ÖMD	0,074 ± 0,023	
	Yaz	24.05.2019	69.2	0,061 ± 0,023	0,075 ± 0,026	Alfa Yaz Ort = 0,051±0,024 Beta Yaz Ort = 0,257±0,037
		24.05.2019	68.3	0,048 ± 0,022	0,103 ± 0,026	
		24.05.2019	67.7	0,045 ± 0,021	0,593 ± 0,042	

Çizelge 4.1 Su Örneklerinde Ölçülen Toplam Alfa ve Toplam Beta Aktiviteleri (devam)

≤ ÖMD*: Ölçülebilen Minimum Değerler olan alfa için 0.037 Bq.L⁻¹ ve beta için 0.045 BqL⁻¹'den küçük veya eşit

Çizelge 4.2 Toprak Örneklerinde Ölçülen Toplam Alfa ve Toplam Beta Aktiviteleri

Toprak Örneğinin Alındığı Alan	Ölçümün Yapıldığı Tarih	Kalıntı Miktarı (Mg)		Toplam α Aktivitesi (Bq.kg ⁻¹)	Toplam β Aktivitesi (Bq.kg ⁻¹)	Ortalama α Aktivitesi (Birleşik st Sapma İle) (Bq.kg ⁻¹)	Ortalama β Aktivitesi (Birleşik st Sapma İle) (Bq.kg ⁻¹)
Asartepe Barajı	07.02.2019	94.22	89.1	385,964 ± 68,302	708,378 ± 46,167	286,239±63,335	736,077±59,009
	11.02.2019	93.94	89.1	255,279 ± 42,514	719,018 ± 48,987		
	11.02.2019	96.89	91.9	217,475 ± 39,372	780,837 ± 49,327		
Bayat Göleti	07.02.2019	79.05	73.3	321,328 ± 63,079	1.451,689 ± 70,573	259,450±60,862	776,816±58,600
	13.02.2019	88.76	87	323,519 ± 67,488	769,088 ± 50,602		
	11.02.2019	73.29	71.9	219,712 ± 44,827	840,374 ± 58,633		
	11.02.2019	95.49	93.6	173,242 ± 36,199	720,987 ± 47,365		
DSİ Göleti	11.02.2019	84.52	72.3	92,669 ± 29,593	239,591 ± 36,793	132,768±42,342	266,728±38,853
	11.02.2019	107.15	91.7	112,381 ± 28,482	314,654 ± 34,115		
	07.02.2019	96.82	80.5	193,256 ± 51,140	245,940 ± 33,249		
Gökler Köyü Göleti	11.02.2019	97.56	90.3	217,614 ± 38,237	640,498 ± 45,478	251,272±53,23	663,051±51,80
	11.02.2019	99.18	91.4	209,075 ± 37,769	687,275 ± 45,811		
	07.02.2019	85.75	78.2	327,129 ± 62,558	661,381 ± 47,681		
Taş Ocakları Su Birikintileri Alanı	11.02.2019	82.77	81.5	117,428 ± 33,156	148,800 ± 34,750	104,084±44,928	143,784±37,403
	11.02.2019	100.23	98.7	160,903 ± 33,920	141,094 ± 28,179		
	07.02.2019	75.51	74.3	139,842 ± 50,937	141,458 ± 36,824		

Çizelge 4.3 Toprak Örneklerinde Ölçülen ^{40}K , ^{137}Cs , ^{226}Ra ve ^{232}Th Aktiviteleri

Toprak Örneğinin Alındığı Alan	^{40}K aktivitesi (Bq.kg ⁻¹)	^{137}Cs Aktivitesi (Bq.kg ⁻¹)	^{226}Ra Aktivitesi (Bq.kg ⁻¹)	^{232}Th Aktivitesi (Bq.kg ⁻¹)	Ölçümün Yapıldığı Tarih
Asartepe Barajı	820 ± 35	2,2 ± 1,2	50,2 ± 5,7	58,3 ± 7,6	06.11.2019
Bayat Barajı	795 ± 60	≤ ÖMD (0,3)	58,9 ± 5,2	77,3 ± 5,8	06.11.2019
DSİ Göleti	160 ± 24	≤ ÖMD (0,3)	14,5 ± 3,0	≤ ÖMD (2,2)	06.11.2019
Gökler Köyü Göleti	495 ± 45	9,9 ± 2,4	38,4 ± 5,1	39,6 ± 7,8	06.11.2019
Taş Ocakları Su Birikintileri Alanı	32,2 ± 13,8	≤ ÖMD (0,3)	35,0 ± 4,1	≤ ÖMD (2,2)	06.11.2019

ÖMD: Ölçülebilen Minimum Değer

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bölüm 3.2.1’de verildiği gibi Ankara ili Ayaş ilçesi civarında toplam 7 istasyon seçilerek su örnekleri iki farklı zamanda alındı ve toplam alfa ve toplam beta aktiviteleri ölçüldü. Bu 7 istasyon; DSİ Göleti, Gökler Köyü Göleti, Asartepe Barajı, Bayat Göleti, taş ocaklarının yakınlarındaki iki su birikintisi ve yöre halkının suyunu içme amaçlı kullandığı Başayaş Köyü çeşmesidir. Başayaş Köyü çeşmesi toprak altından sızan suların bir depoda toplandığı tipik bir Anadolu kırsalı çeşmesi olup, Başayaş Köyüne kuş uçuşu 1060 m mesafede, denizden 1326 m yüksekte bir tepenin yamacında bulunmaktadır. Yöre halkı kesin tarih verememekle birlikte bu tepelik formasyonun güneyinden bir dönem linyit kömürü çıkartılıp satıldığını bildirmektedir. Tepenin en yüksek yeri ile çeşme arasında 326 m yükseklik farkı bulunmaktadır. Çeşmeden son derece yumuşak bir su çıkmakta olup alınan su örneklerinde atomik absorpsiyon spektrometri alev yöntemiyle (FAAS) yapılan analizlerde suyun sertliği yaz-kış $3,42 \pm 0,56$ FS° olarak bulunmakta, Fe ve Mn tayin sınırlarının altında bulunmaktadır. Çeşme yöre halkı tarafından büyük rağbet gördüğü için ölçülecek istasyon olarak seçilmiştir.

Diğer istasyonlardan Asartepe Barajı ve Bayat Göleti Ayaş’ın kuzey doğusunda bulunmakta olup iki göletin yaklaşık denizden yükseklikleri sırasıyla 920 ve 1010 m’dir. Her iki gölette İlhan Çayı adı verilen derenin üzerine inşa edilmiştir. DSİ Göleti ve Gökler Köyü Göletleri ise Ayaş’ın güneydoğusunda bulunmakta olup deniz seviyesinden yükseklikleri sırasıyla 1016 ve 920 m’dir. İki göletin de sürekli bir kaynağı yoktur. Her ne kadar DSİ Göleti, Ayaş Deresi adı verilen bir dere üzerine inşa edilmiş olsada bu dere yazın neredeyse tamamen kurduğundan göletlerin su kaynağı sadece kış mevsiminden sonra eriyen kar ve yer altı suyunun birikmesidir. Taş ocakları su örnekleri, kuş uçuşu 500 m ve 1000 m mesafede bulunan, derinlikleri yaklaşık 3-4 m olan ve çapları büyük olanın 36 m, küçük olanın 15 m olduğu iki adet su birikintisinden alınmıştır. Bu su birikintileri Abdüsselam Dağı’nın batısına açılmış olan iki büyük taş ocağından ve dağın yamacından gelen sel sularının toplanmasıyla oluşmuş olup taş ocakları etrafında buna benzer çok sayıda su birikintisine rastlanmaktadır. Taş ocaklarına yakın olduğu için bu su birikintileri seçilmiştir. Deniz seviyesinden yükseklikleri 1210 m civarındadır.

Başayaş çeşmesi dışında her istasyondan toprak örnekleri toplanmış, su birikintileri aynı yerde olduğu için bu alandan tek bir toprak örneği alınmıştır. Sonuçta Asartepe Barajı, Bayat Göleti, Gökler Köyü Göleti, DSİ Göleti ve su birikintisi olmak üzere toplam 5 toprak örneği toplanarak bu topraklarda toplam alfa ve toplam beta aktiviteleri ölçülmüştür. Ayrıca toprak örneklerinde TAEK tarafından gama analizi yapılmış ve ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{137}Cs aktiviteleri ölçülmüştür. Mevsimsel olarak göletlerdeki su miktarı çok değişkenlik gösterir. Bu durumun temsil etmesi açısından ilk örnekler göletlerde suyun oldukça az olduğu Kasım ayı içinde, ikinci örnekler ise suyun oldukça bol olduğu Mayıs ayı içinde alınmıştır. Toprak örnekleri sadece Aralık ayında toplanmıştır. Ölçüm sonuçları Çizelge 4.1, Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3'te sırasıyla verilmiştir.

Çizelgedeki sonuçlar incelendiğinde 6 adet çıkarım yapılmıştır. Bunlar;

1. Su örneklerinde kalıntı miktarları yazın, kış mevsimine oranla daha fazla bulunmaktadır. Bu durum son derece normal bir durumdur çünkü yaz ve kış başlarında göletlerin su rejimleri farklıdır. Kış olarak nitelendirilen su örnekleri Kasım 2018 içinde alınmış olup bu dönem göletlerde suyun en durgun ve en az olduğu dönemdir. Yaz olarak nitelendirilenler ise Mayıs 2018 içinde alınmış olup göletlere su akışının çok fazla olduğu, su seviyesinin en yüksek olduğu ve suyun gölette en hareketli olduğu dönemdir. Dolayısıyla su örneği göze her ne kadar homojen görünsede koloidal dağılmış partiküllerin yoğun olduğu dönemde su örnekleri alınmıştır. Bu sebepten dolayı tüm örneklerde bu durumun gözlenmesi normal bir durumdur.
2. Yaz döneminde alınan su örneklerindeki toplam alfa ve toplam beta aktiviteleri, kış döneminde alınan örneklerin toplam alfa ve toplam beta aktivitelerinden daha düşüktür. Bu durumda beklenen bir sonuçtur çünkü Bölüm 3.2.1'deki fotoğraflardan da görüleceği gibi yaz döneminde göletlerdeki su miktarı kışa oranla oldukça fazla olduğundan radyoaktif ışımalara sebep olan taneciklerinde derişimlerinin azalması beklenen bir durumdur. Bundan dolayı toplam alfa ve toplam beta değerleri suyun minimum seviyede olduğu kış dönemine göre azalmaktadır.
3. Su örneklerinin sonuçlarında görülen ve bu tez çalışmasının hipotezini doğrulayan en önemli gözlem ise taş ocaklarına yakın bulunan göletlerde toplam alfa ve toplam

beta değerlerinin uzak olan göletlerin aktivitelerinden yüksek olmasıdır. Çizelge 4.1'den görüleceği üzere toplam alfa ve toplam beta aktiviteleri, taş ocaklarına yakın olan Gökler Köyü Göleti ve DSİ Göletinde, uzakta olmaları sebebiyle seçilen Asartepe Barajı ve Bayat Göletine kıyasla daha fazladır. Bu sonuçlar çalışmanın hipotezine uymaktadır.

Kayaçlar parçalandıkça içlerinde sıkışmış ve hapsolmuş olan Rn gazı atmosfere karışmakta ve radyoaktif parçalanma serisindeki parçalanmasına devam etmektedir. Bu durum atmosferle temasta olan su örneklerinde alfa ve beta aktivitesi olarak gözlenmektedir.

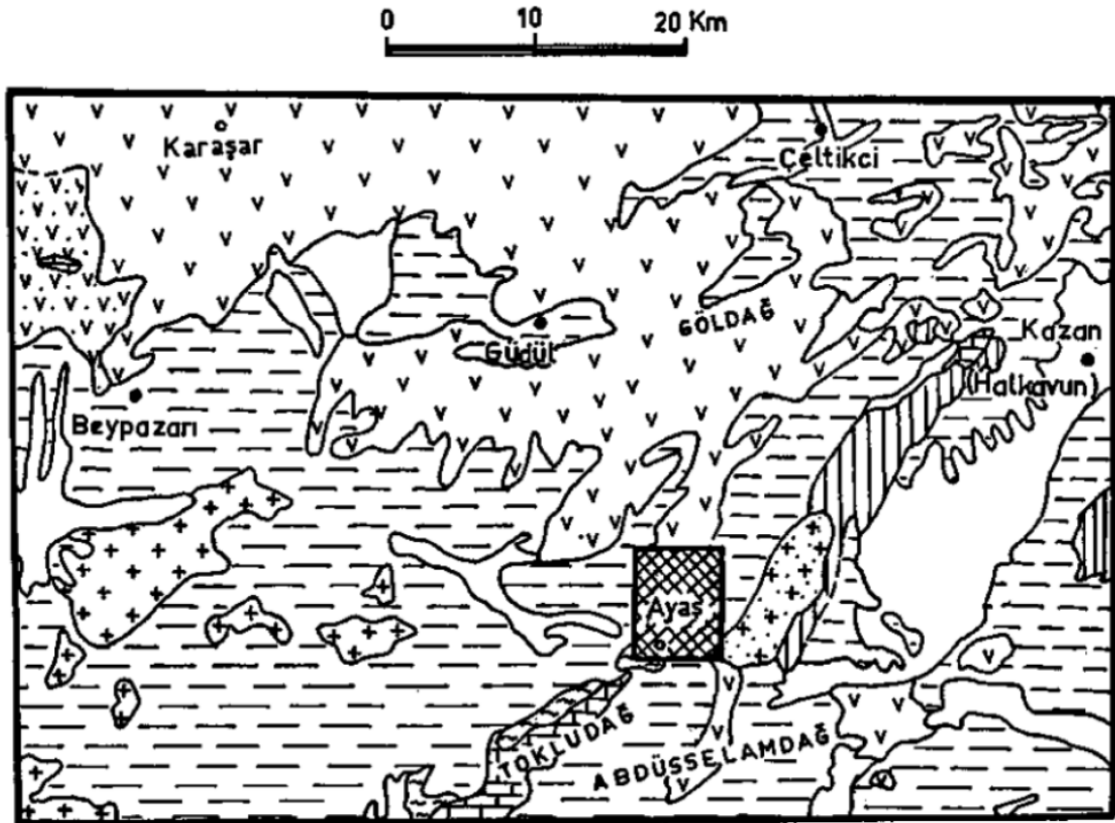
4. Başayaş çeşmesinden alınan su örnekleri toplam alfa ve toplam beta aktivitelerinin en düşük olduğu örneklerdir. Bu durum da çalışmanın hipotezi olan düşünce ile uyum halindedir. Başayaş çeşmesinden çıkan su, atmosferle temas etmediğinden; taş ocaklarından atmosfere nispeten fazla karıştığını düşündüğümüz Rn gazıyla da temas etmemektedir.
5. Su örneklerinde bu çalışmanın hipotezi ile uyuşmayan nokta taş ocaklarından alınan örneklerde ortaya çıkmaktadır. Çizelge 4.1'den dikkat edilirse örnek alınan her iki su birikintisinde de toplam alfa ve toplam beta değerleri DSİ Göleti ve Gökler Köyü Göletine oranla daha düşüktür hatta kuzeybatıda bulunan taş ocaklarına uzak olarak seçilen Asartepe Barajı ve Bayat Göletine oranla bile daha düşük aktivite değerleri ölçülmüştür. Bu durumu açıklamak oldukça düşündürücüdür. Örnek alınan su birikintileri, fotoğraflarından da görüleceği gibi diğer su kaynaklarına göre oldukça küçük kaynaklardır. Bu su birikintileri gerçekte taş ocaklarının lagünleridir. Taş ocaklarında taş kırma proseslerinde kullanılan soğutma suyunun boşaltılması için taş ocağı işletmeleri tarafından yapılmış yapay su birikintileridir. Oldukça dik bir yamacın başına açılmış oldukları için sel sularını da toplarlar. Bölüm 3.2.1'de verilen fotoğraflardan da görüleceği gibi bu lagünlere boşaltılan su içindeki partiküller zamanla dibe çökerek beyaz tortul bir tabaka oluşturur. Bunun yanı sıra özellikle küçük su birikintisinin etrafında oldukça aktif bir bitkisel yaşam söz konusudur. Kış mevsiminde bile aktif bir şekilde su bitkileri gelişimi söz konusu olup yaz döneminde bu bitkisel gelişim artmaktadır. Ayrıca su birikintilerinin yani

lagünlerin dibinde oldukça yoğun bir alg oluşumu gözlenmiş olup bu alglerin arasında kurbağa ve semender gibi canlılara da rastlanmıştır. Su birikintilerinde suyun sürekli değiştiği bir dinamikten mi yoksa sazların ve alglerin yüksek absorpsiyon etkilerinden midir karar vermek oldukça zor olsada gerçek olan bu su birikintilerinde toplam alfa ve toplam beta aktivitelerinin düşük olması ve bunun çalışmanın hipotezi ile uyuşmamasıdır. Bununla birlikte su bitkilerinin özellikle su yosunlarının çevre kimyasında kirlenmeleri değerlendirmek için kullanılan izleyici bitkiler sınıfından olması sebebiyle radyoaktiviteye sebep olan materyalleri absorplaması düşüncesi ağır basmaktadır.

6. Toplanan toprak örneklerinde bulunan toplam alfa ve toplam beta aktivite sonuçları ise su örnekleri ile tam terstir. Toprak örneklerinde, 5. çıkarımdaki sonuçlarla ters olacak şekilde, toplam alfa aktivitesi Gökler Köyü Göleti ve DSİ Göletinde, Asartepe Barajı ve Bayat Göletinden daha düşüktür. Benzer şekilde toplam beta aktiviteleri de Gökler Köyü Göleti ve DSİ Göleti, Asartepe Barajı ve Bayat Göletinden daha düşüktür.

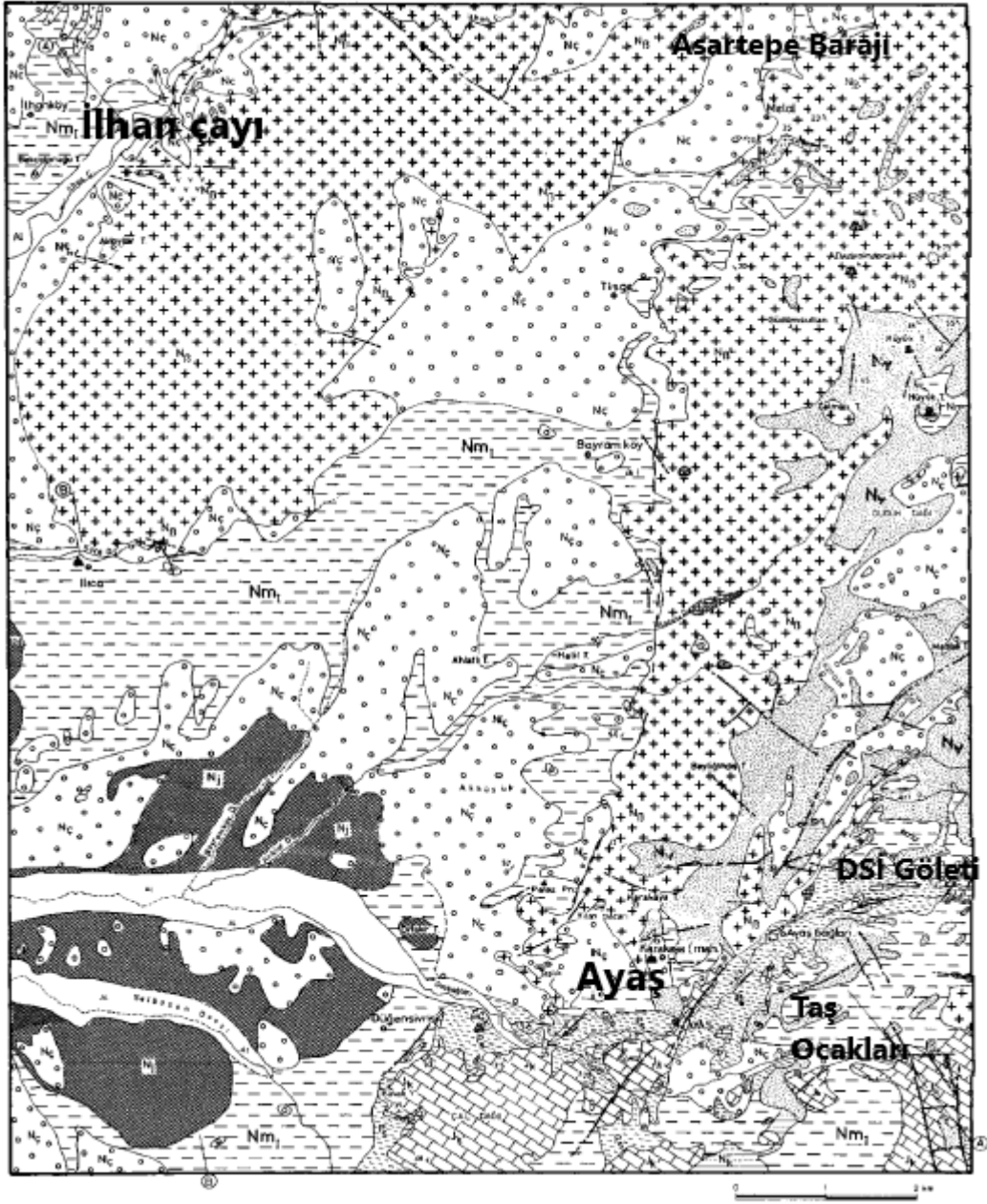
Bu çalışma planlanırken Ayaş ilçesinin jeolojik özellikleri dikkate alınmadan bir planlama yapılmıştır ve bu çalışmanın başlangıçta öngörülemeyen en büyük eksik noktasıdır. Ayaş ilçesindeki jeolojik yapı dikkate alınacak olursa, 6. çıkarımın son derece normal bir durum olduğu ortaya çıkacaktır. Ankara'nın batısında Polatlı'nın kuzeyinden itibaren kuzeydoğu yönüne doğru yer yer deniz seviyesinden yüksekliği 1500 m olan, ortalama 1000-1200 m yükseklikte bir dağ formasyonu bulunmaktadır. Bu dağ formasyonu kuzeyde Köroğlu Dağları ile kesişim halindedir. Ayaş ilçesi bu dağ formasyonunun batısında yer almaktadır. Ankara'dan batı yönüne gidildikçe Yenikent yerleşim biriminden sonra Balaban Dağları adı verilen bu dağ silsilesi ortaya çıkar. Arazi yükselmeye başlar ve ardından yükseklikleri 1190 ve 1195 m olan Aysanti Beli ve Ayaş Beli adı verilen iki geçitten sonra deniz seviyesinden yüksekliği yaklaşık 720 m olan dağ silsilesinin batı yamacındaki Ayaş ilçesine gelinir. Balaban Dağlarında kaynağı belli olmayan, daha çok kar erimeleri sonucu ve yağmur sularından meydana gelen ve yazın hemen hemen kuruyan çok sayıda dere mevcuttur. Bunlardan bir tanesi Ayaş deresidir ve Ayaş'ın içinden geçerek yaklaşık 15 km batıda İlhan Çayı adı verilen, suyu daha bol olan bir çaya karışır. İlhan Çayı, Ayaş'ın daha kuzeyinde olup, yine Balaban

Dağları'ndan doğan bir çaydır. Asartepe Barajı ve Bayat Göletinin her ikisinde bu çay üzerinde inşa edilmişlerdir. Daha kuzeyde ise Kızılcahamam dolaylarından gelen Kirmir Çayı adı verilen bir çay bulunmakta olup İlhan Çayı Ayaş'tan yaklaşık 25 km batıda Kirmir çayına katılmaktadır. İşte jeolojik olarak Kirmir ve İlhan Çayları civarındaki kayaç formasyonları ile Ayaş Deresi etrafındaki ve Ayaş'ın güneyinde Balaban Dağları eteklerinde ve taş ocaklarının bulunduğu çevrelerdeki jeolojik yapı oldukça farklıdır. Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'deki Ayaş Deresi etrafındaki ve Ayaş'ın güneyinde Balaban Dağları eteklerinde ve taş ocaklarının bulunduğu çevrelerdeki jeolojik yapı oldukça farklıdır. Şekil 5.1'de Ayaş civarındaki kayaç formasyonları ve Ayaş civarının jeolojisi verilmektedir [Ali Şahinci, Karakaya (Ayaş) Ilıca Köyü Çevresi Jeolojisi – Hidrojeoloji Etüdü, Maden Tetkik Arama Dergisi, sayı 84, cilt 84, (1975) 1-10. <http://www.gultekinkavusan.com/infolok2.html>].



Şekil 5.1 Beypazarı-Ayaş-Kazan Arasında Jeolojik Kayaç Formasyonları

(v v v: Volkanik kütleler (bazalt ve andezit), — — —: Kalker kumtaşı ağırlıklı formasyonlar)



Şekil 5.2 Ayas Civarında Daha Küçük Ölçekli Olarak Jeolojik Kayaç Formasyonları

Haritada görülen +++++ ile taranmış bölgeler bazalt kayaçların hakim olduğu bölgeleri, o o o o ile taranmış bölgeler serbest kumtaşı, konglomera ve çakılları, tuğla şeklinde ve - - - - taranmış bölgeler kalker ağırlıklı bölgeleri ve marn formasyonlarını göstermektedir. Haritanın skalası 2 km'yi göstermektedir.

Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'ye dikkat edilirse Ayas'ın kuzeyi ve güneyinin jeolojisi arasında önemli bir fark bulunmaktadır. Ayas'ın kuzeyinde İlhan Çayı civarında volkanik kayaçlar olan bazalt ve andezitler bulunmakta, güney yönünde ise kalker ve marnlar

ağırlıklı olarak bulunmaktadır. Sadece Ayaş'ın hemen güney batısında bulunan ve Abdüsselam Dağı adı verilen (1590m) tepenin batısında küçük bir alanda volkanik kayalar bulunmakta olup Gökler Köyü Göleti yaklaşık bu bölgededir. Bu durum büyük olasılıkla Gökler Köyü Göletinden alınan toprak örneklerinin toplam alfa ve toplam beta aktivitesinin DSİ Göletine göre yüksek olmasını ve hatta Asartepe Barajı ve Bayat Göletindeki aktivitelere yakın olmasını açıklamaktadır. Bazalt ve andezitlerin yapısında magmatik kayaç olan granit bulunur. Granitin kimyasal yapısında yaklaşık % 4 civarında K_2O bulunmaktadır. Başka bir deyişle Ayaş'ın kuzeyinde Asartepe Barajı ve Bayat Göleti civarındaki kayalarda K miktarı çok daha fazladır ve bu durum ^{40}K aktivitesinin yüksek olmasına sebep olacaktır. Nitekim bu alanlarda ^{40}K aktivitesi oldukça yüksektir.

Sonuç olarak tezin başında belirtilen ve temel düşünce olan; taş ocaklarının doğal radyoaktiviteye olan etkileri, özellikle DSİ Göleti ve Gökler Köyü Göleti'nin toplam alfa ve toplam beta aktivite sonuçlarıyla gösterildi. Ancak kesin bir tanı koyabilmek için öncelikle diğer taş ve maden ocaklarının etrafında bulunan su birikintileri ile bölgenin jeokimyasal yapısı dikkate alınarak seçilen referans su birikintilerinin aktiviteyi arasındaki benzerlik veya farkı kıyaslamak gerekir. Bir diğer kayda değer sonuç ise hiçbir kaynaktaki su numunesinin toplam alfa veya toplam beta aktivite değerlerinin WHO'nun belirlediği, suyun insani tüketim amaçlı kullanılabilmesi için gereken maksimum değerler olan alfa için 0.5 Bq.L^{-1} ve beta için 1 Bq.L^{-1} 'i geçmemesidir. İçme suyu olarak kullanılmalarında radyoaktif açıdan bir engel bulunmamaktadır. Toprak ölçümlerinde ise gerek toplam alfa ve toplam beta sonuçlarıyla gerekse gama analiz sonuçlarıyla bölgedeki jeokimyasal yapı hakkında daha önce yapılmış olan çalışmalar ile paralel sonuçlar bulundu ve sulardaki aktiviteler ile karşılaştırması yapıldı.

KAYNAKLAR

- Bal, S.Ş., Kuluöztürk, M.F., Doğru, M., 2012, “Elazığ İli İçme ve Kullanım Sularındaki Toplam Alfa ve Beta Radyoaktivite Seviyelerinin Belirlenmesi”, Elazığ
- Cengiz, G.B., Göksu, V., ERTAP, H., 2017, “Iğdır Yöresinde Çevresel Radyoaktivitenin Belirlenmesi”, Iğdır
- Curtis, S.B., Mccall, R.C., Memhold, C.B. Thomas, R.H., 1971, “ICRU Reports”, Washington U.S.A.
- Görür, Ş., 2006, Çevresel radyoaktivite ile bu çevrede yaşayanlara ait dış örneklerindeki radyoaktivite arasındaki ilişkinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 89, Adana
- <http://www.gultekinkavusan.com/infolok2.html> Erişim Tarihi: 18.11.2019
- <http://www.taek.gov.tr/ogrenci/images/image006.jpg> Erişim Tarihi: 16.06.2019
- <https://www.afad.gov.tr/tr/23711/Radyasyon-Kaynaklari> Erişim Tarihi: 03.08.2019
- <https://www.taek.gov.tr/ogrenci/sf5.html> Erişim Tarihi: 18.06.2019
- Karahan, G., Öztürk, N., Bayülken, A., 2000, “Natural radioactivity in various surface waters in İstanbul, Turkey”, İstanbul
- Kaya, A., Kaya, S., Karabidak, S.M., 2016, “Gümüşhane Merkez ve Merkeze Bağlı Bahçecik Köyü Su Kaynaklarının Radyoaktivitesinin Tayini”, Gümüşhane
- Knoll, G.F., 1989. Radiation Dedection and Measurement, John Wiley & Sons, Inc., U.S.A
- Kobyay, Y., Yeşilkanat, C.M., Çakır, B., 2014, “Artvin, Rize ve Trabzon’daki Doğal Kaynak Sularında Toplam Alfa, Toplam Beta Aktivite Değerlerinin Belirlenmesi ve Jeostatistiksel Olarak Modellenmesi”, Türkiye
- Krane, K., 1988, “Introductory Nuclear Physics”, Oregon Universty
- Krieger, D., 1975, “National Security and Nuclear Power”, 1975 Amerika
- Merdanoğlu, B. 2004. Kestanbol (Çanakkale) civarındaki su, toprak ve granit örneklerinde doğal radyoaktivitenin belirlenmesi. Çanakkale
- NCRP 97, 1988, “National Council on Radiation Protection and Measurements; Measurements of Radon and Radon Daughters in Air”, NCRP Report No.97
- Oliveira, J., Mazıllı, B.P., Sampa. M,H,O., Bambalas, E., 2001, “Natural radionuclides in drinking water supplies of São Paulo State, Brazil”, Brezilya
- Özger, G., 2005, Ceyhan, Yumurtalık ve Pozantı bölgelerinin doğal radyoaktivite düzeylerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 105, Adana

- Özmen, H., Külahcı, F., Çukurovalı, A., Doğru, M., 2004, “Concentrations of heavy metal and radioactivity in surface water and sediment of Hazar Lake (Elazığ, Turkey)”, Elazığ
- Öztürk, N., Yılmaz, Y.Z., 2000, “Trace Elements And Radioactivity Levels In Drinking Water Near Tunçbilek Coal-Fired Power Plant In Kütahya, Turkey”, Kütahya
- Palomo, M., Penalver, A., Borrull, F., Aguilar, C., 2007, “Measurement of radioactivity in bottled drinking water in Spain”, İspanya
- Pujol, L., Sanchez-Cabeza, J.A., 2000, “Natural and artificial radioactivity in surface waters of the Ebroriverbasin (NortheastSpain)”, İspanya
- Rangel, D.J.I., Rio, H.L., Garcia, F.M., Torres, L.L.Q., Villalba, M.L., Sujo, L.C., CABRERA, M.E.M., 2002, “Radioactivity in bottled waters sold in Mexico”, Meksika
- Sajo-Bohus, L., Gómez, J., Capote, T., Greaves, E.D., Herrera, O., Salazar, V., SMITH, A., 1997, “Gross alpha radioactivity of drinking water in Venezuela”, Venezuela
- Şahin, S.B., Gönültaş, F., Kılıç, Ö., 2017, “Bitlis Kaynak Sularında Toplam Alfa ve Toplam Beta Radyoaktivite Seviyelerinin Belirlenmesi”, Bitlis
- Şahinci, A., 1969, “Karakaya (Ayaş), Ilıca Çevresi Jeoloji – Hidrojeoloji Etüdü”, İzmir
- Teğin, İ., Yolbaş, İ., Acar, O. 2016, “Assessment of gross alpha and beta activity levels and element concentrations in SPA waters from Siirt and Şırnak, Turkey”, Siirt
- UNSCEAR, 2000 Report, “United Nations Scientific Committee on The Effects of Atomic Radiation Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiations”, New York
- Yalim, H.A., Akkurt, İ., UnaL, R., 2007, “The measurement of radon and radium concentrations in well water in the Afyonkarahisar area of Turkey”, Afyonkarahisar

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Kadri Furkan NAZIR

Doğum Yeri : Ankara

Doğum Tarihi : 28.09.1992

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Yahya Kemal Beyatlı Anadolu Lisesi (2010)

Lisans : Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Kimya Bölümü (2016)

Yüksek Lisans : Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı

Çalıştığı Kurum ve Yılı

Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (2017-