

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KULAKÇAYIRI GÖLÜNÜN DOĞAL RADYOAKTİVİTE VE AĞIR METAL
KİRLİLİĞİNİN BELİRLENMESİ**

GÜLDEREN AÇIKGÖZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI
FİZİK PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. EROL KAM**

İSTANBUL, 2018

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KULAKÇAYIRI GÖLÜNÜN DOĞAL RADYOAKTİVİTE VE AĞIR METAL
KİRLİLİĞİNİN BELİRLENMESİ**

Gülderen AÇIKGÖZ tarafından hazırlanan tez çalışması 19.06.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Erol KAM
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Erol KAM
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Orhan İÇELLİ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Gürsel KARAHAN
Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi



Bu çalışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'nün 2016-01-01-YL02 20 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Tez çalışmamda danışmanım olan saygıdeğer hocam Prof. Dr. Erol KAM'a tezi hazırlamamda tecrübelerini paylaşması, ufkumu açması, her zaman sabırla yardım etmesi ve yol göstermesi sebebiyle en içten teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmada incelenen sediment numunelerini sağlayan ve Jeoloji ve Çevre Mühendisliği alanlarında bilgilerini paylaşan Namık Kemal Üniversitesi öğretim üyesi Yrd. Doç. Dr. Zeki Ünal YÜMÜN hocama teşekkürü bir borç bilirim.

Radyoaktif konsantrasyonların hesaplanması, gama doz hızı ölçümleri, elementel analizlerin tespiti, XRD analizi ve SEM görüntülerinin elde edilmesinde yardımcı olan ÇNAEM uzmanları Dr. Yusuf Ziya YILMAZ, Dr. Asiye BAŞSARI ve Dr. Ahmet YAYLI'ya çok teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olan ve maddi-manevi desteklerini esirgemeyen, bana güvenen ve inanan, haklarını hiçbir zaman ödeyemeyeceğim sevgili aileme minnettar ve müteşekkirim.

Haziran, 2018

Gülderen AÇIKGÖZ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	viii
KISALTMALAR.....	x
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
ÖZET	xiv
ABSTRACT	xvi
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	2
1.3 Hipotez	5
BÖLÜM 2	
RADYOAKTİVİTE	6
2.1 İzotoplar ve Radyoizotoplar	7
2.2 Yarı Ömür ve Bozunma Sabiti	8
2.3 Radyasyon Tipleri.....	9
2.3.1 İyonize Olmayan Radyasyon.....	9
2.3.2 İyonize Radyasyon	11
2.3.2.1 Alfa Radyasyonu (α)	11
2.3.2.2 Beta Radyasyonu (β^-).....	12
2.3.2.3 Gama (γ) ve X-Işınları	13
2.3.2.4 Nötronlar.....	15
2.3.2.5 Kozmik Radyasyon.....	17
2.4 Radyasyonun Madde ile Etkileşimi	17
2.5 Radyasyon Dozu ve Birimleri	20
2.5.1 Aktivite.....	20

2.5.2	Işınlanma Dozu	20
2.5.3	Soğurulan Doz.....	20
2.5.4	Eşdeğer Doz	21
2.5.5	Etkin Doz.....	22
2.6	Radyoaktif Bozunma Mekanizması.....	24
2.7	Doğal Radyoaktif Seriler.....	26
2.7.1	Toryum (Th)	27
2.7.2	Uranyum (U)	29
2.7.3	Aktinyum (Ac)	30
BÖLÜM 3		
AĞIR METALLER		33
3.1	Çinko (Zn)	34
3.2	Kobalt (Co)	34
3.3	Mangan (Mn)	35
3.4	Krom (Cr).....	35
3.5	Bakır (Cu).....	36
3.6	Nikel (Ni)	36
3.7	Kurşun (Pb).....	37
3.8	Vanadyum (V)	37
3.9	Stronsiyum (Sr).....	38
3.10	Baryum (Ba)	39
3.11	Zirkonyum (Zr).....	39
BÖLÜM 4		
RADYOKARBON (C-14) TARİHLENDİRME YÖNTEMİ.....		40
BÖLÜM 5		
ARAŞTIRMA YERİ VE ÖRNEK SEÇİMİ		43
5.1	Kulakçayırı Gölü'nün Genel Özellikleri ve Jeolojik Yapısı	43
5.2	Sediment Numunelerinin Sondaj Sistemi ile Elde Edilmesi	47
BÖLÜM 6		
MATERYAL VE YÖNTEM		49
6.1	Çevresel Radyonüklit Konsantrasyonlarının Ölçümü.....	49
6.1.1	Gama Spektrometri Analiz Sistemi	49
6.1.2	Enerji-Verim Kalibrasyonu	50
6.1.3	Radyoaktif Ölçüm İçin Numune Hazırlama.....	52
6.1.4	Ölçüm Metodu.....	53
6.2	Gama Doz Hızlarının Ölçülmesi.....	54
6.2.1	Gama Sintilasyon Dedektörü	54
6.2.2	Ölçüm Metodu.....	55
6.3	Ağır Metallerin İzlenmesi	55
6.3.1	X-Işını Floresan (XRF) Spektrometre Sistemi	55

6.3.1.1	Dalga Boyu Dağılımlı X-Işını Floresan (WDXRF) Spektrometresi..	57
6.3.2	Ölçüm Metodu.....	59
6.4	Sedimentlerin Morfolojik ve Minerolojik Yapılarının Araştırılması	60
6.4.1	XRD Analizleri.....	61
6.4.1.1	X-Işını Kırınımı (XRD)	61
6.4.1.2	XRD Ölçüm Metodu.....	61
6.4.2	SEM Görüntülerinin Alınması	62
6.4.2.1	Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)	62
6.4.2.2	SEM Ölçüm Metodu	65
6.5	Sedimentlerin Yaş Tayininin Yapılması	66
6.5.1	Hızlandırılmış Kütle Spektrometresi (AMS)	68
6.5.1.1	Çalışma Prensipleri	68
6.5.2	Ölçüm Metodu.....	69

BÖLÜM 7

SONUÇLAR VE ÖNERİLER	70
7.1 Çevresel Radyonüklitlerin Ölçüm Sonucu.....	70
7.2 Gama Doz Hızlarının Ölçüm Sonucu	72
7.3 Ağır Metal Analiz Sonuçları	75
7.4 SEM Görüntüleri ve XRD Analiz Sonuçları.....	77
7.5 Sedimentlerin Yaş Tayini ve Sedimentasyon Hızı	87
7.6 Tartışma ve Öneriler	89
KAYNAKLAR.....	92
ÖZGEÇMİŞ.....	100

SİMGE LİSTESİ

α	Alfa
β	Beta
γ	Gama
λ	Dalga boyu
Ac	Aktinyum
akb	Atomik kütle birimi
Al	Alüminyum
Am	Amerikyum
Ba	Baryum
Bi	Bizmut
Bq	Becquerel
C	Karbon
Ca	Kalsiyum
Cd	Kadmiyum
Ci	Curie
Co	Kobalt
Cr	Krom
Cu	Bakır
Cs	Sezyum
E	Enerji
e	Elektron
eV	Elektron volt
Fe	Demir
Ge	Germanyum
Gy	Gray
H	Hidrojen
He	Helyum
I	İyot
K	Potasyum
Li	Lityum
Mn	Mangan
n	Nötron
Na	Sodyum
Ne	Neon
Ni	Nikel

Np	Neptünyum
O	Oksijen
p	Proton
Pa	Protaktinyum
Pb	Kurşun
Po	Polonyum
Pu	Plütonyum
R	Röntgen
Ra	Radyum
Rn	Radon
Si	Silisyum
Sr	Stronsiyum
Sv	Sivert
$t_{1/2}$	Yarılanma süresi
Th	Toryum
Tl	Talyum
Ti	Titanyum
U	Uranyum
V	Vanadyum
Zn	Çinko
Zr	Zirkonyum

KISALTMALAR

AMS	Accelerated Mass Spectrometer, Hızlandırılmış Kütle Spektrometresi
ASTM	American Society for Testing and Materials, Amerikan Test ve Malzeme Kurumu
BEC	Backscattered electron imaging, geri saçılan elektron görüntüsü
ÇNAEM	Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi
EPA	United States Environmental Protection Agency, Çevre Koruma Ajansı
GPS	Global Positioning System, Küresel Konumlama Sistemi
HPGe	High-Purity Germanium Detector, Yüksek-Safılıkta Germanyum Dedektörü
ICNIRP	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, Uluslararası İyonize Olmayan Radyasyondan Korunma Komisyonu
ICP-OES	Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometer, İndüktif Eşleşmiş Plazma-Optik Emisyon Spektrometresi
IRMS	Isotope Ratio Mass Spectrometry, İzotop Oranı Kütle Spektrometresi
MDA	Minimum detectable activity, saptanabilen minimum aktivite
NBS	National Bureau of Standards, Ulusal Standartlar Bürosu
NIST	National Institute of Standards and Technology, Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü
PMT	Photomultiplier Tube, Foto-Çoğaltıcı Tüp
ppm	Parts per million, milyonda bir parçacık
ppb	Parts per billion, milyarda bir parçacık
SEI	Secondary electron image, ikincil elektron görüntüsü
SEM	Scanning Electron Microscope, Taramalı Elektron Mikroskobu
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
VHF	Very high frequency, çok yüksek frekans
WDXRF	Wavelength Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometry, Dalga Boyu Dağılımlı X-Işını Floresan Spektrometresi
XRF	X-Ray Fluorescence Spectrometry, X-Işını Floresan Spektrometresi
XRD	X-Ray Powder Diffraction, X-Işını Kırınımı

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2. 1	Günlük hayatta karşılaştığımız radyasyonun elektromanyetik spektrumdaki dağılımı.....	7
Şekil 2. 2	Yarı ömür süresince bozunmadan kalan çekirdek miktarı.....	9
Şekil 2. 3	Alfa parçacığının yayımlanması.....	12
Şekil 2. 4	Beta parçacığının yayımlanması.....	12
Şekil 2. 5	Gama ışını ve X-ışını yayımlanması	15
Şekil 2. 6	Fisyon sonucu açığa çıkan nötronlar	15
Şekil 2. 7	Bazı radyasyon tiplerinin penetrasyonu	16
Şekil 2. 8	Fotoelektrik etki	18
Şekil 2. 9	Compton saçılması	18
Şekil 2. 10	Çift oluşumu	19
Şekil 2. 11	Doku ve organ faktörleri	23
Şekil 2. 12	Tipik beta spektrumu	26
Şekil 2. 13	Toryumun bozunum serisi	28
Şekil 2. 14	Uranyumun bozunum serisi.....	30
Şekil 2. 15	Aktinyumun bozunum serisi	31
Şekil 4. 1	Canlı fosilinde kalan C-14 miktarının yaşa göre oranı.....	41
Şekil 5. 1	İnceleme alanı ve çevresinin jeoloji haritası	44
Şekil 5. 2	İnceleme alanı ve çevresinin genelleştirilmiş stratigrafik kesiti.....	46
Şekil 5. 3	Araştırma bölgesinin yer bulduru haritası	47
Şekil 5. 4	Çalışma alanı sondaj lokasyonu	48
Şekil 6. 1	Germanyum dedektörlü gama spektrometre diyagramı.....	50
Şekil 6. 2	Enerji-verim eğrisi	52
Şekil 6. 3	Numunelerin konulduğu polietilen malzemedan yapılmış marinelli kaplar	52
Şekil 6. 4	Gama spektrometrik analiz sistemi (ÇNAEM).....	53
Şekil 6. 5	ESP-2 sintilatör cihazı	54
Şekil 6. 6	(a) Karakteristik X-ışını emisyonu, (b) Auger elektron emisyonu	56
Şekil 6. 7	Floresan veriminin (w) atom numarası (Z) ile ilişkisi	57
Şekil 6. 8	Dalga boyu dağılım spektrometresinin şematik gösterimi	58
Şekil 6. 9	Pudra haline getirilen numunelerin hassas terazide tartılması işlemi.....	59
Şekil 6. 10	Selülozlu sediment numunelerinin preslenmesi.	60
Şekil 6. 11	Bruker D8 Advance marka XRD cihazı.....	62
Şekil 6. 12	SEM mikroskobunun şematik gösterimi	63
Şekil 6. 13	Numune ile elektron demetinin etkileşimi	64

Şekil 6. 14	SEM mikroskobu teçhizatı.....	65
Şekil 6. 15	SEM analizlerinin bilgisayarda görüntülenmesi.....	66
Şekil 6. 16	Tübitak MAM, AMS Laboratuvarı	67
Şekil 6. 17	Hızlandırılmış Kütle Spektrometresi (AMS).....	67
Şekil 7. 1	Aktivite konsantrasyonlarının dağılımı(Bq/kg)	71
Şekil 7. 2	Kulakçayırı Gölü ve çevresinin gama doz hızı değerleri	74
Şekil 7. 3	SK-1 numunesinin (derinliği 5-5,5 m) XRD grafiği.....	78
Şekil 7. 4	SK-2 numunesinin (derinliği 10-10,5 m) XRD grafiği.....	78
Şekil 7. 5	SK-3 numunesinin (derinliği 15-15,5 m) XRD grafiği.....	79
Şekil 7. 6	Farklı derinliklerden alınan üç sediment numunesinin piklerinin karşılaştırılması.	79
Şekil 7.7	SK-1 numunesinin (5-5,5 m) 60 kat büyütülmüş BEC görüntüsü.....	80
Şekil 7. 8	SK-1 numunesinin (5-5,5 m) 150 kat büyütülmüş SEI görüntüsü	81
Şekil 7. 9	SK-1 numunesinin (5-5,5 m) 200 kat büyütülmüş SEI görüntüsü	81
Şekil 7. 10	SK-1 numunesinin (5-5,5 m) 200 kat büyütülmüş BEC görüntüsü.....	82
Şekil 7. 11	SK-1 numunesinin (5-5,5 m) 750 kat büyütülmüş BEC görüntüsü.....	82
Şekil 7. 12	SK-1 numunesinin (5-5,5 m) 2000 kat büyütülmüş SEI görüntüsü	83
Şekil 7. 13	SK-2 numunesinin (10-10,5 m), 200 kat büyütülmüş BEC görüntüsü.....	83
Şekil 7. 14	SK-2 numunesinin (10-10,5 m), 700 kat büyütülmüş SEI görüntüsü	84
Şekil 7. 15	SK-2 numunesinin (10-10,5 m), 1000 kat büyütülmüş BEC görüntüsü	84
Şekil 7. 16	SK-2 numunesinin (10-10,5 m), 2000 kat büyütülmüş BEC görüntüsü	85
Şekil 7. 17	SK-3 numunesinin (15-15,5 m), 35 kat büyütülmüş BEC görüntüsü.....	85
Şekil 7. 18	SK-3 numunesinin (15-15,5 m), 200 kat büyütülmüş BEC görüntüsü.....	86
Şekil 7. 19	SK-3 numunesinin (15-15,5 m), 1000 kat büyütülmüş SEI görüntüsü	86
Şekil 7. 20	SK-3 numunesinin (15-15,5 m), 3500 kat büyütülmüş SEI görüntüsü	87
Şekil 7. 21	SK-1 numunesinin (derinliği 5-5,5 m) sedimantasyonu.....	88
Şekil 7. 22	SK-2 numunesinin (derinliği 10-10,5 m) sedimantasyonu.....	88
Şekil 7. 23	SK-3 numunesinin (derinliği 15-15,5 m) sedimantasyonu.....	89

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2. 1	Farklı tipteki elektromanyetik radyasyonun frekans, dalga boyu ve enerji aralıkları..... 10
Çizelge 2. 2	Elektromanyetik radyasyonun dalga boyları..... 14
Çizelge 2. 3	İyonize radyasyon türleri..... 16
Çizelge 2. 4	Nükleer radyasyonun etkileşimi..... 19
Çizelge 2. 5	Ağırlık faktörünün değerleri 22
Çizelge 2. 6	Doğal Radyoaktif Seriler 27
Çizelge 5. 1	Kulakçayırı gölü sondaj koordinatları..... 48
Çizelge 6. 1	Gama spektrum enerjilerinin ve verimlerinin standartları. 51
Çizelge 7. 1	Sediment numunelerinin aktivite konsantrasyonları (Bq/kg)..... 70
Çizelge 7. 2	Kulakçayırı Gölü sediment numunelerinin radyoaktif konsantrasyonlarının diğer mevcut çalışmalarla karşılaştırılması 72
Çizelge 7. 3	Kulakçayırı Gölü ve çevresindeki gama doz hızı (D_H) ve yıllık etkin doz hızı (E_H) değerleri 73
Çizelge 7. 4	Elementel analiz bulguları 75
Çizelge 7. 5	Bazı jeolojik referans kayaların ağır metal içerikleri..... 77
Çizelge 7. 6	Kulakçayırı bölgesinden alınan SK-1, SK-2 ve SK-3 sondajlarının C-14 analizi sonuçları 87

KULAKÇAYIRI GÖLÜNÜN DOĞAL RADYOAKTİVİTE VE AĞIR METAL KİRLİLİĞİNİN BELİRLENMESİ

Gülderen AÇIKGÖZ

Fizik Bölümü Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Erol KAM

Bu çalışmada, İstanbul ili Arnavutköy ilçesinde bulunan Kulakçayırı Gölü'nden sondaj yöntemi ile alınan farklı derinliklerdeki (SK-1=5-5,5 m, SK-2=10-10,5 m, SK-3=15-15,5 m) karot sediment numunelerinin doğal ve yapay radyonüklit dağılımı, iz elementleri, göl ve çevresindeki gama doz hızı değerleri tespit edilmiş, XRD analizleri ve SEM görüntüleri kullanılarak mineralojik ve dokusal özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca radyokarbon tarihleme yöntemi ile bölgedeki sedimanların yaşları bulunmuş ve sedimantasyon hızları hesaplanmıştır.

Radyoaktivite konsantrasyonunun hesaplanması için numuneler HPGe dedektörü ile sayılmıştır. Analiz sonuçlarına göre numunelerin K-40 konsantrasyonları sırasıyla 325 ± 18 Bq/kg, 353 ± 19 Bq/kg ve 367 ± 19 Bq/kg hesaplanırken, Th-232 konsantrasyonları 38 ± 6 Bq/kg, 43 ± 6 Bq/kg ve 42 ± 6 Bq/kg olarak hesaplanmıştır. Bunun yanında Ra-226 konsantrasyonları sırasıyla 29 ± 5 Bq/kg, 26 ± 5 Bq/kg ve 26 ± 5 Bq/kg hesaplanırken üç numunenin de Cs-137 konsantrasyonları \leq MDA olarak hesaplanmış ve oldukça düşük konsantrasyonlarda var olduğu görülmüştür. Ortalama aktiviteleri hesaplanan numunelerin K-40 izotopu için 348 ± 186 , Th-232 izotopu için $41\pm 6,3$, Ra-226 izotopu için ise $27\pm 5,1$ ortalamaya sahip oldukları gözlenmiştir.

Karasal kökenli radyasyonun çevreye yaydığı etkilerini belirlemek için göl ve çevresinde 12 km aralıklarla yirmi noktada ölçüm yapılarak gama doz hızları belirlenmiştir. Zemin seviyesinden 1 metre yükseklikte havadaki açık gama dozları, taşınabilir ESP-2 (Eberline

Smart Portable) sintilatör cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Ölçümler saatte 1 kere olmak üzere 20 noktada yapılmış ve değerlerin ortalaması 37,5 nGy/h olarak bulunmuştur.

İz element analizlerinde WDXRF spektrometresi kullanılarak on dokuz ayrı element ile kalsiyum oksit (CaO), titanyum oksit (TiO₂) ve hematit (Fe₂O₃) konsantrasyonları belirlenmiştir. Elementel analiz sonucunda sedimentlerin yapısında kobalt, nikel, bakır, kurşun ve krom gibi ağır metaller ile uranyum ve toryum gibi radyoaktif elementler tespit edilmiştir. Özellikle SK-1 numunesinde, kurşun konsantrasyonu yüksek çıkmıştır. Bu yüksek değer doğal nitelikte olan göl çevresindeki sediment yapısından kaynaklanmaktadır.

Numunelerin XRD analizleri, Bruker D8 Advantage, Panalytical X'Pert Powder ve Philips PW 1830 marka model cihazlar ile yapılmıştır. XRD analizleri ile mineralojik bileşimleri belirlenen numunelerin SEM görüntüleri, JEOL JSM-6390LAV cihazı ile tanımlanmıştır. Sedimentlerin standart malzemeler olmayıp çeşitli organik ve inorganik bileşiklerden oluşması nedeniyle SEM görüntüleri karmaşık bir yapı sergilemiştir. XRD analizlerinde ise çeşitli minerallere karşılık gelen çok sayıda pik elde edilmiştir. Tespit edilen piklerin, minerallerden hematit (Fe₂O₃), kuvars (SiO₂), kalsit (CaCO₃) ve korendona (Al₂O₃) karşılık geldiği görülmüştür.

Radyokarbon tarihlendirme yöntemi için AMS spektrometresi kullanılmıştır. Numunelere ait sonuçlara göre; SK-1 numunesinde sediment çökelişi 5599 yılda gerçekleşirken SK-2'de 7596 yılda, SK-3'te ise 8060 yılda gerçekleşmiştir. Sedimentasyon hızları ise; SK-1>SK-2>SK-3 olarak sıralanmaktadır. Elde edilen verilerden sedimentasyon hızının farklı derinliklerde farklı oranlara sahip olduğu gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kulakçayırı Gölü, sediment, doğal radyoaktivite, gama spektrometre, gama doz hızı, XRD, SEM, radyokarbon tarihlendirme

**DETERMINATION OF NATURAL RADIOACTIVITY AND HEAVY METAL
POLLUTION OF KULAKÇAYIRI LAKE**

Gülderen AÇIKGÖZ

Department of Physics

MSc. Thesis

Adviser: Prof. Dr. Erol KAM

Natural and artificial radionuclide distribution, trace elements, and gamma dose rate values in and around the lake were detected in the present study based on the drilling core sediment samples collected from Kulakçayırı Lake located in the city of Istanbul, district of Arnavutköy at various depths (SK-1=5-5,5 m, SK-2=10-10,5 m, SK-3=15-15,5 m) using drilling method, and mineralogical and textural properties are identified using XRD analyses and SEM images. Moreover, ages of the sediments in the region are detected and calculated the sedimentation rates using radiocarbon dating method.

Samples are counted using HPGe detector in order to calculate the radioactivity concentration. Based on the analysis results, while the K-40 concentrations of the samples are calculated as 325 ± 18 Bq/kg, 353 ± 19 Bq/kg, and 367 ± 19 Bq/kg respectively, the Th-232 concentrations are calculated as 38 ± 6 Bq/kg, 43 ± 6 Bq/kg, and 42 ± 6 Bq/kg. Besides, while the Ra-226 concentrations are calculated as 29 ± 5 Bq/kg, 26 ± 5 Bq/kg, and 26 ± 5 Bq/kg respectively, the Cs-137 concentrations of the three samples are calculated as \leq MDA, and found out to exist at extremely low concentrations. Mean activities of the samples are calculated, and it is observed that the mean value is 348 ± 186 for K-40 isotope, $41\pm 6,3$ for Th-232 isotope, and $27\pm 5,1$ for Ra-226 isotope.

Measurements are taken at twenty locations with 12 km intervals in and around the lake in order to determine the radiation released by the terrestrial radiation to the

environment, and gamma dose rates were determined. Outdoor gamma dose rates in the air at 1 meter above the ground level are measured using ESP-2 (Eberline Smart Portable) scintillator. Measurements were taken at 20 locations once hourly, and the mean value of the measurements is 37,5 nGy/h.

Calcium oxide (CaO), titanium oxide (TiO₂), and hematite (Fe₂O₃) concentrations are determined with nineteen different elements using WDXRF spectrometry in trace element analyses. Elemental analysis revealed that heavy metals such as cobalt, nickel, copper, lead and chromium and radioactive elements such as uranium and thorium are detected in the sediment structures. Lead concentration is measured as elevated especially in SK-1 sample. This elevated value is caused by the sediment structure around the lake which is natural.

XRD analyses of the samples are conducted using Bruker D8 Advantage, Panalytical X'Pert Powder, and Philips PW 1830 make and model equipment. Mineralogical compositions of the samples are determined in XRD analyses and the SEM images are defined using JEOL JSM-6390LAV equipment. SEM images manifested a complex structure due to the fact that the sediments are not standard materials and consist of various organic and inorganic compounds. A large number of peaks are obtained in XRD analyses corresponding to various minerals. It is seen that the detected peaks correspond to hematite (Fe₂O₃), quartz (SiO₂), calcite (CaCO₃), and corendon (Al₂O₃) among the minerals.

AMS spectrometry is used for radiocarbon dating method. According to the sample results; while sediment precipitation in SK-1 sample occurred in 5599 years, occurred in 7596 years in SK-2, and occurred in 8060 years in SK-3. Sedimentation rates are in SK-1>SK-2>SK-3 order. Based on the obtained data, it is observed that the sedimentation rate varies at various depths.

Keywords: Kulakçayırı Lake, sediment, natural radioactivity, gamma spectrometer, gamma dose rate, XRD, SEM, radiocarbon dating

1.1 Literatür Özeti

"Kırıkkale'de (Türkiye) Doğal Radyasyon Kaynaklarının Belirlenmesi ve Gama Doz Oranlarının Değerlendirilmesi" adlı tez çalışmasında, Kırıkkale ilinin doğal radyasyon seviyeleri ve açık alandaki gama doz hızları ölçülmüştür. Toprak örnekleri sonuçlarında Ra-226 ve Cs-137 radyonüklitlerinin konsantrasyonları Dünya ortalamasına göre düşük, Th-232 ve K-40 radyonüklitlerinin konsantrasyonları ise yüksek çıkmıştır. Gama doz hızı ise Dünya ortalamasının yaklaşık 2 katı bulunmuştur [1].

"İzmir Körfezi Karot Sedimentlerinin Radyoaktivite ve Kimyasal Parametrelerle Kirliliğinin Araştırılması" adlı tez çalışmasında, İzmir Körfez kıyılarındaki bazı illerden alınan denizel sedimentlerdeki doğal radyonüklitlerin konsantrasyonları tespit edilmiş ve ağır metal kirliliği ICP-OES yöntemiyle incelemiştir. Doğal radyonüklit değerleri ve ağır metal konsantrasyonlarının genel olarak radyoaktif ve toksik kirlilik içermediği ortaya konulmuştur [2].

"XRF ve ICP-OES Teknikleri ile Van Gölü'nün Su ve Sedimentinin Eser Element Analizi" adlı tez çalışmasında, sediment numuneleri üzerinde XRF tekniği ile elementel analiz yapılarak ağır metal içerikleri saptanmıştır. Sonuçlara göre sezyumun yapay radyonüklit aktivitesi 0,7-128 Bq/kg olarak tespit edilmiştir. Daha önceki çalışmalarda sınırın üstünde çıkan uranyumun çok yüksek konsantrasyonda olmadığı ölçülmüştür. Stronsiyum elementinin ise nispeten yüksek olduğu ölçülmüştür [3].

"Provenance of Uranium in a Sediment Core From a Natural Reservoir, South China: Application of Pb Stable Isotope Analysis" adlı makale çalışmasında, uranyum

madenlerinin çevresel kirliliğe etkisinin araştırılması amacıyla 42 adet sediment örneği aktif uranyum maden yatağı çevresinden toplanmıştır. Daha ileri bir inceleme için SEM ve XRD analizleri yapılmıştır. Buna göre uranyum profilindeki minerallerin süzme ve çöktürme döngülerinin karmaşık etkileşimi ile derinlik profilinde uranyum bölümleniminin kontrol edilebileceği gösterilmiştir [4].

"Gemlik Körfezi Çökellerinde Ağır Metal ve Organik Kirliliğin Zaman İçindeki Evrimi" adlı tez çalışmasında, 71-105 m aralığındaki su derinliğinden alınan 3 karot örneği ile ağır metal kirliliğin ve organik kirliliğin boyutları ile zamansal gelişimi araştırılmıştır. Karotların tarihlendirilmesi radyonüklit (Pb-210 ve Cs-137) ve AMS spektrometresi kullanılarak radyokarbon yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Göreceli olarak potasyum, rubidyum ve lityumun 1840-1980 yılları arasında zenginleştiği, son 40 yılda ise fakirleştiği gözlenmiştir. Arsenik, antimon, bizmut, bakır, kurşun, çinko, kadmiyum ve toryum konsantrasyonlarının ise 1975 yılından itibaren arttığı tespit edilmiştir [5].

"Küçük Buz Çağı'nda Güneş Etkisine Bağlı İklim Değişimleri: Köyceğiz Gölü Çökel Kayıtları (GB Anadolu)" adlı makale çalışmasında, Köyceğiz ve çevresindeki havzalardan alınan 4 adet karot örneğinin μ XRF element analizi ve C-14 tarihlendirmesi yapılmıştır. Analiz sonuçlarında karot örneklerinin yaklaşık son 500 yıllık sedimanter birikimi temsil ettiği görülmüştür [6].

1.2 Tezin Amacı

Dünya'nın radyoaktivite düzeyleri doğal ve yapay radyasyonun yayımlanmasıyla oluşmaktadır. Doğadaki kararsız elementlerin radyoaktif ışınlar yayarak kararlı hale gelmeye çalışmaları, doğal radyoaktivite düzeylerini artırır. Doğal radyoaktiviteye verilebilecek en iyi örnek U-238'in bozunuma uğrayarak başka bir elemente (Th-234) dönüşmesidir [7].

Dünya'nın doğal radyoaktivitesi; uzaydan gelen kozmik ışınlar, karasal yüzeyden kaynaklanan gama ışınları, havadaki radon gazı, yiyecek ve içeceklerdeki mevcut radyonüklitlerden kaynaklanır. Doğal fon radyasyonunu azaltmanın bir yolu bulunamamıştır. Ancak evlerde birikmekte olan radon gazı konsantrasyonu havalandırma yapılarak kolaylıkla azaltılabilmektedir [8].

Yapay radyoaktivite ise doğadaki kararlı izotopların radyasyona maruz bırakılarak kararsız hale getirilmesi ile oluşur. Radyoaktif maddeler genellikle alfa (α) ve beta (β) parçacıkları ile gama (γ) ışını yayarlar [7]. Başta nükleer santral kazaları olmak üzere, Dünya'nın radyoaktivite seviyelerini artıran birçok etken vardır. Nükleer santraller, atmosferde ve yer altında yapılan nükleer testler ile sanayi faaliyetleri radyoaktif kirlilik nedeni olabilmektedir [9]. İnsan sağlığının da önemi göz önünde bulundurulduğunda aktif olarak kullanılan bölgelerin araştırılması şart olmuştur. Su, toprak ve gıdada radyoaktivite açısından çalışmalar yapılmış, nihayet sedimentlerde de bu çalışmalara başlanmıştır.

Sedimentler ile yapılan gama spektrometre çalışmasında Kulakçayırı Gölü'nün doğal ve yapay radyoaktivite seviyelerinin araştırılması amaçlanmıştır.

Kozmik kaynaklar, kayalarda bulunan radyoaktif elementler ve yapay olarak elde edilen radyonüklitler çevresel gama ışınımının oluşmasına katkı sağlamaktadırlar. Dünya'nın jeolojik yapısı incelendiğinde belli kalınlıktaki toprak tabakasının hemen altında kaya yataklarının olduğu görülür. Özellikle gama radyasyonunun önemli bir kısmının 0-25 cm derinlikteki yüzey tabakadan kaynaklandığı bilinmektedir [10], [11]. Doğal olarak görülen radyoizotoplardan yayımlanan gama radyasyonu, karasal fon radyasyonu olarak bilinir. Hesaplamalar toplam gama dozunun %50-80 kadarının yer yüzeyindeki U-238, Th-232 ve K-40 doğal radyonüklitlerinden ileri geldiğini göstermektedir.

Karasal ve kozmik kökenli doğal radyoaktivite kaynaklarına bağlı olarak doğal fon radyasyon düzeyini belirlemek için çevresel radyoaktivite ölçümleri gereklidir [12]. Doğal fon radyasyonunun karasal bileşeni çeşitli radyoaktif nüklitlerden kaynaklanmaktadır. Bir bölgenin jeolojik ve coğrafik özelliklerine bağlı olarak alıcı ortamlarda (toprak, su ve hava) radyonüklitlerin seviyeleri değişir. Özellikle granit kayalar önemli miktarda toryum içerdiklerinden dolayı bu alanlarda ve yakın çevresinde yapılan ölçümlerde gama radyasyonları oldukça yüksek çıkmaktadır [13].

Çalışmada, fon radyasyon düzeyini belirlemek için Kulakçayırı Gölü ve çevresindeki doğal radyonüklitlerin sebep olduğu dış ortamlardan soğurulan gama doz hızları ölçülmüştür.

Ekolojik analizler için sedimentin litolojisi (taşbilimi) ve element dağılımı da son derece önemlidir. Bu çalışmada doğal Kulakçayırı Gölü'nün güncel göl tabanını örten çökellerin inorganik jeokimyası ortaya konulmaktadır. Ayrıca sondaj numunelerinin stratigrafik dizilimdeki (yer kabuğundaki katmanların dizilimi) litolojik özelliklerini belirlemek amacıyla tane boyu dağılım analizleri yapılmıştır. Metal kirleticiler çok çeşitli kaynaklardan ortaya çıkabilmeleri, yaygın kirlenme nedeni oluşturmaları, çevre koşullarına dayanıklı olmaları, daima biyolojik sistemlere yönelik etki göstermeleri ve kolaylıkla besin zincirine girerek canlılarda artan yoğunluklarda birikebilmeleri nedeniyle kimyasal kirleticiler arasında ayrı bir önem taşırlar. Metallerin bir kısmı çözünürlük kapasitelerine bağlı olarak su içerisinde taşınırken bir kısmı ise doğrudan göl dip sedimentlerinde birikir. Zamanla metal içeriği bakımından doymuş hale gelen sediment tabakası, bünyesinde bulundurduğu iyonları tekrar su kütlesine bırakma eğilimine geçer. Bu durumda, göl dibindeki sediment tabakası göl suları için potansiyel kirletici kaynağı haline gelebilir. Bu yüzden sedimentin jeokimyasal yapısını bilmek, kirlenmenin kaynağının tespit edilebilmesine olanak vermesi sebebiyle su ekosistemindeki canlı varlığı için önem kazanmaktadır [14].

Sedimentler, organik ve inorganik maddelerden oluşur. Organik maddeler, göl veya deniz çevresinde yaşayan organizmaların ürettikleri karbonhidrat ve protein gibi yapıların bileşiminden kaynaklanır. Göl ve deniz ekosistemlerinde sedimentlerin içeriği ve elementel kompozisyonu devamlı olarak değişmektedir [15].

SEM mikroskobu, malzemelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri ile topografyasının incelenemediği bir cihazdır. SEM görüntüleri analiz edilerek sedimentlerin nitel ve nicel analizleri kolaylıkla yapılabilmektedir [16]. Bu çalışmada sediment numunelerinin SEM görüntüleri alınarak morfolojik özellikleri incelenmiştir. Ardından XRD metodu ile sediment numunelerinin mineralojik yapısı araştırılmış ve değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, Kulakçayırı Gölü'nün sedimentlerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri bu çalışma ile incelenmiştir. Gölün farklı derinliklerinin mineralojik yapısı değerlendirilerek birbirleri ile karşılaştırılmıştır.

Sedimentlerde yaş tayini, sediment boyunca kimyasal element dağılımı ile birlikte ele alındığı zaman doğal ve antropojenik (insan kaynaklı) olayların çevresel etkilerinin

belirlenmesinde çok önemli rol oynamaktadır. Sedimentte yaş tayini için birçok farklı metot geliştirilmiştir. Ölü organik maddelerdeki C-14 atomunun çözülmesi temeline dayandırılan C-14 metodu en çok kullanılan yöntemlerdendir. C-14 metodu ile 40 000-50 000 yıllık bir zaman dilimini tarihlemek mümkündür [17].

Doğada yaygın olarak bulunan karbon elementinin radyoaktif izotopu C-14 atmosferin üst tabakalarında uzaydan gelen kozmik ışınların atmosferdeki nitrojen gazıyla tepkimesi sonucunda oluşmaktadır. Oluşan C-14 atomları atmosferdeki oksijen elementiyile tepkimeye girer, karbondioksit gazı (CO₂) haline gelir, atmosferdeki diğer gazlarla karışır ve hızla atmosferin her tarafına dağılır. Atmosferdeki karbondioksit gazının büyük bir kısmı karbonat çözeltisi halinde okyanus, deniz ve göllere geçer. Buralarda yaşayan canlıların vücutlarında yer alır ve zamanla okyanusların dibine iner ve çökler. Karbondioksit gazının bir kısmı bitkilerde gerçekleşen fotosentez olayında yer alarak yeryüzündeki tüm canlıların vücutlarına geçer. Böylece her canlı yaşadığı süre içinde çevresinden sürekli C-14 olarak belirli bir C-14 yoğunluğuna ve radyoaktivitesine sahip olur. Zamanla bir denge ortaya çıkar ve atmosferdeki ve canlılardaki C-14 yoğunluğu sabitlenir. Canlılar öldükten sonra vücutlarına yeni C-14 izotoplarının girişi durur ve öldükleri andan itibaren vücutlarında bulunan C-14 yoğunluğu ve radyoaktivitesi, izotopun yarılanma ömrüne bağlı olarak zamanla azalır [18]. Bu azalmaya bakılarak numunenin tarihlendirmesi yapılır.

1.3 Hipotez

Son yıllarda kirliliğin artmasıyla birlikte göl ve deniz sediment kalitesi çalışmalarının önemi de artmıştır. Gölün yapılacak olan İstanbul 3. Havalimanı'na yakınlığı göz önüne alındığında gelecek yıllarda oldukça aktif bir bölge olacağı aşikârdır. Bölge yoğunluk kazandığı zaman, söz konusu bölgeden numune almak oldukça güç olacaktır. Bu çalışmanın o bölge için ilk çalışma olduğu görülmektedir. Çalışma neticesinde elde edilen veriler gelecekte çevresel alanlarda yapılacak çalışmalara referans olacaktır.

RADYOAKTİVİTE

Doğadaki kararsız atomlar, bir dış etki olmadan rastgele nükleer tepkimeler geçirirler ve ışına yaparak yeni atomlara dönüşürler. Radyoaktivite olarak bilinen bu dönüşüm esnasında enerji yayılır. Dalga ya da parçacık formunda bulunan bu enerji, radyasyon enerjisidir.

Bir maddenin radyoaktifliği ilgili radyonüklitlere özgüdür ve herhangi bir yolla değiştirilemez. Radyonüklitler her dönüşümde daha kararlı hale gelirler. Bu dönüşümlerden bazıları gama yayımlanmasına da sebep olan alfa bozunması, beta bozunması, elektron yakalanması gibi reaksiyonlardır [19], [20], [21].

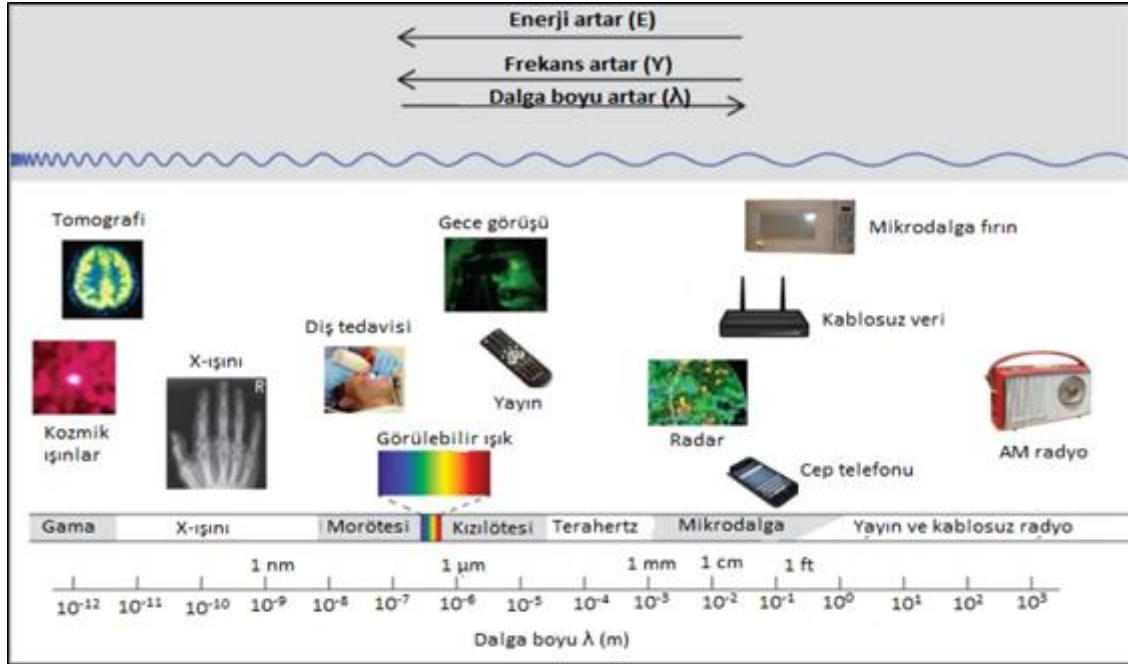
Radyoaktif dönüşüm, mevcut enerji ile ilişkilendirilir. Mevcut enerji, nötron/proton oranı ile ana çekirdek, kız çekirdek ve yayılan parçacık arasındaki kütle ve enerji ilişkisine bağlıdır [20].

Radyasyon, oluşum şekline göre ikiye ayrılır. Yer kabuğunda kendiliğinden var olan doğal radyoaktif izotoplar ve uzaydan gelen kozmik ışınlar doğal radyasyonu oluşturur [22]. Yapay radyasyon ise teknolojik gelişmeler ve sanayileşme ile üretilen tüketim araçları ile birlikte nükleer reaktörlerde fisyon ve füzyon sonucu radyoaktif hale getirilen radyonüklitlerin yaydığı enerjidir [23].

Radyasyon, madde içinde soğurulduğu için canlıları etkilemektedir. Maruz kalınan radyasyon miktarının canlıların sağlığı açısından kontrol altında tutulması için belirlenmesi ve takip edilmesi gerekir. Bu miktar radyasyon türü, kaynağa olan uzaklık, radyasyonu soğuran madde (örneğin doku) ve zaman parametreleri ile belirlenir. Etki

açısından doğal ve yapay radyasyon arasında fark bulunmaz. Kontrolsüz yapay radyasyon, çalışanlar ve halk sağlığı için potansiyel bir risk taşır [23].

Etrafımızda görülebilir ışık, ultraviyole radyasyonu, kızılötesi radyasyon, güneş ışınları, röntgen ışınları, kozmik ışınlar, mikro dalgalar, radyo ve televizyon sinyalleri gibi çok sayıda radyasyon formu vardır. Şekil 2.1 günlük hayatta karşılaştığımız radyasyonun elektromanyetik spektrumdaki dağılımını göstermektedir [23].



Şekil 2.1 Günlük hayatta karşılaştığımız radyasyonun elektromanyetik spektrumdaki dağılımını [24]

2.1 İzotoplar ve Radyoizotoplar

Maddenin temel yapıtaşı olan atom, proton ve nötronların nükleer güçle bir arada bulunduğu çekirdek ve çekirdeğin etrafındaki yörüngelerde bulunan elektronlardan oluşur. Her element atom numarasıyla yani proton sayısı ile ayırt edilir. Bir elementin kimyasal özelliği, atomlarında bulunan proton sayısının elektron sayısına oranına bağlıdır [23].

Proton sayıları aynı, nötron sayıları farklı olan elementler birbirlerinin izotoplarıdır. Örneğin döteryum ve trityum atomları, hidrojen atomunun izotoplarıdır [23].

Genellikle düşük atom numaralı elementlerde proton ve nötron sayıları birbirine yakın ise, bu element kararlıdır. Yüksek atom numaralı ve kararlı elementlerde ise nötron sayısı proton sayısından biraz fazla olabilir [23].

Kararlı olmayan ve kararlı hale gelmek için kendiliğinden bozunarak radyasyon yayan izotop, radyoizotop olarak adlandırılır. Her bozunmada radyoizotopun radyoaktifliği azalır ve kararlı yapıya ulaştığında artık radyasyon yaymaz. Bu sebeple radyoaktif kaynakların yaydığı enerji zayıflar. Yani kararsız atomların çekirdeği daha kararlı olmaya başlar, daha az radyasyon üretir ve maddenin aktivitesi sıfır olana kadar bozunma devam eder [23].

2.2 Yarı Ömür ve Bozunma Sabiti

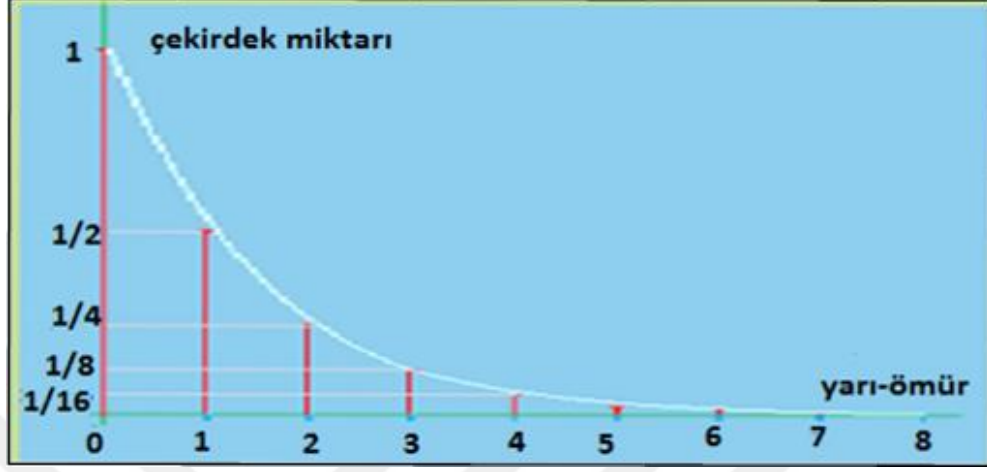
Radyoaktif bozunma, rastgele bir süreçtir. Bu durumda, kararsız bir nüklitin ne zaman bozunacağı belirlenemez. k bozunma sabiti olmak üzere bir atomun dt zamanı boyunca bozunması ihtimali kdt ile verilir. Başlangıçta $N(0)$ tane radyoaktif çekirdeğin bulunduğu sistemde, dt zamanı boyunca bozulan çekirdek sayısı $-dN = kNdt$ ile verilir. Çok küçük zaman aralıkları için bozunma oranı şu şekilde tanımlanır [25].

$$\left. \frac{dN}{dt} \right|_{\text{bozunma}} = -kN \quad (2.1)$$

Bu denklem radyoizotop kaynağının etkinliğini ifade eder ve bozunumun temel yasasıdır [26].

Bir radyoizotopun yarıya kadar bozunması için geçen süreye yarı ömür denir ve $t_{1/2}$ ile gösterilir. Yarı ömür birkaç saniyeden milyarlarca yıla kadar geniş bir aralıkta olabilir. Örneğin I-131'in yarı ömrü 8 gün iken Pu-239'un yarı ömrü 24 000 yıldır. Yarı ömrü kısa olan radyoizotoplar yarı ömrü uzun olan radyoizotoplardan daha aktiftirler çünkü belirli bir zaman aralığında daha çok bozunur ve radyasyon yayarlar. Her radyoizotopun kendine özgü bir yarı ömrü olması, bilinmeyen radyoaktif bir örneğin bileşenlerinin kimliğini belirlemede kullanılabilir. Ancak bu belirleme, parçalanma oranı makul periyotlarla değişen ve ölçüm yapmaya izin verecek kadar uzun bir yarı ömre sahip olan izotoplar için geçerlidir [19], [23].

Radyoaktif bozunmada her yarı ömür süresince aktiflik bir önceki sürece göre yarıya ineceğinden bozunma, eksponansiyel olarak aktiflik tükeninceye kadar devam eder (Şekil 2.2). Böylece bozunmanın ne kadar sürebileceği tahmin edilebilir [23].



Şekil 2.2 Yarı ömür süresince bozunmadan kalan çekirdek miktarı

Yüksek aktiviteye sahip bir radyoizotop defalarca yarılanmış olsa bile yeterince güvenli değildir. Radyoaktif maddenin ölçümlerinde her zaman potansiyel radyasyon dozunun dikkate alınması gerekir [23].

2.3 Radyasyon Tipleri

Parçacık veya dalga formundaki enerji olan radyasyon, madde ile etkileşimine göre iyonize ve iyonize olmayan radyasyon olmak üzere ikiye ayrılır [23].

2.3.1 İyonize Olmayan Radyasyon

İyonize olmayan radyasyon, etki ettiği maddede iyonizasyon oluşturamayacak kadar düşük enerjiye sahiptir. Günlük hayatta görülebilir ışık, infrared, radyo dalgaları, mikrodalgalar, güneş ışınları, GPS, cep telefonları, bebek monitörleri, iletişim hatları, Dünya'nın manyetik alanı, evlerdeki elektrik hatları, elektrikli ev aletleri vs. ile bu radyasyon türüne oldukça fazla maruz kalınır. Bunlar son derece düşük frekanslı yani düşük enerjili dalgalardır ve sağlık için risk olarak kabul edilmezler [23].

γ -ışınları ve X-ışınlarının frekans ve enerjilerinin yüksek olması onları görünür ışıktan veya mikrodalga ışınlarından ayırır. Diğer frekanslardaki elektromanyetik radyasyonun insanlar için ne derece tehlikeli olabileceği merak edilebilir. Fakat radyasyonun etkileri

elektromanyetik radyasyonun enerjisine bağı olduğu için düşük frekans ve enerjideki radyasyon iyonizasyon oluşturmaz. Çizelge 2.1'de bazı radyasyon türlerinin karakteristik özellikleri verilmiştir [27].

Çizelge 2. 1 Farklı tipteki elektromanyetik radyasyonun frekans, dalga boyu ve enerji aralıkları [27]

Radyasyon sınıfı	Frekans (Hz)	Dalga boyu (m)	Enerji (eV)
Şebeke, AC akım	50	6×10^6	2×10^{-13}
Uzun radyo dalgası	6×10^4	5×10^3	$2,5 \times 10^{-10}$
Kısa radyo dalgası	3×10^6	100	10^{-8}
Ultra yüksek frekanslı radyo	10^8	3	4×10^{-7}
Cep telefonu iletişimi	3×10^9	0,10	10^{-5}
Mikrodalga	6×10^9	0,05	2×10^{-5}
Radar	3×10^{10}	0,01	10^{-4}
Kızılötesi	10^{12}	3×10^{-4}	4×10^{-3}
Görülebilir ışık	6×10^{14}	5×10^{-7}	3
UV	$1,5 \times 10^{15}$	2×10^{-7}	6
X-ışınları	10^{19}	3×10^{-11}	4×10^4
Gama ışınları	2×10^{20} ve üzeri	10^{-12} ve aşağısı	10^6 ve üzeri

İnsan dokusundaki atomların iyonize olması için yaklaşık 30 eV enerji gereklidir. Bu yüzden enerjisi 30 eV'un (10^{16} Hz'e karşılık gelir) altında olan radyasyon, iyonize olmayan radyasyon olarak tanımlanır [27].

İyonizasyon oluşturmaya da iyonize olmayan radyasyon çeşidi iki etkiden dolayı zararlı sonuçlar doğurabilir; bunlar ısıtma ve elektrik akımıdır. İyonize olmayan radyasyonun yüksek frekanslı formları (UV ve mikrodalga arasında geniş bir dalga boyu aralığı) yeterince yüksek yoğunluğa sahip olursa insan vücudunda kızarıklığa neden olur. Bu

durumun potansiyel zararını belirlemek için birim dokuya uygulanan radyasyon enerjisi miktarını bilmek gerekir. Tüm vücudun maruz kaldığı enerjinin 0,1 W/kg'ı aşmaması gerekir (ICNIRP'ye göre) [28]. Bu limit gün boyunca bir kişinin güneşlenmesi sonucu aldığı enerjiden çok daha azdır [27].

Düşük frekanslı radyasyonun vücutta herhangi bir zarar oluşturması pek olası değildir [27].

2.3.2 İyonize Radyasyon

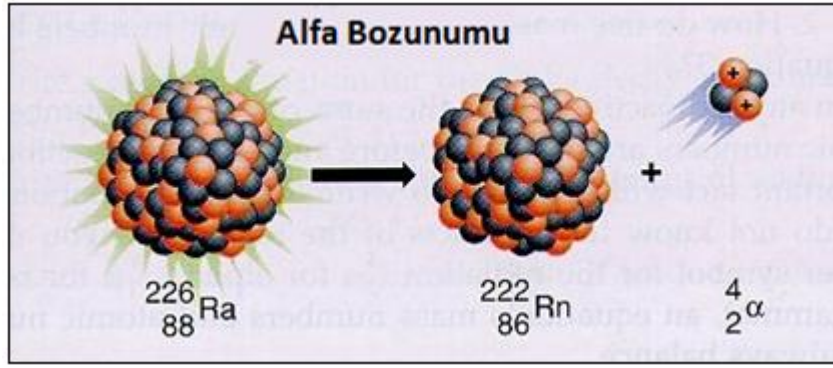
Etki ettiği maddenin atomlarının çevresindeki yörüngelerden elektron kopararak iyonizasyon oluşturan radyasyon çeşididir. Atomdaki elektron/proton dengesi bozulur, atom pozitif yükle yüklenir ve iyon oluşur [23].

2.3.2.1 Alfa Radyasyonu (α)

Nötron/proton oranı çok düşük olan kararsız bir atomun çekirdeğinden yüksek enerjili, iki proton ve iki nötrondan oluşan helyum (He-4) çekirdeğinin yayımlanması olayı, alfa (α) radyasyonu olarak bilinir. Atom numarası ve kütle numarası korunduğu için alfa yayımlanması sonrasında kız çekirdek, ana çekirdekten 2 atom numarası ve 4 kütle numarası daha düşük olur [19], [20], [23].



Alfa parçacığındaki dört nükleon birbirine sıkı bağlarla bağlıdır ve birçok durumda temel bir parçacık gibi davranır. Bir alfa parçacığı 4 akb ağırlığındadır ve iki birim pozitif yük taşır. Genellikle kütle numarası ağır olan kararsız çekirdekler kararlı hale gelmek için alfa parçacığı yayımlar. Örneğin Ra-226 radyoaktif elementi bir alfa parçacığı yayımlayarak Rn-222'ye bozunur (Şekil 2.3) [19], [23].

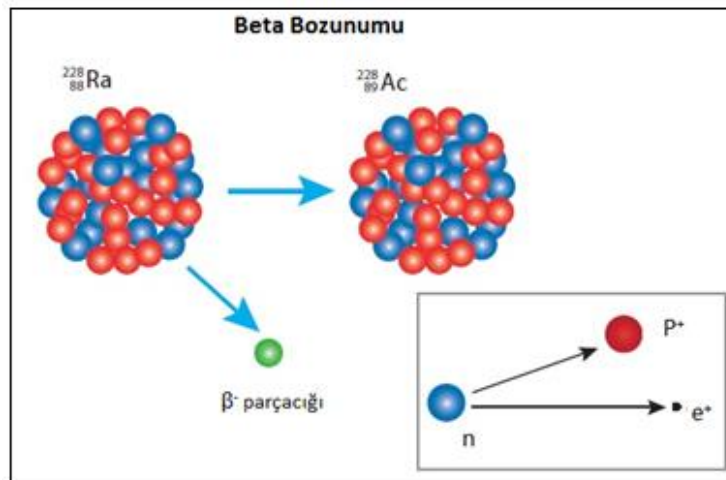


Şekil 2.3 Alfa parçacığının yayımlanması [29]

Alfa radyasyonu, izlediği yol boyunca yoğun bir enerji açığa çıkarır. Bu yüzden enerjisini çok çabuk tüketir ve erişim menzili kısa olur. İnce bir kağıt ya da cildin ölü dış tabakası ile durdurulabilir. Yani yayımlanan alfa radyasyonunun yakınında bulunmak ve maruz kalmak büyük bir tehlike oluşturmaz. Ancak alfa parçacığının kısa zaman aralığında çok fazla enerji yayımlaması özelliği, vücuda sindirim ya da solunum yoluyla alınması durumunda vücut tarafından tamamen emileceğinden ve iç ışınlanmaya sebep olacağından tehlike arz eder [23], [1].

2.3.2.2 Beta Radyasyonu (β^-)

Beta radyasyonu bir atomun çekirdeğindeki enerji fazlalığının atılmasıyla ortaya çıkan genellikle negatif yüklü, çok hızlı elektronların oluşturduğu radyasyon çeşididir [19], [23]. Çekirdekteki fazla enerji, bir kütle oluşturur ve bu kütle fazla yükü alarak dışarıya beta ışını olarak yayımlanır (Şekil 2.4) [30].



Şekil 2.4 Beta parçacığının yayımlanması [31]

Bu nükleer elektronlar atomik elektronlarla aynı özelliklere sahiptir, ağırlıkları 1/1840 akb'dir ve bir birim negatif yük taşırlar. Bu tip parçacıklara aynı zamanda negatron (β^-) adı da verilir. Beta radyasyonunun diğere bir tipi de 1932 yılında C.D. Anderson tarafından keşfedilmiştir. Elektronla aynı kütleyle, fakat farklı yüke (bir birim pozitif yük) sahip olan bu parçacıklar pozitron (β^+) olarak isimlendirilmiştir. Çekirdekte elektron fazlalığı olduğu takdirde elektron (negatron) yayımlanır. Şayet çekirdekte proton fazlalığı var ise proton (pozitron) yayımlanır. Denklem (2.3) ve (2.4) sırasıyla negatron ve pozitron bozunmasını ifade etmektedir [19], [23].



Radyasyondan korunma açısından negatron parçacıklarıyla birlikte pozitron parçacıklarının da radyoaktif bozunma mekanizmasının kesin olarak anlaşılması gerekmektedir. Beta radyasyonu β^- (negatron) ya da β^+ (pozitron) şeklinde gösterilir. Günlük hayatta ise beta parçacığı denildiğinde negatif yüklü olan negatron (β^-) parçacığı kastedilmiş olur [19], [23].

Beta parçacıkları, alfa parçacıklarına göre daha nüfuz edicidir ve erişim menzili biraz daha uzundur [23]. Madde üzerinde iyonlaşmaya neden olurlar. Fakat alfa parçacıklarına göre daha girici olduklarından iyonlaşma nispeten daha azdır [30]. İnce bir plastik, cam ya da metal ile durdurulabilir. Beta parçacığı ölü cilt tabakasını geçer ve aktif cilt hücrelerine nüfuz eder. Daha derin dokulara ise etkisi sınırlıdır [23].

2.3.2.3 Gama (γ) ve X-Işınları

Gama (γ) radyasyonu, elektromanyetik yani dalga şeklindeki radyasyon çeşididir. Foton radyasyonu olarak da bilinir. Fotonların kütlesi yoktur. Kütlesi olmadığından dolayı diğere elektromanyetik radyasyon türleri gibi boş uzayda ışık hızı 3×10^8 (m/s) ile hareket ederler. Yoğun ortamda hızları azalır fakat havadaki azalması ihmal edilebilir [19], [23].

Fotonlar dalga hareketi formunda kuantum ya da paketçikler halinde enerji taşırlar. Her kuantum enerjisi miktarı, radyasyonun dalga boyu ve frekansı ile ilgilidir. Enerji dalga

boyuyla ters, frekans ile doğru orantılıdır. Yani kısa dalga boylu radyasyon yüksek enerji ve frekansa sahiptir. Matematiksel olarak $E \propto 1/\lambda$ yazılır, burada E elektromanyetik radyasyonun foton ya da kuantum enerjisi ve λ da dalga boyudur [19] ,[23].

Çizelge 2.2'de görüldüğü üzere elektromanyetik radyasyonun dalga boyu çok geniş bir aralıkta değişir.

Çizelge 2. 2 Elektromanyetik radyasyonun dalga boyları [19]

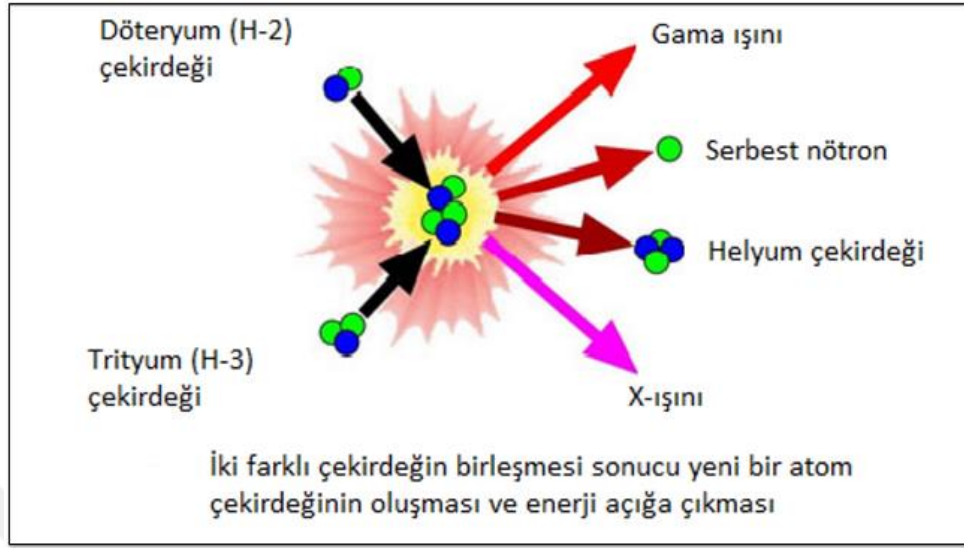
Radyasyon tipi	Dalga boyu, λ (metre)
Radyo dalgası, uzun dalga	1500
Radyo dalgası, VHF	3
Görülebilir ışık	10^{-6} - 10^{-7}
X-ışınları, 50 keV enerji	$2,5 \times 10^{-11}$
γ -ışınları, 1 Mev enerji	$1,2 \times 10^{-12}$

Gama emisyonu birincil bozunma süreci değildir. Uyarılmış durumdaki alfa ve beta bozunması sonucunda üretilen kız çekirdekten kaynaklanır. Bu uyarılmış durum bir gama fotonunun yayımlanması ile çok kısa bir sürede ($<10^{-9}$ sn) temel duruma döner. Gama ışınları karakteristik olarak birim mesafe başına enerjilerinin belirli bir bölümünü kaybederler [25].

Gama ışınları çok nüfuz edicidir. Kurşun ve çelik gibi zırhlamalarla ancak engellenebilir. Belirli bir zaman aralığında alfa ve beta parçacıklarına nazaran daha az enerji yaydıkları için erişim menzilleri ve giricilikleri daha yüksektir. Maruz kalındığı takdirde biyolojik zararlara neden olabilirler [23].

Elektromanyetik radyasyonun diğer bir sınıfı da gama radyasyonu ile çok benzer özelliklere sahip olan X-ışını radyasyonudur. Bu iki tip radyasyon arasındaki temel fark onların kaynaklarıdır. Gama ışınları çekirdeklerin kimyasal değişimi sonucu foton yayımlamalarıyla oluşur (Şekil 2.5). X-ışınları ise atomik elektronların yörüngede kabuk değiştirerek enerji (foton) yaymasıyla oluşur ve gama ışınlarına göre daha düşük enerjiye sahiptir [19], [23].

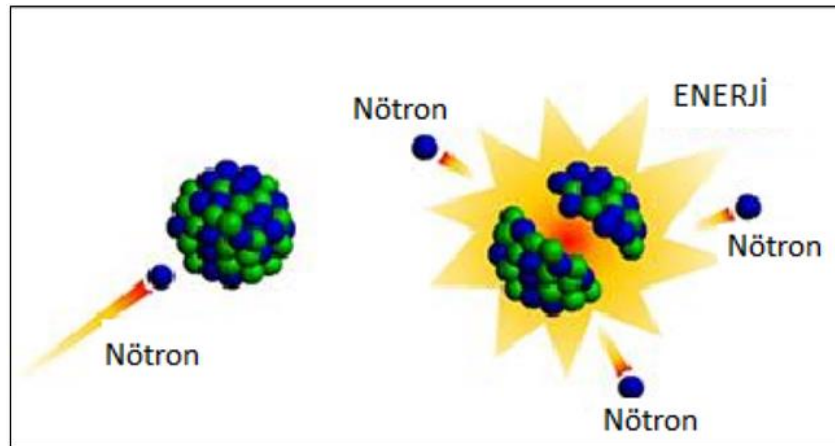
X-ışınlarının da giricilikleri çok yüksektir ve gama ışınları gibi organlara nüfuz edebilirler. Bu sebeple X ve gama yayıcı kaynaklar yüksek koruma gerektirir [25].



Şekil 2.5 Gama ışını ve X-ışını yayımlanması [32]

2.3.2.4 Nötronlar

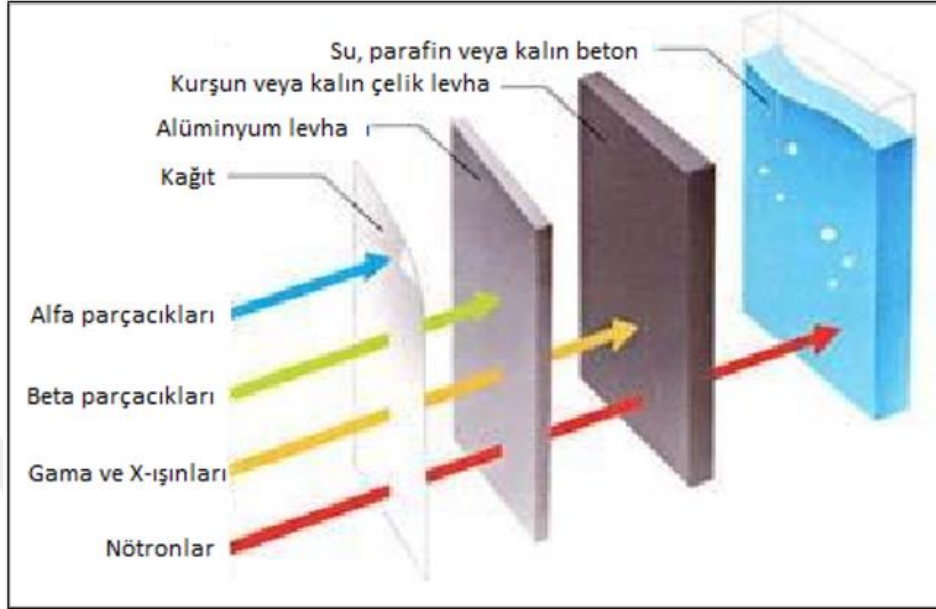
Fisyon ya da füzyon reaksiyonlarını takiben kararsız çekirdekten nötron atılması ile oluşan radyasyondur (Şekil 2.6). Gama radyasyonu gibi nötronlar da enerjilerini yüklü parçacıklara aktarırlar. Bir nötron, gama salınımı sonucunda bir çekirdek tarafından yakalanabilir [19], [23], [33].



Şekil 2.6 Fisyon sonucu açığa çıkan nötronlar [34]

Nötronlar yüksüz oldukları için madde üzerinde direkt olarak herhangi bir iyonizasyona sebep olmazlar ve maddeye kolayca nüfuz edebilirler. Fakat iyonlaşmaya sebep olacak

alfa parçacıkları, beta parçacıkları, gama ve X-ışınlarının ortaya çıkmasına yol açtıkları için zararlı olabilirler. Nötronlar parafin, kalın beton ve su ile engellenebilirler (Şekil 2.7) [23], [33].



Şekil 2.7 Bazı radyasyon tiplerinin penetrasyonu [35]

Çizelge 2.3'te çeşitli iyonize radyasyonların türleri ve özellikleri özetlenmiştir. Bu türler radyasyon enerjisine bağlı olduğu için yalnızca yaklaşık olarak verilmiştir [19].

Çizelge 2. 3 İyonize radyasyon türlerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri [19]

Radyasyon	Kütle (u)	Yük	Hava aralığı	Doku aralığı
Alfa	4	+2	0,03 m	0,04 mm
Beta	1/1840	-1 (pozitron için +1)	3 m	5 mm
X ve gama	0	0	Çok büyük	Vücut üzerinde
Hızlı nötron	1	0	Çok büyük	Vücut üzerinde
Termal nötron	1	0	Çok büyük	0,15 m

2.3.2.5 Kozmik Radyasyon

Kozmik radyasyon, Güneş sisteminden ve derin uzaydan gelen protonlar, alfa parçacıkları, elektronlar ve diğer yüksek enerjili çeşitli egzotik parçacıklar da dahil olmak üzere birçok farklı radyasyonu içerir. Bütün bu enerjik partiküller atmosferin üst tabakalarındaki atomlarla kuvvetli bir şekilde etkileşime girerek kozmik radyasyon haline gelirler [36]. Yerin magnetik alanı oluşan bu parçacıklara karşı yeryüzünü koruduğu için çoğu, atmosferde kalır ve yeryüzüne ulaşamaz. Bu sebeplerden dolayı kutup bölgeleri ekvatora göre, rakım seviyesi yüksek olan yerler de deniz seviyesine göre daha fazla kozmik radyasyona sahiptir [37]. Nötronlar; pozitronlar ve fotonlar gibi çok çeşitli parçacıkları içerse de, zemine yakın yerlerdeki kozmik radyasyon dozunun büyük çoğunluğunu müonlar ve elektronlar oluşturur [36].

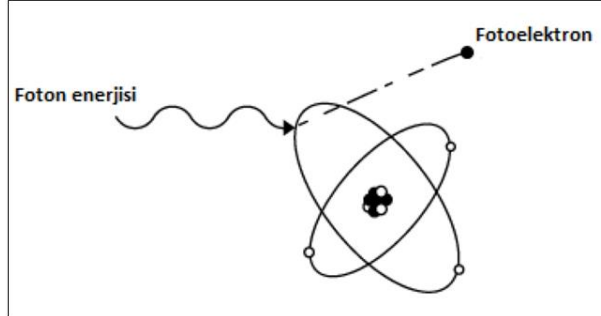
2.4 Radyasyonun Madde ile Etkileşimi

Alfa Parçacıkları: Nükleer standartlara göre ağır parçacıklardır ve madde üzerinde nispeten yavaş ilerlerler. Böylece yol boyunca atomlar ile etkileşim şansları çok yüksektir. Etkileşim sırasında enerjilerinin bir kısmını bırakırlar. Elektronların enerji transferi onların ya yüksek enerji seviyesine çıkmasına (uyarılma) ya da tamamen ana atomdan ayrılmasına (iyonizasyon) neden olur. Alfa parçacıkları enerjilerini çok hızlı bir şekilde kaybettikleri için yoğun ortamlarda çok kısa bir mesafe yol alırlar [19].

Beta Parçacıkları: Alfa parçacıklarından çok daha küçüktür ve yolculukları daha hızlıdır. Bu nedenle birim uzunluk başına daha az etkileşim geçirirler ve alfa parçacıklarına göre enerjilerini daha yavaş bir şekilde kaybederler. Bu da beta parçacıklarının yoğun ortamda alfa parçacıklarından daha fazla mesafe alması demektir. Beta parçacıkları aniden yavaşlatılırsa X-ışınları formunda enerji yayarlar. Bu durum Bremsstrahlung (frenleme radyasyonu) olarak bilinir [19].

Gama ve X-ışınları: Kütlesi ve yükü olmayan, yalnızca enerjisi olan fotonlardır. Yoğun ortamda bile çok uzak mesafeye kadar gidebilirler. Yüksüz oldukları için atomlar ile elektrostatik olarak etkileşime girmezler. Fotoelektrik etki, Compton saçılması ve Çift oluşumu yoluyla atomik elektronlarla etkileşerek enerjilerini kaybeder. Bu etkileşimler gama ve X-ışınlarının enerji aralıklarına göre şekillenir [19], [1].

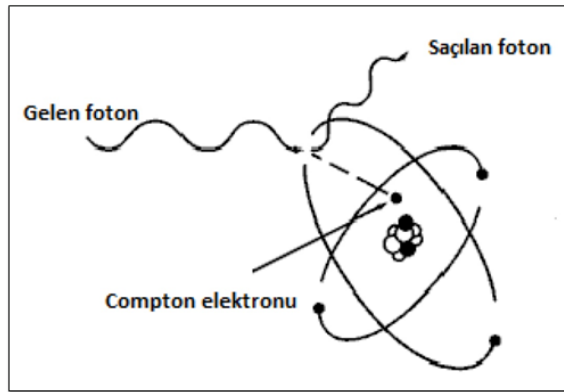
Fotoelektrik etkide X ya da gama fotonu bütün enerjisini ana atomda bulunan elektronlardan birine aktarır ve elektron koparır (Şekil 2.8). Yayımlanan bu elektron, fotoelektron olarak adlandırılır. Bu durumda foton tamamen soğurulur [1].



Şekil 2.8 Fotoelektrik etki [38]

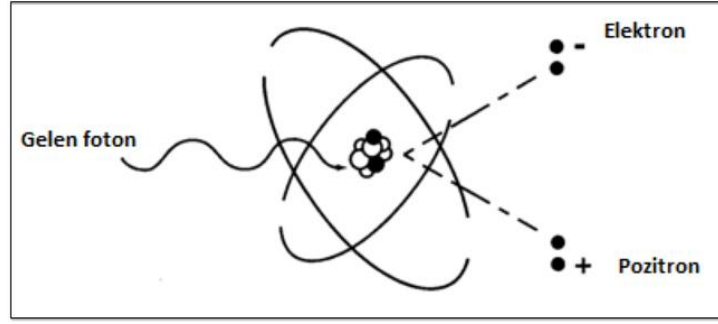
Fotoelektrik etkinin olma olasılığı, uyarılan atomun atom numarası ile doğru (Z^4), gama ışınının enerjisiyle ters (E_γ^{-3}) orantılıdır [1].

Compton saçılma, nispeten orta enerjili fotonların etkileşim yoludur. Gama veya X-ışını enerjisini hedef atoma aktarır ve atomun en dış yörüngesindeki elektronlarından biri saçılır. Fakat fotonun enerjisi tamamen tükenmez. Geri kalan enerji daha düşük enerjili foton olarak saçılır (Şekil 2.9) [1].



Şekil 2.9 Compton saçılması [38]

Yüksek enerjili gama ve X-ışınları çekirdek ile etkileşime girdiklerinde, enerjilerinin tamamını aktarırlar. Bu durumda bir elektron ve bir pozitron saçılır (Şekil 2.10). Bu çift oluşumdur ve iki parçacık mevcut enerjiyi paylaşır. Çift oluşumu, ortamın yoğunluğuyla (atom kütlesinin karesi- A^2) ve gelen fotonun enerjisiyle doğru orantılıdır [19], [1].



Şekil 2.10 Çift oluşumu [38]

Nötronlar ise yüksüz olduklarından dolayı doğrudan iyonizasyon gerçekleştiremezler, enerjilerine bağlı olarak çeşitli etkileşim yoluyla enerjilerini kaybederler. Bu nedenle nötronlar hızlı, orta ve termal olmak üzere en az üç enerji grubuna ayrılır. Nötronlar yoğun ortamlarda bile nüfuz edicidirler ve büyük mesafeler kat ederler [19].

Çeşitli radyasyon tiplerinin etkileşimi Çizelge 2.4'te verilmiştir.

Çizelge 2. 4 Nükleer radyasyonun etkileşimi [19]

Radyasyon	Süreç	Açıklamalar
Alfa	Bağlı elektronların çarpışması	Uyarılmaya ve iyonizasyona yol açar.
Beta	(a) Atomik elektronlarla çarpışma	Uyarılmaya ve iyonizasyona yol açar.
	(b) Çekirdek alanında yavaşlama	Bremsstrahlung saçılmasına yol açar.
X ve gama	(a) Fotoelektrik etki	Foton tamamen emilir.
	(b) Compton etki	Yalnızca foton enerjisi emilir.
	(c) Çift oluşumu	
Nötron	(a) Elastik saçılma (b) Elastik olmayan saçılma (c) Yakalama süreçleri	Energilerini yüklü parçacıklara aktarırlar.

2.5 Radyasyon Dozu ve Birimleri

Radyasyona maruz kalmak ölümcül sonuçlar doğurabilir. Bu sebeple radyasyon dozunun kontrol altında tutulması ve bütün varyasyonların değerlendirilmesi önemlidir. Radyasyonun tehlikesi, canlılar tarafından soğurulan toplam doza (etkin doz) bağlıdır. Etkin doz ise radyoaktif maddenin aktifliği, ışınlanma dozu, soğurulan doz ve eşdeğer doz ile ifade edilir.

2.5.1 Aktivite

Radyoaktif maddelerin aktifliğinin bir göstergesidir. İlk tanımlandığı yıllarda Curie (Ci) olan ve saniyede $3,7 \times 10^{10}$ parçalanma olarak belirlenen birim, sonraları daha kullanışlı olan ve saniyede 1 parçalanma olarak tanımlanan Becquerel (Bq) ile ifade edilmiştir [1].

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq} = 37 \text{ GBq} \quad (2.5)$$

Becquerel radyoaktivite ölçümlerinde birim olarak çok düşüktür. Örneğin insandaki K-40 miktarı 10^3 Bq'in üzerindedir. Tıpta kullanılan tetkikler için ise hastaya verilen aktivite 10^9 Bq'i bulmaktadır [39].

2.5.2 Işınlanma Dozu

Normal hava şartlarında havanın belli bir miktarında iyonlar oluşturan X ve gama radyasyon miktarıdır. Başlarda havanın 1 kg'ında $2,58 \times 10^{-4}$ C (Coulomb)'luk elektrik yükü değerinde (+) ve (-) iyonlar oluşturan radyasyon miktarını belirten Röntgen (R) birimi kullanılırken Uluslararası Birimler Sistemi (SI) esas alınarak yalnızca Coulomb kullanılmıştır [1].

$$1 \text{ R} = 2,58 \times 10^{-4} \text{ C/kg} \quad (2.6)$$

2.5.3 Soğurulan Doz

Soğurulan doz, herhangi bir iyonize radyasyonun herhangi bir ortamda depolanan enerjisinin bir ölçüsüdür [19]. İyonize radyasyon insan vücuduna veya herhangi bir maddeye nüfuz ettiğinde, enerji depolar. Soğurulmuş dozun günümüzde kullanılan birimi gray (Gy)'dir. 1 gray, maddenin bir kilogramında depolanan enerji birimidir [23].

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg} \quad (2.7)$$

Eski birimi olan rad ile bağıntısı şu şekildedir;

$$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad} \quad (2.8)$$

2.5.4 Eşdeğer Doz

Radyasyon canlılar tarafından soğurulduğunda, biyolojik bir etki gözlenebilir. Eşit olarak soğurulmuş dozların biyolojik etkisi farklı olabilir. Bu etki, radyasyon tipine bağlıdır. Örneğin belirli bir doku için 1 Gy alfa radyasyonu 1 Gy beta radyasyonundan daha zararlıdır. Eşdeğer dozu bulmak için, soğurulan doz belirtilen radyasyonun ağırlık faktörü (w_R) ile çarpılır. Radyasyon ağırlık faktörü, farklı radyasyon tiplerinin farklı biyolojik etkilerini kıyaslamak için kullanılır. Eşdeğer dozun birimi Sivert (Sv)'tir, Sivert 1 Gy'lik X ve gama ışını ile aynı biyolojik etkiyi oluşturan herhangi bir radyasyon miktarıdır. Bunun anlamı, 1 Sv alfa radyasyonu, 1 Sv beta radyasyonu ile aynı biyolojik etkiye neden olur. Diğer bir deyişle, eşdeğer doz radyasyonun farklı tiplerinin aynı doku üzerindeki zarar derecesini tek bir birimle hesaplamayı sağlar [23].

eşdeğer doz = soğurulmuş doz \times ağırlık faktörü

$$\text{Sv} = \text{Gy} \times w_R \quad (2.9)$$

Eşdeğer dozun eski birimi ise aynı tanım kapsamında 1 rad'lık X veya gama ışını ile aynı biyolojik etkiyi oluşturan herhangi bir radyasyon miktarını veren rem'dir. Rem;

$$\text{rem} = \text{rad} \times w_R \quad (2.10)$$

ile ifade edilir ve Sivert ile arasındaki bağlantı şöyledir;

$$1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem} \quad (2.11)$$

Alfa parçacıklarının kütlesi nispeten büyüktür ve insan vücuduna etki ettiğinde deriyi geçerken enerjilerinin çoğunu dıştaki hücrelere aktarırlar. Böylece hücrelerde çok fazla iyonizasyon (dokuda ilerlediği yol boyunca her milimetrede yaklaşık 10^6 iyon çifti [19]) oluşur. Bu yüzden alfa parçacıkları yoğun iyonlayıcılar olarak bilinir. Beta parçacıkları ise daha hafif ve girici olduklarından dolayı birçok hücreye etki ederler ve hücre başına

düşen enerji alfa parçacıklarına göre daha az olduğundan iyonizasyon da daha az (dokuda ilerlediği yol boyunca her milimetrede yaklaşık 10^3 iyon çifti [19]) oluşur. Bu durum betaların seyrek iyonlayıcılar olarak sınıflandırılmasına neden olur [40].

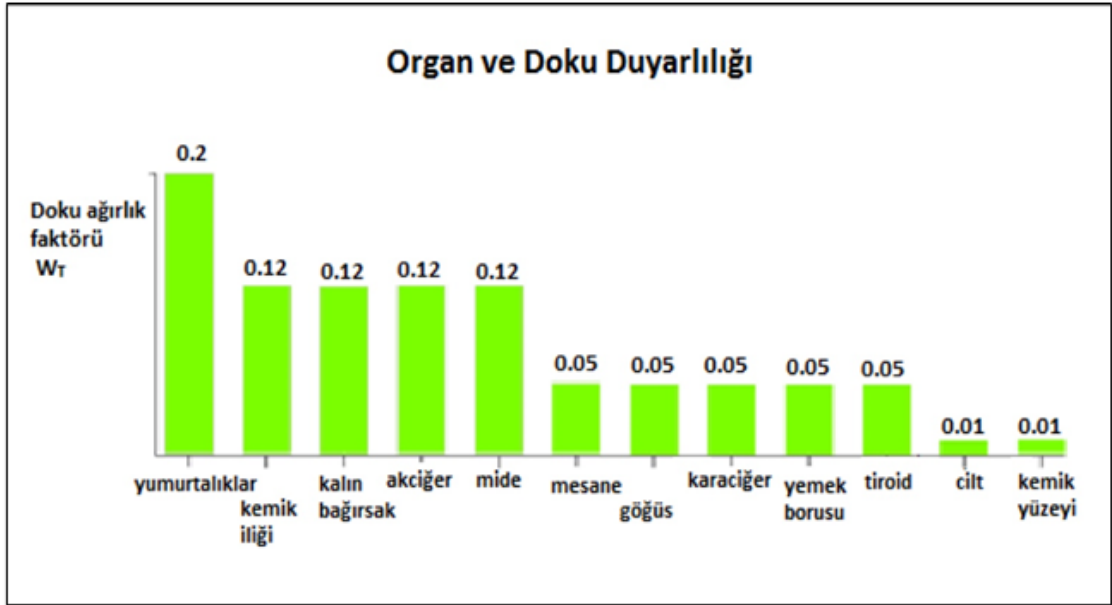
Beta radyasyonu, gama radyasyonuna benzer bir yoğunlukta iyonizasyona sebep olur, yani ağırlık faktörü beta radyasyonu için de geçerlidir. Nötronlar için w_R 'nin değeri nötronun enerjisine bağlıdır ve 5-20 arasında değişir. Alfa ve diğer yüklü parçacıklar için w_R 'nin değeri 20 alınır. En yaygın sayılan radyasyon tipleri için w_R 'nin değeri Çizelge 2.5'te gösterilmiştir [19].

Çizelge 2. 5 Ağırlık faktörünün değerleri [19]

Radyasyon tipi	w_R
β parçacıkları, X ve γ -ışınları, ve elektronlar	1
Protonlar	5
Termal nötronlar	5
Hızlı nötronlar (enerjiye bağlı)	5-20
α -parçacıkları, fisyon ürünleri	20

2.5.5 Etkin Doz

Kişilerde radyasyonun etkisini ölçmek için bir parametreye daha ihtiyaç vardır. Vücuttaki farklı organ ve dokular radyasyona karşı aynı hassasiyeti göstermezler. Örneğin bağırsaklar radyasyona çok duyarlı olmasına karşın cilt daha duyarsızdır. Her organın hasara olan duyarlılığı da göz önünde bulundurularak organ ağırlık faktörleri hesaplanmıştır. Bu hesaba göre bağırsaklar deriden daha hassas olduğu için daha yüksek ağırlık faktörüne sahiptir (Şekil 2.11).



Şekil 2.11 Doku ve organ faktörleri [23]

Vücudun farklı bölümlerinin farklı dozlar aldığı durumlarda, her bir organın aldığı eşdeğer dozun ağırlıklı toplamını hesaplamak gerekir. Bu ağırlıklı toplama etkin doz (E) denir [41]. Ağırlıklı toplam, vücudun tüm organ ve dokularındaki eşdeğer doz ile her organ ve dokudaki ağırlık faktörünün çarpımlarının toplanmasıyla elde edilir [19], [23]. Yani;

$$E = \sum_T H_T w_T \quad (2.12)$$

Burada E etkin doz, H_T eşdeğer doz, w_T ise doku ağırlık faktörüdür. Bu çarpımın sonucu, vücut tarafından soğurulan toplam radyasyon dozunu verir [19]. Etkin doz, eşdeğer doz ile ifade edildiğinden aynı sievert birimine sahiptir ve genellikle Sv ya da mSv mertebesinde ölçülür [41].

Vücuttaki tüm organlar için ağırlık faktörleri bir araya getirildiğinde her organ aynı eşdeğer dozu alırsa etkin doz, eşdeğer doza eşit olur. Böylece etkin doz, tüm vücut üzerinde gerçekte düzensiz bir dağılımı olan eşdeğer dozu, zarar verme riski açısından aynı olan tek bir miktar ile ifade eder [41].

Örneğin; kemik iliği radyasyona, kas ve sinir dokusundan daha duyarlıdır. Eğer birinin mide ve mesanesi sırasıyla 100 ve 70 mSv'lik eşdeğer doza maruz kalmış ise, etkin doz:

100 mSv \times 0,12 + 70 mSv \times 0,05 = 15,5 mSv olur. Yani bu radyasyonun tüm vücut için zararı 15,5 mSv'lik doza eşit olacaktır [23].

2.6 Radyoaktif Bozunma Mekanizması

Doğada bulunan ağır elementlerin çekirdekleri büyük olduklarından dolayı kararsızdırlar. Örneğin; U-238 izotopu 92 proton ve 146 nötrona sahiptir. Kararlı hale gelebilmek için çekirdek bir alfa parçacığı yayımlayabilir, böylece sırasıyla proton ve nötron sayıları 90 ve 144'e iner. Bunun anlamı çekirdek 92 yerine 90 atom numarasına sahip bir çekirdek olur ve artık bir uranyum çekirdeği değildir. Atom numarası 90 ve kütle numarası 234 olan Th-234 elementinin bir izotopudur [19]. Bu bozunma süreci;



şeklinde, daha yaygın olarak;



şeklinde yazılabilir. Bu sürecin diğer bir örneği Po-218'in alfa yayımlayarak Pb-214'e dönüşmesidir [19].



Ağır çekirdeklere nötron sayısı proton sayısından fazladır. Alfa yayımlanmasıyla ikisi de aynı miktarda azalır fakat oransal olarak nötron sayısı proton sayısına göre daha çok azalır. Alfa yayımlanmasıyla halen kararsız olan nötron zengini çekirdekler oluşur. Çekirdek, bu kararsızlığı düzeltmek için sadece nötron yayımlamaz, nötronlardan birini protona dönüştürür ve bunun sonucu olarak yüksek hızlı bir elektron yayımlanır [19].



Bu olay beta yayımlanması olarak bilinir. Bu durumda U-238 alfa yayımlayarak Th-234 çekirdeğine, beta yayımlayarak Pa-234 çekirdeğine dönüşür [19];



ya da;



Po-218'i tekrar ele alacak olursak bozunma;



şeklinde olur. Halen kararsız olan Bi-214 atomu, kararlı bir atom olana kadar alfa ve beta bozunmasına devam edecektir.

Çoğu durumda, alfa ve beta parçacığı yayımlanması sonrasında, çekirdek kendini yavaş yavaş yeniden düzenler, gama emisyonu ile enerji açığa çıkarır [19].

Diğer iki bozunma süreçleri de pozitron yayımlanması ve elektron yakalanmasıdır. Pozitron yayımlanmasında, çekirdekteki bir proton pozitif bir elektron açığa çıkarır (β^+) ve bir nötron oluşur [19]:



Örneğin;

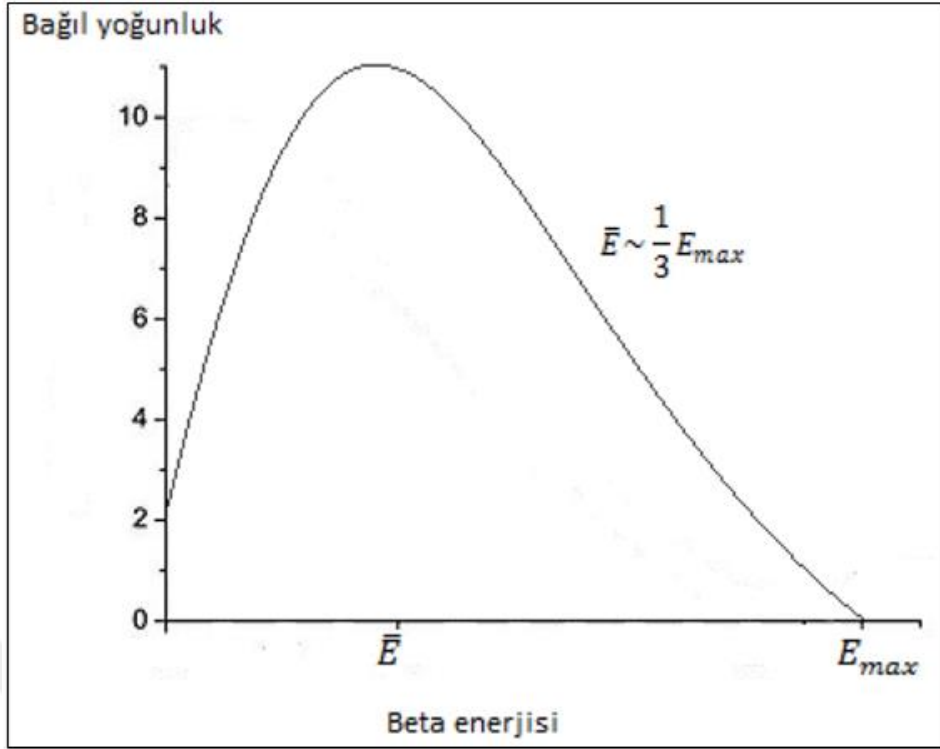


Elektron yakalanması; bir protonun bir nötrona dönüşmesi sonucunda çekirdek tarafından iç yörüngedeki bir elektronun yakalanması sürecidir [19].



Atomik elektronların yeniden düzenlenmesi ile X-ışınları yayımlanmaya başlar [19].

Beta bozunumu boyunca yayılan elektronlar enerji aralığı sıfırdan E_{\max} 'a kadar değişen sürekli bir enerji dağılımına sahiptir ve burada E_{\max} incelenen çekirdeğin karakteristiğidir. En olası beta enerjisi yaklaşık $1/3E_{\max}$ 'tır (Şekil 2.12) [19].



Şekil 2.12 Tipik beta spektrumu [19]

2.7 Doğal Radyoaktif Seriler

Atomun parçalanması ve yüklü parçacıkların atılması ile daha hafif hale gelen yeni atom, önceki halinden farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahiptir. Bir atom parçalanma süreci başladıktan sonra kararlı hale gelene kadar arka arkaya radyoaktif dönüşümler geçirir. Bu duruma o atomun bozunum serisi denir [42].

Radyoaktif bozunma örnekleri, doğal olarak meydana gelen radyoaktif maddelerdir ve doğal radyoaktif seriler olarak adlandırılır. Üç adet doğal radyoaktif seri vardır. Çizelge 2.6'da görüldüğü gibi bunlar; toryum serisi, uranyum-radyum serisi ve aktinyum serisidir. Ayrıca bu tabloda en uzun ömürlü üyesinin yarı ömrü ($t_{1/2} = 2,20 \times 10^6$ yıl) evrenin yaşına (3×10^9 yıl) oranla kısa olduğu için doğada bulunmayan neptünyum serisi de vardır [19].

Doğal radyoaktif seriler, uzun yarı ömürlü bir izotop ile başlayıp alfa ve beta parçacığı yayımlayarak kararlı olan bir kurşun izotopu ile son bulur. Yapay olan neptünyum serisi ise kararlı bizmut izotopu (Bi-209) ile son bulur (Çizelge 2.6) [43], [44].

Çizelge 2. 6 Doğal Radyoaktif Seriler [19]

Serinin adı	Son kararlı çekirdek	En uzun ömürlü üyesi (yıl)
Toryum	Pb-208	Th-232 ($t_{1/2}= 1,39 \times 10^{10}$)
Uranyum-radyum	Pb-206	U-238 ($t_{1/2}= 4,5 \times 10^9$)
Aktinyum	Pb-207	U-235 ($t_{1/2}= 8,52 \times 10^8$)
Neptünyum	Bi-209	Np-237 ($t_{1/2}=2,20 \times 10^6$)

2.7.1 Toryum (Th)

Toryum, atom numarası 90 olan, gümüş beyazı renğinde doğal radyoaktif bir elementtir. Doğada tek başına bulunmaz, minerallerin yapısında bulunur [45].

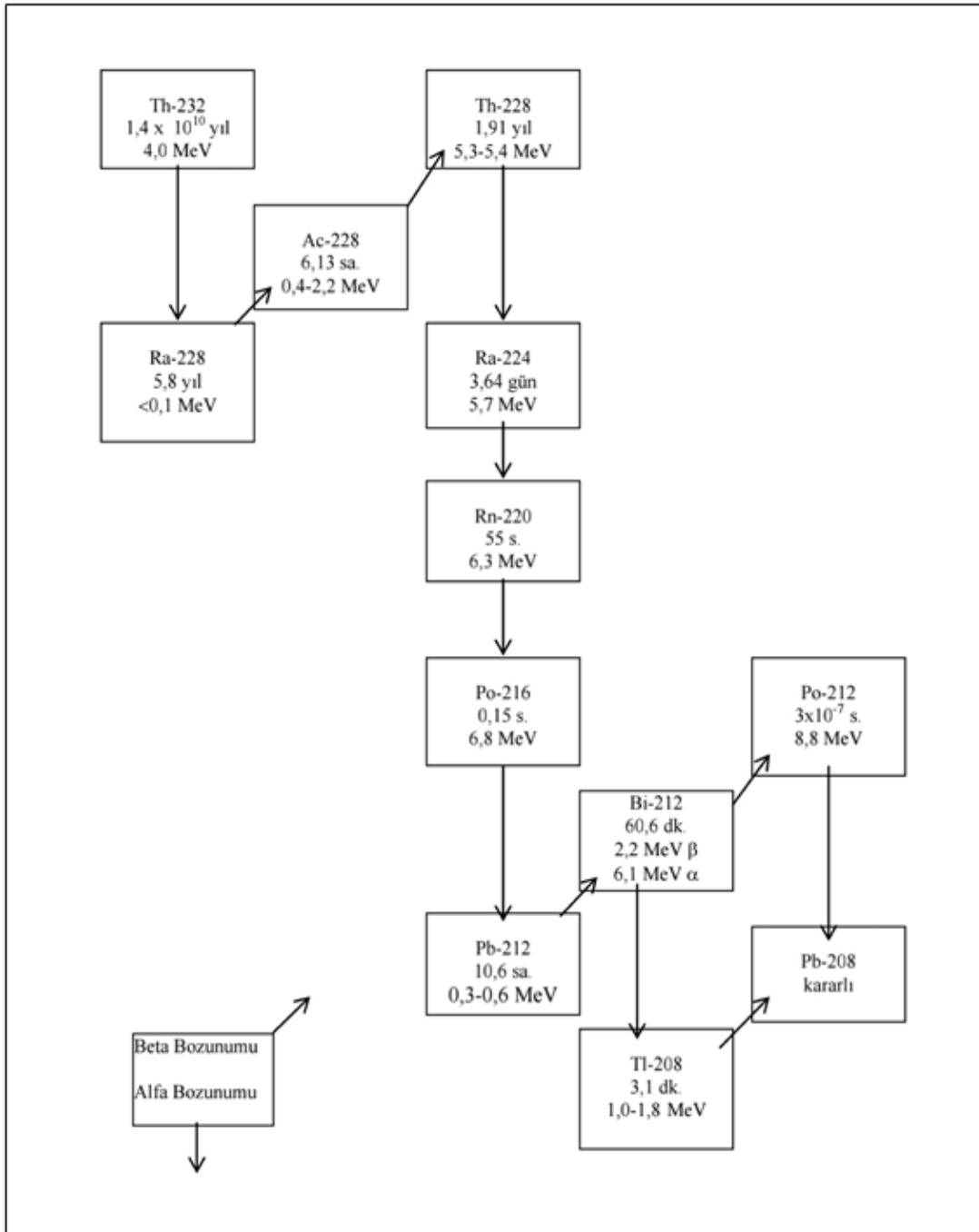
Uranyuma göre doğada üç kat daha fazla bulunur ve nükleer yakıt olarak değerlendirildiğinde, çok büyük bir enerji kaynağıdır [1]. Fakat nükleer yakıt olarak kullanılması için bir nötron ile bombardıman edilmesi gerekir. Kendiliğinden bölünebilme durumu olmadığı için, fisil (nükleer fisyon uygulandığında bölünebilme özelliği olan çekirdek) madde olarak kullanılamaz [45]. Bu yüzden toryum rezervlerinin işlenmesi için maliyetli bir süreç gerekir ve henüz toryumun yakıt olarak kullanıldığı nükleer bir santral yoktur.

Elektronik cihazlarda, nükleer teknolojide, projektörlerde ve gaz lambalarında toryum kullanılabilir. Kalsiyum karbonat (CaCO_3) içeren organik maddelerde ise Th-230 izotopu ile 1 000 ile 1 000 000 yıl arasında yaş tayini yapılması mümkündür [45].

Toryum farklı jeolojik ortamlarda, içme sularında ve gıdalarda doğal bir şekilde meydana gelse de, kanserojen karakter ve kimyasal toksisiteler nedeniyle insan sağlığına etki eder. Pankreas ve akciğer kanserine yol açar [46].

Dört adet doğal toryum izotopu vardır. Bunlardan en yaygın olanı Th-232'dir. Başlangıçta alfa parçacığı yayımlayarak bozunduğu için bozunum zincirinde 4'ün katları şeklinde ($4n$) kütle numarasına sahip olur [43], [44]. Th-232'nin bozunum serisi Şekil

2.13'te gösterildiği gibidir [1]. Bu seride, atom başlangıçta Th-232'dir ve Pb-208'e kadar radyoaktif bozunma geçirir [19].



Şekil 2.13 Toryumun bozunum serisi [1]

Bozunma serisinin bu üyelerinin yarı ömürleri Po-216 için 0,15 saniyeden Th-232 için yaklaşık $1,4 \times 10^{10}$ yıla kadar değişir [19].

2.7.2 Uranyum (U)

Uranyum, bölünebilir olarak tanımlanan ilk elementtir ve atom numarası 92'dir. Doğal radyoaktif bir element olduğu için ve nükleer zincir reaksiyonu gerçekleştirebildiği için nükleer patlayıcıların yapımında ve nükleer reaktör yakıtlarının temininde uranyum kullanılır [47], [45]. Ayrıca gemi ve uçak yapımında, uranil asetat uygulamalarında da uranyumdan faydalanılır [45].

Doğada serbest olarak bulunmayan uranyum, yer kabuğunda birçok elementle birleşerek yüzlerce mineral oluşturur. Bu uranyum mineralleri bütün kayaç tipleri içerisinde bulunsa da sadece birkaç tanesi işletilebilir durumdadır [48], [45].

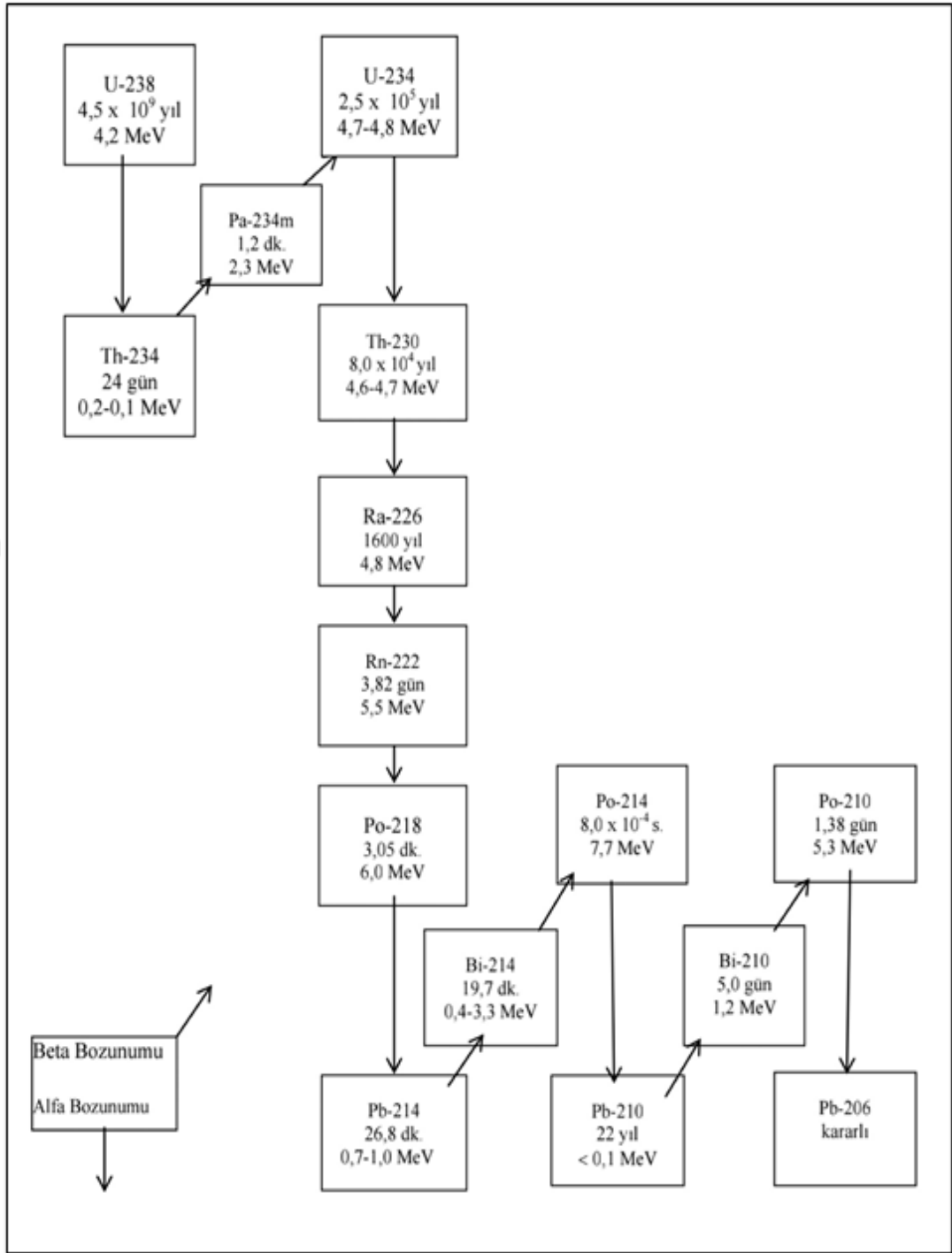
Uranyumun doğada U-234, U-235 ve U-238 olmak üzere üç adet izotopu vardır [1]. U-235'ten nükleer anlamda daha iyi verim elde edilebilmesi için zenginleştirme işlemi yapılmalıdır. Bu işlem fisyon sırasında fisil U-235 atomlarının miktarını artırır [45].

Günümüzde azalan petrol ürünleri ve kömürden elde edilen enerjiden kaynaklanan önemli sera gazı emisyonları, nükleer enerjiye olan ilgiyi artırmıştır [47]. Keza 1 g uranyum ile sağlanan fisyon enerjisi, yaklaşık olarak 2,6 ton kömürden sağlanan enerjiye eşdeğerdir [49]. Bu da temiz enerji elde edilmesi konusunda uranyumun önemini göstermektedir.

Uranyumun miktarı coğrafi, jeolojik ve meteorolojik özelliklere göre toprak ve kayalarda farklılık gösterir. Uranyumun herhangi bir yerdeki varlığı, radon gazlarına da işaret eder [1].

Uranyum serisinde ikisi radyoaktif (Pb-214 ve Pb-210) ve biri kararlı (Pb-206) olmak üzere kurşunun üç adet izotopu yer alır. Kimyasal özellikler açısından hepsi kurşun olarak adlandırılrsa da farklı kütleleri vardır [42].

Doğada yer alan radyonüklitlerin çoğunluğu U-238'in bozunum ürünleridir. U-238 izotopu ise doğal uranyumun %99,28'ini oluşturur. U-238 başlangıçta alfa parçacığı yayımlayarak bozunur ve serideki kütle numaraları $4n+2$ şeklindedir (Şekil 2.14) [43], [44].

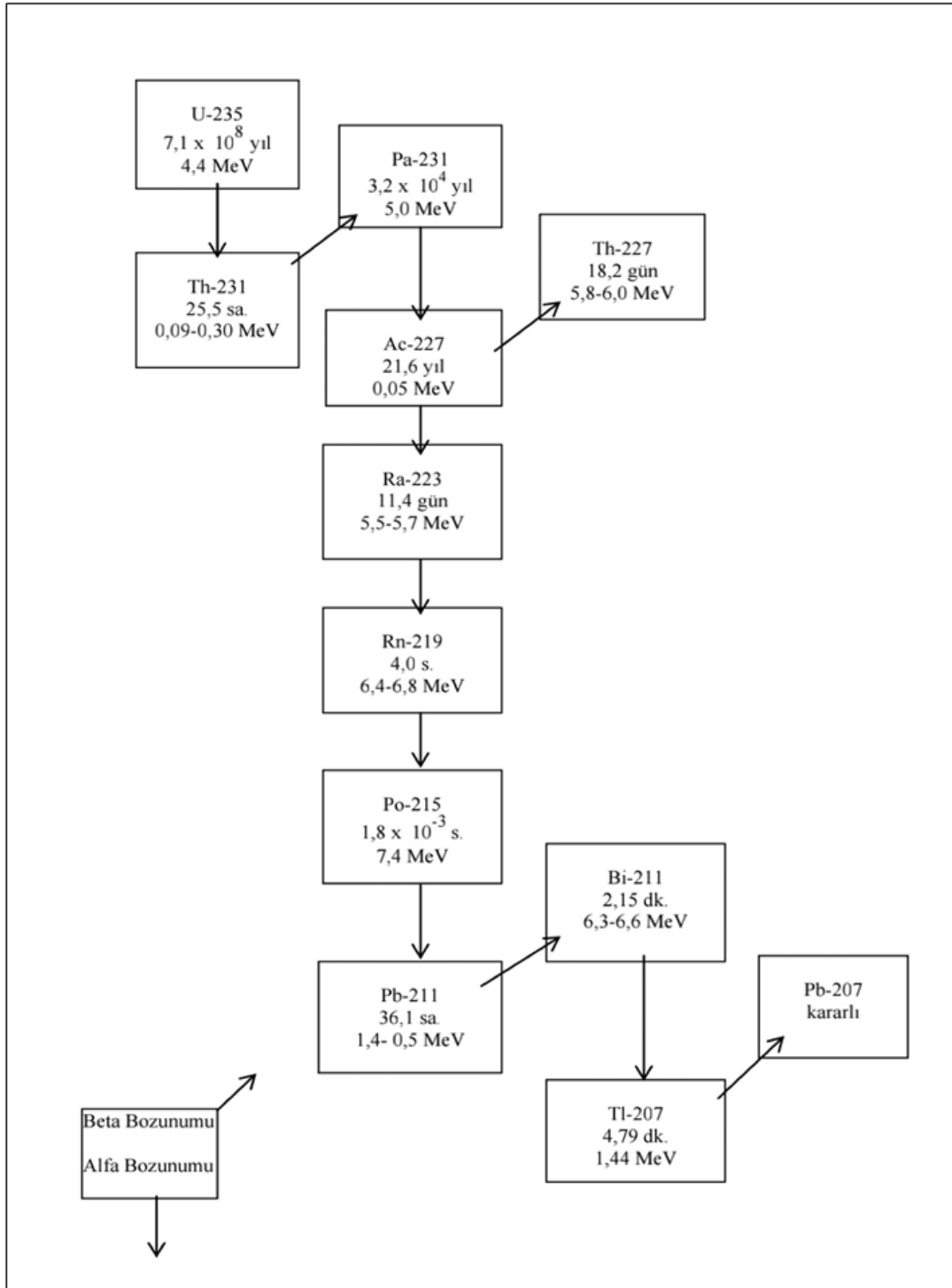


Şekil 2.14 Uranyumun bozunum serisi [1].

2.7.3 Aktinyum (Ac)

Aktinyum serisi, uranyumun bir izotopu olan U-235 ile başlar. Alfa ve beta yayımlayarak bozunur ve kurşunun Pb-207 olan izotopu ile biter. Kütle numarası ise serinin başlangıcındaki kütle numarası baz alındığında $4n+3$ şeklinde devam eder [43], [44]. U-

235 izotopu, U-238'e göre doğada çok az bulunur ve serideki en uzun yarı ömürlü radyonüklitdir ($7,04 \times 10^8$ yıl) [50]. Bozunum şeması Şekil 2.15'teki gibidir.



Şekil 2.15 Aktinyumun bozunum serisi [1].

Neticede, kütle numarasına bağı olarak doğada bulunan radyoaktif izotoplar, yapay neptünyum serisi ile birlikte toplam 4 seride yer alır. Serilerin atom numaraları matematiksel olarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir [51].

Toryum serisi; $A = 4n$ (Th-232 ile başlar)

Neptünyum serisi; $A = 4n+1$ (Np-237 ile başlar)

Uranyum serisi; $A = 4n+2$ (U-238 ile başlar)

Aktinyum serisi; $A = 4n+3$ (U-235 ile başlar)



AĞIR METALLER

Son yıllarda kimyasal kirliliğin artmasıyla birlikte ağır metaller konusu dikkat çekmiştir. Ağır metaller ve bileşiklerinin toksik özelliklere sahip oldukları bir gerçektir. Toksisitenin kimyasal temeli ve toksik etkilerin tahmin edilebilmesi için ağır metallerin periyodik tabloya dayalı bir sınıflandırması yapılmıştır [52]. Buna göre ağır metallerin periyodik tablonun 3A ya da daha üst periyodunda bulunan metaller olduğu söylenebilir. Biyolojik etkinin belirlenmesi için söz konusu metalin periyodik tabloda ait olduğu gruba bakılması gerekir. Ağır metaller fiziksel olarak 5 g/cm^3 'ten daha yoğundur. Bu şartlar altında 60'tan fazla metal vardır [53], [54].

Ağır metaller doğal oluşumlar dışında insan faaliyetleri sonucunda da atmosfere yayılmıştır [53], [55], [56], [57]. Atmosferden karaya, bitkilere ve ekosistem ile hayvanlar ve insanlara ulaşırlar. Ayrıca atık sularının içme sularına dahil olmasıyla ve atmosferde biriken ağır metal partiküllerinin solunmasıyla da canlıların sağlığını tehdit ederler [53]. Canlıların sağlığını tehdit eden en büyük kirleticilerin başında ağır metallerin gelmesinin diğer sebebi ise sucul ortamlarda ve bu ortamda yaşayan canlılarda birikmesidir [53], [55], [56], [57].

Toprak ve bileşiminde bulunan ağır metallerin asit yağmurları ile çözünmesiyle sucul ortamlara ulaşan ağır metaller seyrelerek karbonat, sülfat ve sülfür olarak bileşik oluşturur ve katı olarak su tabanına çökerek birikirler. Sucul ortamlarda ağır metal konsantrasyonu sürekli olarak yükselir. Özellikle akıntının olmadığı sucul ortamlarda (göller, su havzaları) ağır metallerin ölçülmesi ve çevresel önlemlerin alınması, bölgede yaşayan canlıların sağlığı açısından son derece önemlidir [53], [54].

İnsan sağlığına ve ekolojik sisteme etki eden başlıca ağır metallere; çinko, kobalt, mangan, krom, bakır, nikel ve kurşundur.

3.1 Çinko (Zn)

Çinko, bŸyŸme ve gelişme için gerekli bir elementtir ve eksikliği gibi vŸcuttaki fazlalığı da sağlık sorunlarına neden olur. Yaraların iyileşmesinde, bağışıklık, Ÿreme ve sinir sisteminde etkilidir. Eksikliği durumunda çocuklarda zeka geriliği ve iskelet yapısında zayıflık gŸrŸlŸr. Fazlalığı ise vŸcutta toksik etki oluşturur, bakır emilimini engeller. Doğrudan toksik etkilerin yanı sıra çinko tuzları, endokrin sisteme zarar verir.

TŸm dokularda, çinko dŸzeyleri demir dŸzeylerine gŸre 2 kat daha yŸksektir, kolayca emilir ve hızla yayılır. Ayrıca inko, çeşitli pestisitlerin (zararlı organizmaların kontrol altına alınması için tarımda kullanılan ilaçlar) Ÿretim sŸrecinde kullanılan Ÿnemli bir maddedir. Çinko, hem toprak kabuğunda hem de bitkisel ve hayvansal hŸcrelerde çeşitli kombinasyonlarda bulunur. Tahıl ŸrŸnleri, et ŸrŸnleri, meyve ve sebzeler, kurubaklagiller, sŸt ve sŸt ŸrŸnleri gibi birçok besin çinko içerir. Yiyecekleri ısıtmak için kullanılan çinko kapları ise, kontaminasyona yol açabilir [58].

3.2 Kobalt (Co)

Atom numarası 27 olan kobalt oldukça ender bulunur. Demir, nikel ve çinko gibi diğer geçiş elementleriyle birlikte çıkarılır. Oksitlenmeye karşı dirençlidir. Sert, koyu renkli ve yŸksek sıcaklığa rağmen katı halini koruyacak kadar dayanıklıdır [59], [60].

GŸlŸ manyetik malzemelerde, jet motoru gaz tŸrbinlerinde, veri saklama cihazlarında, oksitlenmediği için paslanmaz elik Ÿretiminde, lityum pillerinde, elektroliz kaplamada kullanılır. Kobalt tuzları boya sanayisinde pigmentler olarak kullanılır [59], [60].

ReaktŸrde Fe-59 elementinin nŸtronla bombardıman edilmesi sonucu yapay olarak Co-60 radyoizotopu elde edilir [40] ve yarı ŸmrŸ 5,26 yıldır [1]. Tıpta ise kanserin yayılmasını yavaşlatmak için dŸřŸk maliyetli, homojen ve uygulanabilirlik açısından işlenebilme ve şekillendirilebilmesi kolay olduğu için radyasyon kaynağı olarak Co-60 izotopundan faydalanılır [61].

Kobalt çevremizde doğal olarak bulunur, ancak endüstriyel faaliyetler nedeniyle daha yüksek emisyonlar gözlemlenebilir. Maruz kalındığında solunum fonksiyonlarında azalma, ödem ve akciğerin kanaması gibi sorunlara neden olur. Fazlası ise solunum yolu tahrişi, astım, zatürre ve hırıltıya yol açar [62].

3.3 Mangan (Mn)

Periyodik tablonun 7B grubunda yer alan manganın atom numarası 25'tir. Genellikle grimsi ve parlak olup toksiklik seviyesi fazladır. Kobalt gibi diğer geçiş elementleriyle birlikte bulunur. Esasen kullanım alanları da kobalt ile benzerlik gösterir. Metal endüstrisinde alaşım yapılarak paslanmayı engellemek için kullanılır [63].

Manganın vücuda fazla alınması insanlarda ve hayvanlarda zehirlenmeye neden olabilir. Eksikliğinde ise yorgunluk, fiziksel ve zihinsel fonksiyonlarda zayıflık görülür. Bitkiler için de gerekli olup tarım sektöründe gübrenin içeriğine katılır [63].

Mangan, çeşitli biyokimyasal ve hücrel fonksiyonlarda metal bir kofaktör olarak davranan önemli bir eser elementtir. Toksiklik seviyesinin altında bile olsa mangana maruz kalan böceklerin beyindeki depominerjik sinyal yolunun etkilendiği ve böceklerin davranışlarında değişiklik olduğu bilinir [64].

3.4 Krom (Cr)

Atom numarası 24 olan krom metalik bir elementtir. Kayalarda, hayvanlarda, bitkilerde ve toprakta katı, sıvı veya gaz halinde bulunabilir. Krom bileşiklerinin yer altı sularında bulunması söz konusu değildir, fakat sudaki sedimentlerde çok kalıcıdır. Krom paslanmaz çelik gibi metal alaşımlarında, metal koruyucu kaplamada, manyetik bantlarda, boya pigmentlerinde, çimento, kağıt, kauçuk, zemin kaplama bileşimi ve diğer malzemelerde kullanılır [65].

Zehirli ve kanserojen olan 6 değerlikli krom bileşikleri, kromitlerin (krom içeren mineraller) oksidasyonu, ağaç, kağıt ve fosil yakıtların yanması sonucu oluşur. Toprakta, suda ve organik maddelerde 3 değerlikli olarak bulunan krom çok önemli bir besindir [53], [65], [66].

Aerosol olarak solunduğunda, bronş sistemi zarar görebilir. Deriyle teması, cilt ülserine neden olur. Uzun süre maruz kalmak akciğer, karaciğer, böbrek, dolaşım sistemi ve sinir dokularına zarar verdiği gibi cilt tahrişi de oluşturabilir [65].

EPA raporuna göre kromun yasal sınırı içme suyunda 0,1 ppm'dir [65], [67].

3.5 Bakır (Cu)

Bakır, periyodik tabloda 1B grubunda bulunan iletken bir elementtir. Atmosferde ve yerkabuğunda bulunur. Elektrik aletleri, inşaat, ulaşım ve bozuk para gibi birçok alanda kullanılması nedeniyle en çok aranan metaller arasındadır [68].

Bakırın uzun geçmişi ve yaygın kullanımı, önemli antropojenik emisyonlara neden olmuş ve bakır konsantrasyonu çevresel olarak artış göstermiştir [68], [69].

Bakır, tüm canlılar (insanlar, bitkiler, hayvanlar ve mikroorganizmalar) için hayati olan önemli bir eser elementtir. Çeşitli enzimler ve proteinlerde bulunur. Toprakta yüksek miktarda bakır bulunması bitkiler, mikroorganizmalar ve omurgasızlar üzerinde toksik etkilere neden olabilir ve toprak ekosisteminin çalışmasını etkileyebilir [68].

Bakırın insanlar için tavsiye edilen günlük alımı 1–2 mg'dır. Çoğu gıda maddesinde bulunması nedeniyle bakır yetmezliği çok nadir görülür [68].

3.6 Nikel (Ni)

Doğal ve yapay kaynaklı nikel hava, su, toprak ve canlı organizmalarda, yani neredeyse tüm çevrede bulunur. Havada çeşitli nikel konsantrasyonları parçacık büyüklüğüne ve iklim koşullarına bağlı olarak aerosol olarak yayılır. Yapay kaynaklı olanlar doğal kaynaklı olanlara göre daha küçük parçacıklardır. Metal partiküller atmosferden çökerek çevre kirliliğine neden olmaktadır. Atmosferden toprağa ve topraktan da çeşitli yollarla (asit yağmurları vs) sucul ortamlara ulaşır. Örneğin göllerde, organik maddelerde iyonik formda nikel birikir. Su bitkileri için yüksek seviyede nikel tespit edilmiştir. İçme suyu 1 litrede 10 µg'a kadar nikel içerir, yiyeceklerde ise nikel konsantrasyonu 0,5 mg/kg'dan azdır [58].

Soya, bazı kuru sebzeler, fındık ve yulaf yüksek miktarlarda içerebilir. Yiyeceklerden alınan günlük nikel alımı, gıda alışkanlıklarına bağlı olarak günde 100-800 µg arasında değişir. Nikel, başta solunum yolu olmak üzere besin yoluyla ve deri geçişiyle (transdermal) absorbe edilebilir [58].

Tüm vücut salgıları, idrar, ter, gözyaşı ve anne sütü nikelin vücuttan atılımını sağlar. Yutma veya inhalasyon ile nikel klorür, tiroid bezi tarafından iyot alımını azaltır [58].

3.7 Kurşun (Pb)

Fosil yakıtları, madencilik ve imalat gibi insan aktiviteleri sonucunda kurşun ve kurşun bileşikleri toprak, hava ve sucul ortamlar dahil her yere yayılmıştır. Kurşun; batarya, mermi, lehim ve boru gibi metal ürünler, X-ışınları koruyucu cihazlar gibi çeşitli alet ve malzemelerde kullanılabilir. Kurşun çok zehirli bir metaldir bu yüzden son yıllarda üretimde ve sanayideki kullanımı azaltılmıştır. Bugün ise kurşun bazlı boyalar, eski evlerdeki su boruları, kirlenmiş toprak, evdeki toz, içme suyu, kurşun sırlı seramik, bazı kozmetik ve oyuncaklarda kurşuna maruz kalma söz konusudur [65].

Kurşunun kanserojen bir madde olduğu bilinmektedir. Vücuttaki her organ ve sistemi etkilemektedir. Yetişkinlerde yapılan bazı testlerde, uzun süreli maruz kalınması halinde sinir sistemi fonksiyonlarında azalma gözlenmiştir. Parmak, el ve ayak bileklerinde güçsüzlük, kan basıncında küçük artışlar, iştahsızlık ve anemi de kurşunun neden olduğu rahatsızlıklardır. Yüksek seviyede kurşuna maruz kalma beyinde ve böbreklerde ciddi hasara, hamile kadınlarda düşük yapmaya, erkeklerde ise sperm üretiminden sorumlu organlara zarar verebilir [65].

EPA raporuna göre kurşunun yasal sınırı içme suyunda 15 ppb, havanın her metreküpünde ise 0,15 µg'dır [65], [67].

3.8 Vanadyum (V)

Vanadyum, atom numarası 23 olup gümüş grisi renğinde, yumuşak ve sünektir [70]. Kolay yükseltgenmeyen, korozyona dayanıklı olan bir geçiş metalidir [71]. Atmosferde kararlı haldedir [70].

Çeliklerin mekanik özelliklerini artırdığı için %4 oranına kadar sert ve işlenebilir çelik alaşımlarında vanadyum kullanılır. Vanadyum bileşikleri seyreltik asitten ve bazların çoğundan etkilenmezler[70]. Organik bileşiklerin üretiminde katalizör olarak kullanılabilirler. [71]

Vanadyumun kömür kaynakları ve alüminyum oksit gibi minerallerde bulunduğu bilinmektedir. Bununla birlikte, insan faaliyetleri (madencilik, yakıt üretimi, çelik kaplama vs.) yüzlerce bin ton vanadyumun serbest bırakılmasına ve birikmesine neden olarak topraktaki vanadyum konsantrasyonlarını artırabilir [72].

Topraktaki aşırı vanadyum, bitki ve mikroorganizma büyümesini engelleyebilir. Toksikitesi en fazla olan beş değerlikli vanadyum bileşiği, bitkiler üzerinde genotoksik etkilere neden olabilir ve sığır gibi hayvanlarda toksik tehdit oluşturabilir. Ayrıca, topraktaki hareketliliği ve sızabilirliği nedeniyle bitkilerde vanadyum birikir. Bu nedenle, vanadyum kirliliği bulunan toprakların iyileştirilmesi ve kirliliğinin azaltılması önemlidir [72].

Temel bir eser element olan vanadyumun eksikliğinin vücutta herhangi bir soruna yol açtığı görülmemiştir. Toksikitesi düşük bir elementtir [71].

3.9 Stronsiyum (Sr)

Stronsiyum, periyodik tablonun 2A grubunda yer alır, atom numarası 38'dir. Katı bir alkali metaldir ve gümüşümsü beyaz bir rengi vardır [73]. Fakat çabuk oksitlendiği için metalik rengini kaybeder. Isı ve elektriği çok iyi iletir [74].

Yer kabuğunda %0,04 oranında, deniz suyunda ise %0,0008 oranında bulunan stronsiyumun 28 tane izotopu olduğu bilinmektedir. Bu izotoplardan en önemlisi ve en tehlikelisi yüksek enerjili β^- yayımlaması nedeniyle Sr-90'dır. Sr-90, nükleer patlamalar sonucunda oluşan yapay bir izotoptur [73].

Stronsiyum, vücutta kalsiyum gibi davranır. Yani kemiklerde ve dişlerde birikir. Bu durum da büyüme ve gelişme üzerinde olumsuz etki yapar. Hatta kemik kanseri gibi biyolojik zararlar oluşturabilir. Stronsiyumun bazı bileşikleri ise deri ve mukozayı tahriş edebilir [73].

3.10 Baryum (Ba)

Baryum, periyodik tabloda 2A grubunda yer alan alkali bir elementtir. En ağır elementlerden biri olup kütle numarası yaklaşık 137'dir. Genellikle beyaz renklidir. Elektrik ve ısıyı iyi iletir. Aktifliği çok yüksektir ve diğer metallere göre uçucudur. Oksitleyici gazların (hava gibi) bulunduğu ortamlarda şiddetli reaksiyon oluşturabilir ve bu yüzden tehlikelidir. Yer kabuğunda fazlaca bulunur, fakat çok reaktif olduğu için elementel halde bulunmaz [75].

Sondaj sıvıları, petrol endüstrisi, cam, kağıt, patlayıcılar, yangın söndürücüler, sabunlar ve böcek öldürücüler gibi sanayi üretiminde ve günlük hayatta baryum bileşiklerinin yoğun kullanımı nedeniyle insanlar, yüksek seviyede baryuma maruz kalırlar [76].

Baryum, canlılar için gerekli bir element değildir ve belirli bir konsantrasyonda toksik olduğu bilinmektedir. Baryumun solunması, yeme ve içme yoluyla vücuda alınması gastrointestinal (sindirim sistemi ile ilgili) bozukluklara ve kas güçsüzlüğüne yol açabileceği gibi kardiyovasküler hastalıkları (kalp ve damar hastalıkları) da artırır [76]. Baryumun suda çözünen bileşikleri çok zehirlidir [75]. Baryum ile kirlenmiş içme suyunun iştihayı kaybetmeye neden olduğu gözlenmiştir. İki değerlikli baryum ise, hücre zarlarında potasyum kanallarını bloke ederek kas felcine neden olabilir [76].

3.11 Zirkonyum (Zr)

Zirkonyum, periyodik cetvelin 4B grubunda yer alır, atom numarası 40'tır. Çok aktiftir. Oksijen, hidrojen ve azot ile çok çabuk reaksiyona girer. Yer kabuğunda oldukça fazla bulunmasına rağmen homojen bir dağılımı olduğu için zirkonyum yatakları oluşmamaktadır. Sodyumun bol bulunduğu asidik magmatik kayalarda bulunur [77].

Zirkonyumun en çok bulunan minerali zirkondur. Zirkon ve zirkonyum bileşikleri kimya ve deri sanayisinde, makyaj malzemelerinde, alaşımlarda, elektronik aletlerde, seramikte ve dayanıklı olması sebebiyle nükleer santraller ile uzay sanayisinde kullanılır. Korozyona uğramadıkları için diş tedavisinde de kullanılır [77].

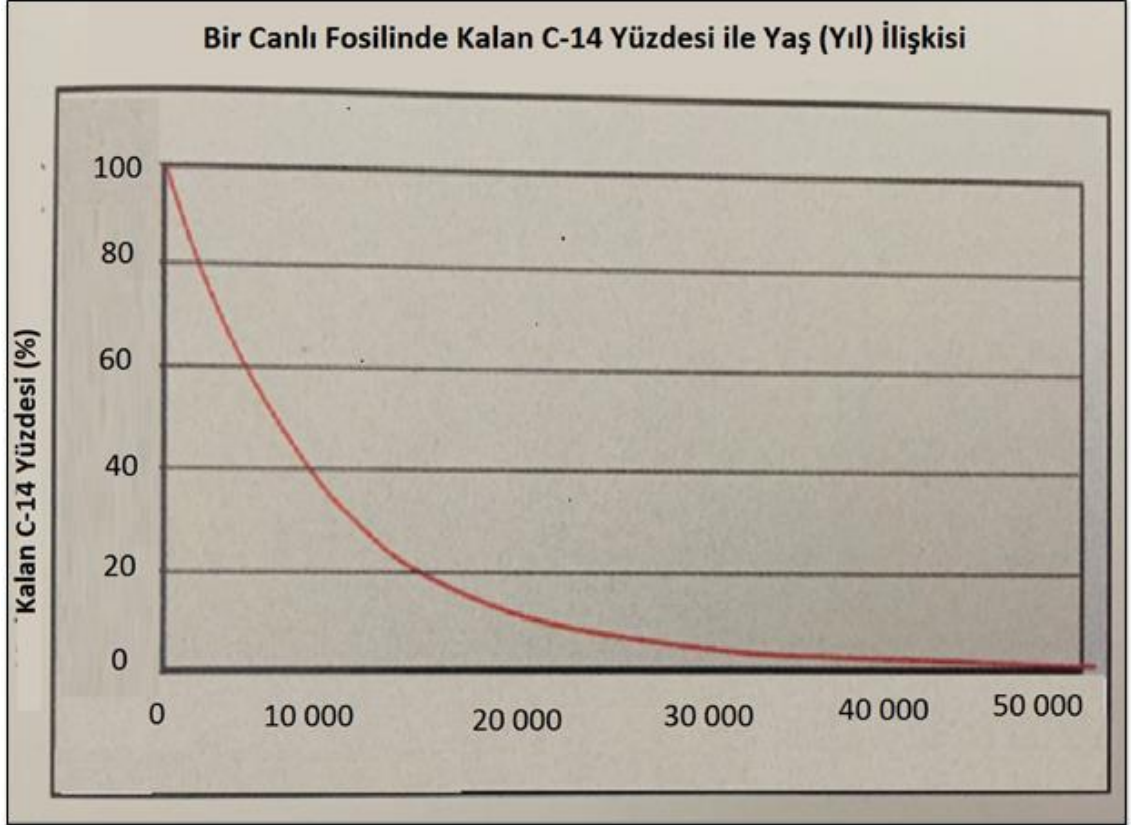
RADYOKARBON (C-14) TARİHLENDİRME YÖNTEMİ

Radyokarbon tarihlendirme yöntemi başta arkeoloji olmak üzere adli tıp, kriminoloji, jeoloji, çevre bilimi gibi birçok alanda gerek duyulan bir yaş tayini yöntemidir. Temeli, yaş tayini yapılacak olan organik madde içeren numunede bulunan C-14 atomlarının organizmanın ölümünden sonra β^- yayımı yaparak zamanla azalması prensibine dayanır. C-14 yöntemi, tarihin aydınlatılması ve bilimsel verilere göre revize edilmesi konusunda oldukça etkili olmuştur [78] ve günümüzdeki en önemli yaş tayinlerinden biridir.

Radyokarbon tarihleme yöntemi, Willard Libby tarafından 1947'de ortaya atılmıştır. Takip eden yıllarda Libby ve arkadaşları, yaşları daha önceden farklı yöntemlerle belirlenmiş olan Mısır'daki eski buluntularda radyokarbon yöntemini kullanarak hesapladıkları sonuçları karşılaştırmışlar ve sonuçların uyumlu olduğunu görmüşlerdir [79].

C-14 atomu, doğada bulunan üç adet karbon izotopundan biridir ve diğer izotoplara göre trilyonda bir oranında bulunur (C-12 ve C-13 izotopları sırasıyla %99 ve %1 oranında bulunur). Radyoaktif C-14 izotopu, atmosferin üst tabakalarında kozmik ışınların nitrojen gazıyla tepkimeye girmesiyle oluşur. Bir protonunu kaybeden nitrojen, C-14'e dönüşür. Oluşan C-14 atomları oksijenle tepkimeye girer ve karbondioksit dönüşerek atmosfere dağılır. Gerek fotosentez yolu ile, gerek karbonat çözeltisi olarak sucul ortamlarda çökmesi ile nihayetinde besin zincirine karışır ve tüm canlılara ulaşır. Bu durumda bütün canlılar yaşamları boyunca düzenli bir şekilde C-14 alırlar ve hepsi stabil bir yoğunluğa sahip olurlar. Canlıların ölümüyle besin alımı duracağından, C-14

atomlarının da vücuda girmesi durmuş olacaktır. Fakat radyoaktifliği nedeniyle vücuttaki miktarı yarılanma ömrüne bağlı olarak zamanla azalacaktır. C-14 izotopunun yarı ömrü 5 730 yıldır. Yani canlının ölümünden sonra C-14 miktarının yarıya inmesi için 5 730 yıl geçmesi gerekir. Yarı ömrün bu kadar uzun olması, yaş tayininin 50 000 yıla kadar yapılmasına olanak vermektedir [78], [79]. Esasında amaç C-14 izotoplarının salt olarak sayımı değil, kararlı olan ve vücutta azalmayan C-12 izotoplarının sayısına oranının hesaplanmasıdır. Yarılanma ömrü nedeniyle 50 000 yıl süre geçtiğinde, C-14 atomlarının oranı % 0'a yaklaşır (Şekil 4.1). Bu durum da mevcut teknoloji ile daha uzun bir zaman aralığı hesaplamamızı zorlaştırır. Keza sayım yapacak aletlerin geliştirilerek eser miktardaki radyoaktif atomların tespit kabiliyeti artırıldığında, daha da geriye dönük yaş hesaplamaları yapılabilir.



Şekil 4. 1 Canlı fosilinde kalan C-14 miktarının yaşa göre oranı [78]

Yaş tayini, aşağıdaki formüle göre hesaplanır:

$$T = 8267 \ln\left(\frac{A_0}{A}\right) \quad (4.1)$$

Burada T buluntunun yaşını, A_0 öldüğü andaki C-14 yoğunluğunu, A ise tarihleme işleminin yapıldığı andaki C-14 yoğunluğunu gösterir. A_0 'ın her canlı için geçerli olan bir değeri vardır. Dünya'nın var oluşundan beri (yaklaşık 4550 milyon yıl [25]) yayılan C-14 miktarı doğada homojen olarak yayılmış ve bir dengeye ulaşmıştır. C-14'ün canlılardaki yoğunluğu astrolojik saate göre yakın bir zaman olan binlerce yıldır sabit kabul edilebilir. A_0 aktivitesinin ölçümü için ABD'de bulunan Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü (NIST) 1955 yılında şeker pancarı ile hazırlanan standart oksalit asit 1'i ($C_2H_2O_4$) belirlemiştir. Böylelikle her laboratuvar kendi aletleriyle A_0 değerini bulmuş ve hesaplamalarını buna göre yapmıştır. 1997 yılına gelindiğinde ise Fransız ürünü pancar şırası ile hazırlanan standart oksalit asit 2 maddesi belirlenmiştir. Laboratuvarlar bu standart oksalik aside göre, yahut bu maddeye dayandırılan kendi belirledikleri ikincil standart maddeye göre hesaplama yapmak zorundadırlar [79].

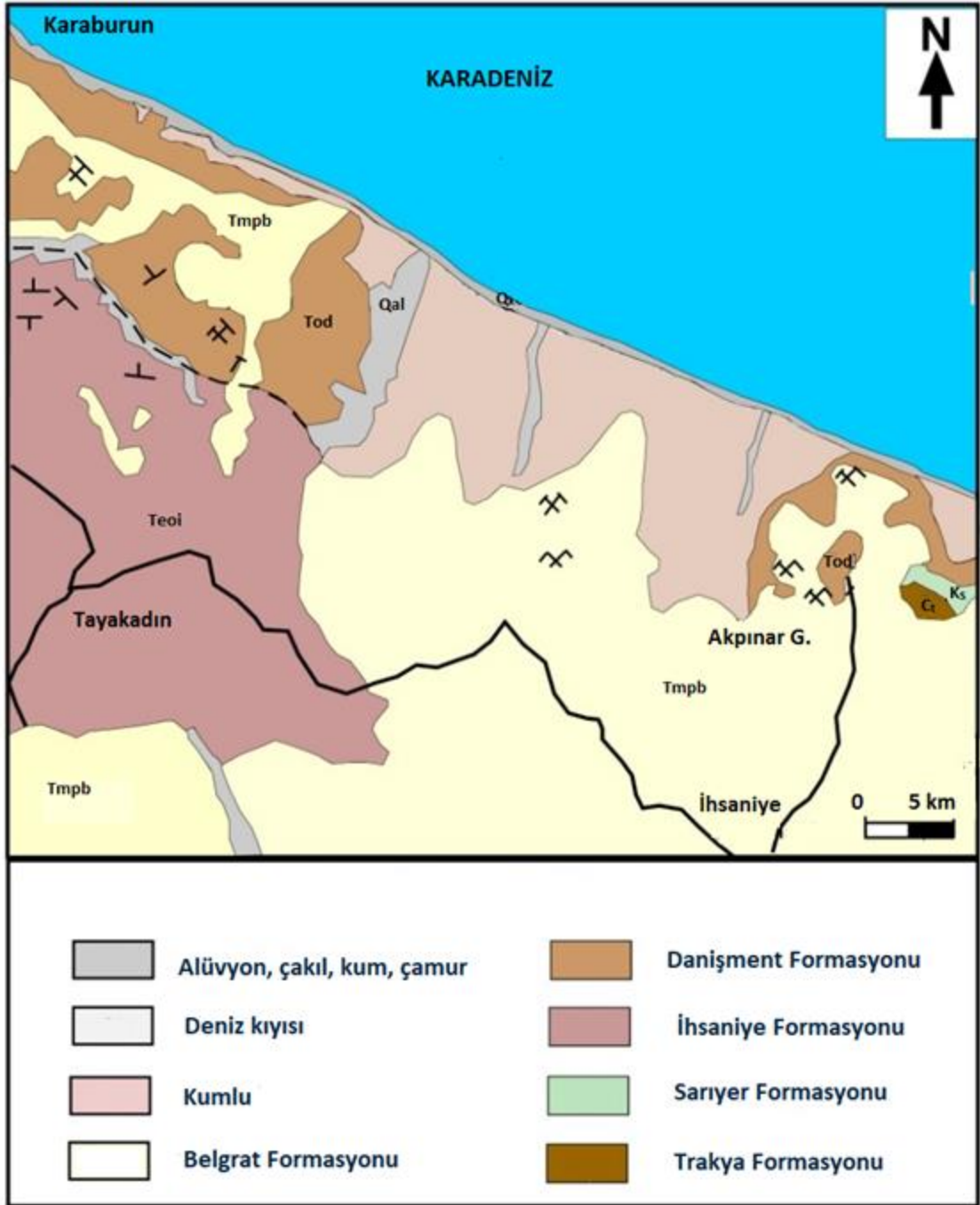
C-14 ile yaş tayininin kullanım alanları çok geniştir. Tarih ve arkeolojinin yanı sıra birçok hastalığın tanısı için C-14 analizi yapılır. Bir malzemenin sentetik ya da biyolojik kökenli olup olmadığı bu yöntem ile tespit edilebilir. Ayrıca jeolojik hareketlerin tespit edilmesinde kullanılır. Bu sayede jeolojik tabakalar tarihlendirilir, depremlerin oluş zamanları ve davranışları belirlenerek tahminlerde bulunulabilir [78].

ARAŞTIRMA YERİ VE ÖRNEK SEÇİMİ

5.1 Kulakçayırı Gölü'nün Genel Özellikleri ve Jeolojik Yapısı

İnceleme alanı İstanbul ili, Arnavutköy ilçesi ile Karadeniz arasında kalan yüzeysel bir su kaynağı olan Kulakçayırı Gölü ve çevresidir [10]. Sığ olan ve yaklaşık 500 hektarlık yer kaplayan gölün geçmişte Marmara bölgesinin büyük göllerinden birisi olduğu kabul edilir. Balık tutulan ve etrafında piknik yapılan Kulakçayırı Gölü, İstanbul 3. Havalimanı projesi sınırları içerisinde kaldığı için hafriyatla doldurulmuştur [80].

Numunelerin alındığı arazi, yer yer engebeli, yer yer de düze yakın bir topoğrafik yapıya sahiptir. Bölge, Marmara iklim kuşağında yer almaktadır. Marmara iklim tipine bağlı olarak bölge kışları soğuk, yağışlı yazları ise sıcaktır. Bölgede yağışlara bağlı olarak yüzey sularında artış gözlenmektedir. İnceleme alanı kuzey ve doğu bölgelerinde tepelik ve dalgalı düzlükler, güney ve batı bölgelerinde ise hafif dalgalı düzlüklerden oluşmaktadır (Şekil 5.1) [10], [81].



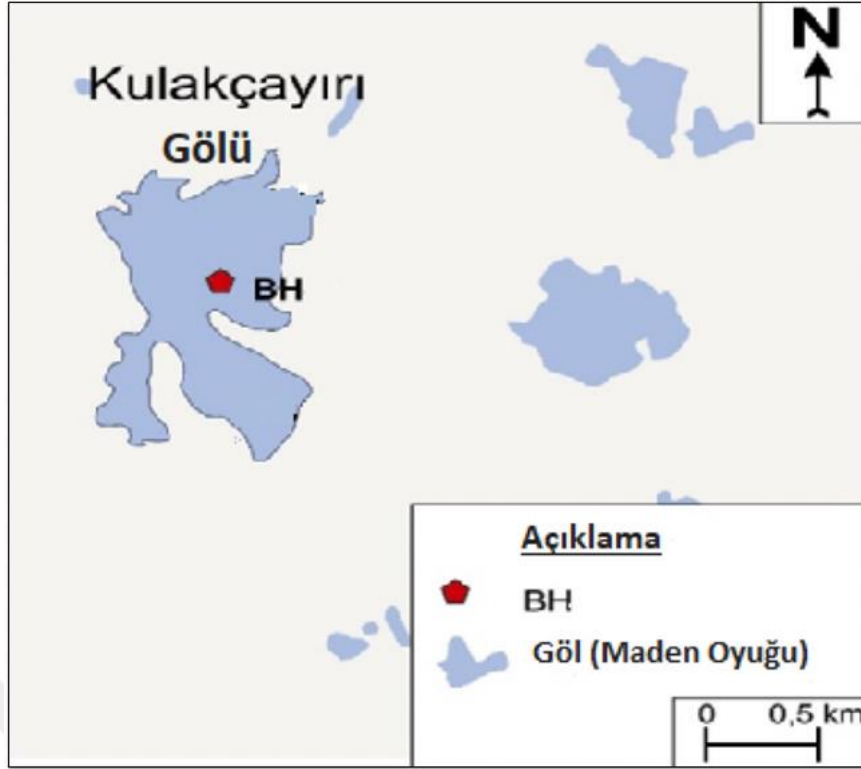
Şekil 5. 1 İnceleme alanı ve çevresinin jeoloji haritası [14]

İnceleme alanında temelde Alt Karbonifer Yaşlı Trakya Formasyonu (ayrılmamış) yer almaktadır. Bu temel üzerinde Üst Kretase (Kampaniyen-Maastrichtiyen) Yaşlı Sarıyer Formasyonu uyumsuzlukla yer almaktadır. Birim lav, tuf (yanardağların püskürttüğü külden ve lav parçalarından oluşan, genellikle açık renkli, gözenekli ve hafif, kolay ufalanıp parçalanabilen bir çökelti taşı), aglomera (volkan bombaları ve lapillerin -küçük taneciklerin- gelişi güzel bir şekilde çimentolanması ile meydana gelen kayaç), ara

tabakalı marn (çok ince taneli kil mineralleriyle kalsitin değişik oranlarda karışımından oluşmuş, çok yumuşak tortul kayaç), çakıltaşı ve kumtaşı litolojisinden meydana gelmektedir. Sarıyer Formasyonu üzerine açısal uyumsuzlukla Üst Eosen Yaşlı İhsaniye Formasyonu gelmektedir. Bu formasyon birimi, tuf ara seviyeli, killi kireçtaşı, kumlu kireçtaşı, marn, kiltası ve kumtaşından oluşmaktadır. Bu birim üzerine ise boşluklu bir uyumsuzlukla Üst Oligosen Yaşlı Danişment Formasyonu gelmektedir. Danişment Formasyonu ince-orta tabakalı kumtaşı ve laminalı kiltası araldanmasından oluşmaktadır. Danişment Formasyonu üzerinde ise Miyosen-Pliyosen Yaşlı Belgrad Formasyonu bulunmaktadır. Temelde bulunan tüm birimler Karadeniz kıyısına yakın düzlüklerde yer yer kumullarla örtülü olup, vadi yataklarında ve düz alanlarda alüvyonlar (akarsular tarafından taşınan kil, kum, çakıl taşı gibi kütle parçalarının, suyun akış hızının azalması sonucu elverişli yerlere birikmesiyle meydana gelen tortular) tarafından açısal uyumsuzlukla örtülmektedir (Şekil 5.2) [10], [82].

Çağ	Formasyon	Çevre	Kalınlık	LİTOLOJİ	AÇIKLAMA
Holosen				[Grey block]	Alivyum, çakıl, kum ve çamur
				[Blue dotted block]	Deniz sedimentleri, sahil sedimentleri
				[Red dotted block]	Kumul
Üst Miyosen	BELGRAT	Kıta		[Red wavy line]	Uyumsuzluk
				[Green textured block]	Çamurtaşı, kum ve çakıl
Oligosen	DANIŞMENT			[Red wavy line]	Uyumsuzluk
				[Orange textured block]	İnce orta tabakalı kumtaşı, lamine kireçtaşı
Orta-Üst Eosen	İHSANİYE			[Red wavy line]	Uyumsuzluk
				[Pink textured block]	Killi kireçtaşı, kumlu kalker, marn, kiltası, kumtaşı
Üst Kretase	SARIYER			[Red wavy line]	Uyumsuzluk
				[Green textured block]	Lav, tuf ve aglomeralar arakatmanlı marn, konglomera, kumtaşı

Şekil 5. 2 İnceleme alanı ve çevresinin genelleştirilmiş stratigrafik kesiti [14]



Şekil 5. 4 Çalışma alanı sondaj lokasyonu [14]

Numune derinlikleri yaklaşık 5-5,5, 10-10,5 ve 15-15,5 m'dir. Numunelerin çıkarıldığı koordinatlar kaydedilmiş (Çizelge 5.1) ve elde edilen numuneler isimlendirilerek laboratuvar ortamına taşınmıştır [2], [80].

Çizelge 5. 1 Kulakçayırı gölü sondaj koordinatları [14]

	SK	X	Y
Kulakçayırı Gölü	SK-1,2,3	645529,00	4572399,00

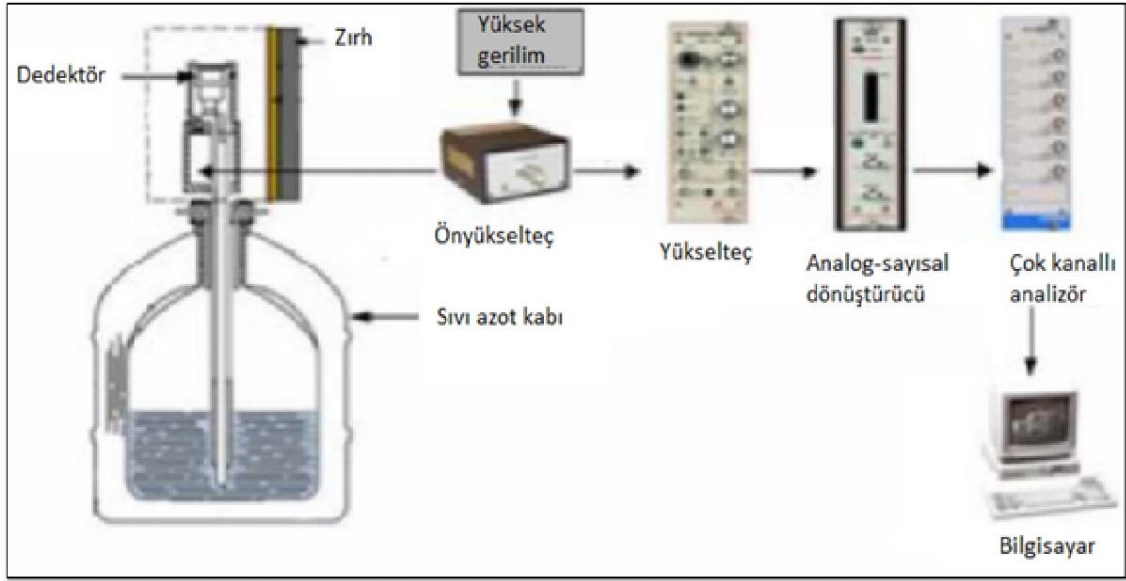
MATERYAL VE YÖNTEM

6.1 Çevresel Radyonüklit Konsantrasyonlarının Ölçümü

Çevresel örneklerdeki doğal radyonüklitlerin belirlenmesi için alfa spektrometrisi, gama spektrometrisi, sıvı sintilasyon sayımı gibi birçok yöntem vardır. Bunların içinde en çok kullanılan yöntem gama spektrometri yöntemidir. Çünkü birbirine yakın radyonüklit enerji piklerini bile kolaylıkla ayırt edebilmekte ve daha hassas ölçüm yapabilmektedir. Bu yöntem ile 40 keV-2000 keV enerji aralığında gama ışını yayımlayan radyonüklitler tespit edilir [82], [83].

6.1.1 Gama Spektrometri Analiz Sistemi

Tipik bir gama spektrometre sistemi, Şekil 6.1'de görüldüğü üzere NaI(Tl) gibi sintilasyon veya Ge(Li) ve HPGe gibi yarı-iletken bir dedektör (D), beraberinde ön-yükseltici (PA) ve yüksek voltaj filtresi ile güç kaynağı (HV), yükseltici (MA), örneksel-sayısal dönüştürücü (ADC), çok kanallı analizör (MCA) ve bilgisayar (PC) bağlantılı yazıcıdan (PR/PL) oluşur [82].



Şekil 6. 1 Germanyum dedektörlü gama spektrometre diyagramı [83]

Örnekler, kurşun zırh ile çevrili odacıkta, matrisinden ayrılmalarına gerek kalmadan, belirli bir sayım geometrisinde, doğrudan ve hızlı bir şekilde ölçülür [82], [83]. Gama ışınlarının dedektör kristalinde algılanması sonucu ortaya çıkan darbeler dedektörün bağlı olduğu elektronik modüllerin uygun bir kombinasyonu yardımıyla analiz edilir ve gama ışını yayan izotopların nitel ve nicel tanımlanması yapılır. Sayım verimini arttırmak amacıyla dedektöre olabildiğince yakın konumda sayım yapılır. Sayım süresi; ölçüm sisteminde doğal düzey sayımına, örneğin aktivitesine, ilgilenilen radyonüklite ve istenilen tayin duyarlılığına bağlıdır [82].

Kullanılan geometri için dedektörün sayım verimi; örnek yoğunluğu ve gama enerjisinin fonksiyonu olarak bulunmalıdır. Gama enerjisi ile sayım veriminin değişimine ilişkin bilgiler ve doğal düzey spektrumlarının hazır olması gereklidir [82].

6.1.2 Enerji-Verim Kalibrasyonu

Ölçüm sistemlerinin verim kalibrasyonunun, tayin edilecek radyonüklitlerin standartları ile yapılması gereklidir. Standartların sertifikalarında aktiviteleri, saflıkları ve belirsizlikleri belirtilmiş olmalıdır [82].

Kalibrasyon için kullanılacak standartların, ölçülecek radyonüklitlerle benzer kimyasal bileşimde ve hemen hemen aynı derişimde olması tercih edilir. Standardın, gerçek örnekle aynı biçim ve sayım geometrisini sağlaması gereklidir. Kalibrasyon kaynakları,

standart (marinelli gibi) veya isteğe bağlı olarak temin edilebilir. Marinelli (1L) ve PEG şişe (1L) standartları, 100-2000 keV enerji aralığında gama enerjileri yayımlayan radyonüklitler içermelidir [82].

Bilgisayara yansıyan spektrumların analizi için, hangi kanalın hangi enerjiyi ifade ettiği bilinmelidir. Böylece örnekteki radyoaktif çekirdek türü tespit edilebilir. Enerji kalibrasyonu için enerjileri önceden bilinen radyonüklitlerden oluşmuş standart kaynaklara gereksinim duyulur [83]. NBS veya mümkünse bir başka güvenilir uluslararası kuruluştan sağlanan standartların Ba-133, Cs-134, Cs-137, Co-60, Am-241, Cd-109 vb. gibi radyonüklitleri içermesi gerekir. Uygun standardın bulunamadığı durumlarda kalibrasyon eğrileri, radyoaktivitesi tayin edilecek olan örneğin yoğunluğuna eşdeğer maddelere, bilinen miktarlarda radyoizotop eklenmesiyle hazırlanır. Bunun da mümkün olmadığı durumlarda, mantıklı bir yaklaşımla sayım verimi belirlenebilir. Bunun için ilgilenilen enerjiden daha yüksek ve daha düşük beta ve gama enerjilerinde dedektör verimi tayin edilir ve istenilen enerjiye interpolasyon (var olan değerlerden yola çıkarak tahminde bulunma) yapılır [82].

Standart kaynakların gama spektrum enerji ve verim değerleri Çizelge 6.1'de ve hesaplanan enerji verim eğrisi Şekil 6.2'de verilmiştir.

Çizelge 6. 1 Gama spektrum enerjilerinin ve verimlerinin standartları.

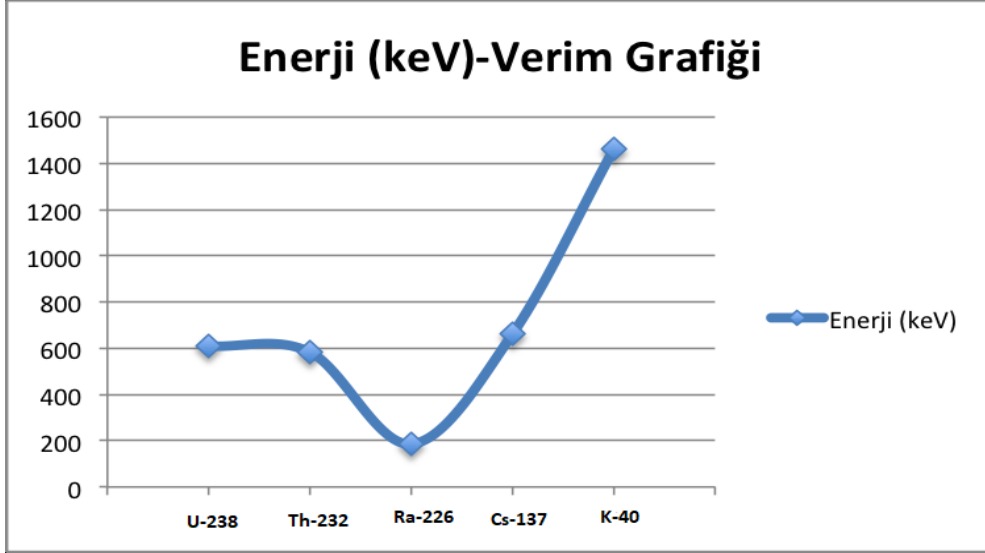
Radyonüklitler	Verim	Enerji (keV)
U-238	0,058	609,3
Th-232	0,073	583
Ra-226	0,366	185,7
Cs-137	0,037	661,6
K-40	0,096	1460,8

$$y = 6 \cdot 10^{-7} \cdot x^2 - 0,0012 \cdot x + 0,5682 \quad (6.1)$$

fonksiyonu kullanılarak verim değerleri elde edilmiştir.

x : Enerji (keV)

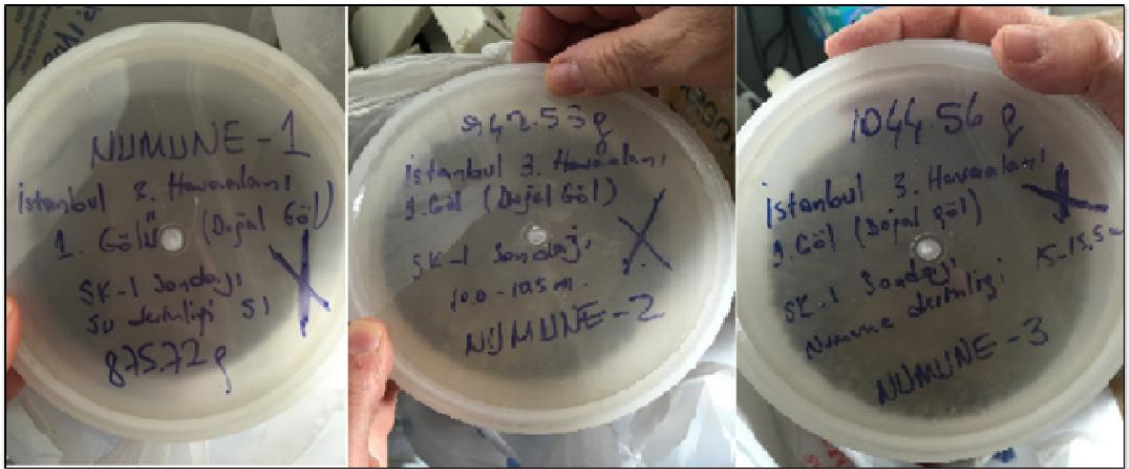
y : Verim



Şekil 6. 2 Enerji-verim eğrisi

6.1.3 Radyoaktif Ölçüm İçin Numune Hazırlama

Çalışma bölgesinden alınarak laboratuvar ortamına getirilen sediment numuneleri, çamurumsu kıvamının katılması amacıyla oda sıcaklığında yaklaşık 1 hafta kurutuldu. Bir miktar kurutulan sedimentler, nemden büyük oranda arındırılması için 50 °C'ye ayarlanan fırında yaklaşık 2 gün bekletildi. Bu işlemler sonucunda sediment numunelerinin nem oranının yeteri kadar düşürülmesi sağlandı. Nemden arındırılan sediment numuneleri, birbirlerine karışmayacak şekilde ayrı ayrı öğütüldü. Öğütülen numuneler, standart geometriye sahip olan yaklaşık 1000 ml'lik marinelli kaplara aktarılarak isimlendirildi (Şekil 6.3) [80], [84].



Şekil 6. 3 Numunelerin konulduğu polietilen malzemeden yapılmış marinelli kaplar

Daha sonra numuneler oda sıcaklığında, radon-toron dengesine gelmesi için kaplar içerisinde yaklaşık 40 gün kadar bekletildi. Tüm bu prosedür ile dengeye gelen numuneler sayıma hazır hale getirildi [80], [84].

6.1.4 Ölçüm Metodu

Gama spektrometre analizleri yüksek saflıkta germanyum katkılı Canberra GX5020 marka HPGe dedektörü ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 6.4). Ortamdaki fon radyasyonunun etkisini azaltmak için dedektör Canberra model 747 zırhı ile zırhlanmıştır. Zırh 9,5 mm kalınlığında çelik iskeletin içindeki 100 mm kalınlığındaki kurşundur. Zırhın iç kısmı X-ışınlarını önlemek amacıyla 1 mm kalınlığında kadmiyum ve 1 mm kalınlığında bakır ile kaplanmıştır. Zırhın taban kısmında ise halka şeklinde kurşunla kapatılmış 11,4 cm çapında boşluk vardır. Zırh içinde saçılan radyasyonun en aza indirilmesi için dedektör, zırhın merkezine yerleştirilmiştir. Azot soğutması için 50 L hacminde, vakumlu sıvı azot kabı kullanılmıştır [83].



Şekil 6. 4 Gama spektrometrik analiz sistemi [2]

Analizler yapılmadan önce gerçekleştirilen cihaz kalibrasyonu, numunelerin konulduğu marinelli kapların geometrisine uygun şekilde yapılmıştır. Kalibrasyonun ardından üç adet numune teker teker yaklaşık 1-1,5 gün boyunca sayılmış ve elde edilen sonuçlar Bq/kg cinsinden hesaplanmıştır [80], [14].

6.2 Gama Doz Hızlarının Ölçülmesi

Kozmik kaynaklar, kayalarda bulunan radyoaktif elementler ve yapay olarak elde edilen radyonüklitler çevresel gama radyasyonunun oluşumuna neden olurlar. Dünya'nın jeolojik yapısı incelendiğinde, toprak tabakasının hemen altında belirli bir kalınlıkta kaya yataklarının olduğu görülmektedir. Gama radyasyonunun önemli bir kısmının 0-25 cm derinlikteki yüzey tabakasından kaynaklandığı bilinmektedir. Deniz seviyesine yaklaştıkça ise kozmik etkinin azalmasına ilişkin olarak gama doz hızı azalmaktadır. Doğal ve kozmojenik radyoaktivite kaynaklarına bağlı olarak, fon radyasyon seviyesini belirlemek için çevresel radyoaktivite ölçümleri gereklidir [10], [11], [85].

6.2.1 Gama Sintilasyon Dedektörü

Ölçümlerde, ESP-2 (Eberline Smart Portable) model, taşınabilir mikro bilgisayarlı sintilatör cihazı kullanılmıştır. ESP-2 cihazı, ölçülen bilgileri kaydeden ve sonrasında bu bilgileri bağlı bir yazıcıya aktaran bir elektronik cihazdır. Cihaz ucuna SPA-6 model plastik sintilasyon algılayıcısı bağlıdır. Ağırlığı 800 gr olan SPA-6 dedektörü, 0,04-1,30 MeV enerji alanında, orta duyarlılıkta gama ölçümleri için kullanılan bir dedektördür (Şekil 6.5).



Şekil 6. 5 ESP-2 sintilatör cihazı

Sintilasyon dedektörleri, sintilatör olarak kullanılan bir madde ve bunun hemen arkasına bağlanmış foton çoğaltıcı bir tüpten (PMT) oluşur. İyonlaştırıcı radyasyonun sintilasyon fosforu denilen katı, sıvı veya gaz halindeki bazı maddelerle etkileşmesi sonucunda, iyonlaşma ve uyarılma meydana gelir. Elektronun verilen enerji, onu ortamdaki yerinden koparmaya yeterli olmadığı zaman uyarılan elektron, tekrar eski haline dönerken görünür ışık yayımlanır. Sintilasyon fosforlarının yaydığı ışık, foton çoğaltıcı tüpler tarafından toplanarak, gerilim pulsu haline getirilir. Meydana gelen pulsun genliği, radyasyonun enerjisi ile orantılıdır [86], [87].

Bu dedektörler sayım ve aynı zamanda enerji ayrımı için kullanılır. Sintilasyon fosforları, sıvı veya kristal şeklinde olabilmelerine rağmen halen radyasyon kontrol işlerinde sadece kristal olanlar kullanılmaktadır. X-ışınları veya gama ışınları için genellikle talyumla aktive edilmiş sodyum iyodür (NaI) kristalleri kullanılır [86], [87]. Bu cihazlar harici radyasyonu doğrudan ölçen sistemlerdir [10].

6.2.2 Ölçüm Metodu

Gama doz hızı ölçümleri Kulakçayırı Gölü çevresinde, 20 noktada yapılmıştır. Her ölçüm arasında 12 km bulunmaktadır. Ölçüm yaparken sintilasyon dedektörü, yerden yaklaşık 1 m yukarıda tutulmuştur. Dedektörün dengeye gelmesi ve daha hassas veri elde edilebilmesi için her ölçüm yaklaşık 1 saat sürmüştür. Ölçümlerde $\mu\text{R/h}$ olarak elde edilen gama ışınlama doz hızı değerleri nGy/h'ye dönüştürülerek not edilmiştir [10].

6.3 Ağır Metallerin İzlenmesi

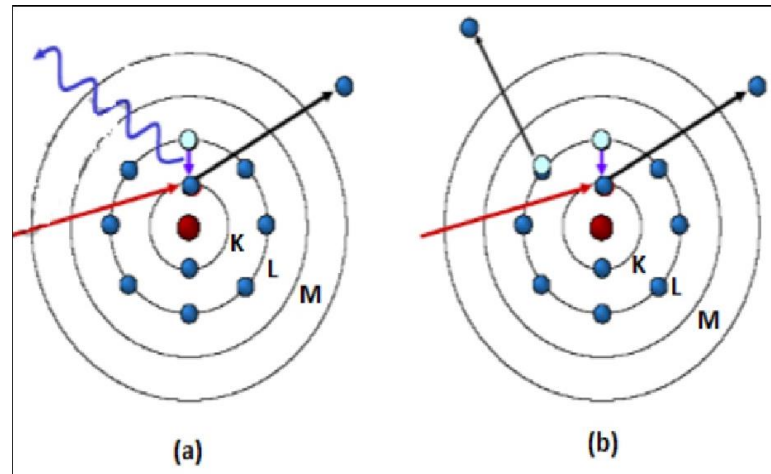
Çalışmada gölden alınan karot numunelerinin elementel analizleri XRF metodu ile yapılmıştır. Ölçümlerde WDXRF cihazı kullanılmıştır. Elementel analiz ile sediment numunelerinde bulunan organik ve inorganik maddelerin yapısında bulunan elementler tayin edilmiştir [14], [88].

6.3.1 X-ışını Floresan (XRF) Spektrometre Sistemi

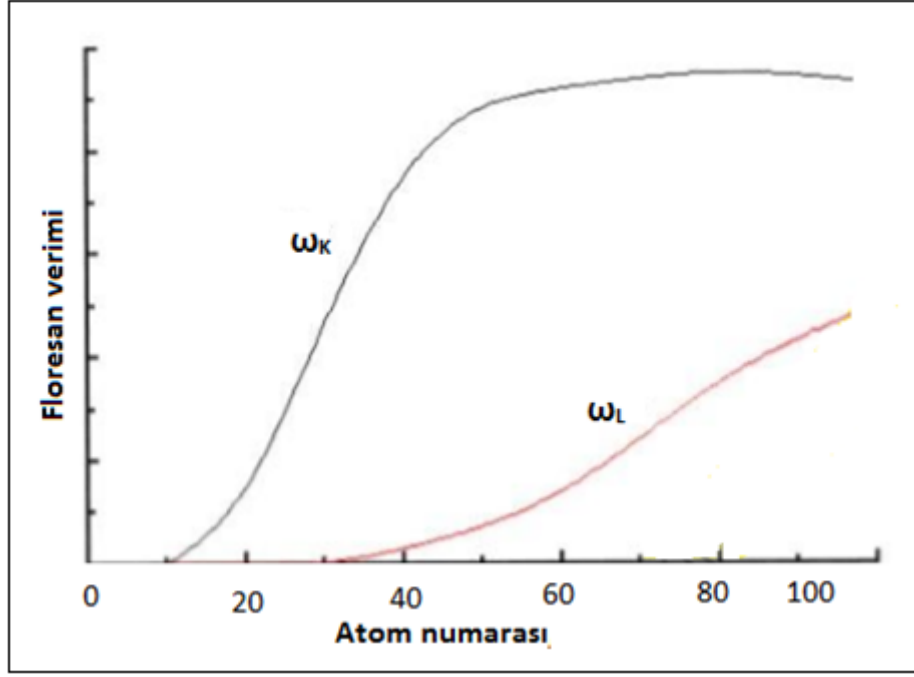
X-ışınları, görünür ışık gibi elektromanyetik spektrumun bir parçasıdır. Ancak görünür ışığın dalga boyu $8 \times 10^{-7} - 4 \times 10^{-7}$ m aralığında iken, X-ışınlarının dalga boyu çok daha kısadır ve $10^{-8} - 10^{-12}$ m aralığındadır. Bir XRF spektrometresinde, X-ışınları

kaynağından çıkan ışınlar (fotonlar) kimyasal analizi yapılacak olan örnek üzerine gönderilir. Örneğin atomları ile etkileşen fotonlar, yeterli kinetik enerjiye sahip olmaları halinde, atomun iç kabuğundan bir elektronu yerinden çıkartıp, atomu temel durumdan yüksek enerji seviyesine getirir. Üst kabuklardan bir elektronun bu boşluğu doldurması ile enerji açığa çıkar ve atom tekrar temel haline döner. Açığa çıkan enerji karakteristik floresan ışınımıdır. K_{α} emisyonu, K kabuğundaki bir boşluğun bir L elektronu ile doldurulması sonucu, K_{β} emisyonu K kabuğundaki bir boşluğun bir M elektronu ile doldurulması sonucu, L_{α} emisyonu L kabuğundaki bir boşluğun bir M elektronu ile doldurulması sonucu ortaya çıkar. Karakteristik ışınların dalga boyları sabit olup elementin karakteristiğidir ve bu durum numunenin kimyasal analizinin yapılmasına olanak tanır [89].

Bir atomun iç kabuğundaki boşluk oluşumunun üst kabuk elektronu ile doldurulması sonucu serbestleşen enerji her zaman karakteristik X-ışını emisyonu olarak ortaya çıkmaz. Bu enerji dış kabuktan bir elektrona verilerek onun Auger elektronu olarak emite edilmesini sağlayabilir (Şekil 6.6). Auger elektron emisyonu nedeniyle floresan X-ışınlarının verimi düşer. Auger etkisi özellikle atom numarası küçük olan elementler için daha yaygındır, çünkü atomlarının elektronları daha zayıf bağlıdır ve karakteristik ışınları daha kolay soğurur (Şekil 6.7) [89]. Bu da atom numarası düşük olan elementlerin tespit edilmesini zorlaştırır.



Şekil 6. 6 (a) Karakteristik X-ışını emisyonu, (b) Auger elektron emisyonu [89]



Şekil 6. 7 Floresan veriminin (w) atom numarası (Z) ile ilişkisi[89].

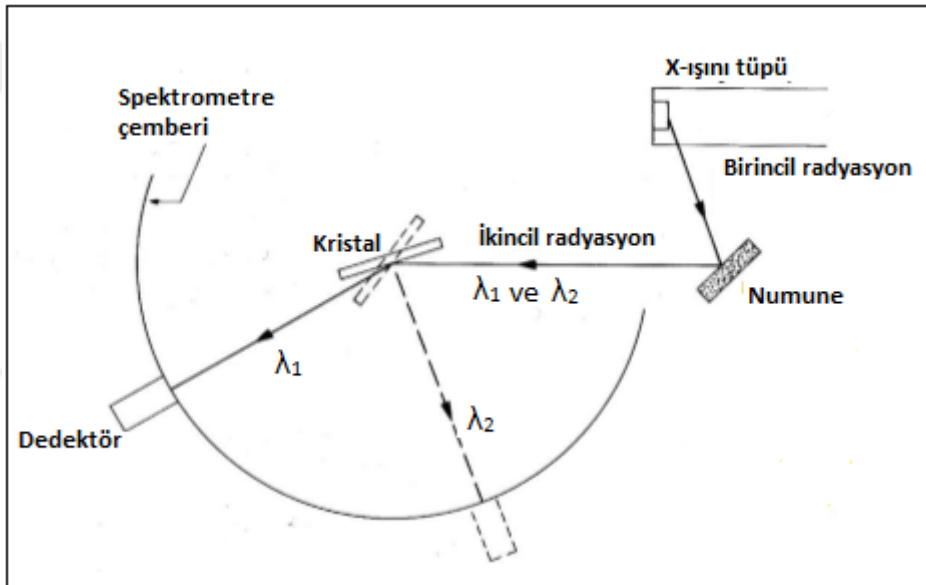
X-ışınları floresan spektroskopisinin başlıca avantajları; tahribatsız olması, örneğin kolay hazırlanması, geniş bir konsantrasyon aralığında kullanılabilmesi, kesinlik ve doğruluğun iyi olması, katı ve sıvı her tür örneğin analizine uygun olmasıdır. Yöntemin dezavantajları ise; hafif elementlerde duyarlılığın düşük olması, elementler arası etkileşim nedeniyle düzeltme yapılması gereği (matriks etkisi), cihazların pahalı olmasıdır [89].

X-ışınları floresan spektrometreleri dalga boyu dağılımlı (WDXRF) ve enerji dağılımlı spektrometre (EDXRF) olmak üzere iki çeşittir[89].

6.3.1.1 Dalga Boyu Dağılımlı X-Işını Floresan (WDXRF) Spektrometresi

WDXRF spektrometresi, X-ışınları floresan spektrometrelerinin bir çeşididir. Sistem, 4kW çıkışa sahip olan ve 160 mA'de çalıştırılabilen "end window" tipi X-ışını tüpleriyle donatılmıştır. Bu sayede ışık elemanları için en yüksek hassasiyet ve en düşük saptama limitleri elde edilir. Spektrometre, SuperQ yazılım programı tarafından kontrol edilir. Spektrometrede, floresan dalga boyunu numuneden ayırmak ve kolimatör tarafından iletilmek üzere 7 kristal bulunur [14], [90].

Dalga boyu dağılım spektrometresinde kaynaktan çıkan birincil radyasyon, örnek üzerine gönderilir. Spektrometre çemberine yerleştirilen analizör kristal ile örnekten saçılan ikincil radyasyonun kırınımı sağlanır. Kırınımına uğrayan ışınların dalga boyları (λ) Bragg koşulunu sağlar ve $2d\sin\theta$ 'ya eşittir. Burada, "d" kristalin atom düzlemleri arasındaki mesafedir, " θ " ise örnek ve dedektör arasındaki açının yarısına eşittir. Kırınım koşulunun sağlanabilmesi için kristal ve sayaç (dedektör) hareket eder; numune, kristal ve dedektör odaklama çemberi üzerinde bulunur (Şekil 6.8). Deney sırasında numune haznesi vakum altında bulundurulur, böylece hafif elementlere ait karakteristik ışınların hava tarafından soğurulması engellenir. Sıvı haldeki örnekler için vakum yerine helyum gazı kullanılır [89].



Şekil 6. 8 Dalga boyu dağılım spektrometresinin şematik gösterimi [89]

WDXRF cihazlarının spektral ayırım gücü kırınım optiğine dayandığı için (kristalin d mesafesi) yüksek ayırım güçlü katihal dedektörlerine gerek duyulmaz. Floresan ışınım genellikle sintilasyon veya gaz geçiş/akış sayacı kullanılarak ölçülür. Sayaç P90 gazı (%90 argon, %10 metan) ile doludur. X-ışınları gazı iyonize eder ve iyonizasyon sonucu çıkan elektronlar anota ve artı iyonlarda sayacın kasasına (katot) doğru hareket eder. Sayaca uygulanan voltaj 500-700 Volta çıkarılarak ilk oluşan elektron ve iyonlar hızlandırılır ve gazın atomları ile çarpışmalar sonucu ikincil elektron ve iyonlar oluşur. Böylece sinyal güçlendirilir (amplifikasyon) ve orijinal X-ışınlarının enerjisi ile doğru orantılı yüksek sinyal elde edilir [89].

WDXRF spektrometrelerinin yaygın bir kullanım alanı vardır. Periyodik tabloda bor ve uranyum aralığındaki tüm elementlerin nitel ve nicel analizi için kullanılır ve elementel konsantrasyonlar birkaç ppm'den %100'e kadar ölçülebilir. Bazı cihazlar daha hafif elementlerin nitel ve yarı nicel analizine olanak tanır. WDXRF spektrometresinde ayırım gücü dedektöre değil analizör kristale ve optik tasarıma bağlıdır ve 5-20 eV aralığında değişir [89], [91].

Her element belli pik ve enerjiye sahiptir. Yani farklı elementler aynı pik ve enerjiye sahip olamazlar. Bu karakteristik özellik de enerjileri önceden bilinen elementleri kesin olarak tespit etmemizi sağlar. WDXRF spektrometresi hafif (düşük atom numaralı) elementlerin tespitinde kullanılmaz. Bunun sebebi ise hafif elementlerde X-ışınlarının dalga boylarının içiçe girmesi ve enerji piklerinin birbirine çok yakın olmasıdır.

6.3.2 Ölçüm Metodu

Daha önce öğütülmüş olan numuneler 200 mesh boyutunda pudra haline getirildi. Desikatörde (maddenin kuru halde kalması için kullanılan kap) muhafaza edilen numunelerin her biri 9 g tartılıp üzerine 6'şar gram selüloz eklenerek akik havanda 5 dakika karıştırıldı (Şekil 6.9).



Şekil 6. 9 Pudra haline getirilen numunelerin hassas terazide tartılması işlemi

Hazırlanan selülozlu numuneler 40 mm çaplı paslanmaz çelik kalıp seti içine döküldü. Çelik set 3636 X-Press marka hidrolik presleyiciye yerleştirildi. 2 dakika boyunca 35 tonluk bir hidrolik basınç kullanılarak pelet haline getirildi (Şekil 6.10). Pelet haline getirme işlemi, numunenin yoğunlaştırılması ve X-ışınlarıyla olan etkileşimin artması için yapıldı. Peletler WDXRF cihazına yerleştirilerek ölçümler yapıldı. Her bir sediment numunesinin ağır metal konsantrasyonları 7000 sn boyunca sayıldı.



Şekil 6. 10 Selülozlu sediment numunelerinin preslenmesi.

6.4 Sedimentlerin Morfolojik ve Minerolojik Yapılarının Araştırılması

Çalışmada, sedimentlerin morfolojik ve minerolojik özellikleri araştırıldı. Bir dizi işlemin ardından analize hazır hale getirilen numunelerin JEOL JSM-6390LV marka cihaz ile SEM görüntüleri alındı. Daha sonra Bruker D8 Advantage marka cihaz ile XRD analizleri gerçekleştirildi.

6.4.1 XRD Analizleri

6.4.1.1 X-Işını Kırınımı (XRD)

XRD yöntemi çoğunlukla ağır elementlerden oluşan, katı inorganik ve kristal halindeki maddelerin araştırılmasına uygun bir aygıtsal yöntemdir. Yöntem süperiletkenler, seramikler, metaller, alaşımlar, katı çözeltiler, heterojen katı karışımlar, korozif maddeler, çelik kaplama malzemeleri, safsızlık katkılanmış yarı iletkenler, böbrek ve mesane taşları, boyar maddeler, pigmentler, çimentolar, doğal veya yapay mineraller, inorganik polimerlerde, maden analizleri, toprak analizleri, herhangi bir malzemenin içerdiği bileşik veya elementlerin tayininde, faz diyagramlarının ve faz dönüşümlerinin araştırılmasında, bazı kristal veya amorf kompleks bileşiklerinin incelenmesinde, bazı adli konularda olduğu gibi birçok konuda yaygın kullanım alanına sahiptir. Yaygın olmamakla birlikte bazı katı organik bileşiklerin, katı organik polimerlerin, plastiklerin, organik boyar maddelerin v.s. analizlerinde de kullanılmaktadır [92].

6.4.1.2 XRD Ölçüm Metodu

Üç adet karot sondaj numunesi ince bir toz elde edilene kadar öğütülmüştür. Gerçekleştirilen XRD analizleri Bruker D8 Advance (Şekil 6.11), Panalytical X'Pert Powder ve Philips PW 1830 marka model cihazlar ile yürütülmüştür. Standart kalitatif XRD analizlerinde numuneler nikel filtreli bakır X-ışını tüplü cihazlar ile 2-70 derece arasında analiz edilip, elde edilen X-ışını difraktogramları ASTM standartlarına göre yorumlanmıştır. Standart XRD analizleri ile tanımlanmaları mümkün olmayan kil grubu mineralleri için zenginleştirme işlemi uygulanarak kalitatif XRD detay kil analizleri yapılmıştır. Bu yöntemde standart analiz sonrası zenginleştirilen numuneler nikel filtreli bakır X-ışını tüplü cihazlar ile 2-40° arasında normal, etilen glikollü ve fırınlamalı (550 C°) olarak analiz edilip, elde edilen X-ışını difraktogramları ASTM standartlarına göre yorumlanmıştır.



Şekil 6. 11 Bruker D8 Advance marka XRD cihazı

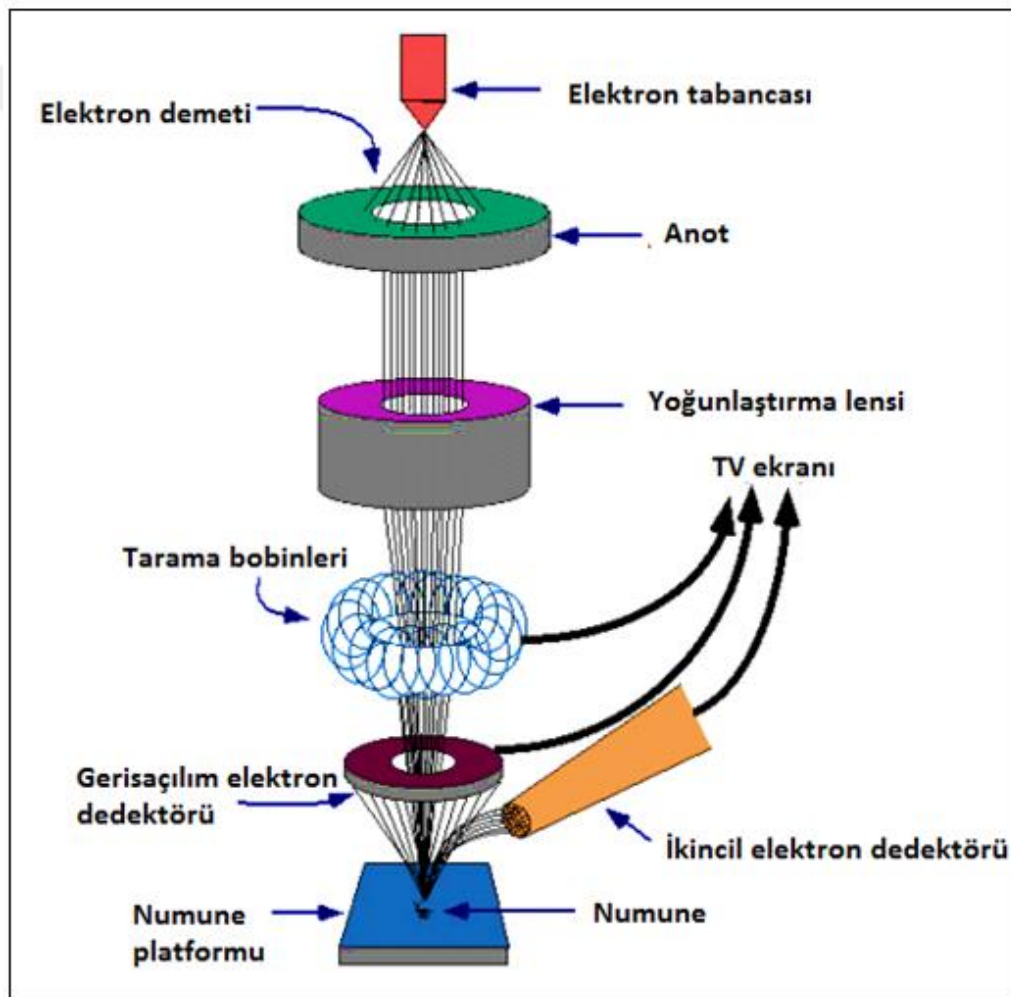
Minerallerin miktarsal oranları (kantitatif XRD analizi) Rietveld metodu kullanılarak hesaplanmıştır. Uygulanan metot ile, yüksek çözünürlüklü Pixel tabanlı dedektörden alınan difraktogramlar üzerinde, kristal yapı dosyalarını içeren veri tabanları kullanılarak gerekli pik düzeltmeleri (Rietveld arıtma) yapılmış ve standart sapma oranları ile birlikte minerallerin % oranları verilmiştir [93].

6.4.2 SEM Görüntülerinin Alınması

6.4.2.1 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Katı yüzeylerin karakterizasyonu hakkında bilgi elde edebilmek için SEM mikroskobu kullanılır (Şekil 6.12). Mikroskobun optik kolunda, elektron demetinin kaynağı olan

elektron tabancası, elektronları numuneye doğru hızlandırmak için yüksek gerilimin uygulandığı anot plakası, demeti toplamakta ve yönlendirmekte kullanılan kondansatör ve objektif mercekleri, demet çapını sınırlamakta kullanılan apertürler, numune yüzeyini taraması için demeti uygun şekilde saptıran tarama bobinleri vardır. Optik kolon alttan numune ocağına açılır. Burada üç boyutta hareket edebilen numune kazağı, demet-numune etkileşimi sonucu oluşan değişik sinyallere duyarlı algılayıcılar bulunur. Mikroskobun elektronik donanımı flaman akımı, mercek akımı ve uyarma gerilimini kararlı tutarken, algıcılardan gelen sinyalleri işleyerek numunenin değişik özelliklerini yansıtan görüntüler oluşturur [94], [95], [96].

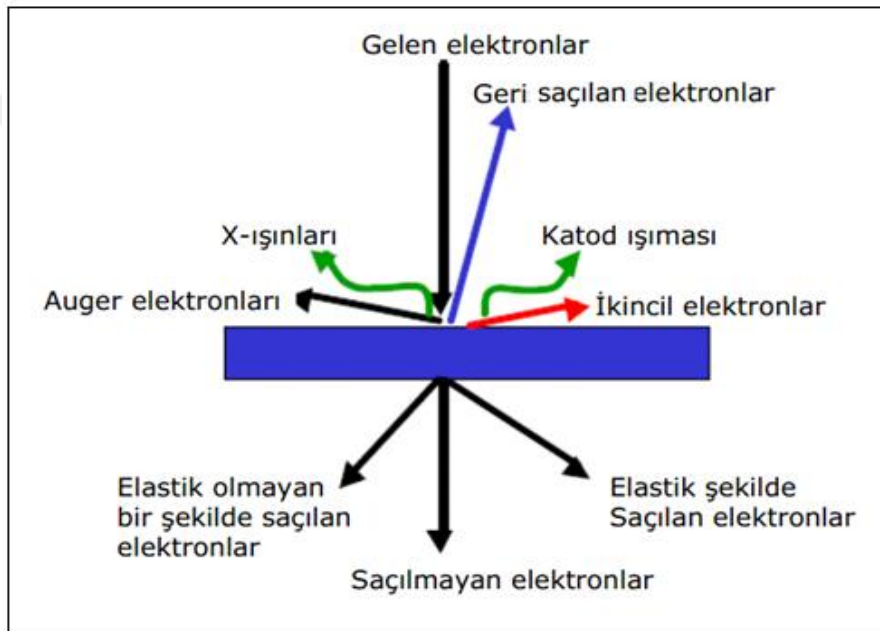


Şekil 6. 12 SEM mikroskobunun şematik gösterimi [97]

Görüntü elde edebilmek için katı örneğin yüzeyine, hassas bir şekilde odaklanan yüksek voltaj ile hızlandırılmış elektron demeti, tüm numune yüzeyinde taratılır. Taratma sırasında elektron ve numune atomları arasında etkileşim oluşur. Bu etkileşim numune

yüzeyinin topografisi, kompozisyonu ve diğer özellikleri hakkında bilgiler içeren sinyaller üretir. Sinyaller, katot ışınları tüpünün ekranına aktarılır ve görüntü oluşur.

SEM mikroskobu ile görüntüler, elektron demetinin malzeme ile olan etkileşiminden ortaya çıkan ışınlar veya geri yansıyan elektronlar sayılarak oluşturulur. Demetle gelen elektronlar numunedeki atomların elektrostatik alanlarıyla etkileşebilir veya bu atomların yörüngelerindeki elektronlarla çarpışabilirler. Elektrostatik alanla olan etkileşim yön değiştirme şeklinde gerçekleşebilir. Bu durumda elektron hızında bir değişim olmadığından elektron enerjisi aynı kalır. Bu tür elektronların bir kısmı numune yüzeyinden tekrar geri çıkabilirler. Enerjileri demetteki elektronlarınkine yakın olan bu elektronlara geri saçılan elektronlar denir. Numunedeki atomların atom numarası ne kadar büyük olursa o kadar çok sayıda geri saçılan elektron elde edilir. Geri saçılan elektronların sinyallerinin şiddeti güçlü bir biçimde numunenin atom numarasıyla ilişkili olduğu için, geri saçılan elektronlar numunedeki farklı elementlerin dağılımı hakkında bilgi verirler (Şekil 6.13) [94], [95], [96].



Şekil 6. 13 Numune ile elektron demetinin etkileşimi [98].

Demet elektronları atom yörüngelerindeki elektronlarla da çarpışabilirler. Dış yörüngelerdeki elektronların çarpışma ile atomlarından sökülebilmeleri için az bir enerji yeterlidir. Çarpışma ile atomlarından ayrılan dış yörünge elektronlarına ikincil elektronlar denir. İkincil elektronlar düşük enerjili elektronlardır. Detektöre 100-300 V

arasında bir pozitif voltaj uygulanması ile kolaylıkla toplanabilirler. İkincil elektron görüntüsü verebilen SEM mikroskobu, 1 nm' nin altında detay verebilen, çok yüksek çözünürlüklü yüzey görüntüleri üretebilir [94], [95], [96].

İç yörüngelerdeki elektronlarla demet elektronlarının çarpışması sonucunda bu yörüngelerdeki elektronlar yerlerinden sökülebilirler. Bu şekilde iç yörüngelerde meydana gelen boşluklar dış yörüngelerdeki elektronlardan biri tarafından doldurulduğunda ise, iki konum arasındaki enerji farkı X-ışını olarak yayımlanır. Elektron ışını numunenin iç yörüngesindeki elektronlarından birini söktüğü zaman daha yüksek enerjili elektronlardan birisinin yörüngeyi doldurmasıyla X-ışınları yayımlanır. Bu karakteristik X-ışınları, kompozisyonu belirlemek ve numunedeki elementlerin miktarını ölçmek için kullanılır [94], [95], [96].

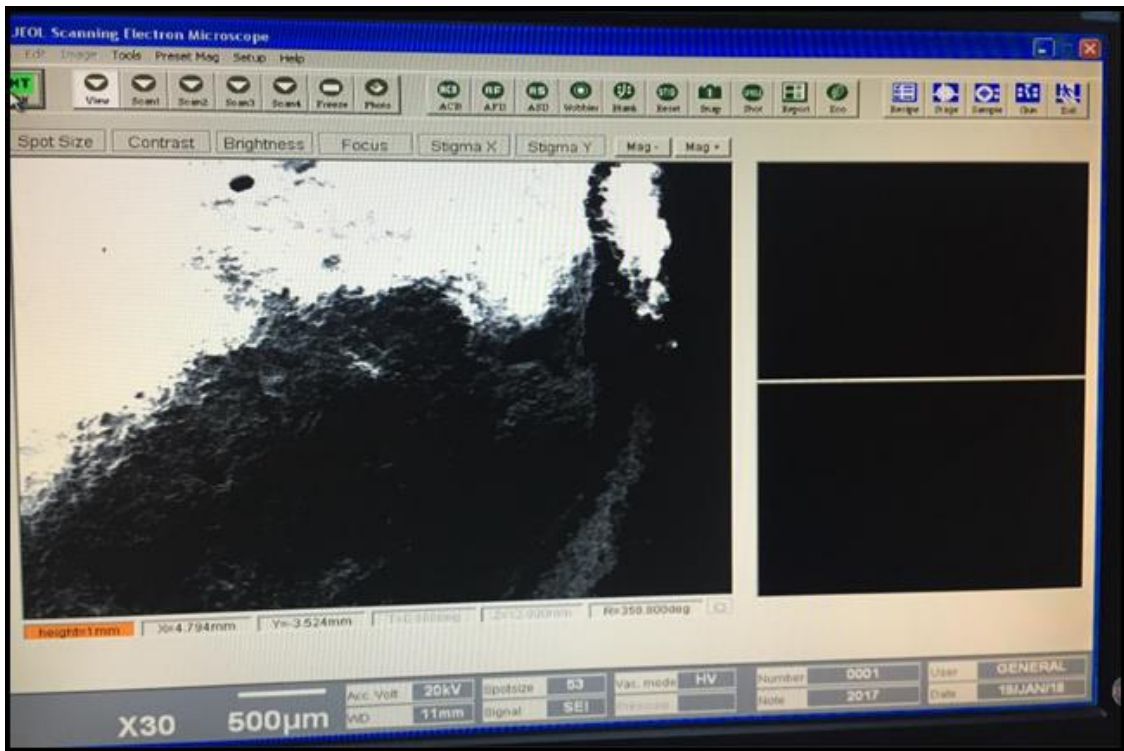
6.4.2.2 SEM Ölçüm Metodu

SEM görüntülerinin elde edilmesi için JSM-6390 marka cihaz kullanılmıştır (Şekil 6.14).



Şekil 6. 14 SEM mikroskobu teçizatı.

İncelenecek olan numune, iletken numune taşıyıcısına konuldu ve SEM ünitesine yerleştirildi. Sistem vakuma alındı. Vakum belli bir değere ulaştığında, daha önce numune özelliklerine göre kararlaştırılmış olan voltaj değerine göre ayarlama yapıldı ve cihaz yüksek gerilime çıkarıldı. Oluşan elektron demeti ile numune etkileşimi sonucunda oluşan görüntü ekranda takip edilerek numune tutucu x, y ve z eksenlerinde hareket ettirildi. İncelenecek olan belgelerde büyütme, netleştirme ve odaklama ayarları yapıldı. Numune üzerinde X-ışınları kullanılarak ikincil elektron görüntüsü (SEI) ve geri saçılmış elektron görüntüsü (BEI) elde edildi (Şekil 6.15) [94], [95], [96].



Şekil 6. 15 SEM analizlerinin bilgisayarda görüntülenmesi

6.5 Sedimentlerin Yaş Tayininin Yapılması

Sedimanların yaşlarını belirlemek amacıyla C-14 analizi yapılmıştır. Bu analiz için AMS spektrometresi kullanılmıştır (Şekil 6.16 ve Şekil 6.17).



Şekil 6. 16 Tübitak MAM, AMS Laboratuvarı [78]



Şekil 6. 17 Hızlandırılmış kütle spektrometresi (AMS) [99]

6.5.1 Hızlandırılmış Kütle Spektrometresi (AMS)

AMS spektrometresi, C-14 tarihleme aralığını 50 000-60 000 yıla kadar uzatabilen özel bir kütle spektrometresidir. Kütle analizi öncesinde iyonları oldukça yüksek kinetik enerjilere çıkarabilir. Bu teknikle yüksek kinetik enerjili iyonlar elde etmek için bir "partikül hızlandırıcı" kullanır. Bunun yapılma nedeni, detektörde C-14 sayımına etki edebilecek potansiyel kontaminantların ayrılmasını kolaylaştırmak üzere örnekteki iyonların iyonizasyon durumlarını artırmaktır. Diğer radyokarbon tarihleme yöntemlerinden farklıdır [100].

AMS spektrometresinin birçok avantajı vardır. Örneğin radyometrik tekniğin tarihlendirme yapamadığı durumlarda AMS tekniği ile yaş verilir. Saniyede on kez sayım yapılabilir ve bu sayım on bin defa tekrarlanabilir. Tüm bu işlemler yaklaşık 30 dakika sürer. AMS spektrometresi Dünya'daki en hassas analitik ölçüm sistemlerinden biridir. 10 000 yıllık bir numunenin yaşı ± 30 yıl hassasiyetle ölçülebilir. Ölçüm için miligram ağırlığında örneklerin yeterli olması, paha biçilemez eserlerin tahribatını en aza indirir [78], [101].

6.5.1.1 Çalışma Prensipleri

Numunenin 800 °C'yi aşan sıcaklıklarda %100 oksijenli bir atmosferde yakılmasıyla CO₂ elde edilir. Bu CO₂ metanol ya da kuru buz ile kurulanıp, sıvı nitrojen içine toplanır ve grafitizasyon işlemine geçilir. Analiz işlemi sırasında oluşan grafitin d¹³C (C-13 yoğunluğu) değeri AMS sonucunun ayrıştırılması için kullanılır. Raporda verilen d¹³C değeri her bir numunenin durumuna ve analizine göre farklı yollarla elde edilmiş olabilir. Katı yapıları organik numuneler parçalanarak bir element analiz cihazında CO₂'e dönüştürülür. Su ve karbonatlar ise asitlendirme işlemi sonucu CO₂ olarak elde edilirler. Asitlendirme işleminde kullanılan cihaz ve element analizi cihazı, doğrudan IRMS spektrometresine bağlıdır. IRMS farklı CO₂ kütlelerinin (44, 45 ve 46) ayrıştırılması, ölçümleri ve bu kütlelerden d¹³C değerinin hesaplanmasında kullanılır [101].

6.5.2 Ölçüm Metodu

İnceleme alanından alınan üç adet sediment numunesinde ilk olarak fiziksel ve kimyasal arındırma işlemi yapıldı. Kirlilikten arındırılan numunelerin toplam karbon miktarları ölçüldü. Daha sonra numuneler 1 mg grafit formunda saf karbon haline getirildi ve AMS spektrometresi ile tekrar ölçüldü. Ölçümde, karbon atomunun izotopları (C-12, C-13, C-14) tek tek sayıldı. Elde edilen veriler kalibrasyon veri tabanları ile kalibre edildi ve raporlandı [78].



SONUÇLAR VE ÖNERİLER**7.1 Çevresel Radyonüklitlerin Ölçüm Sonucu**

Kulakçayırı Gölü'nden alınan karot numuneleri ile bölgenin doğal radyoaktivite seviyeleri hakkında bilgi sağlanmıştır. HPGe dedektörü ile gama spektrometri analizleri yapılarak çeşitli radyonüklitlerin aktiviteleri hesaplanmıştır. Ulaşılan analiz sonuçları Çizelge 7.1'de gösterilmiştir [80].

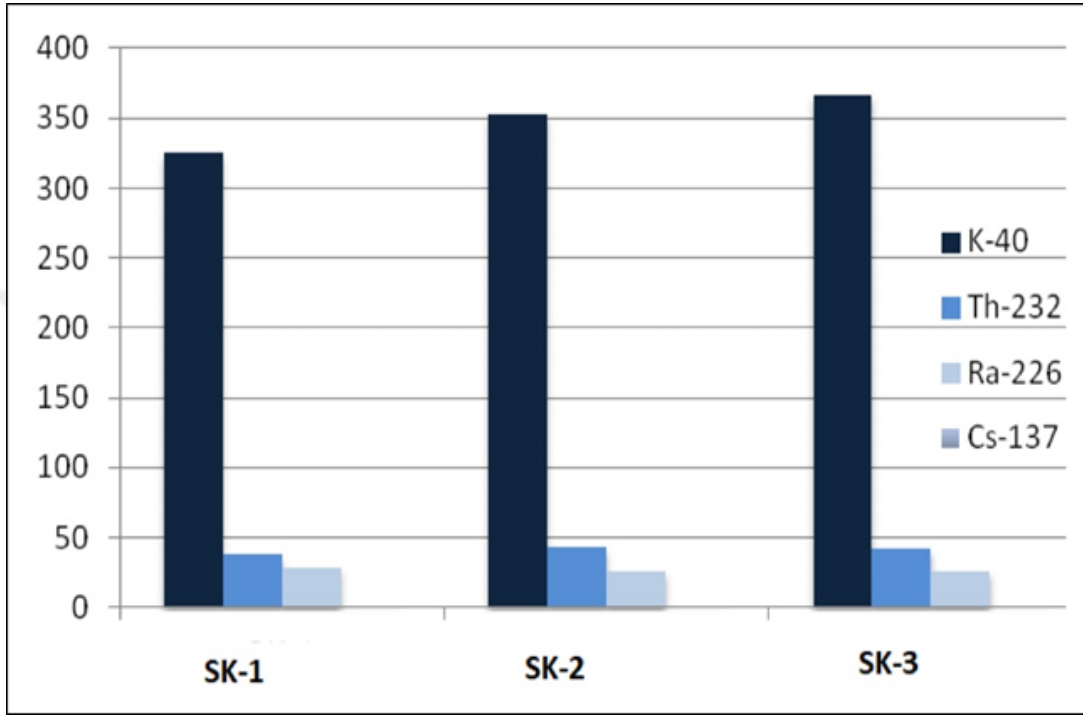
Çizelge 7. 1 Sediment numunelerinin aktivite konsantrasyonları (Bq/kg) [80]

Numune derinlikleri	Aktivite (Bq/kg)			
	K-40	Th-232	Ra-226	Cs-137
SK-1 (5-5,5 m)	325±18	38±6,2	29±5,4	≤MDA
SK-2 (10-10,5 m)	353±18	43±6,6	26±5,1	≤MDA
SK-3 (15-15,5 m)	367±19	42±6,5	26±5,1	≤MDA

Çizelge 7.1'deki analiz sonuçlarına göre K-40 aktivitesinin diğer radyonüklitlere nazaran oldukça yüksek olduğu görülmüştür. K-40 konsantrasyonları sırasıyla 325±18 Bq/kg, 353±18 Bq/kg ve 367±19 Bq/kg olarak tespit edilmiş, ortalama K-40 konsantrasyonu yaklaşık 348 Bq/kg olarak hesaplanmıştır. Th-232 konsantrasyonları ise sırasıyla 38±6,2 Bq/kg, 43±6,6 Bq/kg ve 42±6,5 Bq/kg olarak bulunmuş, ortalama aktivitesi yaklaşık 41 Bq/kg olarak hesaplanmıştır. Aktivite değerleri ölçülen Ra-226 konsantrasyonları ise sırasıyla 29±5,4 Bq/kg, 26±5,1 Bq/kg ve 26±5,1 Bq/kg olarak bulunmuş ve ortalama

aktivitesinin yaklaşık 27 Bq/kg olduğu görülmüştür. Ayrıca fizyon ürünü olan Cs-137'nin aktivitesinin tüm sediment numuneleri için MDA (saptanabilen minimum aktivite) değerinin altında kaldığı gözlemlenmiştir [80].

Analizleri yapılan dört çeşit radyonüklitin şematik olarak gösterimi Şekil 7.1'de verilmiştir.



Şekil 7. 1 Aktivite konsantrasyonlarının dağılımı (Bq/kg) [80].

Yapılan çalışma son olarak Dünya literatürüyle karşılaştırılarak değerlendirilmiştir (Çizelge 7.2) [80]. Bu tabloya göre, çalışmadan elde edilen değerler genel olarak düşük konsantrasyona sahiptir. Özellikle K-40 konsantrasyonu daha çok tuzlu suda çözüldüğünden göl incelemesinde düşük sonuçlar elde edilmiştir. Antropojenik radyonüklit olan Cs-137 konsantrasyonunun incelenen tüm bölgelerde ölçüm limitinin altında kalması, numunelerin alındığı derinliklerde Çernobil nükleer reaktör kazasında Karadeniz üzerinden gelen nükleer serpintilerin bulunmadığını göstermektedir. Bu durum bize yüzey hakkında bilgi vermez, keza C-14 analizi sonucu elde ettiğimiz sedimentasyon hızları, Cs-137 radyonüklitlerinin inceleme bölgesinin yüzeyinde bulunması durumunda bile numuneleri aldığımız derinliklere henüz ulaşmamış olmasına işaret etmektedir.

Çizelge 7. 2 Kulakçayırı Gölü sediment numunelerinin radyoaktif konsantrasyonlarının diğer mevcut çalışmalarla karşılaştırılması [80]

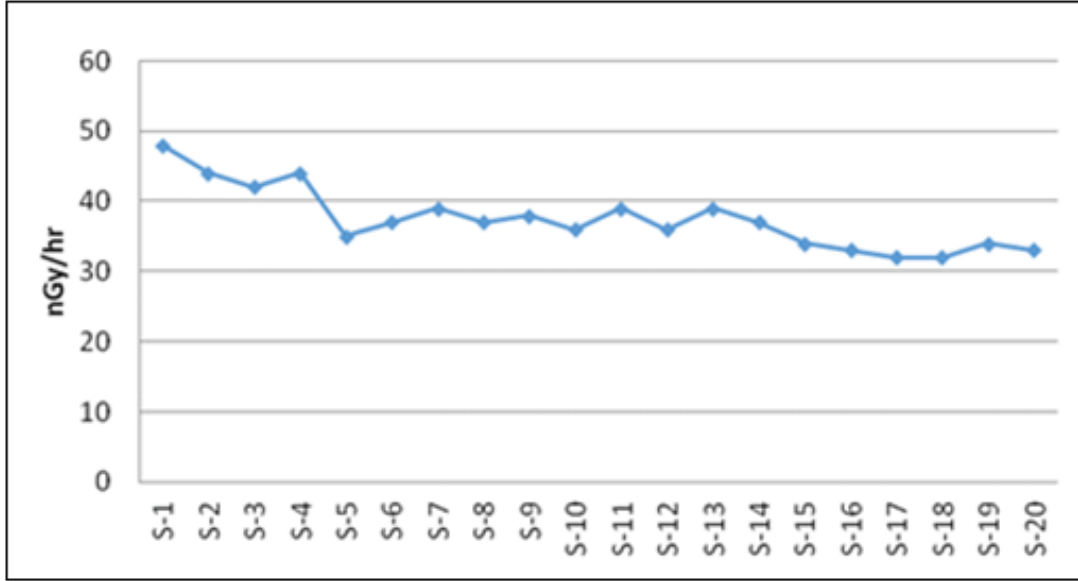
Çalışma istasyonları	Aktivite (Bq/kg)			
	K-40	Th-232	Ra-226	Cs-137
Kulakçayırı Gölü, Türkiye	325-367	38-43	26-29	-
İyonya Denizi, Arnavutluk [102]	266-675	13-40	14-27	3-38
Hunza, Gilgit ve Indus Nehirleri, Pakistan [103]	173-825	12-172	174-825	-
Miami Körfezi, Malezya [104]	314-495	37-5622	24-2641	-
Nijer Deltası, Nijerya [105]	96-530	12-40	13-46	-
Cezayir [9]	56-607	7-32	-	2-9
Türkiye [106]	450±18	35,4±0,8	34,7±1,7	11,6±0,5
Dünya [107]	400	30	35	-

7.2 Gama Doz Hızlarının Ölçüm Sonucu

Kulakçayırı Gölü çevresinde yapılan gama ışınlama doz hızı değerleri $\mu\text{R/h}$ mertebesinde elde edilmiştir. Bu değerler nGy/h 'e dönüştürülerek Çizelge 7.3'te verilmiştir. Lokasyonlara göre gama doz hızı dağılım grafiği ise Şekil 7.2'de verilmiştir [10].

Çizelge 7. 3 Kulakçayırı Gölü ve çevresindeki gama doz hızı (D_H) ve yıllık etkin doz hızı (E_H)değerleri [10]

İstasyon	Gama doz hızları D_H (nGy/hr)	Yıllık etkin doz hızları E_H (mSV)
S-1	48	0,058
S-2	44	0,053
S-3	42	0,051
S-4	44	0,053
S-5	35	0,042
S-6	37	0,045
S-7	39	0,047
S-8	37	0,045
S-9	38	0,046
S-10	36	0,044
S-11	39	0,047
S-12	37	0,045
S-13	39	0,047
S-14	37	0,045
S-15	34	0,041
S-16	33	0,040
S-17	32	0,039
S-18	32	0,039
S-19	34	0,041
S-20	33	0,040



Şekil 7. 2 Kulakçayırı Gölü ve çevresinin gama doz hızı değerleri [10].

Değerler 32-48 nGy/h arasında değişmektedir ve ortalama 37,5 nGy/h olarak hesaplanmıştır. 1. istasyonda (S-1) ölçülen 48 nGy/h'lik maksimum değer, göreceli olarak daha yüksek bir toprak radyoaktivitesi olan bir yere karşılık gelmektedir. 17. ve 18. istasyonlarda ise (S-17, S-18) en düşük değerlere ulaşılmıştır [10]. Tüm istasyonlarda gama doz hızları UNSCEAR tarafından Dünya ortalaması olarak belirlenen 55 nGy/h'ten düşük çıkmıştır [108].

Çevresel gama radyasyon doz hızı analiz sonuçları lokasyonlar arasında değişiklikler göstermektedir. Bu değişim, doz değerlerinin ana kaynaklarının kara ve uzay kökenli olmaları sebebiyle, bölgenin toprak yapısında bulunan radyoizotopların konsantrasyonlarıyla doğrudan ilgilidir [10].

nGy/h cinsinden elde edilen soğurulan gama dozları 0,7 Sv/Gy dönüşüm faktörü ve kapalı alan için 0,8 ve açık alan için 0,2 doluluk faktörü kullanılarak mSv/y cinsinden yıllık etkin doza dönüştürülebilir [10], [12]. Ölçümler açık alan için gerçekleştirildiğinden dolayı hesaplamalarda 0,2 doluluk faktörü kullanılmıştır. Aşağıdaki formül kullanılarak yıllık etkin doz hesaplanmıştır. Hesaplanan yıllık etkin doz değerleri Çizelge 7.3'te verilmiştir [10].

$$E_H \left(\frac{mSV}{y} \right) = D_H \left(\frac{nGy}{h} \right) \times 365,25 \text{ gün} \times 24 \text{ saat} \times 0,7 \times 0,2 \quad (7.1)$$

Sonuç olarak gama radyasyon doz hızı değerleri uluslararası kirlilik limitinin altında kalmıştır ve radyoaktif bir tehlike oluşturmamaktadır.

7.3 Ağır Metal Analiz Sonuçları

Çalışma alanının elementel analiz sonuçları Çizelge 7.4'te verilmiştir.

Çizelge 7. 4 Elementel analiz bulguları

	SK-1 (ppm) (5-5,5 m)		SK-2 (ppm) (10-10,5 m)		SK-3 (ppm) (15-15,5 m)		Ortalama	Krauskopf [109]
CaO	13879	69	10987	55	10708	54	11858	
Sc	12,11	0,12	15,01	0,15	13,40	0,13	13,5066667	15
TiO₂	10119	51	11452	57	10873	54	10814,6667	
V	110,20	0,55	129,17	0,65	118,92	0,59	119,43	130
Cr	151,22	0,76	169,30	0,85	161,83	0,81	160,783333	100
Mn	994	5	403	2	492	2	629,666667	850
Fe₂O₃	65742	329	71936	360	69281	346	68986,3333	
Co	30,93	0,31	25,23	0,25	29,58	0,30	28,58	20
Ni	91,33	0,91	109,16	1,09	104,87	1,05	101,786667	80
Cu	38,91	0,39	37,34	0,37	37,00	0,37	37,75	50
Zn	62,71	0,63	67,33	0,67	63,69	0,64	64,5766667	90
Rb	72,88	0,73	76,21	0,76	78,33	0,78	75,8066667	140
Sr	162,85	1,63	155,94	1,56	156,47	1,56	158,42	400
Y	25,44	0,25	26,19	0,26	24,99	0,25	25,54	35
Zr	205,28	2,05	184,42	1,84	177,40	1,77	189,033333	180
Ba	292,85	2,93	329,50	3,30	282,38	2,82	301,576667	600
La	40,26	0,40	39,70	0,40	34,69	0,35	38,2166667	40
Ce	75,95	0,76	73,31	0,73	67,34	0,67	72,2	70

Çizelge 7. 5 Elementel analiz bulguları (Devamı)

	SK-1 (ppm) (5-5,5 m)		SK-2 (ppm) (10-10,5 m)		SK-3 (ppm) (15-15,5 m)		Ortalama	Krauskopf [109]
Nd	28,21	0,28	28,47	0,28	23,07	0,23	26,5833333	30
Pb	173,26	1,73	25,51	0,26	72,14	0,72	90,3033333	20
Th	13,13	0,13	13,30	0,13	12,84	0,13	13,09	12
U	5,28	0,05	4,10	0,04	4,87	0,05	4,75	3,5

Analiz sonuçlarına göre en bol bulunan element oksiti üç numune içinde hematit (Fe_2O_3) olmuştur. Numuneler kalsiyum oksit (CaO) açısından da zengin bir yapı göstermektedir. Göl tabanında 3 ile 6,5 m kalınlığında balçık, hemen altında killi kum veya kumlu kil zemin bulunurken, daha derinlerde Üst Eosen Yaşlı İhsaniye Formasyonu ve Oligosen Yaşlı Danişment Formasyonu bulunmaktadır. Kiltası ve kumtaşı litolojisinden oluşan birimlerde ayrışma ileri düzeyde olduğu için birimler ayrık sedimentler olarak tanımlanmıştır [14].

Bu çalışmadaki Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Pb ağır metalleri ppm olarak Krauskopf, 1979'daki Dünya tortul kayaların konsantrasyonu referans alınarak değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeye göre, Cr, Co, Ni, Pb tüm derinliklerde Krauskopf değerlerinden yüksektir. Özellikle numune 1'deki kurşun değeri, diğer seviyelerden oldukça yüksektir. Bu elementlerin yüksek çıkmasının sebebi ise çalışma bölgesi çevresinde eskiden kömür yataklarının bulunması olabilir. Çünkü maden yataklarında bulunan ve kömürün yanmasıyla ortaya çıkan ağır metallerin çoğu Pb, Hg, Ni, Sn, Cd, Sb ve As ile birlikte Th ve Sr radyoizotoplarıdır [110]. Cr ise suda çözünürlüğü fazla olduğundan dolayı, çökeltilerin yoğunluğu nedeniyle yüksek değerlerde çıkmıştır [111].

Cu ve Zn tüm derinliklerde referans değerlerinden düşüktür.

Mn ise 1. lokasyonda (5-5,5 m derinlikte) 994 ppm'dir ve Krauskopf referans değerinden yüksektir. 2. ve 3. lokasyonlarda (10-10,5 m ve 15-15,5 m derinlikte) yaklaşık olarak yarı değerine inmiştir. Bunun sebebi ise numunenin alındığı derinliklerde alt kısımlara inildikçe kumtaşının artmasıdır. Çünkü jeolojik referans

kayaçların ağır metal içeriklerinin verildiği Çizelge 7.5'te görüldüğü üzere, manganın yer kabuğundaki tutunması 950 ppm iken kumtaşındaki mangan içeriği 50 ppm'dir.

Çizelge 7. 6 Bazı jeolojik referans kayaçların ağır metal içerikleri [112], [14]

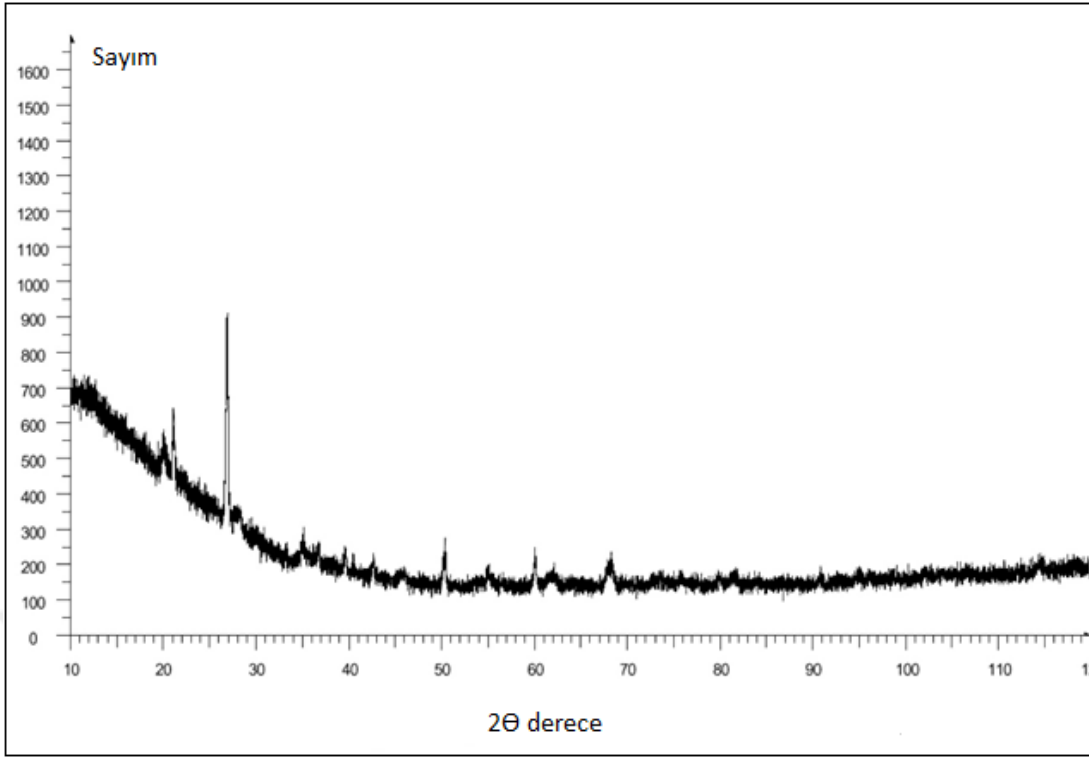
	Fe %	Mn ppm	Co ppm	Ni ppm	Cu ppm	Zn ppm	Pb ppm	As ppm
Yer kabuğu	5	950	25	75	55	70	13	1,8
Totul kayalar	4,7	850	19	70	45	95	20	13
Kumtaşı	0,9	50	< 1	2	5	16	7	1
Kalker	0,4	1100	< 1	20	4	20	9	1
Ultrabazik	5,7	700-2600	75-101	1700- 2900	42-62			
Bazalt	8,6	1500	48					

Elde edilen jeokimyasal analiz sonuçlarının referans değerlerle karşılaştırılması sonucunda ortamın yer kabuğunun genel ortalamalarında olduğu ortaya çıkmaktadır. Daha detaylı değerlendirilecek olursa tortul kayalar ve kumtaşı arasındadır. Bu da Belgrad Formasyonu ve bu birimin ayrışma ürünlerine karşılık gelmektedir [14].

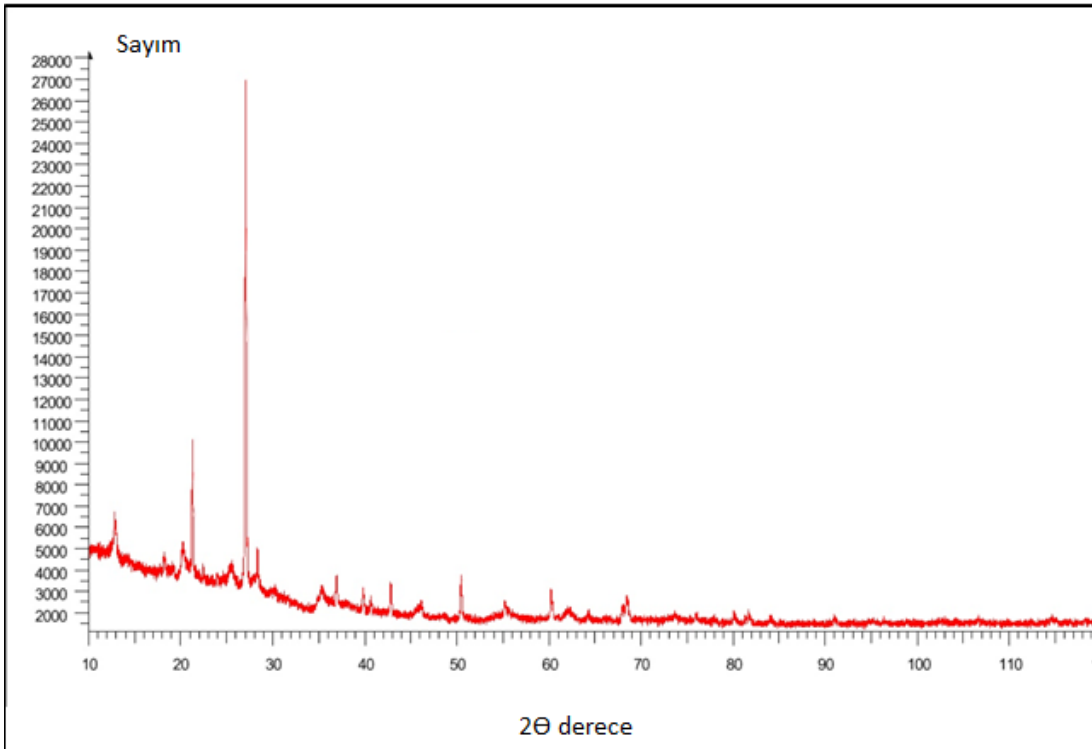
7.4 SEM Görüntüleri ve XRD Analiz Sonuçları

Çalışma alanında XRD ve SEM incelemeleri yapılmış, XRD analizlerine ait sonuçlar ile SEM sonuçları karşılaştırılmıştır.

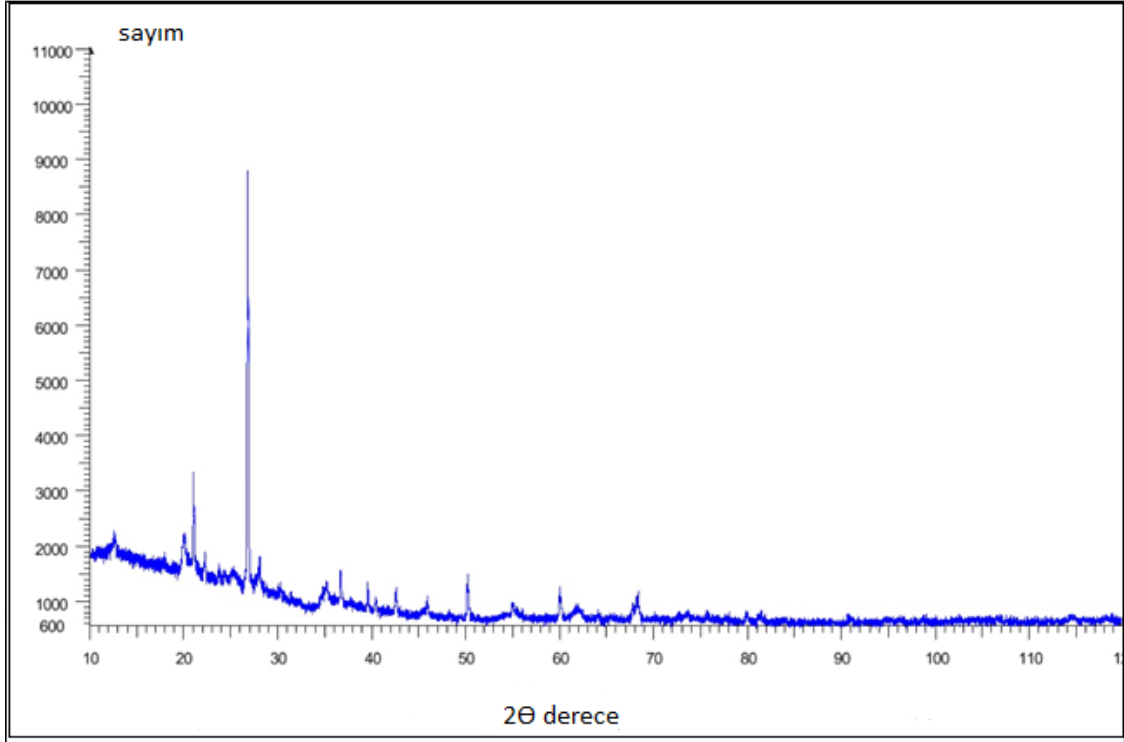
XRD analizi ile yapılan katıhal incelemelerine göre 5-5,5, 10-10,5 ve 15-15,5 m derinliklerden alınan numunelerin sonuç grafikleri aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir (Şekil 7.3, Şekil 7.4, Şekil 7.5, Şekil 7.6). Farklı derinliklerden elde edilen numunelerin bileşimlerine bağlı olarak X-ışını kırınımları farklılık göstermiştir. Yapılan katıhal incelemeleri değerlendirildiğinde silisyum dioksit (SiO₂), alüminyum oksit (Al₂O₃), demir (III) oksit (Fe₂O₃), potasyum oksit (K₂O) ve sodyum oksit (Na₂O) oluşumları gözlenmiştir.



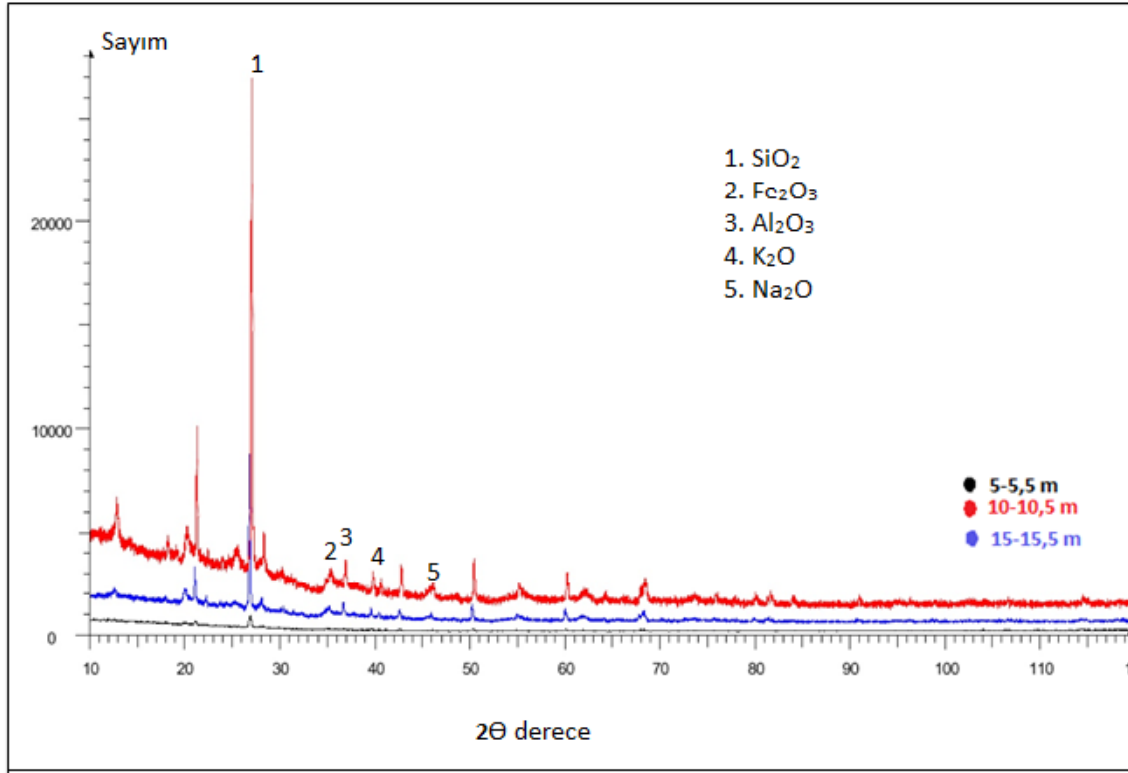
Şekil 7. 3 SK-1 numunesinin (derinliği 5-5,5 m) XRD grafiği



Şekil 7. 4 SK-2 numunesinin (derinliği 10-10,5 m) XRD grafiği



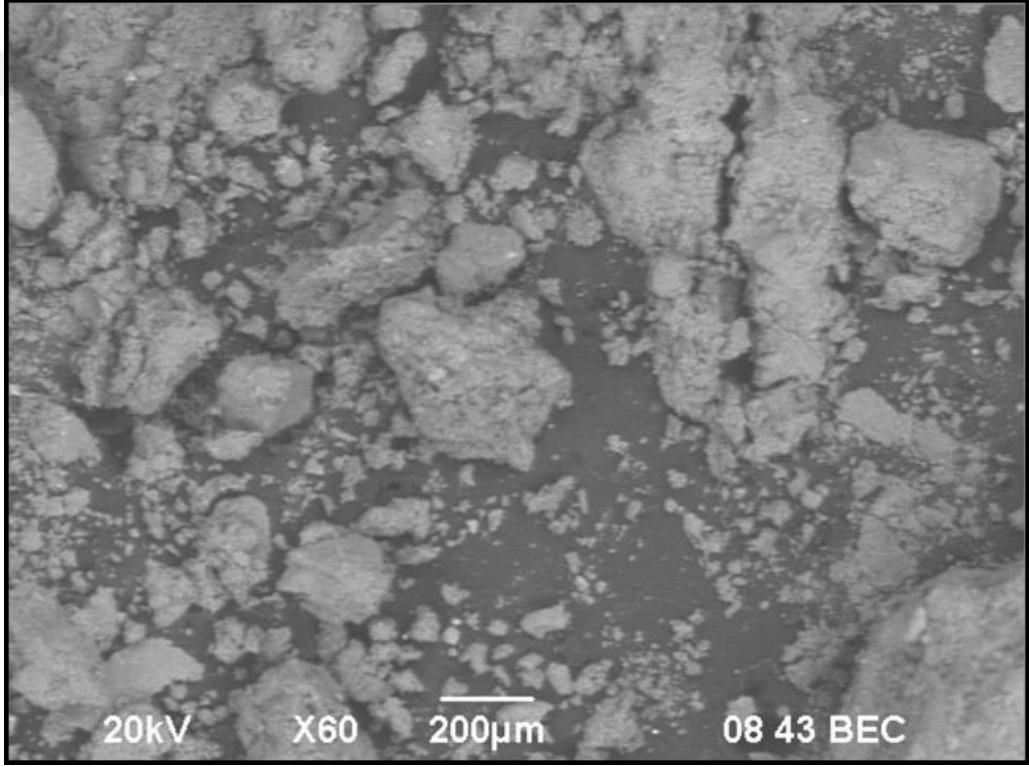
Şekil 7. 5 SK-3 numunesinin (derinliği 15-15,5 m) XRD grafiği



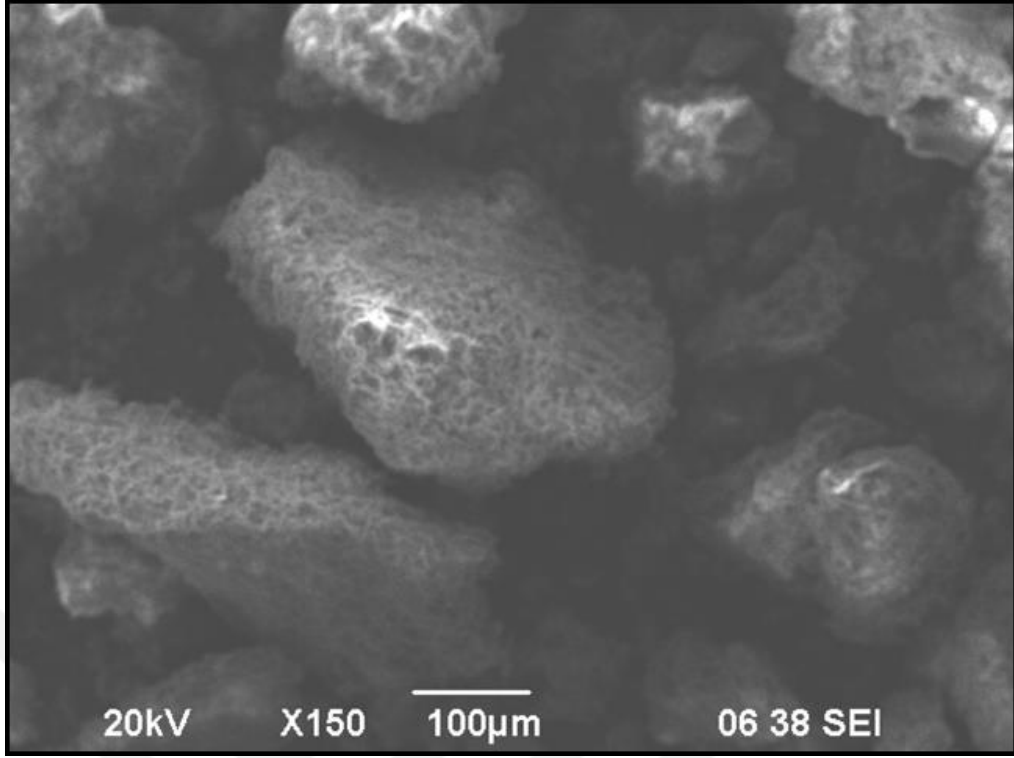
Şekil 7. 6 Farklı derinliklerden alınan üç sediment numunesinin piklerinin karşılaştırılması

XRD analizleri ile mineralojik bileşimleri belirlenen numuneler SEM mikroskobu ile tanımlanmıştır. Sedimentlerin farklı bileşim ve farklı mineralojik yapılarda olması nedeniyle SEM mikroskobunda yapılan morfolojik incelemelerde bileşim ve derinliğe bağlı olarak tane boyutu ve şekil açısından farklılıklar gözlenmiştir. Sediment numunelerindeki organik dokular da sedimentlerin morfolojik özellikleri üzerine etki etmektedir.

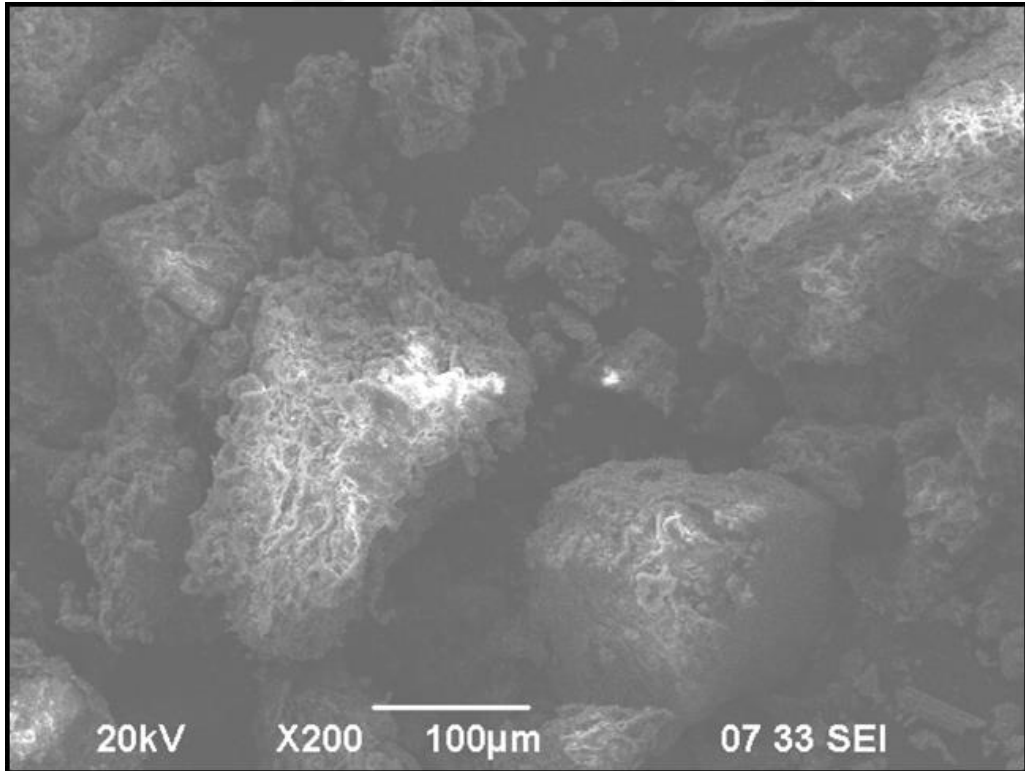
SEM mikroskobunda yapılan morfolojik incelemelerden elde edilen görüntüler, farklı katsayılarla büyütülerek aşağıdaki şekillerde (Şekil 7.7'den Şekil 7.20'ye kadar) verilmiştir.



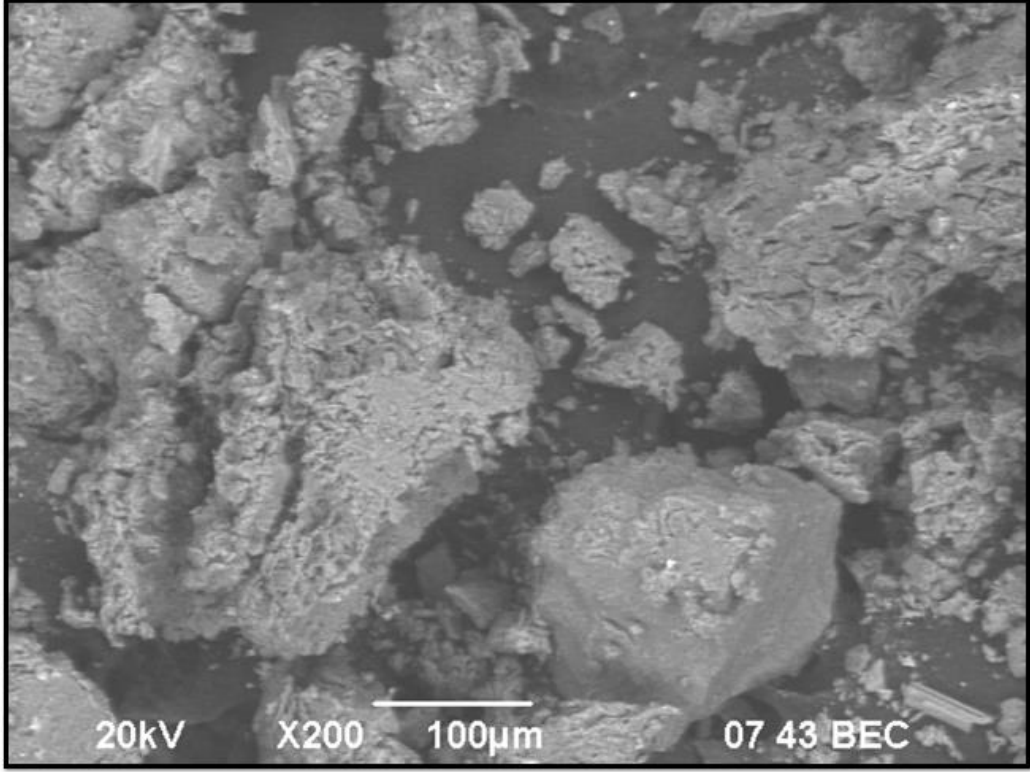
Şekil 7. 7 SK-1 numunesinin (5-5,5 m) 60 kat büyütülmüş BEC görüntüsü



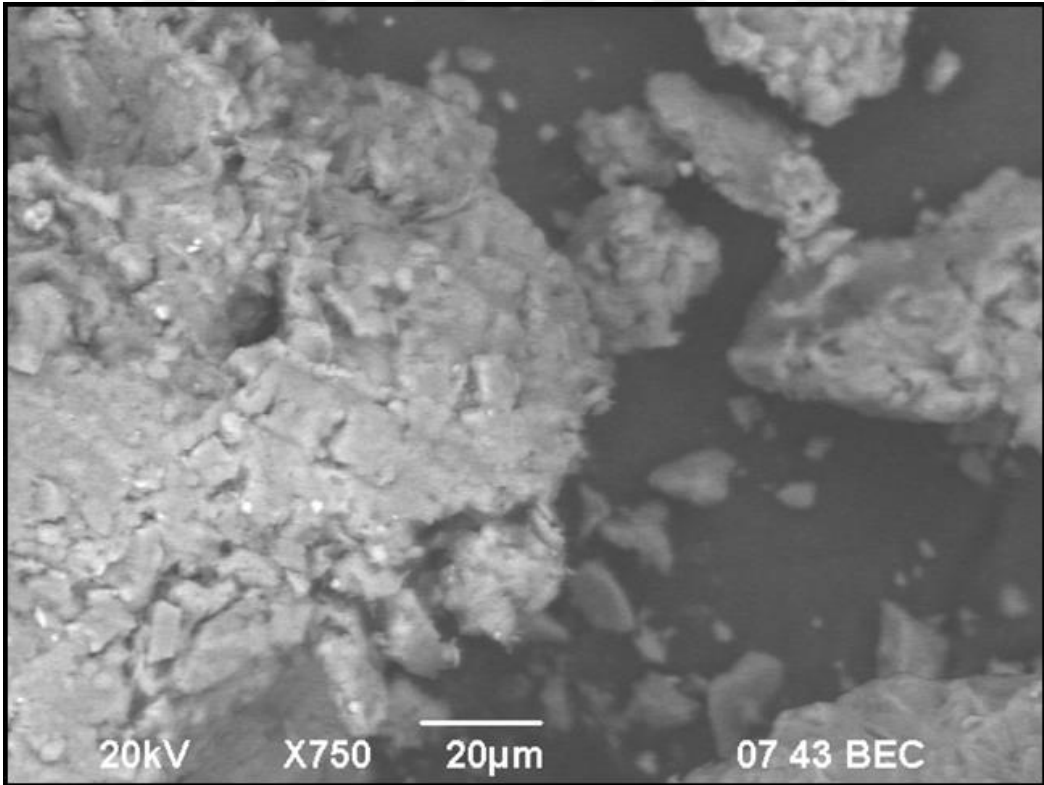
Şekil 7. 8 SK-1 numunesinin (5-5,5 m) 150 kat büyütülmüş SEI görüntüsü



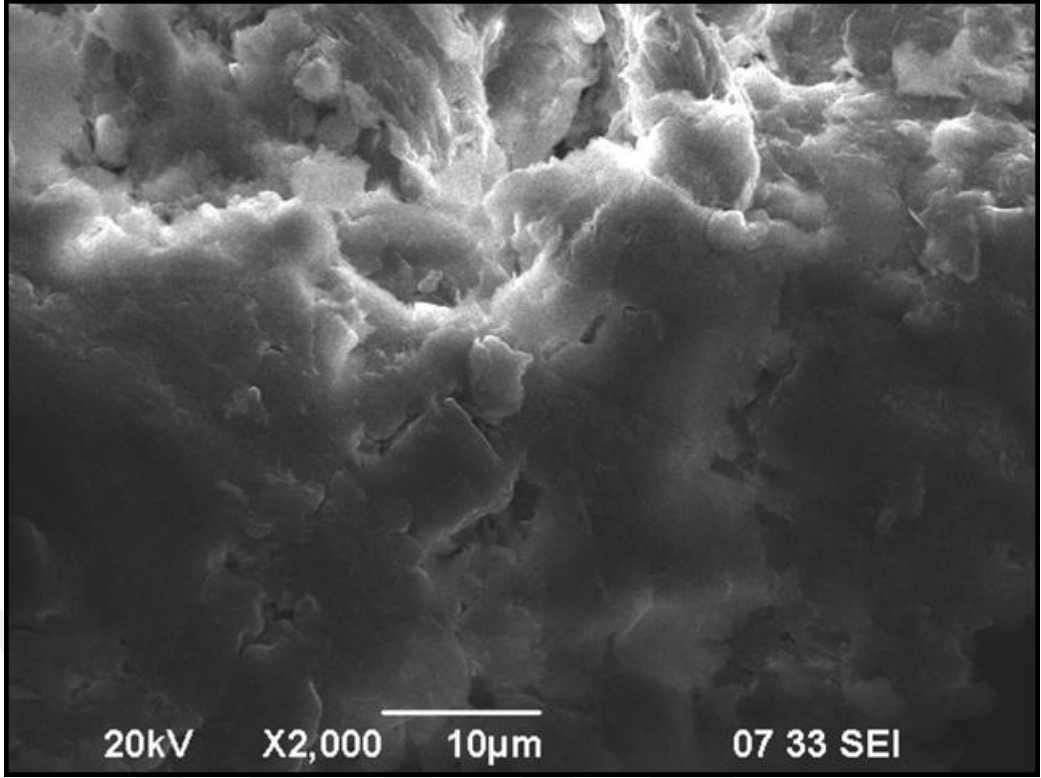
Şekil 7. 9 SK-1 numunesinin (5-5,5 m) 200 kat büyütülmüş SEI görüntüsü



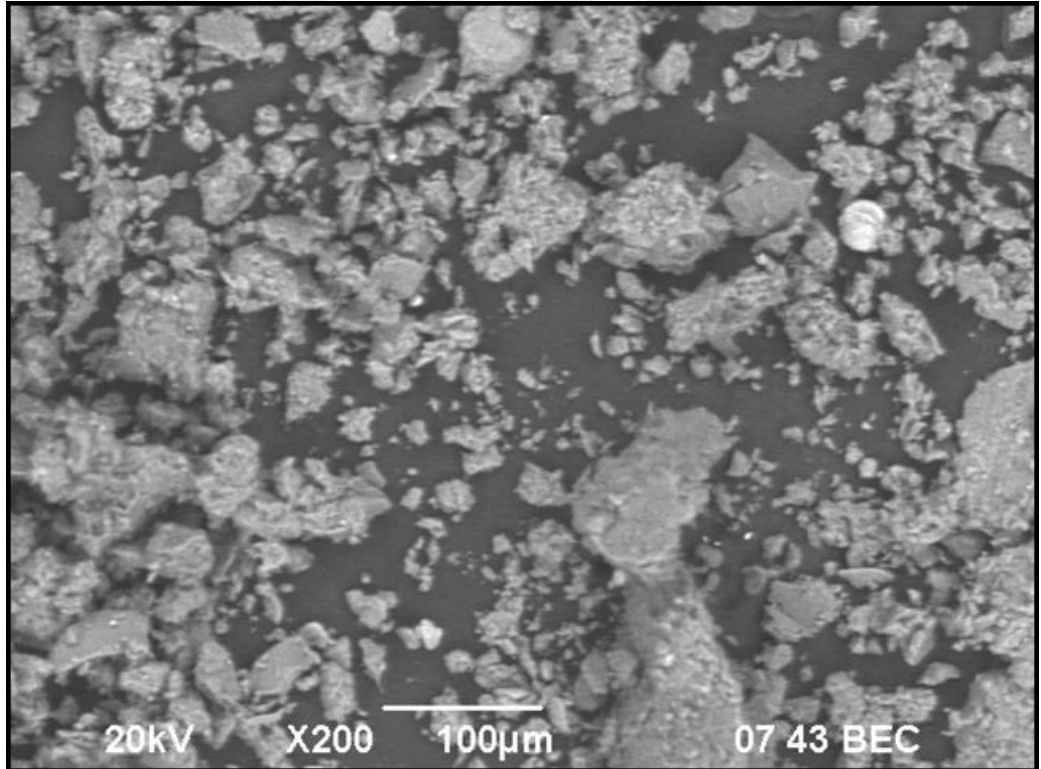
Şekil 7. 10 SK-1 numunesinin (5-5,5 m) 200 kat büyütülmüş BEC görüntüsü



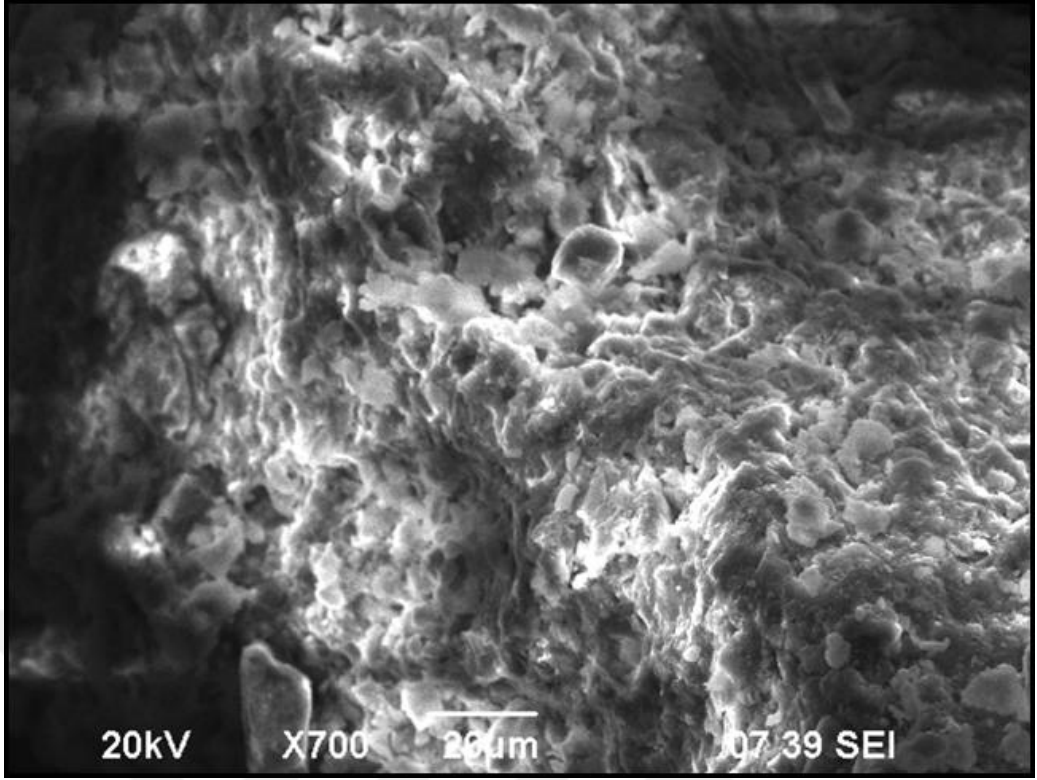
Şekil 7. 11 SK-1 numunesinin (5-5,5 m) 750 kat büyütülmüş BEC görüntüsü



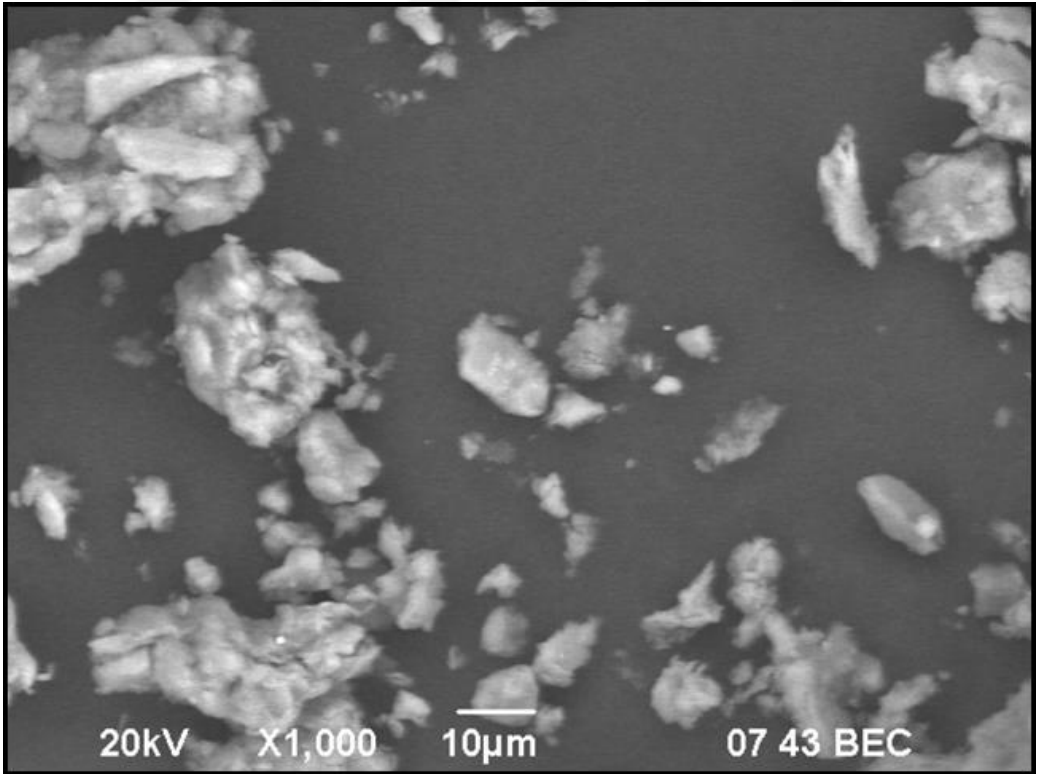
Şekil 7. 12 SK-1 numunesinin (5-5,5 m) 2000 kat büyütülmüş SEI görüntüsü



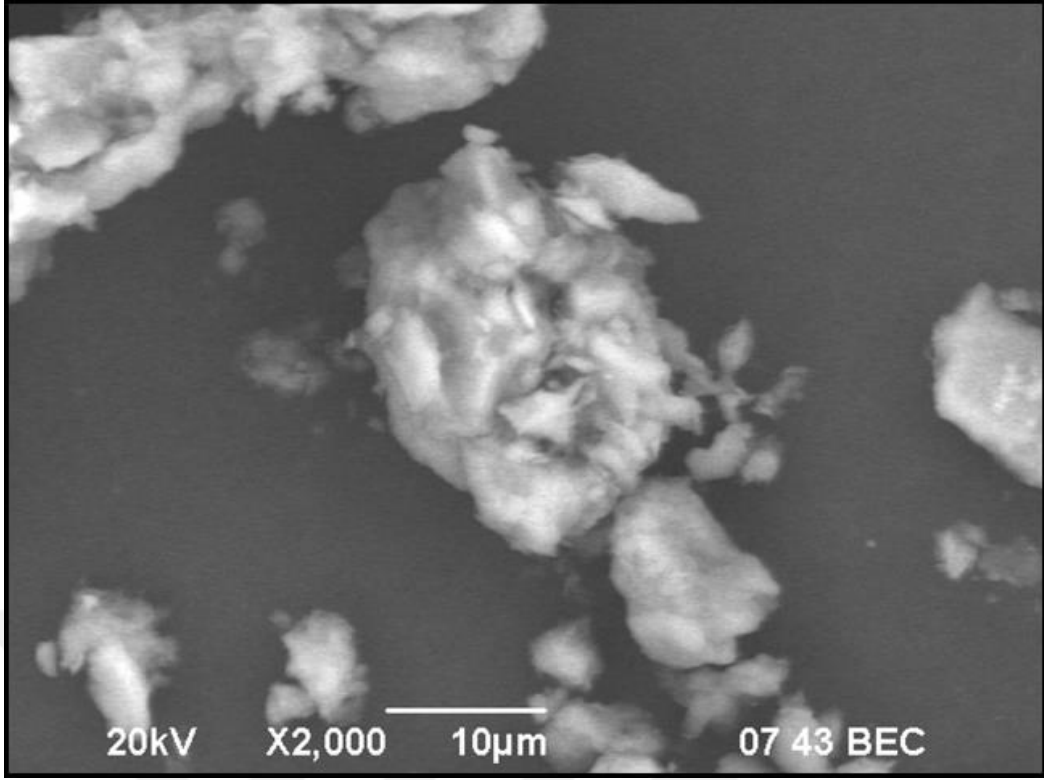
Şekil 7. 13 SK-2 numunesinin (10-10,5 m), 200 kat büyütülmüş BEC görüntüsü



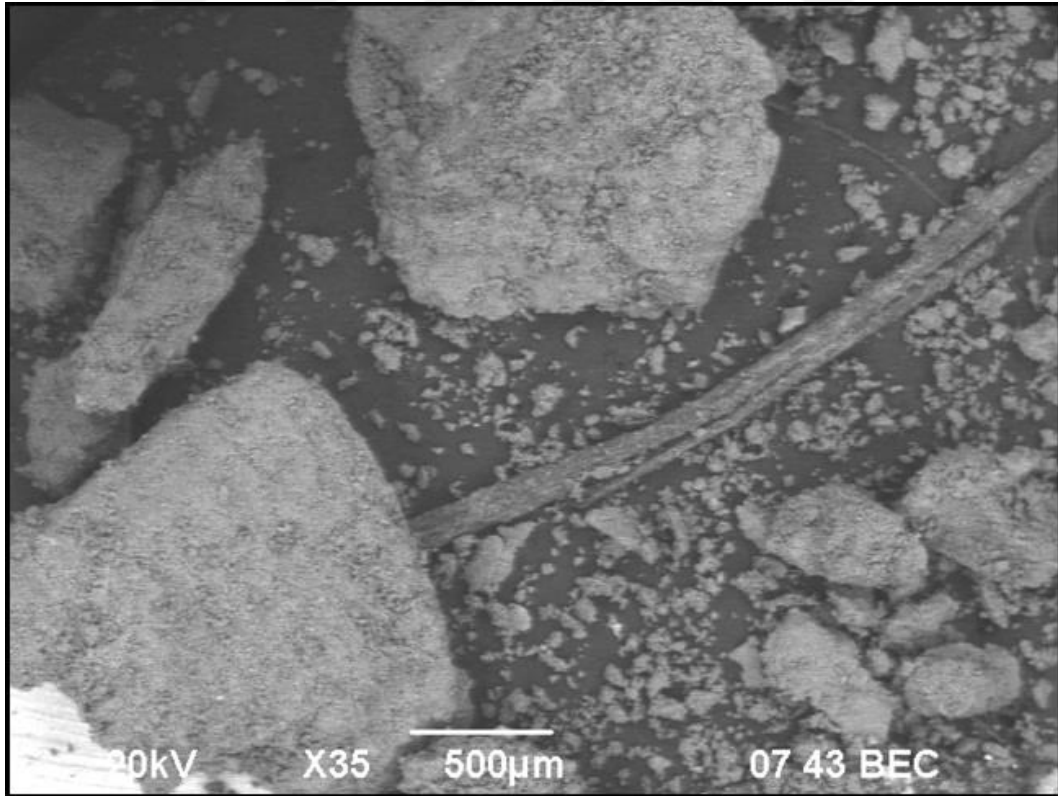
Şekil 7. 14 SK-2 numunesinin (10-10,5 m), 700 kat büyütülmüş SEI görüntüsü



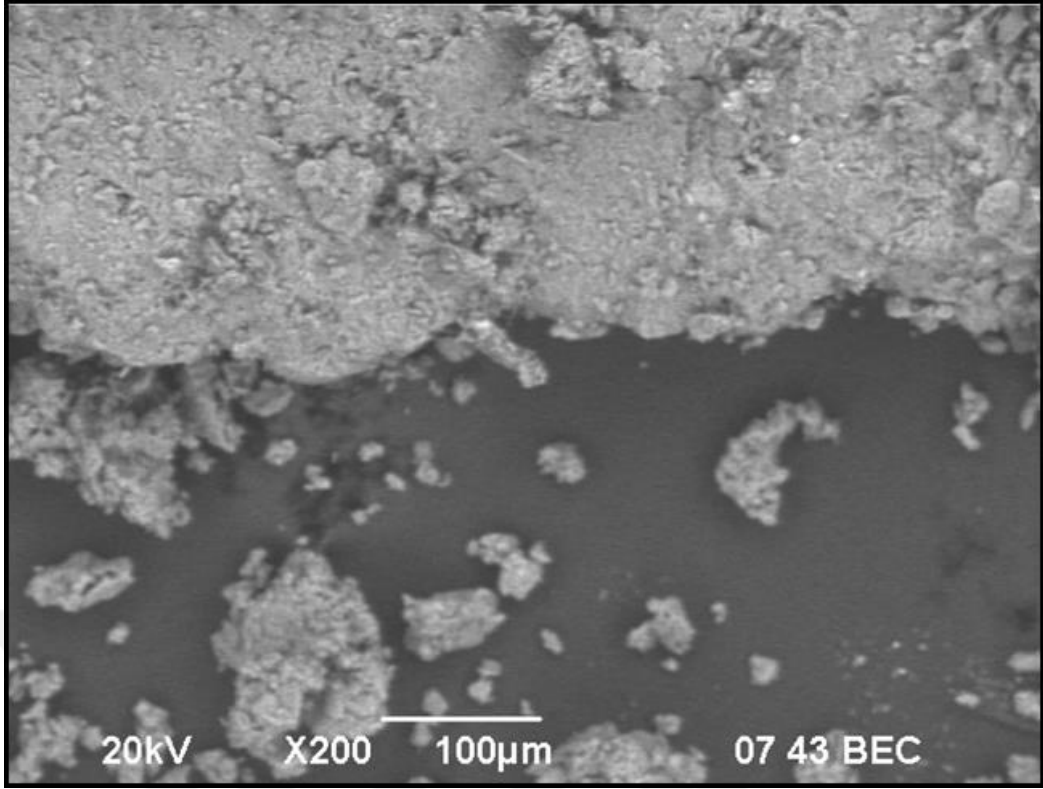
Şekil 7. 15 SK-2 numunesinin (10-10,5 m), 1000 kat büyütülmüş BEC görüntüsü



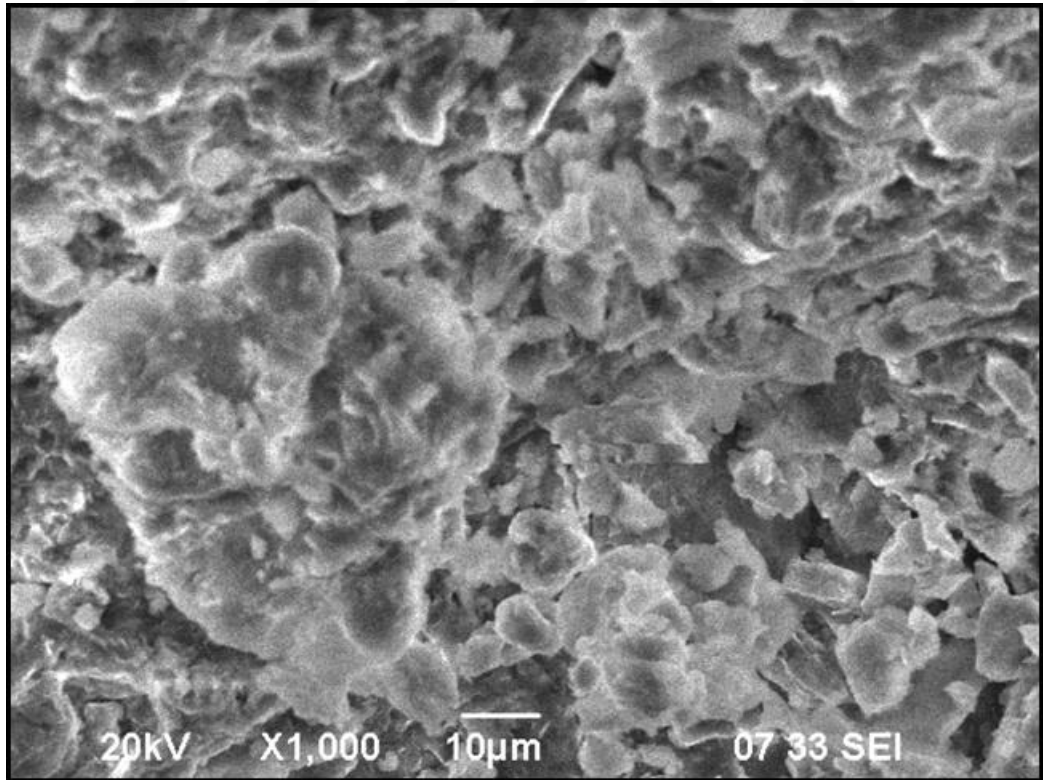
Şekil 7. 16 SK-2 numunesinin (10-10,5 m), 2000 kat büyütülmüş BEC görüntüsü



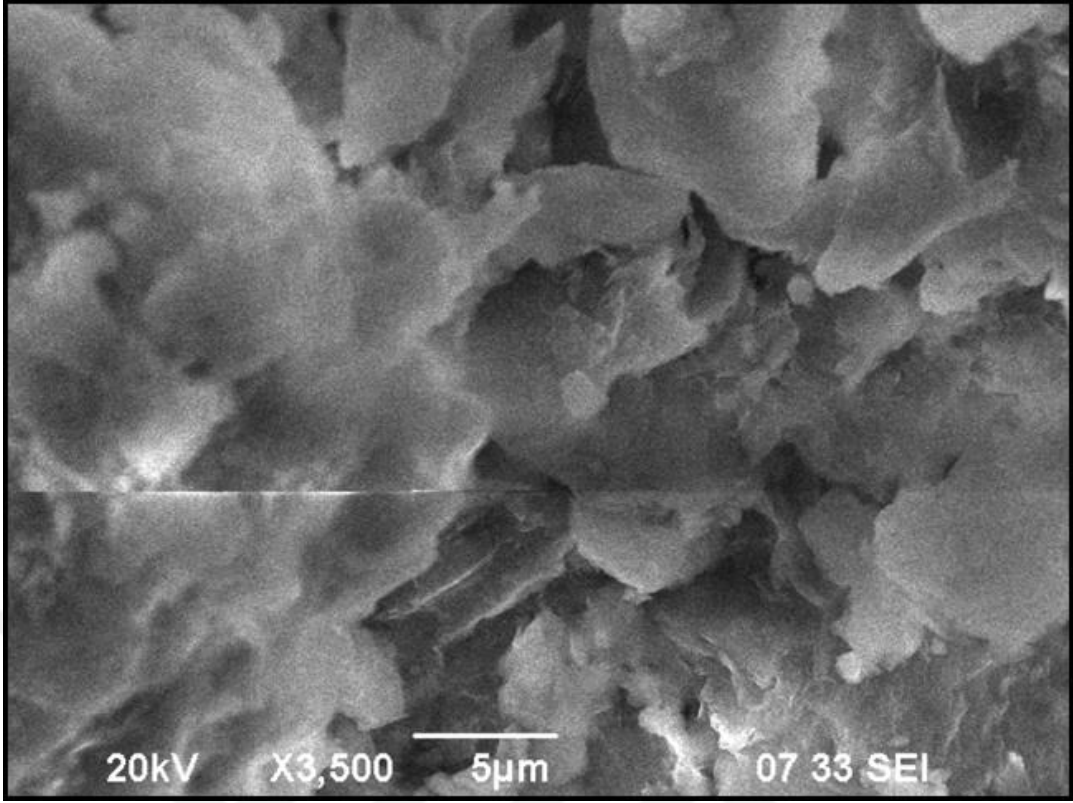
Şekil 7. 17 SK-3 numunesinin (15-15,5 m), 35 kat büyütülmüş BEC görüntüsü



Şekil 7. 18 SK-3 numunesinin (15-15,5 m), 200 kat büyütülmüş BEC görüntüsü



Şekil 7. 19 SK-3 numunesinin (15-15,5 m), 1000 kat büyütülmüş SEI görüntüsü



Şekil 7. 20 SK-3 numunesinin (15-15,5 m), 3500 kat büyütülmüş SEI görüntüsü

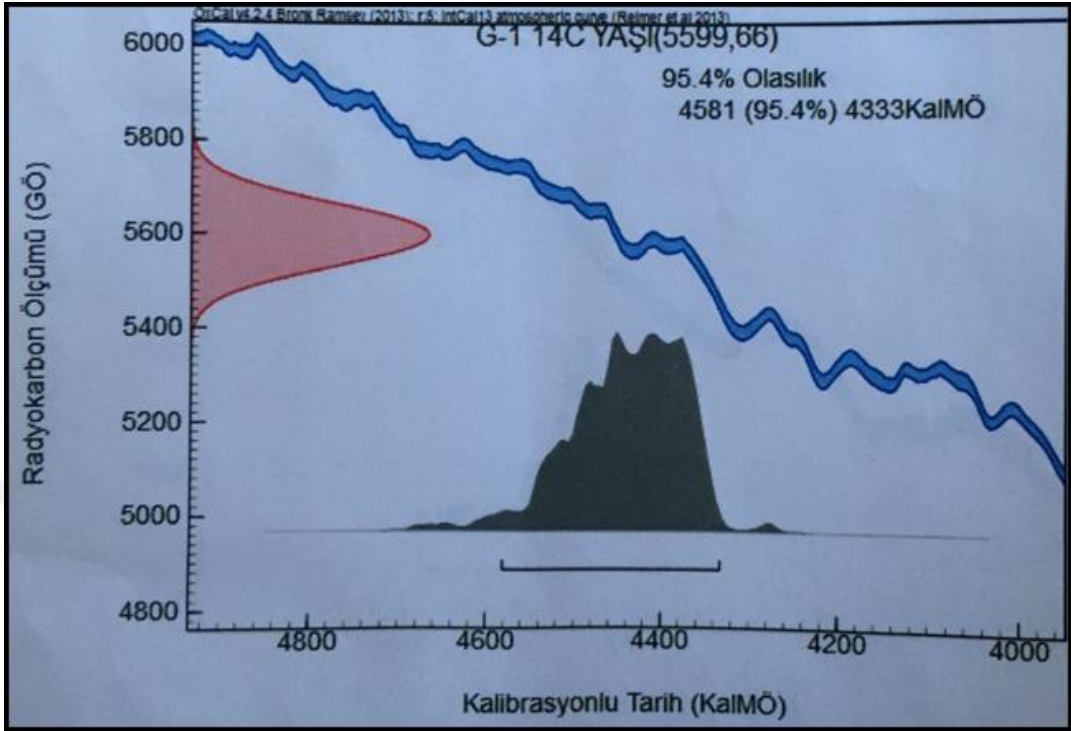
7.5 Sedimentlerin Yaş Tayini ve Sedimentasyon Hızı

Kulakçayırı Gölü'nden alınan üç numuneye ait C-14 analizleri sonucu Çizelge 7.6'da verilmiştir. SK-1 numunesinde sediman çökelişi 5599 yılda gerçekleşirken SK-2 'de 7596 yıl , SK-3 'de ise 8060 yılda gerçekleşmiştir. Sedimentasyon hızları ise; SK-1>SK-2>SK-3 olarak sıralanmaktadır.

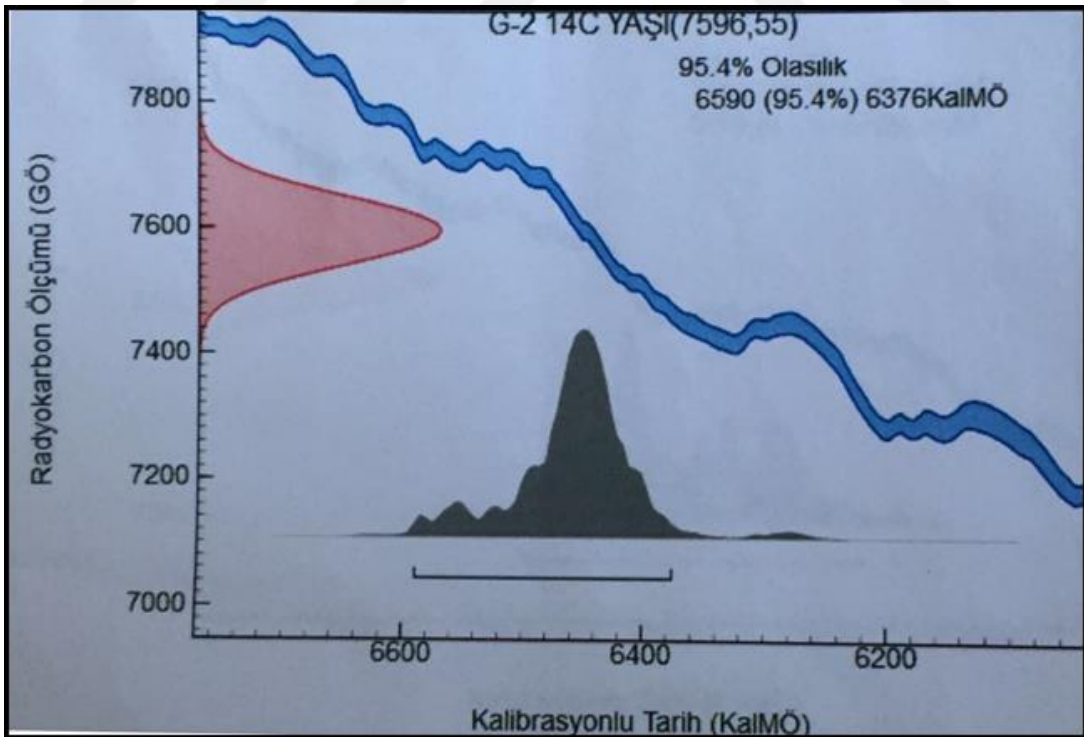
Çizelge 7. 7 Kulakçayırı bölgesinden alınan SK-1, SK-2 ve SK-3 sondajlarının C-14 analizi sonuçları

Numune derinlikleri	C-14 analiz sonucu (yıl)	Sedimentasyon hızı (mm/yıl)
SK-1 (5-5,5 m)	5599±66	1,1198
SK-2 (10-10,5 m)	7596±55	1,5192
SK-3 (15-15,5 m)	8060±60	1,6120

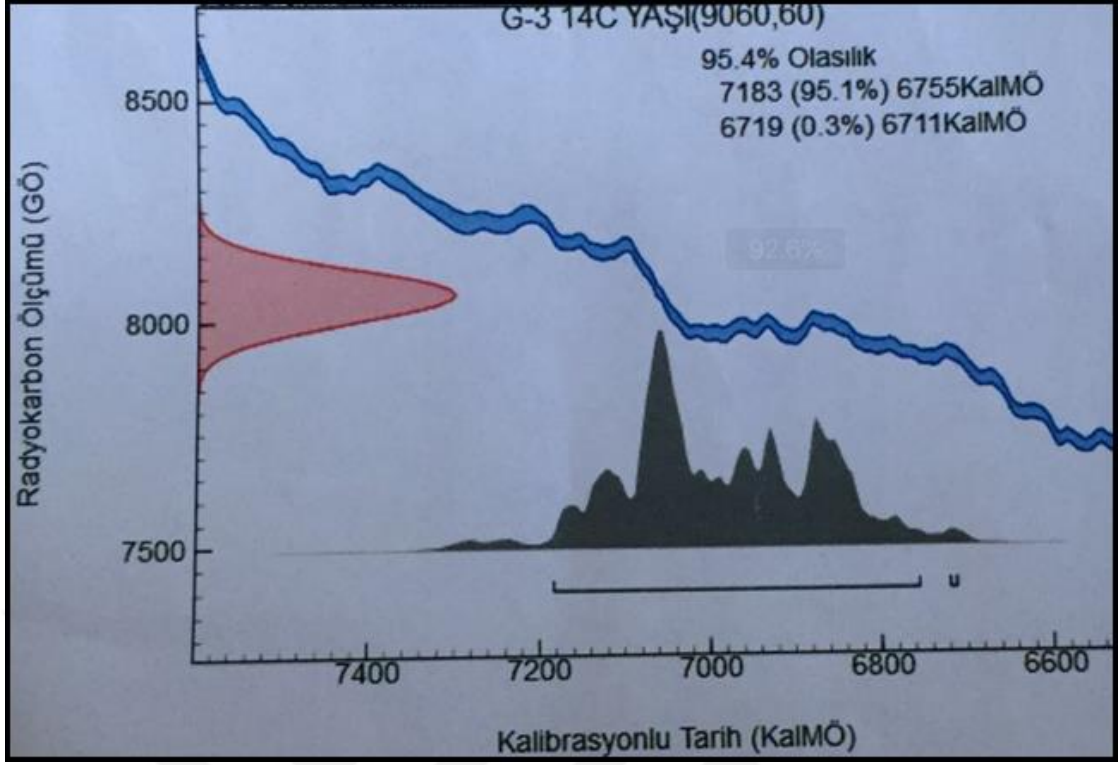
C-14 analizi için kalibrasyonlu tarihler aşağıdaki Şekil 7.21, Şekil 7.22 ve Şekil 7.23'te verilmiştir.



Şekil 7. 21 SK-1 numunesinin (derinliği 5-5,5 m) sedimantasyonu



Şekil 7. 22 SK-2 numunesinin (derinliği 10-10,5 m) sedimantasyonu



Şekil 7. 23 SK-3 numunesinin (derinliği 15-15,5 m) sedimantasyonu

Analiz sonuçlarına göre sedimantasyon hızının ve yaşının, gölün farklı noktalarında farklı oranlara sahip olduğu, derinlere inildikçe sedimantasyon hızının azaldığı gözlenmiştir.

Göle malzeme getiren bir akarsu bulunmamaktadır. Bundan dolayı genel olarak göle yavaş bir depolamanın hakim olduğu söylenebilir.

7.6 Tartışma ve Öneriler

Bu deneysel çalışmaların sonucunda; gama spektrometri analizi ile doğal radyonüklitlerin aktiviteleri hesaplanmıştır. Sonuçlara göre Th-232 dışındaki doğal radyonüklit konsantrasyonları düşük çıkmıştır. Kumul bölgelerin fazla olması Th-232 konsantrasyonunun az da olsa yüksek çıkmasının sebebi olarak görülebilir [114]. K-40 konsantrasyonu, tatlı sularda fazla çözünmediğinden düşük çıkmıştır. Cs-137 radyonükliti ise incelenen numunelerde rastlanmamıştır. Cs-137 radyonükliti yapay bir radyonüklittir. Sonuçlar, Çernobil nükleer reaktör kazasında oluşan Cs-137 radyonüklitlerinin, karotların alındığı derinliklere ulaşmadığına işaret etmektedir. Fakat C-14 analizi sonucunda elde ettiğimiz sedimantasyon hızları, bize sediman çökelişiminin

düşük olduğunu göstermiştir. Bu nedenle Cs-137 radyonüklitlerinin bölgeye ulaşmış olsa bile, incelenen derinlikle ulaşmamış olması olağandır. Çernobil nükleer kazasının etkilerinin, incelenen bölgeye ulaşip ulaşmadığının tespiti için yüze yakın yerlerden alınacak olan örneklerin analizi yapılabilir.

Sintilasyon dedektörü ile ölçülen gama doz hızı değerlerinin ortalaması 37,5 nGy/h olarak hesaplanmıştır. Bu değer, Dünya ortalaması olan 55 nGy/h'ten düşüktür. Lokasyonlar arasında ise karasal ve kozmik kaynaklardan dolayı farklılıklar gözlenmiştir.

XRF yöntemi ile yapılan elementel analiz sonucunda, hematit (Fe_2O_3), kalsiyum oksit (CaO) ve titanyum oksit (TiO_2) bileşikler gözlenmiştir. Cr, Co, Ni, Pb tüm derinliklerde ortalama değerlerin üzerinde çıkmıştır. Bu elementler, çalışma bölgesinde eskiden maden yataklarının bulunması sebebiyle ve kömürün yanmasıyla ortaya çıkan elementler arasındadır. Cr, suda çözünürlüğü fazla olan bir element olduğu için yüksek konsantrasyonda çıkmıştır. Cu ve Zn düşük değerlerde çıkmıştır. Mn ise yüze yakın yerlerde yüksek konsantrasyona sahipken derinlere inildikçe yarı değerine düşmüştür. Bunun sebebi ise, çalışma alanının stratigrafik kesitine bakıldığında derinlere inildikçe kumtaşının artması ve Mn'in bu yapıdaki tutunmasının düşük olmasıdır. Analizler, yer kabuğunun jeokimyasal değerlerinin, genel ortalama olduğunu göstermiştir. İleride yapılacak çalışmalarda ortamın daha farklı sonuçlar sunması durumunda güncel kirleticilerin araştırılması gerekecektir.

XRD analizi ile elde edilen grafiklerde, belirgin piklere ulaşılmıştır. Bu piklerin silisyum dioksit (SiO_2), alüminyum oksit (Al_2O_3), demir (III) oksit (Fe_2O_3), potasyum oksit (K_2O) ve sodyum oksite (Na_2O) karşılık geldiği görülmüştür. 3 numunenin pikleri karşılaştırıldığında, elementel analiz ile uyumluluğu olduğu görülmüştür. Örneğin, 3 numaralı pike karşılık gelen demir (III) oksitin (Fe_2O_3) elementel analizdeki konsantrasyonu SK-1<SK-3<SK-2 olarak bulunmuştur. Bu sonuç XRD desenleriyle uyumludur.

SEM mikroskobuyla alınan BEC ve SEI görüntülerinde, numunelerin farklı bileşimler ve minerolojik yapılarda olması sebebiyle bileşim ve derinliğe bağlı olarak tane boyutu ve morfolojisinde farklılıklar gözlenmiştir.

Bölgeden alınan karot örneklerinin sedimentasyon hızları AMS spektrometresi ile ölçülmüştür. Ölçüm sonucuna göre derinlere inildikçe sedimentasyon hızının azaldığı ve daha yavaş bir sediman çökeliminin olduğu görülmüştür. Genel olarak değerlendirildiğinde incelenen bölgedeki sedimentasyon hızı düşük çıkmıştır. Bunun sebebi ise göldeki hareketin ve sirkülasyonun az olması olabilir.

Yapılan tüm analizler değerlendirildiğinde, genel olarak ağır element kirliliği söz konusu değildir. Ancak çalışma bölgesi, İstanbul 3. Havalimanı projesi kapsamında yer almaktadır. Havalimanının yapımından sonra bölgedeki popülasyon ile birlikte inşaat ve sanayi gibi çeşitli insan faaliyetlerinin de artacağı görülmektedir. Antropojenik olarak çevreye yapılan etkinin tespit edilebilmesi için ileriki zamanlarda ölçümler tekrarlanabilir. Böylelikle ağır element kirliliğinin insan kaynaklı ilerleyişi takip edilerek, kirliliğin önlenmesi için çözüm yolları aranabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Albayrak, N., (2011). Kırıkkale'de (Türkiye) Doğal Radyasyon Kaynaklarının Belirlenmesi ve Gama Doz Oranlarının Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [2] Kurt, D., (2016). İzmir Körfezi Karot Sedimentlerinin Radyoaktivite ve Kimyasal Parametrelerle Kirliliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [3] Akdemir, F., (2014). XRF ve ICP-OES Teknikleri ile Van Gölü'nün Su ve Sedimentinin Eser Element Analizi, Doktora Tezi, Atatürk Üni Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- [4] Liu, J., Luo, X., Wang, J., Xiao T., Yin, M., Belshaw, N.S., Lippold, H., Kong, L., Xiao, E., Bao, Z., Li, N., Chen, Y., Linghu, W., (2018). "Provenance of Uranium in a Sediment Core from a Natural Reservoir, South China: Application of Pb Stable Isotope Analysis", *Chemosphere*, 193: 1172-1180.
- [5] Albut, G., (2014). Gemlik Körfezi Çökellerinde Ağır Metal ve Organik Kirliliğin Zaman İçindeki Evrimi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [6] Akçer-Ön, S., (2017). "Küçük Buz Çağı'nda Güneş Etkisine Bağlı İklim Değişimleri: Köyceğiz Gölü Çökel Kayıtları (GB Anadolu)", *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 60: 569-588.
- [7] TAEK, Radyoaktivite, <http://www.taek.gov.tr/ogrenci/sf3.html>, 7 Mart 2017.
- [8] TAEK, (2009). Radyasyon, İnsan ve Çevre, Teknik Rapor, Ankara.
- [9] IAEA-TECTOC-1663, (2011). Radioactive Particles in the Environment: Sources, Particle Characterization and Analytical Techniques, IAEA, Vienna.
- [10] Kam, E., Yümün, Z.Ü., Önce, M., Açıkgöz, G., (2016). "Gamma Dose Rate Values in the Kulakçayiri Natural Lake and the Vicinity (Arnavutköy, İstanbul)". *Journal of Engineering Technology and Applied Sciences*, 1(1): 29-33.
- [11] Kam, E., (2004). Tekirdağ'ın Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Tayini, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [12] Kam, E., ve Bozkurt, A., (2007). "Environmental Radioactivity Measurements in Kastamonu Region of Northern Turkey", *Applied Radiation and Isotopes*, 65(4): 440-444.

- [13] Otansev, P, Karaman, R., Kam, E., Barut, İ., Taşkın, H., (2012). "Assessment Of Natural Radioactivity Concentrations and Gamma Dose Rate Levels in Kayseri, Turkey", Radiation Protection Dosimetry, 148(2): 227–236.
- [14] Yümün, Z.Ü., Kam, E., Önce, M., Açıkgöz, G., (2016). "Stratigraphic and Geochemical Characteristics of Kulakçayiri Lake (Istanbul/Turkey) and its Vicinity", Journal of Engineering Technology and Applied Sciences, 1(2): 69-75
- [15] Smol, J.P. and Last, W.M., (2001). Tracking Environmental Change Using Lake Sediments: Physical and Geochemical Methods, ISBN: 978-0-306-47670-9, Volume 2, Kluwer Academic Publishers, Kanada.
- [16] Coşkunsu, E., (2015). X-Ray Analizörlü Enerji Dağılımlı Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM/EDS) ile ENFSI/GSR (European Network Forensic Science Institute/ Gun Shot Residue Proficiency Test) Numunesinde Elementel Atış Artıklarının Analizi ve Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, AÜ Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [17] Arkeolojik Tarihlendirme Yöntemleri, <http://www.toplumduamani.net/modules/wfsection/print.php?articleid=1702>, 18 Mart 2017.
- [18] Erdoğan, B., ve Tanındı, O., (2004). Türkiye Arkeolojik Yerleşmeleri ¹⁴C Veri Tabanı, ISBN: 9758070754, Ege Yayınları, İstanbul.
- [19] Martin, A. and Harbison, S.A., (1996). An Introduction to Radiation Protection, ISBN: 978-0-412-63110-8, Fourth Edition, Springer-Science + Business Media, B.V., London, UK.
- [20] Cember, H. and Johnson, E.T., (2009). Introduction to Health Physics, ISBN: 978-0-07-142-308-3, Fourth Edition, Mc Graw Hill Medical, USA.
- [21] Selçuk Zorer, Ö., (2006). Bendimahı Çayı'nda ve Çayın Van Gölü'ne Döküldüğü Noktada Doğal Radyoaktivite Seviyesinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, YYÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- [22] TAEK, Doğal Radyasyon Kaynakları, <http://www.taek.gov.tr/tr/2016-06-09-00-43-46/1087-dogal-radyasyon-kaynaklari.html>, 21 Mart 2017.
- [23] Canadian Nuclear Safety Commission, (2012). "Introduction to Radiation", ISBN: 978-1-100-21572-3, Canada.
- [24] Günlük Hayatta Karşılaştığımız Radyasyonun Elektromanyetik Spektrumdaki Dağılımı, https://herrzweifler.files.wordpress.com/2017/09/cnx_chem_06_01_emspectrum.jpg?w=676, 5 Nisan 2017.
- [25] Magill, J., and Galy, J., (2005). Radioactivity Radionuclides Radiation, ISBN: 3-540-21116-0, Springer-Verlag Berlin Heidelberg and European Communities, Germany.
- [26] Knoll, G.F., (2000). Radiation Detection and Measurement, ISBN: 0-471-07338-5, Third Edition, John Wiley & Sons, Inc., USA.

- [27] Grupen, C. and Rodgers, M., (2016). Radioactivity and Radiation, ISBN: 978-3-319-42329-6, First Edition, Springer International Publishing Switzerland, Switzerland.
- [28] Ahlbom, A., Bergqvist, U., Bernhardt, J.H., Cesarini J.P., Court, L.A., Grandolfo, M., Hietanen, M., McKinlay, A.F., Repacholi, M.H., Sliney, D.H., Stolwijk, J.A., Swicord, M.L., Szabo, L.D., Taki, M., Tenforde, T.S., Jammet, H.P., Matthes, R., (1998). "Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz)", Health Physics, 74(4): 494-522.
- [29] Alfa Parçacığının Yayınlanması, https://kurious.ku.edu.tr/sites/kurious.ku.edu.tr/files/image005_18.jpg, 17 Nisan 2017.
- [30] Taşkın, H., (2006). İnsan Sağlığı ve Çevre Kirliliği Açısından Kırklareli İlinin Fon Radyasyonunun Belirlenmesi ve Haritalandırılması, Yüksek Lisans Tezi, MÜ Sağlık Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- [31] Beta Parçacığının Yayınlanması, http://sivilsavunma.afad.gov.tr/contents/images/images/beta_bozunumu.jpg, 5 Mayıs 2017.
- [32] Gama Işını ve X-Işını Yayınlanması, <http://www.adnanisgor.com/image/doteryumtrityum.jpg>, 6 Haziran 2017.
- [33] L'Annunziata, M.F., (2007). Radioactivity Introduction and History, ISBN: 978-0-444-52715-8, First Edition, Elsevier B.V., UK.
- [34] Fiyon Sonucu Açıkça Çıkan Nötronlar, <http://www.delinetciler.org/resimler/2007/11/296.jpg>, 9 Haziran 2017.
- [35] Bazı Radyasyon Tiplerinin Penetrasyonu, http://www.physics.isu.edu/health-physics/tso/rad_training/Shielding.jpg, 12 Haziran 2017.
- [36] IAEA, (2004). "Radiation, People and the Environment", No: IAEA/PI/A.75/ 04-00391, pp.2, Austria.
- [37] Akkurt, İ., (2016). Radyasyon Ölçüm Teknikleri ve Korunma, (<https://docplayer.biz.tr/5947146-Doc-dr-iskender-akkurt.html>), 9 Eylül 2017.
- [38] Federation of American Scientists, Conventional and Nuclear Weapons – Energy Production and Atomic Physics, <https://fas.org/nuke/guide/usa/doctrine/dod/fm8-9/1ch2.htm> 24 Eylül 2017.
- [39] TÜ Hastanesi, (2009). Radyasyon Güvenliği El Kitabı, Trakya Üniversitesi Hastanesi, 16(1), Edirne.
- [40] Atakan, Y., (2006). "İyonlayıcı Radyasyon ve Sağlık Riski", Bilim ve Teknik, Yeni Ufuklara: 2-19
- [41] Lowson, R.S., (1999). An Introduction to Radioactivity, Manchester, England.
- [42] Lewis, J.L., and Wenham, E.J., (1970). Radioactivity, SBN: 582-32206-5, First Edition, Longman Group Limited, London.

- [43] Demirel, S., (2013). Konya'nın İçme Suyunun Sağlandığı Bazı Kuyu Sularında ^{222}Rn Konsantrasyonu Değişimlerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, SÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [44] Özdemir, F., (2013). Konya'nın Termal Sularında Radon-222 Konsantrasyonu Değişimlerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, SÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [45] Eroğlu, G., ve Şahiner, M., (2017). "Dünya'da ve Türkiye'de Uranyum ve Toryum, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 3: 1-29
- [46] Şaşmaz, M., Obek, E., Şaşmaz, A., (2016). "Bioaccumulation of Uranium and Thorium by Lemna Minor and Lemna Gibba in Pb-Zn-Ag Tailing Water", Bull Environ Contam Toxicol, 97(6): 832-837
- [47] Gore, A.C., (2007). Heavy Metals as Endocrine-Disrupting Chemicals: From Basic Research to Clinical Practice (1 kısım 5 bölüm), ISBN: 978-1-58829-830-0, First Edition, Humana Press, USA.
- [48] Nükleer Akademi, Türkiye Uranyum ve Toryum Yatakları, <http://nukleerakademi.org/turkiye-uranyum-ve-toryum-yataklari/>, 29 Ekim 2017.
- [49] Ekener, H., (1997). Nükleer Enerji ve Sigorta, TR9900007,4 Generali Sigorta A.Ş., İstanbul.
- [50] Demir, E., (2014). Radyoaktif İzleme Tekniği İle Rubidyumun Topraktaki İlerleyişinin İncelenmesi, Sodyum ve Potasyuma Göre Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- [51] Topsakal, E.Ş., (2015). Konya'nın Ilgın İlçesinde Bulunan Ilgın Fay Hattı Civarındaki Yer Altı Sularında ve Toprak Gazında Radon Aktivite Seviyelerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, SÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [52] Duffus, J.H., (2002). "Heavy Metals' a Meaningless Term?" IUPAC Technical Report, International Union of Pure and Applied Chemistry, 74(5): 793-807, UK.
- [53] Şener, Ş., (2010). "Çevre İçin Jeoloji; Ağır Metallerin Çevresel Etikleri", SDUGEO, 1309-6656(3): 33-36.
- [54] Kahvecioğlu Ö. ve Kartal G., (2004). "Metallerin Çevresel Etkileri-I", Metalurji Dergisi, 136: 47-53.
- [55] Harte, J., Holdren, C., Schneider, R., Shirley, C., (1991). Toxics A to Z, A Guide to Everyday Pollution Hazards, 978-0-520-07224-4, First Edition, University of California Press, USA.
- [56] Schüürmann, G. and Markert, B., (1998). Ecotoxicology, Ecological Fundamentals, Chemical Exposure and Biological Effects, ISBN: 0-471-17644-3, John Wiley & Sons Inc. and Spectrum Akademischer Verlag, Germany.
- [57] Sunlu, U., ve Egemen, Ö., (1998). "Homa Dalyanı ve İzmir Körfezinin (Ege Denizi) Farklı Bölgelerindeki Kirlenme Durumu ile Bazı Ekonomik Balık

- Türlerinde Ağır Metal Düzeylerinin Araştırılması”, Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi, 15(3-4): 241-261.
- [58] Georgescu, B., Georgescu, C., Daraban, S., Bouaru, A., Paşcalau, S., (2011). “Heavy Metals Acting as Endocrine Disrupters”, Animal Science and Biotechnologies, 44(2): 89-93.
- [59] Meta Nikel Kobalt A.Ş., Kobalt, <http://www.metanikel.com.tr/kobalt-uretiyoruz>, 6 Kasım 2017.
- [60] Külahcı, F., (2005). Keban Baraj Gölü Uluova Kesiminin Doğal Radyoaktivitesinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, FÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [61] Taylor, J.C. ve Young, R.S., (2017). Chemical Quality Exchange, Cobalt Processing, <https://www.britannica.com/technology/cobalt-processing#ref623150>, 21 Kasım 2017.
- [62] Chandrappa R. ve Kulshrestha, U., (2016). Sustainable Air Pollution Management Theory and Practice, ISBN: 978-3-319-21596-9, First Edition, Springer International Publishing AG Switzerland is part of Springer Science + Business Media, Switzerland.
- [63] Vikipedi, Mangan, <http://www.wiki-zero.com/index.php?q=aHR0cHM6Ly90ci53aWtpcGVkaWEub3JnL3dpa2kvTWFuZ2Fu>, 28 Kasım 2017.
- [64] Sharar, Y.B., (2018). “The Impact of Environmental Mn Exposure on Insect Biology”, Frontiers in Genetics, Behavioral and Psychiatric Genetics, 9: 70.
- [65] Martin, S. and Griswold, W., (2009). “Human Health Effects of Heavy Metals”, CHSR, 785-532-6519(15): 1-6
- [66] Mertz, W., (1986). Trace Elements in Human and Animal Nutrition, ISBN: 978-0-08-092469-4, Fifth Edition, Academic Press, USA.
- [67] U.S. Environmental Protection Agency, EPA Ulusal Birinci Derece İçme Suyu Yönetmelikleri, http://www.gidahareketi.org/su/epa_tablosu.pdf, 8 Ocak 2018.
- [68] Alloway, B.J. and Trevors, J.T., (2010). Heavy Metals in Soils, Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability, ISBN: 978-94-007-4470-7 Third Edition, Springer Science + Business Media Dordrecht, UK.
- [69] Hong, S. M, Candelone, J-P., Soutif, M., Boutron, C.F., (1996). “A Reconstruction of Changes in Copper Production and Copper Emissions to the Atmosphere During the Past 7000 Years”, Science of the Total Environment, 188(2–3): 183–193.
- [70] Filozof.net, Vanadyum, <http://www.filozof.net/Turkce/nedir-ne-demek/5084-vanadyum-nedir-vanadyum-elementi-simgesi-ozellikleri-nedir.html>, 18 Ocak 2018.
- [71] Çevik, S., (2014). “Vanadyum”, AKÜ FEMÜBİD, 14(2): 9-18.

- [72] Zhang, W., Jiang, J., Li, K., Li, T., Li, D.A., Wang, J., (2017). "Amendment of Vanadium Contaminated Soil with Soil Conditioners: A Study Based on Pot Experiments with Canola Plants (*Brassica Campestris*)", *International Journal of Phytoremediation*, 20(5): 454-461.
- [73] Gök, C., Aytaş, Ş., Gerstmann, U., (2009). "Stronsiyum İyonlarının Ca-Aljinat Biyopolimer Kürecikleri ile Biyosorpsiyonu", X. Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi, 6-9 Ekim 2009, 206-213, Muğla.
- [74] Kimyadersi.org, Stronsiyum, <https://www.kimyadersi.org/stronsiyum.html>, 8 Şubat 2018.
- [75] Makaleler.com, Baryum Nedir, Özellikleri Nelerdir?, <https://www.makaleler.com/baryum-nedir>, 15 Şubat 2018.
- [76] Lu, Q., Xu, X., Xu, Z., Liang, L., Shang, L., Xiao, D., Zhang, S., Jiang, Y., Qiu, G., (2018). "Barium Concentrations and Speciation in Surface Waters Collected from an Active Barium Mining Area in Guizhou Province, Southwestern China", *Environmental Science and Pollution Research*, 25(8): 7608-7617.
- [77] Ramazanoğlu, Ş., (2002). "Zirkonyum ve Zirkon" SAU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 6(2): 185-189.
- [78] Doğan, T., (2018). "Karbon 14 Tarihlendirme Yöntemi", *Bilim ve Teknik*, Sayı 604: 26-33.
- [79] Özbakan, M., (2016), Radyokarbon Tarihleme Yöntemi, http://www.tayproject.org/downloads/14C_MO.pdf, 27 Şubat 2018.
- [80] Kam, E., Yümün Z.Ü., Açıkgöz G., Bayrak K., (2018). "Concentrations of Environmental Radioactivity in Sediment Cores from Kulakçayırı Lake", *Journal of the Turkish Chemical Society, Section A: Chemistry*, ID 401086 (submitted).
- [81] Arnavutköy Belediyesi, Coğrafi Yapı ve Bitki Örtüsü, <https://www.arnavutkoy.bel.tr/icerik/631/1737/cograf-yapi-ve-bitki-ortusu.aspx>, 15 Mart 2018.
- [82] TAEK, Çevre Radyoaktivitesinin İzlenmesinde Örnekleme, Ölçüm ve Analiz Yöntemleri, TAEK -TR00-1, İstanbul.
- [83] Gezer, F., (2011). Fosfojips'in Doğal Radyoaktifliğinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, ÇÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [84] Kurt, D., Yümün, Z.Ü., Barut, İ.F., Kam, E., (2016). "Distribution of Gamma Radiation Levels in Core Sediment Samples in Gulf of İzmir: Eastern Aegean Sea, Turkey", *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Environmental and Ecological Engineering*, 10(3): 392-396.
- [85] Bayrak, K., Ateş, Z.N., Kam, E., (2017). "Outdoor Gamma Dose Rates in Bolu", 2. Uluslararası Katılımlı Radyasyondan Korunma Konferansı, Kasım 2017, Ankara.

- [86] Özger, A. G., (2205). “Ceyhan, Yumurtalık ve Pozantı Bölgelerinin Doğal Radyoaktivite Düzeylerinin Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, ÇÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [87] Göksel, S.A., (1973). “Radyasyonların Biyolojik Etkileri ve Radyasyon Korunması”, İstanbul Teknik Üniversitesi Nükleer Enerji Enstitüsü Genel yayınlar no.9, İstanbul.
- [88] GRÜMLAB Merkezi Araştırma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezi, Laboratuvardaki Cihazlar, <http://grumlab.giresun.edu.tr/index.php?id=312>, 19 Mart 2017.
- [89] KOÜ, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, <http://metalurji.kocaeli.edu.tr/files/DersNotlari/metlab2-xrf.pdf>, 21 Mart 2017.
- [90] Evisa., Instrument Database: Panalytical B.V.–Axios-Advanced, <http://www.speciation.net/Database/Instruments/PANalytical-BV/AxiosAdvanced;i1654>, 3 Nisan 2018.
- [91] Meriç, E., Barut, İ.F., Nazik, A., Avşar, N., Yokeş, M.B., Eryılmaz, M., Yücesoy Eryılmaz, F., Kam, E., Sonuvar, B., Dinçer, F., (2017). “The Effect of Submarine Thermal Springs of Doğanbey Cape (Seferihisar – İzmir) on Foraminifer, Ostracod and Mollusc Assemblages”, MTA Dergisi, 156: 87-116.
- [92] Bulun, G., (2010). 3d-Geçiş Metali Ni Katkılı $Zn_{1-x}Ni_xO$ ve 4f-Lantanit Gd Katkılı $Zn_{1-x}Gd_xO$ Bileşiklerinin Yapısal ve Manyetik Özellikleri, Doktora Tezi, ÇÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [93] Nedir.com, Moisture Analysis with HMA-Download Our Complete Guide, <http://www.nedir.com/xrd-analizi#ixzz4pMWYSgBg>, 6 Nisan 2018.
- [94] Özkan, T.O. ve Yörücü, H., (1986). Taramalı Elektron Mikroskobu Laboratuvar Çalışmaları, TÜBİTAK-MAM.
- [95] Purdue University, <https://www.purdue.edu/ehps/rem/rs/sem.htm>, 7 Nisan 2018.
- [96] Slide Share, Scanning Electron Microscope and Transmitting Electron Microscope, <http://www.slideshare.net/avanishthenewton/sem-and-tem?related=1>, 9 Nisan 2018.
- [97] KBT Bilim Sitesi, Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) – EDS Analizi, <http://www.kuark.org/2017/04/taramali-elektron-mikroskobu-sem-eds-analizi>, 21 Nisan 2018.
- [98] Numune ile Elektron Demetinin Etkileşimi, https://www.google.com.tr/search?q=elektron+demeti+numune+etkile%C5%9Fimi&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwj6_rSMo4TbAhXFjiwKHUMABwQQ_AUICigB&biw=1525&bih=730#imgrc=7hZxdMiRPB1q7M, 23 Nisan 2018.

- [99] Özada, Ç., (2016), Karbon 14 Metodu – Radyokarbon Tarihleme Yöntemi, <https://www.muhendisbeyinler.net/karbon-14-metodu-radyokarbon-tarihleme-yontemi/>, 28 Nisan 2018.
- [100] Evrimsel Tıp Topluluğu, Hızlandırıcı Kütle Spektrometresi (AMS) Ansiklopedik Bilgi, <https://evrimseltip.org/2017/01/12/hizlandirici-kutle-spektrometresi-ams-ansiklopedik-bilgi/>, 25 Nisan 2018.
- [101] BETA Analytic AMS Laboratuvarı, Accelerator Mass Spectrometry – Hızlandırılmış Kütle Spektroskopisi (AMS), <https://www.radiocarbon.com/turkce/beta-ams-lab.htm>, 6 Mayıs 2018.
- [102] Kam, E., Yazar, Y., Bozkurt, A., (2010). “Study of Background Radioactivity Level for Tekirdag, Turkey”, Radiation Protection Dosimetry, 138: 40–44.
- [103] Osmanlioğlu, A.E., Kam, E., Bozkurt, A., (2007). “Assessment Of Background Radioactivity Level For Gaziantep Region of Southeastern Turkey”, Radiation Protection Dosimetry, 124(4): 407–410.
- [104] Kapdan, E., Varinlioğlu, A., Karahan, G., (2011). “Outdoor Radioactivity and Health Risks in Balikesir, Northwestern Turkey”, Radiation Protection Dosimetry, 148(3): 301-309.
- [105] IAEA, (2009). Radiation, Human and Environment, Turkish Atomic Energy Authority, 1-81.
- [106] TAEK, (2010). Türkiye'deki Çevresel Radyoaktivitenin İzlenmesi 2009, Teknik Rapor: 9-14, Ankara.
- [107] UNSCEAR, (2000). Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly, United Nations, New York (USA).
- [108] UNSCEAR, (2000). Report of the General Assembly with Scientific Annexes, Vol. 1, United Nations, New York (USA).
- [109] Krauskopf, K.B., (1979). Introduction to Geochemistry, ISBN: 0070354472 9780070354470, Second Edition, McGraw-Hill, New York.
- [110] Ording, E.T., (2009). "Heavy Metals and Coal: Carbon Footprint Aside, Coal is not Environmentally Friendly" Suite 101.
- [111] Topbaş, M.T., Brohi, A.R., Karaman, M.R., (1998). Çevre Kirliliği, OCLC No: 283726090, T.C. Çevre Bakanlığı, Ankara.
- [112] Şener, Ş., (2010). Eğirdir Göl Suyu ve Dip Sedimanlarının Hidrojeokimyasal İncelemesi, Doktora Tezi, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- [113] MTA Enstitüsü, (1959). Türkiye’de Muhtemel Uranyum ve Toryum Bölgeleri, Teknik Rapor, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Gülderen AÇIKGÖZ
Doğum Tarihi ve Yeri :29.10.1987, Sarıyer
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : acikgozgulderen@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Fizik Bölümü	Trakya Üniversitesi	2011
Lise	Sayısal	Sarıyer Hüseyin Kalkavan Lisesi	2004

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Kurum	Görevi
2012-Halen	İstanbul Adliyesi	Memur

YAYINLARI

Makale

1. Yümün, Z.Ü., Kam, E., Önce, M., Açıköz, G., (2016). "Stratigraphic and Geochemical Characteristics of Kulakçayiri Lake (Istanbul/Turkey) and its Vicinity", Journal of Engineering Technology and Applied Sciences, 1(2): 69-75.
2. Kam, E., Yümün, Z.Ü., Önce, M., Açıköz, G., (2016). "Gamma Dose Rate Values in the Kulakçayiri Natural Lake and the Vicinity (Arnavutköy, İstanbul)". Journal of Engineering Technology and Applied Sciences, 1(1): 29-33.
3. Kam, E., Yümün Z.Ü., Açıköz G., Bayrak K., (2018). "Concentrations of Environmental Radioactivity in Sediment Cores from Kulakçayiri Lake", Journal of the Turkish Chemical Society, Section A: Chemistry, ID 401086 (submitted).

Bildiri

1. Kam, E., Yümün, Z.Ü., Bayrak K., M., Açıköz, G., (2017). "Measurement of Natural and Artificial Radioactivity in Kulakçayiri Lake". 2. Uluslararası Katılımlı Radyasyondan Korunma Kongresi, 23-25 Kasım 2017, Ankara.
2. Açıköz, G., Yümün, Z.Ü., Kam, E., Bayrak K., (2018). "Determination of Morphological Characteristics and Mineralogical Structure of the Kulakçayiri Sediments by SEM and XRD", TESNAT, 20-22 Nisan 2018, Antalya.

Proje

1. "Karadeniz Kıyısında Bulunan Kulakçayırı Gölünden Alınan Karot Örneklerindeki Doğal Radroaktivite Değerlerinin Belirlenmesi", BAP Y.Lisans, 2016-01-01-YL02.