

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

**İZMİR KÖRFEZİ KAROT SEDİMENTLERİNİN RADYOAKTİVİTE VE KİMYASAL
PARAMETRELERLE KİRLİLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

DİLEK KURT

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

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. EROL KAM**

İSTANBUL, 2016

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İZMİR KÖRFEZİ KAROT SEDİMENTLERİNİN RADYOAKTİVİTE VE KİMYASAL
PARAMETRELERLE KİRLİLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

Dilek KURT tarafından hazırlanan tez çalışması 29.04.2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Bölümü Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Erol KAM
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Erol KAM
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Mehmet ÇAKMAKÇI
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Gürsel KARAHAN
TAEK- ÇNAEM Müdürü

ÖNSÖZ

Öncelikle tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Erol KAM hocama, bana disiplinler arası bu konuda çalışmam için teşvikte bulunup, sürekli yol gösteren, anlayışıyla ve çok değerli tecrübeleriyle aydınlattığı için kendisine gönülden teşekkürü bir borç bilirim.

Namık Kemal Üniversitesi öğretim üyesi Yrd. Doç. Dr. Zeki Ünal YÜMÜN hocama, sağlamış olduğu sediment örnekleri için, ayrıca Jeoloji ve Çevre Mühendisliği alanlarında ve tez boyunca verdiği destek ve orijinal yaklaşımlarından ötürü gönülden teşekkür ederim.

İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü'nde, çok değerli Dr. İpek F. BARUT hocama ağır metallerin değerlendirmesindeki kıymetli yorumları ve sağladığı manevi destek için çok teşekkür ederim.

Sedimentlerin gama radyoaktivite konsantrasyonları, toplam alfa ve toplam beta aktivite miktarları, ağır metallerin analizlerinde ve SEM görüntülerinin elde edilmesinde yardımlarını esirgemeyen Çekmece Nükleer Eğitim ve Araştırma Merkezi uzmanları, başta çok değerli Dr. Ahmet VARİNLİOĞLU, Dr. Yusuf Ziya YILMAZ, Dr. Halim TAŞKIN ve Dr. Ahmet YAYLI'ya çok teşekkür ederim.

Sevgili Çevre Müh. Seyhan KAYA'ya, tez çalışmalarında kullandığım haritaları daha kaliteli ve özgün bir şekilde çizmemi sağlayıp yardımcı olduğu için çok teşekkür ederim.

Arazi çalışmalarında sedimentlerin sondaj ile alınması aşamasında tüm gayret ve özverileriyle desteklerini esirgemeyen, Jeoloji Mühendisi Aynur Yümün, Sondör Mutlu Kaya, Muzaffer Yıldırım ve Barış Çoban'a teşekkürü bir borç bilirim.

Hayatım boyunca güler yüz, anlayış, sabır ve hoşgörüsüyle her zaman arkamda olan canım aileme ve sevgili eşime sonsuz teşekkürler.

Nisan, 2016

Dilek KURT

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ	viii
KISALTMA LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
ÇİZELGE LİSTESİ	xii
ÖZET	xiii
ABSTRACT	xii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	2
1.3 Hipotez	3
BÖLÜM 2	
RADYASYON VE RADYOAKTİVİTE	4
2.1 Radyasyon ve Radyoaktivite	4
2.2 Doğal Radyonüklidler	5
2.3 Kamu Anksiyetesi	6
2.4 Radyasyon Enerjisi.....	7
2.5 Yarı-Ömür.....	7
2.6 Radyasyon Çeşitleri.....	8
2.6.1 İyonize Olmayan Radyasyon.....	9
2.6.2 İyonize Radyasyonlar.....	10
2.7 Radyasyonun Madde ile Etkileşmesi.....	10
2.7.1 Yüklü Parçacıklar.....	11

2.7.1.1	Alfa Parçacığı	11
2.7.1.2	Beta Parçacığı	13
2.7.1.3	Gama ve X-ışınları	15
2.7.1.4	Nötronlar	16
2.7.1.5	Kozmik Radyasyon	17
2.8	Radyasyon Ölçümü	18
2.8.1	İnsanlar Radyasyona Nasıl Maruz Kalır.....	19
2.8.2	İnsanlar Hangi Seviyede Radyasyona Maruz Kalırlar.....	20
2.8.3	İyonize Radyasyon ve İnsan Vücudundaki Etkileri.....	20
2.9	Radyasyon Kaynakları	21
2.9.1	Kozmik Radyasyon	22
2.9.2	Primordiyal Radyasyon	24
2.9.3	Sularda Bulunan Doğal Radyoaktivite	25
2.9.4	İnsan Vücudundaki Doğal Radyasyon	26
2.9.5	Yapay Radyasyon Kaynakları	27
BÖLÜM 3		
AĞIR METALLER		29
3.1	Sedimentlerin İncelenmesinin Önemi.....	29
3.2	Ağır Metal	30
3.3	Akutik Ortamlarda Ağır Metallerin Taşınması	32
3.4	Akuatik Ortamdaki En Yaygın Ağır Metaller ve Sağlığa Etkileri	32
BÖLÜM 4		
MALZEME VE YÖNTEM		35
4.1	İzmir Körfezi'nin Genel Özellikleri	36
4.2	İzmir Körfezi ve Yakın Çevresinin Genel Jeoloji.....	38
4.2.1	Temel Kaya Birimleri	38
4.2.2	Neojen ve Kuvaterner	41
4.3	Bayraklı Bölgesinin Jeolojisi	41
4.4	Karşıyaka Bölgesinin Jeolojisi	42
4.5	İnciraltı Bölgesinin Jeolojisi	43
4.6	Çeşmealtı Bölgesinin Jeolojisi	44
4.7	Deniz Sondajı Aşaması	46
4.8	Deniz Güncel Sediman Örneklerinde Doğal Radyoaktivite Konsantrasyonlarının Belirlenmesi.....	48

4.8.1	Gama Spektrometrik Analizler	48
4.8.2	Sayım Sistemi	50
4.8.3	Dedektör Sistemi	51
4.8.4	Enerji Kalibrasyonu	54
4.8.5	Verim Kalibrasyonu	54
4.8.6	Sediment Örneklerin Analizi	55
4.9	Deniz Sediment Örneklerinin Toplam Alfa ve Toplam Beta Aktivitelerinin Hesaplanması	57
4.9.1	Konsantrasyonlarının Hesaplanması	57
4.9.2	Gaz Akışlı Orantılı Sayıcı	60
4.9.3	LB-770 Toplam alfa ve Toplam beta ölçüm sisteminin plato eğrisinin oluşturulması	62
4.9.3.1	LB-770 Toplam alfa ve Toplam beta ölçüm sisteminin performansının belirlenmesi	62
4.9.3.2	LB-770 Toplam alfa ve Toplam beta ölçüm sisteminin veriminin belirlenmesi	63
4.10	Ağır Metal Analiz Yöntemi	64
4.10.1	ICP-OES Ölçümü	65
BÖLÜM 5		
SONUÇLAR VE ÖNERİLER		66
5.1	İzmir Körfezi Gama Radyoaktivite Konsantrasyonlarının Değerlendirilmesi	67
5.2	İzmir Körfezi Sedimentlerinin Toplam Alfa -Beta Radyoaktivite Miktarlarının Değerlendirilmesi	76
5.3	İzmir Körfezi Sedimentlerinde Elementel Analizlerin Değerlendirilmesi	77
5.4	Sonuçlar	81
KAYNAKLAR.....		82
ÖZGEÇMİŞ		89

SİMGE LİSTESİ

α	Alfa parçacığı
β	Beta parçacığı
γ	Gama ışını
Ci	Curie (radyoaktivite birimi)
Bq	Becquerel (radyoaktivite birimi)
Gy	Gray (soğurulmuş doz birimi)
Sv	Sivert (eşdeğer doz birimi)
μ R	Mikroröntgen (doz hız birimi)
cpm	Counts per minute
ppm	Parts per million
E	Enerji
J	Joule (iş birimi)
eV	Elektron Volt
U	Uranyum
Th	Toryum
Ra	Radyum
Rn	Radon
Cs	Sezyum
K	Potasyum
$T_{1/2}$	Yarılanma süresi

KISALTMA LİSTESİ

ÇNAEM	Çekmece Nükleer Eğitim ve Araştırma Merkezi
EPA	United States Environmental Protection Agency, Çevre Koruma Ajansı
HPGe	High- Purity Germanium Detector, Yüksek- saflıkta Germanyum Dedektör
IAEA	International Atomic Energy Agency
ICRP	International Comission on Radialogical Protection
ICRU	Uluslararası Radyasyon Birimleri Komitesi
NCRP	National Council on Radiation Protection
SI	International System of Units
TAEK	Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
UNSCEAR	United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
WHO	World Health Organization

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2. 1 Bozunmayan atom çekirdeği sayısının zamana göre değişimi	8
Şekil 2. 2 Elektromanyetik spektrum	8
Şekil 2. 3 Çeşitli radyasyonların penetrasyonu	10
Şekil 2. 4 Radyasyonun madde ile etkileşimleri; gama ışınları dalgali çizgiyle, yüklü parçacıklar ve nötronlar düz çizgilerle temsil edilmektedir. Küçük çemberler ise iyonizasyonun meydana geldiği yerleri göstermektedir	11
Şekil 2. 5 Bir atomun çekirdeğinden yayılan alfa parçacığı	12
Şekil 2. 6 Alfa parçacığının madde ile etkileşmesi	12
Şekil 2. 7 Bir atomun çekirdeğinden yayılan beta parçacığı	13
Şekil 2. 8 Beta parçacıklarının madde ile etkileşmesi	14
Şekil 2. 9 Gama ışınlarının madde ile etkileşmesi	15
Şekil 2. 10 Kozmik ışınların bulut formasyonlarına etkisi	18
Şekil 2. 11 Radyasyon Dağılımı	22
Şekil 2. 12 Kozmik radyasyon parçacıkları	23
Şekil 3. 1 Ağır metallerin farklı kaynaklardan biyosfere dağılımı	32
Şekil 4. 1 İzmir Körfezi yer bulduru haritası	35
Şekil 4. 2 İzmir Körfezi'nde karot numunelerinin alındığı lokasyonlar	37
Şekil 4. 3 Tektonik haritası	39
Şekil 4. 4 Batı Anadolu'nun paleotektonik dönem birlikleri	40
Şekil 4. 5 Bayraklı bölgesinden alınan kator örneğinin SEM görüntüsü	42
Şekil 4. 6 Karşıyaka bölgesinden alınan sediment örneğinin SEM görüntüsü	43
Şekil 4. 7 İnciraltı bölgesinden alınan karot örneğinin SEM görüntüsü	44
Şekil 4. 8 Çeşmealtı bölgesinden alınan karot örneğinin SEM görüntüsü	45
Şekil 4. 9 İzmir Körfezi Karşıyaka DSK-1 Sondaj	47
Şekil 4. 10 Karot sandığı örneği	48

Şekil 4. 11 Örneklerin marinelli kap içerisinde sayıma hazır durumu	49
Şekil 4. 12 Gama spektrometri ölçüm sistemi diyagramı	50
Şekil 4. 13 Gama spektrometrik analiz sistemi düzeneği	51
Şekil 4. 14 Kurşun zırhla kaplı HPGe dedektör	52
Şekil 4. 15 Ön yükseltecin şematik görüntüsü	52
Şekil 4. 16 Kanal numarası ve sinyal yüksekliği bağıntısı	53
Şekil 4. 17 Analog-sayısal dönüştürücü	53
Şekil 4. 18 Enerji-verim eğrisi	55
Şekil 4. 19 Belirli enerji spektrum pikleri	56
Şekil 4. 20 Pudra halindeki öğütülmüş sedimentlerin analizden önce kütle ölçümleri ..	57
Şekil 4. 21 Numunelerin öğütülmüş halleri	58
Şekil 4. 22 Damıtılmış su ile karıştırılmış hali	58
Şekil 4. 23 Ultraviyole ışık altında kurutulmaya bırakılması	59
Şekil 4. 24 Gaz ile çalışan radyasyon sayıcı devresi	60
Şekil 4. 25 Oluşan iyon sayısının uygulanan voltaja değişimi	61
Şekil 4. 26 LB-770 – PC 10 kanallı düşük seviyeli planşet sayımı	62
Şekil 4. 27 Perkin Elmer Optima 7000 DV ICP- OES	64
Şekil 5. 1 Tüm radyonüklid değerleri ortalamasının yüzdelik dağılımı	68
Şekil 5. 2 İzmir Bölgesi Karşıyaka DSK-1, İnciraltı SK-2, Bayraklı DSK-5, Çeşmealtı DSK-6 Bölgelerinin U-238 Dağılımları	70
Şekil 5. 3 İzmir Bölgesi Karşıyaka DSK-1, İnciraltı SK-2, Bayraklı DSK-5, Çeşmealtı DSK-6 Bölgelerinin Th-232 Dağılımları	71
Şekil 5. 4 İzmir Bölgesi Karşıyaka DSK-1, İnciraltı SK-2, Bayraklı DSK-5, Çeşmealtı DSK-6 Bölgelerinin Ra-226 Dağılımları	72
Şekil 5. 5 İzmir Bölgesi Karşıyaka DSK-1, İnciraltı SK-2, Bayraklı DSK-5, Çeşmealtı DSK-6 Bölgelerinin Cs-137 Dağılımları	73
Şekil 5. 6 İzmir Bölgesi Karşıyaka DSK-1, İnciraltı SK-2, Bayraklı DSK-5, Çeşmealtı DSK-6 Bölgelerinin K-40 Dağılımları	74
Şekil 5. 7 Toplam alfa aktivite miktarlarının dağılımı	76
Şekil 5. 8 Toplam beta aktivite miktarlarının dağılımı	76
Şekil 5. 9 Al, Ca, Fe, K, Mg ve Na elementlerinin bölgesel dağılımı	78
Şekil 5. 10 Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb ve Zn ağır metallerinin incelenen bölgelere göre dağılımı	78
Şekil 5. 11 U ve Th'nin bölgelere göre dağılımı	79

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2. 1 Uranyum-238 bozunma zinciri	4
Çizelge 2. 2 Nükleer radyasyonun özellikleri	17
Çizelge 2. 3 Nükleer radyasyonların madde ile etkileşmesinin özetleri	17
Çizelge 2. 4 Doz ölçüm ve tanımları	20
Çizelge 2. 5 SI birim sisteminde iyonlaştırıcı radyasyon birimleri ve dönüşüm denklemleri	21
Çizelge 2. 6 Primordiyal radyonüklidlerin yarı ömrü ve yaygın oldukları yerler.....	24
Çizelge 2. 7 Topraktaki doğal radyoaktivite.....	25
Çizelge 3. 1 Topraktaki ağır metal sınır değerleri	34
Çizelge 4. 1 Karot örnekleri özellikleri.....	37
Çizelge 4. 2 Sondaj numuneleri dikey kesitleri	46
Çizelge 4. 3 Standart kaynağın gama spektrum enerji ve verim değerleri	54
Çizelge 5. 1 Karşıyaka DSK-1 sedimentleri gama aktivite değerleri	66
Çizelge 5. 2 İnciraltı SK-2 sedimentleri gama aktivite değerleri	66
Çizelge 5. 3 Bayraklı DSK-5 sedimentleri gama aktivite değerleri.....	67
Çizelge 5. 4 Çeşmealtı DSK-6 sedimentleri gama aktivite değerleri.....	67
Çizelge 5. 5 Farklı bölgelerde ölçülen tüm radyonüklidlerin ortalama değerleri	67
Çizelge 5. 6 İzmir Körfezi ortalama sonuçlarının dünyadaki benzer çalışmalar ile karşılaştırılması	69
Çizelge 5. 7 Toplam alfa ve toplam beta miktarları	75
Çizelge 5. 8 İzmir Körfezi Sediment Örneklerinde, ICP-OES Element Analiz Sonuçları ..	77
Çizelge 5. 9 İzmir Körfezi'nde elde edilen sonuçların Türkiye ve dünyanın farklı yerlerinde yapılan çalışmalarla kıyaslanması	80

**İZMİR KÖRFEZİ KAROT SEDİMENTLERİNİN RADYOAKTİVİTE VE KİMYASAL
PARAMETRELERLE KİRLİLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

Dilek KURT

Fizik Bölümü Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Erol KAM

Dünya üzerindeki herşey, hava, su, bitkiler ve hayvanlar hem doğal hem de antropojenik kaynaklı radyoaktif element içerirler. Son otuz yıldır özellikle Çernobil ve Fukuşima nükleer reaktör kazalarından sonra, bir çok araştırmacı doğal ve yapay radyonüklidleri inceleme adına müthiş bir eğilim göstermişlerdir.

Çalışmada radyonüklid tespitinin yanı sıra denizel sedimentlerdeki ağır metal kirlilikleri de incelenmiştir. Deniz kıyılarında hızlıca artan sanayi ve ekonomik gelişimler, insanlar tarafından oluşturulan çeşitli bileşen ve kimyasalların artması ciddi problemleri ve çevresel risklerini beraberinde getirmiştir.

Kirlilikler akuatik ortama salındıklarında, normalde partikül maddelere bağlanırlar ve sonuçta yere doğru yerleşerek denizel sedimentlere katılırlar. Denizel çökeltileri, batan kirliliklerin ikincil kaynağı olarak düşünülebilir.

Bu çalışmada, İzmir Körfez kıyılarında Karşıyaka (12.5-13.5 m), İnciraltı (6.5-7.5 m), Bayraklı (10.0-12.0 m) ve Çeşmealtı (4.5-5.0 m) lokasyonlarının farklı derinliklerinden alınan güncel dip çamuru karot örnekleri ağır metal, gama doğal radyoaktivite ve toplam alfa ve toplam beta konsantreleri tespit edilmiştir.

Yapılan çalışmada radyonüklidlerin doğal gama aktivite değerleri HPGe yüksek saflıkta germanyum dedektör kullanılarak elde edilmiştir. Bunun sonucunda, U-238, Th-226,

Ra-226, K-40 ve fisyon ürünü olan Cs-137 radyoaktif elementlerin gama aktivite konsantrasyonları ve dedekte edilen minimum ortalama aktiviteleri (MDA) sırasıyla; 8.4 ± 0.23 Bq/kg, (MDA) 1.3 ± 0.03 Bq/kg; 19.6 ± 0.51 Bq/kg, (MDA) 1.37 ± 0.04 Bq/kg; 8 ± 0.96 Bq/kg, (MDA) 2 ± 0.2 Bq/kg; 77.4 ± 0.96 Bq/kg, (MDA) 8.28 ± 0.05 Bq/kg ve 1.93 ± 0.3 Bq/kg, (MDA) 0.124 ± 0.04 Bq/kg'dır.

Sediment örneklerinde toplam alfa ve toplam beta aktivitelerini belirlemek için düşük seviyeli sayım sistemi (Berthold, LB770-PC 10) kullanılmıştır. Dört bölgede ölçülen toplam alfa ortalama miktarı; 0.780 ± 0.06 Bq kg⁻¹, dedekte edilen minimum aktivitesi (MDA) 0.056 Bq kg⁻¹'dir. Aynı şekilde tüm bölgelerin toplam beta miktarları ise; 3.657 ± 0.16 Bq kg⁻¹ ve dedekte edilen minimum ortalama beta aktivitesi 0.276 Bq kg⁻¹'dir.

Ağır metal analizleri, mikrodalga çözünme işleminden sonra sıvı haldeki örnekler ICP-OES ile ölçülmüştür. Özellikle denizel ortamlarda en çok kirliliğe sebep olan Al, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn ağır metalleri incelenmiştir. Tüm bölgelerde elde edilen ağır metal değer aralıkları sırasıyla; 7.06-7.79 (%), <Ö.L., 3.45-20.62 µg/g, 36.07-203.8 µg/g, 11.52-51.55µg/g, 20.45-143.8 µg/g, 3.685-18.72 µg/g ve 83.33-177.2 µg/g'dır.

Anahtar Kelimeler: Ağır metal, gama aktivite, İzmir Körfez'i, kirlilik, toplam alfa, toplam beta

ABSTRACT

INVESTIGATION OF CORE SEDİMENTS POLLUTION WITH RADIOACTIVITY AND CHEMICAL PARAMETERS IN GULF OF İZMİR

Dilek KURT

Department of Physics

MSc. Thesis

Adviser: Assoc. Prof. Dr. Erol KAM

Everything on earth, air, water, plants and animals include both natural and anthropogenic radioactive elements. In the last three decades, particularly after the Chernobyl and Fukushima nuclear reactor accidents, a lot of researchers have demonstrated a terrific trend analysis on behalf of natural and artificial radionuclides.

In this study, radionuclide detection, as well as heavy metal contamination in marine sediments was also investigated. Rapidly growing industrial and economic development on the sea coasts, the increase of various components and chemicals generated by human activities has brought serious problems and environmental risks.

When impurities are released to the aquatic environment, normally bind to particulate matter settling toward the ground and ultimately participate in marine sediments. Sinking marine sediments can be considered as a secondary source of pollution.

In this study, current ground drilling cores (the depth of each sediment is variant) were taken from four different locations in the Gulf of İzmir, Karşıyaka (12.5-13.5 m), İnciraltı (6.5-7.5 m), Çeşmealtı (4.5-5 m) and Bayraklı (10-12 m). Their gamma natural and artificial radioactivity, gross alpha and gross beta concentrations, and heavy metal contaminations were determined.

Gamma spectrometry measurements of each sample were made using an HPGe (High-Purity Germanium) semiconductor detector. In this study, U-232, Th-232, Ra-226, K-40 and Cs-137 were investigated. The results show that the average concentrations of the activity values and their MDA (minimum detectable activities) are in respectively; $8.4 \pm 0.23 \text{ Bq kg}^{-1}$, (MDA) $1.3 \pm 0.03 \text{ Bq kg}^{-1}$; $19.6 \pm 0.51 \text{ Bq kg}^{-1}$, (MDA) $1.37 \pm 0.04 \text{ Bq kg}^{-1}$; $8 \pm 0.96 \text{ Bq kg}^{-1}$, (MDA) $2 \pm 0.2 \text{ Bq kg}^{-1}$; $77.4 \pm 0.96 \text{ Bq kg}^{-1}$, (MDA) $8.28 \pm 0.05 \text{ Bq kg}^{-1}$; and $1.93 \pm 0.3 \text{ Bq kg}^{-1}$, (MDA) $0.124 \pm 0.04 \text{ Bq kg}^{-1}$.

Sediment samples were counted for gross alpha and gross beta radioactivity in a low-background counter (Berthold, LB770-PC 10) to obtain the results in units of Bq kg^{-1} . The results show that the average concentrations of gross alpha and gross beta quantities with MDA values in respectively, $0.780 \pm 0.06 \text{ Bq kg}^{-1}$, (MDA) 0.056 Bq kg^{-1} ; $3.657 \pm 0.16 \text{ Bq kg}^{-1}$, (MDA) 0.276 Bq kg^{-1} .

In heavy metal analysis, after the Microwave analysis process, the liquid samples were measured by ICP-OES. Some of the heavy metals such as Al, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, and Zn were investigated because they are most damaging to the marine environment. The outcomes of these heavy metals ranges are in respectively; 7.06-7.79 (%), ND, 3.45-20.62 $\mu\text{g/g}$, 36.07-203.8 $\mu\text{g/g}$, 11.52-51.55 $\mu\text{g/g}$, 20.45-143.8 $\mu\text{g/g}$, 3.685-18.72 $\mu\text{g/g}$ and 83.33-177.2 $\mu\text{g/g}$.

Keywords: Gamma, gross alpha-beta, Gulf of İzmir (Eastern Aegean Sea-Turkey), heavy metals, natural radionuclides, pollution

1.1 Literatür Özeti

A. Varinlioğlu, vd. (1995) “Levels of natural and artificial radioactivity in sediments in the Eastern Black Sea of Turkey” başlıklı makalede, 1993 yılında, Doğu Karadeniz’in 15 farklı lokasyon ve derinliklerinden alınan sedimentlerin Çernobil nükleer reaktör kazasından sonra, doğal ve yapay radyonüklidlerin dağılımını tespit etmek amacıyla yapılmıştır. Çalışma sonucunda doğal radyonüklidlerin ortalama değerinde seyrettiği fakat fisyon ürünü olan Cs-137’nin çok yüksek olduğu gözlenmiştir. Burada incelenen sedimentler, Karadeniz kıyılarının Çernobil kazasında önemli ölçüde kirlendiğini göstermektedir.

Y. Koby, vd. (2015). "Natural and artificial radioactivity assessment of dam lakes sediments in Coruh River, Turkey" isimli makalede, Çoruh Nehri’nin 3 farklı baraj göllerinden alınan karot örneklerindeki U-238, Th-232, K-40 ve Cs-137 gama aktivite dağılımlarının tespiti amaçlanmıştır. Elde edilen sonuçlara dayanarak, interpolasyon tahmin haritaları, çalışma alanındaki her bir radyonüklid için çizilmiş ve sonuçlar bölgenin radyolojik yapısına göre elde edilmiştir.

Aközcan S. (2012). “Distribution of natural radionuclide concentrations in sediment samples in Didim and Izmir Bay (Aegean Sea-Turkey)” başlıklı makalede, Ege Denizi’nin iki kıyısında radyoaktif kirliliği tespit etmek amacıyla U-238, Th-232, Ra-226 ve K-40 doğal radyonüklidlerin gama aktivite dağılımları incelenmiştir. Sonuçta, dünya genelindeki ortalama değerlerle uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır.

Basaran, A. K., vd. (2010). "Impacts of the fish farms on the water column nutrient concentrations and accumulation of heavy metals in the sediments in the eastern Aegean Sea (Turkey)" başlıklı makalede, Güllük Körfezi'ndeki Salih Adası civarından alınan sediment örneklerinde ve orada bulunan balık çiftlikliklerinin sulardaki potansiyel kirliliği araştırılmak amacı ile yapılmıştır. Sediment örneklerinde Zn, Cu ve Fe gibi ağır metaller incelenmiştir. Sonuç olarak, besin ve ağır metal konsantrasyonlarının deniz ekosistemi için tolere edilebilir düzeylerde olduğu tespit edilmiştir.

M. Erdoğan (2009). "Monitoring And Statistical Assessment Of Heavy Metal Pollution In Sediments Along Izmir Bay Using ICP-MS" adlı çalışmada, İzmir Körfezi'ndeki deniz kirliliğinin olduğu lokasyonlarda sedimentler incelenerek ağır metal yoğunluklarının istatistiksel değerlendirmesi yapılmıştır. Sedimentlerde Cr, Cd, Co, Ni, Pb, Mn, Zn, Cu gibi ağır metallerin tayinleri yapılmış olup, İzmir Körfezi'nin her 3 bölümü (İç Körfez, Orta Körfez ve Dış Körfez) için ağır metal konsantrasyonları saptanmıştır.

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışma, denizel sedimentlerde var olan doğal ve yapay radyonüklidlerin tespiti, kimyasal parametrelerinin tespiti ve neticede elde edilen bilgilerin derlenip rapor haline getirilmesi amacı ile yapılmıştır.

Sedimentler, sucul ortamlarda bulunan diğer materyallere nazaran yapısı itibariyle en özgün bilgi kaynağıdır. Sedimanlar, hem doğal hem de yapay radyonüklidlerin deniz yatağındaki dağılımları, hareketleri ve akümülyasyonları hakkında bilgi vermektedir.

Deniz kıyıları biyolojik ürünler açısından oldukça zengin olduğundan yapılan çalışmada kaydedilen radyoaktivite doz değerleri farklı bilim dallarındaki araştırmalara bir öneri olması hedeflenmektedir [1].

Tüm canlılar için hayati öneme sahip olan ekosistemin korunması adına yapılacak olan çalışmalara referans bir kaynak olabilir.

Bölüm 5, 'Sonuçlar ve Öneriler' kısmında Çizelge 5.6 ve Çizelge 5.9'da tez çalışması sonucunda elde edilen doğal ve antropojenik radyonüklidler ve İzmir Körfezi'nde en çok

kirliliğe neden olan bazı ağır metal değerlerinin, dñnyanın farklı deniz ve nehirlerinden çıkarılarak incelenen dip çamuru örnekleri ile karşılaştırılmaları verilmektedir.

1.3 Hipotez

Sanayinin gelişmesiyle birlikte yerleşim alanları olan kıyılarda fabrika, tersane, atölye vb gibi sanayi yanısıra turizm tesisleri de kurulmuştur. Bu da o bölgelerde nüfus yoğunluğunun artmasını sağlamıştır. İzmir Körfezi de turizm, sanayi tesisleri ile birlikte nüfus bakımından sürekli artma potansiyeline sahip bir bölgedir. Burada en yaygın olarak işlev gören sanayi kuruluşları gıda işleme, içecek üretme ve şişeleme, tekstil sanayi, yağ, sabun, boya üretimi, kağıt, metal ve ahşap işleme, kimya endüstrisi ve özellikle kurulan balık çiftlikleri önemli sektörlerdir [2].

Çalışmada, İzmir Körfezi'nde akarsu drenaj ağlarına yakın kirlilik oluşturma ihtimali yüksek olan çeşitli lokasyonlarda alınan karot örneklemelerinde kimyasal ve radyoaktif kirlilik dağılımı ele alınmıştır.

RADYASYON VE RADYOAKTİVİTE

Radyasyon elektromanyetik dalgalar veya elektrik yüklü parçacıklar halinde ortama ve uzaya yayılan bir enerjidir. Radyasyonlar madde ile etkileşimlerine göre iyonize ve iyonize olmayan (görülebilir ışık, TV, radyo dalgaları) radyasyon olarak sınıflandırılır. İyonlaştırıcı radyasyonlar, madde ile etkileşerek onun atomik özelliğini değiştirir.

2.1 Radyasyon ve Radyoaktivite

Atom numarası $Z=82$ 'den büyük elementler radyoaktif özelliğe sahiptir ve bu çekirdekler kararsızdır. Çekirdek kararlılığı, çekirdekte bulunan nötron sayıları ve proton sayıları arasındaki dengeye bağlıdır. Atom numarası küçük istikrarlı çekirdeklerde proton ve nötronlar hemen hemen eşit sayılara sahiptir, büyük kararlı çekirdeklerde kısmen nötron sayıları proton sayılarından daha fazladır. Bir çekirdekte çok fazla sayıda nötron bulunuyorsa, bu çekirdek daha kararlı bir yapıya geçmek için bir nötronu bir protona dönüştürecektir. Bu süreç beta bozunumu olarak bilinir, sonucunda oluşan negatif yüklü parçacık (β^- -negatron) beta parçacığı olarak adlandırılır. Çekirdekler çok fazla protona sahiplerse bu durumda da protonlar nötronlara dönüşecek ve sonuçta pozitif yüklü elektronlar (β^+ -pozitron) oluşacaktır.

Bu dönüşümler genellikle çekirdekten yüksek enerji ile ayrılır ve gama ışını (γ) olarak kaybeder. Bunlar da kütle veya yükü olmaksızın kesikli enerji parçacıklı fotonlardır. Kararsız bir çekirdeğin kendiliğinden nükleer dönüşümler geçirerek yeni elementlerin oluşmasını sağlamasına radyoaktivite denir ve yayılan fazla enerji (iyonize) radyasyonun bir şeklidir.

Transform hareketine *bozunum* denir ve çekirdek radyasyonu değiştirerek yayar, buna da *radyonüklid* denir.

Bazı ağır çekirdekler iki proton ve iki nötrondan oluşan alfa parçacığını yayarak bozunur. Bir helyum çekirdeği ile aynıdır, alfa parçacığı beta parçacığından çok fazla ağırdır ve pozitif iki birim yük taşır.

2.2 Doğal Radyonüklidler

Birçok radyonüklit doğada meydana gelir. Örneğin, karbon çoğunlukla doğada altı proton ve altı nötron ile Karbon-12 olarak mevcuttur ve tamamen karardır. Atmosferde kozmik ışınlarla birlikte etkileşiminden Karbon-14 oluşur. Karbon-14’de nötron sayısının fazlalığından dolayı bir nötron bir protona dönüşür ve sonucunda bir beta parçacığı yayılır. Bu şekilde Karbon-14, yedi proton ve yedi nötronu ile daha karalı bir nüklit olan Nitrojen-14’e dönüşür. Bu bozunma ölçümleri, karbon taşıyıcı materyallerde karbon tarihlleme tekniğinin temelidir [3].

Doğal olarak oluşan diğer radyonüklidler bozunan bir dizi uranyum ve toryum kaynaklı formlardır. Her iki seri de kararl bir nüklid olan kurşun ile biter, fakat aynı zamanda ona benzer başka nüklidlere de geçebilir. Çizelge 2.1, Uranyum-238’in Kurşun-206’a bozunarak geçişini göstermektedir. Daha sonra Radon-222’ye doğru geçer, bu da radyolojik koruma açısından oldukça önemlidir.

Çizelge 2. 1 Uranyum-238 bozunma zinciri [4]

Bozunma Zincirinin Ara Ürünleri	Yayılan Radyasyon Çeşidi	Yarıanma Süresi
Uranyum-238	α	4 468 000 000 yıl
Uranyum-238	α	24.1 gün
Protaktinyum-234	β, γ	1.17 gün
Uranyum-234	α	45 000 yıl

Çizelge 2. 1 Uranyum-238 bozunma zinciri (devamı)

Toryum-230	α	80 000 yıl
Radyum-226	α	1 602 yıl
Radon-222	α	3 823 gün
Polonyum-218	α	3.05 dakika
Kurşun-214	β	26.8 dakika
Bizmut-214	β	19.7 dakika
Polonyum-214	α	0.000164 saniye
Kurşun-210	β	22.3 yıl
Bizmut-210	β	5.01 gün
Polonyum-210	α	138.4 gün
Kurşun-206	Kararlı (radyoaktif değil)	

2.3 Kamu Anksiyetesi

İyonize radyasyon hakkındaki en güçlü endişelerin kaynağı, insanların radyasyona maruz kalması ile kötü huylu bir hastalığa yakalanma potansiyeli ve sonraki nesillere kalıcı bozukluklar bırakmasıdır. Bu tür etkilerin olasılığı, kağınağı ister doğal isterse yapay olsun kişinin ne kadar radyasyon aldığına bağıdır. Son yıllarda iyonize radyasyonun etkileri daha anlaşılır hale geldiğinden, radyolojik koruma sistemi insanları radyasyon kaynağına maruz kalmaktan koruyacak yöntemler geliştirmiştir. Fakat toplumun anksitesi hala devam etmektedir.

Kanserin çok farklı sebepleri vardır; radyasyon ise sadece bunlardan bir tanesidir. İnsan duyuları radyasyonu saptayamadığından bu görünmez risk sanıldığından daha sinsidir. İnsanoğlunun müşterek endişesini geçmişte yaşanan talihsiz hadiseler daha çok kuvvetlendirmiştir. Örneğin, hala günümüzde etkileri görünen nükleer santral veya diğer tesislerdeki kazalar ve nükleer silahlar dâhil olmak üzere her tür radyasyon ve nükleer formlar gösterilebilir.

2.4 Radyasyon Enerjisi

Farklı tiplerdeki radyasyon enerjileri alfa, beta parçacıkları ve gama ışınları genellikle elektron volt biriminde ifade edilir ve sembolü eV'dur. Daha çok bu birimin katları " 10^6 elektron volt" sık sık kullanılır. Örneğin, alfa parçacığı yayan Po-214'ün enerjisi yaklaşık 7.7 MeV'dir. Pb-214 ve U-238 serisinden yayılan beta parçacığı enerjileri; maksimum 1 MeV enerjiye sahipken, gama ışınları üretenler 0.35 MeV mertebesine çıkabilirler.

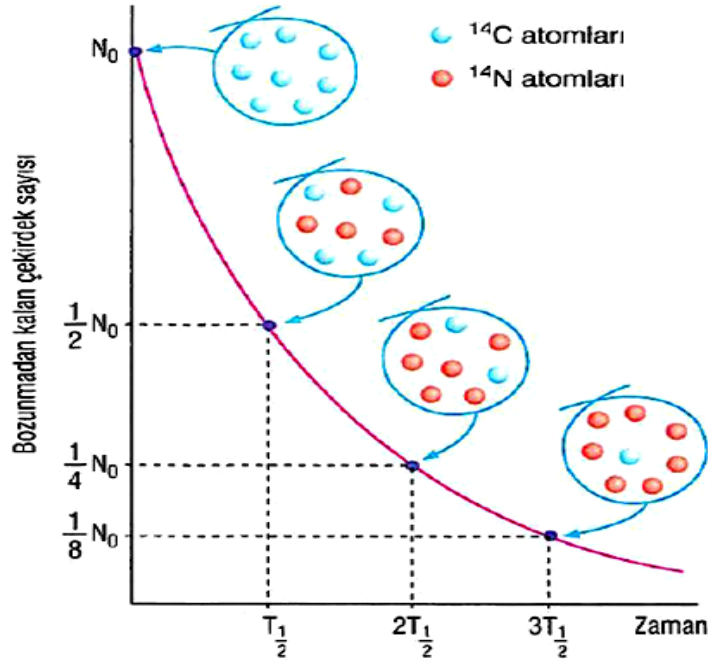
Son otuz yıldır, doğal radyoaktif elementlerin izotopları yapay olarak üretilmektedir. Örneğin, Sr-90, Cs-137, I-131 gibi.

Belirli bir radyoaktif maddede kendiliğinden gerçekleşen dönüşümlerin oranına *aktivite* denir. Aktivitenin birimi becquerel ve sembolü Bq'dur. 1 Bq, saniyede gerçekleşen bir dönüşüme eşittir. Becquerel ismi Fransız fizikçi Henri Becquerel'den gelmektedir. Birim çok küçük olduğu için, genellikle Bq'nin katları kullanılır (Megabecquerel, MBq-1 milyon becquerel'dir). Örneğin, bir gram Ra-226, yaklaşık 37 000 MBq aktiviteye sahiptir. Bu demektir ki saniyede yaklaşık 37 000 milyon alfa parçacığı yayınlanıyor [3].

2.5 Yarı-Ömür

Bir radyonüklid aktivitesinin orjinal değerinden yarıya düşmesi boyunca geçen zamana yarı-ömür denir, sembolü $t_{1/2}$ 'dir (Şekil 2.1). Her radyonüklid özgün bir yarı ömre sahiptir, bu zaman dilimi saliselerden milyarlarca yıllara kadar uzanabilir. Örneğin, I-131'in yarı ömrü 8 gündür, Cs-137'nin 30 yıl, C-14 için 5730 yıl, Pu-239 için 24000 yıl ve U-238 ise 4470 milyon yıl kadar yarı-ömürlere sahiptirler. Arka arkaya olan yarı-ömürler bir radyonüklidin 1/2, 1/4, 1/8 ve devamının başlangıçtaki değerine bölünmesiyle oluşur. Bu aktivitenin gelecekte ne

kadar sürebileceği hakkında bilgi vermesi açısından önemlidir. Radyonüklid miktarının azalmasıyla, radyasyon yayılımı da doğru orantıyla azalır [3].

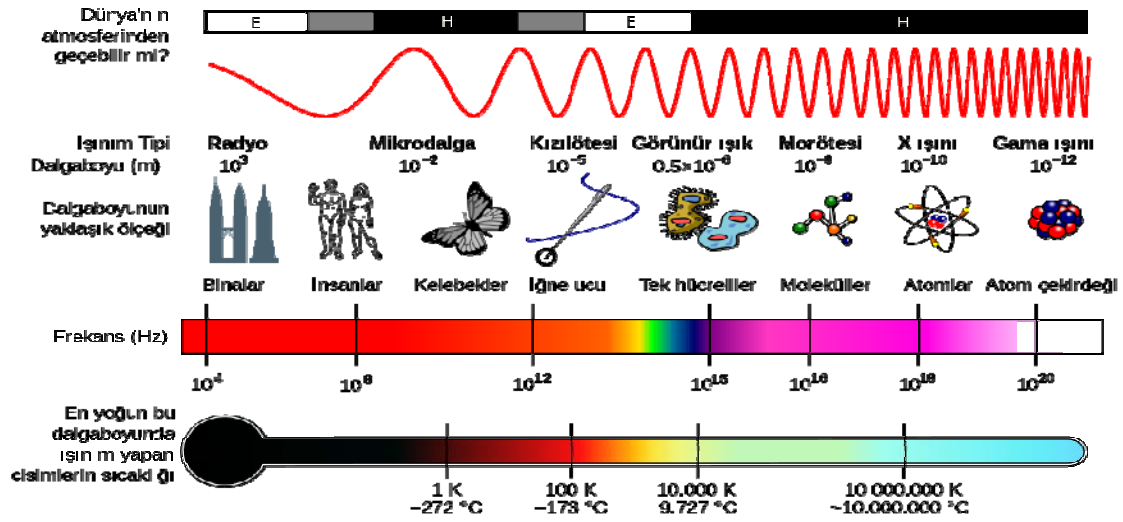


Şekil 2. 1 Bozunmayan atom çekirdeği sayısının zamana göre değişimi [5]

2.6 Radyasyon Çeşitleri

Elektromanyetik radyasyon boş uzay boyunca yayılan ya da bir maddenin içinden geçen elektromanyetik dalgalar formunda ilerleyen bir enerjidir [6].

Radyasyon, madde ile etkileşimine bağlı olarak, iyonize ve iyonize olmayan olarak ikiye ayrılır (Şekil 2.2).



Şekil 2. 2 Elektromanyetik spektrum [7]

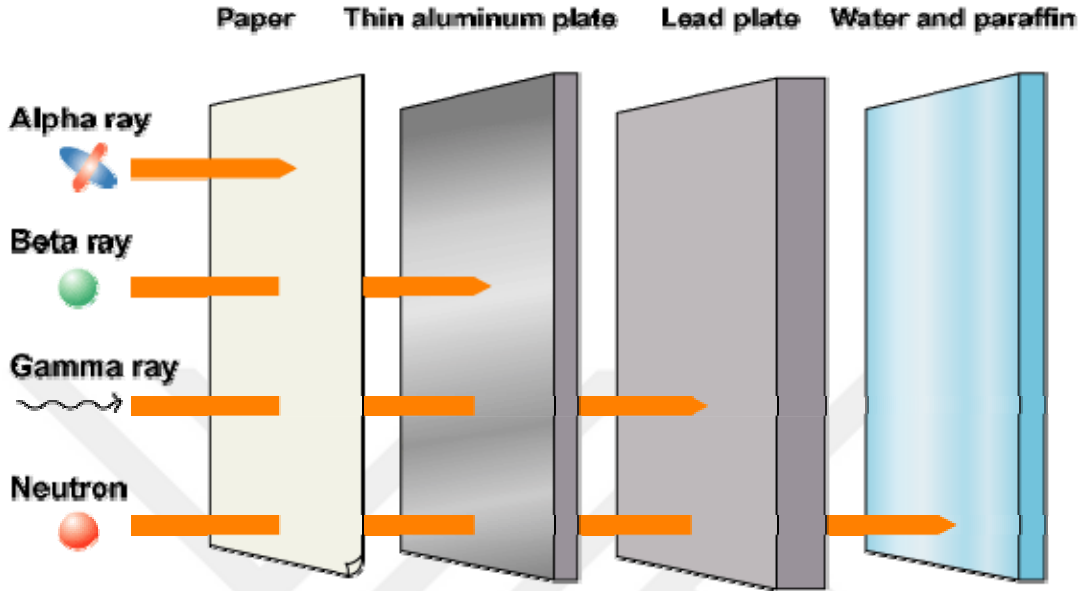
2.6.1 İyonize Olmayan Radyasyonlar

Elektromanyetik spektrumda en düşük enerji seviyesine sahiptir. Bunlar, küresel yer bildirme sistemleri, cep telefonları, televizyon istasyonları, FM ve AM radyo dalgası, bebek monitörleri, kablosuz telefonlar, garaj-kapı açılma sistemleri, mikrodalgalar, ısı, radar, infrared, görünebilir, ultraviyole ışıklardır. Diğer formlardakiler ise Dünya'nın manyetik alanı, iletim hatları yanında manyetik alana maruz kalma, ev kabloları ve elektrikli ev aletleridir. Bu tip radyasyonlar, bir madde içinden geçerken enerji bırakırlar ama o enerji, moleküler bağları koparacak kadar güçlü olmadığından maddeye zarar vermez. Bu yüzden ultra düşük frekans olarak tanımlanıp sağlık açısından herhangi bir risk taşımamaktadır [8].

2.6.2 İyonize Radyasyonlar

Elektromanyetik spektrumda en yüksek enerjiye sahiptir. Atomun elektron/proton dengesini alt üst ederek ve atoma bir pozitif yük vererek, orbitlerinden elektron koparabilirler. Elektrikle yüklü atom ya da moleküllere iyon denir. İyonize radyasyonlar hem doğal hem de insan kaynaklı yollarla var olabilen radyoaktif maddelerdir. Ayrıca iyonize radyasyonlar da kendi içerisinde elektromanyetik ve parçacıklı (tanecikli) olarak ikiye ayrılır. Elektromanyetik, X ve gama ışınlarından oluşan fotonlardır. Parçacıklı iyonize radyasyonlar ise yüklü alfa parçacıkları, beta elektronları ve nötronlardır (Şekil 2.3).

Bunların yanı sıra iyonize radyasyonun çok sayıda faydası vardır. Örneğin, duman dedektörlerinde, kanser tedavisinde ya da tıbbi aletlerin sterilizesinde yaygın olarak kullanılır. Ancak, doğru kullanılmadığı sürece zararlıdır.

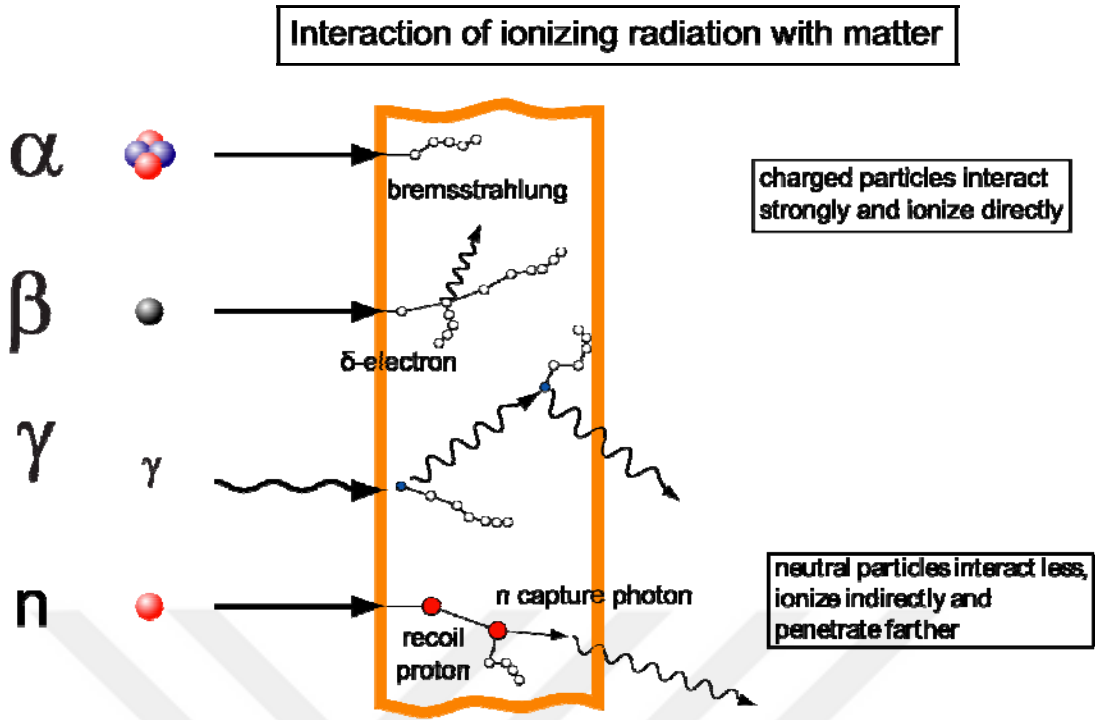


Şekil 2. 3 Çeşitli radyasyonların penetrasyonu [9]

2.7 Radyasyonun Madde ile Etkileşmesi

Radyasyonun karakteri ve etkisini iyi tespit edebilmek tamamen onun madde ile etkileşimine bağlıdır. Radyasyonun madde ile etkileşmesinin iyi anlaşılması ise günümüzde nükleer dedektörlerin tasarımı ve geliştirilmesi, hayati önem arz eden radyasyondan korunma yasalarının belirlenmesi gibi alanlarda temel oluşturmaktadır.

Radyasyonlar, maddeden geçerken malzeme içinde enerjilerinin bir kısmını bırakarak depolar. Alfa ve beta gibi elektrikle yüklü parçacıklar, bu soğurucu ortama girmeleri ile birden fazla elektronla aynı zamanda etkileşmeye başlar. Gama ve X-ışınları ise madde ile etkileştiğinde çeşitli yollarla enerji kaybederler, ancak daha sonra her birinin yörüngesindeki elektronlar diğer yüklü parçacıklarla etkileşerek enerji depolar. Nötronlar da farklı yollarla enerji kaybederler, bunlardan en önemli varoluş şekli protonları ihtiva eden çekirdekler ile çarpışmalarıdır. Daha sonra protonlar harekete geçer, yüklü hale gelir ve tekrar enerji depolamak için elektronlarla etkileşime geçerler. Sonuç olarak tüm durumlar, radyasyonun madde içindeki elektriksel etkileşimine bağlıdır (Şekil 2.4).



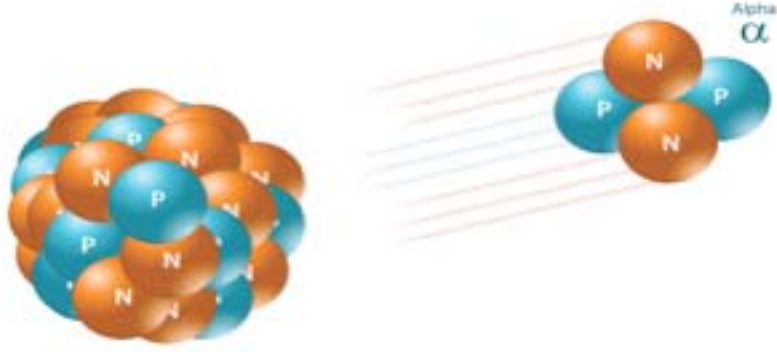
Şekil 2. 4 Radyasyonun madde ile etkileşmesi; gama ışınları dalgalı çizgiyle, yüklü parçacıklar ve nötronlar düz çizgilerle temsil edilmektedir. Küçük çemberler ise iyonizasyonun meydana geldiği yerleri göstermektedir [10]

2.7.1 Yüklü Parçacıklar

Emici bir ortamda, alfa ve beta parçacıkları özellikle atomik elektronlarla etkileşim halinde olduklarından enerji kaybederler. Elektronlardan aktarılan enerji onların daha yüksek bir seviyeye çıkması için uyarılır ya da iyonize atomlardan tamamen ayrılırlar. Bu olaydaki en önemli etkilerden biri ise; yüklü parçacıkların hızlarını aniden kaybetmesiyle, X-ışınları formunda enerji yayımlamalarıdır. Bu durum Bremsstrahlung (frenleme radyasyonu) olarak bilinir ve sadece beta radyasyonu durumunda pratik öneme sahiptir.

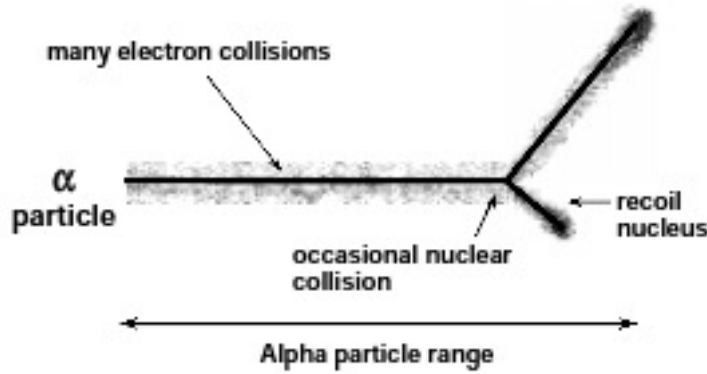
2.7.1.1 Alfa Parçacığı (α)

Alfa parçacığı, nötron-proton oranı çok düşük olduğunda kararsız bir atomun çekirdeğinden yayılan yüksek enerjili bir heyum çekirdeğidir (Şekil 2.5) ve enerji aralığı 4-9 MeV'dir. Havada kısa menzili vardır (1-2 cm), kâğıt ve cilt tarafından tamamen absorblanabilir.



Şekil 2. 5 Bir atomun çekirdeğinden yayılan alfa parçacığı [10]

Aşağıdaki Şekil 2.6, alfa parçacıklarının maddeden geçerkenki durumunu göstermektedir. Alfa parçacıkları 2 proton ve 2 nötrondan oluşan nispeten daha ağır ve iki kat fazla yüklüdür. Bu durumda bir materyalde elektronlarla çarpışmasından atomu parçalayıp elektronların dışarı çıkmasını sağlayacak derecede büyük bir iyonizasyona sahip olabilirler. Alfa parçacıkları elektronlardan çok daha ağır olduklarından bunu düz bir yol boyunca sapmadan yapabilirler. Ancak her bir çarpışma alfa parçacıkları için az da olsa enerji kaybı olduğundan zamanla yavaşlar. Parçacığın yolunun sonuna doğru iyonizasyon yoğunluğu artmaya meyillidir. Bazen bir alfa parçacığı atomik çekirdekle çarpıştığından muzdarip kalabilir, fakat çekirdek çok küçük olduğundan nadir görülen bir hadisedir. Böyle bir durum gerçekleştiğinde yani alfa parçacığı atom çekirdeğine vurduğunda, parçacık müthiş bir şekilde yolundan sapar, çekirdeği başka bir yola sürükler ve orada başka bir materyalde daha iyonizasyona sebep olmasını sağlar.

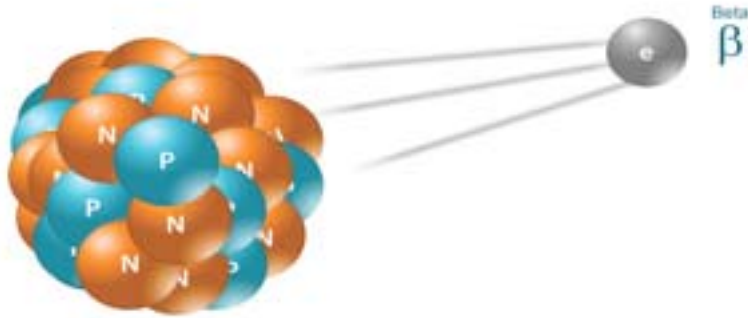


Şekil 2. 6 Alfa parçacığının madde ile etkileşmesi [11]

Üretilen iyonizasyon çok yoğun olduğu için, alfa parçacıkları hemen sonra tüm sahip olduğu enerjiyi elektron çarpışmalarıyla kaybeder ve hızlı bir sona gelir. Durmadan önce aldığı mesafeye *parçacığın menzili* denir. Bu menzil parçacığın enerjisine ve hangi maddeden geçtiğine bağlıdır ve bu yol alfa parçacığı için her zaman çok kısadır. Örneğin, bir alfa parçacığı 1 MeV'lik enerji ile havada 5 mm mesafe alırken, bir dokuda sadece 7 mikrondur. Bu açıkça gösteriyor ki alfa parçacık kaynağının vücut dışında biraz zararı görülür, çünkü tüm alfa parçacıkları ölü deri yüzeyinde emilir. Ancak, bir alfa parçacığı vücuda alındığı takdirde birkaç hücreye nüfus etmiş dahi olsa ciddi hasarlara sebep olabilir. Bu yüzden alfa yayan radyonüklidlerin Pu-238 gibi herhangi bir şekilde yutulup bünyeye alınması oldukça zararlıdır. Alfa yayıcılar tıpta kullanılmazlar [11].

2.7.1.2 Beta Parçacığı (β)

Birçok radyoaktif elementten yayılan çok hızlı hareket eden elektronlar olup (Şekil 2.7), enerjileri 0.5-5 Mev aralığındadır. Beta parçacıkları yani elektronlar hafif ve sadece bir yüke sahip olduklarından, alfa parçacıklarına göre iyonizasyonları az yoğunluktadır, fakat etkileştikleri yoldan sıçramaları çok daha kolaydır.

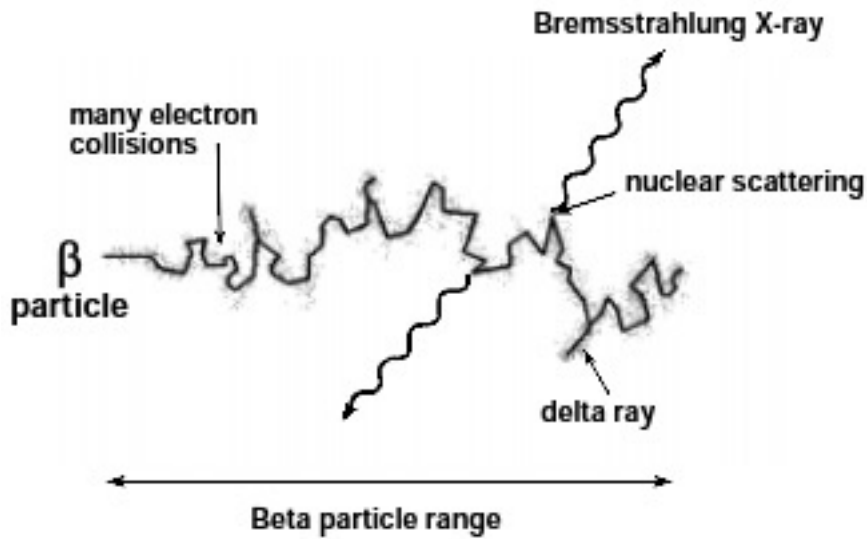


Şekil 2. 7 Bir atomun çekirdeğinden yayılan beta parçacığı [9]

Şekil 2.8'de bir beta parçacığının maddeden geçişini göstermektedir. Bir atomun elektronuyla olan sık sık çarpışmalar beta parçacığının geniş açı ile sapmasını sağlayacak yeterli güce sahiptir. Bu elektrona delta ışını denir ve daha çok iyonizasyon üretmek için ilerler. Bazen, bir

beta parçacığı, atom numarası büyük bir maddenin atom çekirdeği ile çarpışırsa, çok şiddetli bir sapma gerçekleşir ve bremsstrahlung X-ışınları oluşmasını sağlar.

Çok zikzaklı bir yoldan sonra, beta parçacığı sonunda dinlenmeye geçer ve alfa parçacığında olduğu gibi belirli bir menzile gösterir. Ancak, oluşan iyonizasyon yoğun olmadığından, alfa parçacıklarına göre çok daha yavaş bir şekilde durmaya başlar ve bu şekilde alacağı mesafe daha çok olur. Örneğin, normal bir beta parçacığının enerjisi 600 keV'dir; bu da I-131, Sr-90 ve Y-90 (onun kız çekirdeği) bozunum çekirdeklerinin ortalama enerjileridir. 600 keV'lik bir beta parçacığı havada 2.5 m ilerken, dokuda 3 mm yol alır [11]. Tüm beta parçacıkları tek bir enerji yerine bir dizi beta parçacık enerjisi yayarlar ve bu şekilde her zaman yayılan parçacıklar arasında ilerler.



Şekil 2. 8 Beta parçacıklarının madde ile etkileşmesi [11]

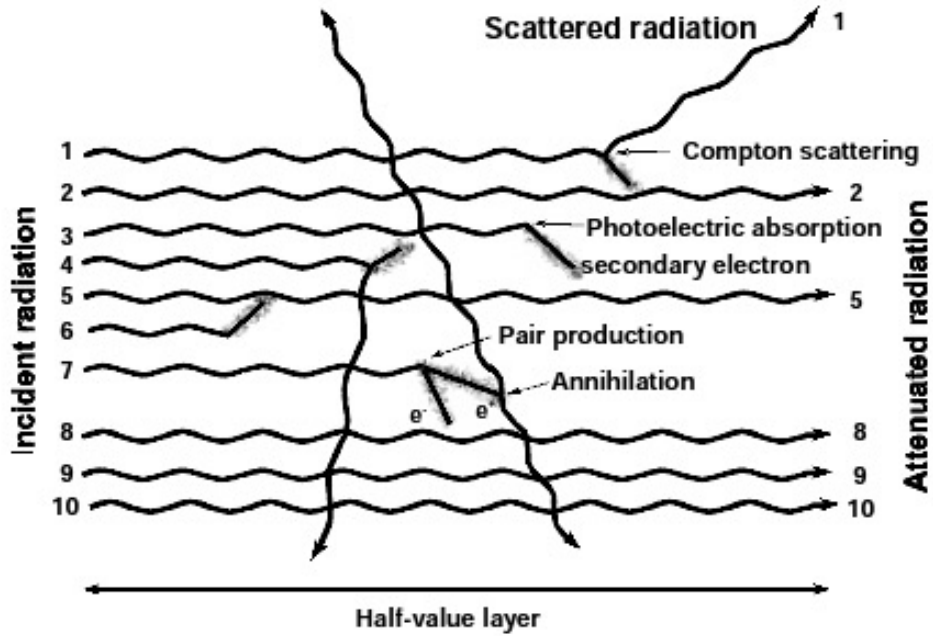
Eğer beta kaynağına yakın veya bünye içine alınımı söz konusu ise radyasyon, kaynağa bir kaç milimetre kala vücut tarafından emilir. Bütün enerji o bölgedeki doku tarafından emileceği anlamına gelir ve beta parçacıkları bir dereceye kadar iyonize olduklarından, sadece o dokulara zarar verebilir. Bu yüzden tanı koymada minimum zarar verir denilebilir ve tedavi edici birçok uygulamada kullanılır. Örneğin, yüksek enerjili beta parçacıkları Sr-90'nun bozunum ürünlerinden yayımlanır ve dış kaynaklı doku yüzeylerinde iyileştirici faktörüyle kullanılabilir.

2.7.1.3 Gama ve X- Işınları

Gama ışınları en yüksek enerjili elektromanyetik karakterli radyasyon ve en kısa dalga boyuna sahip ışınlardır. Bununla birlikte en yüksek frekansa ve en büyük foton enerjisine de sahiptirler. Gama ışınlarının kaynağı atomun çekirdeği olup buradaki enerji seviye farklarından meydana gelir [12].

X-ışınları, elektromanyetik spektrumda gama ışınlarından bir adım daha uzun dalga boyuna sahip olup daha düşük frekans ve daha düşük enerjilidir. X-ışınlarını gama ışınlarından ayıran en büyük özellik ise elektron bulutundan oluşmasıdır. X-ışınları hızlandırılmış elektronların aniden durdurulması veya bir atomun yörünge elektronları arasındaki seviye değişikliklerinde meydana gelir [13].

Gama ışınları ve X- ışınları, elektromanyetik radyasyon (yüksek enerjili ışık gibi) ve madde ile farklı yollardan etkileşmesi durumları dışında alfa ve beta gibi değildir. Aşağıdaki Şekil 2.9 gama ışınlarının maddeden nasıl geçtiğini gösterir. Alfa ve betanın aksine, her bir parçacık ayrı ayrı etkileşim içindedir. Her gama ışını sadece bir ya da mümkünse iki çarpışma yapar ve çoğu gama ışınları hiç etkileşime girmeden maddeden geçer.



Şekil 2. 9 Gama ışınlarının madde ile etkileşmesi [11]

Gama ve X- ışınları direk olarak iyonizasyon üretmez, ilk olarak yaptıkları şey yardımcı (ikincil) elektronları oluşturmaktır. Bu iki tip süreçten doğar; saçılma ve soğurma. Saçılma; bir gama ışınının madde içinde serbest bir elektronla etkileşmesiyle oluşan *Compton saçılması* süreci ile meydana gelir. Gama ışınları düşük enerjili elektronla ve farklı bir güzergâhta yoluna devam eder (Şekil 2.19’da 1 ve 4. yolları gibi). Bu süreçte gama ışınlarının tamamen kaybolduğu iki olası soğrulma durumu bulunmaktadır. *Fotoelektrik olay*; bir gama ışını tüm enerjisini atomik bir elektrona bıraktığında atomla etkileşmiş olur (Şekil 2.9’da 3 ve 6 numaralı ışınlar). Enerjisi 1 MeV’den daha büyük olan gama ışınları da *çift oluşumu* ile soğurulabilir; bu bir elektron ve proton çiftinin kendiliğinden oluşması olayıdır (Şekil 2.9’daki 7. dalga). Bir atomik elektronun 511 MeV’lik iki gama ışını üretmesinin akabinde pozitronlar ortadan kaybolurlar. Bu süreçlerin herhangi birinden sonra yardımcı elektronlar beta parçacıklarında olduğu gibi maddeyi iyonlarına ayırmaya devam ederler.

Alfa ve beta parçacıkları birçok etkileşimden sonra durdurulurken, gama ve X- ışınlarının her biri birkaç etkileşim geçirirler. Bu yüzden, gama ışınları belirli bir menzile sahip değildir. Bunun yerine soğurma ve saçılma süreçleri boyunca mesafeyle birlikte gama ışın demetinde azalma meydana gelir. Bu mesafe gama ışınlarının sayısının yarıya inmesini gerektirir ve yarım değer kalınlığı olarak adlandırılır (HVL) [14]. Bu durum bozunan radyonüklidlerin yarı ömrüne benzer ve aynı üssel matematik uygulanabilir.

2.7.1.4 Nötronlar

Nötronlar, özellikle atomik fizyon ve nükleer füsyon boyunca kararsız bir çekirdekten bir nötron yayan radyasyondur. Kozmik ışınların bir bileşeni dışında, nötronlar genellikle yapay olarak üretilir. Nötronlar elektriksel olarak yüksüz parçacıklar olduğundan, madde veya doku içine kolayca nüfuz edebilir. Madde ile etkileştiğinde beta ve gama radyasyonu yayınlanmasına sebep olur. Sahip olduklarını enerjinin büyüklüğüne göre en az üç grupta etkileşimleri vardır: hızlı, orta ve termal [15]. Bu yüzden nötral radyasyona maruz kalmamak ya da azaltmak için ağır zırhlamalar gerekmektedir.

Aşağıdaki Çizelge 2.2’de nükleer radyasyonların genel özellikleri ve Çizelge 2.3’de bunların madde ile etkileşmesini özetleyen bilgiler verilmektedir.

Çizelge 2. 2 Nükleer radyasyonun özellikleri [16]

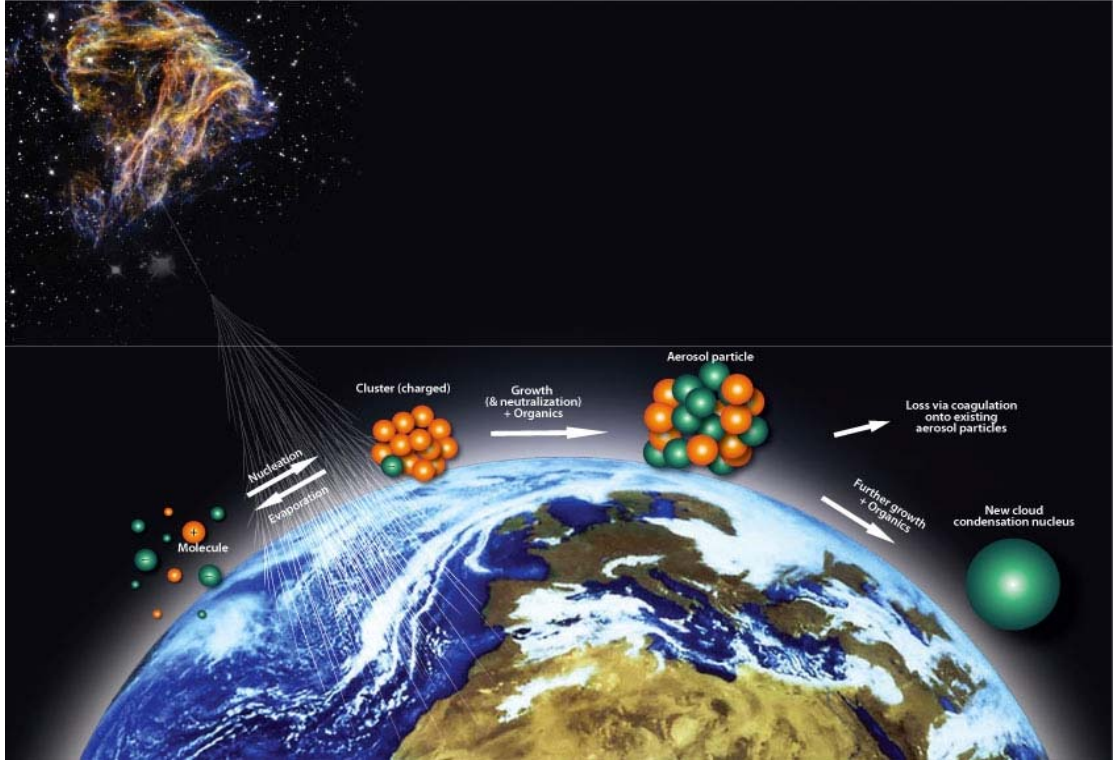
Radyasyon	Kütle (u)	Yük	Havadaki menzil	Dokudaki menzil
Alfa	4	+2	0.03 m	0.04 mm
Beta	1/1840	-1(+1)	3 m	5mm
X-, γ -radyasyonu	0	0	Çok uzun	Vücut yoluyla
Hızlı nötron	1	0	Çok uzun	Vücut yoluyla
Termal	1	0	Çok uzun	0.15 m

Çizelge 2. 3 Nükleer radyasyonların madde ile etkileşmesinin özetleri

Radyasyon	Süreç	Açıklamalar
Alfa	Bağlı elektronlar ile çarpışmalar	Uyarma ve iyonizasyona yol açar
Beta	(i)Atomik elektronlarla etkileşirler (ii)Çekirdeğin alanında yavaşlar	Bremsstrahlung yayımlanması yol açar
X- ve γ - radyasyonu	(i)Fotoelektrik etkisi (ii)Compton Etkisi (iii)Çift Oluşumu	Sadece foton enerjisinin absorbe olduğu kısım
Nötron	(i)Elastik saçılma (ii)Elastik olmayan saçılma (iii)Yakalama süreci	

2.7.1.5 Kozmik Radyasyon

Kozmik ışınlar güneş kaynaklı doğal radyasyondur. Protonlar, alfa parçacıkları, elektronlar ve diğer çeşitli egzotik (yüksek enerjili) parçacıklar gibi daha çok farklı tipte radyasyonları içeren bir karışımdır. Tüm bu enerjik parçacıklar atmosferde birbirleriyle güçlü bir etkileşim halindedir ve bunun sonucu olarak kozmik radyasyon kara seviyesinde müonlar, nötronlar, elektronlar, pozitronlar ve fotonlar olarak ortaya çıkar (Şekil 2.10). Bu zemin seviyesindeki dozun çoğu müonlar ve elektronlardan kaynaklanır.



Şekil 2. 10 Kozmik ışınların bulut formasyonlarına etkisi [17]

2.8 Radyasyon Ölçümü

İyonize radyasyon (alfa, beta, gama ya da x- ışınları), yukarıda ayrıntıyla değinildiği üzere maddeden geçerken verilen enerjiye bağlı olarak atomu uyarır ve iyonlarına ayırıştırır. Radyasyonun verdiği zarar, gelen parçacıkların depoladığı enerji ve madde içinde ne kadar yayıldıklarına göre değişir.

İyonize radyasyon elektron volt, erg ve joule ile ölçülebilir. Elektron volt (eV) hareket halindeki elektronlarla ilgili bir enerji birimidir. Bir elektron bir hidrojen atomuna çok sıkı

bağlıdır (1 p ve 1 e⁻). Bir protonun bir elektrondan tamamen koparılabilmesi için 13.6 eV'lik bir enerjiye ihtiyaç vardır. Bu durumda atom “iyonize” olmuştur. Mesleki dilde, hidrojen atomunda birbirine sıkı bağlı elektronların “iyonizasyon enerjisi” 13.6 elektron voltur.

Elektronlar çok hafif atom altı parçacık olduklarından elektron voltun çok yüksek enerjilerde olması beklenemez. 1 eV sadece 1.6×10^{-19} joule enerjidir. Bir joule (J), bir saniyede bir wattlık elektrik ampulünde kullanılan enerjiye eşittir. Bu kıyaslama, bir tek çekirdeğin nasıl milyonlarca elektron volttan büyük iyonizasyona yol açtığını gösterir.

Bir maddenin radyoaktivitesi, birim zamanda bozunan çekirdeklerin sayısı ile ölçülür. Uluslararası standart birim ya da radyoaktiflik bir becquerel (Bq) diye adlandırılır ve saniyedeki bir bozunuma eşittir. Radyoaktivite aynı zamanda curie cinsinden de ölçülür. Bu tarihi birim, bir gram Ra-226'nın saniyedeki bozunum sayısına dayanır (37 milyar).

Özgül aktivite ölçümü bir maddenin birim ağırlının radyoaktivitesi ile ölçülür. Birimler gram başına curie ya da gram başına becquerel'dir. Bu durum, bir maddenin diğerlerine göre daha az ya da çok radyoaktiviteye sahip olup olmadığını gösterir. Bir radyonüklidin özgül aktivitesi, onun atomik ağırlığı ve yarı ömrüyle ters orantılıdır [18].

2.8.1.1 İnsanlar Radyasyona Nasıl Maruz Kalır?

İnsanlar temelde iki şekilde radyasyona maruz kalabilir: (1) Kişiler bir radyasyon kaynağına yakınsa dışsal etki olabilir ya da radyoaktif madde vücuda girmişse içsel olarak bir radyasyona maruz kalma söz konusudur.

Dıştan gelen etki, radyasyonun yoğunluk miktarının yanı sıra kaynağa olan uzaklığına bağlıdır; örneğin, bir ampulden saçılan ışık parlaklığının mesafe ile değişmesi gibi. Ek olarak, kişi kaynağın yanındayken ne kadar süre radyasyona maruz kaldığı da önemli bir faktördür.

Radyoaktif madde vücuda katı ve sıvı gıdaların tüketimi ile radyoaktif gaz veya aerosol soluyarak ya da derideki yaralardan absorbe edilebilir. Radyoaktivite vücuda girer girmez, dokular ve organlara nüfuz eder. Radyoaktif maddenin kalma süresi, maddenin fiziksel ve kimyasal formuna göre değişir. Radyoaktif gaz daha az süre kalırken, aerosolün akciğerlerden temizlenmesi için daha fazla zamana ihtiyaç vardır [19].

2.8.1.2 İnsanlar Hangi Seviyede Radyasyona Maruz Kalırlar?

Radyasyon doğal bir olgudur. Yeryüzünde kendiliğinden var olan uranyum, toryum ve doğal potasyum bulunmaktadır. Bu mevcudiyet bir radyoaktif alan meydana getirir ve lokasyonların jeolojik yapısına bağlı olarak değişiklik gösterir. Güneş’den ve dış uzaydan gelen kozmik radyasyon da yerkürenin büyük ölçekte maruz kaldığı doğal radyasyondur. Radyoaktif inert gaz olan radon, topraktaki uranyum ve toryumdan oluşur ve binalardaki kapalı ortamların havasında bulunur [20]. Doğal radyoaktivitelerin yanı sıra, insan eliyle oluşan yapay radyoaktiviteler de radyasyonu oluşturan temel sebeplerden biridir. Örneğin, uçak yükseldikçe kozmik radyasyona maruz kalma olasılığı artar, tıbbın birçok alanında radyasyonun kullanılması, nükleer enerji santralleri ve radyasyon veya radyoaktif maddelerin endüstrideki diğer kullanımları gibi [21].

Maruz kalınan toplam radyasyon dozunun birimleri ve terimlerine yukarıda değinilmiştir. Bu kısmın üzerinde fazla durmadan günlük hayatta canlıların maruz kaldığı radyasyon ortalama doz miktarı Çizelge 2.4’de verilmiştir.

Çizelge 2. 4 Bireylerin yapay yoldan maruz kaldıkları doz miktarları [22]

Kaynak	Normal Doz (mSv)
10 saat uçak yolculuğu	0.03
Akciğer filmi (X- ray)	0.05
Bilgisayarlı Tomografi (CT)	10
Doğal zeminden gelen yıllık doz	2.4
Nükleer çalışan için yıllık doz	1
Deniz seviyesinde yıllık kozmik radyasyon	0.4
Yıllık Meksika radyasyonu (2300 m)	0.8
Çernobilden sağ çıkan çalışanlar (1986)	150

2.8.1.3 İyonize Radyasyon ve İnsan Vücudundaki Etkileri

Başlıca dört çeşit iyonize radyasyon çeşiti vardır: elektronlar (beta olarak bilinen), fotonlar (genellikle gama ve X- ışınları), yüklü parçacıklar (alfa) ve nötronlar. Bir nükleer reaktörde, radyoaktif izotopların bozunumundan dolayı radyasyon formlanır ve reaktörde nükleer reaksiyonun bir parçası olarak üretilir.

Hayvanlar ve bitkiler de radyasyona maruz kalabilirler, çünkü zarar mekanizması temelde insanlarla aynıdır. Yüksek dozlarda hastalık oranı artması ve ölümlerin meydana gelmesi; düşük dozlarda ise kanser yapabilen etkiler görülebilir.

Radyasyon kaynaklı bitki ve hayvanlardaki ölüm oranı yaklaşık değerlerle Çizelge 2.5’de verilmiştir.

Çizelge 2. 5 Belirli doz aralıklarının canlılar üzerindeki ölümcül etkileri [23]

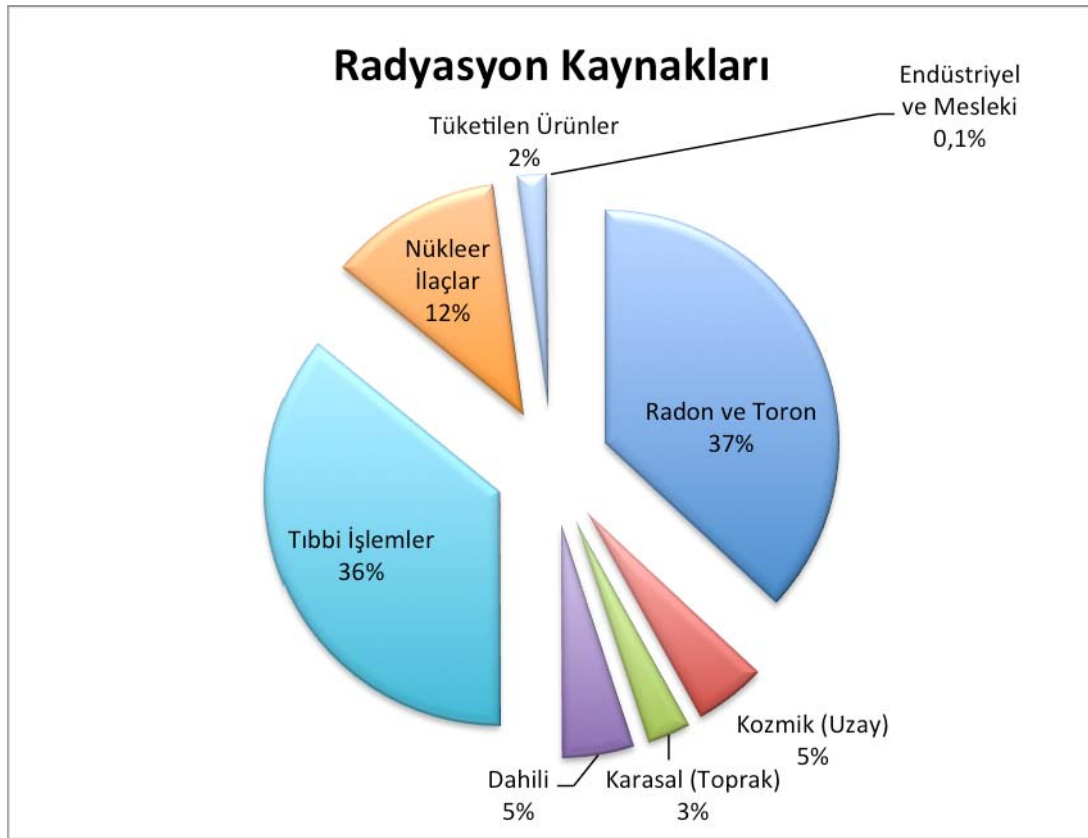
Bildirilen doz aralığı (Sv)	Ölüm Oranı
1- 10	Memeliler ve kuşlar
10 – 100	Kabuklu hayvanlar, sürüngen amfibitler, balıklar, yüksek bitkiler
100 – 1 000	Yumuşakçalar
1 000 – 10 000	Tek hücreliler, bakteri, yosun, liken, algler ve böcekler

2.9 Radyasyon Kaynakları

İnsanların, doğal çevrede mevcut bulunan kozmik, toprak katmanı, yapı materyalleri, yiyecek, hava ve hatta canlıların bünyesinde sahip olduğu elementlerden kaynaklanan doğal radyasyona maruz kalmaları kaçınılmazdır. Bu radyasyonlar üç temel başlık altında toplanabilir: (1) Kozmik radyasyon, yaklaşık 13-14 milyar yıl önce dünyanın yaratılışında var olan en eski radyasyon kaynağıdır. Alfa parçacıklarından oluşur, protonlar ve büyük miktarda dünya dışı kaynaklardan gelen radyasyondur, (2) primordiyal radyonüklidler, yaklaşık 4.5 milyar yıl önce Dünya’nın doğuşu sırasında meydana gelen radyoaktif elementlerdir. Doğal

radioaktif maddenin konsantresi veya miktarı sağlık fizikçileri tarafından ilgilenildiği bilinir, bunun akronim hali NORM (natural occuring radioactivity materials) ile gösterilir. Uranyum, toryum ve aktinyum orijinli serilerdir ve (3) kozmetik ışınlardan kaynaklanan radyonüklidler, antropojen içerikli Tritium ^3H ve kozmik ışınların atmosfer ile etkileşiminden oluşan radyoaktif Karbon izotopu ^{14}C 'dür. Kozmik ışınlar ve onlardan kaynaklı radyonüklidlerin etkisi göz ardı edilemez. Toplum sağlığı açısından asıl tehdit doğal yollarla oluşan radyoaktif malzemeler yani dünyanın oluşumundan bu yana süregelen radyonüklidlerdir [24].

Aşağıdaki Şekil 2.11'de insanların maruz kaldığı hem doğal hem de yapay radyoaktif nedenlerin yüzdelik değerleri bir daire grafik içerisinde gösterilmektedir.



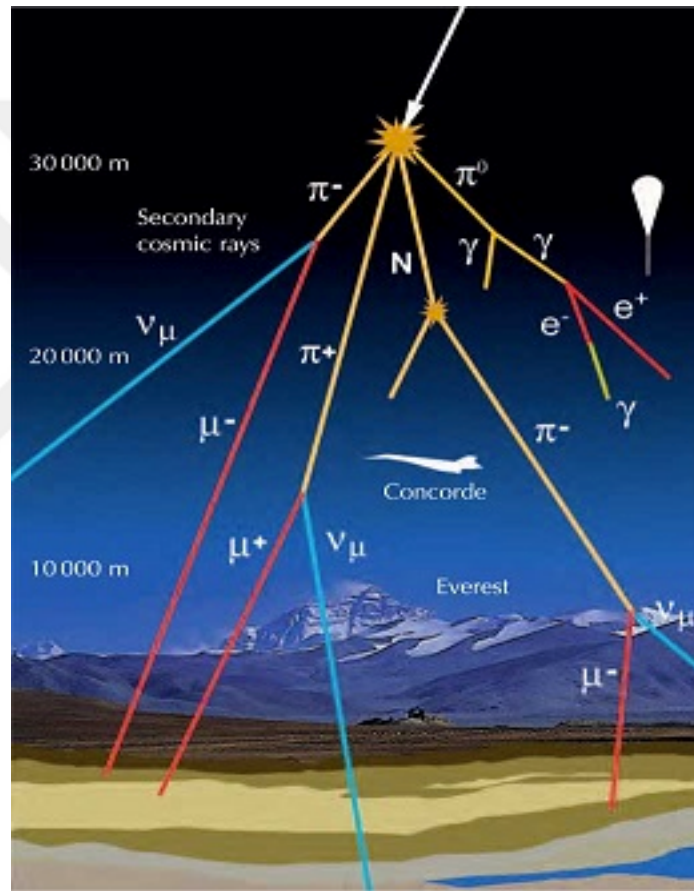
Şekil 2. 11 Radyasyon Dağılımı [25]

2.9.1 Kozmik Radyasyon

Kozmik ışınlar esas olarak uzayda kaynağı belirsiz protonlardır ve çok yüksek enerjileriyle sürekli ve devasa bir şekilde atmosfere ulaşırlar. Bunların dışında güneşten gelen daha düşük enerjili bazı protonlar ve güneş patlamalarından açığa çıkan kozmik ışınlar da vardır.

Protonlar yüklü parçacık olduklarından atmosfere gelen miktarları Dünya'nın manyetik alanından etkilenirler. Bunların çoğu ekvatordan ziyade kutuplara yakın bölgelere gelir ve bu yüzden enlemlerde doz oranı daha fazladır. Kozmik ışınlar atmosfere nüfus edince Azot (N^2), Oksijen (O^2), Argon (Ar) ile karmaşık reaksiyonlara başlar, buradan nötronlar ve protonlar meydana gelir. Kozmik ışınlar git gide emilirler ve böylece doz oranı yükseklik azaldıkça azalır (Şekil 2.12).

Kozmik radyasyon farklı çeşitlilikte radyasyonları içerir; protonlar (%87), alfa parçacıkları (%11), elektronlar (%1) ve diğer çeşitli egzotik (%1-yüksek enerjili) parçacıklardır [3].



Şekil 2. 12 Kozmik radyasyon parçacıkları [4]

Toprak seviyesinde, kozmik ışınlar müonlar, nötronlar, elektronlar, pozitronlar ve fotonlardır, fakat kozmik radyasyonun başlıcaları müonlar ve elektronlardan meydana gelir. UNSCEAR 1993 raporlarına göre; kozmik ışınlardan gelen radyasyon oranı zemin seviyesinde yaklaşık olarak 0.4 mSv'dir (yaşanılan ortamın jeolojik yapısı ve denizden yüksekliğine bağlı olarak oldukça geniş bir alanda değişiklik gösterir) [26]. İnsanların çoğu rakımı fazla olmayan

yerlerde yaşarlar ve benzer şekilde yıllık doz oranına maruz kalırlar. Ancak, istisnai olarak hem nüfusun yoğun hem de yüksekliğin oldukça büyük olduğu bazı yerleşim yerleri vardır. Örneğin, Quito ve La Paz-Andes, Rocı Mountains-Denver, Lhasa-Himalayas gibi yüksek yerlerde yaşayan insanlar, deniz seviyesinde yaşayanlara nazaran birkaç kat daha fazla yıllık doza maruz kalmaktadır [3].

2.9.2 Primordiyal Radyasyon

Radyonüklidler, gözle görülmez, doğal ve yapay olarak sınıflandırılır ve her zaman dünya ve çevrede mevcut bulunurlar. Primordiyal radyonüklidler ise, evrenin yaratılışından günümüze kadar varlığını sürdüren radyonüklidler olup radyoaktif ortama katkıda bulunurlar. Bu kategorideki başlıca bileşenler; U-238, Th-232'nin bozunum serileri ve doğal K-40'dır. Bu radyonüklidlerin uzaysal dağılımı çok güçlü bir yapıya sahiptir ve çeşitli konsantrelerdeki ana kaya ve topraklarda bulunurlar (Çizelge 2.6). Radyonüklidler, topraktan insanlara bilinen ya da bilinmeyen farklı yollarla transfer olurlar. Bilinen en esaslı geçiş sırası toprak-bitki-besin zinciri-insan şeklindedir [27].

Çizelge 2. 6 Primordiyal radyonüklidlerin yarı ömrü ve yaygın oldukları yerler [28]

Nüklid	Yarı-Ömür	Doğal Radyoaktivite
U-235	7.04×10^8 yıl	Doğal uranyumun % 0.711'ini oluşturur.
U-238	4.47×10^9 yıl	Tüm U'nun % 99.275'ini oluşturur; 0.5-4.7 ppm toplam U yaygın kayalarda bulunur.
Th-232	1.41×10^{10} yıl	Yaygın olan kayalarda 1.6-20 ppm arasında bulunur.

Çizelge 2. 6 Primordiyal radyonüklidlerin yarı ömrü ve yaygın oldukları yerler (devamı)

Ra-226	1600 yıl	16 Bq/kg kireçtaşı ve 48 Bq/kg magmatik kayalarda bulunur.
Rn-222	3.82 gün	Soy gaz olup, ABD'daki ortalama aktivitesi 0.6-28 Bq/m ³ arasında değişmektedir.
K-40	1.28 x 10 ⁹ yıl	Toprakta 0.037 ve 1.1 ppm Arasında değişmektedir.

Dünya kabuğundaki tüm materyaller radyonüklid içerirler. Hatta yerin doğal aktivitesinden gelen enerji Dünya kabuğunun şekillenmesine katkıda bulunur ve iç sıcaklığın korunmasını sağlar (Çizelge 2.6). Toprağa nüfuz eden radyonüklidler gama ışınları yayar ve bunlar az ya da çok düzgün bir şekilde insanlara nüfus eder. Yapı malzemelerinin çoğu yeryüzünden çıkarılır ve çok hafif olduklarından, insanlar hem bina içi hem de dışında doğal radyoaktiviteye maruz kalırlar. Işıyan gama radyasyonu insanların yaşadığı çevrenin yanı sıra yaşadıkları binaların yapısına da etki eder, fakat toplamda etki eden ortalama yıllık doz 0.5 mSv'dir. Gerçek değerleri büyük ölçüde değişebilir. Bazı insanlar ortalamaya göre bir kaç kat daha az ya da çok doz alabilirler. Bazı ülkelerin sahip olduğu topraklarda oldukça yüksek konsantride radyonüklidler bulunabilir. Örneğin, Hindistan'daki Kerela'da, Fransa ve Brezilya'nın bazı bölgelerinde doğal radyasyon kaynakları dünya ortalamasının 20 katına kadar çıkar (Çizelge 2.11) [29]

Çizelge 2. 7 Topraktaki doğal radyoaktivite [28]

Element*	Kabul Edilen Aktivite**	Elementin Kütlesi*	Aktivite
Uranyum	25 Bg/kg	2 200 kg	31 GBq
Toryum	40 Bg/kg	12 000 kg	52 GBq
Potasyum-40	400 Bg/kg	2 000 kg	500 GBq

Çizelge 2.7 Topraktaki doğal radyoaktivite (devamı)

Radyum	48 Bg/kg	1.7 g	63 GBq
Radon	10 kBq/m ³	11 µg	7.4 GBq

*K- 40 radyonüklid ** toprağın kg başına

2.9.3 Sularda Bulunan Doğal Radyoaktivite

Akuatik ortamların, denizden, karadan ve dış atmosferden etkilenme olasılığı çok yüksek olduğundan kirlenme de o nispette yoğundur. Çünkü suyun kendiliğinden sahip olduğu bazı özellikleri; çözücülük, taşıyıcılık ve farklı radyonüklidleri çöktürebilmesi sularda bulunan radyoaktivite seviyesini artırmaktadır. Bu nedenle, yeraltı suları, yerin altında mevcut olan kütleler ya da radyoaktif minerallerle etkileşim halinde olduğundan su yüzeyine göre daha fazla radyoaktif element içerir. Ayrıca, volkanik kayaların içinden geçen suların radyoaktivite seviyesi, tortul kayalardan geçenlere göre genellikle daha yüksektir [30]. Bu radyoaktif elementlere en iyi örnek radondur (Rn- 222). Çünkü volkanik kütlelerle etkileşim halinde olan Radyum yoğunlukları, tortul kütlelere göre daha fazladır.

Uranyum, toryum ve aktinyum serileri farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahiptirler. Bunların içindeki radyonüklidlerden uranyum ve aktinyum serilerindeki radyoaktif çekirdekler topraktan suya geçerken bir takım dengesizlikler gösterebilir. Örneğin, Rn- 222 yeraltı sularında çok yavaş ilerlediğinden, atmosfere yayılırken ortamdaki yoğunluğuna nispeten aldığı mesafe oldukça sınırlıdır [31]. Çünkü yer altında suyun akış hızı güçlü değildir [32]. Diğer önemli bir radyoaktif element olan Radyum'un (Ra- 226) konsantrasyonu Rn- 222'e göre daha azdır. Her iki radyoizotop toprak ve kayaların alt tabakalarında kararlılığa daha yakın halde bulunurlar [33].

2.9.4 İnsan Vücudundaki Doğal Radyasyon

Uranyum ve toryum serilerinden oluşan radyoaktif çekirdeklerden bazıları Kurşun-210 ve Polonyum-210'dur. Bunlar havada, besinlerde, suda emilerek vücut içine doğru yayılırlar. Potasyum-40 da normal beslenme biçimi ile vücut içine girer. Bu radon bozunma ürünleri haricindeki iç ışınlama yapan ana kaynaktır. Ek olarak, kozmik ışınların atmosfer ile

etkileşerek oluşturduğu birçok radyoaktif çekirdek (Karbon-14 gibi) iç ışımaya katkıda bulunur.

Dâhili ışımalara neden olan kaynakların ortalama etkin dozu bir yılda 0.3 mSv olarak tahmin edilmektedir. Bu etkinin yarısını Potasyum-40 oluşturmaktadır. İnsan vücudunun potasyum içeriği biyolojik süreçler tarafından bilinmesine rağmen, toplamı hakkındaki bilgi kişiden kişiye göre değişir. Potasyum miktarı ve dolayısıyla Potasyum-40, vücutteki kas miktarı ile değişir ve genç erkek ve yaşlı kadınlarda yüksek olduğu nitelendirilir (Çizelge 2.8).

Çizelge 2. 8 Vücut içinde bulunan radyoaktif elementlerin miktarları [34]

Element	Vücuttaki toplam kütle	Vücuttaki aktivitesi	Günlük absorbe miktarı
Uranyum	90 µg	1.1 Bq	1.9 µg
Toryum	30 µg	0.11 Bq	3 µg
Potasyum-40	17 mg	4.4 kBq	0.39 mg
Radyum	31 pg	1.1 Bq	2.3 pg
Karbon-14	22 ng	3.7 Bq	1.8 ng
Tritiyum	0.06 pg	23 Bq	0.003 pg

2.9.5 Yapay Radyasyon Kaynakları

Atmosferik Test: Nükleer enerji alanında yapılan çalışmalar II. Dünya Savaşı'nın ardından başlamış olup 1980'li yılların sonuna kadar hızla devam etmiştir. Halen nükleer silahlanma adına yapılan bu denemeler çok miktarda radyoaktif serpintilerin havaya karışmasına sebep olmaktadır. Bu serpintilerin çoğunun yarı ömrü kısa olup yok olsa da bazıları günümüzde hala bozunmaya devam etmektedir. Örneğin; Cs-137, Cs-134, Sr-90, Ru-106, Zr-95, I-131 gibi nükleer fisyon ürünlerinden bazılarıdır. Bunlar nükleer serpinti bulutu halinde tüm dünyaya taşınma olasılığına sahiptir. Özellikle bazı radyoaktif çekirdekler Cs-137 ve Sr-90 gibi 500 ve

1000 yıl kadar mevcudiyetini koruyan tehlikeli yapay radyonüklidlerdir. Böylece insanlar ve içinde bulundukları çevre her yıl küçük dozlarda radyoaktif serpintilere maruz kalmaktadır [35].

Tıbbi Kaynaklar: Radyasyonun tıpta çok kullanım alanı vardır. En çok bilineni X-ışını makinesi olup kırık kemikleri bulmada ve hastalıkların teşhisinde kullanılır. Nükleer tıba diğer bir örnek ise, radyoaktif izotopların kanser teşhis ve tedavisinde kullanılmasıdır. Hastalık teşhisinde bir gama kamera tıbbi araç-gereçlerde bulunan yaygın bir parçadır.

Endüstriyel Kaynaklar: Radyasyonun sanayide kullanım alanı çok geniştir. Örneğin, yol inşalarında yoğunluk ölçmek için kullanılan nükleer ölçerler, sigara dedektörleri, karanlıkta kullanılan bazı parıltılı çıkış işaretleri ve tahmini petrol rezervleri bunlardan bazılarıdır.

Nükleer Yakıt: Nükleer enerji santrallerinde buhardan elektrik üretmek için devre sürücü türbinleri yer alır ve burada zincir reaksiyonlarını gerçekleştirmek için uranyum kullanılır. Onların normal aktivitesine göre, nükleer güç santralleri belirli seviyelerde radyoaktif materyaller bırakır ve insanların bu doza maruz kalmasına sebep olabilir. Benzer şekilde uranyum yatakları, yakıt üretim santralleri ve radyoaktif atık tesisleri halkın almış olduğu radyoaktif dozlara katkıda bulunurlar [36].

AĞIR METALLER

3.1 Sedimentlerin İncelenmesinin Önemi

Sanayi devriminden sonra, madencilik, belediyeler, sanayiden gelen noktasal kaynakların yanı sıra hem tarım hem de kentsel yağmur suyu yüzey akışından meydana gelen noktasal olmayan kaynaklar su havzalarında birikirler ve su kütlelerinin alt bölgelerine doğru yerleşirler. Çevresel bir risk olarak ortaya çıkan kirlenmiş sedimentlerin temelde iki mekanizması vardır: (1) Akuatik ve balıkçıl hayvanların maruz kaldığı ekolojik risk ve (2) kirlenmiş alan taranıp araziye yayıldığında karasal yaşam alanı üzerindeki zehir riskleri. Sediment kirliliğinin araştırılmaya başlaması A.B.D’de bulunan Great Lake sisteminin incelenmesiyle başlamıştır. Ancak, yalnızca niceliksel ağır metal konsantrasyonun belirlenmesi, akuatik ortamlarda yaşayan organizmaların maruz kalacağı potansiyel kötü etkileri tahmin etmek için yeterli bilgi sağlayamamaktadır. Toksikite ve biyolojik birikim alanlarında daha fazla çalışmalarda bulunmak üzerinde durulan metallerle ilintili zehir etkilerini açıklayabilecektir [37].

Radyoaktiviteden kaynaklanan kirlilik, yeryüzündeki herşey hava, su, bitkiler ve hayvanlar hem doğal hem de antropojenik radyoaktif elementler içerirler [38].

Son otuz yıldır, özellikle 1986 yılındaki Çernobil ve 2011 yılındaki Fukushima nükleer reaktör kazalarından sonra, araştırmacılar doğal ve yapay radyoaktiviteye dikkatle eğilmişlerdir. Toplumun farkındalığının artmasıyla beraber, bilim insanları ve politikacılar ekosistemin sağlığı üzerine değerlendirmelerde bulunmuşlardır. Bir çok araştırmacı okyanus sularında ve

deniz sedimentlerinde incelemeler kaydetmiştir [39].

Akuatik ekosistemde, sedimentler temel ve bütünü oluşturan kısımlardır. Çünkü denizdeki kimyasal bileşenler başlıca biyojeokimyasal döngü ile düzenlenmiştir. Bu süreç boyunca, çözülmüş malzemeler katı formlara dönüşür. Sonrasında bu katılar sediment katmanlarında depolanır ve malzemeler kabuk-deniz-atmosfer arasındaki akış sistemini sağlarlar. Sediment, deniz tabanında bir katman olarak tanımlanabilir. Denizel sedimentlerin iki temel oluşumu vardır; çözülmüş kimyasalların olduğu yerde çökmesi (otijenik) ya da çözülmüş kimyasalların katı formda okyanuslara taşınması halidir (allokton). Otijenik sedimentler de kendi içinde iki kategoride incelenir, bunlar abiyojenik çökelti (hidrojenli) ve biyolojik aktivitelerin ürünü olanlardır (biyojenik). Diğer taraftan allokton sedimentleri yerküre katmanından ve dünya dışı materyallerden (kozmetik) meydana gelir [40].

Sedimentler tabanda çeşitli organizmlara yaşam ortamı sağladıklarından önemli bir role sahiptir. Aynı zamanda denizel ortamlara gelen kirletici maddeler için iyi bir ambardır [41]. Aslında meydana gelen kirliliğin çoğu insanlar tarafından gerçekleştirilmektedir. Başlıcaları; nükleer silah testleri, nükleer kazalar, tıbbi ve endüstriyel uygulamalar gibi çoğaltılabilir. İnsanlar tarafından emilen radyasyonun yaklaşık %87'si doğal radyasyondan kaynaklanır. Bunlar da U-238 ve Th-232 bozunum serileriyle birlikte, doğal radyonüklid olan K-40'dan oluşur [42]. Bunların yanı sıra, akuatik canlıların yaşam ortamlarında maruz kaldığı radyasyonların temel sebebi, sedimentlerin akuatik ortamlarda transfer geçiş aracı işlevi görmeleridir. Sedimentler, deniz, nehir ve göl diplerinde biriken, çok sık kum ve çakıl taneleri formunda, yapı inşaatları için oldukça değerli tortulardır [43]. Sedimentlerin doğal ve yapay radyoaktivite konsantrasyonlarının incelenmesi ve ağır metal analizlerinin yapılması deniz yatağı, geçici ve düşey sediment hareketleri ve birikimleri hakkında bilgi verir [44].

3.2 Ağır Metal

Denizel sedimentlerde, ağır metallerin dağılımındaki en önemli faktörler şöyle sıralanabilir:

(1) Atmosferik serpinti

(2) Nehirler aracılığıyla oluşan karasal enjeksiyon

(3) Denizaltı hidrotermal ya da volkanik aktiviteler

(4) Doğal ve jeolojik değişim süreçleri, bunlar sediment ya da sedimental kayaçların çökmesinden sonra meydana gelen hasarlardır

(5) Artan insan aktiviteleri, madencilik ve maden eritme ocağı gibi operasyonlardır [45].

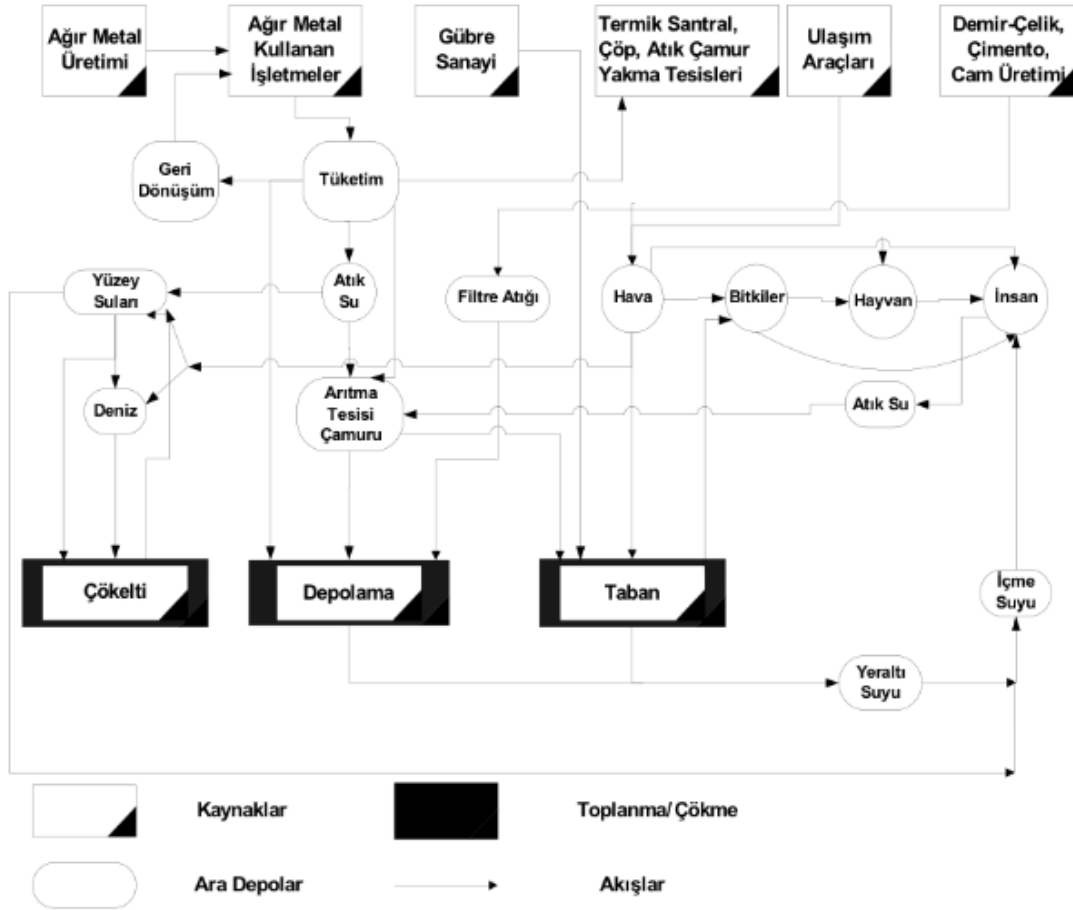
Ağır metaller, dünya geneli kıyı ve deniz ortamları için önemli bir antropojenik kirletici olarak kabul edilir [46]. İnsan sağlığı, yaşayan organizmalar ve doğal ekosistem açısından ciddi bir tehlike arz etmektedir, çünkü bünyelerinde zehirlilik, kalıcılık ve biyolojik birikim problemleri gibi özellikler taşırlar [47]. Ayrıca birçok ağır metal iyonlarının insanlar için toksisite veya kansere sebebiyet verdiği bilinmektedir [48]. Ağır metaller, deniz ekosisteminin bozularak tür çeşitliliği ve bolluğunun azalmasına neden olduğu gibi yaşayan organizmalar ve besin zincirinde metal birikimine katkıda bulunurlar [49]. Ayrıca insan kaynaklı kirleticiler endüstriyel, atık sular ve evsel atıklar gibi kıyı ve deniz çevresine ciddi zarar vermektedir [48].

Normal şartlarda ağır metal terimi fiziksel özellikleri bakımından yoğunluğu 5 g/cm^3 'ün üzerinde olan metaller için kullanılır. Bu grup içinde Kurşun, Kadminyum, Krom, Demir, Kobalt, Bakır, Nikel, Civa ve Çinko gibi periyodik cetveldeki atom ağırlığı 92 ve 222 arasında değişen metaller olmak üzere 60'dan fazla element bulunmaktadır[50].

Ağır metaller eser miktarda da olsa zararlı olabileceklerinden, günümüzde doğal su ve onunla ilgili sedimentlerde bulunan iz elementleri (eser de kullanılır) incelemek çok önemli bir eylem haline gelmiştir. Su bilimleri ile uğraşan bilim adamları ve mühendisler kadar toplum da bu konuda oldukça kaygılıdır. Canlı gruplarındaki birikimler sürekli inceleme altında olmalıdır. Endişelerin sebeplerinden bazıları, insanların ve diğer su canlılarının direk veya dolaylı yoldan zehirlenmesine neden olmalarıdır. Bu metallerden bazıları; Sb, Ag, As, Be, Cd, Cr, Pb, Mn, Hg, Ni, Se, T, U, V, Zn, Al, Cu'dır [35].

Akuatik sistemdeki eser metallerin aktivitesi ve onların etkileşimleri çeşitli olup metallerin özelliklerine bağlıdır. Buradaki en önemli ilişki çözünmüş ve askıdaki bileşenler ile temas halinde olmalarıdır ki en yaygın metaller ve organik bileşenlerin su ve çökelti ile etkileşmesidir. Bu organik türler bitkisel çürümenin doğal sonucundan veya kentsel ve

endüstriyel atıklardan kaynaklı kirlilik olabilir. Bu olgu, doğal olarak akuatik ortamda metallerin reaktivitelerini değiştirir (Şekil 3.1) [51].



Şekil 3. 1 Ağır metallerin farklı kaynaklardan biyosfere dağılımı [52].

3.2.1 Akuatik Ortamlarda Ağır Metallerin Taşınması

Toprak veya deniz katılarının (sedimentler) inorganik kirleticilerle birlikteliklerinde genellikle absorpsiyon süreci hakimdir. Çöktürme, metal sülfür yağışlarının neden olduğu sulu metal bileşimlerde oldukça büyük bir rol oynayabilir. Diğer taraftan, kirleticiler su vücut içine fiziksel/kimyasal ve biyolojik süreçlerle serbest bırakılırlar. Fiziksel/kimyasal salınmalar; suyla doygunluk, toprak ya da tortu, su, gaz, kimya ve toprak veya sediman yüzey özelliklerindeki değişikliklerle ortaya çıkar. Biyolojik aracılık süreci şunlara bağlıdır; mikroorganizmalar tarafından üretilen mikrobiyal yüzey ve hidrofik organik kirleticilerin topraktan ayrılmasını sağlayacak potansiyele sahip olması, mikrobiyal etkilerin bazı kimyasalları azaltması ve

inorganik kirleticileri serbest bırakması gibi etkenler sedimanların/toprağın içinde yaşayan canlılar ve askıda kalma süreci gibi durumlarla canlıların yaşam alanı içinde bir yerden bir yere sedimanlar vasıtasıyla taşınmasına sağlarlar [53].

3.3 Akuatik Ortamdaki En Yaygın Olan Ağır Metaller ve Sağlığa Etkileri

Metaller çevreye farklı yollarla girebilirler. Erozyon ve kaya- topraktan aşınan kötü hava, yanan ormanların dumanları ve aerosol ve okyanus yüzeylerindeki bazı parçacıklar denizel ekosistemin maruz kaldığı ağır metal geçişlerinin bazılarıdır. Başlıcaları ise; insanların maden çıkarmaları, tarım ve diğer operatörler, evsel atıklar ve kentsel yağmur suyu akışı, endüstriyel ve tarım atıklarıdır. Tipik kirlilikleri oluşturan başlıca elementler; Kurşun (Pb), Çinko (Zn), Kadminyum (Cd), Bakır (Cu), Krom (Cr), Civa (Hg), Alüminyum (Al), Demir (Fe), Magnezyum (Mn) ve Nikel (Ni) bunlar sedimentlerde en yaygın bulunan metallerdir [54]. Özellikle Cd, Hg, Pb, Cu ve Zn akuatik ortamlar için daha fazla tehlike arz eder. Çünkü yapı olarak uzun süre dayanıklılık gösterir, zehirliyicidir ve besin şirketleri zincirine katılabilme özellikleri bulunmaktadır. Günümüz dünyasında ağır metal kirliliği havadan, içilen sudan, tüketilen yiyeceklerden bulaşması nedenleriyle gelişmekte olan ülkeler açısından en çok üzerinde durulan araştırma alanlarından biri haline gelmiştir.

Çizelge 3. 1 Topraktaki ağır metal sınır değerleri [55]

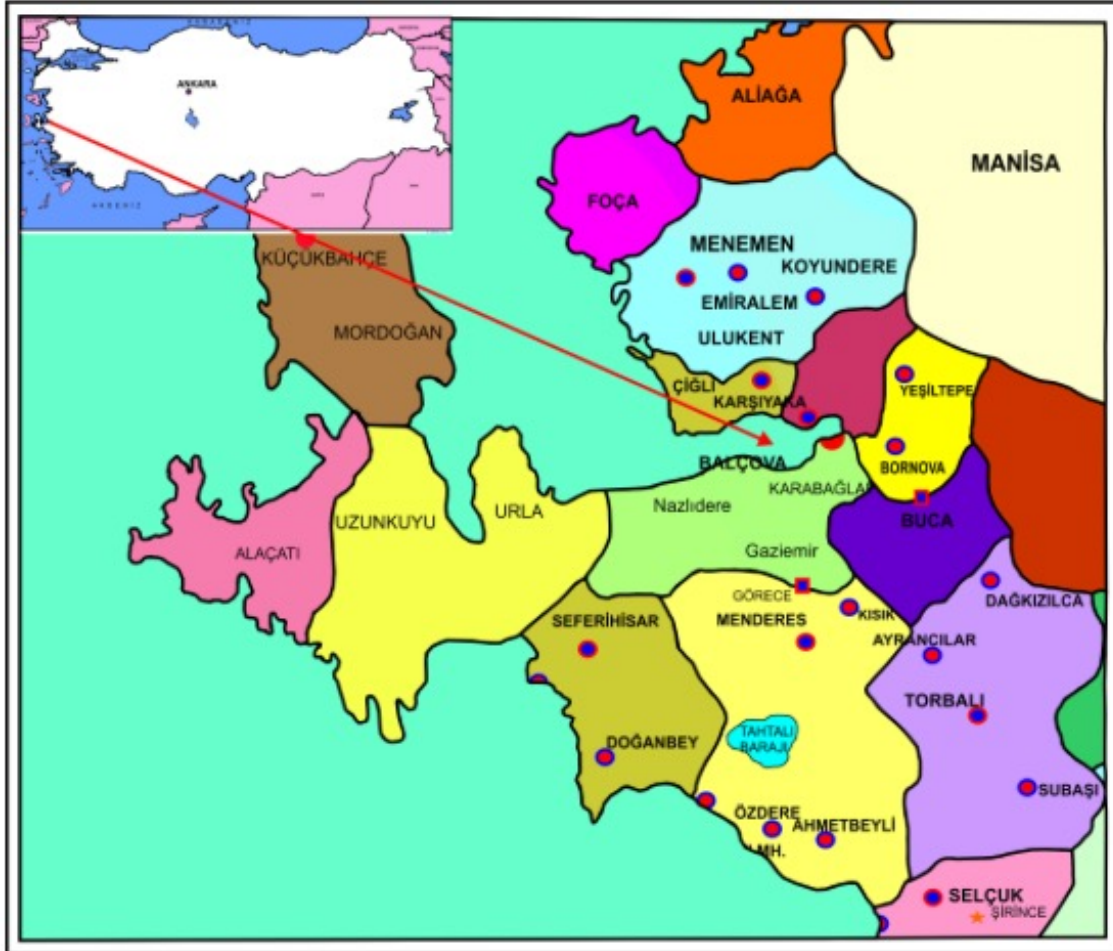
Ağır Metal (toplam)	pH 5-6 mg/kg fırın kuru toprak	pH>6 mg/kg fırın kuru toprak
Kurşun	50	300
Kadmiyum	1	3
Krom	100	100
Bakır	50	140
Nikel	30	75
Çinko	150	300
Civa	1	1,5

* pH değeri 7'den büyük ise çevre ve insan sağlığına özellikle yer altı suyuna zararlı olmadığı durumlarda Bakanlık sınır değerleri %50'ye kadar artırılabilir.

BÖLÜM 4

MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışmada, İzmir Körfezi'nin (Şekil 4.1) dört farklı bölgesinden alınan deniz sedimentlerinin doğal gama radyoaktivite konsantrasyonları belirlenmiş olup ağır metal analizleri yapılmıştır.



Şekil 4.1 İzmir Körfezi yer bulduru haritası

4.1 İzmir Körfezi'nin Genel Özellikleri

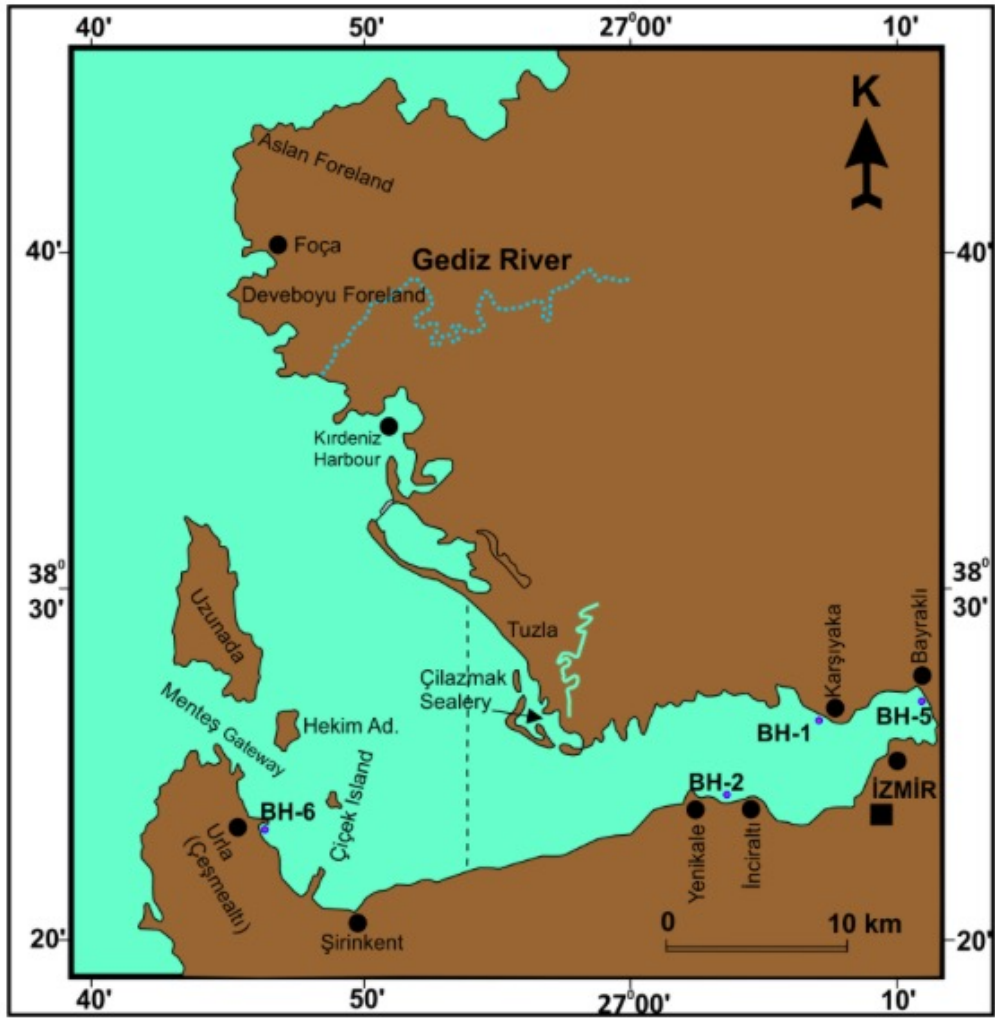
İzmir Körfezi, $38^{\circ} 20' - 38^{\circ} 42' N$ enlem açısı ve $29^{\circ} 25' - 27^{\circ} 10' E$ boylam açısına sahiptir ve Akdeniz'in batı tarafında bulunmaktadır. Körfez, Ege Denizi'nden içeri doğru girinti yapan, batıda Karaburun'dan başlayarak Urla'ya kadar uzanan kabaca "L" şekline benzeyen bir alandır. Fiziksel karakterine göre üç ana kısımdan oluşur: Dış Kesim, Orta Kesim ve İç Kesim [2]. İç kısmın maksimum derinliği 20 m'dir ve orta kesimle sınırlı su değişimleri göstermektedir. Derinlik ortadan dış kısma doğru artış göster ve sırasıyla maksimum derinlik değerleri 45 ve 72 m olarak değişir [41]. Körfezin batısında birbirlerine paralel uzanmış bir dizi adalar bulunmaktadır. Çok sayıda adaya sahip olmasından dolayı kendine özgü ve karışık su hareketleri yapısına sahiptir. Bu özelliği Ege Denizi'ni diğer denizlerden net bir şekilde ayırır.

Daha önceden yapılmış bazı çalışmalara göre, Ege Denizi dip sularında tuzluluk ve su oranları mevsimlere göre çok değişiklikler göstermemektedir [56].

Ege Denizi'nde birçok jeofiziksel çalışmalar yapılmıştır. Bunun sonucu olarak denizin okyanus yapısında değil kıtasal bir örtüye sahip olduğunu belirlenmiştir. Ege Denizi üzerindeki adalarda yapılan araştırmalara göre, deniz tabanında sürüklenme hadisenin gerçekleşmediği saptanmıştır. Çünkü çökme ve yükselme olayları blok halinde yaşanmaktadır [35].

Ekonomik özellikleri bakımından İzmir, sürekli artan bir nüfusa sahip olup çok önemli sanayi merkezi haline gelmiştir. Bölgedeki en genel ticari kaynaklar; gıda işleme, içecek üretme ve şişeleme, tekstil sanayi, yağ, sabun ve boya üretimi, kağıt, metal ve ahşap işleme ve kimyasal endüstriyi içerir [2]. Bunların yanı sıra hem ticari hem de geçim kaynağı olarak yapılan balıkçılık İzmir kıyı boyunca önemli bir sektördür.

Aşağıdaki Şekil 4.2'de İzmir Körfezi dört farklı bölgesinden alınan karot örneklerinin lokasyonları harita üzerinde gösterilmektedir. Her bir numune farklı derinliklerde farklı yerlerden alınmıştır. Çizelge 4.1'de sedimanların bu özellikleri verilmektedir.



Şekil 4.2 İzmir Körfezi’nde karot numunelerin alındığı dört farklı lokasyon haritası

Çizelge 4.1 Karot örnekleri özellikleri

Numune Lokasyonu	Numunelerin Derinlikleri (m)	Numunelerin Ağırlıkları (gr)	Numunelerin Koordinatları (WGS-84, 6°)	
			X	Y
Karşıyaka DSK-1	12.5-13.5	1047	4255697	510456
İnciraltı SK-2	6.5-7.5	1021	4258790	513920
Bayraklı DSK-5	10.0-12.0	1023.5	4253810	502590
Çeşmealtı DSK-6	4.5-5.0	1035.7	4249770	478170

Çizelge 4.2’de İzmir Körfezi Karşıyaka DSK-1, İnciraltı SK-2, Bayraklı DSK-5 ve Çeşmealtı DSK-6 sondaj numunelerinin düşey kesitleri korelasyon tablosu bulunmaktadır.

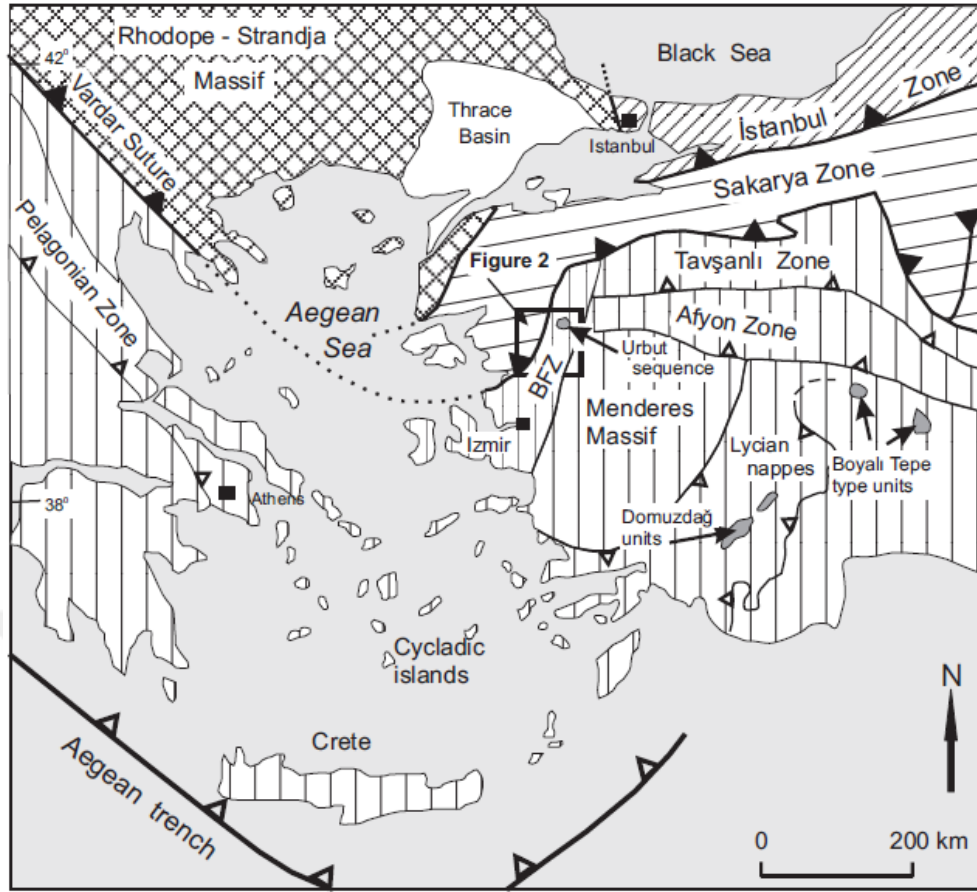
4.2 İzmir Körfezi ve Yakın Çevresinin Genel Jeoloji

İnceleme alanı, Batı Anadolu’da yer alan İzmir ili, Bornova ilçesi, Pınarbaşı köyü güneyinde olup, Türkiye’nin genel tektonik yapısı içinde Anatolitler ile Pontidlerin’in [57] arasındaki bir bölümüne karşılık gelmektedir. Karbonifer-Permiyen döneminde açılan Paleotetis Permiyen-Triyas döneminde kapanmıştır [58]. Kapanma sırasında inceleme alanını da içine alan bir bölgede meydana gelen kıta-kıta çarpışması sonucu tektonik birlikler oluşmuştur [59], [60], [61]. İnceleme alanında yüzeylenen ve temel konumunda olan kaya birimleri, Şengör ve Yılmaz (1981) tarafından Bornova Filiş Zonu olarak tanımlanırken, Okay ve Altıner (2007) Pontidlerin’in Marmara Denizi’nin güney sahil çizgisinin güneyinde kalan bölümünü, “Sakarya Zonu” kuzeyini ise “İstanbul Zonu” olarak belirtilmiştir. Sakarya kıtasının güney ve güneybatı bölümünde kalan komşu alanları ise Bornova Filiş zonu olarak adlandırılmıştır (Şekil 4.4).

İzmir ve çevresinde, Prekambriyen’den günümüze kadar oluşmuş çeşitli yaş ve türde kaya toplulukları bulunmaktadır. Önceki çalışmalarda İzmir ve yakın çevresinde yüzeylenen kaya toplulukları temel kayalar ve örtü birimleri olarak iki grupta incelenmiştir.

4.2.1 Temel Kaya Birimleri

Bölgeyi yüzeyleyen temel kaya birimleri Menderes masifi ve İzmir-Ankara Kenet Kuşağı olmak üzere iki guruba ayrılabilir (Şekil 4.3). Batı Anadolu’nun da temelini oluşturan Menderes masifi metamorfik kayalardan oluşur. Masifin çekirdeği yüksek derecede metamorfizma geçirmiş gnays ve şistlerden oluşur [62].



Şekil 4.3 Tektonik haritası [63]

Okay (2000)'da Menderes masifini oluşturan kaya birimlerinin stratigrafisi detay olarak tanımlanmıştır. Buna göre masifin çekirdeği Prekambriyen yaşlı gnayslardan oluşur. İstif üstte doğru Paleozoyik yaşlı mikaşistler, Permo-Karbonifer yaşlı metakuvarsit, siyah fillit ve koyu renkli rekristalize kireçtaşları ile devam eder. Bunların üzerine Mezozoyik yaşlı neritik kireçtaşları gelir. Paleosen ve Alt Eosen ise istifte rekristalize pelajik kireçtaşları ile temsil edilir. Metamorfizmayı Erken Miyosen'de bölgesel termal domlaşma izlemiş ve bu dom orojenik çökme sonucu parçalanarak masif çevresinde bölgesel genişlemeye yol açmıştır [64], [65].

İnceleme alanında Menderes masifine ait kaya birimleri Gediz grabeni, güneyinde Bozdağ yükselimi ile Torbalı-Gümüldür-Kuşadası körfezi arasında yüzeylenir [66]. Turgutlu güneyinde masife ait metakuvarsitler yüzlek sunarlar. Kuvarsitler üzerinde yer alan rekristalize kireçtaşları Bozdağ kütlesi üzerinde adadağlar şeklindeki yükselimleri meydana getirir. Torbalı kuzeyinde Çapak köyü yöresinde masifine ait mikaşistler ve mermerler izlenir. Torbalı

güneyinde Paleozoyik mermerleri yaygındır. Özdere-Gümüldür yöresinde ise mikaşistler yaygın izlenen kaya topluluklarıdır [66].



Şekil 4.4 Batı Anadolu'nun paleotektonik dönem birlikleri [67]

Anadolu'nun paleotektonik dönem coğrafyasının önemli tektonik yapılarından olan İzmir-Ankara kenet kuşağı [68] birimleri inceleme alanında oldukça yaygındır. Bu zon kuzeydeki Sakarya kıtası ile Menderes masifi arasında tektonik bir birliktir [60], [67]. Bornova fliş zonu [68] veya Bornova karmaşığı [62] olarak adlanmış olan bu tektonik birlik Üst Kretase–Paleosen yaşlı kaya topluluklarından oluşur.

Fliş fasiyesindeki kırıntılı kayalar ile bunlar içerisinde irili ufaklı bloklar oluşturan serpantin, çört, diyabaz ve kireçtaşlarından bu tektonik birliğin litolojileridir. Birimin bazı kesimleri metamorfizmaya uğramıştır [62]. İnceleme alanında birimin az metamorfik şistlerden oluşan

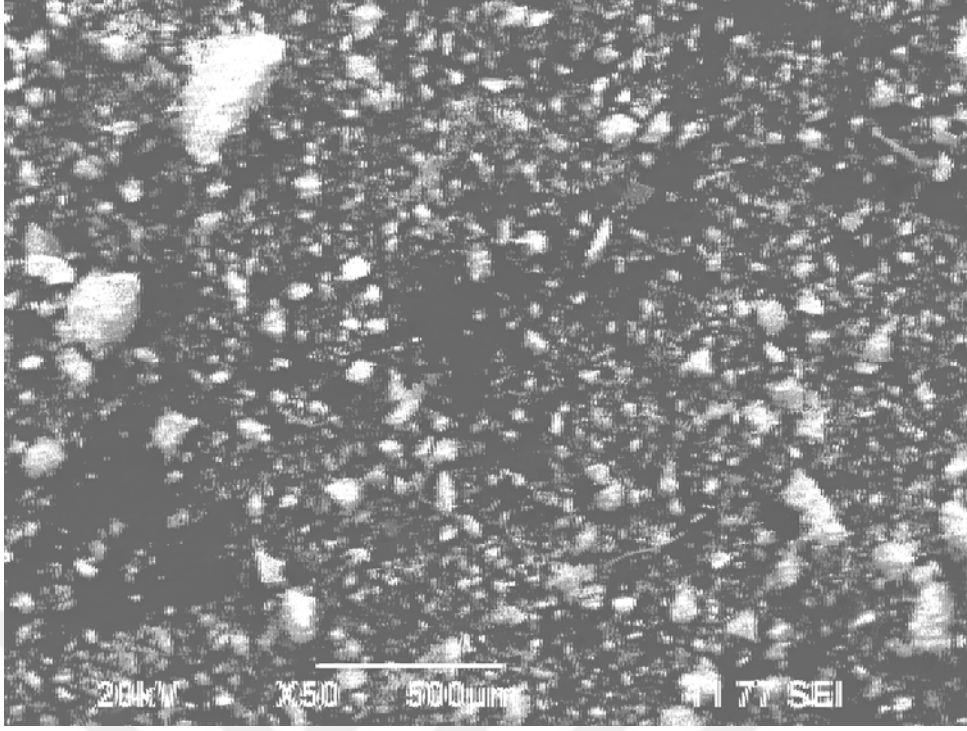
flifli seviyeleri İzmir-Kuşadası körfezleri arasındaki Seferihisar yükseliminde yaygındır [62], [69]. Doğuda Nif ve Spil dağı yükselimlerinde flifli kayalar içerisindeki serpanit ve kireçtaşı blokları dağ boyutuna ulaşan kütleli yükselimler oluşturur [62].

4.2.2 Neojen ve Kuvaterner

İzmir ve çevresinde Neojen ve Kuvaterner birimleri Menderes masifinin metamorfik birimleri ile İzmir-Ankara Kenet Kuşağına ait temel birimler üzerindeki örtülü kayaları oluşturmaktadır. Neojen yaşlı birimler genelde akarsu ve göl fasiyesinde gelişmiş çökel kayalar ile çeşitli türdeki volkanik kayalardan oluşur. İzmir yerleşim alanı ve yakın çevresinde Neojen kaya toplulukları Foça-Aliaga-Menemen, İzmir güneyinde Urla, Seferihisar-Torbalı ve Gediz Grabeni çevresinde geniş yayımlıdır. Bölgedeki Neojen birimleri biri birine geçişli sedimanter kayalar ile volkanitlerden oluşan Alt Miyosen-Erken Pliyosen yaş aralığındaki kayalarla temsil edilir [62].

4.3 Bayraklı Bölgesinin Jeolojisi

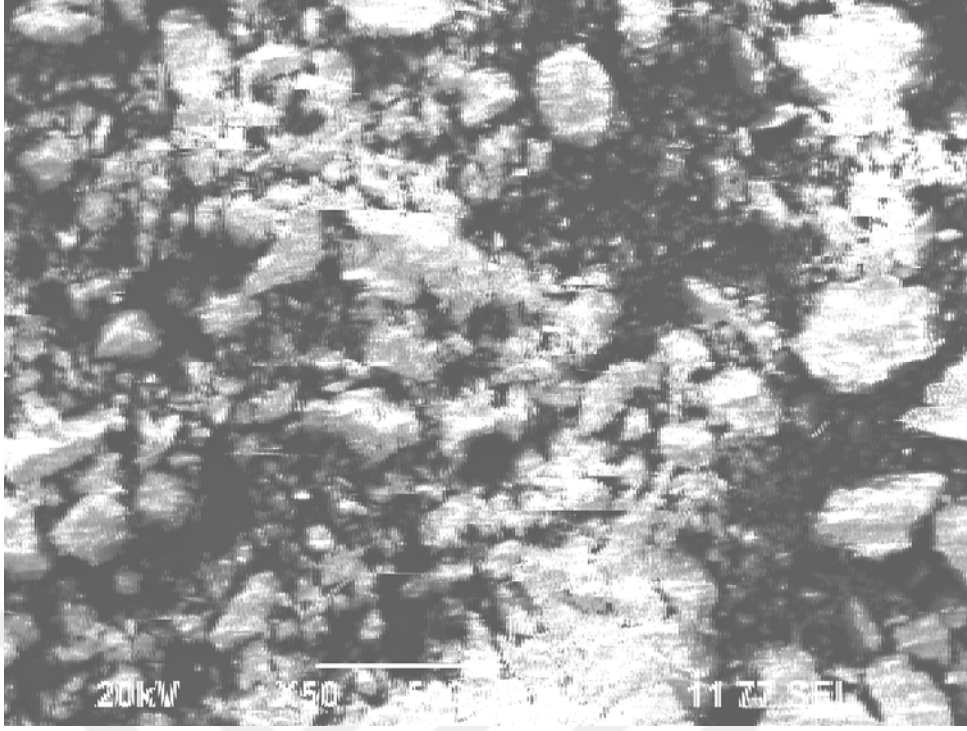
İnceleme alanı Ege denizi içerisinde yer almakta olup, bu bölümde litolojiyi görebilmek açısından 6 adet deniz sondajı yapılmıştır. Yapılan deniz sondajlarına göre çalışma alanında killi, çakıllı, kumlu birimlerden oluşan Kuvaterner alüvyonlar hâkimdir. Bölgede ana kaya derinliği çok fazla olduğundan, yapılan sondajlarda ana kayaya ulaşılamamıştır. Sondajlarda, su derinliği 3-6 m arasında değişmektedir. Deniz tabanından itibaren 3.5-6.0 m arasında değişen kalınlıkta balçık, daha derinlerde ise su içeriği üst noktalara nazaran düşük ve sıkışmış olan kil (pekişmiş balçık) bulunmaktadır. Bu sıkışmış balçık altında organik içeriği yüksek (siyah renkli) siltli killi kum zemin bulunmaktadır. En altlarda ise yer yer kum-kil-çakıl oranlarının yer değiştirdiği Kumlu Killi Çakıl Bulunmaktadır. Bu zeminler bölgede yaygın olarak görülen alüvyon birimine dâhil edilmiştir. İnceleme alanının stratigrafisi göz önünde bulundurulduğunda daha derinlerde Yamanlar Volkanitleri bulunmaktadır. Şekil 4.5’de, sedimentlerin taramalı elektron mikroskobunda elde edilmiş SEM görüntüsü bulunmaktadır.



Şekil 4.5 Bayraklı bölgesinden alınan kator örneğinin SEM görüntüsü

4.4 Karşıyaka Bölgesinin Jeolojisi

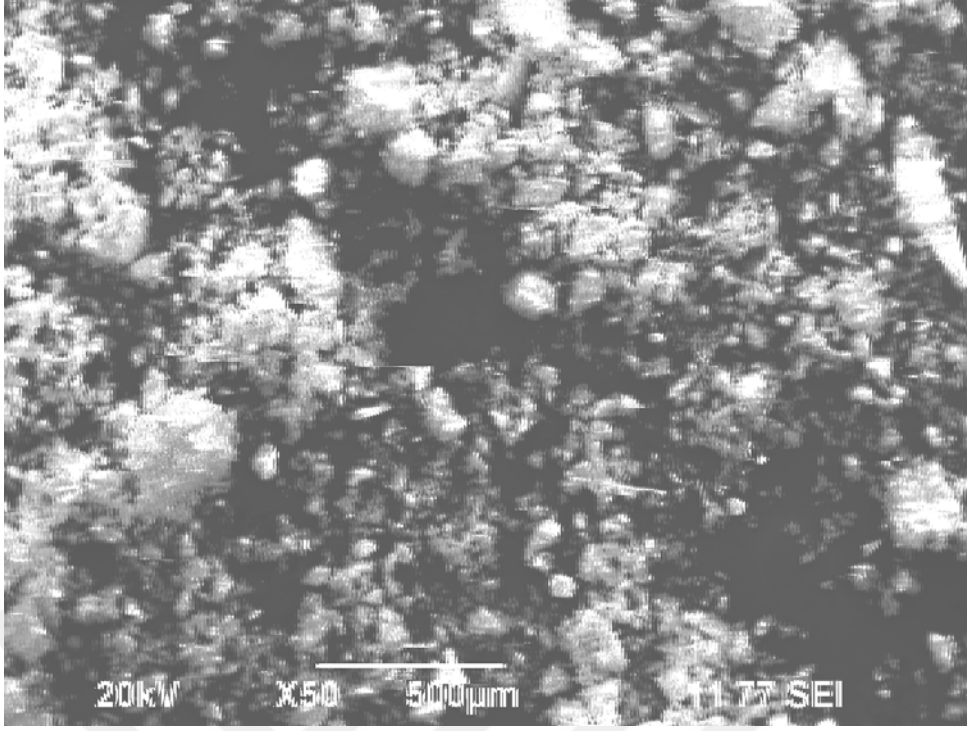
İnceleme alanı İzmir Karşıyaka ilçesinde Ege Denizi kıyısında ve kıyı çizgisinin deniz tarafında kalmaktadır. Bu alanda 8.0-12.0 m derinliğinde deniz suyu (Betimetri) bulunmaktadır. Deniz tabanından itibaren 5.0-8.5 m arasında değişen kalınlıklarda balçık bulunmaktadır. Balçık katmanının altında 3.5-6.0 m kalınlığında az killi kum veya kumlu kil bulunmaktadır. Bu seviyede mercekler halinde kum düzeyleri bulunmaktadır. Daha altlarda ise az killi ve kumlu orta ve iri boylu çakıllardan oluşan sağlam zemin yer almaktadır. Bu çakıllı düzey, temelde yer alan Alt-Orta Pliyosen yaşlı Yamanlar Volkanitleri'nin piroklastik kayalarının ayrılmış olduğu üst düzeyidir. İnceleme alanında bulunan alüvyon zeminlerinin altında Yamanlar Volkanitleri bulunmaktadır. Şekil 4.6'da, Karşıyaka bölgesinden alınan sediment örneğinin SEM görüntüsü verilmektedir.



Şekil 4.6 Karşıyaka bölgesinden alınan sediment örneğinin SEM görüntüsü

4.5 İnciraltı Bölgesinin Jeolojisi

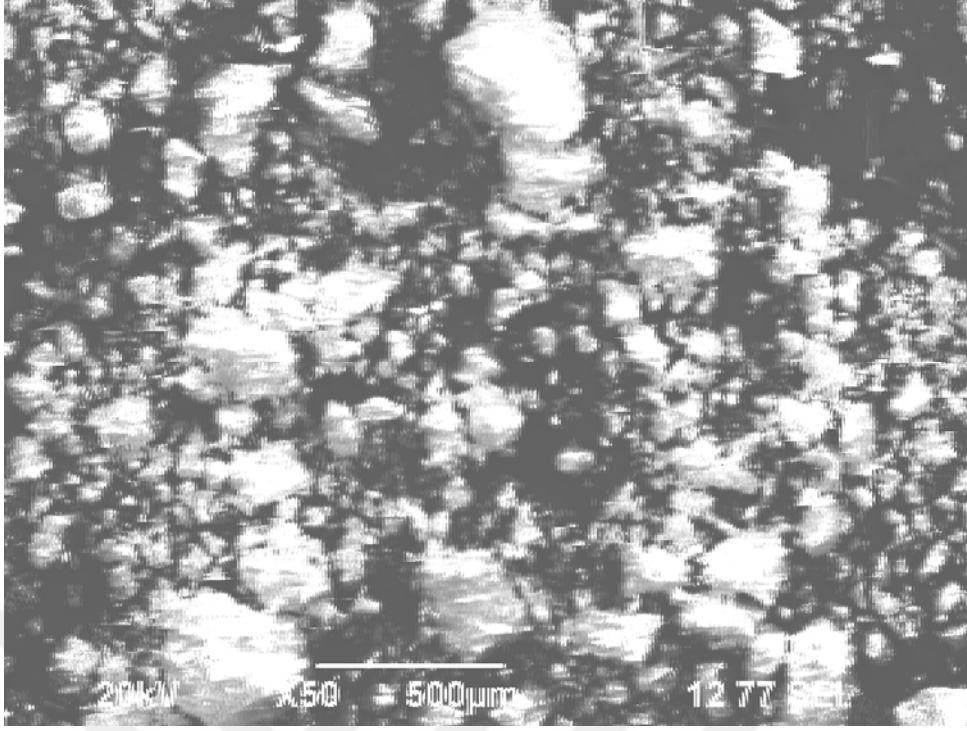
İnceleme alanı Ege Denizi içerisinde yer almakta olup, bu bölümde litolojiyi görebilmek açısından 6 adet deniz sondajı yapılmıştır. Yapılan deniz sondajlarına göre çalışma alanında killi, çakıllı, kumlu birimlerden oluşan Kuvaterner alüvyonlar hâkimdir. Bölgede ana kaya derinliği yüzlerce metreyi bulmakta olup, yapılan sondajlarda ana kayaya ulaşılamamıştır. Aşağıdaki Şekil 4.7’de İnciraltı bölgesinden alınan karot örneğinin SEM görüntüsü verilmektedir.



Şekil 4.7 İnciraltı bölgesinden alınan karot örneğinin SEM görüntüsü

4.6 Çeşmealtı Bölgesinin Jeolojisi

İnceleme alanı İzmir Urla ilçesinde Ege Denizi kıyısında ve kıyı çizgisinin deniz tarafında kalmaktadır. Bu alanda 1.0-6.0 m derinliğinde deniz suyu (Batimetri), deniz tabanından itibaren ise 0.5-6.0 m arasında değişen kalınlıklarda da balçık bulunmaktadır. Balçık katmanının altında 6.0-9.0 m kalınlığında orta-ince tabakalı kumtaşı yer almaktadır. DSK-3 ve DSK-6 sondajlarında kumtaşından önce 5-6 m kalınlığında az killi kum çakıl bulunmaktadır. Şekil 4.8’de de Çeşmealtı bölgesinden alınan sedimentin SEM görüntüsü verilmektedir.



Şekil 4.8 Çeşmealtı bölgesinden alınan karot örneğinin SEM görüntüsü

Çizelge 4.2 Sondaj numuneleri dikey kesitleri

(m)	Derinlik (m)	DSK-1	DSK-2	DSK-5	DSK-6	
0	0,0-1,0	Deniz Suyu	Deniz Suyu	Deniz Suyu	Deniz Suyu	
1	1,0-2,0					
2	2,0-3,0					
3	3,0-4,0					
4	4,0-5,0			Siyahımsı Gri renkli Su İçeriği Çok Yüksek BALÇIK	Siyahımsı Gri renkli Su İçeriği Yüksek Kavkılı İnce Kumlu Silt-kil Balçık	
5	5,0-6,0					
6	6,0-7,0					
7	7,0-8,0			Siyahımsı Gri renkli Su İçeriği Yüksek Kavkılı İnce Kumlu Silt-kil Balçık	Siyahımsı Gri Renkli Su İçeriği Yüksek Kavkılı İnce Kumlu Silt-kil Balçık	
8	8,0-9,0					
9	9,0-10,0					
10	10,0-11,0	Siyahımsı Gri renkli Su İçeriği Çok Yüksek BALÇIK	Su İçeriği Yüksek Yeşilimsi Gri Renkli Az Killi Kum (Balçık)	Siyahımsı Kahve Renkli Az Çakıllı Siltli Killi Kum	Grimsi Sarı Renkli Killaşı Aratabakalı Orta- İnce Tabakalı Kumtaşı	
11	11,0-12,0					
12	12,0-13,0					
13	13,0-14,0					
14	14,0-15,0	Az Killi Kum	Yeşilimsi Gri Renkli Killi İnce Kum	Kahverenkli İnce Çakıllı Kumlu Kil	Sondaj Sonu	
15	15,0-16,0					
16	16,0-17,0					
17	17,0-18,0	Killi Kum- Kumlu Kil	Sarımsı Gri Renkli Az Kumlu Kil	Kahverenkli İnce Çakıllı Kumlu Kil	Sondaj Sonu	
18	18,0-19,0					
19	19,0-20,0			Kahverenkli İnce Çakıllı Kumlu Kil		
20	20,0-21,0					
21	21,0-22,0			Sondaj Sonu		
22	22,0-23,0					
23	23,0-24,0			Sondaj Sonu		
24	24,0-25,0					
25	25,0-26,0			Sondaj Sonu		
26	26,0-27,0					
27	27,0-28,0			Sondaj Sonu		
28	28,0-29,0					
29	29,0-30,0			Sondaj Sonu		
30						

4.7 Deniz Sondajı Aşaması

İzmir Körfezi'nde Yümün Mühendislik Yapı Zemin San. ve Tic. Ltd. şirketi tarafından 4 farklı lokasyonda sondaj yapılarak numuneler alınmıştır. Sondajlar Paleontolojik ve Sedimentolojik tanımlamaya yönelik olduğu için karotlu sondaj yöntemi kullanılır. Deniz üzerine kurulan 7*9= 63 m² boyutlarında modüler deniz platformu kurularak çapa sistemiyle sabitleştirilir (Şekil 4.9). Çapalar yardımıyla sabitlenen platform, üzerine kurulu yarı otomatik sondaj

makinası ile muhafaza boruları (HQ= 89 mm) kullanılarak duba 2. kez deniz tabanına sabitlenir. Muhafaza boruları içerisinde 76 mm çapında (NQ) tijler yardımıyla su kullanılmadan hidrolik baskıyla numuneler alınır. Numuneler 1,5 m manevralar şeklinde alınarak karot sandıklarına dizilir (Şekil 4.10). Sistematiğ olarak dizilen karotlar zemini derinden yüzeye kadar temsil edecek şekilde ayarlanarak etiketlenir. Sondaj bitiminde karot sandıkları platformda bekletilmeden streç naylon ile sarılarak laboratuvara getirilir. Laboratuvara getirilen örselenmemiş karotlar granölometrik, ağır metal ve radyoaktivite analizleri için hazır hale getirilir.

Platform Adı: YÜMÜN01, 2014



Şekil 4.9 İzmir Körfezi Karşıyaka DSK-1 Sondaj



Şekil 4.10 Karot sandığı örneği

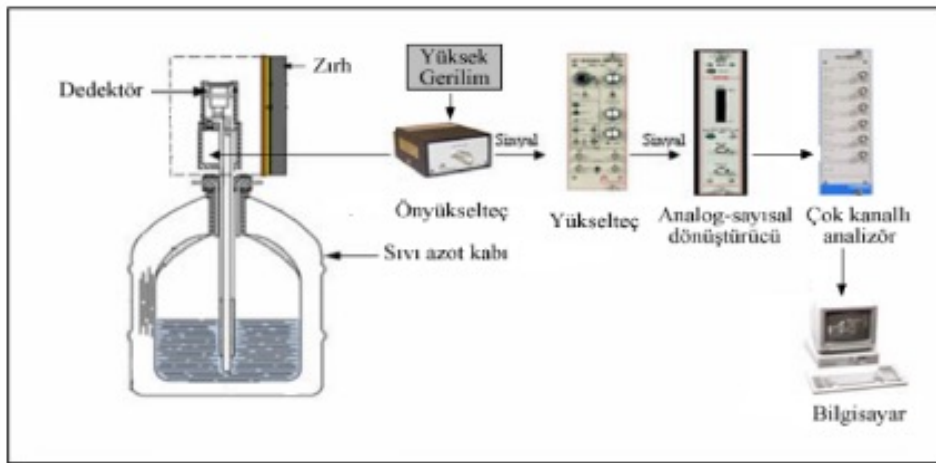
4.8 Deniz Güncel Sediman Örneklerinde Doğal Radyoaktivite Konsantrasyonlarının Belirlenmesi

4.8.1 Gama Spektrometrik Analizler

Bu yöntemde, gama ışını enerji aralığı 40 keV-2000 keV olan radyonüklidler herhangi bir ön hazırlık yapılmaksızın direk gama spektrometresi ile ölçülebilir. Daha iyi bir netice elde etmek için eğer sıvı örnek varsa buharlaştırılır, kuru örnekler de külleştirilir. Örnekler fiziksel durumuna uygun şekilde kaplara konulur. Daha sonra kurşun zırh ile çevrili alanda, uygun sayım geometrisinde, verimi artırmak amacı ile dedektöre mümkün mertebe çok yakın konumda sayılır. Sayımın toplam süresi ise örneğin aktivitesi, ölçülmek istenilen radyonüklid ve amaçlanan tayin duyarlılığına göre değişir.

4.8.2 Sayım Sistemi

Standart bir gama spektrometre sistemi Şekil 4.12'deki blok diyagramını takip eder. Gama ışınları dedektör kristaline ulaşır ve onların enerjisiyle orantılı olarak sinyaller şeklindeki gibi bir önyükselteç ve sonrasındaki yükselteçte işlenir. Devamında elde edilen sinyaller analog sayısal dönüştürücü (ADC) sayesinde sayısal tabanlı duruma gelir. Çok kanallı (MCA) analizörde ise elde edilen veriler spektrum aralığı olarak hafızaya kaydedilir [72].



Şekil 4.12 Gama spektrometri ölçüm sistemi diyagramı [72].

Gama spektrometrenin radyoizotopların tespitinde yaygın olarak kullanılma sebebi; gama ışınlarının karakteristik özelliği, her bir çekirdek için enerjisinin parçalı olmasıdır [73].

Aşağıdaki Şekil 4.13'de görüldüğü üzere, örnekler dengeye geldikten sonra ölçümler ÇNAEM, Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi'nde yapıldı.



Şekil 4.13 Gama spektrometrik analiz sistemi düzeneği (ÇNAEM Radyoaktivite Ölçme ve Analiz Birimi Laboratuvarı)

4.8.3 Dedektör Sistemi:

Germanyum yarı iletken dedektör: Tipik bir gama spektrometre sistemi, NaI (TI) sintilasyon, Ge (Li) ve HPGe gibi çeşitli yarı iletken detektörler kullanılarak analiz yapılabilir. Yapılan bu çalışmada Canberra marka GX5020 model HPGe yüksek saflıkta yarı iletken germanyum dedektör kullanılmıştır. Bu dedektörün spektrometrik gama ölçümlerinde tercih edilme sebebi radyonüklidlerin enerji pikleri birbirlerine çok yakın olsa da onları ayırt etme kapasitesi oldukça güçlüdür.

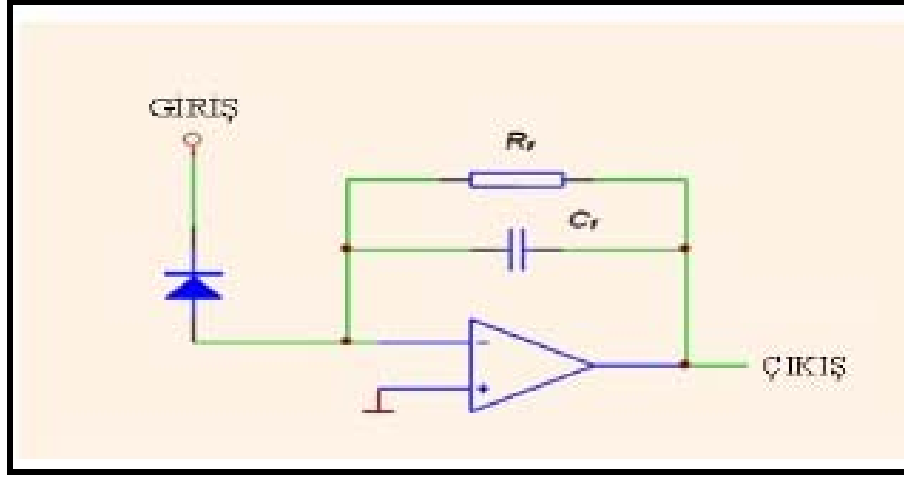
Bu çalışmada olduğu gibi çevresel örneklerin radyoaktif analizleri için sıvı azot kabına montalanmış dikey durumdaki dedektörler tercih edilir (Şekil 4.8). Dedektör veriminin 1.33 MeV gama enerjisinde %10'dan büyük, ayırma gücünün ise 2 keV'den küçük olması ve spektrum aralığının ise 10 keV-10 MeV olması gereklidir [74]. Dedektör, etrafı dış çevreden gelebilecek radyasyona maruz kalmasını engellemek için Şekil 4.8'de gösterilen marinelli kapların sığabileceği boyutta kurşun zırlama ile korunaklı hale getirilmiştir.



Şekil 4.14 Kurşun zırhla kaplı HPGe dedektör

Dedektöre çarpan fotonlar kristalle etkileşmeye başlar ve enerji bırakırlar. Bu etkileşim sonucu, kristalde elektron-boşluk çiftleri oluşur ve dedektöre uygulanmış olan yüksek voltajın meydana getirdiği elektrik alan ile ikincil yayım üretmek için kullanılan elektrotlara sürüklenir. Burada biriken yük miktarı gelen radyasyonun enerjisine bağlıdır ve en önemlisi analizatör tarafından ölçülebilecek bir voltaj sinyali oluşturur.

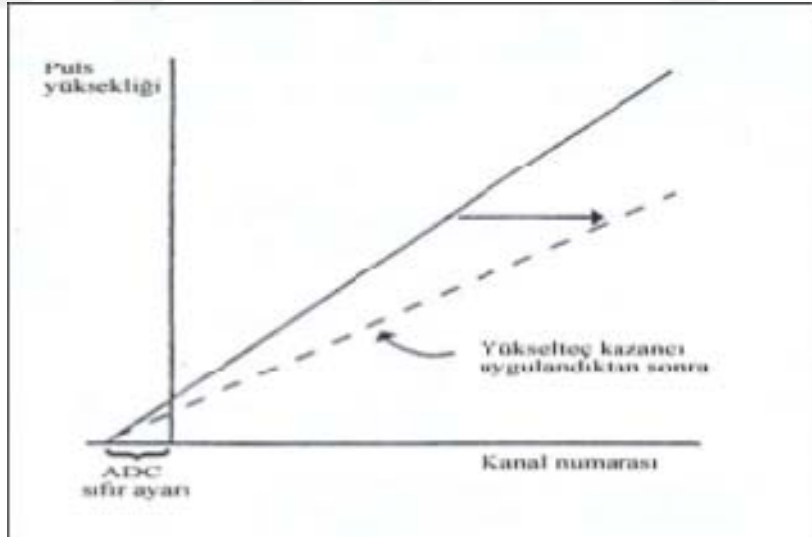
Ön yükselteç: Gama ışınlarının dedektör ile temasa geçmesi neticesinde oluşan yükler ön yükselteçte toplanır. Burada sinyal geometrisi oluşmaz. Sadece dedektör ile devre arasında yüksek empedans uyuşturucu olarak görev yapar (Şekil 4.15).



Şekil 4.15 Ön yükseltecin şematik görüntüsü [75].

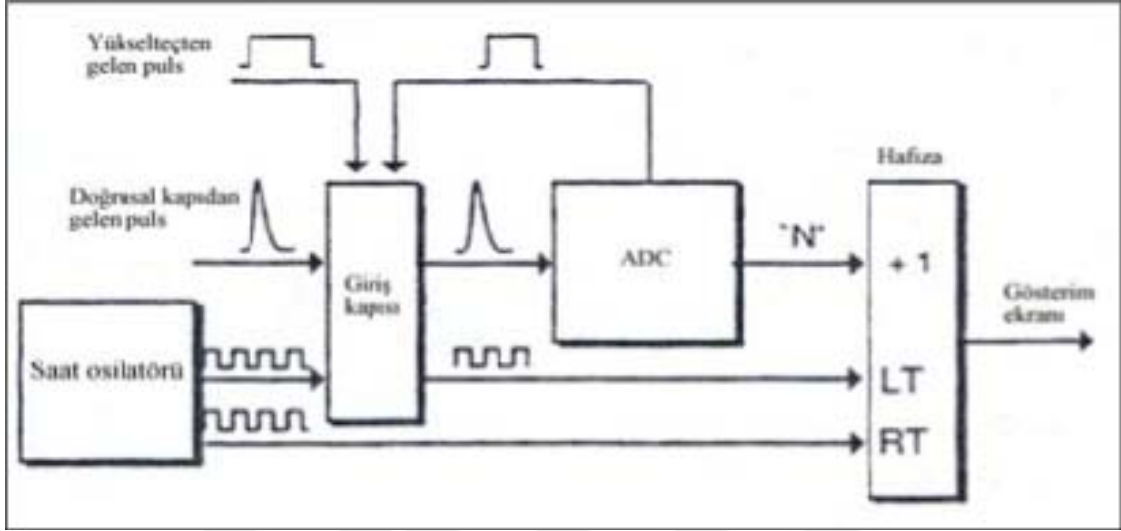
Yükselgeç: Amaç en iyi sinyal/gürültü oranını elde etmektir. Gama ışınlarının dedektörde algılanmasından sonra ortaya çıkan darbeler burada yükselticide yükseltip geometri oluşumu sağlanır.

Çok kanallı analizör (MCA): Yükselticiden çıkan sinyaller MCA analizatörü ile ölçülür (Şekil 4.16).



Şekil 4.16 Kanal numarası ve sinyal yüksekliği bağıntısı [73].

Analog sayısal dönüştürücü (ADC): Çok kanallı analizörün kalbi sayısal dönüştürücüdür. Enerji spektroskopisinde yükselticiden gelen analog pulslar ADC’de kendilerine eşdeğer bir nümeriğe dönüştürülür (Şekil 4.17).



Şekil

4.17 Analog-sayısal dönüştürücü [73].

Kaydedici: Çok kanallı analizatörden veya ona bağlı bilgisayardan alınan bilgiler burada kaydedilir; yazıcı ve grafik oluşturmak için kullanılır.

4.8.4 Enerji Kalibrasyonu

Sayım sistemi enerji kalibrasyonunun doğru bir şekilde hesaplanabilmesi için, dedektöre gelen foton enerjisini çok iyi belirlemek gerekir. Bunun için enerjisi daha önceden belirli referans kaynaklara ihtiyaç vardır. Burada analizi yapılan örneğin hangi gama spektrum aralığına karşılık geldiği bilinmelidir. Bu çalışmada aktivitelerinin hesaplanması istenen radyoaktif kaynakların özellikleri aşağıdaki Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Böylece bilgisayar ekranında görülen her bir pike karşılık gelen enerji ve kanal değerlerine ulaşılır.

Çizelge 4.3 Standart kaynağın gama spektrum enerji ve verim değerleri

Radyonüklidler	Verim	Enerji (keV)
U-238	0.06	609.3
Th-232	0.07	583
Ra-226	0.37	185.7
Cs-137	0.04	661.6
K-40	0.096	1460.8

4.8.5 Verim Kalibrasyonu

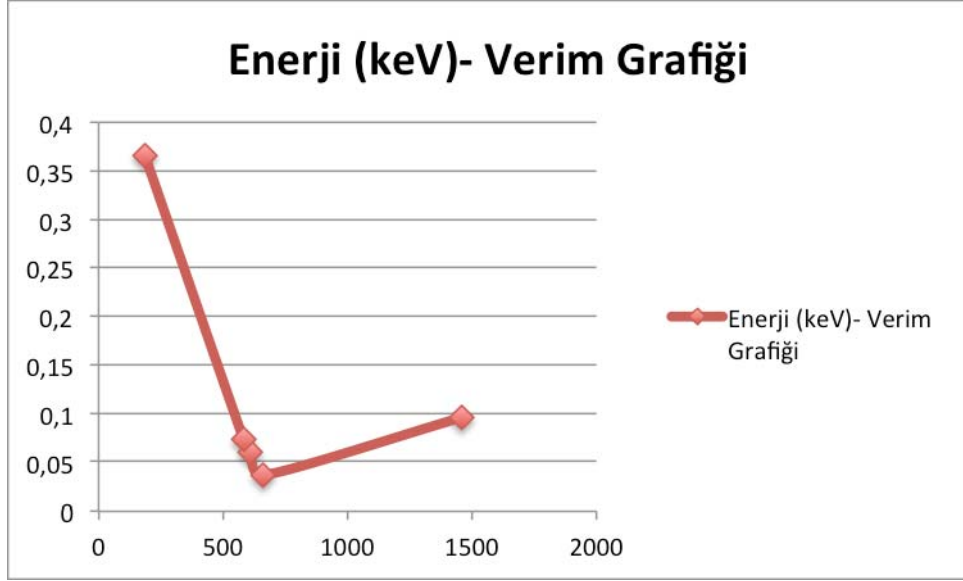
Dedektör verimi, radyonüklidlerin yaydığı gamaların sayılabilecek boyuttaki şiddetlerinin (fotonların sayısı), dedektöre ulaşan toplam fotonların sayısına oranı olarak tarif edilir.

Daha iyi bir hesaplama için verim dedektörleri düzeltmesi yapılır. Bu yüzden standart kalibrasyon kaynakları kullanılmıştır.

Dedektör verimi aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$\text{Verim} = \frac{\text{Dedektörde elektriksel sinyal oluşturan gama sayısı (A)}}{\text{Dedektöre gelen gama sayısı } (\gamma)} \quad (4.1)$$

Çalışmada hesaplanan verim ve enerji değerlerine göre elde edilen grafik aşağıdaki Şekil 4.18’de gösterilmektedir.



Şekil 4.18 Enerji-verim eğrisi

$y = 6.10^{-7} * x^2 - 0.012 * x + 0.5682$, fonksiyonu kullanılarak verim değerleri elde edilmiştir.

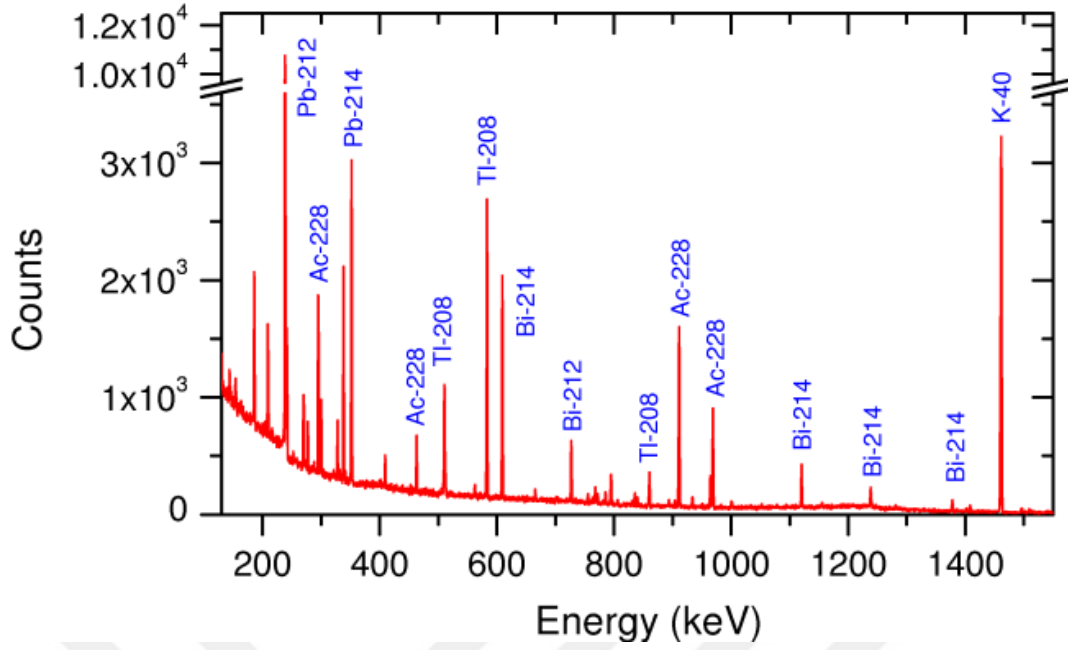
x = Enerji (keV)

y = Verim

4.8.6 Sediment Örneklerin Analizi

Bu çalışmada deniz sedimentleri örnekleri, yaymış olduğu gama enerjilerinin hesaplaması için gama spektrometre ölçüm cihazına konulmuştur. Burada amaçlanan doğada kendiliğinden var olan U-238, Th-232 ve onların bozunum serileri, K-40 radyonüklidi ve fisyon ürünü olan Cs-137 gibi bazı radyoaktif çekirdeklerin radyoizotop analizlerinin yapılmasıdır. Bunun için sedimentler 85 550 ile 750 000 saniyeler arasında her gün birer numune sayılmak üzere analizleri yapılmıştır. Sayım işlemi radyonüklidlerin yayınladığı fotopik enerjiye göre kalibre edilmiş ve belirli enerji aralığında oluşmuştur.

U-238, 609.3 keV; uranyum bozunum ürünü olan Ra-226, 185.6 keV'de; Th-232, 583 keV ve K-40, 1460.8 keV'lik enerjilerde pikler oluşmaktadır (Şekil 4.19).



Şekil 4.19 Belirli enerji spektrum pikleri [76].

Sediment örneklerinde bulunan doğal radyoaktivite konsantrasyonları yani aktiviteleri aşağıdaki formülden elde edilmiştir:

$$\text{Aktivite} = (\text{Alan} - \text{Background}) / (\text{Verim} \times \text{Zaman} \times \text{Bolluk} \times \text{Kütle}) \quad (4.2)$$

Aktivite ve verim hesaplamalarının yanı sıra, dedekte edilebilir minimum miktarlarının belirlenmesi için MDA (Minimum Detectible Activity) formula kullanıldı.

$$\text{MDA} = [2.71 + 4.65 \text{ Root } (B)] / T \times V \times Bo \times M \quad (4.3)$$

B: Background

T: Sayım zamanı

V: Verim

Bo: Bolluk

M: Numunenin kütlesi veya hacmi

Bu çalışmada elde edilen tüm analiz sonuçları ve grafikler 'Sonuçlar ve Öneriler' bölümünde bulunmaktadır.

4.9 Denizel Sediment Örneklerinin Toplam Alfa ve Toplam Beta Aktivitelerinin Hesaplanması

4.9.1 Konsantrasyonlarının Saptanması

Çalışmanın bu bölümünde, numunelerdeki radyoizotoplardan yayınlanan alfa ve beta ışınlarının toplam aktivite miktarlarının ölçülmesi hedeflenmiştir.

Sediment örneklerinin önce gama radyonüklid aktiviteleri ölçüldüğü için, o bölümde labaratuvar ortamında hangi aşamalardan geçtiğinden bahsedilmiştir. Numunelerin bir miktar alınarak yaklaşık (300 mg civarında) pudra kıvamına gelene kadar iyice öğütülür. Dört örneğe de aynı işlem uygulandıktan sonra çelik planşetlere konularak tekrar tartılır.



Şekil 4.20 Pudra halindeki öğütülmüş sedimentlerin analizden önce kütle ölçümleri

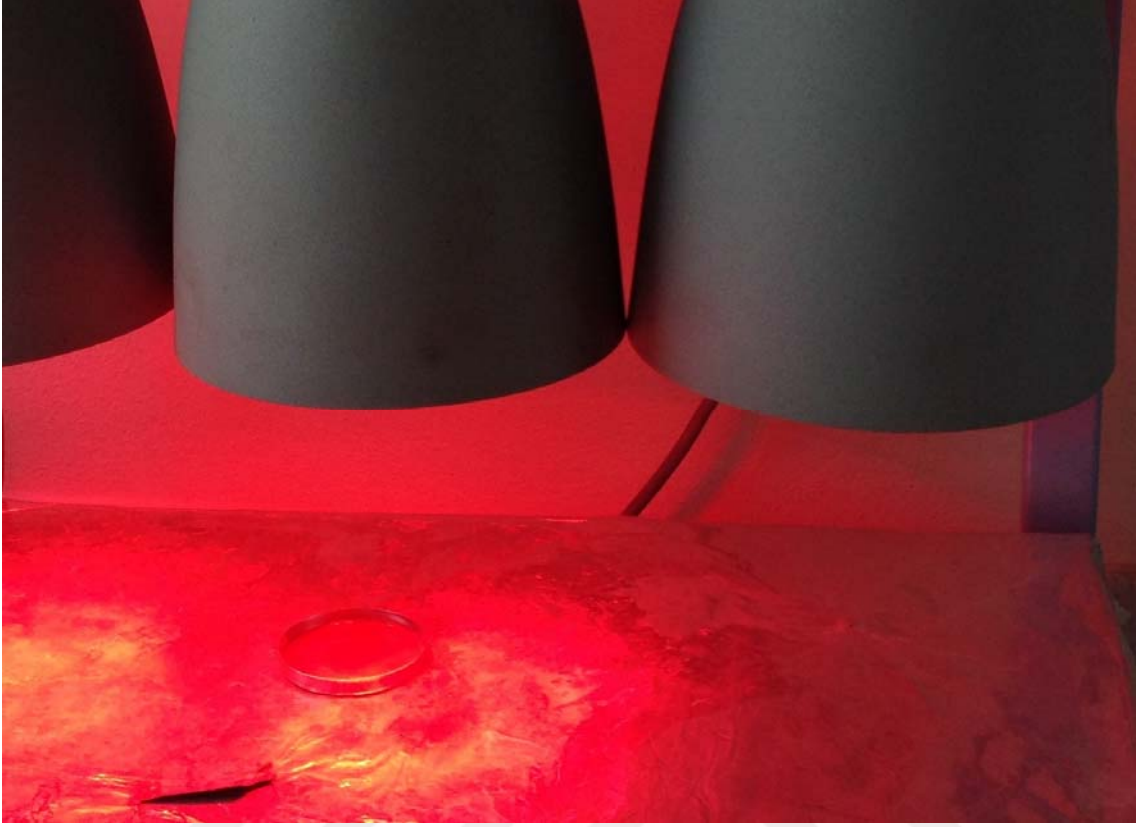


Şekil 4.21 Numunelerin öğütülmüş halleri

Şekilde görülen numunelerin her bir, damıtılmış 5-6 damla su çevresine konularak kürdan yardımıyla karıştırılır.



Şekil 4.22 Damıtılmış su ile karıştırılmış hali



Şekil 4.23 Ultraviyole ışık altında kurutulmaya bırakılması

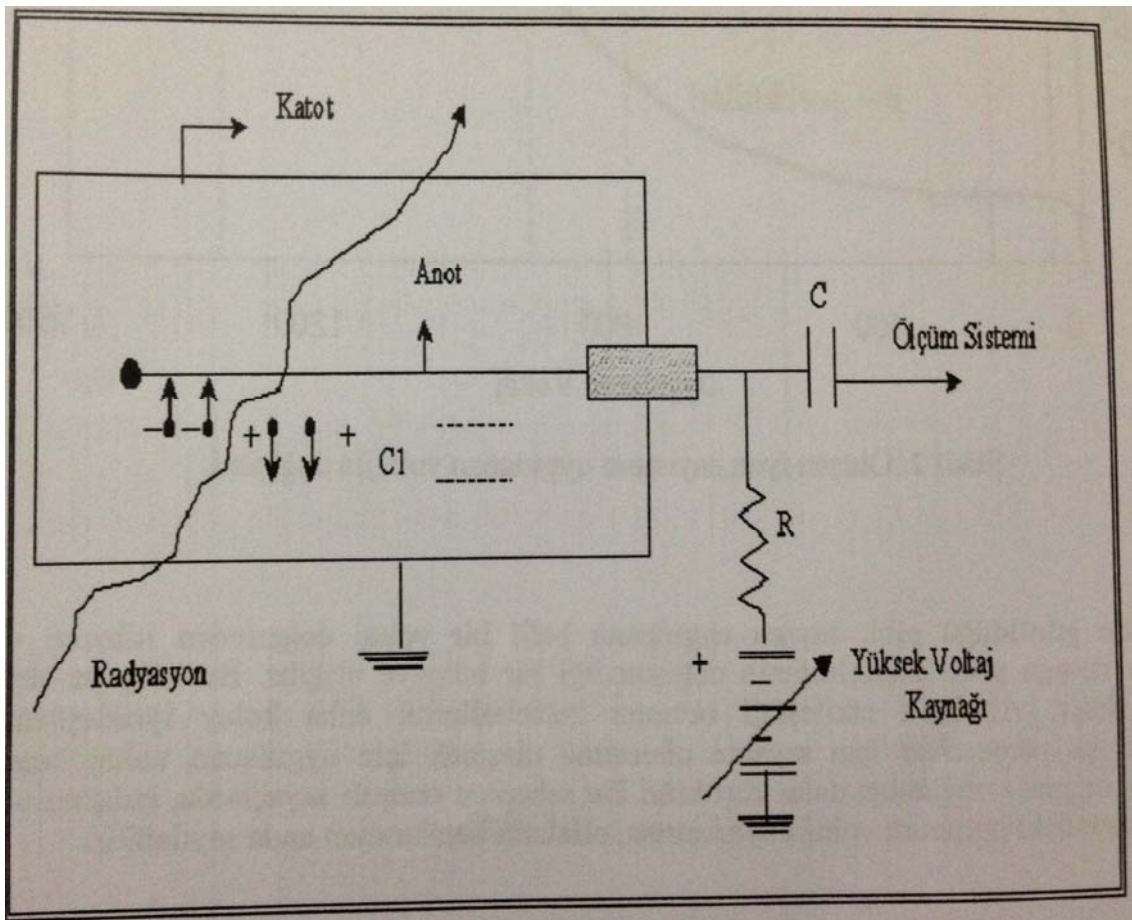
Toplam alfa radyoaktivite ölçümleri su örneklerinde yapıldığı için, buharlaşmadan sonra kalan tortu miktarını not etmek önemlidir. Eğer kalan tortu miktarı 130- 150 mg'dan fazla ise, radyasyonun kendi kendine soğurma etkisi artar ve daha az parçacık dedektöre gelir.

Sonuç olarak, tüm numunelerin toplam alfa ve toplam beta aktiviteleri ölçülmek üzere gaz akışlı orantılı nükleer spektroskopik bir sistemde ölçüm gerçekleşir.

4.9.2 Gaz Akışlı Orantılı Sayıcı

Alfa ve beta parçacıklar yüklü olduklarından radyoaktivite konsantrasyonları hesaplanırken en çok bu yöntem kullanılır. Bu işlemde, parçacıkların gaz içinde meydana getirdikleri iyonlaşmadan faydalanılmaktadır. Genel işleyiş, iyonlaştırıcı parçacıkların gaz içinde meydana getirdiği iyonları, bir elektrik alan yardımıyla, bir elektrot üzerinden toplamak suretiyle yüklü parçacığın ölçülmesi yani deteksiyonun sağlanmasıdır. Bu sayıcılarda, silindirik dış kılıf katot

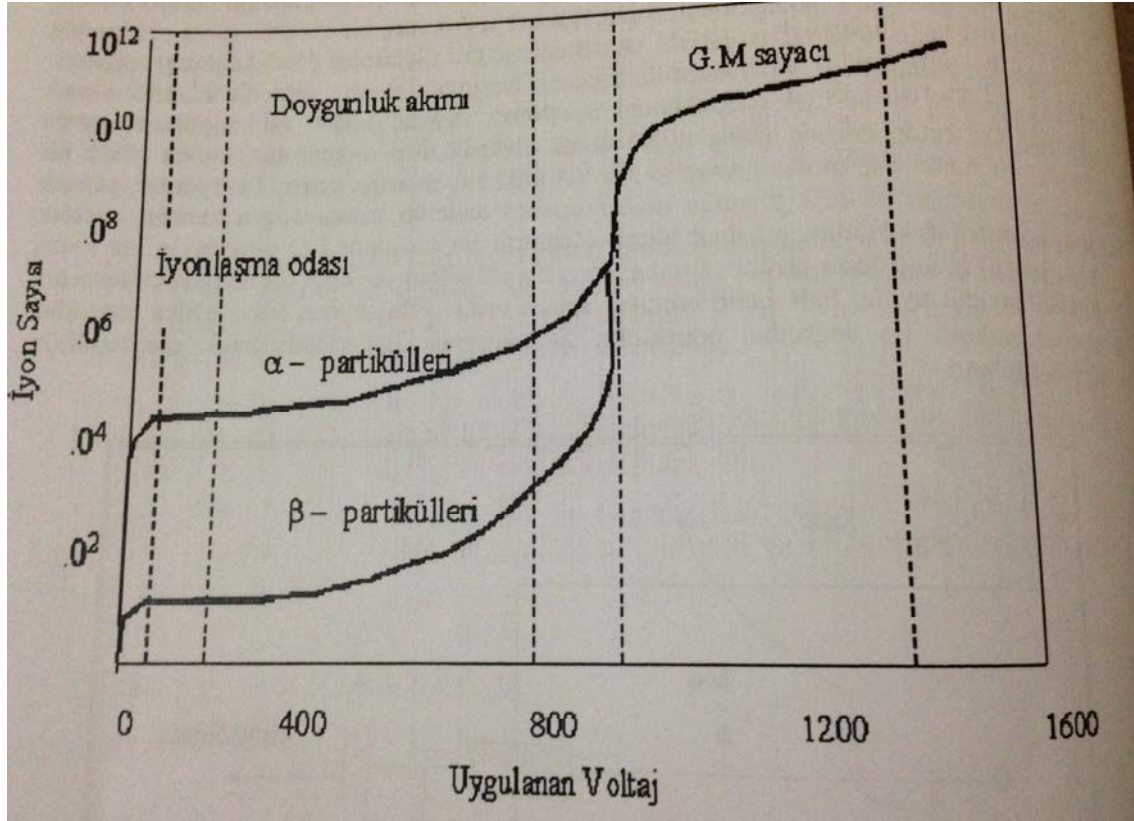
ile bunun ortasında uzanan ince bir tel ve anot olmak üzere iki elektrot vardır (Şekil 4.24). Sayacın içi neon, argon, metan gibi uygun bir gazla doldurulur. İki kutup arasına voltaj uygulanarak elektrik alan oluşturulur. Gelen yüklü bir parçacık, ortamdaki gaz moleküllerini (+) ve (-) yüklü iyonlarına ayırır. Bu iyonlar yüksek voltajın oluşturduğu elektrik alanın doğrultusunda anot ve katoda doğru hareket ederler. Anotta toplanan elektronlar, bir anot akımı oluşturur ve bu akım bir RC devresiyle bir voltaj darbesi yani sinyali haline dönüştürülür. Bu sinyaller uygun hale getirilerek sayıcı tarafından sayılır. Elde edilen sayımlar, radyasyon miktarı ile doğru orantılıdır. Bu sayımlar değerlendirilirken radyoaktivite miktarı hesaplanır.



Şekil 4.24 Gaz ile çalışan radyasyon sayıcı devresi

Şekil 4.18'deki orantılı bölgede, elektronlar arasına uygulanan voltaj uygun bir değere yükseltilirse, meydana gelen primer elektronlar, ikincil iyonlaşmaya neden olurlar. Böylece alfa ve beta ışınlarının oluşturduğu ilk iyon çiftleri sayesinde daha çok iyon çifti meydana

gelmiş olur (Şekil 4.19). Betalar alfalara nispeten daha fazla iyonlaştıkları için, ikisinin ışıma yaptığı bir ortamda oluşturdıkları sinyaller de farklı olacaktır. Bu şekilde alfa ve betalar birbirinden bağımsız olarak sayılabilirler. Gazla çalışan sayıcılar, iyon odaları, orantılı sayıcılar ve GM sayıcılarıdır.



Şekil 4.25 Oluşan iyon sayısının uygulanan voltaja değişimi

4.9.3 LB-770 Toplam alfa ve Toplam beta ölçüm sisteminin plato eğrisinin oluşturulması

Cihazla birlikte verilen, aktiviteleri belli Am-241 ve Sr-90 kaynakları sırasıyla, örnek koyma bölmelerine yerleştirilir. Her bir kaynağın sayılma süresi 1:00 dakikadır. Voltaj sırasıyla 50'şer voltluk artırılarak, elde edilen sayımlar kayıt edilir. Her bir alfa ve beta kaynakları sayıldıktan sonra, elde edilen sonuçlar, Voltaj (V)– y eksenini ve Alfa Kanalı (cpm)– x eksenini olmak üzere işaretlenir, bu şekilde en uygun çalışma voltajı saptanır.

4.9.3.1 LB-770 Toplam alfa ve Toplam beta ölçüm sisteminin performansının belirlenmesi

Cihazla birlikte verilen aktiviteleri sırasıyla, 219 Bq Am-241 alfa ve 309 Bq Sr-90 beta kaynakları sırasıyla, 1'er dakikalık, 2 tur ölçüm alınır. Elde edilen sayım sonuçları, her bir

kaynak önceden belirlenen belirsizlik sınır değerleri için ise, o dedektör performans testini geçmiş sayılır. Sırasıyla, bütün dedektörler aynı işlemlerden geçirilir ve değerler not edilir. Şayet 10 dedektörden herhangi birisi, belirlenen belirsizlik aralıkları dışına çıkmışsa, aynı dedektörde tekrar sayım alınır. Yine problem devam ederse, sayımlar durdurulur. Sorunun detaylarına inmek için çalışmlalar başlatılır.

4.9.3.2 LB-770 Toplam alfa ve Toplam beta ölçüm sisteminin veriminin belirlenmesi

Cihazla birlikte verilen, aktiviteleri sırasıyla 219 Bq Am-219 alfa ve 309 Bq Sr-90 beta kaynakları sırasıyla, 1'er dakikalık, 2 tur ölçüm alınır. Elde edilen sayım sonuçlarından, formül yardımıyla, her bir dedektörün verimi hesaplanır.



Şekil 4.26 LB-770 – PC 10 kanallı düşük seviyeli planşet sayımı

Aktivite hesabında faydalanılan formüller:

$$Akt_{\alpha} = N (cpm) / (60 \times Verim \times K\ddot{u}tle) \quad (4.4)$$

$$Akt_{\beta} = [N_{\alpha}(cpm) - B (crosstalk etki)] / 60 \times Verim \times K\ddot{u}tle \quad (4.5)$$

4.10 Ağır Metal Analiz Yöntemi

Öncelikle toz halindeki numuneler daha da hassas bir ölçüm için akıf bir havanda iyice öğütüldü. Çöktürme analizi Çekmece Nükleer Eğitim ve Araştırma Merkezi Radyoaktivite Ölçme ve Analiz Birimi'nde yapıldı.

Toplam ayrıştırma metodları konsantre oksitleyici asitler ile hidroflorik asit (HF) kombinasyonlarında kullanılmıştır. Hidroflorik asitin çöktürmede kullanılmasının bazı avantajları vardır:

HF, silisik asit tuzu örgülerini eriten ve Al, Fe ve Li metalleri ile ilişkili olan tüm metallerin veri tane boyutunda normalleştirilmesinde kullanılan tek bir asittir.

Referans malzemelerin analizi toplam metal içeriğinin doğruluğunu sağlama adına sertifikalıdır.

Denizel sedimentlerin çöktürülmesi işleminde genellikle nitrik asit (HNO_3) kullanılarak kuvvetli asit sindirimi gerçekleştirilir ya da Latince'de aqua regia denilen kral suyu ($\text{HNO}_3 + \text{HCl}$) kullanılır. Bu da asitlerin az etki ettiği ya da etki etmediği altın ve platin gibi metallerle tepkimeye girebilen kuvvetli bir asit çözeltisidir.

Toplam metal analizi için kullanılan alet, malzeme ve ayraçlar aşağıda verilmiştir:

- * teflon beher kabı
- * elektrik ocağı
- * cam eşya
- * konsantre HNO_3
- * konsantre HF
- * konsantre HClO_4
- * HCl, 1M

Prosedür

Analiz için, iyice öğütülmüş örneklerden 1 g'ı tartılır ve teflon beher kaplara konulur. Örneğe 10 mL HNO_3 ilave edilir cam kapla beher kapatılır. Örnekler 120°C 'de 30 dakika boyunca sindirilir.

4.10.1 ICP- OES Ölçümü

Cihazın modeli Perkin Elmer Optima 7000 DV ICP- Optik Emici Spektrometre'dir (Şekil 4.27), ICP 4.0 versiyon yazılımı için Win Lab 32 ile donatılmıştır ve metal konsantrasyonu ölçümü için kullanılmaktadır. Numune-tanıtım birimi, bir siklonik sprej odası ve konsantrik cam nebülizör içerir. Siklonik sprej odası hem ICP'ye daha yüksek örnek transferini sağlamak hem de daha iyi verimlilik elde etmek için numunenin durulanmasını çok hızlı yapar.



Şekil 4.27 Perkin Elmer Optima 7000 DV ICP- OES

Metallerin kalibrasyon standart solüsyonları, stok birincil standart çözümlerinden hazırlanmıştır. 0.9999 bağıntı katsayısına sahip bir kalibrasyon eğrisi, 0.5 mgL⁻¹ ve 4.0 mgL⁻¹ aralığında üç çalışma standartları ile oluşturulmuştur. Boş kalibrasyon için üstü saf nitrik asit ve asidifiye ultra saf damıtılmış su kullanılmıştır. Boş ve çalışan standartlar ve numuneler %3'lük asidik koşul hacmi altında tutulmuştur. Seyreltme faktörü, Ca, Na, K, Mg için 1000 ve diğer düşük konsantreli elementler için 25'dir.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Denizel sedimentler, diğer denizel materyallere göre birtakım doğal ve yapay radyonüklidleri çok daha iyi tutarlar. Çünkü sedimanlar, radyoaktif çekirdekleri kompozisyonlarına, fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak bünyelerine alırlar [76].

Bazı araştırmacıların raporlarına göre, ince taneli sedimentler, iri tanelilere göre daha konsantredirler [77].

Hem doğal hem de yapay radyonüklidlerin deniz yatağındaki dağılımları, sediment hareketleri ve akümülyasyonları hakkında bilgi verirler. Buna ek olarak, sedimanlar tarafından radyonüklidlerin birikimi, onların orijinlerini tespit etmede güçlü bir kaynaktır.

Deniz radyoaktif ekolojisinin incelenmesindeki bilimsel amaç, hali hazırda var olan doğal radyoaktif elementlerin ya da havadan nehir, göl ve denizlere saçılan fisyon ürünlerinin etkilerini tahmin edebilmektir.

Bu çalışmada ilgilenilen radyoaktif elementler U-238, Th-232, Ra-226, doğal K-40 ve fisyon ürünü Cs-137'dir. Seçilen sedimanlar, radyoaktif konsantre eğilimlerinden dolayı sadece ince taneli olarak analiz edilmiştir.

Global skalada tüm radyoaktif bileşenlerin ölçümleri, yakın ya da uzak gelecekte spesifik radyoaktif kirliliğin katsayısının elde edilmesi, antropojenik ya da doğal radyoaktivitenin belirlenmesi bakımından oldukça önemli arz etmektedir.

5.1 İzmir Körfezi Gama Radyoaktivite Konsantrelerinin Değerlendirilmesi

İzmir Körfezi'nin dört farklı lokasyonundan alınan karot örnekleri gama spektroskopi yöntemi ile incelenerek radyoaktivite konsantrasyonları tespit edilmiştir. Sayım işlemleri sırasında

radyonüklidlerin yayınladığı fotopik enerjilere göre kalibrasyon yapılmış ve bunlar da belirli enerji aralığında oluşmuştur.

Aşağıda verilen tablolarda (Çizelge 5.1, Çizelge 5.2, Çizelge 5.3, Çizelge 5.4,) her incelenen bölgeye ait radyoaktivite konsantrasyon değerleri ve dedekte edilebilen minimum aktiviteleri ayrı ayrı sunulmuştur. Dört farklı bölgenin ortalama radyonüklid değerleri ise Çizelge 5.5’de verilmektedir.

Çizelge 5.1 Karşıyaka DSK-1 sedimentleri gama radyoaktivite değerleri

Radyonüklidler	Aktiviteleri (Bq kg ⁻¹)	MDA (Bq kg ⁻¹)
U-238	1.016±0.033	1.44±0.04
Th-232	12,36±0.45	1.52±0.05
Ra-226	8.5±1.24	2.21±0.22
K-40	78±1.03	9.17±0.06
Cs-137	Yok (background)	0.04±0.03

Çizelge 5.2 İnciraltı SK- 2 sedimentleri gama radyoaktivite değerleri

Radyonüklidler	Aktiviteleri (Bq kg ⁻¹)	MDA (Bq kg ⁻¹)
U-238	8.64±0.22	0.77±0.02
Th-232	12.3±0.34	0.81±0.03
Ra-226	9.53±0.98	1.18±0.12
K-40	78.2±0.74	4.9±0.03
Cs-137	1.26±0.21	0.10±0.09

Çizelge 5.3 Bayraklı DSK-5 sedimentleri gama radyoaktivite değerleri

Radyonüklidler	Aktiviteleri (Bq kg ⁻¹)	MDA (Bq kg ⁻¹)
U-238	5.0±0.16	1.5±0.04
Th-232	13.7±0.48	1.58±0.05
Ra-226	13.6±1.61	2.30±0.22
K-40	71.4±0.97	9.54±0.06
Cs-137	2.59±0.38	0.18±0.17

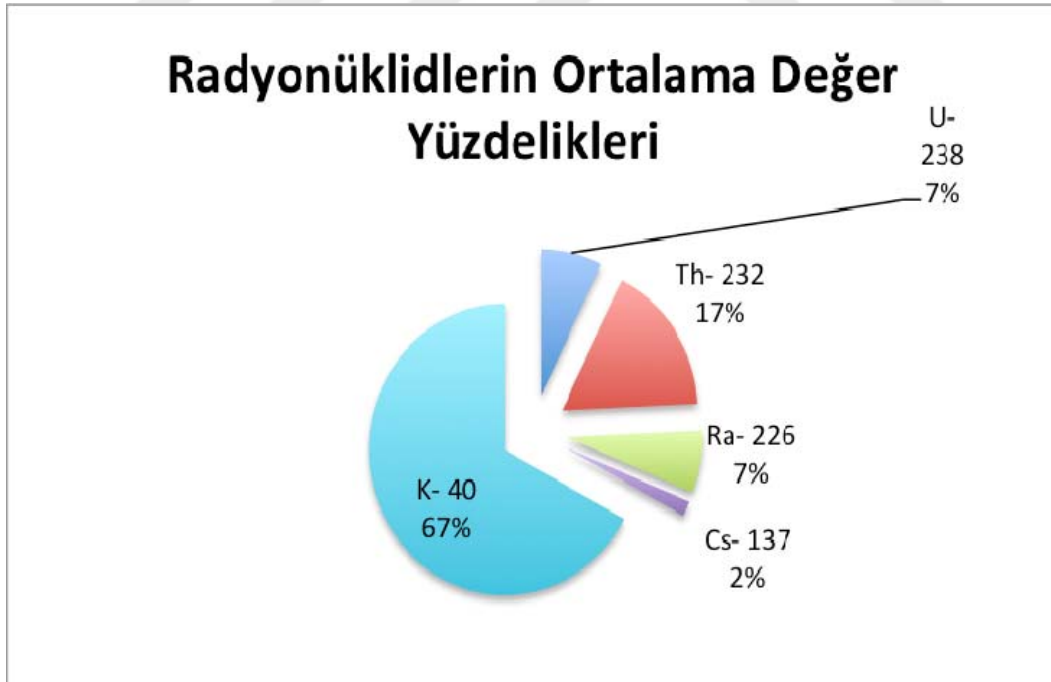
Çizelge 5.4 Çeşmealtı DSK- 6 sedimentleri gama radyoaktivite değerleri

Radyonüklidler	Aktiviteleri (Bq kg ⁻¹)	MDA (Bq kg ⁻¹)
U- 238	18.82±0.5	1.5±0.04
Th- 232	40±0.78	1.57±0.05
Ra- 226	0.24±0.02	2.30±0.22
K- 40	81.9±1.08	9.50±0.06
Cs- 137	Yok (background)	0.19±0.17

Çizelge 5.5 Farklı bölgelerde ölçülen tüm radyonüklidlerin ortalama değerleri

Radyonüklidler	Ortalama Aktiviteler (Bq kg ⁻¹)
U-138	8.36±0.23
Th-232	19.6±0.51
Ra-226	8.0±0.96
K-40	77.4±0.96
Cs-137	1.93±0.3

Aşağıdaki Şekil 5.6'daki daire diliminde görüldüğü üzere, en çok gama radyoaktivite konsantrasyonlarında K-40 doğal radyonüklidi %67'lik büyük bir paya sahiptir. Sonrasında Th-232 %17, U-238 ve Ra-226 ortalama değerleri %7'lik eşit bir dilime sahiptir. Bunun sebebi Ra-226'nın U-238'in bir bozunum ürünü olmasından kaynaklanabilir. Sonrasında %2'lik bir dilime sahip olan Cs-137 fisyon ürünü gelmektedir.



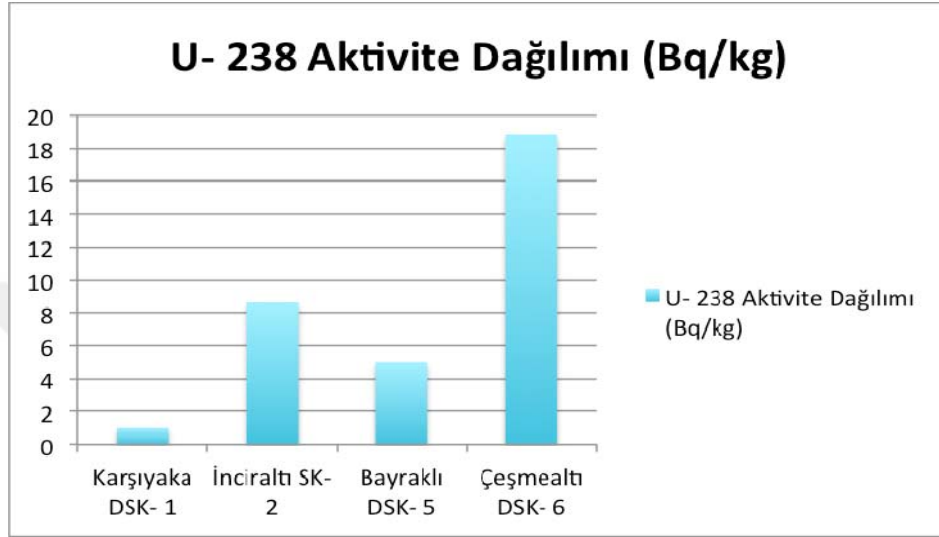
Şekil 5.1 Tüm radyonüklid değerleri ortalamasının yüzdelik dağılımı

Aşağıdaki Çizelge 5.6’da oluşturulan verilere göre hem Türkiye’de hem de dünyanın çeşitli yerlerindeki deniz, nehir ve göllerden alınan sediman örneklerinin doğal ve yapay gama radyoaktivite değerleri verilmektedir. Bu şekilde tez çalışmasında tespit edilen değerler ile diğer çalışmalar sonucu oluşan raporlar kıyaslanabilir.

Çizelge 5.6 İzmir Körfezi ortalama sonuçlarının dünyadaki benzer çalışmalar ile karşılaştırılması.

Sediment Lokasyonları	U-238 (Bq/kg)	Th-232 (Bq/kg)	Ra-226 (Bq/kg)	K-40 (Bq/kg)	Cs-137 (Bq/kg)	Referans
İzmir Körfezi	8,4±0,23	19,6±0,51	8±0,96	77,4±0,96	1,93±0,3	Bu çalışma
Cezayir Batı Körfezi	23,1±0,4	29,7±1,2	106,5±30	471,6±90	8	[76]
Vizag Kıyısı, Hindistan	36±11	75±38	34±15	782±223	-	[78]
Sarawak, Doğu Malezya	-	-	30±2	462±59	-	[79]
Kıyı Sarawak, Doğu Malezya	-	-	22±2	309±41	-	[79]
Doğu Tamilnadu Kıyısı, Hindistan	3,67	37,23	-	387,17	-	[80]
Doğu Karadeniz, Türkiye	1,9±0,2	6,96±0,76	-	420±9,5	72,94±1,3	[81]
Cezayir Körfezi	-	-	15,8±1,88	374±39,5	4,2±0,63	[82]
El-Harra, Ain Giffara, Sitra Gölü, Mısır	9,3±0,48	4,14±0,21	-	34,20±2,42	-	[83]
Çoruh Nehri, Türkiye	11,3	18,8	-	505,6	14,4	[84]
Didim ve İzmir Körfezi, Türkiye	12,46±0,78	10,75±0,70	10,42±0,63	422,63±20,21	-	[85]

U-238'in enerjisi 609.3 keV'de piki vardır, bolluğu 46.1 olup yarı ömrü 4,46 milyar yıldır. İzmir Körfezi'nde incelenen kıyılardaki ortalama değeri $8.369 \pm 0.23 \text{ Bq kg}^{-1}$ olarak kaydedilmiştir. Aşağıdaki grafiğe göre (Şekil 5.2), lokasyonlar içinde U-238 aktivite konsantrasyonunun aralığı $1.016 \pm 0.033 \text{ Bq kg}^{-1}$ - $18.82 \pm 0.5 \text{ Bq kg}^{-1}$ ile değişir ve en yüksek olduğu yer Çeşmealtı'dır (4.5-5 m) $18.82 \pm 0.5 \text{ Bq kg}^{-1}$, sonrasında İnciraltı (10-12 m) gelmektedir.



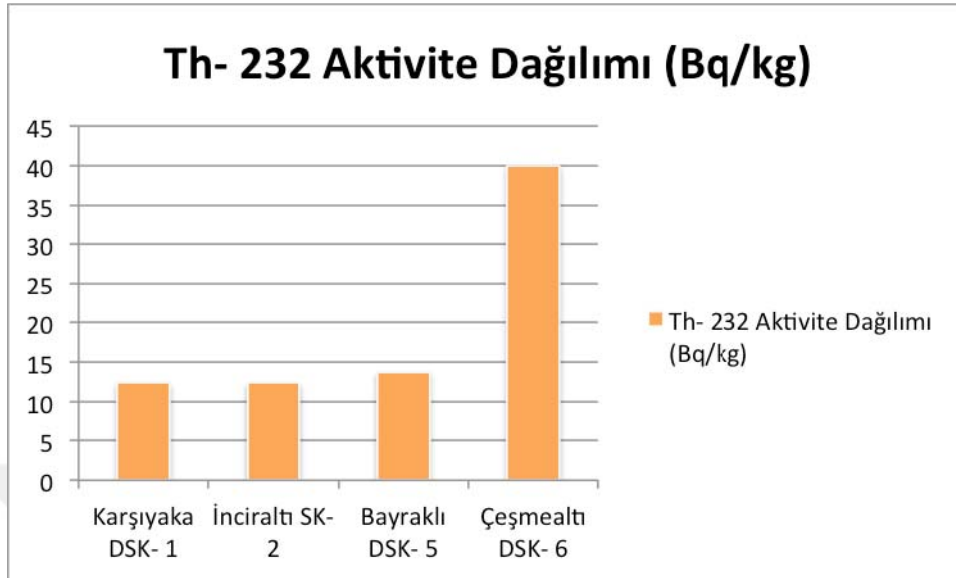
Şekil 5.2 İzmir Bölgesi Karşıyaka DSK-1, İnciraltı SK-2, Bayraklı DSK-5, Çeşmealtı DSK-6 Bölgelerinin U-238 Dağılımları

U-238'in diğer lokasyonlara göre Çeşmealtı'nda en yüksek değere sahip olmasının sebebi, Urla ve çevresinin kireçtaşı bakımından zengin olması sayılabilir [86]. Toprağın sahip olduğu radyoaktif konsantrasyonlar, toprağın içerdiği özelliklere, hava koşullarına ve o lokasyonun jeolojik yapısına göre değişiklik gösterir.

Dünyanın çeşitli yerlerinde yapılan çalışmalarla kıyaslandığında, Çizelge 5.6'ya göre, U-238 ortalama aktivite miktarlarından bazıları şunlardır; Cezayir Batı Körfezi $23.1 \pm 0.4 \text{ Bq/kg}$, Vizag-Hindistan Kıyısı $36 \pm 11 \text{ Bq/kg}$, Doğu Karadeniz $1.9 \pm 0.2 \text{ Bq/kg}$, Mısır Sitra Gölü $9.3 \pm 0.48 \text{ Bq/kg}$, Çoruh Nehri 11.3 Bq/kg , İzmir Körfezi Didim $12.58 \pm 3.83 \text{ Bq/kg}$. UNSCEAR 2000 raporlarına göre topraktaki U-238 dünya ortalaması ise 35 Bq/kg 'dir [22].

Th-232, primordiyal bir radyonüklid olup yarı ömrü 1.40×10^{10} yıldır. Pik yaptığı enerji değeri 583 keV, bolluğu %30.9'dur. İzmir Körfezi'nin dört farklı kıyısındaki değerleri 12.36 ± 0.45 - $40 \pm 0.78 \text{ Bq kg}^{-1}$ aralığında bulunmaktadır. Ortalama değeri 19.6 ± 0.51 'dir ve Th-232

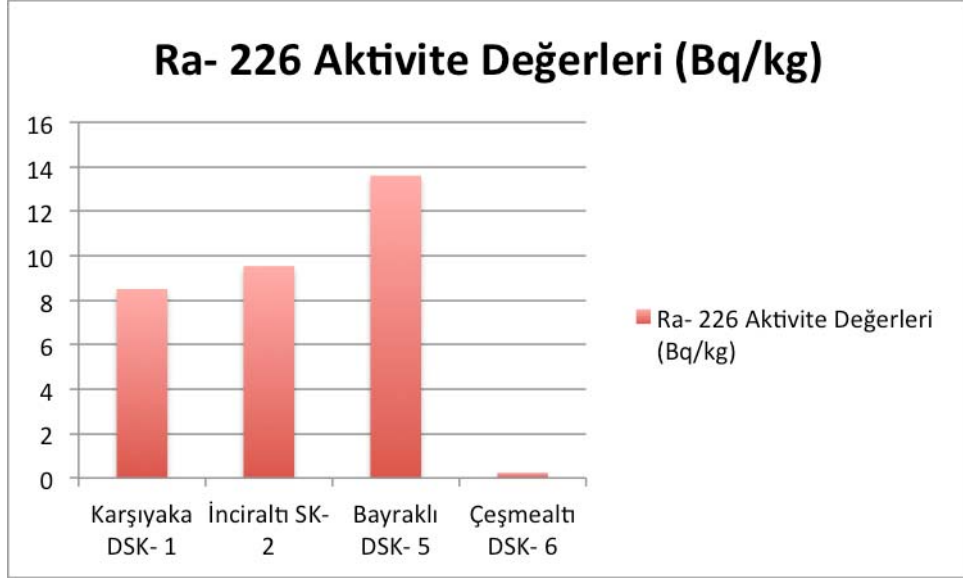
radyonüklidinin en yoğun olduğu lokasyon Çeşmealtı'dır (Şekil 5.3). Grafikte de görüldüğü üzere diğer kıyılardaki değerleri birbirine çok yakındır.



Şekil 5.3 İzmir Bölgesi Karşıyaka DSK-1, İnciraltı SK-2, Bayraklı DSK-5, Çeşmealtı DSK-6 Bölgelerinin Th-232 Dağılımları

Lokasyonlar ayrı ayrı ele alındığında sadece Çeşmealtı Th-232 radyoaktif konsantrasyonu yüksek çıkmıştır. Th-232, Çizelge 5.6 ile kıyaslandığında, Cezayir Batı Körfezi $29.7 \pm 1.2 \text{ Bq kg}^{-1}$, Vizag Kıyısı Hindistan $75 \pm 38 \text{ Bq kg}^{-1}$, Doğu Karadeniz Kıyısı $6.96 \pm 0.76 \text{ Bq kg}^{-1}$, Mısır Sitra Gölü $4.14 \pm 0.21 \text{ Bq kg}^{-1}$, Çoruh Nehri 18.8 Bq kg^{-1} , Kızıldeniz Kıyısı 31.4 Bq kg^{-1} ve İzmir Körfezi Didim $10.75 \pm 0.70 \text{ Bq kg}^{-1}$. UNSCEAR 2000 raporlarına göre dünya geneli toprakta tespit edilen ortalama Th-232 miktarı 30 Bq kg^{-1} 'dir [22]. Bu verilere göre Hindistan-Vizag Kıyısı'ndaki Th-232 değeri İzmir Körfezi'nden çok yüksektir. Bunun sebebi Hindistan'ın toryum yataklarına sahip en zengin ülkelerin başında gelmesi olabilir.

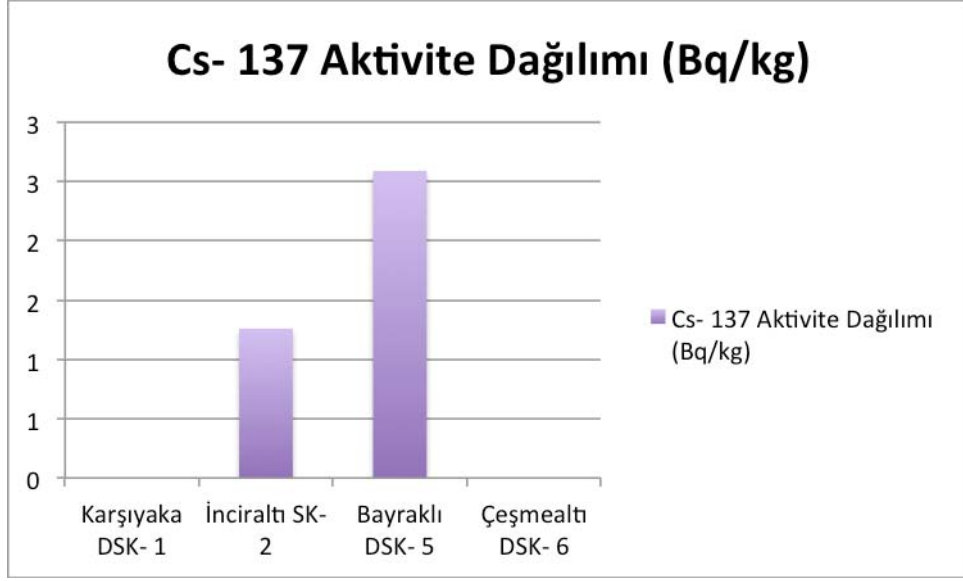
Ra-226, U-238 serisinin bir ürünü olup, yarı ömrü 1600 yıldır. Enerji spektrumu 185.7 keV ve bolluğu %3.3'dür. İzmir Körfezi'nde çalışılan kıyıların ortalama radyoaktivite konsantrasyonu $8 \pm 0.96 \text{ Bq kg}^{-1}$ olarak tespit edilmiştir. Aktivitelerin en düşük olduğu yer Çeşmealtı ve yüksek olduğu yer Bayraklı olup, değer aralığı $0.24 \pm 0.02 - 13.6 \pm 1.61 \text{ Bq kg}^{-1}$ 'dir (Şekil 5.4).



Şekil 5.4 İzmir Bölgesi Karşıyaka DSK-1, İnciraltı SK-2, Bayraklı DSK-5, Çeşmealtı DSK-6 Bölgelerinin Ra-226 Dağılımları

Çizelge 5.6'daki verilerine göre Ra-226 doğal gama aktivite değerleri şöyle sıralanabilir; Cezayir Batı Körfezi $106.5 \pm 30 \text{ Bq kg}^{-1}$, Hindistan Vizag Kıyısı $34 \pm 15 \text{ Bq kg}^{-1}$, Sarawak Doğu Malezya $30 \pm 2 \text{ Bq kg}^{-1}$, Cezayir Körfezi $15.8 \pm 1.88 \text{ Bq kg}^{-1}$, İzmir Körfezi Didim $10.75 \pm 0.70 \text{ Bq kg}^{-1}$. Aynı şekilde UNSCEAR 2000 raporlarına göre dünya geneli toprak ortalaması 35 Bq kg^{-1} 'dir [22]. Cezayir Batı Körfezi'ndeki Ra-226 değeri ortalamadan çok çok yüksektir. Çalışmada elde edilen Ra-226'nın gama konsantresi diğer bölgeler ile kıyaslandığında oldukça düşüktür ve buna ek olarak Didim'deki sonuçla da oldukça uyumludur.

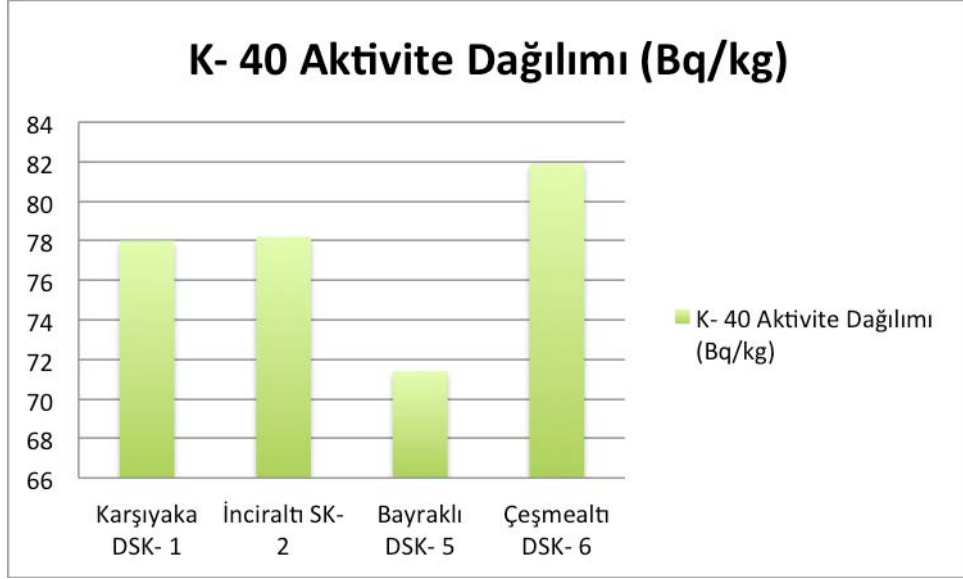
Cs-137, uranyum, toryum ve onların kız çekirdekleri, K-40 doğal radyonüklidi gibi doğada kendiliğinden var olan radyoaktif çekirdek olmayıp, insan eliyle oluşan yapay bir fisyon ürünüdür ve fiziksel yarı ömrü 30 yıldır. Cs-137, nükleer enerji alanında yapılan çalışmalar, atmosferik test, endüstriyel kaynaklar, su altı nükleer silah denemeleri vb. sonucu oluşur. Enerji spektrumu 661.6 keV'de bir piki vardır ve bolluğu %85.2'dir. Bu tezde, İzmir Körfezi'nde çalışılan dört bölgenin ortalama Cs-137 aktivite konsantrasyonu $1.93 \pm 0.3 \text{ Bq kg}^{-1}$ 'dir. Karşıyaka ve Çeşmealtı'nda herhangi bir Cs-137 radyoaktif çekirdeğine rastlanmamıştır, 'background' seviyesindedir. Diğer İnciraltı ve Bayraklı lokasyonlarında ise yok denecek kadar azdır (Şekil 5.5). Bu da incelenen bölgelerin oldukça temiz olduğunu herhangi bir nükleer test denemeleri veya buna benzer çalışmaların yapılmadığını gösterir.



Şekil 5.5 İzmir Bölgesi Karşıyaka DSK-1, İnciraltı SK-2, Bayraklı DSK-5, Çeşmealtı DSK-6 Bölgelerinin Cs-137 Dağılımları

Çizelge 5.6' göre Cezayir Batı Körfezi 8 Bq kg^{-1} , Doğu Karadeniz'de 72.94 Bq kg^{-1} , Çoruh Nehri'nde 14.4 Bq kg^{-1} olarak raporlanmıştır. Cs-137 aktivite değeri yükseklik ve yağış düzenine bağlı olarak değişir. Referans gösterilen bölgelerde Cs-137 oldukça büyüktür özellikle Çernobil reaktör kazasına yakın bir tarihte yapılan Doğu Karadeniz çalışması (1995), o noktada kaza ile ilgili serpintilerin varlığını gösterir. Buna benzer 2014 yılında yapılan Çoruh Nehri çalışması, Fukuşima'nın etkilerine dair bilgi verebilir. Ancak yukarıda değinildiği gibi bu tez çalışmasında incelenen bölgelerde herhangi Çernobil ya da Fukuşima nükleer santral kazası etkisinde kalacak serpintilere rastlanmamıştır.

K-40, toprakta doğal olarak var olan radyoaktif çekirdektir. Yarı ömrü 1.28×10^9 yıldır, enerji piki 1460.8 keV olup bolluğu %10.7'dir. Toprakta bol miktarda bulunduğundan doğal gama radyasyonuna en büyük katkı K-40'dan gelir. Bu çalışmada da elde edilen sonuçlar incelendiğinde, en yüksek değerler K-40'dan oluşur. Çünkü potasyum, bitki besleme ve toprak verimliliği açısından metabolik, fizyolojik ve biyokimyasal yönden hayati önem taşıdığından tarımda yoğun bir şekilde kullanılır. İncelenilen bölgeler İzmir Körfezi kıyılarında bulunması sebebiyle tarımda aktif olarak kullanılmaktadır ve buradan deniz suyuna karışması muhtemeldir. K-40 aktivite değerleri 78 ± 1.03 - $81.9 \pm 1.08 \text{ Bq kg}^{-1}$ aralığında değişmektedir ve dört bölgenin ortalama değeri $77.38 \pm 0.96 \text{ Bq kg}^{-1}$ 'dir.



Şekil 5.6 İzmir Bölgesi Karşıyaka DSK-1, İnciraltı SK-2, Bayraklı DSK-5, Çeşmealtı DSK-6 Bölgelerinin K-40 Dağılımları

K-40 diğer yapılan çalışmalarla kıyaslanırsa; Cezayir Batı Körfezi 471.6 ± 90 Bq kg⁻¹, Hindistan Vizag Kıyısı 782 ± 223 Bq kg⁻¹, Sarawak Doğu Malezya 462 ± 59 Bq kg⁻¹, Doğu Karadeniz 420 ± 9.5 Bq kg⁻¹, Cezayir Körfezi 374 ± 39.5 Bq kg⁻¹, Çoruh Nehri 505.6 Bq kg⁻¹, İzmir Körfezi Didim 422.63 ± 20.21 Bq kg⁻¹ ve Kızıldeniz Kıyısı 427.5 Bq kg⁻¹ olarak raporlanmıştır. Belirtilen tespitlere göre çalışmada elde edilen 77.38 ± 0.96 Bq kg⁻¹ ortalama K-40 aktivitesi oldukça düşüktür. UNSCEAR 2000 raporlarına göre bu sonuç da dünya ortalamasının oldukça altında kalmaktadır.

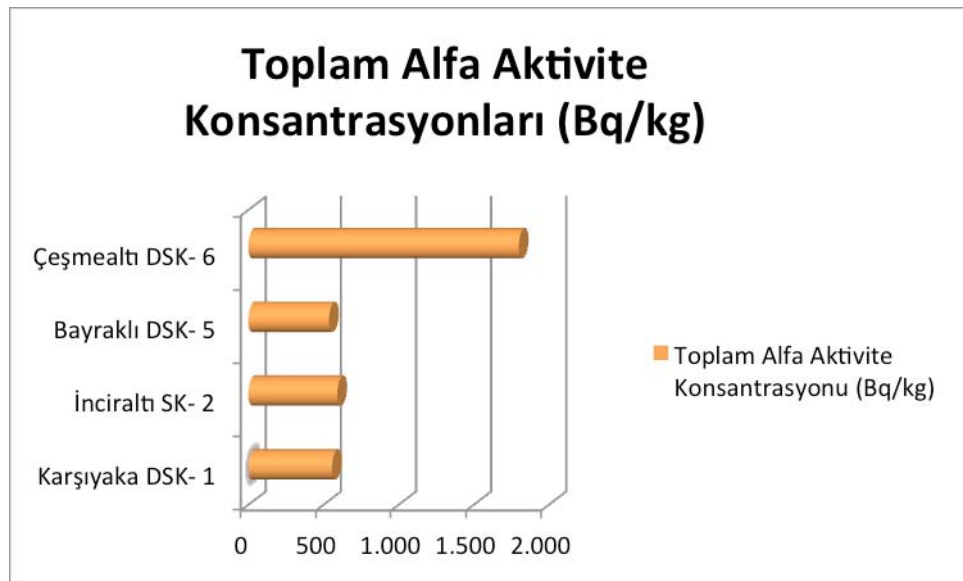
5.2 İzmir Körfezi Sedimentlerinin Toplam Alfa-Beta Radyoaktivite Miktarlarının Değerlendirilmesi

İzmir Körfezi, Karşıyaka, İnciraltı, Bayraklı, Çeşmealtı'ndan alınan karot dip çamuru örneklerinin toplam alfa ve toplam beta aktivite değerleri LB-770 model on kanallı düşük seviyeli gaz akışlı sayacı ile Bq/kg biriminde tespit edilmiştir. Elde edilen değerler Çizelge 5.7'de verilmiştir.

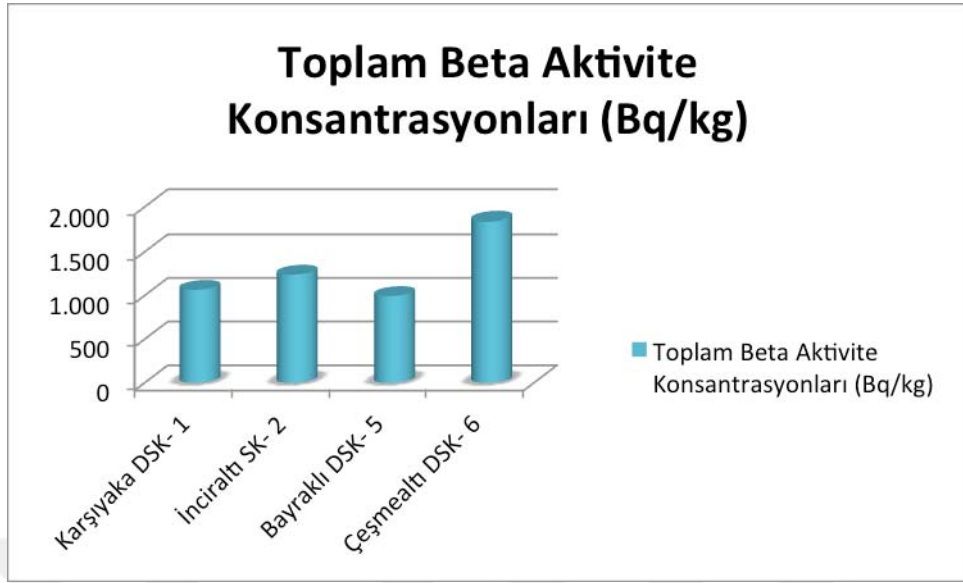
Çizelge 5.7 Toplam alfa ve toplam beta miktarları

Numune İsmi	Alfa (Bq/kg)	MDA (Bq/kg)	Beta (Bq/kg)	MDA (Bq/kg)
Karşıyaka DSK-1	0.50 ± 0.052	0.06	3.05 ± 0.14	0.22
İnciraltı SK-2	0.50 ± 0.052	0.06	3.36 ± 0.18	0.40
Bayraklı DSK-5	0.49 ± 0.05	0.06	3.02 ± 0.15	0.24
Çeşmealtı DSK-6	1.6 ± 0.10	0.05	5.20 ± 0.19	0.24

Çizelge 5.7’de görüldüğü gibi, karot örneklerinin toplam alfa radyoaktivite konsantrasyonları 0.49 ± 0.05 Bq/kg ile 1.6 ± 0.10 Bq/kg aralığında değişiklik gösterirken, toplam beta seviyeleri 3.02 ± 0.15 Bq/kg ile 5.20 ± 0.19 Bq/kg aralığındadır. En yüksek toplam alfa radyoaktivite miktarı Çeşmealtı’nda (4.5-5 m) tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra diğer bölgelerdeki toplam alfalar hemen hemen birbiriyle aynı konsantrelere sahiptir (Şekil 5.7). En düşük toplam beta miktarı Bayraklı’da (10-12 m) gözlenirken (Şekil 5.8), en yüksek toplam beta konsantrasyonu yine Çeşmealtı’nda elde edilmiştir.



Şekil 5.7 Toplam alfa aktivite miktarlarının dağılımı



Şekil 5.8 Toplam beta aktivite miktarlarının dağılımı

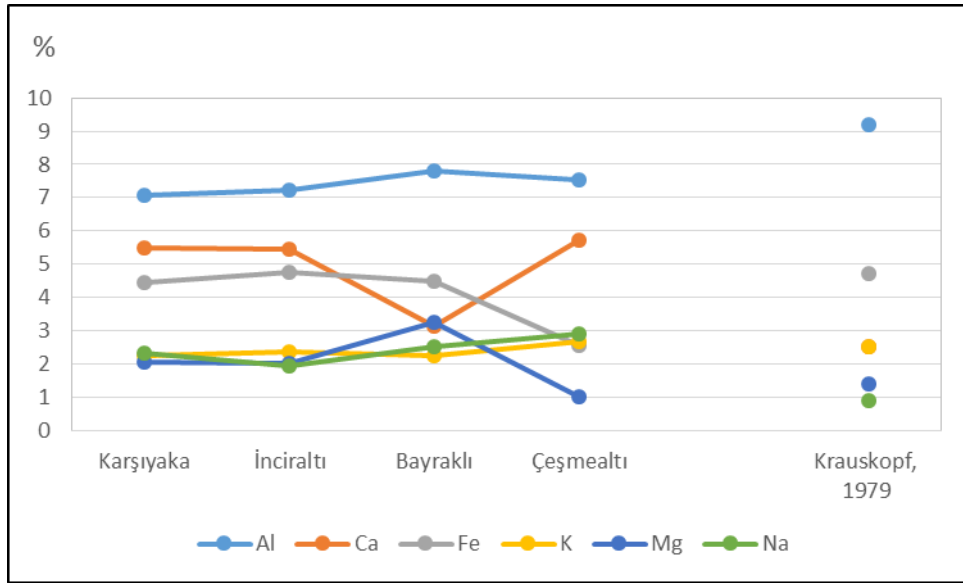
5.3 İzmir Körfezi Sedimentlerinde Elementel Analizlerin Değerlendirilmesi

İzmir Körfezi'nden alınan karot sedimentlerinin hem radyoaktif hem de kimyasal parametrelerle kirliliği araştırılmıştır. Örneklerin ağır metal analizleri ICP-OES yöntemi ile tespit edilmiştir. Aşağıdaki Çizelge 5.8'de elde edilen sonuçların ölçüm limitleriyle birlikte değerleri verilmektedir.

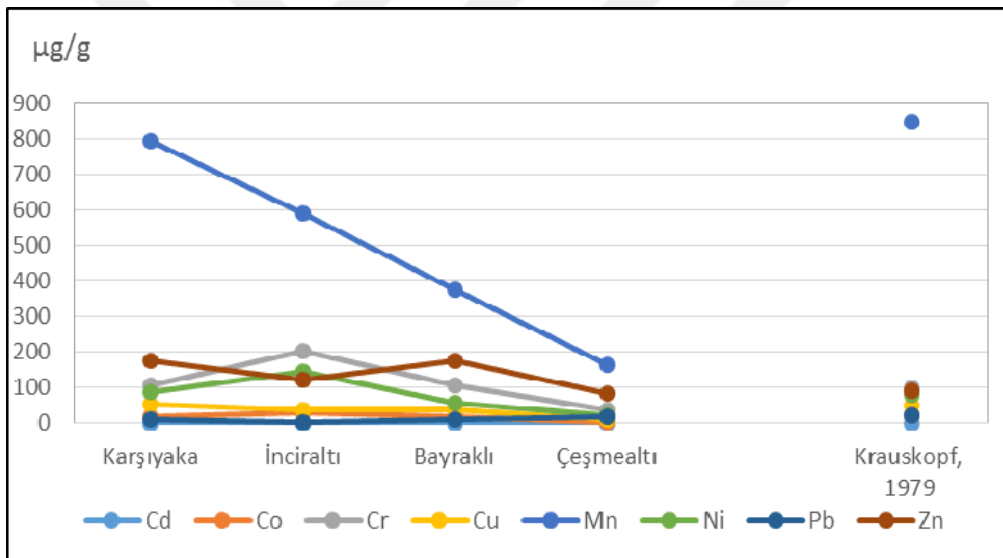
Çizelge 5.8 İzmir Körfezi Sediment Örneklerinde, ICP-OES Element Analiz Sonuçları

Analit	Birim	Analiz Sonucu : $\mu = X_{\text{ort}} \pm 2 \text{ Stand.Sap.}$				Ölçüm Limiti (*Ö.L.)	
		Karşıyaka (DSK-1)	İnciraltı (SK-2)	Bayraklı (DSK-5)	Çeşmealtı (DSK-6)	$\mu\text{g/L}$	$\mu\text{g/g}$
Ag	$\mu\text{g/g}$	$0,391 \pm 0,067$	< Ö.L.	$0,371 \pm 0,020$	$0,714 \pm 0,054$	0,552	0,091
Al	%	$7,06 \pm 0,41$	$7,23 \pm 0,21$	$7,79 \pm 0,17$	$7,53 \pm 0,20$	1,82	0,3
Ba	$\mu\text{g/g}$	$446,0 \pm 2,62$	$362,7 \pm 11,0$	$749,7 \pm 16,8$	$222,2 \pm 2,3$	0,4	0,066
Ca	%	$5,47 \pm 0,08$	$5,45 \pm 0,10$	$3,13 \pm 0,04$	$5,73 \pm 0,04$	4,7	0,775
Cd	$\mu\text{g/g}$	< Ö.L.	< Ö.L.	< Ö.L.	< Ö.L.	0,584	0,096
Co	$\mu\text{g/g}$	$16,17 \pm 0,27$	$20,62 \pm 0,04$	$16,34 \pm 0,18$	$3,448 \pm 0,046$	0,808	0,133
Cr	$\mu\text{g/g}$	$104,9 \pm 1,9$	$203,8 \pm 0,8$	$106,7 \pm 0,6$	$36,07 \pm 0,26$	1,54	0,254
Cu	$\mu\text{g/g}$	$51,55 \pm 0,75$	$35,46 \pm 0,41$	$37,65 \pm 0,35$	$11,52 \pm 0,60$	0,761	0,125
Fe	%	$4,45 \pm 0,16$	$4,75 \pm 0,01$	$4,48 \pm 0,05$	$2,54 \pm 0,07$	0,297	0,049
K	%	$2,23 \pm 0,09$	$2,37 \pm 0,08$	$2,26 \pm 0,03$	$2,66 \pm 0,06$	32,3	5,32
Li	$\mu\text{g/g}$	$104,0 \pm 0,9$	$109,9 \pm 3,8$	$67,44 \pm 2,96$	$120,5 \pm 2,8$	2,36	0,388
Mg	%	$2,05 \pm 0,07$	$2,02 \pm 0,05$	$3,23 \pm 0,05$	$0,996 \pm 0,018$	10,5	1,73
Mn	$\mu\text{g/g}$	$795,9 \pm 19,9$	$590,0 \pm 6,6$	$376,4 \pm 2,9$	$163,4 \pm 1,2$	1,23	0,202
Na	%	$2,32 \pm 0,06$	$1,92 \pm 0,03$	$2,50 \pm 0,11$	$2,90 \pm 0,04$	42,6	7,02
Ni	$\mu\text{g/g}$	$85,78 \pm 0,73$	$143,8 \pm 2,1$	$56,12 \pm 0,81$	$20,45 \pm 0,17$	2,05	0,339
Pb	$\mu\text{g/g}$	$10,53 \pm 0,44$	$3,685 \pm 0,558$	$11,30 \pm 0,54$	$18,72 \pm 0,57$	5,79	0,955
Sr	$\mu\text{g/g}$	$342,6 \pm 11,1$	$270,8 \pm 3,6$	$268,8 \pm 6,5$	$202,5 \pm 3,5$	0,2	0,033
Th	$\mu\text{g/g}$	$41,33 \pm 1,95$	$39,39 \pm 2,44$	$43,06 \pm 1,22$	$70,29 \pm 0,53$	5,72	0,943
Ti	%	$0,338 \pm 0,010$	$0,413 \pm 0,010$	$0,425 \pm 0,006$	$0,204 \pm 0,006$	0,807	0,133
U	$\mu\text{g/g}$	< Ö.L.	< Ö.L.	< Ö.L.	< Ö.L.	3,75	0,618
V	$\mu\text{g/g}$	$105,1 \pm 1,8$	$116,6 \pm 2,0$	$109,9 \pm 0,9$	$32,18 \pm 0,10$	2,76	0,455
Zn	$\mu\text{g/g}$	$176,8 \pm 1,9$	$123,2 \pm 1,1$	$177,2 \pm 1,3$	$83,33 \pm 1,18$	0,66	0,109

* Ö.L. ($\mu\text{g/L}$) = $10 \times \text{Std.Sap.} + C_b$ (N=10) $\rightarrow$ Ö.L. ($\mu\text{g/g}$) = Ö.L. ($\mu\text{g/L}$) $\times L/1000 \text{ mL} \times V_{\text{çöz.}}(\text{mL})/m_{\text{ort}}(\text{gr})$



Şekil 5.9 Al, Ca, Fe, K, Mg ve Na elementlerinin bölgesel dağılımı

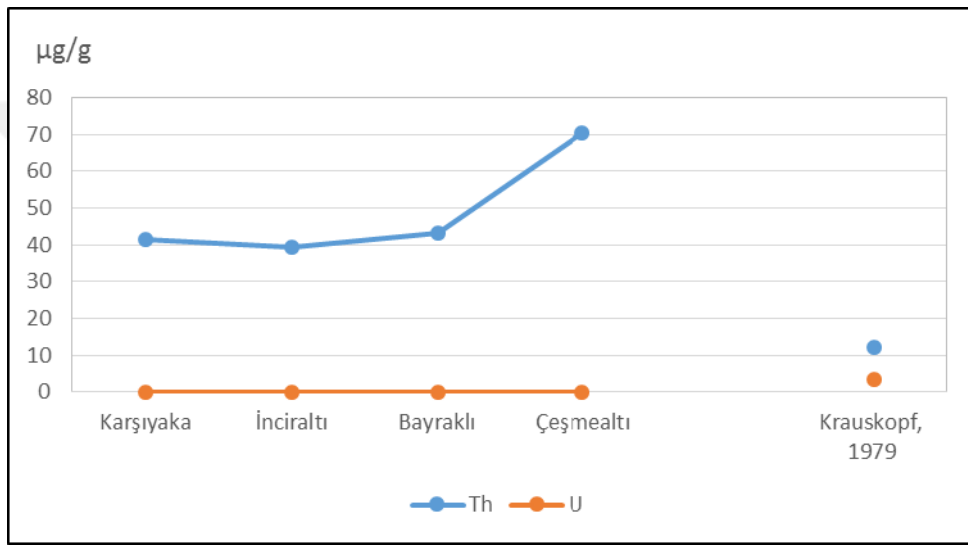


Şekil 5.10 Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb ve Zn ağır metallerinin incelenen bölgelere göre dağılımı

Ağır metaller Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb ve Zn $\mu\text{g/g}$ olarak örnekleme noktalarında birbirine paralel artış ve azalış eğilimindedir (Şekil 5.10). Cd, Mn ve Pb değerleri tüm örneklerde referans değerinden (Krauskopf 1979) düşük bulunmuştur. Ancak Pb değeri sadece Çeşmealtı'nda referans değerine benzerdir. İnciraltı'nda Co ve Ni yüksek iken, Karşıyaka da Ni ve Cu yüksek tespit edilmiştir. Cr ve Zn sadece Çeşmealtı'nda düşüktür. Sonuç olarak, Karşıyaka'da Cr, Cu, Ni ve Zn; İnciraltı'nda Co, Cr, Ni ve Zn; Bayraklı'da ise Cu ve Zn yüksektir. Çeşmealtı örneğinde tüm elementler düşük bulunmuştur.

Çizelge 5.9'a göre Karadeniz'deki çalışma sonuçları İzmir Körfezi ile kıyaslandığında, Cd dışındaki tüm ağır metaller (Co, Cr, Cu, Ni, Pb ve Zn) elde edilen değerlerin altındadır. İzmir Körfezi ve Didim'de 2007 yılında yapılan çalışma ile tez sonuçları karşılaştırıldığında ise en çarpıcı farkın Cr, Ni ve Zn'da olduğu görülmektedir. Özellikle Marmara Deniz'inde yapılmış çalışmaya bakıldığında tüm değerlerin İzmir Körfezi'nden yüksek olduğu görülür.

Aşağıdaki Şekil 5.11'de, diğer ağır metallerden farklı olarak radyoaktif elementler U ve Th incelenmiştir. Buna göre U değeri ölçüm limiti altında kalmış olup, Th Krauskopf (1979)'a göre referans değerinin üzerinde seyretmektedir.



Şekil 5.11 U ve Th'nin bölgelere göre dağılımı

Çizelge 5.9 İzmir Körfezi'nde elde edilen sonuçların Türkiye ve dünyanın farklı yerlerinde yapılan çalışmalarla kıyaslanması

Sediment Lokasyonları	Al (%)	Cd (µg/g)	Co (µg/g)	Cr (µg/g)	Cu (µg/g)	Ni (µg/g)	Pb (µg/g)	Zn (µg/g)	Ref.
İzmir Körfezi	7.06-7.79	<Ö.L.	3.45-20.62	36.07-203.8	11.52-51.55	20.45-143.8	3.685-18.72	83.33-177.2	Bu çalışma
Karadeniz	-	<0.2-6.41	<0.05-3.97	<0.06-7.76	7.33-12.74	7.85-10.66	<0.5	44.26-122.9	[90]
Bohai Denizi	-	0.04-0.84	<Ö.L.	-	7.20-44	<Ö.L.	5.90-97.0	56.3-309	[91]
Marmara Denizi	3.26-8.58	-	-	49-1099	20-113	41-293	16-153	54-4716	[92]
İzmir Körfezi, Didim	-	<Ö.L.	9-65	9-65	3-38	3-33	<Ö.L.-16	3-85	[38]
Sakarya Nehri	-	<Ö.L.	-	1.180-15.110	1.040-8.00	2.550-25.380	0.460-4.66	1.780-16.160	[93]
Krauskopf (1979)	9.2	0.3	20	100	50	80	20	90	[94]

5.4 Sonuçlar

Sonuç olarak bu çalışmada incelenen sedimentlerin U-238, Th-232, Ra-226, K-40 ve Cs-137 radyonüklid dağılımları, ortamda radyoaktif kirlilik oluşturacak değerlerin olmadığını göstermektedir. Aynı şekilde yapılan ağır metal analizleri sonucu herhangi bir risk oluşturacak değerler saptanmamıştır. Ancak, bu çalışma İzmir Körfezi'nin tüm kirliliğini yansıtacak kadar yeterli değildir. Bu yüzden, gelecek için yapılacak daha kapsamlı kirlilik çalışmaları adına güvenilir bir arka plan oluşturacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] The Research Council of Norway, (2003). "Naturally occurring radionuclides in the marine environment – an overview of current knowledge with emphasis the North Sea area", No: ND/E- 19/03, Norway.
- [2] Bergin, F., Küçüksezgin F., Uluturhan, E., Barut, I.F., Meriç, E., Avşar, N. ve Nazik, a., (2006). "The response of benthic foraminifera and ostracoda to heavy metal pollution in Gulf of Izmir (Eastern Aegean Sea)", Estuarine, Coastal and Shelf Science, 66(3-4): 368- 386.
- [3] IAEA, (2004). "Radiation, People and Environment", No: IAEA/PI/A.75/ 04-00391, pp.2, Austria.
- [4] Radyasyon, http://www.taek.gov.tr/ogrenci/bolum4_03.html 10 Aralık 2015.
- [5] Fizik. Net. Tr, Radyoaktivite, <http://www.fizik.net.tr/site/radyoaktivite/>, 5 Şubat 2016.
- [6] EAS 6145, Lecture 2, http://irina.eas.gatech.edu/EAS_Fall2008/Lecture1.pdf, 9 Aralık 2015.
- [7] Elektromanyetik ışın, <http://neolaki.net/ney/Elektromanyetik-%C4%B1%C5%9F%C4%B1n-1.htmlradiation/>, 28 Kasım 2015.
- [8] Canadian Nuclear Safety Commission, (2012). "Introduction to Radiation", No: CC172-93/2012E-PDF, Canada.
- [9] Mirion Technologies, Types of Ionizing Radiation, www.mirion.com/introduction-to-radiation-safety/types-of-ionizing-radiation/, 28 Kasım 2015.
- [10] Wikipedia, Ionizing Radiation, https://en.wikipedia.org/wiki/Ionizing_radiation, 10 Ocak 2016.
- [11] Lawson, R., (1999). "An Introduction to Radioactivity", Manchester, England.

- [12] Güneşin Elektromanyetik Spektrumu, <http://www.mgm.gov.tr/FILES/arastirma/ozonuv/gunesspectrumu.pdf>, 15 Ocak 2016.
- [13] Albayrak, N., (2011). Kırıkkale’de Doğal Radyasyon Kaynaklarının Belirlenmesi ve Gama Doz Oranlarının Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [14] Cember, H. ve Johnson, E. T., (2009). Intorduction to Health Physics, Fourth Edition, Mc Graw Hill Medical, USA.
- [15] Martin, A. ve Harbison, A. S., (1996). An Introduction to Radiation Protection, Fourth Edition, Springer- Science + Business Media, B.V., London, UK.
- [16] Sumner, D., Hu, H., ve Woodward, A., (2000). “Science for Democratic Action”, IEER Press, 8: 4.
- [17] Washingtons Blog, Scientific Experiment By Top Laboratory Shows that Cosmic Rays Affect Cloud Formation, Which In Turn Affects Climate, https://www.google.com.tr/search?q=cosmic+radiation&espv=2&biw=449&bih=460&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwi56qXguu3KAhVhEpoKHW4pAnEQAUlBygC#imgsrc=4M_EwxtAP3NAM%3A, 10 Ocak 2016.
- [18] Kam, E., (2004). Tekirdağ’ın Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Tayini, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [19] Arıkan, İ. H. Ve Uslu, İ., (2003). “Radyasyon kaynakları, radon ve sigaradaki radyoaktivite”, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, Ankara.
- [20] Atakan, Y. (2007). “Radon kaplıcalarında alınan radyasyon dozları ve kanser riski”, Tubitak Bilim ve Teknik, Mayıs 2007, 28-32.
- [21] Simon, S. L. ve Bouville, A. (2002). “Radiation döşe to local populations near nuclear test sites world-wide”, Health Phys. 82: 706-725.
- [22] UNSCEAR, (2000). Report Vol. I, “Sources and Effects of Ionizing Radiation,” Annex D: Medical Radiation Exposures, pp.100.
- [23] New York Times, Introduction and Radiation Article, <http://mitnse.com/2011/03/16/radiation-introduction-and-radiation-status-for-fukushima/>, 15 Aralık 2015.
- [24] Cember, H. ve Johnson, E. T., (2009). Intorduction to Health Physics, Fourth Edition, Mc Graw Hill Medical, pp. 100.
- [25] UNSCEAR, (2008). “Sources and Effects of Ionizing Radiation”, Report to the General Assembly with Scientific Annexes, United Nations, New York.
- [26] UNSCEAR, (1993). “United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Annex E: Medical radiation exposures”, In Sources and Effects of Ionizing Radiation, p. 249, New York, UN.
- [27] IAEA, (1982). “Generic models and parameters for assessing the environmental transfer of radionuclides from routine releases”, Exposure of Critical Groups, Safety Series, No. 57.

- [28] International Atomic Energy Agency, (2002). "Postgraduate Educational Course in Radiation Protection and the Safety of Radiation Sources (PGEC)", Training Course Series 18, IAEA, Vienna.
- [29] Eisenbud, M., ve Gesell, T., (1987). "Environmental Radioactivity", Fourth Edition, Elsevier, San Diego, pp. 83- 133.
- [30] International Atomic Energy Agency, (2002). "Postgraduate Educational Course in Radiation Protection and the Safety of Radiation Sources (PGEC)", Training Course Series 18, IAEA, Vienna.
- [31] Rogers, A.S., (1958). "Physical behavior and geologic control of radon in mountain streams", U.S. Geology Bulletin, 1052-E.
- [32] SAMUEL, L.D., (1964). "A Study of Environmental Exposure to Radium in Drinking Water", The Natural Radiation Environment, p.239.
- [33] IAEA (1982). "Generic models and parameters for assessing the environmental transfer of radionuclides from routine releases", Exposure of Critical Groups, Safety Series, No. 57.
- [34] ICRP PUBLICATION 119, (2012). "Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60", page 59.
- [35] Aközcan, S., (2009). "Didim ve İzmir Körfezi Sediment, Deniz Suyu ve Farklı Deniz Organizmalarında Bazı Radyonüklid ve Ağır Metal Düzeylerinin İzlenmesi", Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, pp. 28.
- [36] Canadian Nuclear Safety Commission (2012). "Introduction to Radiation", No: CC172-93/2012E-PDF: 11, Canada.
- [37] Bhattarai, S., (2006). "Spatial Distribution of Heavy Metals in Louisiana Sediments and Study of Factors Impacting the Concentration", University of Punjab, pp. 2.
- [38] Kathren, R.L., (1984). "Radioactivity in the Environment, Sources, Distribution, Surveillance", Harwood Academic Publisher.
- [39] Fuller, C. C., Van G., Baskaran A., Anima M., (1999). "Sediment chronology in San Francisco Bay California, defined by Pb-234, Th-234, Cs-137, and Pu-239-240." Mar. Chem. 64, 7-27.
- [40] Libes, S. (2009). "Introduction to marine biogeochemistry", (2nd ed.). USA: Academic Press
- [41] Balcı, A. ve Türkoğlu, M. (1993). "Heavy metals in sediments from Izmir Bay", Marine Pollution Bulletin, 26-2, 106-107.
- [42] Shetty, P. K., ve Narayana, Y. (2010). "Variation of radiation level and radionuclides enrichment in high background area", Journal of Environmental Radioactivity, 101, 1043e1047.
- [43] Isinkaye, M.O., ve Emelue, H. U., (2015). "Natural radioactivity measurements and evaluation of radiological hazards in sediment of Oguta Lake, South East Nigeria", Journal of Radiation Research and Applied Sciences, Vol. 8, Issue 3, pp. 459- 469.

- [44] Nouredine, A., Benkrid, M., Hammadi, A., Boudjenoun, R., Menacer, M., Khaber, A., ve Kecir, M. S., (2003). "Radioactivity Distribution In Surface And Core Sediment Of The Central Part Of The Algerian Coast: An Estimation Of The Recent Sedimentation Rate- Mediterranean", Marine Science Vol. 4/2, 2003, 53-58.
- [45] Axtmann, E.V., ve Luoma, S.N., (1991). "Large-scale distribution of metal contamination in the fine-grained sediments of the Clark Fork River", Montana, U.S.A. Applied Geochemistry, 6: 75- 88.
- [46] Ulutaş, O. K., (2007). "Aliğa Körfezi'ndeki deniz kirliliğinin bölge Kefal balıklarında kirliliğin biyogöstergesi olan karaciğer Erod enzim aktivitesi ve balıktaki çeşitli metal düzeyleri ile belirlenmesi", Gazi Üniv., Sağlık Bilimleri Ens., Farmasötik Toksikoloji Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- [47] Tam, NF. ve Wong YS., (2000). "Spatial variation of heavy metals in surface sediments of Hong Kong mangrove swamps", Environmental Pollution, 2000, 110: 195-205.
- [48] Fu, L. Ve Wang, Y-G., (2011). "Nonparametric rank regression for analyzing water quality concentration data with multiple detection limits", Environmental Science & Technology, 45: 1481–1489. Doi: 10.1021/es101304h.
- [49] Hosono, T., ve diğerleri, (2011). "Decline in heavy metal contamination in marine sediments in Jakarta Bay, Indonesia due to increasing environmental regulations", Estuar. Coast. Shelf Sci. 92, 297–306.
- [50] Dora, Ç. E., (2005). İzmir Körfezi'nde Bazı Poliket Türleri ile Bunların Yaşadığı Sedimentte Ağır Metal Düzeylerinin Araştırılması, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, pp. 6.
- [51] Dean, R.G. ve Dalrymple, R. A., (2001). Coastal Processes, Cambridge: Cambridge University Press, pp.486.
- [52] John H. Duffus, Howard G.J. Worth, "Fundamental toxicology for chemists", Cambridge, UK : Royal Society of Chemistry Information Services, c1996.
- [53] Connell, D.W., (2005). Basic Concepts of Environmental Chemistry, (2nd ed.), USA: Taylor-Francis Group.
- [54] Ünsal, M., Çağatay, N. Bekiroğlu, Y., Kıraltı, N., Alemdağ, N., Aktaş, M. Ve sarı, E. 2008. Karadeniz'de ağır metal kirliliği.
- [55] T. C. Resmi Gazete: 31.05.2005 tarih, 25831 sayı
- [56] Balcı, A. ve Türkoğlu, M. (1993). "Heavy metals in sediments from Izmir Bay", Marine Pollution Bulletin, 26(2): 106-107.
- [57] Batkı, H., (1995). "Ege Denizi kıyılarındaki sediment ve organizmada (*Mullus barbatus*) ağır metal dağılımı", Dokuz Eylül Üniv., Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- [58] Ketin, T., (1966) : Anadolu'nun tektonik birlikleri. M.T.A. Derg., 66: 20-34, Ankara.
- [59] Şengör, A.M.C. Yılmaz, Y. (1981). "Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach", Tectonophysics , 75: 181-241.

- [60] Okay, A.I., Satır, M., Maluski, H., Siyako, M., Monie, P., Metzger, R. & Akyüz S., (1996). "Paleo- and Neo-Tethyan events in northwest Turkey: geological and geochronological constraints. *in* Tectonics of Asia", Cambridge University Press, 420-441.
- [61] Akyüz, H.S. ve Okay, A.I., (1998). "Manyas güneyinin (Balıkesir) jeolojisi ve mavişistlerin tektonik konumu", *M.T.A. Dergisi*, 120: 105-120.
- [62] Emre, Ö., Özalp, S., Doğan, A., Özaksoy, V., Yıldırım, C. ve Göktaş, F., (2005). "İzmir yakın çevresinin diri fayları ve deprem potansiyelleri", MTA Rapor No: 10754 (yayınlanmamış)Erdoğan, 1990.
- [63] Okay, A.I. & Altınır, D., (2007). "A condensed Mesozoic section in the Bornova Flysch Zone: A fragment of the Anatolide-Tauride carbonate platform", *Turkish Journal of Earth Sciences*, 16: 257-279.
- [64] Seyitoğlu, G. and Scott, B.C., (1991). "Late Cenozoic crustal extension basin formation in west Turkey", *Geological Magazine*, 128: 155-166
- [65] Seyitoğlu, G and Scott, B.C., (1992). "The age of the Büyük Menderes Graben (West Turkey) and its tectonic implications", *Geological Magazine*, 129: 239-242.
- [66] Lengeranlı, Y. ve diğerleri, (1998). "İzmir ilinin çevre jeolojisi ve doğal kaynakları raporu", MTA Genel Müdürlüğü Derleme Rapor No: 10137: 271.
- [67] Yılmaz, Y., (1997). "Geology of Western Anatolia in Active tectonics of NW Anatolia - The Marmara poly-project, eds Schindler and Pfister", VDF, ETH Zurich, 31-54.
- [68] Okay, A., Siyako, M., Birkan, K., (1991). "Geology and evolution of the Biga Peninsula, Northwest Turkey", *Bulletin of the Technical University, İstanbul*, 44: 155-219.
- [69] Kaya, O., (1981). "Miocene reference section for the coastal parts of west Anatolia", *Newslettewr Startigr.*, 10: 164-191.
- [70] TAEK, Çevre Radyoaktivitesinin İzlenmesinde Örnekleme, Ölçüm ve Analiz Yöntemleri, pp.8.
- [71] Bozkurt A., Yorulmaz N., Kam E., Karahan G. ve Osmanlioglu A. E., "Assessment of Environmental Radioactivity for Şanlıurfa Region of Southeastern Turkey," *Radiation Measurements* Vol 42, Issue 8 (2007), pp. 1387- 1391.
- [72] Tsoulfanidis, N., (1983). "Measurement and Detection of Radiation, McGraw- Hill Company, NY, USA
- [73] Solmaz, A. N.,(2008). "Düşük Seviyeli Radyoaktivite Ölçümü için Kuyu-Tipi Ge Dedektörlü Bir Gama Spektrometresinin 40- 2000 keV Enerji Aralığında Verim Kalibrasyonunun Yapılması", *Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara*, pp. 14.
- [74] Environmental Measurements Laboratory U.S. Department of Energy, (1997). *Radiation Measurements, HASL- 300, Section 3, Vol. 1, 28th Edition.*
- [75] Experimental Technique, Gamma Ray detection System, http://www-np.uci.ac.cy/radio_isotopes/wwwen/gamma/gamma_setup.html, 10 Nisan 2016.

- [76] Nouredine A. & Baggoura B., (1997). "Plutonium Isotopes, ^{137}Cs , ^{60}Co and Natural Radioactivity in Marine Sediments from Ghazaouet", J. Environ. Radioactivity, 34(2): 127- 138, Algeria.
- [77] NAS (National Academy of Sciences) (1971). In Radioactivity in the Marine Environment. National Academy of Sciences, Washington, DC, 272 pp.
- [78] Tripathi, R. M. Ve diğerleri, (2013). "Natural radioactivity in surface marine sediments near the shore of Vizag, South East India and associated radiological risk", J Radiological Nucl Chem, 295: 1829-1835, Hungary.
- [79] Yii, M. W., Zaharudin, A. Ve Abdul-Kadir, I., (2009). "Distribution of naturally occurring radionuclides activity concentration in East Malaysian marine sediment", Applied Radiation and isotopes 67: 30-635, Malaysia.
- [80] Ravisankar, R., Sivakumar, S., Chandrasekaran A., Jebakumar, P.B., Vijayalakshmi I., Vijayagopal P., Venkatraman B., (2014). "Spatial distribution of gamma radioactivity levels and radiological hazard indices in the East Coastal sediments of Tamilnadu, India with statistical approach", Radiation Physics and Chemistry 103: 89-98, India.
- [81] Varinlioglu, A., et al. (1995). "Levels of Natural and Artificial Radioactivity in Sediments in the Eastern Black-Sea of Turkey." Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry-Letters 201(1): 31-37.
- [82] Benamar, M. A., et al. (1997). "Natural and artificial radioactivity levels in sediments in Algiers bay." Applied Radiation and Isotopes 48(8): 1161-1164.
- [83] El-Bahi, S. M. (2003). "Radioactivity levels of salt for natural sediments in the northwestern desert and local markets in Egypt." Applied Radiation and Isotopes 58(1): 143-148.
- [84] Kobya, Y., et al. (2015). "Natural and artificial radioactivity assessment of dam lakes sediments in Coruh River, Turkey." Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry 303(1): 287-295.
- [85] Akozcan, S. (2012). "Distribution of natural radionuclide concentrations in sediment samples in Didim and Izmir Bay (Aegean Sea-Turkey)." Journal of Environmental Radioactivity 112: 60-63.
- [86] Kaya, O., (1979). "Ortadoğu Ege Çöküntüsünün (Neojen) Stratigrafisi ve Tekniği", Türkiye Jeol. Kur. Bült., 22: 35-58.
- [87] Krauskopf, K. (1979). Introduction to Geochemistry, New York: McGraw-Hill Book Co.
- [88] Topcuoglu, S., et al. (2002). "Heavy metals in organisms and sediments from Turkish Coast of the Black Sea, 1997-1998." Environment International 27(7): 521-526.
- [89] Liu, M., et al. (2015). "The environment quality of heavy metals in sediments from the central Bohai Sea." Marine Pollution Bulletin 100(1): 534-543.
- [90] Sari, E. (2008). "Sources and Distribution of Heavy Metals in River Sediments from the Southern Drainage Basin of the Sea of Marmara, Turkey." Fresenius Environmental Bulletin 17(12a): 2007-2019.

- [91] Dundar, M. S. and H. Altundag (2007). "Investigation of heavy metal contaminations in the lower Sakarya river water and sediments." Environmental Monitoring and Assessment **128**(1-3): 177-181.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Dilek KURT
Doğum Tarihi ve Yeri : 03/01/1989, Trabzon
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : dilekurt15@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Fizik A.B.D.	Yıldız Teknik Üniversitesi	-
Lisans	Fizik	Gazi Üniversitesi	2010
Lise	Sayısal	Şehit Mehmet Gönenç Lisesi	2006

