

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EDREMİT KÖRFEZİ'NDEN ALINAN DENİZ
SEDİMENTLERİNDEKİ RADYOAKTİVİTENİN VE AĞIR
METALLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Hazal AKSOY

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fizik Anabilim Dalı

Fizik Programı

Danışman

Prof. Dr. Erol KAM

Temmuz, 2022

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**EDREMIT KÖRFEZİ'NDEN ALINAN DENİZ SEDİMENTLERİNDEKİ
RADYOAKTİVİTENİN VE AĞIR METALLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Hazal AKSOY tarafından hazırlanan tez çalışması 28/07/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı, Fizik Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Erol KAM
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Erol KAM, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Doğan KARADAĞ, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. M. Nizamettin ERDURAN, Üye
İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi

Danışmanım Prof. Dr. Erol KAM sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Edremit Körfezi'nden Alınan Deniz Sedimentlerindeki Radyoaktivitenin ve Ağır Metallerin Değerlendirilmesi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Hazal AKSOY

Bu alışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'nin FYL-2020-3924 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

Aileme

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının gerçekleşmesinde öncelikle bana yol gösteren, her zaman destek olan ve yardımını hiçbir zaman benden esirgemeyen; hem lisans eğitimimde hem de yüksek lisans eğitimimde bana çok şey katan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Erol KAM'a yürekten teşekkür ederim.

Bu çalışmanın gerçekleşmesi için gerekli olan numunelerin temininde ve analiz için hazırlanmasında titizlikle yardımcı olan, bilgi birikimleriyle bana yol gösteren Doç. Dr. Zeki Ünal YÜMÜN'e ve Dr. Melike ÖNCE NİŞANCIOĞLU'na teşekkür ederim.

Tüm hayatım boyunca sonsuz sevgi ve şefkatleriyle yanımda olan, yorulduğumda ve sıkıntılı zamanlar geçirdiğimde beni ayağa kaldıran; anneme, babama ve kardeşime sonsuz teşekkür ederim.

Hem yüksek lisans eğitimimde hem de hayatımda bana yol arkadaşı olan sevgili Merve ÇAKAR'a içtenlikle teşekkür ederim.

Son olarak FYL-2020-3924 numaralı proje desteği ile bu çalışmanın hayata geçirilmesinde büyük rolü olan Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederim.

Hazal AKSOY

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	viii
KISALTMA LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ	x
TABLO LİSTESİ	xi
HARİTA LİSTESİ	xii
ÖZET	xiii
ABSTRACT	xv
1 GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı	4
1.3 Hipotez	5
2 RADYOAKTİVİTE VE RADYASYON	6
2.1 Radyoaktivite	6
2.1.1 Radyoaktif Bozunma Kanunu	6
2.2 Radyasyon ve Radyasyon Çeşitleri	8
2.2.1 Alfa Parçacıkları	9
2.2.2 Beta Parçacıkları.....	10
2.2.3 X-Işınları.....	10
2.2.4 Gama Radyasyonu.....	11
2.3 Radyasyon Birimleri.....	12
2.3.1 Aktivite Birimi	13
2.3.2 Işınlama Doz Birimi	13
2.3.3 Soğrulan Doz Birimi	13
2.3.4 Doz Eşdeğer Birimi	14
2.4 Radyasyon Kaynakları.....	14
2.4.1 Doğal Radyasyon Kaynakları	14
2.4.2 Yapay Radyasyon Kaynakları.....	16
3 AĞIR METALLER	18
3.1 Ağır Metaller ve Özellikleri	18
3.1.1 Arsenik	19
3.1.2 Bakır.....	20

3.1.3	Cıva	20
3.1.4	Çinko.....	21
3.1.5	Kadmiyum.....	21
3.1.6	Kurşun.....	21
3.1.7	Nikel.....	22
4	MATERYAL VE METOT	23
4.1	Çalışma Sahası	23
4.2	Numune Alma ve Numunelerin Hazırlanması	23
4.3	Radyoaktivite Analizi	25
4.3.1	Gama Spektrometresi	25
4.4	Ağır Metal Analizleri	26
4.4.1	X-Işını Floresans Spektrometresi (XRF)	26
4.4.2	LIBS Tekniği	28
5	SONUÇ VE ÖNERİLER	31
5.1	Radyoaktivite Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi	31
5.1.1	Soğrulan Gama Doz Hızı (D)	34
5.1.2	Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri (YEDE)	35
5.1.3	Radyum Eşdeğer Aktivitesi (Ra_{eq})	36
5.1.4	İç ve Dış Tehlike İndeksleri (H_i , H_d)	36
5.1.5	Yaşam Boyu Kanser Riski (LCR)	37
5.2	Ağır Metal Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi	38
5.2.1	XRF Sonuçları.....	38
5.2.2	LIBS Sonuçları	44
5.2.3	XRF ve LIBS Tekniklerinin Karşılaştırılması	56
5.2.4	Sonuç	57
	KAYNAKÇA	59
	TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR	64

SİMGE LİSTESİ

α	Alfa
Al	Alimünyum
As	Arsenik
Bq	Becquerel
β	Beta
Ci	Curie
Zn	Çinko
Fe	Demir
γ	Gama
Gy	Gray
Cd	Kadmium
Ca	Kalsiyum
Pb	Kurşun
Kr	Kripton
Cr	Krom
K	Potasyum
Rn	Radon
Ra	Radyum
Cs	Sezyum
Sv	Sievert
Sr	Stronsiyum
Th	Toryum
U	Uranyum

HPGe	High Purity Germanium Radiation Detectors
ICP-OES	Inductively Coupled Plasma – Optical Emission Spectrometry
ICRA	The International Commission on Radiation Units and Measurements
LIBS	Laser Induced Breakdown Spectroscopy
SI	Système International Units
UNSCEAR	United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
WHO	World Health Organization
XRF	X-Ray Fluorescence

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Radyasyon çeşitleri	9
Şekil 2.2 Radyasyon çeşitlerinin menzili ve durdurulması	12
Şekil 2.3 Doğal radyoaktif bozunma serileri	16
Şekil 3.1 Ağır metal kirliliğinin sebepleri	19
Şekil 4.1 Denizden alınan örnek numuneler	24
Şekil 4.2 HPGe dedektörü.....	26
Şekil 4.3 Örnek XRF çalışma sistemi	27
Şekil 4.4 XRF cihazı	28
Şekil 4.5 Toz haline getirilmiş numuneler	29
Şekil 4.6 Pelet haline getirilmiş numuneler.....	29
Şekil 4.7 Presleme aleti.....	30
Şekil 4.8 LIBS cihazı	30
Şekil 5.1 Kor 1 XRF grafiği.....	41
Şekil 5.2 Kor 2 XRF grafiği.....	41
Şekil 5.3 Kor 3 XRF grafiği.....	42
Şekil 5.4 Kor 4 XRF grafiği.....	42
Şekil 5.5 Kor 5 XRF grafiği.....	43
Şekil 5.6 Kor 6 XRF grafiği.....	43
Şekil 5.7 Kor 1 spektrum grafiği	44
Şekil 5.8 Kor 1 element eşleşme yüzdeleri.....	45
Şekil 5.9 Kor 2 spektrum grafiği	45
Şekil 5.10 Kor 2 element eşleşme yüzdeleri	46
Şekil 5.11 Kor 3 spektrum grafiği	46
Şekil 5.12 Kor 3 element eşleşme yüzdeleri	47
Şekil 5.13 Kor 4 spektrum grafiği	47
Şekil 5.14 Kor 4 element eşleşme yüzdeleri	48
Şekil 5.15 Kor 5 spektrum grafiği	48
Şekil 5.16 Kor 5 element eşleşme yüzdeleri	49
Şekil 5.17 Kor 6 spektrum grafiği	49
Şekil 5.18 Kor 6 element eşleşme yüzdeleri	50
Şekil 5.19 Element eşleşme yüzdelerinin toplu gösterimi	55

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Eski ve yeni radyasyon birimleri.....	13
Tablo 2.2 Toprakta bulunan doğal radyoniklitler.....	15
Tablo 4.1 Lokasyon koordinatları	25
Tablo 5.1 HPGe dedektörü ile elde edilen sonuçlar	31
Tablo 5.2 Aktivite değerlerinin tanımlayıcı istatistiksel verileri.....	32
Tablo 5.3 Farklı çalışmalarda elde edilen radyoaktivite ölçüm değerleri.....	33
Tablo 5.4 Soğrulan gama doz hızları	34
Tablo 5.5 Yıllık etkin doz eşdeğeri	35
Tablo 5.6 Radyum eşdeğer aktivitesi	36
Tablo 5.7 İç ve dış tehlike indeksi.....	37
Tablo 5.8 Yaşam boyu kanser riski.....	38
Tablo 5.9 XRF analizi elementel analiz sonuçları.....	39
Tablo 5.10 Element yüzdelerinin istatistiksel yorumları	40
Tablo 5.11 Pik alanları.....	50
Tablo 5.12 Eşleşme yüzdelerinin toplu halde değerlendirilmesi.....	54

HARİTA LİSTESİ

Harita 4.1	Numunelerin alındığı yer bulduru ve lokasyon haritası.....	24
-------------------	--	----

Edremit Körfezi'nden Alınan Deniz Sedimentlerindeki Radyoaktivitenin ve Ağır Metallerin Değerlendirilmesi

Hazal AKSOY

Fizik Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Erol KAM

Dünyanın var oluşundan bu yana doğada mevcut olan elementler, sahip oldukları özellikleriyle hem çevreye hem de canlı sağlığına etki etmektedirler. Özellikle Sanayi Devrimi sonrasında hızla ilerleyen endüstriyelleşme ve sürekli artan nüfusa dayalı olarak insan faaliyetlerinin çevreye yaydığı çeşitli kimyasal bileşenler, yer kabuğu üzerindeki ağır metal kirliliğinin hızla artmasına sebebiyet vermektedir. Benzer şekilde, doğadaki radyoaktif elementlerin mevcudiyeti de canlıların maruz kaldığı radyasyon miktarını hem direkt hem de dolaylı olarak etkilemektedir. Ağır metal ve radyasyon kirliliklerinin seviyelerindeki artış canlıların maruziyet düzeylerini de gitgide arttırmaktadır. Bu maruziyetlerin belli bir seviyeyi aşmaları halinde gerek toksik gerekse kanserojen etki gösteren ağır metaller ve radyasyon, çeşitli sağlık sorunları tehdidini ortaya çıkarmaktadır. Bu sonuçlar göz önüne alındığında bir bölgedeki radyoaktivite ve ağır metal düzeylerinin tespit edilmesinin halk sağlığı açısından büyük önem arz ettiği anlaşılmaktadır.

Bu tez çalışmasında Edremit Körfezi'nin belirli noktalarından alınan deniz sedimenti örneklerindeki ağır metallerin ve radyoaktif elementlerin varlığı

araştırılmıştır. Ağır metal varlığının tayininde Lazerle İndüklenmiş Plazma Spektroskopisi (LIBS) ve X-ışını Floresans (XRF) Spektroskopisi olmak üzere iki farklı yöntem kullanılmıştır. Yapılan çalışmada bu yöntemlerin avantajları ve dezavantajları sonuçlarıyla beraber değerlendirilmiştir. Gama spektroskopisi için ise yüksek saflıkta Germanyum (HPGe) dedektörü ile ölçümler gerçekleştirilmiş olup bölgedeki radyoaktivite seviyesi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar daha önce yapılan çalışmalarla karşılaştırılmıştır ve otoritelerce kabul görülen referans değerlerle uyumluluğu araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Edremit Körfezi, LIBS, ağır metaller, gama spektroskopisi, sediment.

Evaluation of Radioactivity and Heavy Metals of Marine Sediments from Edremit Bay

Hazal AKSOY

Department of Physics

Master of Science Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Erol KAM

Elements that have been present in nature since the existence of the world affect both the environment and the health of living things with their properties. Especially after the Industrial Revolution, the rapidly advancing industrialization and various chemical components that human activities spread to the environment, based on the ever-increasing population, cause a rapid increase in heavy metal pollution on the earth's crust. Similarly, the presence of radioactive elements in nature affects the amount of radiation that living things are exposed to, both directly and indirectly. The increase in the levels of heavy metal and radiation pollution increases the exposure levels of living things. If these exposures exceed a certain level, heavy metals and radiation, which have both toxic and carcinogenic effects, pose the threat of various health problems. Considering these results, it is understood that the determination of radioactivity and heavy metal levels in a region is of great importance in terms of public health.

In this thesis, the presence of heavy metals and radioactive elements in marine sediment samples taken from certain points of Edremit Bay was investigated. Two different methods, Laser Induced Plasma Spectroscopy (LIBS) and X-ray Fluorescence (XRF) Spectroscopy, were used for the determination of heavy metal presence. In the study, the advantages and disadvantages of these methods were evaluated together with their results. For gamma spectroscopy, measurements were made with a high purity Germanium (HPGe) detector and the radioactivity level in the region was examined. The results obtained were compared with the previous studies and their compatibility with the reference values accepted by the authorities was investigated.

Keywords: Edremit Bay, LIBS, heavy metals, gamma spectrometry, sediment.

1.1 Literatür Özeti

Küresel çevre kirliliğinin anlaşılması ve kirliliğin hem doğaya hem de canlıların biyolojik yapılarına etkilerinin incelenmesi her daim önemli olduğu gibi özellikle teknolojik gelişmeler ışığında, insan faaliyetlerinin artmasıyla beraber çevre üzerine etki eden olumsuz faktörlerin incelenmesi günümüzde daha da önem kazanmaktadır. Bu amaçla birçok alandan bilim insanları çalışmalar yürütmekte ve literatüre katkıda bulunmaktadır.

Deniz ortamları hem karadan hem atmosferden hem de denizden gelen etkiyle kirlenme potansiyelinin çok yüksek olduğu ortamlardır. Deniz ekosisteminde yer alan, canlılar üzerinde olumsuz biyolojik etkilere sebep olacak en önemli kirleticilerden olan ağır metaller; çeşitli süreçlerin ve döngülerin neticisinde denizin dibine çökerler ve zamanlar burada birikirler [1]. Bu ağır metallerin varlığını günümüzde özellikle madencilik, arıtma ve rafineri tesislerinin sayıca artması, kullanılan fosil yakıtlar, gübreleme gibi yöntemlerle tarım alanında ağır metallerin kullanılması etkilemektedir [2].

Ağır metallerin bazıları canlı organizmaların biyolojik yapılarının oluşumunda rol alıp çeşitli metabolik faaliyetlerin gerçekleşmesinde rol alıyor olsalar da ihtiyaç duyulan miktarları iz miktarda olduğundan, ağır metaller vücutta belli bir seviyeyi aşmaları halinde toksik etki gösterirler ve konsantrasyonlarındaki çok küçük artışlar bile dokularda tahribata yol açar [3,4].

Yümün ve Kam [5], Silivri (İstanbul) ve Çanakkale Boğazı Arasındaki Denizel Sedimentlerde ICP-OES ve LIBS Yöntemleri ile Toksik Element Analizleri adlı çalışmalarında, inceleme alanından alınan denizel sedimentlerin toksik element analizlerinin hem LIBS hem de ICP-OES ile yapılarak LIBS yönteminin kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Fe, Zn, Al, Mn, Co, Cr, Cu, Ni, Na, Mg, K ve Ca ağır metalleri tespit edilip, LIBS ile ICP-OES yöntemi kıyaslanmıştır ve bu iki

yöntemin de paralellik gösterdiği için kullanılabileceğini çalışmalarında ortaya koymuşlardır.

Metin Dereli ve diğerleri [6], 2017 yılında yaptıkları çalışmada yüzeysel sulardaki ağır metal kirliliği üzerine araştırma yapmışlardır ve ağır metal mevcudiyetinin ötrofikasyon, yani su ekosistemindeki alglerin varlığına olan etkisini gözlemlemeyi amaçlamışlardır. Yaptıkları incelemeler neticesinde su kolonunun, sedimanda gerçekleşen taşınımın, çözünmenin, çökelmenin, kompleks oluşumunun, adsorpsiyonun ve biyoakümülyasyon proseslerinin etkilerinin ötrofikasyon ile ilişkisi olduğunu saptamışlardır ve bu ilişkinin gözlemlenmesi için çeşitli bilgisayar modelleri kullanılması önermişlerdir.

Algül ve Beyhan [7], Bafa Gölü'nden aldıkları su ve deniz sedimentlerinin ağır metal analizlerini yapmış olup elde ettikleri sonuçları referans değerlerle karşılaştırmışlardır. Çalışmalarında belirledikleri dört farklı noktadan 12 ay boyunca su numuneler almışlardır ve 12 aylık verilere göre sucul ortama etkileyen ağır metal varlığını anlayabilmek için ICP-OES yöntemiyle analizleri gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca su örnekleriyle beraber sedimentlerdeki kirliliği de gözlemlemek amacıyla mevsimsel olarak dört defa sediment örnekleme yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre çalışma bölgesini en yüksek düzeyde; Ni, Cd, Cr, Cu ve Fe elementlerinin kirlettiği belirlenmiştir. Ayrıca göle giren sulardaki ağır metal konsantrasyonun gölden çıkan sulardaki ağır metal konsantrasyonundan fazla olduğu tespit edilmiş olup aradaki farkın sediment örneklerindeki birikmenin sebebi olduğu belirtilmiştir.

Sojka ve arkadaşları [8], jeokimyasal ve ekotoksikolojik göstergeler temelinde göl dip çökellerindeki ağır metal kirliliğinin derecesini değerlendirmeyi amaçladıkları çalışmalarında, belirledikleri bölgede bulunan on altı gölden sediment numuneleri toplayarak araştırmalarını gerçekleştirmişlerdir. Sedimentlerdeki kontaminasyon seviyelerini değerlendirebilmek için; kirlilik faktörü, kirlilik yükü indeksi ve metal kirlilik indeksi hesaplamaları yapmışlardır. Çalışma sonucunda göl diplerinde yüksek yoğunluklu ağır metal varlığı tespit edilmiş olup özellikle kurşun ağır metalinin varlığı dikkat çekmiştir. Ayrıca bu çalışmada 16 farklı örneğin sonuçları

arasındaki ilişkiyi ve benzerliği anlayabilmek açısından numunlere PCA analizi uygulanmıştır ve bu sayede istatistiksel verilere ulaşılabilmektedir.

Isinkaye ve Emelue [9], Nijerya'da yer alan Oguta Gölü'nden alınan örnek sedimentlerdeki doğal olarak oluşan ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklidlerinin dağılımlarını ve sedimentlerin kullanımıyla ilişkili radyolojik sağlık tehlikelerini ve yaşam boyu kanser riskini değerlendirebilmek için gama ışını spektrometrisi kullanarak çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Çalışmanın neticesinde ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K ortalama aktivite konsantrasyonlarını sırasıyla $47,89 \pm 18.67 \text{ Bq.kg}^{-1}$, $55,37 \pm 32,74 \text{ Bq.kg}^{-1}$ ve $1.023 \pm 474 \text{ Bq.kg}^{-1}$ olarak ölçmüşlerdir. Bu çalışmada elde edilen radyolojik parametrelerin ve doz oranlarının sonuçlarının, dünya çapındaki ortalama değerlerden daha yüksek ancak önerilen maksimum limitlerden düşük olduğu görülmüştür. Bölgede, yapılan petrol arama çalışmaları sebebiyle kirlilik seviyesinin arttığı bilinse de çalışma sonucu elde edilen verilere bakılarak bu sedimentlerin yapı malzemesi olarak kullanılmasının canlı sağlığını tehdit edecek düzeyde olmayacağı sonucuna ulaşılmıştır.

Ravisankar ve diğerleri [10], 2015 yılında Hindistan'da yaptıkları çalışmada Tamilnadu'nun doğu kıyısı boyunca, kıyı çizgisine paralel 10 metre derinlikten topladıkları sedimentlerdeki üç doğal radyonüklit olan ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K konsantrasyonlarını incelemişlerdir. NaI(Tl) sintilatör dedektörü ile yapılan gama spektroskopisi sonucunda ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K için aktivite konsantrasyonlarına sırasıyla; $\leq 2,21$; $14,29$ ve $360,23 \text{ Bq.kg}^{-1}$ olarak ulaşılmıştır. Ulaşılan veriler kullanılarak radyometrik parametreler hesaplanmış, bu parametrelerin istatistiksel olarak ilişkisi PCA analizi ile tespit edilmiştir. Hesaplanan radyasyon tehlikesi parametrelerinin değerleri dünya ortalamalarıyla karşılaştırıldığında sonuçların önerilen değerlerin altında olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar doğrultusunda da, Tamilnadu'nun doğu kıyısı boyunca yakın bölgelerde yaşayan insanlar için önemli bir radyolojik sağlık riski olmadığı çıkarımı yapılmıştır.

Ahmed ve diğerleri, Malezya'da 22 noktadan topladıkları deniz sedimentlerindeki iz elementlerin tayininde XRF yöntemi ve ICP-MS yöntemini kullanarak elde ettikleri sonuçların ışığında bu iki metodu karşılaştırmışlardır. Hem XRF hem de ICP-MS yöntemleri çoklu element analizinde yaygın kullanılan tekniklerden olup

hızlı ve yüksek doğrulukla sonuç veren yöntemlerdir. Yapılan çalışmanın sonuçları iki açıdan ele alınmıştır. Ölçüm için örneklerin analize hazırlanması tarafından bakıldığında XRF yöntemi, hazırlık aşamasında asit gibi madde gereksinimine ihtiyaç duymaması ve tahribatsız olması sebebiyle daha avantajlı bulunurken; ICP-MS yöntemi, daha düşük algılama sınırlarına sahip olması sayesinde daha fazla elementin tayininin yapılmasına olanak sağlamıştır. Çalışma sonucunda Cd, Co, Cu, Mn, Ni, Pb, Se ve V sonuçları birbiriyle uyumlu bulunmuştur ancak As, Cr, Fe ve Zn elementleri için uyumlu sonuçlar gözlenememiştir [11].

2012 yılında Şimşek ve diğerleri, bu tezin de çalışma sahası olan Balıkesir ilinin Balya ilçesindeki terkedilmiş kurşun ve çinko madeni çevresindeki kirliliği araştırmak üzere çalışma yapmışlardır. Antik dönemlerden beri kullanılan, 1940 yılına kadar işletilmiş ve bu tarihten sonra terkedilmiş olan alanın maden atıkları sebebiyle ne derecede kirletildiğini anlamak için yüzey ve yer altı sularından toplam on beş noktadan numune alınmıştır. Su numunelerinin fiziksel ölçümleri portatif cihazlarla, elementel analizleri ise ICP-MS yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Su numunelerine ek olarak on yedi noktadan kayaç/sediment/toprak örneği alınmıştır. Bu numunelerin de NaI(Tl) sintilasyon dedektörü ile radyoaktivite analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan ağır metal ve radyoaktivite analizlerinde 2 mg/kg As, 9 mg/kg Pb ve 651 mg/kg Cu; radyoaktif element analizlerinde ise ortalama 23 Bq/kg Ra-226, 23 Bq/kg Th-232 ve 850 Bq/kg K-40 ölçülmüştür. Çalışma göstermiştir ki radyoaktivite açısından bölge normal sınırlar içerisindedir ancak bölgedeki arsenik başta olmak üzere, kurşun ve bakır miktarı çevre ve canlı sağlığını tehdit edecek boyutlardadır [12].

1.2 Tezin Amacı

Gerçekleştirilen tez çalışmasında temel olarak, çalışma sahası olarak belirlenen Edremit Körfezi'nin altı farklı noktasından alınan deniz sedimentlerindeki radyoaktivitenin ve ağır metal oranlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bölgedeki ağır metal ve radyoaktivite varlığının belirlenmesi, günümüzde gittikçe önem kazanan küresel çevre kirliliğinin ve canlı sağlığına etki eden tehditlerin daha iyi analiz edilebilmesi açısından kıymetlidir. Çalışmadan elde edilecek verilerin, bölgenin ağır metal ve radyasyon kirliliği bakımından durumunun

değerlendirilmesi, kirliliğe sebep olabilecek kaynakların anlaşılabilmesi ve ileriye yönelik alınabilecek önlemler üzerine çalışmalar yapılabilmesi doğrultusunda kaynak olabilmesi amaçlanmıştır.

Çalışmada amaçlanan bir diğer hedef de ağır metal analizleri için kullanılan farklı iki tekniğin birbirlerine kıyasla avantajlarının ve dezavantajlarının incelenmesidir. XRF tekniği ile numunelerdeki ağır metallerin nicel olarak ölçülmesi sağlarken, hızlı ve kolay uygulanabilir bir yöntem olmasıyla öne çıkan LIBS tekniğinin ise ağır metal analizlerinde öncül bir araştırma yöntemi olarak ne denli başarılı olabileceği incelenmiştir.

1.3 Hipotez

Küresel nüfus artışı ve Sanayi Devrimi ile birlikte yükselişe geçen endüstriyelleşme, çevre kirliliğine her geçen gün daha fazla etki etmektedir. Edremit Körfezi bölgesinde de artan saniyileşme, tarım arazilerinin varlığı ile beraber ağır metal içerikli gübre kullanımları, hem tabiatı sebebiyle hem de kıyı şeridi olması sebebiyle özellikle yaz mevsimlerinde görülen popülasyon artışı, bölgede yapılan madencilik faaliyetleri ve yine kıyı şeridinde olmasının bir getirisi olarak limanların varlığıyla ortaya çıkan gemi trafiğinin bu bölgede çevre kirliliğinin yükselen bir grafiğe sahip olacağını düşündürmektedir. Bu etmenler göz önüne alındığında, çalışma sonucunda ağır metal ve radyoaktivite yoğunluğunun beklenilenin üzerinde çıkması öngörülmektedir.

2.1 Radyoaktivite

Radyoaktivite kavramı 19. yüzyılın başlarında H. Becquerel'in yapmış olduğu keşif sayesinde, Röntgen tarafından X-ışınlarının keşfini takip eden süreçte ilk kez tanımlanmıştır. 20. yüzyılın başlarına gelindiğindeyse Rutherford'un atom teorisini geliştirmesiyle beraber elementleri oluşturan atomlar hakkında daha detaylı bilgiler edinilmiştir ve atom hakkındaki bilgiler, fiziksel olayların temelinde yatan prensiplerin çok daha iyi anlaşılması konusunda bilime katkı sağlamıştır [13].

Doğadaki elementlerin atomları, kararlı ve kararsız olmak üzere iki yapıda bulunabilirler. Bir atomun kararlı veya kararsız olması, o atomun sahip olduğu proton (Z) ve nötron (N) oranı tarafından belirlenir. N/Z oranı yaklaşık olarak 1 olan çekirdekler kararlı haldedirler. Bu oran, hafif çekirdeklerde böyle iken atom numarası arttıkça oranın dengesi bozulur ve atomdaki kararsızlık da artar. Proton ve nötron sayıları arasındaki bu dengesizlik çekirdekte ilave bir enerjiye sebep olur. Atomun, bu fazla enerjiden kurtularak kararlı hale geçebilmek için çeşitli parçacıklar salmasına veya ışıma yapmasına radyoaktivite denir [14].

2.1.1 Radyoaktif Bozunma Kanunu

Radyoaktif elementlerin kararlı hale gelebilmek için bozunması rastgele gerçekleşen bir olaydır, yani bir atomun ne zaman bozunmaya uğrayacağını kesin olarak söylemek mümkün değildir. Bozunma olayı istatistiksel bir olay olduğundan radyoaktif çekirdekler için bozunma olasılığından bahsedilir [15]. Genellikle λ ile gösterilen bu olasılığa bozunma sabiti denir ve bu bozunma sabiti radyoaktif çekirdekler için ayırt edici bir özellik olduğundan her radyoaktif çekirdeğin kendisine özgüdür.

Bozunma kanununa göre, eğer bir ortamda t anında N tane radyoaktif çekirdek varsa ve ortama başka çekirdekler ilave edilmiyorsa dt süresi boyunca bozunan

dN çekirdek sayısının, N ile orantılı olduğu ifade edilir ve aralarındaki ilişki (2.1) denklemi ile gösterilir.

$$\lambda = -\frac{(dN/dt)}{N} \quad (2.1)$$

Burada λ , bozunma sabitidir. Denklemin sağ tarafı ise birim zamanda atom başına düşen bozunma olasılığıdır. Bu denklemin integrali alındığında (2.2)'de gösterilen zamana bağlı üstel bozunma yasası elde edilir.

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2.2)$$

2.1.1.1 Yarı Ömür

Radyoaktif bir çekirdeğin başlangıç anındaki çekirdek sayısının yarıya kadar inmesi için geçen süreye yarı ömür denir. Yarı ömür kavramının önemli olmasının sebebi, radyoaktif elementler için bu özelliğin karakteristik olmasıdır. Eğer bir radyoaktif çekirdeğin yarısının bozunması için geçen süre yani yarı ömür hesaplanmak isteniyorsa (2.3) denklemi kullanılır.

$$t_{1/2} = \frac{0,693}{\lambda} \quad (2.3)$$

Bu denklemdeki λ , birimi s^{-1} olan bozunma sabitidir ve bozunma sabiti ne kadar büyük olursa elementin yarı ömrü de o kadar kısa olacaktır.

2.1.1.2 Ortalama Ömür

Bir radyoaktif elementin sahip olduğu ortalama ömür, bozunma sabitinin tersi olarak ifade edilir. Ortalama ömür sayesinde bir radyoaktif çekirdeğin yaklaşık olarak ne kadar süre boyunca aktif olacağı bilgisi elde edilir.

$$\tau = \frac{1}{\lambda} \quad (2.4)$$

2.1.1.3 Biyolojik Yarı Ömür

Canlılar çeşitli şekillerde radyoaktif maddelere maruz kaldıklarında, bu radyoaktif maddelerin vücutlarına etki etmesi yani organlarına ve dokularına nüfuz etmesi de olasılık dahilindedir. Biyolojik olarak etkiyen radyoaktif çekirdeğinin miktarının, canlı yapısından yarısının atılması için geçen süreye biyolojik yarı ömür adı verilir. Bazı radyoaktif elementler vücuttan hemen atılabilirken kalsiyum gibi kemiklere yerleşen elementlerin biyolojik yarı ömrü çok daha uzundur [16].

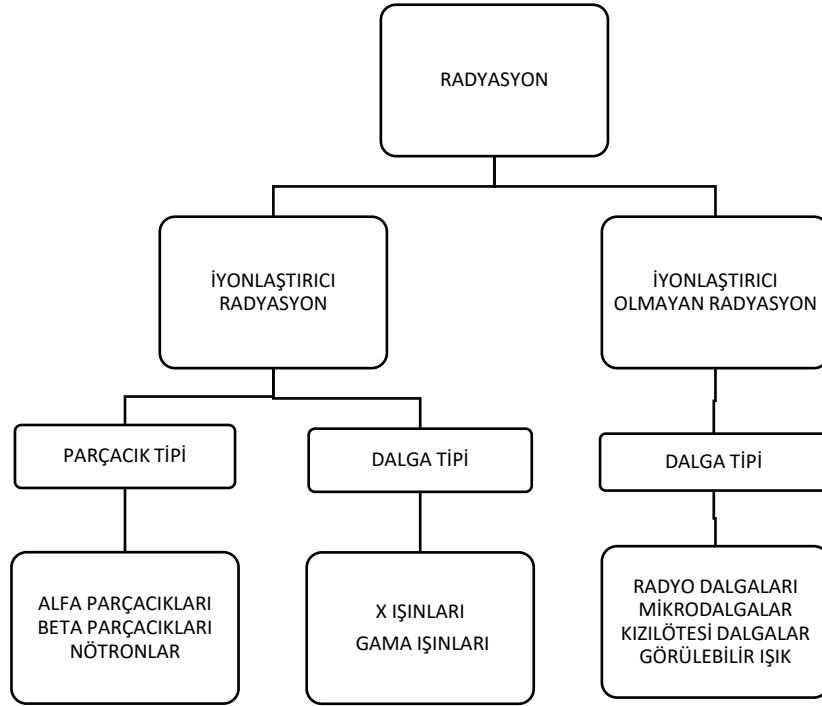
2.1.1.4 Efektif Yarı Ömür

Radyoaktif elementin vücutta etkin olarak bulunduğu süredir. Her canlının vücudundaki radyoaktif elementlerin efektif yarı ömrü, çekirdeğin yarı ömrüne ve canlının o maddeyi vücudundan atabilme gücüne bağlı olarak farklılık gösterir [16].

2.2 Radyasyon ve Radyasyon Çeşitleri

Radyoaktif çekirdeklerin kararlı hale gelebilmek için bozunması sonucunda dalga ya da parçacık şeklinde enerji yayınlamasına radyasyon denmektedir. Ortaya çıkan radyasyon madde ile etkileşimine göre iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olmak üzere ikiye ayrılır. İyonize edici radyasyon türü, etkileştiği maddede yüklü parçacıklar (iyonlar) oluşmasına sebebiyet verirken iyonize edici olmayan radyasyon türünün ise sahip olduğu enerji, etkileştiği maddenin atomlarını iyonize etmeye yetmez ve sonuç olarak atom yalnızca uyarılır.

Radyasyon, iyonizasyon yeteneğine göre sınıflandırılabilirdiği gibi türüne göre de parçacık tipi veya dalga tipi olmak üzere de iki sınıfta incelenebilir. Parçacık tipi radyasyona konu olan parçacıklar; oldukça hızlı hareket eden, belirli bir kütle ve enerjiye sahip olan küçük taneciklerdir. Dalga tipindeki radyasyon ise belirli bir enerjinin söz konusu olduğu ancak kütlenin olmadığı radyasyon çeşididir [17]. Şekil 2.1’de radyasyon çeşitleri gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Radyasyon çeşitleri

Radyoaktif çekirdekler bozunuma uğrarken başlıca beş iyonlaştırıcı radyasyon çeşidi görülür. Bunlar; alfa parçacıkları, beta parçacıkları, nötronlar, X-ışınları ve gama ışınlarıdır [18].

2.2.1 Alfa Parçacıkları

Alfa parçacıkları, atom numaraları yüksek olan; genellikle radyum, toryum, uranyum gibi izotopların bozunması sonucunda ortaya çıkan helyum çekirdeğidir. Alfa bozunmasının temelinde atomun kararsızlığının hem nötron hem de proton fazlalığı olması yatmaktadır, böyle durumlarda çekirdek iki protona ve iki nötrona sahip bir alfa parçacığı yayınlar. Bu tip bozunmada toplam enerji korunur ancak atom iki adet proton ve iki adet nötron yayınladığından atom numarası iki azalırken kütle numarası dört azalmaktadır.



Alfa parçacıklarının iyonizasyona sebep olmaları sahip oldukları pozitif yükün, hareket ettikleri maddenin içerisinde güçlü bir elektrostatik çekim meydana getirmesidir. Bu sebeple yoğun bir iyonlaştırıcı etkiye sahip olsalar da enerjilerini

çok çabuk kaybediyor olmaları menzillerinin kısa olmasına ve dolayısıyla da giriciliklerinin az olmasına neden olur. Giriciliklerinin az olması ve kağıt gibi çok ince tabakalarla bile durdurulabilmelerinden ötürü alfa parçacıklarının dış radyasyon tehdidi düşük olsa da solunum veya sindirim gibi yollarla vcoda alınmaları halinde tehlikeli olmaktadır [19].

2.2.2 Beta Parçacıkları

ekirdeğinin kararlı hale gelebilmek için fazla enerjisini negatif yüklü elektron ya da pozitif yüklü pozitron yayınlayarak aktardığı bozunma çeşididir. Çekirdekdeki enerji fazlalığının sebebi proton veya nötron olabilir; proton olduğu durumlarda β^+ parçacıkları, nötron olduğu durumlarda ise β^- parçacıkları ortaya çıkar.



Beta parçacıkları da alfa parçacıkları gibi, sahip oldukları yükün ve kütlenin etkisiyle iyonizasyona sebep olurlar; alfa parçacıklarına göre çok daha hafiftirler ve giricilikleri daha fazladır. Beta parçacıklarını ince bir levha ile durdurmak mümkündür [20].

2.2.3 X-Işınları

X-işınlarını keşfeden Wilhelm Conrad Röntgen'e ithafen Röntgen işınları da denilen bu radyasyon çeşidi alfa, beta ve nötrondan farklı olarak dalga tipindedir. X-işınları, yüke sahip olmamalarından dolayı girdikleri ortamdaki elektrik alandan veya manyetik alandan etkilenmezler [21].

X-işınlarının meydana gelmesi iki farklı şekilde olabilir; Bremsstrahlung (frenleme) ve karakteristik x-işını. Bremsstrahlung olayında hızlandırılan elektronların ağır bir metale çarpıtılarak durdurulmasıyla x-işınları meydana gelir. Tıpta da sıklıkla kullanılan bu yöntemde, röntgen tüpünde ısıtılan katottan çıkan elektron demetleri yüksek voltaj vasıtasıyla hızlandırılır ve anot metaline

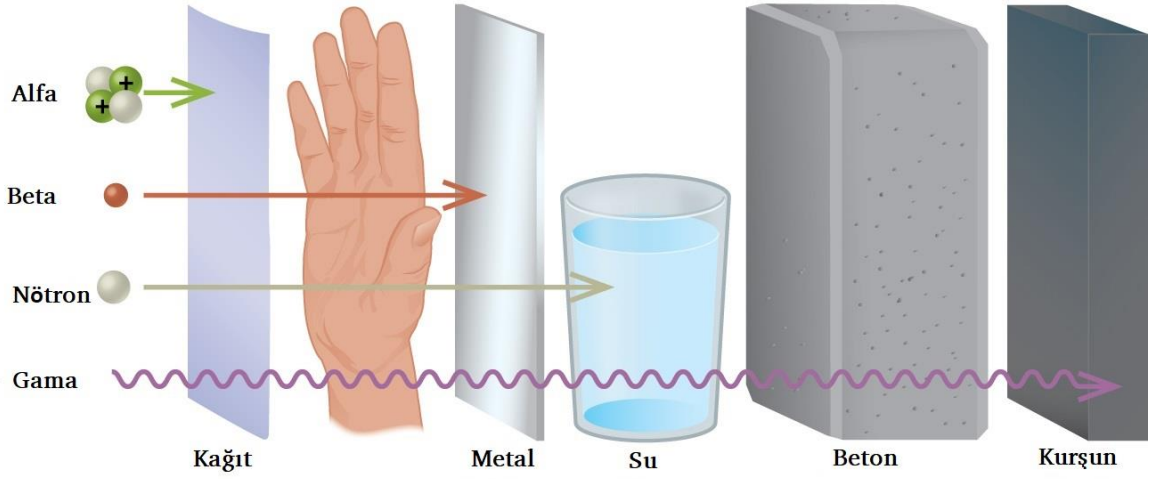
çarpması sağlanır. Bu çarpışma sonucunda duran elektronun kaybettiği enerji ise elektromanyetik x-ışını olarak yayınlanır [22]. Bremsstrahlung olayında açığa çıkan x-ışınları sürekli spektrum verirler.

Karakteristik x-ışınları ise bir diğer x-ışını çeşididir. Bu olayda ise yüksek enerjiye sahip elektronlar atoma çarptıklarında, atomun ilk yörüngelerinden elektron kopmasına neden olurlar. Bu yörüngede meydana gelen boşluğu doldurmak için daha yüksek enerji seviyesindeki yörüngede bulunan elektronlar bu boşluğu doldururlar. Bu olay meydana gelirken iki yörünge arasındaki enerji farkına eşit bir ışıma gerçekleşir; ortaya çıkan bu ışın, karakteristik x-ışınıdır. Karakteristik x-ışınının enerji spektrumları Bremsstrahlung x-ışını gibi sürekli değil, çizgi spektrumu şeklindedir [23].

2.2.4 Gama Radyasyonu

Her ne kadar kararsız çekirdekler kararlı hale gelmek için alfa ve beta bozunumuna uğrasalar da genellikle temel enerji seviyelerine bu bozunmaların sonucunda hemen ulaşamazlar. Bu durumda, yani bozunma sonucunda uyarılmış halde olan çekirdek, oluşumundan çok kısa bir süre sonra elektromanyetik özelliğe sahip bir veya birkaç gama ışını yayınlamaya kalan fazla enerjisinden de kurtulur ve böylece kararlı hale geçer.

Gama ışınlarının iyonizasyon gücü alfa ve beta parçacıklarına kıyasla daha azdır ancak yüksek enerjiye sahip olmaları nedeniyle menzilleri çok daha fazladır. Yüksüz oldukları için ne elektrik alandan ne de manyetik alandan etkilenen gama ışınlarını durdurmak için kurşun gibi ağır metallere veya yoğun betona ihtiyaç duyulur [24]. Farklı radyasyon tiplerinin çeşitli malzemelerdeki giriciliği Şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.2 Radyasyon çeşitlerinin menzili ve durdurulması [25]

2.3 Radyasyon Birimleri

Radyasyon kavramı ve radyasyonun etkileri söz konusu olduğunda doz terimi önem kazanmaktadır. Bir maddenin, belli bir zaman aralığında kullanılan veya tüketilen miktarı doz olarak tanımlanmaktadır. Radyasyon dozu denildiğinde ise bu tanıma uygun olacak şekilde belirli bir zamanda, hedef kütle tarafından soğrulan veya alınan radyasyon miktarı anlaşılır. Burada alınan radyasyon dozu; alınan radyasyonun türüne, hızına ve maruz kalındığı süreye bağlı olarak değişkenlik gösterir. Alınan radyasyonun dozunun bilinmesi, yaratacağı tahribatın önlenmesi açısından önem teşkil etmektedir ve bundan dolayı da radyasyonla ilgili ölçümlerin doğru şekilde yapılması elzemdir. Bu sebeple Uluslararası Radyasyon Birimleri Komitesi (ICRU), aktivite için Curie, ışınlama için Röntgen, soğrulan doz için Rad ve eşdeğer doz birimi için ise Rem birimlerini tanımlamıştır. Ulusal Birim Sistemi'nin kullanılmasıyla birlikte yeni birimlerin tanımlanması yapılmıştır. Tablo 2.1'de radyasyon birimleri eski ve yeni birimleriyle verilmiş olup bunların arasındaki dönüşüm çarpanları da paylaşılmıştır [26].

Tablo 2.1 Eski ve yeni radyasyon birimleri

TERİM	ESKİ BİRİMLER	SI BİRİMİ	DÖNÜŞÜM ÇARPANI
AKTİVİTE	Curie (Ci)	Becquerel (Bq)	1 Ci = $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq
IŞINLAMA	Röntgen (R)	Röntgen (C/kg)	1 C/kg = 3876 R
SOĞRULAN DOZ	Rad (rad)	Gray (Gy)	1 Gy = 100 rad
EŞDEĞER DOZ	Rem (rem)	Sievert (Sv)	1 Sv = 100 rem

2.3.1 Aktivite Birimi

Bir radyoaktif çekirdeğin, belirli bir zaman zarfındaki bozunma miktarını tanımlayan birimdir. Eski tanımlamada kullanılan Curie (Ci), çekirdeğin saniyede $3,7 \times 10^{10}$ bozunma yaptığını söylerken SI birim sisteminde kullanılan Becquerel ise saniyede 1 bozunmaya karşılık gelir.

2.3.2 Işınlama Doz Birimi

Işınlama doz birimi tanım olarak 0°C sıcaklık ve 760 mm-Hg basınç altında, havanın 1 kilogramında $2,58 \times 10^{-4}$ Coulomb'luk elektrik yüküne karşılık gelen + ve - iyonlar oluşturan x ışınları ile gama ışınlarını ifade eden bir tanımdır. Işınlama doz birimi tanımı bu ışınların havayı iyonize etmelerinin ölçüsü olduğundan, radyasyon demetinin niteliği hakkında bilgi verir [27].

2.3.3 Soğrulan Doz Birimi

Soğrulan doz birimi sayesinde, bir maddenin soğurduğu toplam ışımanın enerji olarak değeri elde edilir. İyonize radyasyona maruz kalan her maddenin kütlesi başına depolayacağı enerji miktarı farklılık gösterir ve soğrulan doz birimi sayesinde bu farklı enerji miktarları tayin edilebilir. Eski birim olan rad, bir maddenin kilogramına $10^{-2}J$ enerji veren radyasyon miktarını temsil ederken SI birim sisteminde tanımlanan Gray (Gy), maddenin 1 kilogramına 1 J enerji veren radyasyon miktarına tekabül eder [28].

2.3.4 Doz Eşdeğer Birimi

Soğrulan doz miktarı aynı olsa bile radyasyonun canlı üzerindeki biyolojik etkisi gerek radyasyonun türüne gerekse radyasyonun enerjisine göre farklılık gösterecektir. Bu farklılıktan ötürü vücutta biriken enerji miktarının hesaplanması doz eşdeğer birimi ile yapılır. Eşdeğer doz miktarı hesaplanırken “Radyasyon Ağırlık Faktörü (W_R)” adı verilen faktör kullanılır. W_R sayesinde farklı türlerdeki radyasyonların sebep olacağı etkilerin farklılıkları hesaplanabilir ve ölçümler daha kolay şekilde gerçekleştirilebilir [29]. Eski doz eşdeğer birimi, 1 *Röntgen*’lik X-ışını veya gama ışını ile aynı etkiye sahip radyasyon miktarı anlamında gelen rem iken SI birim sistemi ile 1 *Gy*’lik X-ışını veya gama ışını ile aynı biyolojik etkiye sebep olan radyasyon miktarı olan Sievert (Sv) kullanılmaya başlanmıştır.

2.4 Radyasyon Kaynakları

Doğanın bir parçası olan radyasyon, Büyük Patlama ile beraber evrenin oluşumundan bugüne dek var olmuştur. Tüm canlılar yaşamları boyunca kaçınılmaz olarak çeşitli şekillerde ve miktarlarda radyasyona sürekli maruz kalmaktadırlar. Çevremizde bulunan radyasyonun kaynaklarını incelemek istediğimizde ise başlıca üç kaynaktan bahsedebiliriz. Bu kaynakların ilk ikisi doğal radyasyon kaynağı olan karasal ve kozmik radyasyonken üçüncü kaynak; doğada kendiliğinden var olmayıp, insan faaliyetleri sonucunda açığa çıkan yapay radyasyondur. Yeryüzünde maruz kalınan radyasyonun yaklaşık olarak %88’ini doğal radyasyon kaynakları oluştururken geri kalan kısmını yapay radyasyon kaynakları oluşturmaktadır [30].

2.4.1 Doğal Radyasyon Kaynakları

Doğada kendiliğinden var olan radyasyon kaynakları incelendiğinde ana iki radyasyon kaynağı olarak kozmik radyasyondan ve yer kabuğunun yapısındaki radyonüklitlerin sebep olduğu karasal radyasyondan bahsedilmektedir. Doğal radyasyonun sebep olduğu fon radyasyonun en büyük kaynağı Radon gazıdır. Yarılanma ömrü 3,8 gün olan radon gazı, Uranyum-238’in bozunma serisi sonucu oluşan doğal bir radyoaktif gazdır ve yapılan araştırmalar göstermektedir ki sigaradan sonra akciğer kanserinin en büyük etmeni bu gazdır [31]. Radon

gazının kayalarda ve toprakta mevcut olması canlıların bu gazdan etkilenmesine sebebiyet vermektedir.

Doğal radyasyona yalnızca dış ışınlama ile maruz kalınmamaktadır. Doğada bulunan radyoizotoplar dış ışınlamaya sebebiyet vermekle beraber sindirim ve solunum yoluyla vücuda alınması sonucunda iç ışınlamaya da yol açarlar. Ayrıca insan vücudu da başta K-40 olmak üzere yapısında bulundurduğu radyoaktif elementlerden dolayı bir radyasyon kaynağıdır [32].

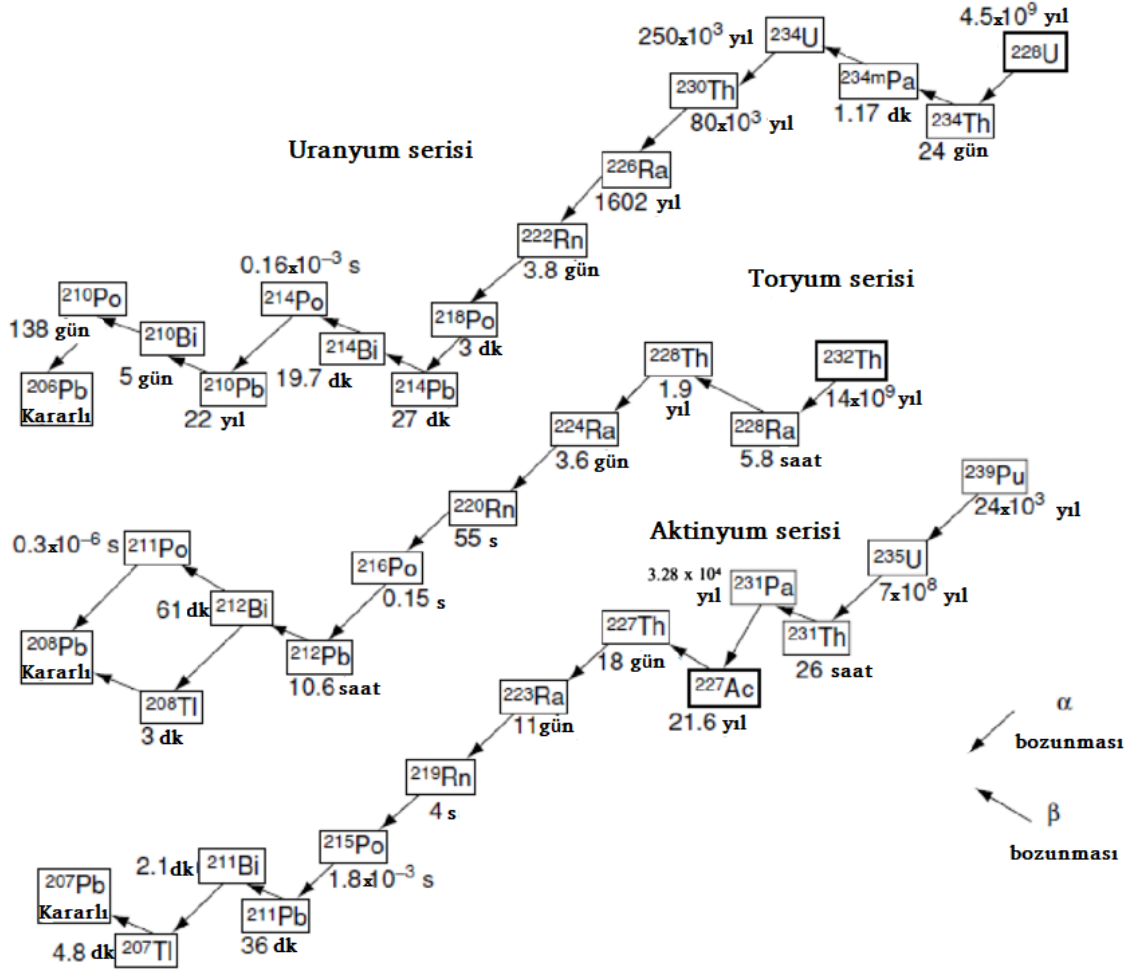
2.4.1.1 Karasal Radyasyon

Dünyanın oluşmasıyla beraber yalnızca bildiğimiz kararlı elementler değil aynı zamanda radyoaktif elementler de oluşmuştur. Bu radyoaktif elementlerin kısa yarı ömre sahip olanları yok olmuşken, yarı ömürleri evrenin oluşumundan bu yana tükenmemiş olanlar bozunuma uğrayarak günümüze kadar ulaşmışlardır. Bu çalışmada da analizi yapılmış olan U-238, Th-232 ve K-40 uzun yarı ömürlü radyoaktif elementlerdendir. Bu radyoaktif elementler ve bunların bozunması sonucunda ortaya çıkan ürünler; toprakta, kayalarda, gıdalarda, havada ve sulara mevcuttur ve yaptıkları ışımlar ile canlılara etki ederler. Bu radyonüklitlerin hem doğada eşit bir yayılıma sahip olmamaları hem de insanların faaliyetlerinin ve alışkanlıklarının gösterdiği değişkenlikler sebebiyle iç ve dış ışınlama yoluyla alınan doz miktarlarının farklılık göstermesi söz konusudur [33]. UNSCEAR 2000 raporuna göre doğada bulunan doğal radyonüklitlerin konsantrasyonları Bq/kg cinsinden Tablo 2.2’de verilmiştir.

Tablo 2.2 Toprakta bulunan doğal radyonüklitler [34]

	Radyonüklit Konsantrasyonu (Bq/kg)			
	K-40	U-238	Ra-226	Th-232
Değişim Aralığı	140-850	16-110	17-60	11-64
Ortalama	400	35	35	45

Ağır metallerin oluşturduğu doğal radyoaktif izotoplar; U-238 kaynaklı uranyum serisi, Th-232 kaynaklı toryum serisi ve U-235 kaynaklı aktinyum serisi olmak üzere üç başlık altında toplanırlar [35]. Bu üç seriye ait bozunma şeması Şekil 2.3'te gösterilmiştir.



Şekil 2.3 Doğal radyoaktif bozunma serileri [36]

2.4.2 Yapay Radyasyon Kaynakları

Doğal kaynaklar dışında çevresel radyoaktivite düzeyini arttıran, insan faaliyetleri sonucunda ortaya çıkan radyasyon kaynakları yapay radyasyon kaynakları olarak adlandırılmaktadır. Yapay radyasyon kaynaklarına tıbbi kaynaklar ile beraber özellikle son 50 yılda gerçekleşen, gerek atmosferde gerekse yeraltında gerçekleştirilen nükleer denemeler; Çernobil gibi nükleer kazalar sonucu meydana gelen radyoaktif serpintiler, nükleer güç üretimi ve nükleer yakıt kullanımıyla radyoaktif maddelerin ortaya çıkması örnek verilebilir.

Doğadaki radyasyonun yaklaşık olarak %21'lik kısmını oluşturan yapay kaynakların içinde en büyük paya tıbbi kaynaklar sahiptir. Medikal alanda radyasyon uygulamaları sayesinde görüntü elde edilebilmesi ve yine radyasyon sayesinde tümörlerin ve hücrelerin yok edilebiliyor olması teşhis ve tedavi amacıyla radyasyonun kullanımını vazgeçilmez hale getirmektedir. Özellikle son yıllarda tıp teknolojisindeki gelişmelerin de etkisiyle bilgisayarlı tomografi (BT), nükleer tıp ve girişimsel radyoloji ile radyasyonun kullanımı yaygınlaşmıştır. İnsanların yapay radyasyona maruziyetinin yıllık olarak dünyadaki ortalama değeri 0,3 mSv'tir [37].

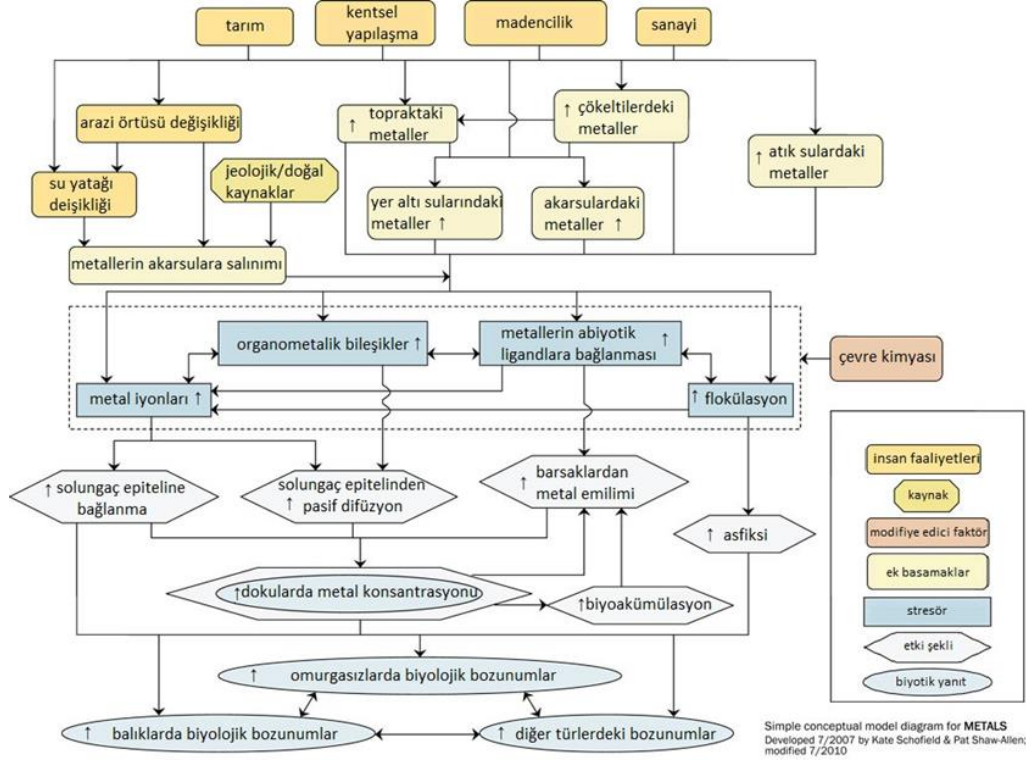
3.1 Ağır Metaller ve Özellikleri

Elementlerin atom numaralarına göre sıralandığı periyodik tablo incelendiğinde, tabloda yer alan 118 elementin metaller, yarı metaller ve ametaller olarak sınıflandırıldığı görülmektedir. Metaller; elektriği ileten, metalik parlaklığa sahip, kırılkan olmayan ve işlenebilen, bazik oksitleri olan ve katyon oluşturma özelliğine sahip elementler olarak tanımlanır. Bu özelliklere sahip olmayan diğer elementler ise ametaller olarak tanımlanırken; fiziksel olarak metal özelliklere sahip olmasına karşın kimyasal olarak ametallere benzerlik gösteren elementler ise yarı metal (metalloid) olarak adlandırılır [38].

Ağır metaller incelenmek istendiğinde; literatürde sınırları kesin olmayan, birden fazla tanım karşımıza çıkmaktadır. Bu tanımlamalar yoğunluğa, özgül ağırlığa, atom numarasına ve elementin sahip olduğu çeşitli kimyasal özelliklere göre farklılıklar göstermektedir. Yoğunluğun göz önüne alındığı ağır metal tanımına göre özkütlesi 5 g/cm^3 üzerinde olan elementler ağır metal olarak adlandırılırken atom ağırlığı 40'ın üzerinde olan veya atom numarası 20'den büyük olan metallerin ağır metal olarak nitelendirildiği tanımlar da mevcuttur. Ağır metal terimi her ne kadar net bir çerçeve içinde ölçütlenilmemiş olsa da yapılmış bu çeşitli tanımlamalar doğrultusunda, insan ve çevre sağlığına etkileriyle birlikte incelendiğinde, bazı elementleri “Ağır Metaller” başlığı altında incelemek mümkün olmaktadır [39].

Ağır metallerin bir kısmı belirli bir miktara kadar canlı sağlığı için gereklidir. Ancak belli bir dozun üzerine çıktıklarında sağlık açısından çeşitli zararları bulunmaktadır. Bu sebeple de çevredeki ağır metal yoğunluğunun belirlenmesi önem arz etmektedir. Örneğin; demir, çinko, bakır gibi ağır metallerin insan vücudunda varlığı bir miktara kadar gereklidir. Kadmiyum, arsenik, cıva gibi bazı ağır metallerin ise az miktarda varlığı bile toksik etki göstermektedir ve canlı sağlığı için tehdit oluşturmaktadır. Doğada yaygın olarak bulunan ağır metallerin

bir kısmının özellikleri ve gerek canlı gerekse doğa üzerindeki etkileri bu bölümde verilmiştir [40]. Şekil 3.1’de ağır metal kirliliğine sebep olan etmenler şematize edilmiştir.



Şekil 3.1 Ağır metal kirliliğinin sebepleri [41]

3.1.1 Arsenik

Periyodik cetvelde yarı metal (metalloid) sınıfına giren arsenik; yer kabuğundaki sulara, havada ve toprakta geniş bir dağılıma sahip olarak yaygın olarak bulunur. Ağır metal olarak kabul edilen arsenik elementinin inorganik formu canlılar için toksiktir, bu toksik etkileri maruziyet süresiyle ve alınan doz miktarıyla birlikte canlı sağlığı için oldukça yüksek bir tehdit oluşturur.

İnsanlar, özellikle kontamine olmuş içme suları ve gıdalar yoluyla inorganik arseniğe maruz kalırlar ve uzun süreli maruziyet sonucunda kronik bir arsenik zehirlenmesiyle karşı karşıya kalabilirler. Birincil dereceden kanserojen olduğu 1980 yılında Uluslararası Kanseri Araştırma Ajansı (ICRA) tarafından kabul görülen arsenik, en büyük etkilerinden biri olan cilt kanserinin yanı sıra diyabet, hipertansiyon ve damar hastalıkları gibi çeşitli diğer kronik rahatsızlıklarla da ilişkilidir. Bu zararları sebebiyle Dünya Sağlık Örgütü (WHO), 1963 yılında 50

$\mu\text{g/L}$ olarak belirlediği içme sularında bulunabilecek arsenik üst limitini 1993 yılına gelindiğinde $10 \mu\text{g/L}$ olarak düzenlemiştir [42].

3.1.2 Bakır

29 atom numarasına sahip olan bakır elementi doğada yaygın halde bulunmaktadır. Bakır, bu yaygın varlığına bağlı olarak canlıların günlük hayatında her gün belirli dozlarda maruz kaldıkları bir element olmuştur. Örneğin, su borularının yapısında kullanılan bakır sebebiyle sulardaki bakır oranı yükselir ve su tüketimiyle birlikte canlının vücuduna geçer.

Bakır elementi canlılar için temel bir element olup varlığı belirli bir miktara kadar önem arz eder ancak yüksek miktardaki konsantrasyonlar hem canlı hem de çevre için olumsuz etkiler gösterir. Örneğin; yüksek bakır içeren topraklarda, bakır mevcudiyetinin fazlalığı bazı mikroorganizmaların ve solucanların yaşamını tehdit ederek sayılarının azalmasına neden olur. Bunun sonucunda toprağın verimi düşer ve tarım alanları tehdit altına girer [43].

3.1.3 Cıva

Atom numarası 80 olan ve oda sıcaklığında sıvı halde bulunan tek metal olan cıva; doğada element halinde bulunabildiği gibi organik ve inorganik bileşikleriyle de bulunabilir. Cıvanın elektriksel iletkenliğinin yüksek olması ve diğer metallerle kolay alışım oluşturabiliyor olması sebebiyle birçok sektörde, farklı şekillerde kullanımı mevcuttur. Termometre, barometre ve kan basıncı ölçmeye yarayan cihazlar gibi ölçüm aletlerinde, diş dolgularında, kağıt sanayinde, elektrik endüstrisinde ve madencilikte cıva kullanımına rastlamak mümkündür.

Cıva elementi, oda sıcaklığında buharlaşması sonucu havaya karışır ve solunum yoluyla insan vücuduna etki edebilir. Solunumla vücuda alınması sonrasında kana ve diğer dokulara da nüfuz eden cıva metali başta akciğer olmak üzere birçok organda ve dokuda tahribat yaratabilir. Elementel cıva gibi, organik ve inorganik bileşikleri de canlı sağlığı için tehdit unsurudur ve nörolojik rahatsızlıklar başta olmak üzere, inorganik bileşiklerin etkisi özellikle böbreklerde karşımıza çıkar [44].

3.1.4 Çinko

Doğada en sık bulunan ve atom numarası 30 olan çinko elementi, genellikle element halde tek başına bulunmayıp kurşun-çinko bileşikleri halinde mevcudiyet gösterir.

İnsan sağlığı için gerekli bir element olan çinko birçok hayati faaliyetin gerçekleşmesinde rol oynar. Hem Türkiye’de hem de tüm dünya üzerindeki topraklarda çinko eksikliği olduğu görülmektedir. Genellikle killi, kireçli ve organik topraklarda bu eksikliğin olduğu görülmektedir. Çinkonun miktarındaki azalışın fosfor varlığına etkisi olduğu da bilinmektedir. Genellikle çinko eksikliğinin olduğu topraklarda yüksek fosfor konsantrasyonuna rastlanmaktadır [45].

3.1.5 Kadmiyum

Atom numarası 48 olan ve doğada saf halde bulunmayan kadmiyum elementi büyük çoğunlukla +2 değerlikli şekilde oksijen, sülfür ve klor ile yaptığı bileşikler halinde bulunur. Kadmiyumun kullanıldığı alanlara metal sanayi, otomotiv sektörü, tarım ilaçları, plastik malzemelerin stabilizasyonu, nükleer reaktörlerin kontrol sistemleri ve boya sektörü örnek verilebilir. Bunlara ek olarak günümüzde kadmiyumun en sık karşımıza çıktığı yer olarak kadmiyum-nikel piller söylenebilir [46].

Kadmiyumun insan sağlığına olan etkilerine en fazla, endüstriyel alanlarda direkt olarak maruz kalınmasıyla ve sigara dumanı yoluyla karşılaşılmaktadır. Düşük dozlarda maruziyeti bile toksik etki gösteren ve kanserojen olarak kabul edilen kadmiyumun başlıca zararı böbreklere ve akciğerlere olmaktadır. Prostat rahatsızlığında da etkisi olan kadmiyum ile yapılan çalışmalarda özellikle bu metalin birikiminin testislerde ve yumurtalıklarda olduğunun görülmesi sebebiyle, bu elementin üreme sistemini tehdit eden bir madde olduğu söylenebilir.

3.1.6 Kurşun

Periyodik tabloda metaller sınıfına giren, 82 atom numarasına sahip kurşun elementinin tarih öncesi dönemlerden bugüne dek insanlar tarafından kullanıldığı bilinmektedir. Doğada element halinden ziyade inorganik bileşikler halinde

bulunan kurşunun insan yaşamına olan etkisi özellikle 1920'li yıllardan itibaren bu elementin fosil yakıtlarda katkı maddesi olarak kullanılmasıyla olmuştur. Günümüzde bu şekilde olan kullanımı önemli oranda azalmış olsa da çevre üzerindeki etkisi devam etmektedir [47]. Bununla beraber kurşunun; silah sanayisinde, akü ve su borularının yapısında, radyasyon zırhlama yöntemi olarak medikal ve askeri uygulamalarda kullanımı mevcuttur.

Kurşun elementinin, insan vücudunda bilinen bir rolü yoktur ve buradan hareketle de canlıların bu elemente ihtiyaçları olmadığını, düşük dozlarda alınmasının bile maruziyete yol açacağı söylenebilir. Organizma yapısına katılımı sindirim ve solunum yoluyla gerçekleşebileceği gibi düşük oranda da olsa cilt teması yoluyla da gerçekleşebilir. Bütün formları toksik etki gösterebilen kurşun hücre içine girdiğinde demir, magnezyum, kalsiyum ve sodyum gibi canlı için gerekli olan temel elementlerin katyonlarıyla yer değiştirir ve bu elementlerin rol aldığı metabolik faaliyetlerin engellenmesine sebep olur. Bu etkileriyle beraber kurşun, canlıların hücre yapısında hasara yol açan oksidatif stresin de kaynaklarından biridir [48].

3.1.7 Nikel

Metaller sınıfında yer alan ve atom numarası 28 olan nikel, doğada element halinden ziyade sülfür ve klorla yapmış olduğu bileşiklerle bulunmaktadır. Nikelin esas kaynağı volkanik faaliyetler olup yüksek sıcaklıklara, paslanmaya ve aşınmaya karşı dayanıklı bir elementtir. Nikel, sahip olduğu bu özellikleri sebebiyle mücevherlerde, metal paralarda, paslanmaz çelik üretiminde, roket motorlarında, endüstriyel fırınlarda, medikal ve ev aletlerin yapımında kullanılmaktadır.

Nikel her ne kadar canlılar için temel bir element olsa da vücut ileyişindeki rolü net olarak belirlenememiştir. Bünyede eksikliği halinde başta karaciğer hücresinde olmak üzere çeşitli sorunlara sebebiyet vermektedir. Az miktarlarının toksiditesi düşük olsa da yüksek dozlarda maruziyet gerçekleştiğinde nikelin de insan sağlığı için yarattığı tehditler mevcuttur. Elementel haline oranla daha fazla toksik etkiye sahip olan nikel bileşikleri, genellikle solunum yoluyla vücuda alınır ve solunum yollarında hasarlara yol açabilir [49].

4.1 Çalışma Sahası

Ülkemizin Kuzey Ege kısmında yer alan, günümüzde Balıkesir ile Çanakkale sınırları içinde bulunan Edremit Körfezi, kara ekosistemi ile suyun buluştuğu değerli bir kıyı şerididir. Kıyı şeritleri sahip oldukları avantajlarla tarihten günümüze dek insanlar için her zaman elverişli yerleşim alanları olmuşlardır. Edremit Körfezi de bu anlamda hem limanlarının varlığıyla ticaret ve ulaşımında hem turistik yönden hem de tarım alanlarıyla tercih edilen bir bölge olmuştur. Edremit Körfezi aynı zamanda balıkçılığın yapıldığı bir bölge olup, neredeyse her kıyısında amatör olarak balıkçılık yapıldığına rastlanılabilmektedir.

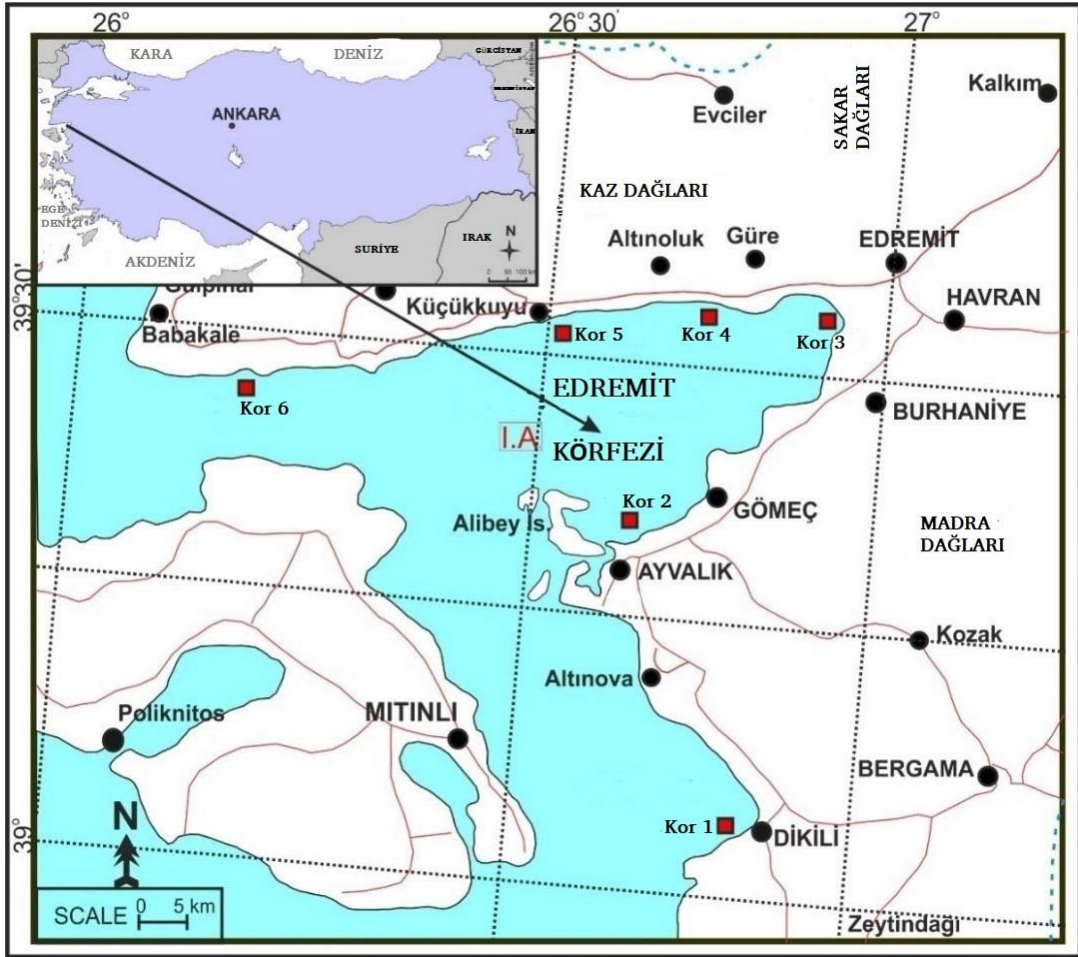
Tarım yönüyle ele alındığındaysa özellikle zeytincilik faaliyetlerinin bu bölgede yoğunlaştığı görülmektedir. Türkiye'deki zeytin üretiminin %14'ünün bu alanda yapıldığı bilinmektedir; bu oran epey yüksek olup, bölgenin "Türkiye'nin zeytin ambarı" olarak anılmasını sağlamıştır. Yalnızca zeytin üretimiyle sınırlı kalmayıp; incir, pamuk, mandalina, üzüm gibi ürünlerin yetiştiriciliği de yapılmakla beraber sabun ve orman ürünleri imalatı da bölgenin önemli ekonomik kaynakları olarak öne çıkmaktadır [50].

Edremit Körfezi'nin sahip olduğu kıyı şeridi özellikle yaz aylarında turist çekerek bölge nüfusunun artmasına sebep olmaktadır. Yine bu bölgede yer alan Kaz Dağları doğa turizmine ve son yıllarda popüler hale gelen ekoturizme imkan sağlamaktadır.

4.2 Numune Alma ve Numunelerin Hazırlanması

Yapılan çalışmada Edremit Körfezi'ndeki çeşitli noktalardan alınan deniz sedimentlerinin radyoaktivite ve ağır metal analizlerinin yapılması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda çalışma bölgesinde uygun görülen altı noktadan; derinlikleri 8 metre ile 23,45 metre arasında değişen numuneler, core box yöntemi kullanılarak

elde edilmiştir. Numunelerin alındığı lokasyonları gösteren yer bulduru haritası Harita 4.1’de, lokasyonlara ait koordinatlar ise Tablo 4.1’de verilmiştir. Denizden alınmış örnek bir sediment numunesi Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Harita 4.1 Numunelerin alındığı yer bulduru ve lokasyon haritası



Şekil 4.1 Denizden alınan örnek numuneler

Tablo 4.1 Lokasyon koordinatları

Kor Numune No	Coğrafi Koordinatlar	
	Y	X
Kor 1	488797.88	4325277.83
Kor 2	475729.14	4355488.64
Kor 3	494813.47	4378142.97
Kor 4	491027.62	4381477.59
Kor 5	478342.41	4379219.58
Kor 6	465428.07	4376831.70

4.3 Radyoaktivite Analizi

4.3.1 Gama Spektrometresi

Radyoaktiviteyi belirlemek kullanılan birçok analiz yöntemi vardır. Gama spektrometresinde temel amaç radyoaktivitenin varlığını tespit etmek ve tespit edilen radyoaktivitenin kaynağını belirlemektir [51]. Gama spektrometresi kullanarak atmosferdeki havada, sulara ve karada bulunan radyoaktif madde miktarları belirlenerek radyoaktif kirlenmenin seviyesi anlaşılabilir. Bu tez çalışmasında radyoaktivitenin ölçümünde yüksek saflıkta germanyum dedektörü (HPGe) kullanılmıştır. Ge dedektörü içeren gama ışını ölçümü yapan sistemlerde farklı enerji düzeyleri ve şiddetlerine sahip gama ışınları kaynağı olan radyoaktif maddelerin analizleri yapılabilmektedir. Bu tip, enerji duyarlı radyasyon dedektörlerindeki yapıyı; sıvı azot bazlı bir dedektörü soğutmaya yarayacak sistem, dedektörün ürettiği sinyallerin algılanmasını sağlayacak elektronik sistem ve elde edilen spektrum verilerini algılayıp, gösterme ve saklama amacıyla

kullanılan yükselticilerden oluşur. Bu çalışmada yapılan radyoaktif analizler için ORTEC markasına ait GEM50P4-83 model cihaz kullanılmıştır. Cihazda yüksek saflıkta Ge kristalinin kullanıldığı sistem, enerji aralığı 40 keV ile 10 MeV arasında bulunan gama ışınlarını tayin edebilmektedir. Cihazın 1,332 MeV’de rezölasyonu 1,90 KeV olup sahip olduğu relatif verim %50’dir. Şekil 4.2’de kullanılan cihaz gösterilmiştir.



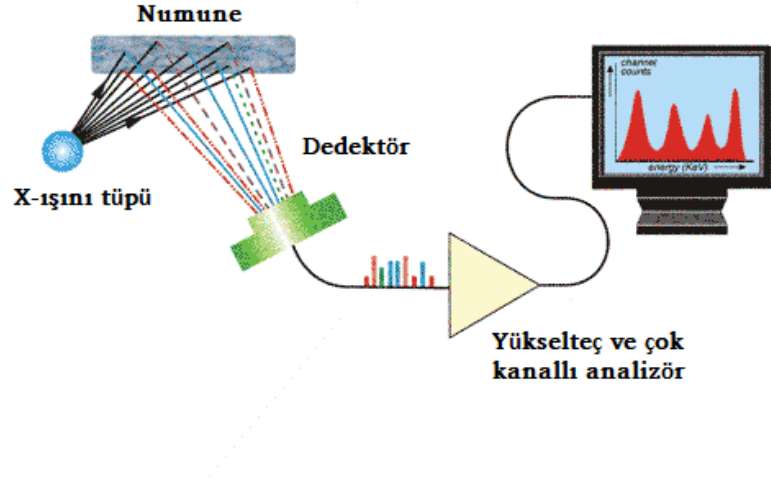
Şekil 4.2 HPGe dedektörü [52]

4.4 Ağır Metal Analizleri

4.4.1 X-Işını Floresans Spektrometresi (XRF)

X-ışını floresan (XRF) tekniği, metal atomlarının bir X ışını kaynağı tarafından uyarılmasıyla beraber yayılan X-ışınlarının spektrumunu ölçme prensibine dayanan bir analiz yöntemidir. Açığa çıkan X ışınlarının enerjisi veya dalga boyu, karakteristiktir ve kullanılan numunedeki metallerin kimliğini ortaya çıkarır. Ayrıca yayılan X ışınlarının yoğunluğu, numunenin konsantrasyonlarıyla ilişkilidir [53]. XRF spektrometresi, kükürttan uranyuma kadar geniş bir aralıktaki her bir element için, farklı tespit limitleri ile, topraklarda ve tortularda bulunan tipik element seviyelerini kapsayan, ppm seviyesinden yüzde (%) seviyelerine kadar

geniş bir yelpazede analiz yapabilir. Cu, Pb ve Zn gibi metaller, 50 ppm ila 150 ppm aralığında tipik algılama sınırlarına sahiptir. Temel olarak bir X-ışını kaynağı ve dedektörden oluşan XRF sisteminin çalışma prensibi Şekil 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.3 Örnek XRF çalışma sistemi [54]

XRF cihazı, üretici tarafından belirlenen temel parametreler gibi birkaç farklı yöntem kullanılarak kalibre edilir. Bu çalışmada, toplanan deniz sedimentlerindeki toplam ve ana elementlerin belirlenmesi için bir XRF yöntemi kullanılmıştır.

Bu tez çalışmasında toz haline getirilen numunelerin XRF ölçümleri Şekil 4.4'te gösterilen PANalytical marka Minipal model enerji dağılımlı XRF spektrometre ile standartsız analiz yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Kullanılan XRF spektrometresinin yarı niceliksel analizinde, Na-U arasındaki elementler yüzde (%) oranında belirlenmiş ancak bu aralığın dışındaki elementler tayin edilememiştir. Ayrıca kullanılan cihazın standart sapması nedeni ile de %5'in altındaki tayin değerleri raporlanmamıştır.



Şekil 4.4 XRF cihazı [55]

4.4.2 LIBS Tekniğı

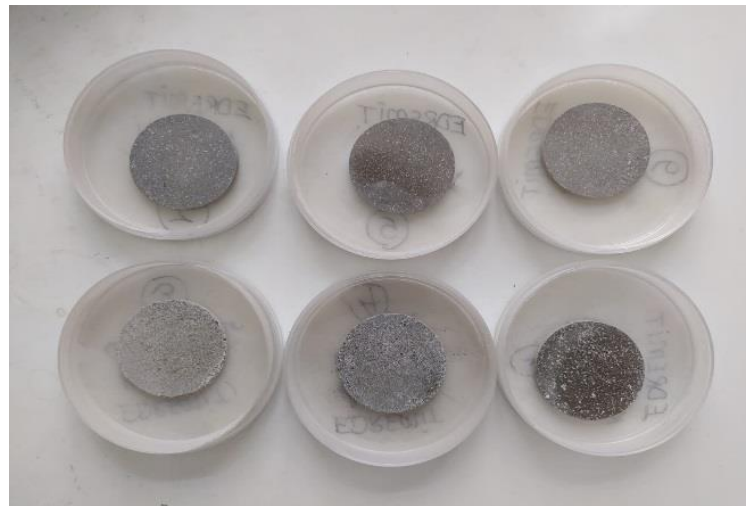
LIBS yöntemiyle yapılan spektral analizlerde tetkik edilecek örnek yüzeyine lazer atımı gerçekleştirilir. Bu lazer atımı sonucunda plazmaya dönüşen mikron boyutundaki maddedeki uyarılmış atomun meydana getirdiğı karakteristik emisyonun ölçülmesiyle bir spektrum elde edilir. Bu analizlerde elde edilmiş olan spektrumların, geniş bir dalga boyu aralığında ve komplike bir süreç sonrasında açığa çıkan sinyal ölçümleri olduğunu söylemek mümkündür. Ortaya çıkan sonuçların doğru şekilde yorumlanabilmesi için, atom ve iyonların yaydıkları karakteristik emisyon değerlerinin bulunduğu veritabanları kullanılır; buradaki bilinen spektrumlarla numunelerden gelen spektrumların eşleşmesi, kalitatif bir analiz için yeterli olmaktadır. Ancak kantitatif ölçüm yapılmak istendiğinde yani bir numune içindeki elementel konsantrasyonlarının bilinmesi istendiğı takdirde LIBS yöntemi yetersiz kalmaktadır [56].

LIBS yöntemi; kullanımının kolay olması, zahmetli ön hazırlık süreçleri gerektirmemesi, hızlı sonuç vermesi ve verdiği sonuçların çok geniş bir aralığı kapsıyor olması sebebiyle kalitatif analiz için oldukça kullanışlı bir yöntemdir. Bu tekniğın nicel analizlerdeki kapasitesinin artması ve bu alanda da kullanılması için çalışmalar yapılmaktadır [57].

Çalışmada kullanılan numuneler LIBS yöntemine uygun hale getirilmesi amacıyla öncelikle laboratuvar ortamında seramik havanda toz haline getirilmiştir. Herbir numuneden alınan 3 grama karşılık 0,9 gr selüloz karıştırıldıktan sonra preslenerek, pelet haline getirilmiştir. Numunelerin toz halleri ve daha sonrasındaki pelet halleri sırasıyla Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Pelet halindeki numunelerin LIBS analizleri ECCO marka cihaz ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.7'de toz numunelerin pelet haline getirilmesini sağlayan presleme aletinin, Şekil 4.8'de ise LIBS cihazının görseli verilmiştir.



Şekil 4.5 Toz haline getirilmiş numuneler



Şekil 4.6 Pelet haline getirilmiş numuneler



Şekil 4.7 Presleme aleti



Şekil 4.8 LIBS cihazı [58]

5

SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1 Radyoaktivite Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

HPGe dedektörü ile yapılan analizler neticesinde Edremit Körfezi'nden alınan deniz sedimentlerinde belirlenen U-238, Th-232, K-40 ve Cs-137 miktarları Bq/kg cinsinden aşağıdaki Tablo 5.1'de verilmiştir. Elde edilen sonuçların canlılar üzerindeki etkilerinin daha iyi anlaşılabilmesi amacıyla bu verilerden yararlanılarak soğrulan gama doz hızı, yıllık etkin doz eşdeğeri, radyum eşdeğer aktivitesi, iç ve dış tehlike indeksleri ile yaşam boyu kanser riski hesapları gibi radyolojik tehlike parametreleri bu bölümde hesaplanmıştır ve literatürdeki benzer verilerle kıyaslanmıştır.

Tablo 5.1 HPGe dedektörü ile elde edilen sonuçlar

Numune No	U-238 (Bq/kg)	± hata	Th-232 (Bq/kg)	± hata	K-40 (Bq/kg)	± hata	Cs-137 (Bq/kg)	± hata
Kor 1	18,6	0,4	37,7	0,7	522	8,9	0,9	0,1
Kor 2	19,2	0,5	32,7	0,6	518,2	9,2	1	0,1
Kor 3	23,2	0,6	32,4	0,7	466,4	8,6	1,3	0,1
Kor 4	23,9	0,6	37,6	0,6	565,7	9	0,6	0,1
Kor 5	30,7	0,7	48,3	0,9	643,1	10,2	0,0	0,0
Kor 6	24,9	0,6	14,7	0,4	243,6	5,0	0,0	0,0

Sonuçlar incelendiğinde en yüksek radyoaktivite varlığına doğal bir radyonüklit olan K-40 (Potasyum) izotopunun olduğu görülmüştür. 643,1 Bq/kg ile en yüksek miktar birinci numunede gözlenirken 243,6 Bq/kg ile en az miktar altıncı numunede saptanmıştır.

Analiz edilen tüm örneklerdeki U-238 izotopunun varlığının ise 18,6 Bq/kg ile 30,7 Bq/kg arasında olduğu belirlenmiştir. En yüksek miktar beşinci sediment örneğinde karşımıza çıkarken en düşük konsantrasyonun ise birinci sediment örneğinde olduğu görülmektedir.

Bir diğer doğal radyoaktif element olan Th-232'nin ise sediment numunelerindeki varlığı 14,7 Bq/kg ile 48,3 Bq/kg arasında değişmektedir. En düşük orana sahip olan altıncı numune ile en yüksek miktara sahip olan beşinci numune arasındaki fark dikkat çekmektedir.

Diğer radyoaktif elementlerin aksine Cs-137 yapay bir radyonüklittir. Beşinci ve altıncı sediment örneklerinde C-137'ye rastlanmazken diğer dört numunede 0,6 Bq/kg ile 1,3 Bq/kg arasında bu elementin varlığı tespit edilmiştir.

Tablo 5.2'de elde edilmiş olan radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonlarının ortalamaları ve bu konsantrasyonlar hakkında bazı tanımlayıcı olacak istatistiksel veriler sunulmuştur.

Tablo 5.2 Aktivite değerlerinin tanımlayıcı istatistiksel verileri

Radyonüklit	Aktivite (Bq/kg)					
	Ortalama	Ortanca	Standart Sapma	Çarpıklık	En düşük	En yüksek
U-238	23,42	23,55	4,39	0,72	18,60	30,70
Th-232	33,9	35,15	11,03	-0,89	14,70	48,30
K-40	493,17	520,10	135,79	-1,41	243,60	643,10
Cs-137	0,63	0,75	0,54	-0,27	0,00	1,30

Yapılan ölçümler neticesinde elde edilen U-238, Th-232, K-40 ve Cs-137 değerlerinin ülkemizde ve dünyada yapılan bazı diğer çalışmalardaki sediment örnekleriyle karşılaştırılması Tablo 5.3'te verilmiştir.

Tablo 5.3 Farklı çalışmalarda elde edilen radyoaktivite ölçüm değerleri

Numune Lokasyonları	Radyoizotop Konsantrasyonları (Bq/kg)				
	Ra-226	U-238	Th-232	K-40	Cs-137
Butrint Lagünü, Arnavutluk [59]	-	8,00-27,00	13,00-40,00	266,00-675,00	2,80-37,50
Wei Nehri, Çin [60]	10,40-39,90	-	5,30-54,80	514,80-1.175,50	-
Nil Nehri, Mısır [61]	-	3,83-34,94	2,88-30,10	12,31-312,98	-
Oguta Gölü, Nijerya [9]	47,89	-	55,37	1.023,00	-
Tamilnadu, Hindistan [10]		≤2,21	14,29	360,23	-
Ovit Dağbaşı Gölü, Rize [62]	18,37-30,52	-	17,36-27,06	248,46-369,38	7,08-17,63
Borçka Baraj Gölü, Artvin [63]	4,79-21,46	-	9,36-20,65	238,01-721,26	0,79-6,81
Çanakkale Boğazı [64]	16,90-48,60	-	17,50-58,30	443,70-725,60	<2,00-20,00
Balya, Balıkesir [12]	23,00	-	23,00	850,00	-
Edremit Körfezi (Bu çalışma)	-	18,60-30,70	14,70-48,30	243,60-643,10	0,60-1,30

Tüm sonuçlar incelendiğinde görülmektedir ki Edremit Körfezi'nden alınan deniz sedimentlerinin aktivitelerine göre sıralanması $^{40}\text{K} > ^{232}\text{Th} > ^{238}\text{U} > ^{137}\text{Cs}$ şeklindedir. Bu sonuç doğal K-40 izotopunun yüksek aktiviteye sahip şekilde mevcudiyetini gösterirken yapay bir radyonüklit olan Cs-137'nin çok düşük bir aktivite konsantrasyonu ile bölgede yer aldığını göstermektedir.

5.1.1 Soğrulan Gama Doz Hızı (D)

Doğal radyonüklitler olan U-238, Th-232 ve K-40 değerlerinin sahip oldukları aktivite konsantrasyonlarının kullanılmasıyla bu radyonüklitlerden gelen gama ışınlarının yerden bir metre yükseklikteki soğrulan gama doz hızının belirlenmesi mümkündür.

(5.1) denklemi kullanılarak sediment örneklerinin alındığı her bir bölge için soğrulan gama doz hızları hesaplanmıştır. Denklemden; C_u , C_{Th} ve C_K sırasıyla Bq/kg cinsinden U-238, Th-232 ve K-40 radyonüklitlerinin aktivite konsantrasyonlarını ifade etmektedir.

$$D(\text{nGy/h}) = (0,462)C_u + (0,604)C_{Th} + (0,0417)C_K \quad (5.1)$$

Tablo 5.4 Soğrulan gama doz hızları

Numune No	D(nGy/h)
Kor 1	53,1314
Kor 2	50,23014
Kor 3	49,73688
Kor 4	57,34189
Kor 5	70,17387
Kor 6	30,54072

Tablo 5.4'te elde edilen sonuçlar UNSCEAR 2000 raporuna göre belirlenmiş olan ortalama değer 55 nGy/h ile karşılaştırıldığında, dört bölgenin bu sınır değerinin altında kaldığı ancak dördüncü ve beşinci numunenin bu referans değerinin üzerinde olduğu görülmektedir [65].

5.1.2 Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri (YEDE)

Elde edilen ölçülen gama doz hızı kullanılarak insanların maruz kaldığı yıllık etkin doz eşdeğerinin, (5.2) denklemini kullanarak belirlenmesi mümkündür. Denklemdaki 0,7 terimi etkin doz dönüşüm katsayısını ifade eder.

$$YEDE(mSv) = D(nGy/h) \times 8760(h) \times 0,2 \times 0,7(Sv/Gy) \times 10^{-6} \quad (5.2)$$

Tablo 5.5 Yıllık etkin doz eşdeğeri

Numune No	Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri (mSv/y)
Kor 1	0,065
Kor 2	0,061
Kor 3	0,060
Kor 4	0,070
Kor 5	0,086
Kor 6	0,037

Bölgeden alınan örneklerin yıllık etkin doz eşdeğerleri hesaplandığında 0,037 mSv/y ile 0,086 mSv/y arasında değerler elde edilmiştir, elde edilen sonuçlar Tablo 5.5'te verilmiştir. Bu sonuçlar, Uluslararası Radyasyondan Korunma Komisyonu (ICRP)'nin önerdiği ortalama değer olan 1 mSv değerinden oldukça düşüktür [66].

5.1.3 Radyum Eşdeğer Aktivitesi (Ra_{eq})

Canlıların radyoaktiviteden ne ölçüde etkilendiğinin anlaşılması için yaygın olarak kullanılan ölçeklerden bir tanesi de Radyum eşdeğer aktivitesidir. Radyumun bozunması ile ortaya çıkan nüklitler homojen şekilde bulunmazlar. Radyum eşdeğer aktivitesi sayesinde materyallerde dengesiz şekilde dağılmış olan doğal radyonüklitlerin yaratabileceği radyolojik tehlikelerin değerlendirilmesi daha basit hale gelir. Radyum eşdeğer aktivitesi ölçümlerinde üst sınır 370 Bq/ kg olarak belirlenmiştir [67].

$$Ra_{eq} = C_u + (1,43)C_{Th} + (0,077)C_K \quad (5.3)$$

Tablo 5.6 Radyum eşdeğer aktivitesi

Numune No	Radyum Eşdeğer Aktivitesi (Bq/kg)
Kor 1	112,705
Kor 2	105,8624
Kor 3	105,4448
Kor 4	121,2269
Kor 5	149,2877
Kor 6	64,6782

Tablo 5.6'teki sonuçlar incelendiğinde açıkça görülmektedir ki Edremit Körfezi'nden alınan deniz sedimentlerinin radyum eşdeğer aktiviteleri, üst limit olan 370 Bq/kg'ın altındadır.

5.1.4 İç ve Dış Tehlike İndeksleri (H_i , H_d)

Bu çalışmada da analizleri yapılan doğal radyoaktif çekirdekler olan U-238, Th-232 ve K-40, canlı organizmalara dış ışınlanma yoluyla etki ettiği gibi vücuda alınmaları halinde iç ışınlanmaya da sebebiyet verirler. Bu radyonüklitlerin

biyolojik olarak yaratabilecekleri tehlike risklerinin bir ölçütü olarak iç ve dış tehlike indeksleri hesaplanır. (5.4) ve (5.5) denklemleri kullanılarak alınan numunelerin iç ve dış tehlike indeksleri hesaplanmış olup Tablo 5.7’de sonuçlar verilmiştir.

$$H_i = \left(\frac{1}{185}\right) C_U + \left(\frac{1}{295}\right) C_{Th} + \left(\frac{1}{4810}\right) C_K \leq 1 \quad (5.4)$$

$$H_d = \left(\frac{1}{370}\right) C_U + \left(\frac{1}{295}\right) C_{Th} + \left(\frac{1}{4810}\right) C_K \leq 1 \quad (5.5)$$

Tablo 5.7 İç ve dış tehlike indeksi

Numune No	İç Tehlike İndeksi (H _i)	Dış Tehlike İndeksi (H _d)
Kor 1	0,355	0,304
Kor 2	0,338	0,286
Kor 3	0,347	0,285
Kor 4	0,392	0,327
Kor 5	0,486	0,403
Kor 6	0,242	0,175

5.1.5 Yaşam Boyu Kanser Riski (LCR)

Canlılar, tüm hayatları boyunca maruz kaldıkları kanserojen maddeler ve radyasyon dozu sebebiyle kanser hastalığına yakalanma riskleri de artacağından bu riskin hesaplanması önemli bir olgudur. Yaşam boyu kanser riski, yıllık etkin doz eşdeğeri kullanılarak bu tehdidin ölçümünün yapılmasına imkan verir. (5.6) denklemi kullanılarak her bir bölgeden alınan örnekler için yaşam boyu kanser riski hesabı yapılmıştır ve sonuçlar Tablo 5.8’de verilmiştir. Hesaplamada

kullanılan 0,2 değeri, canlılar için kanser risk faktörüken 70 ise ortalama bir insan ömrünü temsil eder [68].

$$LCR = YEDE \times 0,2 \times 70 \quad (5.6)$$

Tablo 5.8 Yaşam boyu kanser riski

Numune No	Yaşam Boyu Kanser Riski ($LCR \times 10^{-3}$)
Kor 1	0,228
Kor 2	0,214
Kor 3	0,210
Kor 4	0,245
Kor 5	0,301
Kor 6	0,130

Yaşam boyu kanser riski için tehlike arz eden üst limit $0,290 \times 10^{-3}$ 'tür [66]. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde beşinci bölgeden alınan numunenin bu üst sınırı aştığı görülmektedir. Gama spektrometresi sonuçlarına göre beşinci bölgede bulunan U-238, Th-232 ve K-40 çekirdeklerinin her birinin diğer bölgelerde bulunan radyoaktif çekirdeklere göre miktarının fazla olduğunun ölçülmüş olması, elde edilen bu sonucu anlamlı hale getirmektedir.

5.2 Ağır Metal Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

5.2.1 XRF Sonuçları

Yapılan XRF analizi sonucunda elde edilen elementlerin sahip oldukları yüzdelere Tablo 5.9'da verilmiştir. Cihazın hassasiyeti sebebiyle %5'in altındaki değerler saptanamamıştır.

XRF cihazı ile yapılan ölçümler neticesinde Edremit Körfezi'nin altı bölgesinden alınan numunelerde Fe, Si, K, Ca, Mg, Al ve Zn elementleri yüzde olarak saptanmıştır. Altı bölgeden alınan numunelerde sırasıyla %15,25; %12,11; %8,21; %6,49; %10,77 ve %11,38 miktarlarında diğer elementlerin var olduğu belirlenmiş ancak cihazın hassasiyeti sebebiyle bu elementlerin hangileri olduğu belirlenememiştir.

Tablo 5.9 XRF analizi elementel analiz sonuçları

Numune	Element Miktarı (%)							
	Fe	Si	K	Ca	Mg	Al	Zn	Diğer
Kor 1	39,92	25,0	7,44	11,69	-	-	-	15,25
Kor 2	47,34	28,50	5,65	-	6,4	-	-	12,11
Kor 3	37,10	27,20	7,99	14,50	5,00	-	-	8,21
Kor 4	28,59	30,1	7,69	11,91	-	8,48	6,74	6,49
Kor 5	42,40	23,800	8,84	14,19	-	-	-	10,77
Kor 6	20,51	23,50	-	44,61	-	-	-	11,38

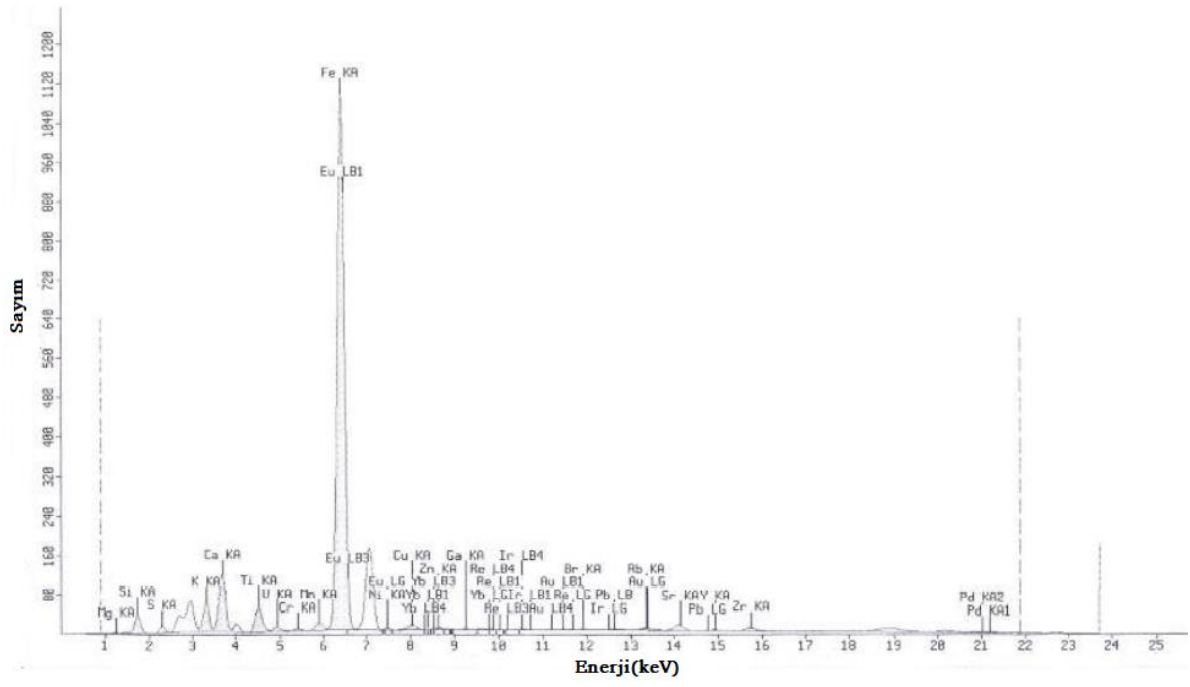
Elde edilen XRF analizine göre elementlerin yüzdeleri incelendiğinde en yüksek yüzdeye sahip elementlerin sıralaması Fe>Si>Ca>Diğer>K>Mg>Al>Zn şeklindedir. Bu sonuçlar gösteriyor ki ortalama olarak demir elementinin varlığı diğer elementlere nazaran bölgede daha fazla bulunmaktadır. Yine bu sıralamaya bakıldığında Zn elementinin varlığı diğer elementlere oranla daha az yoğunlukta bulunmaktadır.

Tablo 5.9 incelendiğinde, diğer sediment örneklerinden farklı olarak dördüncü numunede Al ve Zn varlığının gözlenmesi dikkat çekicidir. Elde edilen verilerle hesaplanan istatistiksel veriler Tablo 5.10'da verilmiştir.

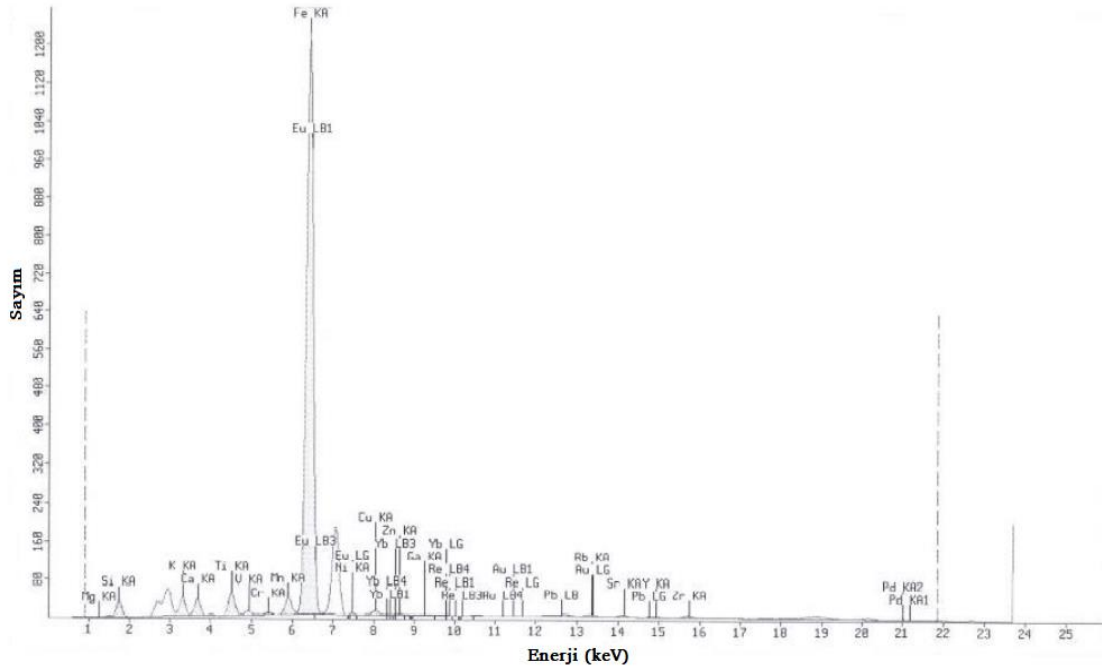
Altı farklı noktadan alınan deniz sedimentleri için elde edilen XRF spektrum grafikleri sırasıyla Şekil 5.1, Şekil 5.2, Şekil 5.3, Şekil 5.4, Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da gösterilmiştir.

Tablo 5.10 Element yüzdelerinin istatistiksel yorumları

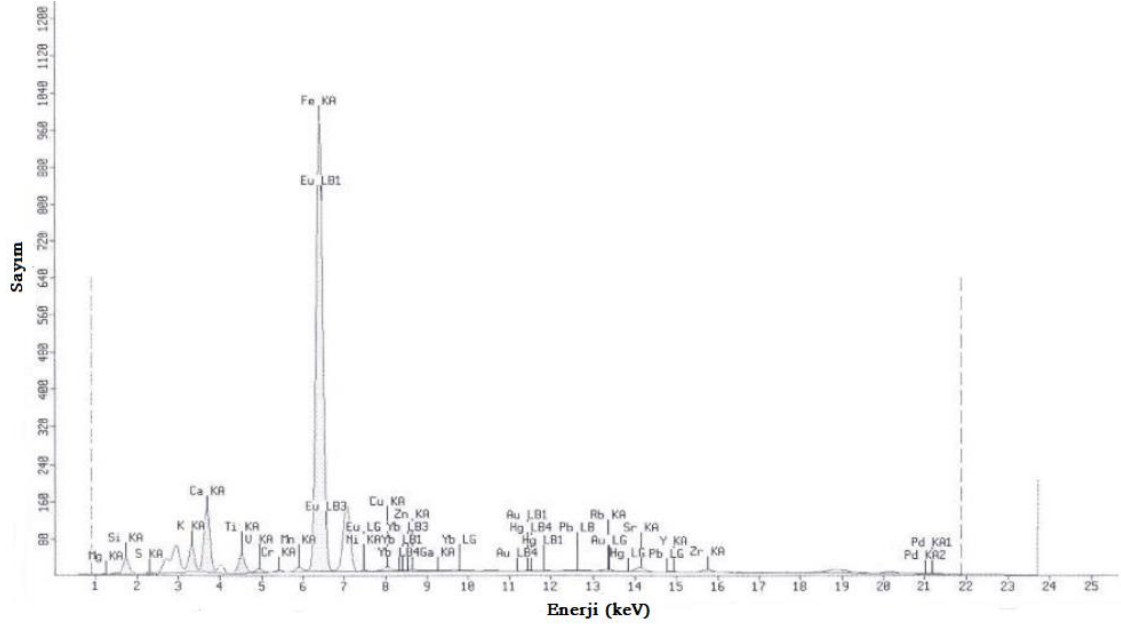
Element	Element Miktarı (%)					
	Ortalama	Ortanca	Standart Sapma	Çarpıklık	En düşük	En yüksek
Fe	35,98	38,51	9,81	-0,73	20,51	47,34
Si	26,47	26,45	2,62	0,19	23,50	30,10
K	6,27	7,57	3,24	-1,93	0,00	8,84
Ca	16,15	13,05	14,93	1,68	0,00	44,61
Mg	1,90	0,00	2,98	1,06	0,00	6,40
Al	1,41	0,00	3,46	2,45	0,00	8,48
Zn	1,12	0,00	2,75	2,45	0,00	6,74
Diğer	10,70	11,08	3,07	0,07	6,49	15,25



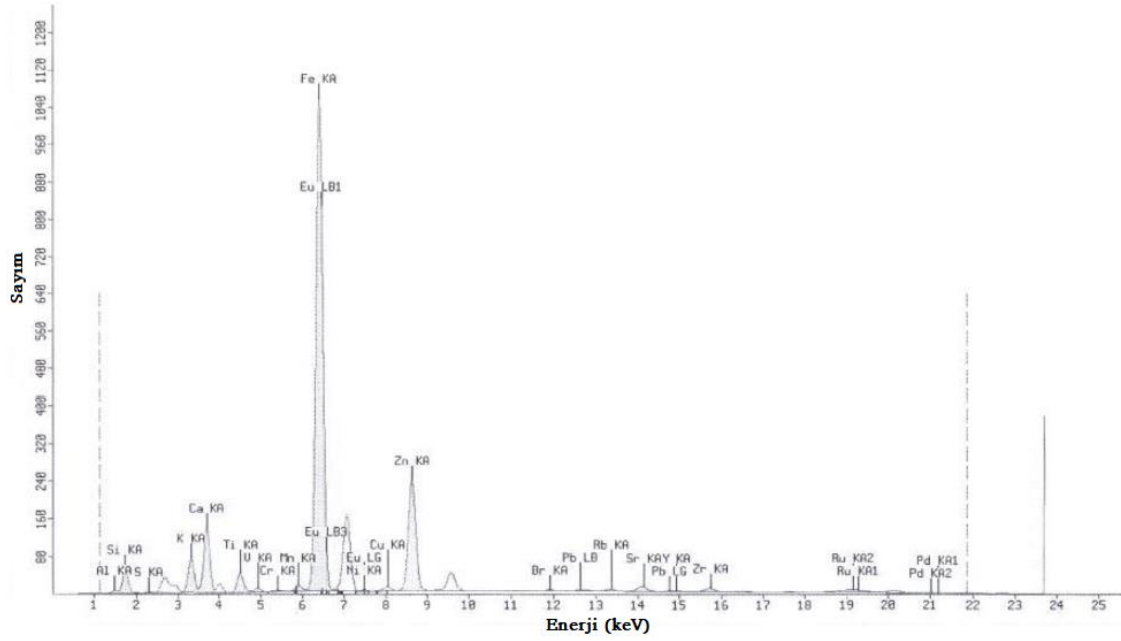
Şekil 5.1 Kor 1 XRF grafiği



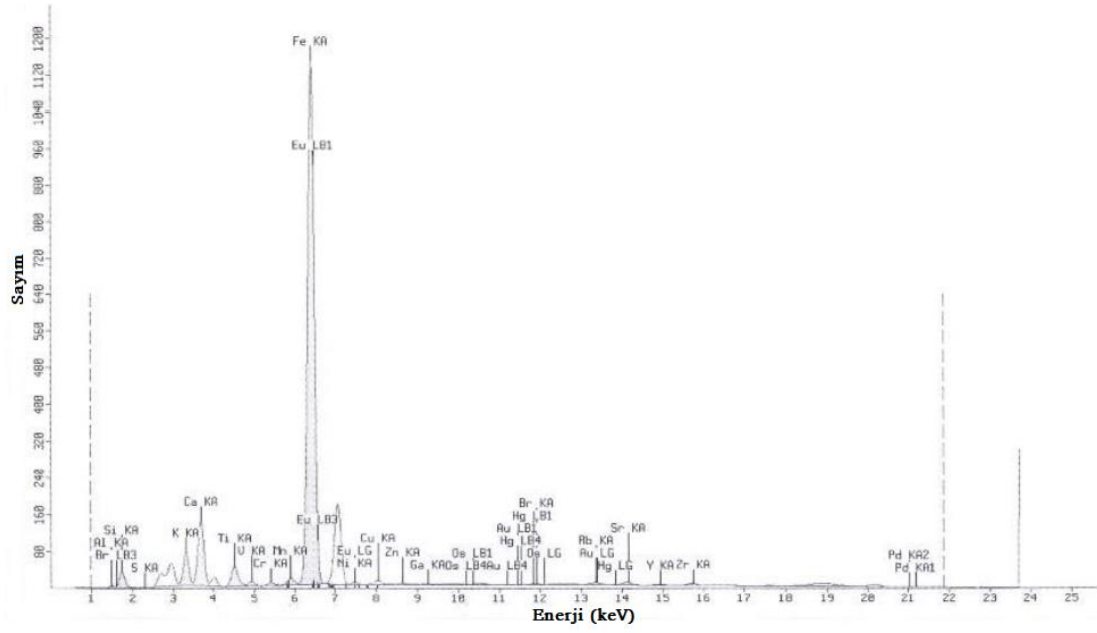
Şekil 5.2 Kor 2 XRF grafiği



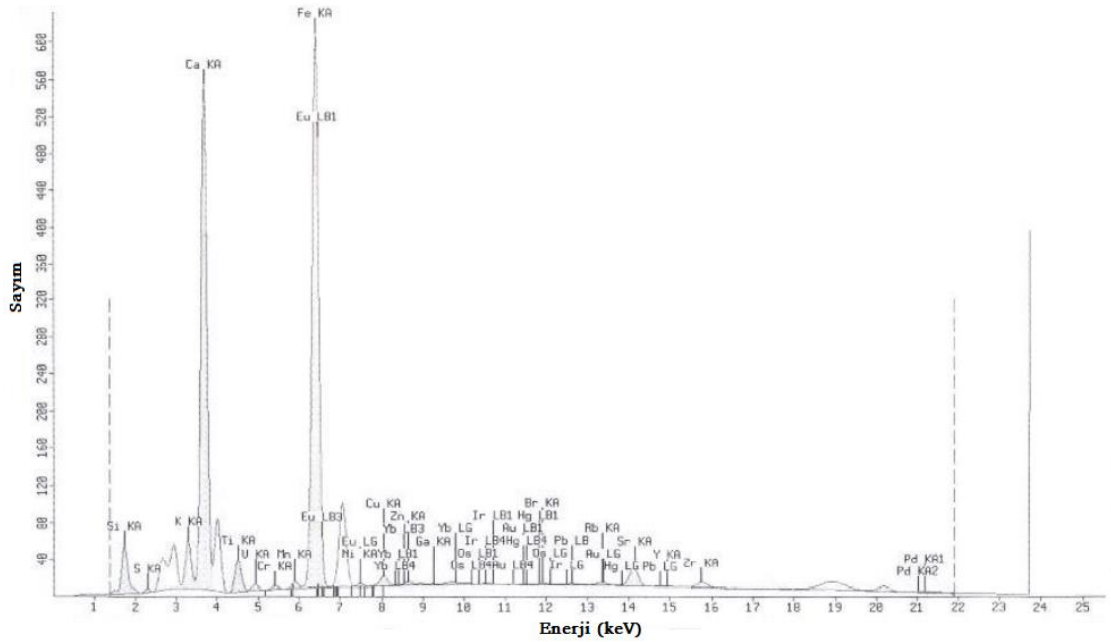
Şekil 5.3 Kor 3 XRF grafiği



Şekil 5.4 Kor 4 XRF grafiği



Şekil 5.5 Kor 5 XRF grafiği

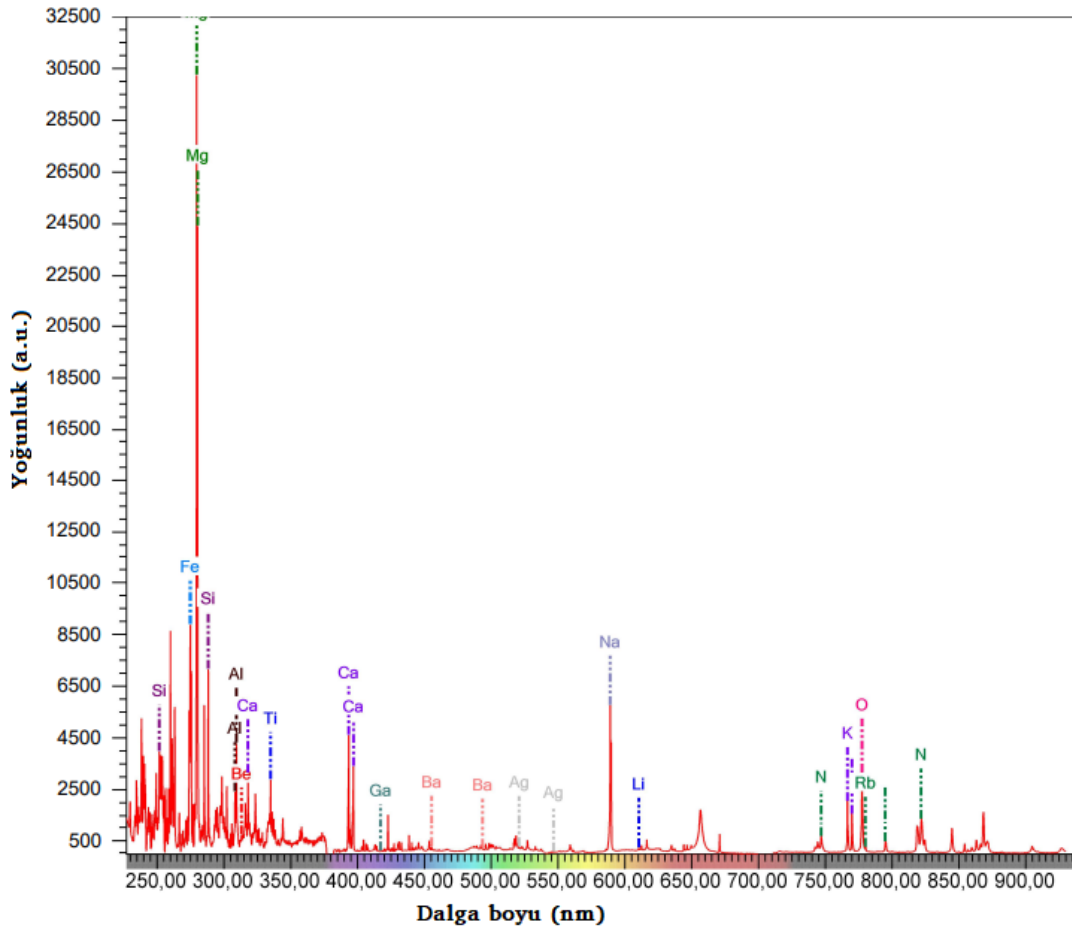


Şekil 5.6 Kor 6 XRF grafiği

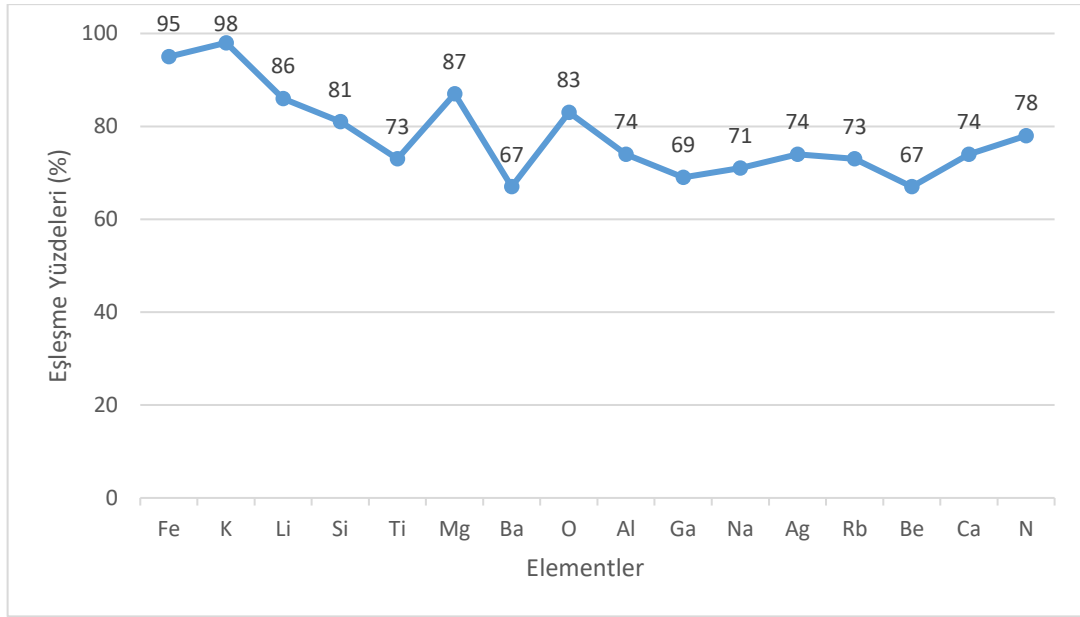
5.2.2 LIBS Sonuçları

Edremit Körfezi'nin altı farklı noktasından alınan deniz sedimentlerinin ağır metal analizini yapmak amacıyla LIBS tekniği uygulanmıştır. Uygulama sonucunda elementlerin numunelerdeki bulunma yüzdeleri hakkında fikir sahibi olunmuştur. LIBS yöntemi ile elde edilen veriler nicel olarak ortamda bulunan elementlerin yüzdesini vermese de öncül bir çalışma olarak nitelendirilebilir ve bölgedeki elementlerin varlığı hakkında bilgi sahibi olunmasını sağlar [69].

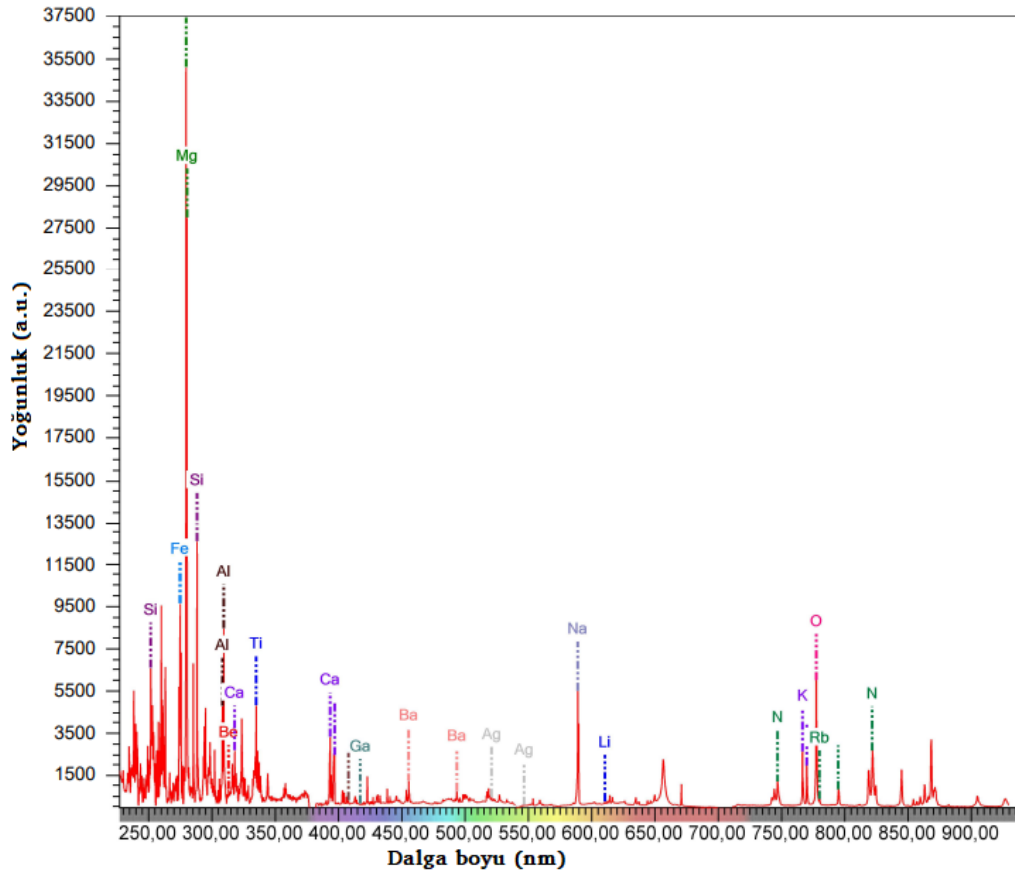
ECCO cihazı ile gerçekleştirilen analizler neticesinde numunelerin referans numunedeki elementlerle olan eşleşme yüzdeleri, bu eşleşme yüzdelerinin bulunmasını sağlayan spektrumlar ve pikler elde edilmiştir.



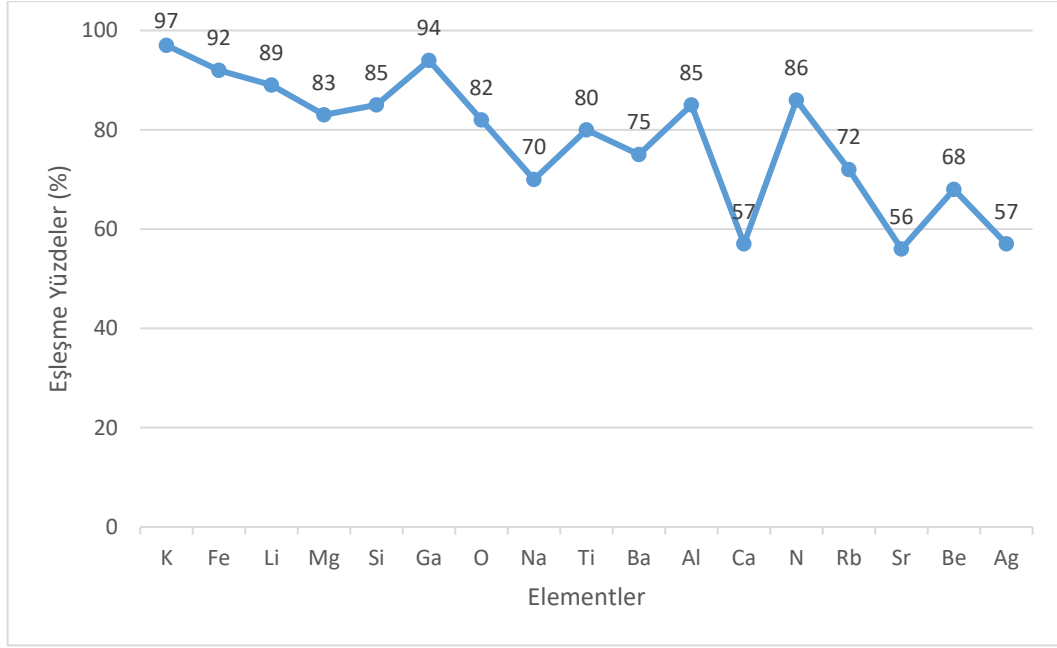
Şekil 5.7 Kor 1 spektrum grafiği



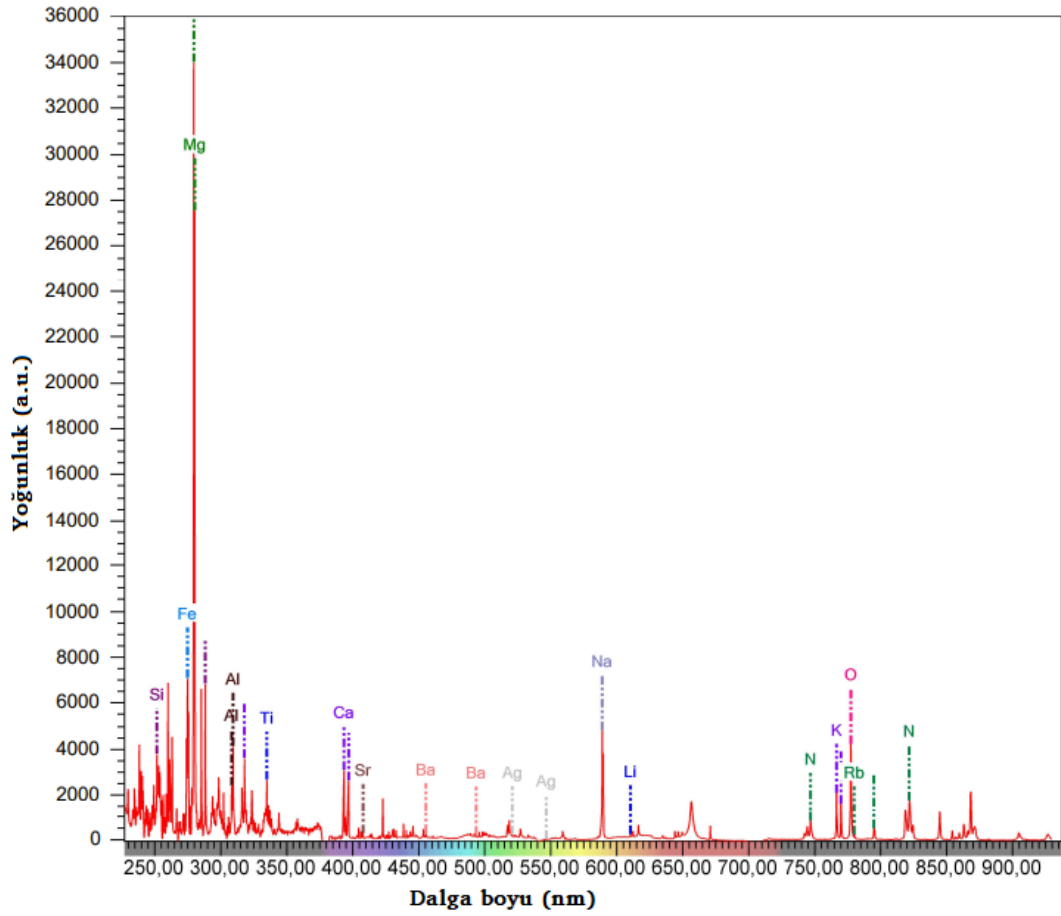
Şekil 5.8 Kor 1 element eşleşme yüzdeleri



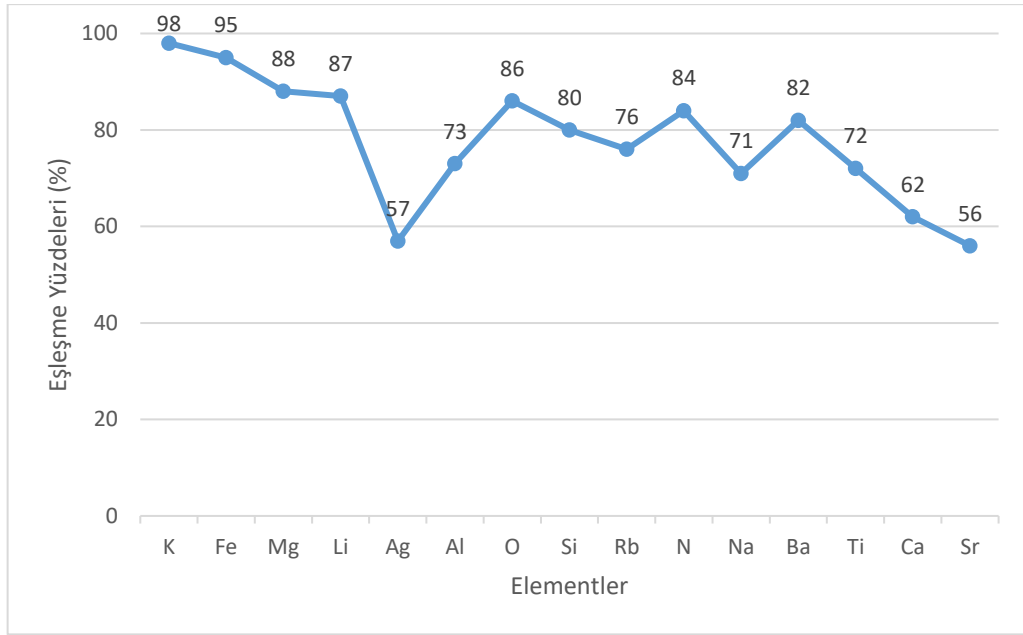
Şekil 5.9 Kor 2 spektrum grafiği



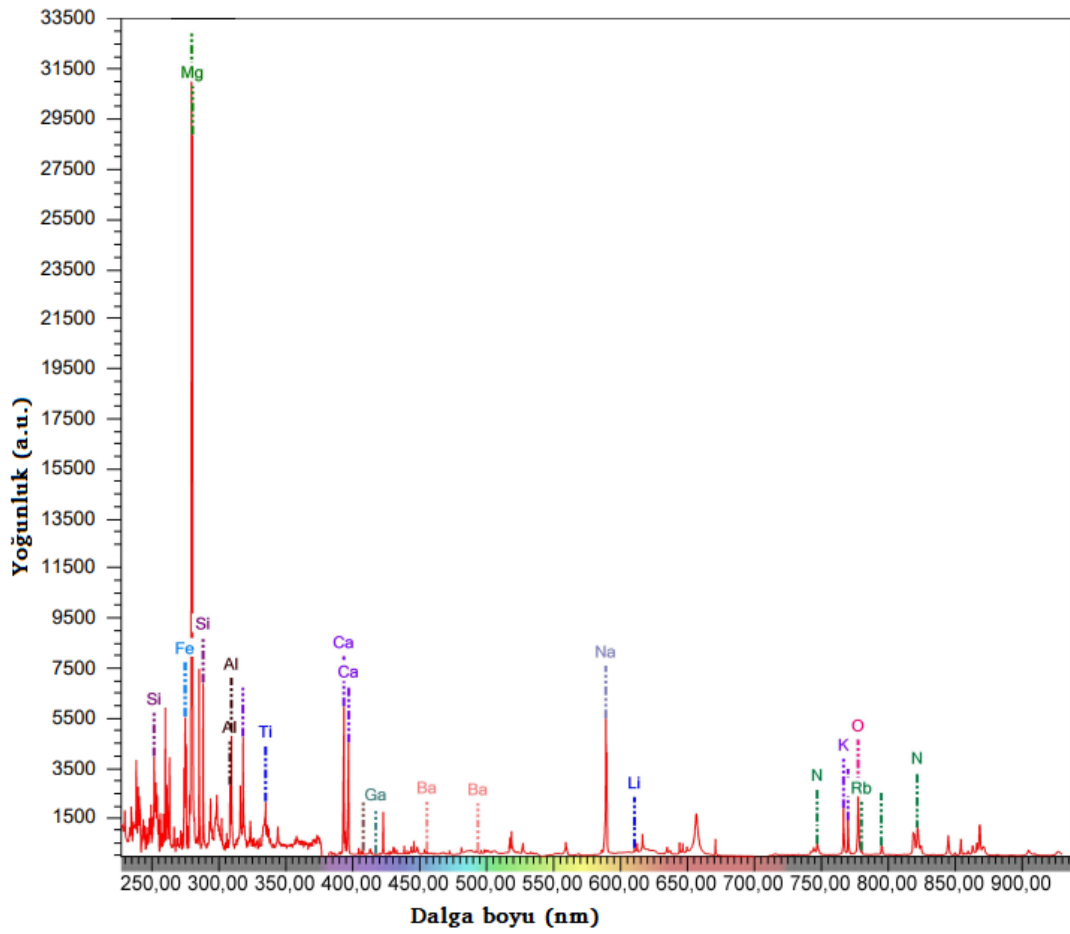
Şekil 5.10 Kor 2 element eşleşme yüzdeleri



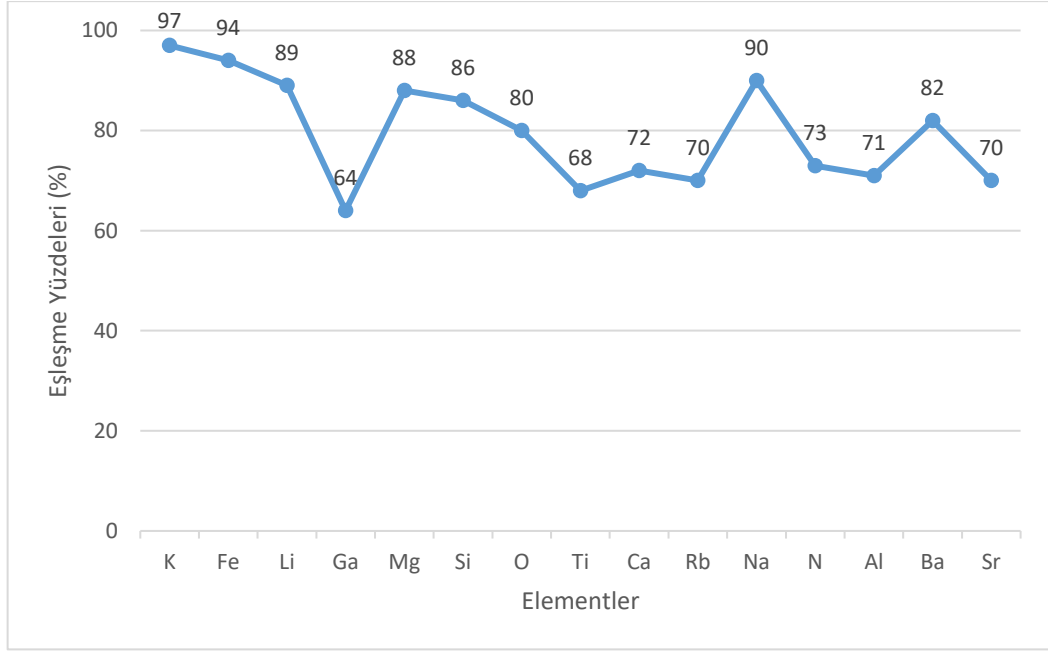
Şekil 5.11 Kor 3 spektrum grafiği



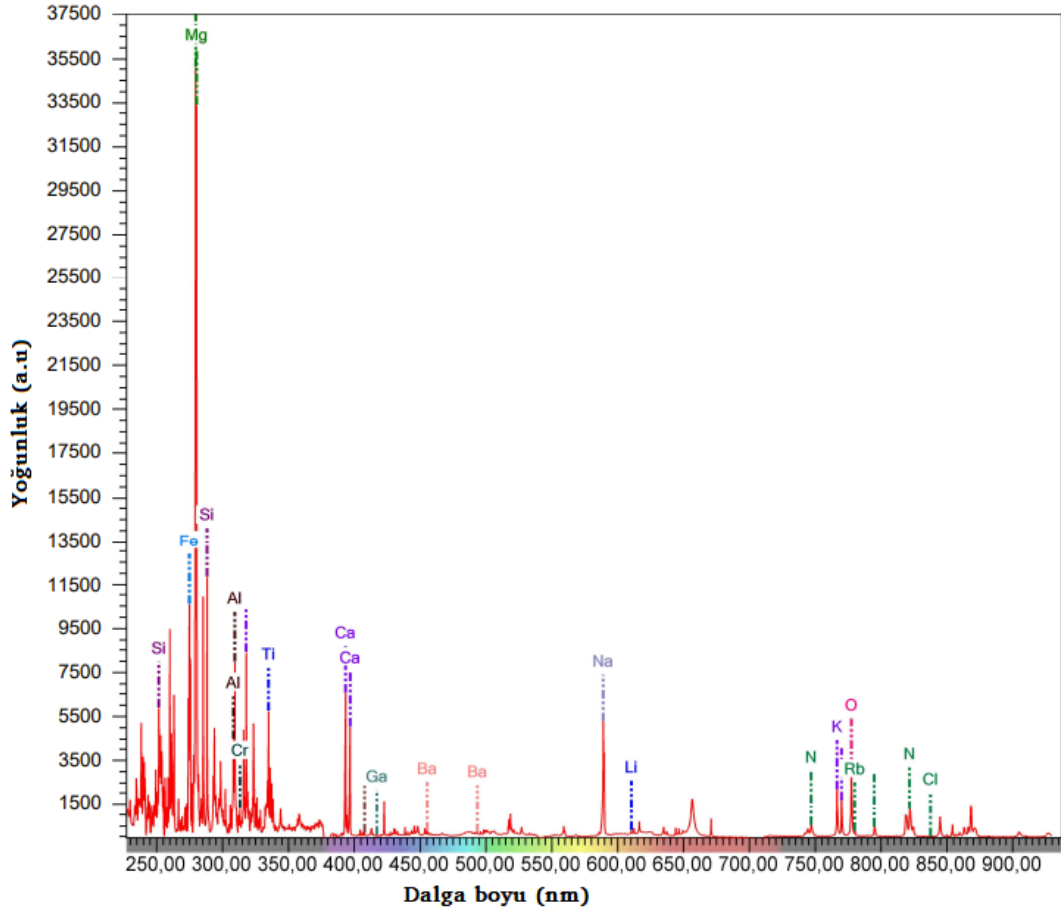
Şekil 5.12 Kor 3 element eşleşme yüzdeleri



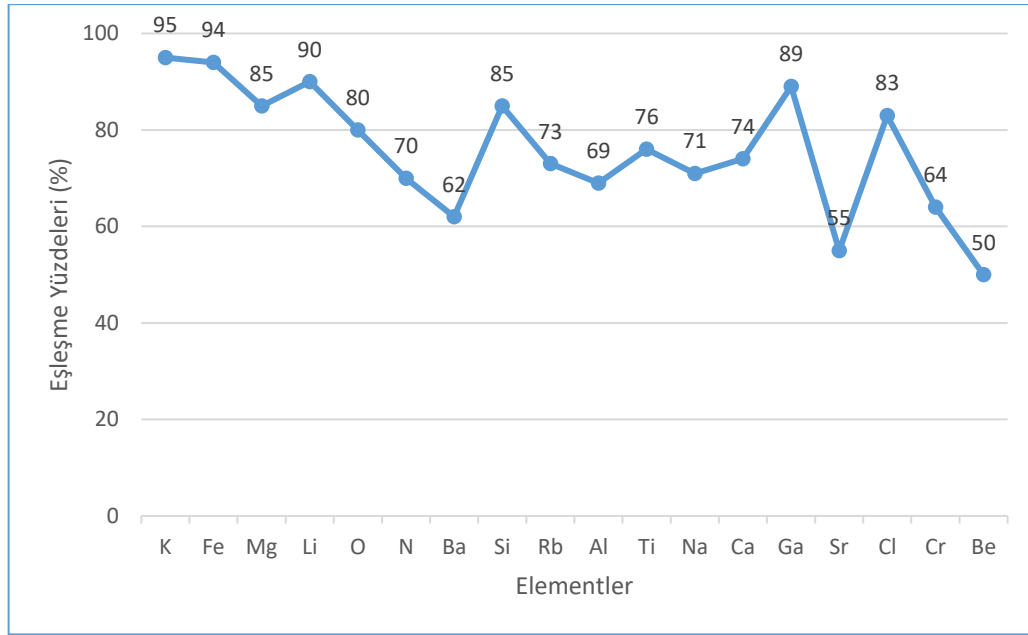
Şekil 5.13 Kor 4 spektrum grafiği



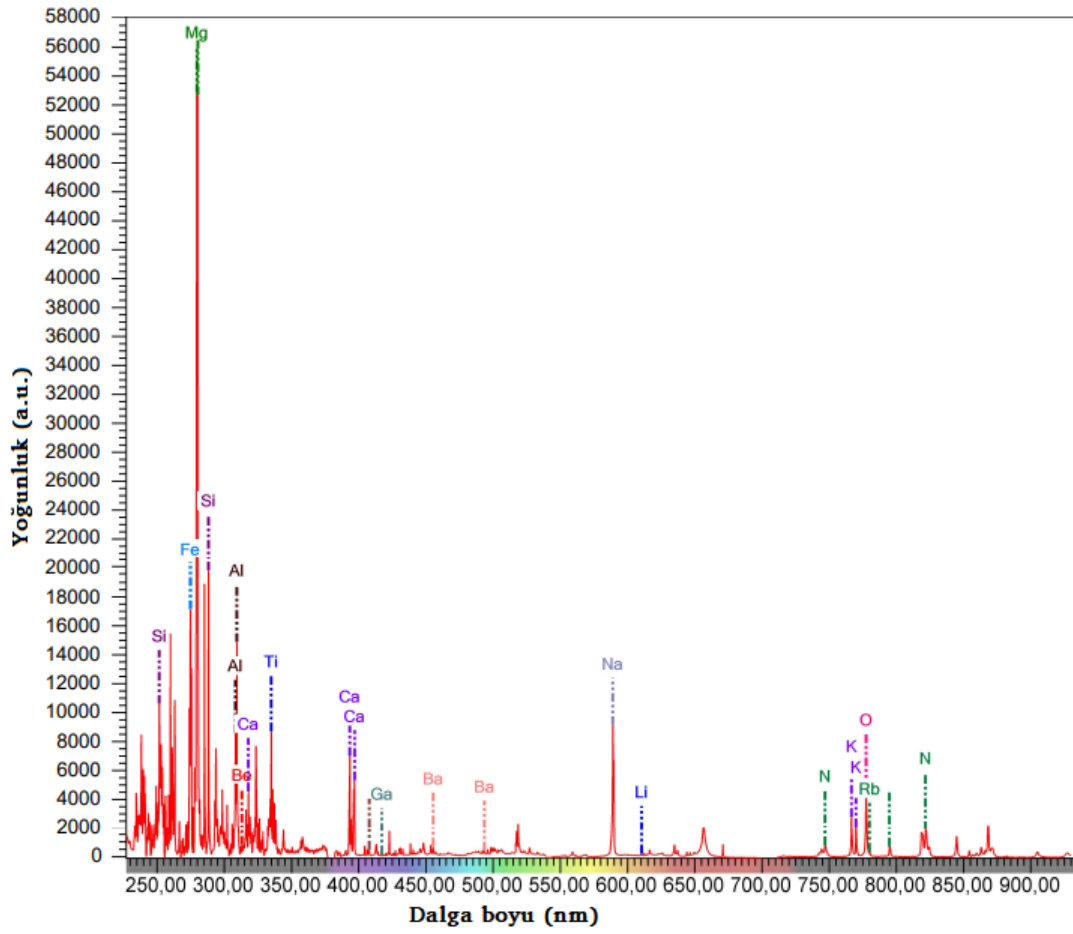
Şekil 5.14 Kor 4 element eşleşme yüzdeleri



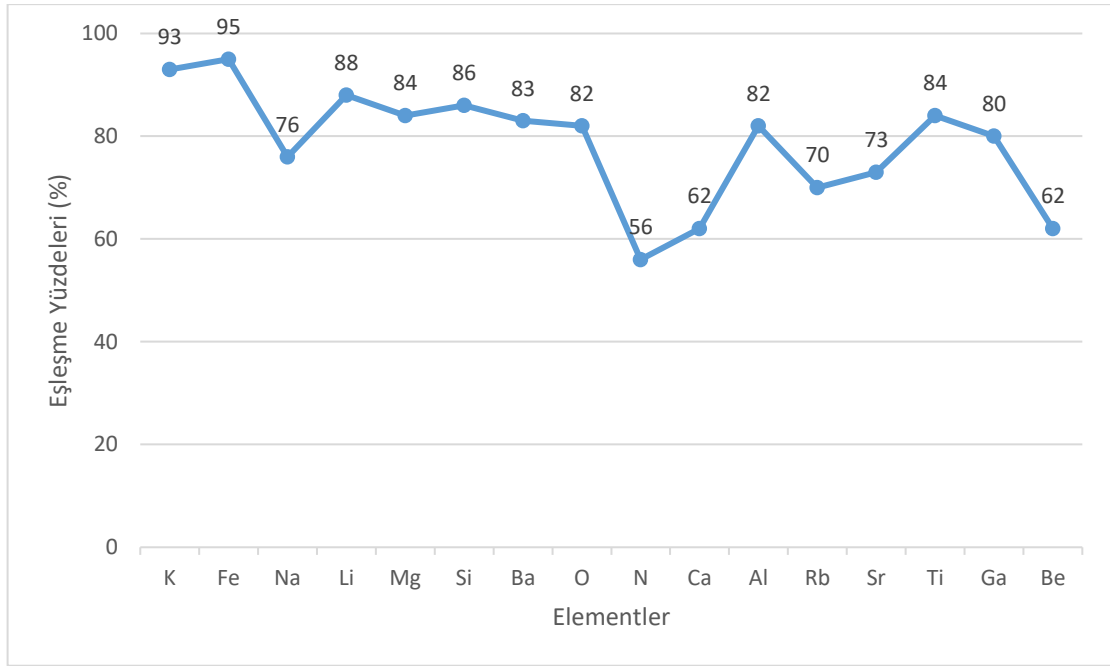
Şekil 5.15 Kor 5 spektrum grafiği



Şekil 5.16 Kor 5 element eşleşme yüzdeleri



Şekil 5.17 Kor 6 spektrum grafiği



Şekil 5.18 Kor 6 element eşleşme yüzdeleri

Tablo 5.11 Pik alanları

Emisyon Hattı (nm)	Kor 1	Kor 2	Kor 3	Kor 4	Kor 5	Kor 6
Na (589)	5771.9	5458	4816.6	5527.1	5285.9	9102.5
Mg (279.55)	30511.5	35557.6	34361	31170.7	34749.3	52763.6
Mg (285.21)	5309.5	6309.6	6310.9	7251.5	10480.6	18968.6
Mg (293.65)	1127.9	3204.4	1489.6	1872.5	4251.5	7043.5
Mg (518.36)	529.2	611	714.2	865	929.1	2094.3
Al (309.28)	3791.5	7831.7	3698.8	4645.9	7423.1	14906.9
Si (251.61)	3279.5	5923	3185.8	3389.5	5004.3	10226.5

Tablo 5.11 Pik alanları (devamı)

Si (263.13)	5147.7	5956.1	4157.3	3450.5	5869.7	10693.2
Si (288.16)	6773	12069.7	6492.9	6658.9	11547.9	20062.1
Si (413.09)	275.2	362.9	169.5	226.6	323.6	755.9
Cl (837.59)	1	9.7	1	9.8	1	3.8
K (766.49)	2161.1	2717	2200.7	2002.9	2229.2	2775.4
K (769.9)	1631.9	2040.8	1708.2	1511.5	1740.4	2059.2
Ca (317.93)	2588.4	2068.5	3116.1	4333.5	7881.8	4153
Ca (422.67)	1421.2	1308.4	1743.8	1714.6	1564.9	1629.1
Ca (430.25)	281.3	329.9	348.6	285	309.1	454.6
Ca (442.54)	87	73.9	133.1	118.3	91.8	46.5
Ca (445.59)	324.7	337	509.6	505.2	411.1	382.4
Ca (487.81)	126.7	175	118.3	137.4	131.6	127.5
Ca (527.03)	360.4	351.7	375.3	397	320.7	419
Ca (534.95)	19.9	47.5	55.5	63.3	46.1	38.2
Ca (558.88)	354.8	341.1	443.3	581.2	485.5	318.1
Ti	2484	4450.6	2277.7	1776.4	5311.7	8521.2

Tablo 5.11 Pik alanları (devamı)

(334.94)						
Ti (453.56)	396	631.1	385.2	199.5	317.6	650.3
Ti (498.17)	267.8	387.1	235.4	155.7	225.2	428.5
Fe (259.94)	8193.2	9177.4	6508.9	5606	8737.5	15239.8
Fe (274.7)	8416.7	8954.3	6701.9	5187.5	9881.9	16748.8
Fe (438.35)	598.5	659.9	610.8	333.2	352.5	761.1
Cu (324.75)	402.9	737.2	421.7	188.1	903.4	1935.4
Li (610.37)	118.7	121.2	132.2	193.3	181.2	117.5
Li (670.79)	656.9	973.6	554	618.5	777.6	834.4
Ga (417.2)	5.3	71	147.7	82.2	3.4	45.5
Br (827.24)	28.1	42.2	27.9	17.1	14.5	1
Rb (780.03)	203.5	270.7	198.6	167.9	225.7	254.7
Rb (794.76)	407.2	717.3	475.4	346.9	412.5	654.1
Sr (407.77)	141.6	166.5	187.4	126.5	115.5	367.6
Sr (421.55)	77.2	50.9	123.6	77.1	51.1	203
Sr	62.5	52.4	88.2	62.1	36	89.8

Tablo 5.11 Pik alanları (devamı)

(460.73)						
Be (313.04)	127	113.4	72.1	218.1	590	463.9
In (410.18)	36.8	40.7	42.3	17.9	20.7	27.1
B (249.77)	1549.1	1283	1010.7	989.4	1145.6	2702
Sn (452.47)	83.4	105.6	85.6	47.2	59.6	103.5
Ba (455.4)	161.7	1036.6	187.7	134.3	170.2	515.5
Ba (493.41)	76.1	537.2	76.9	70.2	74.7	171.4
C (247.86)	861.7	589.2	914.1	873	574.6	1604.9
N (821.63)	1311.5	2620	1723.1	1042.5	1212.6	1774.6
N (862.92)	476.7	1006.3	668.9	364.9	412.7	514.4
Au (323.06)	1633.9	3268.7	1656.5	908.6	3964.8	6609.9
O (777.42)	3244.4	6210	4288	2638.3	3050.7	4730.6
O (795.08)	407.2	717.3	475.4	346.9	412.5	654.1
Pb (405.78)	270.2	80.5	245.7	139.8	135.6	334.9
F (685.6)	13.9	4	5	1.3	8.3	13.6
Mn (403.31)	192.4	661	130.6	34.7	70.7	68.4

Tablo 5.11 Pik alanları (devamı)

Cr (520.45)	64.6	135.3	77.6	79.6	209.2	158.9
Cr (336.8)	786.3	1256.5	823.9	572.1	1225.8	2391.1

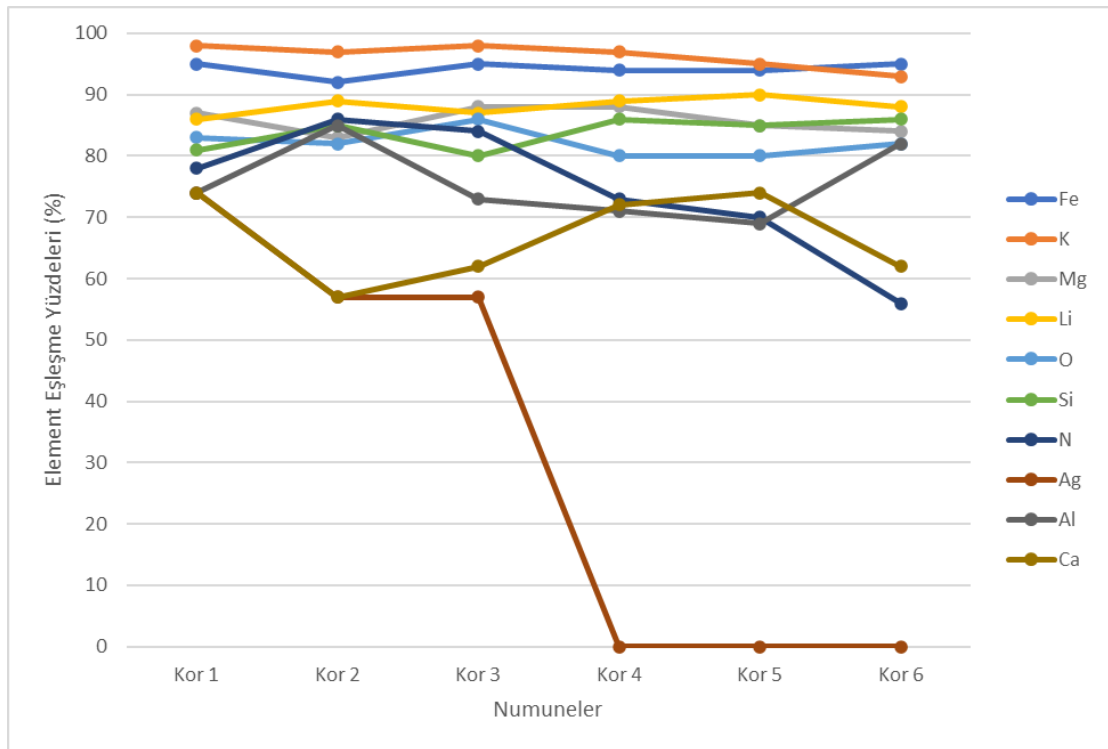
Tablo 5.12 Eşleşme yüzdelerinin toplu halde değerlendirilmesi

Element	Eşleşme Yüzdesi (%)					
	Kor 1	Kor 2	Kor 3	Kor 4	Kor 5	Kor 6
Fe	95	92	95	94	94	95
K	98	97	98	97	95	93
Mg	87	83	88	88	85	84
Li	86	89	87	89	90	88
O	83	82	86	80	80	82
Si	81	85	80	86	85	86
N	78	86	84	73	70	56
Ag	74	57	57	-	-	-
Al	74	85	73	71	69	82
Ca	74	57	62	72	74	62
Rb	73	72	76	70	73	70
Ti	73	80	72	68	76	84
Na	71	70	71	90	71	76
Ga	69	94	-	64	89	80
Be	67	68	-	-	50	62
Ba	67	75	82	82	62	83
Sr	-	56	56	70	55	73
Cl	-	-	-	-	83	-
Cr	-	-	-	-	64	-

LIBS tekniğiyle yapılan ölçümler neticesinde örneklerde bulunan elementlerin ilgili dalga boylarına karşılık gelen spektrumları sırasıyla Şekil 5.7, Şekil 5.9, Şekil 5.11, Şekil 5.13, Şekil 5.15 ve Şekil 5.17’de gösterilmiştir. Bu spektrumlarda hesaplanan pik alanları ile elde edilen elementlerin bulunma olasılığını veren eşleşme yüzde değerleri sırasıyla Şekil 5.8, Şekil 5.10, Şekil 5.12, Şekil 5.14, Şekil

5.16 ve Şekil 5.18’de grafiksel olarak gösterilmiştir. Dalga boylarına karşılık numunelerin sahip oldukları pik alanları Tablo 5.10’da verilmiştir.

Tablo 5.12’de verilen eşleşme yüzdelerine bakıldığında, alınan altı sediment örneğinin de Fe elementini bulundurma olasılığının çok yüksek olduğu görülmektedir. Benzer şekilde K, Mg, Li, O, Si, N ve Al elementlerinin de bölgelerin tümünde mevcut olduğundan bahsedilebilir. Bu elementlerin yer kabuğunun doğal yapısında yüksek mevcudiyetinin olması çıkan sonuçları anlaşılabilir kılmaktadır.



Şekil 5.19 Element eşleşme yüzdelerinin toplu gösterimi

Ag elementi birinci, ikinci ve üçüncü bölgeden alınan numunelerde sırasıyla %74, %57 ve %57 eşleşme yüzdesine sahipken diğer dört bölgede bu elemente rastlanmamış olması dikkat çekicidir. Bir başka dikkat çekici sonuç ise Be elementinin altı bölgenin dördünde %50 ile %68 aralığında eşleşme yüzdesi vermesine rağmen dördüncü bölgeden alınan örnekte hiç eşleşme olmamasıdır. Yine diğer bölgelerde eşleşme sonucu vermemesine karşın beşinci bölgeden alınan sedimentte Cl ve Cr elementlerinin eşleşmesi mevcuttur. Ga elementi altı bölgenin beşinde yüksek oranlarda eşleşme yüzdesi verirken üçüncü bölgede bu elemente

rastlanmamıştır. Benzer şekilde Sr elementinin varlığı beş örnekte tespit edilirken birinci bölgeden alınan numunede bu elementin varlığı saptanamamıştır.

5.2.3 XRF ve LIBS Tekniklerinin Karşılaştırılması

LIBS analizi neticesinde Edremit Körfezi'nden alınan altı sediment örneğinde Fe, K, Mg, Li, O, Si, N, Ag, Al, Ca, Rb, Ti, Na, Ga, Be, Ba, Sr, Cl, Cr olmak üzere toplam 19 element için eşleşme yüzdesi elde edilmiştir. Eşleşme oranları altı bölgenin tümü için de büyük oranda benzerlikler göstermiştir. Tablolar incelendiğinde bölgeler arasında Ag, Ga, Sr, Cl ve Cr elementlerinin sonuçları dikkat çekmektedir. Ağır metal sınıfına giren Ag elementi Kor 1, Kor 2 ve Kor 3 örneklerinde sırasıyla %74, %57 ve %57 eşleşme oranına sahipken diğer bölgelerde bu elementle eşleşme olmamıştır. Benzer şekilde diğer beş bölgede rastlanmayan Cl ve Cr elementleri ise %83 ve %64 olmak üzere yüksek eşleşme göstermiştir. Bu iki elementin daha önce yapılmış olan XRF analizine göre diğer bölgelerde de varlığı tespit edilmiş olmasına rağmen LIBS sonucunda bu netice gözlemlenememiştir.

Tablolar incelendiğinde görülüyor ki XRF ile sedimentlerin tümünde yüksek oranda bulunduğu tespit edilen Fe, Si, Ca ve K elementleri için LIBS metodu da yüksek eşleşme sonuçları elde etmiştir. Bu doğrultuda iki yönteminin birbiriyle paralel sonuçlar verdiği söylenebilir. Mg elementi LIBS analizinde bölgelerin tümünde yüksek eşleşme oranına sahipken XRF analizinde yalnızca iki bölgede %6,4 ve %5 miktarında ölçülmüştür. Buradan hareketle diğer bölgelerde de Mg elementinin varlığının mevcut olduğu ancak XRF ölçümünün hassasiyet sınırının altında kaldığı yorumu yapılabilir. Aynı durum Al elementi için de geçerlidir. İki analiz arasında farklılık gösteren elementlerden bir diğeri de Zn'dir. Ağır metallerden olan Zn elementi XRF analizi sonuçlarına göre Kor 4 örneğinde %6,74 oranında bulunurken LIBS sonuçlarında hiçbir numunede eşleşme yüzdesi vermemiştir.

Sonuçlardan yola çıkarak LIBS metodunun büyük oranda XRF yöntemiyle uyumlu sonuçlar verdiği ancak uyum göstermediği noktalar olduğu da görülmüştür. LIBS yöntemi az maliyetli olması, kolay taşınabilirliği, tahribatsız bir yöntem olması, ölçüm öncesi zorlu hazırlık prosesleri gerektirmemesi ve kısa sürede çok sayıda element için sonuç vermesi yönleriyle avantajlı bir tekniktir. LIBS yönteminin

deniz sedimentlerindeki ağır metal analizlerinde ve çevre çalışmalarında kullanılmasının ne derece uygun olacağının anlaşılması için bu çalışmayı takip eden benzer çalışmaların yapılması ve sonuçların değerlendirilmesi önerilmektedir.

Canlı sağlığını ve ekosistemi tehdit eden en büyük tehlikelerden biri olan toksik etkiye sahip ağır metallere arsenik elementine numunelerde rastlanmamış olup; Mn, Cu, Zn, V, Pb, Sr ve Cr gibi ağır metallerin varlığına düşük oranlarda rastlanmıştır. Yüksek oranda tespit edilen Fe elementi ise yer kabuğunu oluşturan elementlerin başında gelir ve doğada kendiliğinden bol miktarda bulunmaktadır. Her iki analiz sonucu birlikte ele alındığında Edremit Körfezi'nin güncel olarak ağır metal açısından büyük bir tehlike taşımadığı sonucuna varılmıştır. Ancak her geçen gün artmakta olan sanayi ve nüfus, çevre kirliliğini beraberinde getirmektedir. Buna bağlı olarak ağır metal kirliliği de dünyamız ve insanlık için büyük bir sorun haline gelmektedir. Edremit Körfezi için de kentsel yerleşmenin artması, termal tesislerin varlığı sonucunda turizmin etkisi ve giderek gelişmekte olan sanayi ile ağır metal kirliliğinin artış gösterebileceği düşünülebilir. Bu kapsamda bu çalışmada elde edilen sonuçların literatüre kazandırılması ve devamında yapılacak çalışmalarla birlikte ele alınması önem arz etmektedir.

5.2.4 Sonuç

Tüm çalışma neticesinde Edremit Körfezi'nin altı farklı noktasından alınan deniz sedimentlerindeki ağır metal analizleri LIBS ve XRF teknikleriyle, radyoaktif analizler ise HPGe dedektörü kullanılarak gama spektrometresi yöntemiyle belirlenmiştir. Sonuçlar çevre ve canlı sağlığı açısından değerlendirildiğinde yüksek tehlike arz edecek sonuçlara rastlanmamış olup bir bölgede radyoaktivite seviyelerinin diğer bölgelere nazaran daha yüksek olduğu görülmüştür. Ağır metal analizlerine bakıldığında ise yüksek olarak tespit edilen elementlerin zaten yer kabuğunu oluşturan doğal ve canlı sağlığı için de belirli seviyelere kadar varlığının gerekli görüldüğü temel elementler olduğu görülmüştür. Si ve Fe gibi elementler her ne kadar yer kabuğunu oluşturan elementler olsalar da canlı ve çevre sağlığı yönünden risk teşkil etmemeleri için miktarlarının ve bu miktarların zamanla nasıl değiştiklerinin gözlemlenmesi önemlidir. Bölgede altın madenleri bulunmasına ve

sonuçlarda yüksek oranlarda altın elementine rastlanması beklenirken hem kantitatif hem de kalitatif analizlerde altın varlığının saptanamaması dikkat çeken bir diğer husustur.

Bu çalışmada yapılan radyoaktivite analizi sonuçlarıyla elde edilen radyoaktif izotopların konsantrasyonlarının ölçülmesi, bölgede uranyum ve toryum yatakları bulunup bulunmadığı hakkında fikir vermesi yönünden önemlidir. Ayrıca yapay bir radyoizotop olan Cs-137 varlığının incelenmesi ise bölgenin nükleer patlamalardan ve nükleer denemelerden kirlenip kirlenmediğini tespit etmek açısından önemlidir. Bölgede uranyum ve toryum varlığının dünyadaki ortalama değerlerle benzer konsantrasyonlarda bulunduğu tespit edilmiş olup yapay Cs-137 izotopuna ise numune alınan altı bölgenin dördünde düşük konsantrasyonlarda rastlanmıştır.

Elde edilen tüm verilen incelendiğinde Edremit Körfezi'nde dikkat çeken bir radyoaktivite konsantrasyonu ve ağır metal kirliliği gözlenmemesi olumlu bir sonuç olmakla beraber, takip eden yıllarda bu kirlilik seviyelerinin ne yönde ve hangi hızla değişeceğinin bilinmesi önemlidir.

- [1] L. Wang, L. Yang, L. Kong, S. Li, J. Zhu ve Y. Wang, "Spatial distribution, source identification and pollution assessment of metal content in the surface sediments of Nansi Lake, China", *Journal of Geochemical Exploration*, cilt 140, sayfa 87-95, 2014.
- [2] S. Topçuoğlu, *Denizlerin Radyoaktif Kirliliği (VI. Bölüm)*, Deniz Kirliliği, Tüdev Yayınları, İstanbul, No: 21, sayfa 512, 2005.
- [3] U. Sunlu, "Trace Metal Levels in Mussels (*Mytilus Galloprovincialis* L. 1758) from Turkish Aegean Sea Coast", *Environmental Monitoring and Assessment*, cilt 114, sayı 1-3, sayfa 273-286, 2006.
- [4] Ö. Egemen, *Çevre ve Su Kirliliği*, Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Yayınları, İzmir, 1999.
- [5] Z. Yümün ve E. KAM, "Silivri (İstanbul) ve Çanakkale Boğazı Arasındaki Denizel Sedimanlarda ICP-OES ve LIBS Yöntemleri ile Toksik Element Analizleri", *European Journal of Science and Technology*, sayı 17, sayfa 951-958, 2019.
- [6] E. Metin Dereli, A. Ertürk ve M. Çakmakçı, "The Effect of Heavy Metals in Surface Water and Their Relationship with Eutrophication", *Turkish Journal of Aquatic Sciences*, cilt 32, sayı 4, sayfa 214-230, 2017.
- [7] M. Beyhan ve F. Algül, "Assessment of Sediment and Water Quality in Terms of Heavy Metals, In Lake Bafa", *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, cilt 2, sayı 2, sayfa 128-138, 2018.
- [8] M. Sojka, J. Jaskula ve R. Wrozyński, "Analysis of Heavy Metals Contamination in Bottom Sediments of Lakes Located in the Gniezno Lakeland", *Acta Scientiarum Polonorum Formatio Circumiectus*, cilt 18, sayı 4, sayfa 137-149, 2019.
- [9] M. Isinkaye ve H. Emelue, "Natural radioactivity measurements and evaluation of radiological hazards in sediment of Oguta Lake, South East Nigeria", *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, cilt 8, sayı 3, sayfa 459-469, 2015.
- [10] R. Ravisankar ve diğerleri, "Assessments of radioactivity concentration of natural radionuclides and radiological hazard indices in sediment samples from the East coast of Tamilnadu, India with statistical approach", *Marine Pollution Bulletin*, cilt 97, sayı 1-2, sayfa 419-430, 2015.
- [11] A. Y. Ahmed, M.D. P. Abdullah-, A.K. Wood, M.S. Hamza, ve M. R. Othman, "Determination of some trace elements in marine sediment using ICP-MS and XRF (A comparative study)", *Oriental Journal of Chemistry*, cilt 29, sayı 2, sayfa 645-653, 2013.
- [12] C. Şimşek, O. Gündüz, ve A. Elçi, "Terkedilmiş Balya (BALIKESİR) Pb-Zn Maden Atıklarının Ağır Metal ve Doğal Radyoaktivite İçeriği ve Çevre Kalitesi

- Açısından Değerlendirilmesi” , Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, cilt 2, sayı 1, sayfa 43-55, 2012.
- [13] J. N. Stannard, “Radioactivity and health: A history,” Office of Scientific and Technical Information (OSTI), 1988.
- [14] C. Grupen, “Introduction to radiation protection: Practical knowledge for handling radioactive sources”, Springer, 2010.
- [15] K. S. Krane, “Introductory Nuclear Physics”, 3. Baskı, Nashville, John Wiley & Sons, 1987.
- [16] Ş. Görür, “Çevresel radyoaktivite ile bu çevrede yaşayanlara ait dış örneklerindeki radyoaktivite arasındaki ilişkinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2006.
- [17] W. Allison, “Radiation and reason: The impact of science on a culture of fear. Aylesbury”, England: Wade Allison Publishing, 2009.
- [18] "Radioactivity and Radiation", Web.evs.anl.gov, <https://web.evs.anl.gov/uranium/guide/ucompound/rad/index.cfm> (Erişim tarihi: 26.06.2022)
- [19] Gezer F., “Fosfojips`in doğal radyoaktifliğinin belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2011.
- [20] G. Knoll, “Radiation detection and measurement”, New York: Wiley, 2000.
- [21] A. M. Weinberg, “The first nuclear era: The life and times of a technological fixer”, United States, 1994.
- [22] B. Tuğrul, F. Sungur, Ş. Atik, "İstanbul Arkeoloji Müzelerindeki Bazı Cam Eserlerin X-Işını Radyografi Tekniği İle İncelenmesi", VIII. Kazı, Araştırma ve Arkeometri Sempozyumu, II. Arkeometri Sonuçları Bildiri Kitabı, sayfa 81-90, 1986.
- [23] H. Çetin, “Tıbbi amaçlı x ışını uygulamalarında radyasyondan korunmak amacıyla kullanılan kurşunlu önlük malzemelerine alternatif olarak üretilen kurşunsuz örneklerin soğurma özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2011.
- [24] R. Roussin, B. Kirk ve D. Trubey, "Radiation Shielding and Protection", Encyclopedia of Physical Science and Technology, sayfa 581-612, 2003.
- [25] "17.10: The Effects of Radiation on Life", Chemistry LibreTexts, https://chem.libretexts.org/Courses/can/intro/17%3A_Radioactivity_and_Nuclear_Chemistry/17.10%3A_The_Effects_of_Radiation_on_Life (Erişim tarihi: 20.07.2022).
- [26] N.P. Alazraki ve F.S. Mishkin, “Fundamentals of nuclear medicine”, United States, 1988.
- [27] H.A. Özhan, “Radyasyon ve radyoizotopların tıpta kullanılması”, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007.

- [28] T. Çabuk, "Radyasyon terapilerinde çeşitli radyoizotopların doz eşdeğerinin hesaplanması", Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2010.
- [29] T. Haciosmanoğlu, "Doğal ve Yapay Radyasyon Kaynakları, Kişisel Doza Katkıları", Nuclear Medicine Seminars, cilt 3, sayı 3, sayfa 166-171, 2017.
- [30] K. Bayrak, "Marmara Denizi İzmir Körfezi Altınova Tersane Bölgesinde Ağır Metal ve Çevresel Radyoaktivite İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2018.
- [31] E. Gökoğlu, M. Ekinci, E. Özgenç, D. İlem-Özdemir, ve M. Aşıkoğlu, "Effects of radiation on human health", Anadolu Kliniği Tıp Bilimleri Dergisi, cilt 25, sayı 3, sayfa 289-294, 2020.
- [32] D. Gökharman, S. Aydın ve P. Koşar, "Radyasyon Güvenliğinde Mesleki Olarak Bilmemiz Gerekenler", SDÜ Sağlık Bilimleri Dergisi, cilt 7, sayı 2, sayfa 35-35, 2016.
- [33] O. S. Ajayi, "Evaluation of absorbed dose rate and annual effective dose equivalent due to terrestrial gamma radiation in rocks in a part of Southwestern Nigeria" Radiation Protection Dosimetry, cilt 98, sayı 4, sayfa 441-444, 2002.
- [34] E. Kam, "Tekirdağ'ın Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Tayini", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2004.
- [35] M. Ojovan, W.E. Lee, Naturally occurring radionuclides, An introduction to nuclear waste immobilization, sayfa 45, Oxford, UK: Elsevier Ltd, 2005.
- [36] "Sources and Effects of Ionizing Radiation, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) 2000 Report, Volume I", United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) Reports, 2000.
- [37] Ö. Coşkun, "İyonize Radyasyonun Biyolojik Etkileri", Teknik Bilimler Dergisi, cilt 1, sayı 2, sayfa 13-17, 2011.
- [38] N. Yıldız ve G. Yener, "Van Gölü'nde Sediment Birikim Hızı, Radyoaktif ve Ağır Metal Kirliliğinin Tarihlemesi", Ekoloji, cilt 19, sayı 77, sayfa 80-87, 2010.
- [39] J.O. Duruibe, M.O.C. Ogwuegbu, ve J.N. Ekwurugwu, "Heavy Metal Pollution and Human Biotoxic Effects", International Journal of Physical Science, cilt 2, sayı, sayfa 112-118, 2007.
- [40] P. Saha ve B. Paul, "Assessment of Heavy Metal Pollution in Water Resources and their Impacts: A Review", Journal of Basic and Applied Engineering Research, cilt 3, sayı 8, sayfa 671-675, 2016.
- [41] "Metals | US EPA", US EPA, <https://www.epa.gov/caddis-vol2/metals> (Erişim tarihi: 06.06.2022).
- [42] H. Alidadi, S. Tavakoly Sany, B. Zarif Garaati Oftadeh, T. Mohamad, H. Shamszade ve M. Fakhari, "Health risk assessments of arsenic and toxic

- heavy metal exposure in drinking water in northeast Iran", *Environmental Health and Preventive Medicine*, cilt 24, sayı 1, sayfa 59, 2019.
- [43] F. Ö. Asri, ve S Sönmez, "Ağır Metal Toksisitesinin Bitki Metabolizması Üzerine Etkileri", *Derim*, cilt 23, sayı 2, sayfa 36-45, 2006.
- [44] T. Seven, B. Can, B. N. Darende, S. Ocak, "Hava ve Toprakta Ağır Metal Kirliliği", *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, cilt 1, sayı 2, sayfa 91-103, 2018.
- [45] A. Ejimole, "Determination of Selected Heavy Metals in Some Creeks in a Tennessee City.", *Lisans Tezi*, East Tennessee State University, 2011.
- [46] F. Öktüren Asri , S. Sönmez ve S. Çıtak , "Kadmiyumun Çevre ve İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri", *Derim*, cilt 24, sayı 1, sayfa 32-39, 2007.
- [47] H. Cheng and Y. Hu, "Lead (Pb) isotopic fingerprinting and its applications in lead pollution studies in China: a review", *Environmental Pollution*, cilt 158, sayı 5, sayfa 1134–1146, 2010.
- [48] P. Yang ve diğerleri, "High-sensitivity determination of cadmium and lead in rice using laser-induced breakdown spectroscopy," *Food Chemistry*, cilt 272, sayfa 323–328, 2019.
- [49] N. Çağlarırnak ve A.Z. Hepçimen , "Ağır Metal Toprak Kirliliğinin Gıda Zinciri ve İnsan Sağlığına Etkisi", *Akademik Gıda*, cilt 8, sayı 2, sayfa 31-35, 2010.
- [50] A. Yaman, "Edremit Körfezi Kıyılarında Ziraat Hayatı", *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 2006.
- [51] W. Boukhenfouf ve A. Boucenna, "The radioactivity measurements in soils and fertilizers using gamma spectrometry technique," *Journal of Environmental Radioactivity*, cilt 102, sayı 4, sayı 336–339, 2011.
- [52] HPGe Cihaz Özellikleri, <http://merlab.kastamonu.edu.tr/> (Erişim tarihi: 23.05.2022)
- [53] P. Chauhan, R. P. Chauhan ve M. Gupta, "Estimation of naturally occurring radionuclides in fertilizers using gamma spectrometry and elemental analysis by XRF and XRD techniques" *Microchemical Journal*, cilt 106, sayfa 73–78, 2013.
- [54] "XRF: A Powerful Oil Analysis Tool", *Machinerylubrication.com*, <https://www.machinerylubrication.com/Read/602/xrf-oil-analysis> (Erişim tarihi: 11.07.2022).
- [55] "PANalytical MiniPal 4 EDXRF", *Xray.materials.manchester.ac.uk*, 2022. <https://xray.materials.manchester.ac.uk/equipment/edxrf.html> (Erişim tarihi: 11.07.2022)
- [56] R. Gaudioso, M. Dell’Aglia, O. De Pascale, G. S. Senesi ve A. De Giacomo, "Laser induced breakdown spectroscopy for elemental analysis in environmental, cultural heritage and space applications: a review of methods and results", *Sensors*, cilt 10, sayı 8, sayfa 7434–7468, 2010.

- [57] Y. Lee, S.-W. Oh ve S.-H. Han, "Laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS) of heavy metal ions at the sub-parts per million level in water" *Applied Spectroscopy*, cilt 66, sayı 12, sayfa 1385–1396, 2012.
- [58] "Forensic Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS)", Saint-Tech, <https://saint-tech.lv/portfolio-items/forensic-laser-induced-breakdown/?lang=en> (Erişim tarihi: 11.07.2022).
- [59] C. Tsabaris ve diğerleri, "Radioactivity levels of recent sediments in the Butrint Lagoon and the adjacent coast of Albania", *Applied Radiation and Isotopes*, cilt 65, sayı 4, sayfa 445-453, 2007.
- [60] X. Lu, X. Zhang ve F. Wang, "Natural radioactivity in sediment of Wei River, China", *Environmental Geology*, cilt 53, sayı 7, sayfa 1475-1481, 2007.
- [61] A. El-Gamal, S. Nasr ve A. El-Taher, "Study of the spatial distribution of natural radioactivity in the upper Egypt Nile River sediments", *Radiation Measurements*, cilt 42, sayı 3, sayfa 457-465, 2007.
- [62] S. Sarı ve S. Dizman, "Ovit Dağbaşı Gölü Çevresinden Alınan Toprak Örneklerinde Radyoaktivite ve Radyolojik Etkilerin Araştırılması", *El-Cezeri*, cilt 7, sayı 3, sayfa 1122-1130, Eylül 2020.
- [63] M. Şirin, "Evaluation of radioactive pollution in sediment samples of Borçka Dam Lake, Turkey", *Cumhuriyet Science Journal*, cilt 40, sayı 3, sayfa 624-639, 2019.
- [64] Z. Yümün and E. Kam, "Effects of radionuclides on the recent foraminifera from the clastic sediments of the Çanakkale Strait-Turkey", *Journal of African Earth Sciences*, cilt 131, sayfa 179-182, 2017.
- [65] K. Günoğlu, "Marmara Bölgesi'ndeki bazı mermer örneklerinde radyolojik tehlikelerin ve yaşam boyu kanser riskinin değerlendirilmesi" *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, sayfa 62–74, 2018.
- [66] K. Günoğlu, "Ağlayankaya plaj kumlarında doğal radyoaktivite düzeylerinin ve radyolojik tehlike indekslerinin değerlendirilmesi" *European Journal of Science and Technology*, sayı 13, sayfa 118–123, 2018.
- [67] S. Aközcan , "Toprak Örneklerinde Doğal Radyoaktivite (^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K) ve Radyasyon Tehlikelerinin Değerlendirilmesi", *Kırklareli Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, cilt 6, sayı 1, sayfa 12-20, 2020.
- [68] S. Siddeeg, M. Suliman, F. Ben Rebah, W. Mnif, A. Ahmed, ve I. Salih, "Comparative study of natural radioactivity and radiological hazard parameters of various imported tiles used for decoration in Sudan" *Symmetry*, cilt 10, sayı 12, sayfa 746, 2018.
- [69] Z. Ü. Yümün , E. Kam ve M. Önce, "Analysis of Toxic Element with Icp-Oes and Libs Methods in Marine Sediments Around the Sea of Marmara in Kapıdağ Peninsula", *Journal of Engineering Technology and Applied Sciences*, cilt 4, sayı 1, sayfa 43-50, 2019.

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. H. Aksoy, E.Kam ve Z. Ü. Yümün, “Edremit Körfezi’nden Alınan Deniz Sedimentlerindeki Ağır Metal Tayini”, INARS Congress 2021, sayfa170, 2021.