

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İZMİR KARABURUN BÖLGESİNDEN ALINAN DENİZ
SEDİMENTLERİNİN AĞIR METAL VE RADYOAKTİVİTELERİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ

Merve ÇAKAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fizik Anabilim Dalı

Fizik Programı

Danışman

Prof. Dr. Erol KAM

Temmuz, 2022

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İZMİR KARABURUN BÖLGESİNDEN ALINAN DENİZ
SEDİMENTLERİNİN AĞIR METAL VE RADYOAKTİVİTELERİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ

Merve ÇAKAR 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. Ahmet ALTINDAL, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

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

Danışmanım Prof. Dr. Erol KAM sorumluluğunda tarafımca hazırlanan İzmir Karaburun Bölgesi'nden Alınan Deniz Sedimentlerinin Ağır Metal ve Radyoaktivite Analizleri 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.

Merve ÇAKAR

Bu alışma Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğünün FYL-2020-3971 nolu projesi ile desteklenmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında ve gerçekleştirmiş olduğum projede bana yardımcı olup beni yönlendiren tez danışmanım Prof. Dr. Erol Kam'a en içten dileklerle teşekkür ederim.

Numunelerin temin edilmesinde yardımcı olan Namık Kemal Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi sayın Doç. Dr. Zeki Ünal Yümün'a ve Dr. Melike Önce Nişancıoğlu'na sonsuz teşekkürler.

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesi için FYL-2020-3971 nolu proje ile destek sağlayan Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederim.

Bu süreçte benden desteğini esirgemeyen arkadaşlarım Hazal Aksoy ve Yağmur Tuncel'e teşekkür ederim. Ayrıca hayatım boyunca maddi manevi desteklerini benden esirgemeyen aileme çok teşekkür ederim.

Merve ÇAKAR

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	vii
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
TABLO LİSTESİ	xi
GRAFİK LİSTESİ	xii
ÖZET	xiii
ABSTRACT	xv
1 GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı	7
1.3 Hipotez	7
2 RADYASYON VE RADYOAKTİVİTE	8
2.1 Radyasyon ve Radyoaktivite.....	8
2.2 Radyasyon Çeşitleri.....	8
2.2.1 İyonize Radyasyon	9
2.3 Radyasyon Kaynakları	14
2.3.1 Yapay Radyasyon Kaynakları.....	14
2.3.2 Doğal Radyasyon Kaynakları.....	15
2.3.3 Doğal Radyasyonun Diğer Kaynakları	18
2.4 Radyasyon Birimleri	20
2.4.1 Aktivite Birimi	20
2.4.2 Işınlanma Dozu	21
2.4.3 Soğurulmuş Doz Birimi	21
2.4.4 Eşdeğer Doz Birimi.....	21
3 AĞIR METAL	23
3.1 Ağır Metaller	23
3.2 Doğada Yaygın Olarak Bulunan Bazı Ağır Metaller ve İnsan Sağlığına Etkileri	24
3.2.1 Cıva (Hg)	24
3.2.2 Bakır (Cu)	26
3.2.3 Kadmiyum (Cd)	27

3.2.4 Çinko (Zn)	28
3.2.5 Kurşun (Pb).....	28
3.2.6 Arsenik (As)	29
3.2.7 Krom (Cr)	30
3.3 Ağır Metal Kirliliğinin Tespiti ve Giderilmesi.....	31
4 MATERYAL METOD	32
4.1 Çalışma Sahası	33
4.1.1 Bölgenin Özellikleri.....	33
4.2 Numune Temini	34
4.3 Ağır Metal Analizleri	35
4.3.1 LIBS(Lazer İndüklenmiş Plazma Spektroskopisi) Tekniği	35
4.3.2 XRF (X-Işını Floresans) Tekniği.....	41
4.4 Radyoaktivite Analizi	47
4.4.1 Gama Spektroskopisi.....	47
4.4.2 Çalışmada Kullanılan Gama Ölçüm Cihazı (HPGe).....	48
5 SONUÇ VE ÖNERİLER	50
5.1 LIBS (Lazer İndüklenmiş Plazma Spektroskopisi) Sonuçları	50
5.1.1 LIBS Sonuçlarının PCA ile İncelenmesi.....	58
5.2 XRF (X-Işını Floresans) Sonuçları.....	60
5.3 Radyoaktivite Sonuçları	66
5.4 Sonuç.....	69
KAYNAKÇA	71
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR	81

SİMGE LİSTESİ

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

KISALTMA LİSTESİ

DNA	Deoksiribo Nükleik Asit
HPGe	High Purity Germanium Radiation Detectors
ICP-OES	Inductively Coupled Plasma–Optical Emission Spectrometry
LIBS	Laser Induced Breakdown Spectroscopy
SI	Système International Units
TAEK	Türkiye Atom Enerjisi Kurulu
UNSCEAR	United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 İyonize ve iyonize olmayan radyasyon spektrumu.....	10
Şekil 2.2 Farklı radyasyon türlerinin madde içindeki giricilik özellikleri.....	11
Şekil 2.3 U-238 serisinin bozunumu.....	12
Şekil 2.4 5.5 MeV alfa parçacığının hava içindeki giriciliği.....	12
Şekil 2.5 Beta parçacıklarının genel enerji spektrumu.....	14
Şekil 2.6 Yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan dozlar.....	16
Şekil 2.7 Doğal radyasyon kaynaklarının yüzdesel dağılımı.....	17
Şekil 3.1 Canlıların cıvadan etkilenme oranları.....	27
Şekil 4.1 İzmir haritası ve Karaburun konumu.....	34
Şekil 4.2 Yer bulduru ve numune lokasyon haritası.....	36
Şekil 4.3 LIBS çalışma prensibi.....	37
Şekil 4.4 LIBS sisteminin şematik diyagramı.....	38
Şekil 4.5 ECCO LIBS cihazı.....	39
Şekil 4.6 Sondaj yöntemi ile alınan ıslak numuneler.....	41
Şekil 4.7 Numune kurutma fırını.....	41
Şekil 4.8 Toz haline getirilmiş numuneler.....	42
Şekil 4.9 Pelet yapım aleti.....	42
Şekil 4.10 Pelet haline getirilmiş numuneler.....	43
Şekil 4.11 X-Işını ile elektron koparma.....	44
Şekil 4.12 XRF analiz aşaması.....	44
Şekil 4.13 Analizde kullanılan XRF cihazı.....	45
Şekil 4.14 Islak XRF numuneleri.....	47
Şekil 4.15 XRF analizi için toz haline getirilmiş numuneler.....	48
Şekil 4.16 Gama spektrometresinin şematik gösterimi.....	49
Şekil 4.17 ORTEC, GEM50P4-83 yüksek saflıkta germanyum dedektörü.....	49
Şekil 5.1 Kor-1 LIBS spektrum analizi.....	53
Şekil 5.2 Kor-2 LIBS spektrum analizi.....	54
Şekil 5.3 Kor-3 LIBS spektrum analizi.....	55
Şekil 5.4 Kor-4 LIBS spektrum analizi.....	56
Şekil 5.5 Kor-5 LIBS spektrum analizi.....	57
Şekil 5.6 Kor-6 LIBS spektrum analizi.....	58

Şekil 5.7 Kor-1 XRF spektrum analizi.....	61
Şekil 5.8 Kor-2 XRF spektrum analizi.....	62
Şekil 5.9 Kor-3 XRF spektrum analizi.....	63
Şekil 5.10 Kor-4 XRF spektrum analizi.....	64
Şekil 5.11 Kor-5 XRF spektrum analizi.....	65
Şekil 5.12 Kor-6 XRF spektrum analizi.....	66
Şekil 5.13 Analiz noktaları lokasyon haritası.....	68

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1	Kaya çeşitlerindeki ortalama uranyum konsantrasyonları.....	18
Tablo 2.2	Farklı ülkelerde toprakta bulunan radyonüklid çeşitleri.....	20
Tablo 2.3	Radyasyon birimleri.....	23
Tablo 3.1	Çeşitli yollarla doğaya yayılan ağır metaller.....	25
Tablo 4.1	Gömülü lazer.....	39
Tablo 4.2	Uyarma lazeri.....	40
Tablo 4.3	Hedef alan.....	40
Tablo 4.4	XRF cihaz özellikleri.....	46
Tablo 5.1	LIBS elementel eşleşme sonuçları.....	51
Tablo 5.2	PCA skor değerleri.....	59
Tablo 5.3	PCA özet veriler.....	60
Tablo 5.4	Kor-1 tespit edilen element oranları.....	61
Tablo 5.5	Kor-2 tespit edilen element oranları.....	62
Tablo 5.6	Kor-3 tespit edilen element oranları.....	63
Tablo 5.7	Kor-4 tespit edilen element oranları.....	63
Tablo 5.8	Kor-5 tespit edilen element oranları.....	64
Tablo 5.9	Kor-6 tespit edilen element oranları.....	65
Tablo 5.10	Radyoaktivite analiz sonuçları.....	67
Tablo 5.11	Farklı ülkelerdeki radyoaktivite ölçüm değerleri.....	68

GRAFİK LİSTESİ

Grafik 5.1 Kor-1 elementel karşılaştırma.....	53
Grafik 5.2 Kor-2 elementel karşılaştırma.....	54
Grafik 5.3 Kor-3 elementel karşılaştırma.....	55
Grafik 5.4 Kor-4 elementel karşılaştırma.....	56
Grafik 5.5 Kor-5 elementel karşılaştırma.....	57
Grafik 5.6 Kor-6 elementel karşılaştırma.....	58
Grafik 5.7 Özdeğer grafiği.....	60

İzmir Karaburun Bölgesinden Alınan Deniz Sedimentlerinin Ağır Metal ve Radyoaktivitelerinin Değerlendirilmesi

Merve ÇAKAR

Fizik Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Erol KAM

Bu çalışmada, İzmir Karaburun bölgesinden alınan deniz sedimentlerinin ağır metal ve radyoaktivite analizleri gerçekleştirilmiştir. Bölgede gerçekleşen turistik faaliyetler ve geçmişte gerçekleşmiş olan madencilik faaliyetleri sebebiyle bir kirlilik olabileceği düşünülmüş, bu eylemlerin ekosistemi ne derece etkilemiş olabileceği incelenmiştir.

Bölgenin ağır metal kirliliğinin tespit edilmesinde XRF (X-Işını Floresans) ve LIBS(Laser Induced Breakdown Spectroscopy) analiz yöntemleri kullanılmıştır. Kullanılan iki teknik ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve bölgenin ağır metal kirliliği hakkında yorumlar yapılmıştır.

Deniz sedimentlerinin radyoaktivite analizleri ise yüksek saflıkta germanyum (HPGe) dedektörü kullanılarak yapılmıştır. Yapılan analizler ile elde edilen sonuçlar Türkiye ve Dünya’da elde edilmiş farklı sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Analizler neticesinde elde edilen veriler değerlendirilerek bölgenin ağır metal kirlilik oranı ve radyoaktivite seviyesi ortaya koyulmuştur.

Anahtar Kelimeler: İzmir Karaburun, ağır metal, radyoaktivite

Evaluation of Heavy Metal and Radioactivity in Sea Sediments from the Izmir Karaburun Region

Merve ÇAKAR

Department of Physics

MSc. Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Erol KAM

In this study, analysis of heavy metal and radioactivity in sea sediments taken from Izmir Karaburun region. It was thought that there might be pollution due to the tourist activity in the region and the mining activities that occurred in the past, and it was examined how much these actions might have affected the ecosystem.

XRF(X-Ray Fluorescence) and LIBS(Laser Induced Breakdown Spectroscopy) analysis methods were used to detect heavy metal contamination in the region. The two techniques used compared to the results and commented on the heavy metal contamination of the region.

Radioactivity analyzes of marine sediments were made using high purity germanium (HPGe) detector. The results obtained with the analyzes were compared with the different results obtained in Turkey and World.

The data obtained as a result of the analysis was evaluated, and the area's heavy metal contamination and radioactivity level were found.

Keywords : Izmir Karaburun, heavy metal, radioactivity

1.1 Literatür Özeti

Çevre kirliliği, doğayı ve insan sağlığını olumsuz yönde etkileyen etmenlerin başında gelmektedir. Çevre kirliliğinin birçok çeşidi olmasına karşın, bunlardan en dikkat çekenleri ağır metal kirliliği ve radyoaktif kirliliktir. Bu kirliliklerin tespit edilmesi ve hem doğa üzerinde hem de canlılar üzerindeki etkilerinin incelenmesi her geçen gün önem kazanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda birçok araştırma yapılarak literatüre katkıda bulunmaktadır.

H. Ozmen ve ark. [1] Concentrations of heavy metal and radioactivity in surface water and sediment of Hazar Lake (Elazığ, Turkey) adlı çalışmalarında, Hazar gölündeki ağır metal ve radyoaktivite değerlerini belirlemek amaçlanmıştır. Bunun için 8 ayrı bölgeden örnek alınıp analizler yapılmıştır. Analizler sonucunda gölün ağır metallerce kirlendiği ve gölün yakınındaki insan kaynaklı deşarjların azaltılması önerilmiş olup radyoaktivite analizleri de diğer bölgelerden yüksek bulunmuştur. Sonuç olarak, ağır metaller ve yüzey suyundaki ana element konsantrasyonları, toplam alfa-beta radyoaktivite seviyeleri (K hariç) arasında korelasyon görülmemiştir.

M.M Sac. ve ark. [2] Determination of radioactivity and heavy metals of Bakircay river in Western Turkey adlı çalışmalarında, Bakırçay gölündeki ağır metal kirliliğinin tespiti amaçlanmıştır. Sudaki radyum (Ra) konsantrasyonunu belirlemek için collector-chamber metodu kullanılmıştır. Örneklerdeki doğal radyoaktivitenin radyolojik tehlikesinin belirlenmesi için ise havada karasal gama doz oranı, yıllık efektif doz oranı ve radyum eşdeğer aktivite değeri hesaplanarak uluslararası tavsiye edilen değerler ile karşılaştırılmıştır.

Sema Arıman ve ark. [3] Orta Karadeniz kıyı şeridi nehirleri su ve sediman ortamlarında ağır metal kirliliği izlenmesi adlı çalışmalarında, Orta Karadeniz kıyı şeridindeki ağır metal analizleri için çoklu parametre ölçüm cihazı

(Consort C-535) ve UV-VIS(PG-T70) spektrometresi kullanılmıştır. Analiz sonuçlarına göre ortalama ağır metal kirlilik seviyeleri, su örnekleri için özellikle Pb ve Ni açısından daha yüksek iken Cr ve Cd açısından düşük konsantrasyona sahip olduğu tespit edilmiştir.

A.Anandkumara ve ark. [4] Human health risk assessment and bioaccumulation of trace metals in fish species collected from the Miri coast, Sarawak, Borneo adlı çalışmalarında, Sawarak, Miri sahilinden toplanan yedi adet balık türünün farklı dokularında dokuz eser metalin (Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Rb, Cd, Pb) konsantrasyonları ölçülmüştür. Farklı dokularda metal birikimlerinin farklı olduğu gözlenmiştir ve birikme miktarı şu şekilde sıralanmıştır; karaciğer>solungaç>üreme hücreleri>kas. Bu bölgelerde Zn ve Cd maksimum oranda tespit edilmiştir. Tehlike endeksi hesaplamalarına göre biriken metallerin hiçbirinin insan sağlığını olumsuz yönde etkileyecek düzeyde olmadığı tespit edilmiştir.

Hougi Liua ve ark. [5] Occurrence, potential health risk of heavy metals in aquatic organisms from Laizhou Bay, China adlı çalışmalarında, sucul bölgelerde biriken metallerin canlılara etkileri araştırılmıştır. Araştırma sonucunda metal birikimin bölgelere göre çok farklılık göstermediği gözlenmiş ve en çok Fe elementi, onu takiben de Zn, Mn, Cu, Ni, Cr, Cd, Pb elementlerine rastlanmıştır. Deniz kabuğu ve yengeç ile diğer balık türleri karşılaştırılmış ve bu türler arasında önemli farklılıklar görülmemiştir. PCA analizi ile numunelerdeki metallerin antropojenik faaliyetleri türetilmiştir. Metallerin sağlık riski tahmini günlük alım ve hedef tehlike bazında değerlendirilmiştir. İncelenen sonuçlara göre ağır metal oranlarının risk oluşturmadığı görülmüştür.

Sadar Aslama ve ark. [6] A comprehensive assessment of environmental pollution by means of heavy metal analysis for oysters' reefs at Hab River Delta, Balochistan, Pakistan adlı çalışmalarında, istiridye resiflerinin ağır metal kirliliği, bölgedeki on metal kirletici açısından değerlendirilmiştir. Sonuçlar, M. Bilineata istiridye türünün dokularında biriken kirliliğin, M.Cuttackensis istiridye türünün dokularında biriken kirlilik oranından daha fazla olduğunu

göstermiştir. Aynı zamanda, *M.bilineata* türlerinin popülasyonu ironik bir şekilde yüksek kirliliğin sonucu olarak azalmıştır. Belirlenen konsantrasyonlar, sedimentler, deniz suyu ve istiridyelerin doku ve kabuklarındaki biyolojik birikim oranlarının birbirlerinden oldukça farklı olduğunu göstermiştir. Bu çalışmada ayrıca belirlenen metal konsantrasyonları uluslararası veri tabanı ile karşılaştırılmıştır. Alınan tüm numunelerde gözlenen ağır metallerin oranlarının ulusal çevre kalite standartlarının üstünde olduğu görülmüştür. Bulunan bu sonuçlar doğrultusunda bölgede büyük risk tespit edilmiştir ve kıyı yönetiminde çok daha dikkatli olunması önerilmiştir.

Gorlachev ve ark. [7] Comparative analysis of water contamination of the Shagan river at the Semipalatinsk test site with heavy metals and artificial radionuclides adlı çalışmalarında amaç, Semipalatinsk Nükleer Test Sahasının (STS) en büyük su yolu olan Shagan Nehri'nin ağır metal ve yapay radyonüklitlerle kirlenme derecesini belirlemektir. Uzun vadeli izleme sonucunda elde edilen verilerle en önemli kirleticiler belirlenmiştir. Araştırmalar sonucunda bölgenin, Sr^{190} , Cs^{137} , Pu^{239} , Pu^{240} ve Am^{241} radyoizotopları ile yoğun bir şekilde kirlendiği tespit edilmiştir. Ayrıca lokal su kaynaklarında yoğun miktarda U^{234} , U^{235} , U^{238} tespit edilmiştir. Çalışmada 23 kimyasal element kullanılmıştır ve sonuçlar içme suyundaki maksimum kabul edilebilirlik değerleri (MAC) ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda 5 element için (U, Fe, Li, Mn, Sr) yüksek MAC değerleri ortaya çıkmıştır. Bunun yanında toplanan 20 su örneğinde yapay radyonüklit değişimleri mevsimsel olarak incelenmiştir. Bu değişimler incelendiğinde Shagan Nehrinde farklı mevsimlerde trityumun spesifik aktivitelerinde önemli farklılıklar tespit edilmemiştir.

Andrew Turner ve ark. [8] Analysis of the elemental composition of marine litter by field-portable-XRF adlı çalışmalarında, karalanmış plastikler, köpükler, halatlar ve boyanmış nesnelerdeki 17 elementin içeriğini belirlemek için bir Niton, sahada taşınabilir X-ışını floresan (FP-XRF) spektrometresi kullanmışlardır. Cihaz; karmaşık düşük yoğunluklu malzemeler ve değişen numune derinliğini hesaba katmak için bir kalınlık düzeltme algoritması ile

yapılandırılmış plastik modunda kullanılmıştır. Referans iki polietilen disk analiz edilerek değerlendirilmiş ve doğruluk, polimere yapay olarak entegre edilmiş tüm elementler için %15'ten daha iyi olarak bulunmuştur. 120 saniyelik bir sayım ile örneklerde yapılan sayımlar sonucu genellikle plastik ve boyanmış ürünlerde As, Bi, Br, Cr, Hg, Ni, Pb, Se ve Zn konsantrasyonları $10\mu\text{g}$ 'dan az bulunmuştur.

F.Korkmaz Görür ve ark. [9] Radioactivity and heavy metal concentrations of some commercial fish species consumed in the Black Sea Region of Turkey adlı çalışmalarında, Karadeniz'de bulunan en yoğun 4 balık türünde(hamsi, mezgit, alabalık, mavi yüzgeçli) radyoaktivite seviyesi(Ra-226, Th-232, K-40, Cs-137) ve ağır metal konsantrasyonlarının(As, Mn, Fe, Cr, Ni, Zn, Cu, Pb) belirlenmesi amaçlanmıştır. Yapılan değerlendirmeler ile halk tarafından tüketilen balık miktarına bakılarak doz tahmini yapılmış ve insan sağlığına tehdit oluşturacak değerlere rastlanmamıştır.

Xueping Liu ve ark. [10] Distribution and risk assessment of metals in water, sediments, and wild fish from Jinjiang River in Chengdu, China adlı çalışmalarında Çin, Chengdu, Jinjiang Nehri'nden 15 metalin (Cd, Pb, Sb, Sn, Tl, Mo, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, As, V, Co, Se) dağılım modellerini ve ekolojik risklerini değerlendirmek için toplam 26 eşleştirilmiş su ve tortu numunesi ayrıca 7 balık örneği toplanmıştır. Sedimentlerin metal formları BCR üç aşamalı sıralı ekstaksiyon prosedürleri kullanılarak analiz edilmiş ve numuneler ICP-MS ile belirlenmiştir. Coğrafi birikim endeksi dahil dört çevresel endeks biokonsantrasyon faktörü, biotasediman birikim faktörü ve potansiyel ekolojik risk endeksi metallerin kirlilik seviyesini ve eko riskini değerlendirmek için hesaplanmıştır. Mevcut çalışmaya göre, Mn ve Cd tercihen değiştirilebilir fraksiyonla ilişkilendirilmiştir. Cu ve Pb öncelikle indirgenabilir fraksiyon, diğer metaller ise esas fraksiyonda bulunmuştur. Sb ve Mo haricinde biyokonsantrasyon (BCF) değerleri, özellikle en yüksek biyokonsantrasyona sahip olan Zn için 100'den büyük (74200) olduğu görülmüştür ve bu metallerin daha yüksek biyokonsantrasyon kabiliyetine sahip olduğunu göstermiştir. Bu çalışmada hesaplanan jeoakümülayon endeksi ve potansiyel ekolojik risk

endeksi (RI) temel alınarak, orta Jinjiang Nehri'nin orta ile şiddetli metal kirliliğine sahip olduğu belirlenmiştir. Bunun gelecekte daha çok dikkat edilmesi gereken bir ekolojik risk olduğu belirtilmiştir.

Fang Xia ve ark. [11] Distribution and source analysis of heavy metal pollutants in sediments of a rapid developing urban river system adlı çalışmalarında, Doğu Çin'in oldukça sanayileşmiş kentsel bir havzasındaki tortuların ağır metal kirliliği değerlendirilmiştir. 39 nehir sedimanı için Cu, Zn, Pb, Cr ve Cd'nin toplam konsantrasyonları ve katı faz fraksiyonasyonu incelenmiştir. Su havzasında, arazi kullanımı ile ağır metal kirliliği arasındaki ilişkiyi nicel olarak incelemek için çok değişkenli istatistiksel analiz ve coğrafi olarak ağırlıklı regresyon (GWR) yöntemleri kullanılmıştır. Sonuçlar, güneybatıda daha yüksek Zn, Pb ve Cd konsantrasyonları ve doğuda daha yüksek Cu konsantrasyonu olarak su havzası içinde ağır metal kirliliğinin farklı uzaysal modellerini göstermiştir. Korelasyon ve PCA analizleri; Zn, Pb ve Cd'nin ağırlıklı olarak antropojenik aktivitelerden, Cu'nun ise hem endüstriyel hem de tarımsal kaynaklardan bulunduğu ortaya konmuştur. GWR modeli ise birkaç ağır metal fraksiyonunun endüstriyel arazi ile güçlü bir şekilde ilişkili olduğunu göstermiştir. Bu çalışma, kirlenmiş ağır metallerin değerlendirilmesi, ağır metal kirletici kaynakların belirlenmesi ve bölgesel ölçekte iyileştirme stratejilerinin geliştirilmesi için önemli bilgiler sağlamıştır.

M. Cerdà-Domènech ve ark. [12] Calibrating high resolution XRF core scanner data to obtain absolute metal concentrations in highly polluted marine deposits after two case studies off Portmán Bay and Barcelona, Spain adlı çalışmalarında, yüksek çözünürlüklü XRF-CS kalibrasyonu, yüksek derecede kirlenmiş deniz yataklarında ölçülen metal (Ti, Mn, Fe, Zn, Pb, As) konsantrasyonlarını belirlemek için kullanılmıştır. Hataları en aza indirmek için WLS kalibrasyon yönteminden yararlanılmıştır.

Deshuo Meng ve ark. [13] On-line/on-site analysis of heavy metals in water and soils by laser induced breakdown spectroscopy adlı çalışmalarında, suda ağır metalin grafit ve alüminyum elektrot ile zenginleştirme yöntemi çalışılarak algılama hassasiyetini arttırmak ve algılama sınırını azaltmak için elementler

plazma sınırlama cihazı (LOD) ile birleştirilmiştir. Alüminyum elektrot zenginleştirilmesi için Cd, Pb ve Ni'nin LOD' lerinin birkaç ppb kadar düşük olabildiği, grafit zenginleştirme için ise ölçüm süresinin 3 dakikadan az olabildiği belirtilmiştir. Sonuçlar grafit zenginleştirme ve alüminyum elektrot zenginleştirme yönteminin LIBS algılama yeteneğini etkili şekilde geliştirebileceğini göstermiştir. Toprakta ağır metal analizi için LIBS yöntemi ve cihazı geliştirilmiş ve mobil bir LIBS sistemi dış sahada test edilmiştir. Sonuç olarak LIBS ve ICP-MS'den çıkarılan ölçüm sonuçlarının tutarlı olduğu görülmüş ve sonuçlar, topraktaki ağır metallerin hızlı ve yerinde izlenmesi için önemli bir uygulama desteği sağlamıştır.

Shubin Zhou ve ark [14] Rapid in situ determination of heavy metal concentrations in polluted water via portable XRF: Using Cu and Pb as example adlı çalışmalarında, kirli suda ağır metal konsantrasyonlarını belirlemek için taşınabilir X-ışını floresan (Pxr) yöntemi test edilmiştir. X-ışınlarının sudaki penetrasyon derinliği 2 mm-4 mm arasında olduğu için çalışmada en az 4 mm derinliğinde numune kullanılması önerilmiştir. Çalışmada PXRF sonuçlarının literatürdeki ve laboratuvarındaki diğer sonuçlarla uyumlu olduğu gözlenmiştir. Sonuç olarak PXRF yönteminin yüksek konsantrasyona sahip kirli sularda analiz için uygun olduğu belirtilmiştir.

İsmail Kır ve ark. [15] Karacaören-II Baraj Gölü'ndeki Su, Sediment ve Sazan (Cyprinus carpio) Örneklerinde Bazı Ağır Metal Birikiminin İncelenmesi adlı çalışmalarında, Karacaören-II Baraj Gölü'ndeki kirliliği belirlemek için su, sediment ve gölde yaşayan sazan balığının bazı dokularında Fe, Cu, Zn, Mn, Al, Sr, Cr, Pb, Cd ve Hg seviyeleri tespit edilmiş olup örneklerin ağır metal analizleri ICP-OES cihazı ile yapılmıştır. Çalışmada mevsimlere göre biriken ağır metal çeşidi ve miktarı belirlenmiştir.

Nergiz Yıldız ve ark. [16] Van Gölü'nde sediment birikim hızı, radyoaktif ve ağır metal kirliliğinin tarihlemesi adlı çalışmalarında, Van Gölü'nün doğusundan seçilen üç sediment korunda, denge üstü Pb-210 profil dağılımları, C.R.S. modeli ile birlikte kullanılarak, sediment birikim hızı ve Pb-210 akısı hesaplanmıştır ve her katmanın tarihlemesi yapılmıştır. Pb-210

aktivitesi, Pb-210'un alfa spektroskopisi ile ölçülen aktivitelerinden elde edilmiştir.

1.2 Tezin Amacı

Günümüzde kirlilik hakkında daha kapsamlı bilgilere ulaşabilmek için hem ağır metal hem de radyoaktivite analizleri esas olmuştur. Bu çalışmada, Ege Denizi'nde yer alan İzmir Karaburun Yarımadası çevresi deniz sedimentlerinin radyoaktivite ve ağır metal analizlerinin yapılması amaçlanmıştır.

Dünya üzerinde yüzyıllardır çeşitli yerlerde birikmiş sediment tabakaları, bulundukları bölge hakkında bizlere çeşitli bilgiler vermektedir. Bu sedimentler sayesinde bölgede biriken radyoaktivite konsantrasyonu, ağır metallerin bölge için taşıdığı risklerin tespiti, doğal ve yapay radyonüklidlerin bölgesel olarak dağılımları gibi birçok bilgiye ulaşılmıştır.

Kirliliğin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmalar, canlı hayatını tehlikeye atan durumları belirleyerek, alınabilecek önlemleri ortaya koymaktadır. Bu çalışmada gerçekleştirilen ağır metal ve radyoaktivite analizi ile çalışma bölgesi olan İzmir Karaburun Körfezi çevresinde bulunan kirleticiler tespit edilerek hem canlı hayatına hem de deniz ekosistemine zarar verebilecek durumların belirlenmesi amaçlanmıştır. Gelecekte yapılacak çeşitli çevresel çalışmalarda bölge hakkında yapılan araştırmalarımız referans olacaktır.

1.3 Hipotez

Ege Bölgesi'nde turizm ve şehirleşme faaliyetleri her geçen gün artmaktadır. İzmir Karaburun Körfezi de bu turizm faaliyetlerinin yoğunlaştığı bir bölgedir. Yoğunlaşan bu turizm faaliyetleri sonucunda, daha çok insanı ağırlayan bu bölgenin kirlenme potansiyeli artma eğilimi göstermektedir.

Bu çalışmada, Karaburun Körfezi'nin her geçen gün artan turistik faaliyetleri göz önüne alınarak kirlilik oluşma ihtimali fazla olan noktalarda kirlilik araştırması yapılmıştır.

2.1 Radyasyon ve Radyoaktivite

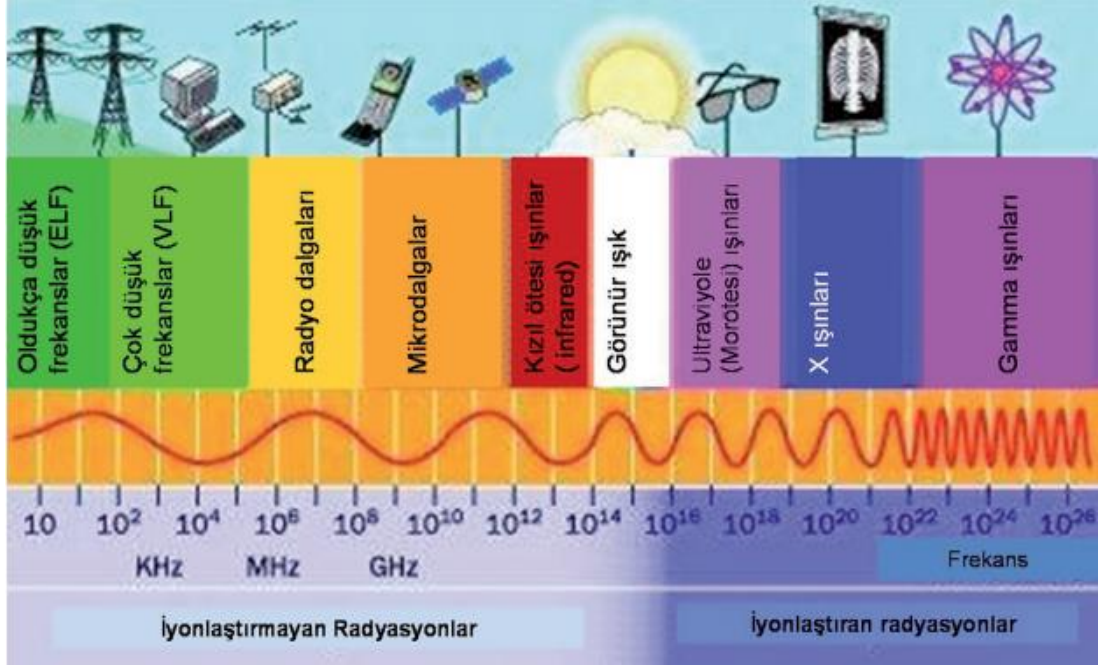
Radyasyon, radyoaktif bozunma sırasında salınan partikülleri veya enerjiyi ifade etmektedir [17]. Bu kavram, 1895 yılında Wilhelm Conrad Röntgen adlı bilim insanının X-ışınlarını bulmasıyla keşfedilmiştir [18]. X-ışınlarının keşfinden sonra Henry Becquerel, lümünesans ile emilen radyasyon arasında bir etkileşim olduğunu düşünmüştür. Bu etkileşimi ispatlamak için uranyum tuzları kullanılmıştır çünkü uranyum tuzlarının güneş ışığına maruz kaldığında güçlü bir floresan etki göstereceklerini Becquerel tarafından bilinmekteydi. Bu deney sonucunda Becquerel, radyasyonun uranyum tarafından yayıldığını ve X-ışınlarının çeşitli özelliklerini paylaştıkları sonucuna ulaşmıştır. Bu sonuç radyoaktivitenin ve nükleer fiziğin doğuşu olarak adlandırılmaktadır. Bu keşiften yıllar sonra Pierre ve Marie Curie radyumun keşfini gerçekleştirmiştir. Bu keşif sonrası radyasyon uygulamaları günümüze kadar geliştirilmiştir [19].

Radyasyon, parçacık ve dalga olmak üzere iki farklı şekilde karakterize edilmektedir. Yayılan radyasyon, parçacık şeklinde; nötronlar, alfa ve beta parçacıkları, dalga şeklinde ise gama ve X-ışınları gibi saf enerji dalgaları biçiminde olabilmektedir [17].

2.2 Radyasyon Çeşitleri

Radyasyon kavramı madde içindeki etkileşimine göre iki farklı şekilde; iyonize ve iyonize olmayan radyasyon olarak ikiye ayrılmaktadır.

İyonize olmayan radyasyon, madde ile etkileşime girdiğinde iyonlaşma gerçekleştirmez. İyonize olmayan radyasyonlara örnek olarak, radyo dalgaları, mikrodalgalar, görünür ışık ve kızılötesi ışınlar gösterilebilmektedir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 İyonize ve iyonize olmayan radyasyon spektrumu [20]

2.2.1 İyonize Radyasyon

İyonlaştırıcı radyasyon maddenin temel yapı taşları olan atomlardan gelmektedir. Her element, izotop adı verilen birkaç farklı büyüklükte çekirdeğe sahip atomlar şeklinde bulunmaktadır. İyonize radyasyonlar, madde ile etkileşimde bulunduklarında iyonlaşmaya sebep olmaktadır. Bu iyonlaşma enerjinin yüksek frekans ucunda, dalga ve parçacık olmak üzere iki şekilde meydana gelmektedir [21].

İyonize radyasyon, X-ışınları ve gama ışınlarını kapsamaktadır. Alfa ve beta parçacıkları da iyonize radyasyondur fakat bu tür iyonizasyon X-ışınları ve gama ışınlarından farklıdır. Alfa ve beta parçacıklarının elektrik yükleri vardır ve bunlar çarpıştıktlarında atomların iyonlaşmasına sebep olabilmektedir. Bu yüklü parçacıkların aksine, nötron herhangi bir elektrik yükü aktarmaz, bu nedenle atom çekirdeği ile çarpışmalar sırasında üretilen dolaylı bir iyonizasyon olarak kabul edilmektedir [22],[23]. Her iyonize radyasyon türünün madde içindeki giricilik özelliği birbirinden farklıdır (Şekil 2.2).

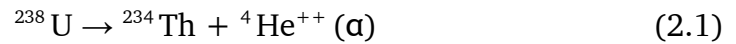


Şekil 2.2 Farklı radyasyon türlerinin madde içindeki giricilik özellikleri [24]

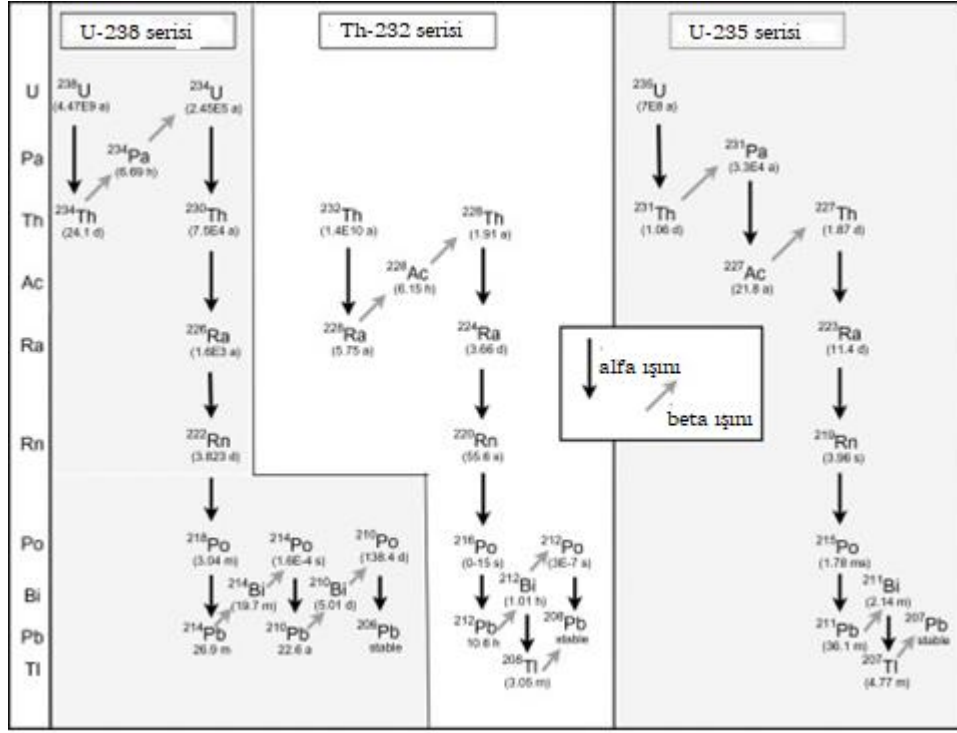
Dalga ve parçacık olmak üzere iki farklı şekilde karşımıza çıkan iyonize radyasyonun canlılar üzerindeki etkileri tıp alanında çeşitli tedavilerde kullanılmaktadır. X-ışınları geçmişten günümüze tıbbi görüntülemede birçok fayda sağlamış olup gama ışınları kanser tedavisinde fayda sağlamaktadır [25]. Tıp alanının yanı sıra insan vücudu, doğada; toprak, su, sediment vb. şekilde bulunan iyonize radyasyona doğal yollarla da maruz kalmaktadır [26].

2.2.1.1 Alfa (α) Parçacıkları

Alfa parçacıkları, iki proton ve iki nötrondan oluşan yüklü parçacıklardır [27]. Uranyum, radyum ve plütonyum gibi ağır radyoaktif elementlerin bozulması ile meydana gelmektedirler. Denklem 2.1'te uranyum elementinin bozulması gösterilmiştir.

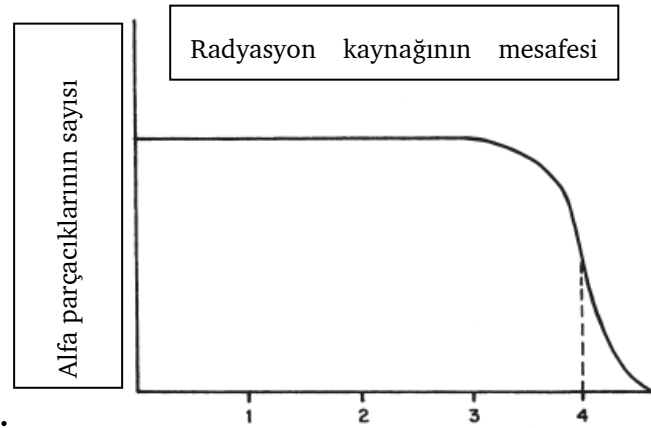


Beta parçacıklarının aksine alfa parçacıklarından yayılan enerji daha iyi tanımlanabilen enerjilerdir. Örneğin ^{238}U parçacığının enerjisi 4.198 MeV (%79) ve 4.152 MeV (%21) olarak tanımlanmıştır [28]. Şekil 2.3'te ^{238}U serisinin bozulmasıyla alakalı ayrıntılı bilgi verilmiştir.



Şekil 2.3 ^{238}U serisinin bozunumu [28]

İyonlaşma enerjileri çok yüksek olmasına rağmen ağır parçacıklar olmaları nedeniyle giricilik mesafeleri kısadır [28]. Örneğin; 4-10 MeV enerjili bir alfa parçacığının hava içindeki giricilik mesafesi 5-11 cm, su içerisindeki giricilik mesafesi ise 20-100 μm 'dir[29]. Şekil 2.4'te 5.5 MeV enerjili bir alfa parçacığının giricilik grafiği gösterilmiştir.

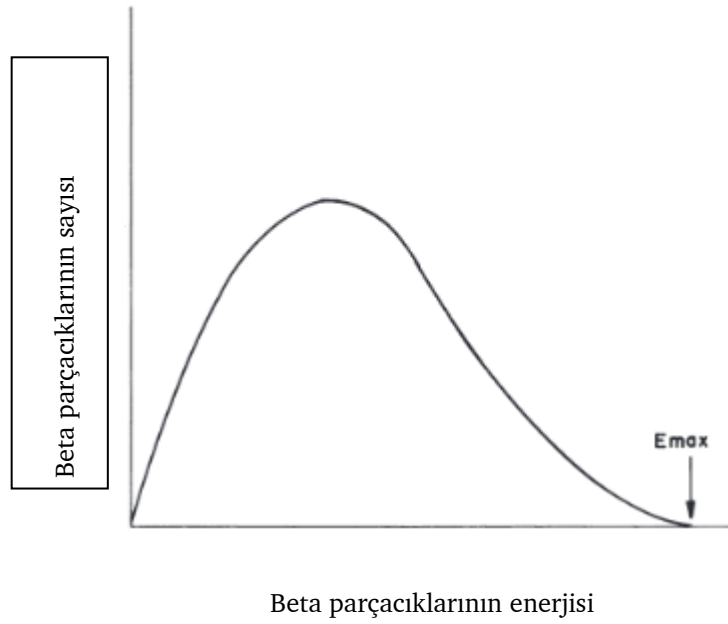


Şekil 2.4 5.5 MeV enerjili alfa parçacığının hava içindeki giriciliği [30]

Alfa parçacıklarının her biri yaklaşık olarak 4 amu (6.642×10^{-4} g) ve pozitif yük değerleri 2'dir. Alfa parçacıkları tarafından yayılan radyasyon, sağlık için doğrudan bir tehdit oluşturmamaktadır. Çünkü, en yüksek enerjili alfa parçacığı bile cildin epidermal tabakası tarafından durdurulmaktadır ve bu parçacıklar çok düşük olasılıklarda daha hassas katmanlara ulaşabilmektedir. Alfa parçacığı ile kontamine olmuş bir maddenin yenmesi, solunması ya da vücudun içine herhangi bir şekilde alınması sonucunda organlar ve dokular alfa radyasyonuna maruz kalarak daha hassas bir hale gelmektedirler. Böyle bir maruz kalma durumunda alfa parçacıkları ile insan dokusundaki atom ve moleküllerin çarpışması dokunun kimyasal veya biyolojik yapısının bozulmasına sebep olabilmektedir ve bu da sağlık için tehdit oluşturabilmektedir [31].

2.2.1.2 Beta (β) Parçacıkları

Beta parçacıkları, bir elektron ile aynı yük ve kütleyle sahiptirler. Buna rağmen kökenlerinde elektrondan farklıdır. Negatif yüklü ve pozitif yüklü olabilen beta parçacıkları, bir atomun çekirdeğinden kaynaklanmaktadır. Radyoaktif bozunma sırasında atomun çekirdeğinden bir beta parçacığı yayılmaktadır [32]. Beta parçacıkları, alfa parçacıklarına kıyasla daha geniş bir menzile ve nüfuz gücüne sahiptir, fakat iyonlaşma potansiyelleri çok daha düşük düzeydedir. Havadaki beta parçacıklarının menzil aralığı MeV enerji başına ~ 4 m'dir. Suda ise cm cinsinden menzil aralığı, MeV cinsinden ifade edildiğinde maksimum beta enerjisinin yaklaşık olarak yarısıdır [33]. Şekil 2.5'te beta parçacıklarının enerji spektrumu gösterilmiştir.



Şekil 2.5 Beta parçacıklarının genel enerji spektrumu [32]

Beta parçacıklarının, alfa parçacıklarına göre daha yavaş bir şekilde enerji kaybetmeleri sebebiyle havada birkaç metre, insan dokusunda ise birkaç santimetre hareket edebilmektedirler. İç organlar genellikle beta radyasyonundan korunur ancak göz gibi dışarıdan radyasyona maruz kalabilecek organlar hasara karşı hassastırlar. Hasar, ayrıca vücuda beta yayıcıların alınmasından ve bunun sonucunda iç organların ve dokuların radyasyona maruz kalmasından kaynaklanabilmektedir [34].

2.2.1.3 Gama (γ) Işınları

Gama ışınları yüksek enerjili elektromanyetik radyasyonlardır [35]. Kararsız durumdaki bir çekirdek, enerjinin gama radyasyonu olarak yayılmasıyla daha kararlı hale gelebilir. Gama radyasyonunun bir başka kaynağı ise yok olmaya başlayan bir pozitronun bir elektronla, onun anti parçacığıyla karşılaştığı ve iki parçacığın kaybolduğu, yok olma olarak adlandırılan olay aracılığıyla [32]. Her gama ışını fotonun ayrı bir enerjisi vardır ve bu enerji kaynak izotopunun özelliğidir [36]. Gama ışınlarının enerjileri genellikle 0,1-10 MeV arasındadır. Elektrik ve manyetik alanda saptırılamazlar [37].

2.2.1.4 X-Işınları

X-ışınları da gama ışınları gibi ışık hızında hareket eden elektromanyetik dalgalar. X-ışınları atomik bir kökene sahiptir. Genel olarak gama ışınlarından daha düşük bir enerjiye sahiptirler, bu nedenle gama ışınlarından daha az nüfuz ederler. Dalga gibi davranmasına rağmen, görüntüleme analizleri için bu radyasyonlar nötr parçacıklar, yani fotonlar olarak düşünülebilirler [38]. X ışınları genellikle tıp alanında görüntüleme yöntemi olarak sıklıkla kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra biyolojik numunelerin element içeriğini ölçmek için X-ışını spektrometri tekniklerinin uygunluk ve doğrulukları kanıtlanmıştır [39].

2.3 Radyasyon Kaynakları

Radyasyon kaynakları, doğal ve yapay radyasyon olarak iki şekilde sınıflandırılmaktadır. Günlük hayatımızda maruz kaldığımız radyasyon dozunun yaklaşık olarak %80'i doğal radyasyondan kaynaklanırken %20'lik kısmı yapay radyasyondan kaynaklanmaktadır [40].

2.3.1 Yapay Radyasyon Kaynakları

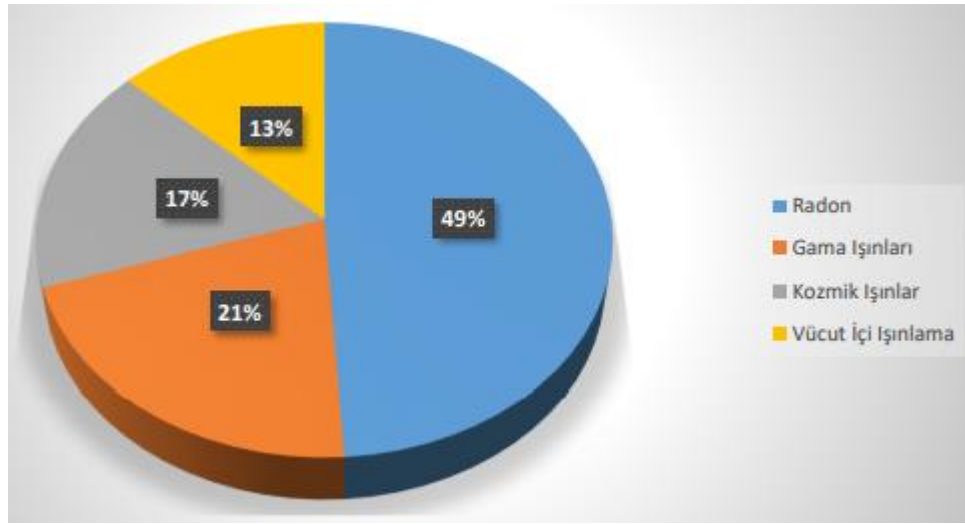
Teknolojik gelişmeler, tıbbi kaynaklar, toplumsal gelişmeler, nükleer bomba denemeleri vb. yollarla maruz kaldığımız radyasyon çeşitlerine yapay radyasyon denmektedir. Yapay radyasyon kaynaklarına en çok tıbbi görüntüleme yöntemleriyle maruz kalınmaktadır [41],[42]. Şekil 2.6'da yapay radyasyon kaynaklarının dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 2.6 Yapay radyasyon kaynakları [43]

2.3.2 Doğal Radyasyon Kaynakları

Radyoaktif elementler, dünyanın oluşumundan bu yana doğada normal ve kaçınılmaz olarak kabul edilen bir radyasyon düzeyi oluşturmuşlardır. Toprakta, suda, yeryüzünü oluşturan kayalarda, yapı malzemelerinde kısacası hemen hemen her yerde doğal radyoaktivite mevcuttur. Doğada bulunan doğal radyasyonun büyük bir çoğunluğu radon gazından kaynaklanmaktadır. Radon gazı, yapı malzemelerinde, toprakta ve su kaynaklarında bulunabilmekte ve bu kaynaklardan insan vücuduna nüfuz edebilmektedir [44]. Şekil 2.7'de doğal radyasyon kaynaklarının yüzdesel dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 2.7 Doğal radyasyon kaynaklarının yüzdesel dağılımı

Dünyanın oluşumundan buyana var olan çok uzun ömürlü radyoaktifler çevrede doğal bir radyasyon düzeyi oluşturmuşlardır. Geçtiğimiz yüzyılda bu radyasyon düzeyi nükleer bomba denemeleri ve bazı teknolojik ürünlerin kullanımı ile artış göstermiştir. Çevresel ışımalara maruz kalma bölgeden bölgeye değişebilir. Bu değişim bölgenin iklim yapısı, toprak yapısı, kutuplara olan uzaklık gibi çeşitli sebeplere bağlıdır. Bu değişiklikler göz önüne alındığında bir insanın maruz kaldığı yıllık ortalama doz miktarı 2.5 mSv'dir [43].

2.3.2.1 Uranyum

Uranyum, milyonda 2,2-2,8 ppm ortalama üst kabuk bolluğu ile Dünya'da doğal olarak kayda değer miktarlarda oluşan en ağır elementtir. 1938'de fisyonun keşfiyle başlayan atom çağının başlangıcından bu yana, uranyum toplumsal açıdan büyük önem taşımaktadır [45]. Uranyum, çok sayıda mineralde bulunur (en az 60 tanesi bilinmektedir). Yerkabuğu 3 – 4 ppm U içerir, bu da onu arsenik veya bor kadar bol yapmaktadır [46]. Tablo 2.1'de kayalardaki ortalama uranyum konsantrasyonları gösterilmiştir.

Tablo 2.1 Kaya çeşitlerindeki ortalama uranyum konsantrasyonları [44],[47]

Kaya Çeşitleri	Uranyum Konsantrasyonu(ppm)
Tortul Kayalar	1,2
Kireçtaşı	1,3
Volkanik Kayalar	3,0
Granit	4,0
Fosfat Kayalar(Kuzey Afrika)	20-30
Fosfat Kayalar(Florida)	120,0

2.3.2.2 Toryum

Toryum, nadir toprak cevherlerinden olan önemli bir radyoaktif element ve önemli bir nükleer yakıttır [48]. Toryum, uranyumdan daha bol olan bir elementtir. Yerkabuğundaki toryum içeriğinin uranyumdan yaklaşık üç ila dört kat daha fazla olduğu tahmin edilmektedir. En yaygın kaynağı nadir toprak minareli olan monazittir[49]. En önemli doğal izotoplardan birisi, zayıf radyoaktif olan, alfa ve gama emisyonu ile ^{228}Ra 'e bozunan ^{232}Th 'dir. ^{232}Th 'nin radyotoksitesi nispeten düşüktür. Başka bir izotop olan ^{230}Th , ^{234}U 'ün

bozunmasıyla doğal olarak üretilir.²³⁰Th'un radyotoksitesi çok yüksektir. Üçüncü bir izotop olan ²²⁸Th da çok yüksek radyotoksiteye sahiptir [50],[51].

2.3.2.3 Radyum

Radyum elementi, 1898'de Marie ve Pierre Curie tarafından, mineralin 1727'den beri bilindiği Çekoslovakya'daki Pitchblende keşfedilmiştir [52]. Radyum nispeten hareketlidir ve ²²⁶Ra izotopunun ana kaynağı, tortuların üst katmanındaki ²³⁰Th'den elde edilen üretimdir [53]. Bir alfa(α) yayınlayıcısı olan radyumun yarı ömrü 1600 yıldır. Radyum kaynakları canlılar üzerinde iç ve dış ışınlamaya sebep olan en önemli doğal kaynaklardır [54].

2.3.2.4 Sezyum

²³⁵U'nin fisyonunda, yüksek kesitli ¹³⁴Cs ve ¹³⁷Cs olan iki sezyum izotopu oluşmaktadır. Fisyon sonucu olarak iki izotopun oranı iyi belirlenmiştir. Bununla birlikte, ¹³⁴Cs'ün bozunma oranı daha yüksektir. Bu nedenle, iki fisyon ürünü sezyum izotopunun oranı, radyoaktif sezyum tarafından çevre kirliliğinin zamanı hakkında bilgi vermektedir. ¹³⁴Cs, ¹³³Cs + (n, γ) $\rightarrow$ ¹³⁴Cs nükleer reaksiyonunda üretilebilir. Yarı ömrü 2 yıldır, beta parçacıklarına ve gama ışınlarına sahiptir. ¹³⁷Cs'nin ise yarı ömrü 30 yıldır, beta ve gama radyasyonu yayar. Sezyum iyonu topraklarda kuvvetli bir şekilde emilir bu nedenle toprak oluşumu ve erozyonu incelemek için ¹³⁷Cs araştırılır. Bu araştırmalarda toprakta bulunan sezyumun aktivitesi ölçülmektedir [55]. ¹³⁷Cs yüksek dereceli radyoaktif bir elementtir. Uzun vadeli tehlikeyi azaltmak, radyoaksitiseyi azaltmak ve radyoaktif atık hacmini en aza indirmek için radyoaktif atıklardan ¹³⁷Cs'nin ayrıştırılması önerilmektedir [56],[57],[58].

2.3.2.5 Potasyum

Potasyum, yer kabuğunun ağırlığının yaklaşık %2,4'ünü temsil etmektedir. Potasyumun iki kararlı (radyoaktif olmayan) izotopu mevcuttur, ³⁹K ve ⁴¹K. ³⁹K doğal olarak oluşan potasyumun çoğunu (yaklaşık %93) içerir ve ⁴¹K temelde geri kalan her şeyi oluşturur. ⁴⁰K, potasyum ortak elementinin doğal olarak oluşan bir radyoaktif izotopudur. Yarı ömrü 1.27×10^9 yıldır. Radyoaktif ⁴⁰K, doğal olarak oluşan potasyumun çok küçük bir kısmını (yaklaşık %0.012)

içerir. ^{40}K , doğal olarak oluşan potasyumun %0.012'sini temsil ettiğinden, yer kabuğundaki konsantrasyonu yaklaşık 1,8 mg/kg veya 480 Bq/kg'dır. Birleşmiş Milletler Bilimsel Komitesi'nin Atomik Radyasyonun Etkileri hakkındaki raporunda, topraktaki ortalama ^{40}K konsantrasyonun 400 Bq/kg olduğu belirtilmiştir [59].

^{40}K , doğal olarak oluşan radyonüklidlerle ilişkili doz açısından önemli bir radyonüklidtir. ^{40}K 'ın sağlık açısından tehlikesi, radyoaktif bozunmadan kaynaklanan iyonlaştırıcı radyasyonun neden olduğu hücre hasarı ile ilişkilidir ve bununla birlikte kanser indüksiyonu için genel potansiyeli olan bir radyonüklidtir [60].

2.3.3 Doğal Radyasyonun Diğer Kaynakları

2.3.3.1 Toprakta Doğal Radyoaktivite

İyonlaştırıcı radyasyonun başlıca doğal kaynaklarından olan karasal radyasyon; kozmojenik radyonüklidlerden oluşmaktadır ve dünya dışı olan ilkel radyonüklidlerden kaynaklanmaktadır. Dünya'nın yaratılışından beri var olduğu tahmin edilen ilkel radyonüklidler arasında uranyum (^{238}U , ^{235}U), toryum (^{232}Th) ve potasyum (^{40}K) bulunur [61]. Toprak, insanların çevresel radyasyona maruz kalabileceği başlıca doğal nedenlerdendir [62],[63]. Çünkü toprak, toprak-gıda-insan çevresel zincirindeki ilk elementtir ve bu nedenle radyonüklid transferinde ve dağılımında önemli bir rol oynar [64]. Toprak'ta doğal olarak bulunan radyonüklidler (^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K) etkili insan dozunun yaklaşık %86'sından sorumludur [59],[65]. Bu sebeple, radyoaktivite kontrol altında tutulmalıdır. Bu kontrolün temelinde de toprakta bulunan radyoaktif maddelerin izlenmesi gelmektedir [66]. Tablo 2.2'de farklı ülkelerde ölçülen topraktaki radyonüklid çeşitleri gösterilmiştir.

Tablo 2.2 Farklı ülkelerde toprakta bulunan radyonüklid çeşitleri [44],[59]

Ülke	Nüfus	Tüm Konsantrasyonlar (Bq/kg)			
		²³⁸ U	²³² Th	⁴⁰ K	²²⁶ Ra
Malezya	20,58	66	82	310	67
Kazakistan	16,82	37	60	300	35
Tayland	58,70	114	51	230	48
Mısır	63,27	37	18	320	17
U.S.A	269,4	35	35	370	40
Polonya	38,60	26	21	410	26
Kostarika	3,50	46	11	140	46
Kore Cum.	45,31	-	-	670	-
Hindistan	944,6	29	64	400	29
Japonya	125,4	29	28	310	33
Arjantin	35,22	-	-	650	-
Çin	1232	33	41	440	32
Bangladeş	120,1	-	-	350	34
Hong Kong	6,19	84	95	530	59
Bulgaristan	8,47	40	30	400	45
Romanya	22,66	32	38	490	32
Danimarka	5,24	-	19	460	17

Tablo 2.2 Farklı ülkelerde toprakta bulunan radyonüklid çeşitleri(devamı)
[44],[59]

Almanya	81,92	11-330	7-134	40-1340	5-200
Ermenistan	3,64	46	30	360	51
İran	69,98	-	22	640	28
Rusya	148,1	19	30	520	27
Macaristan	10,05	29	28	370	33
Estonya	1,47	-	27	510	35
Litvanya	3,73	16	25	600	-
İsviçre	7,22	40	25	370	40
İrlanda	3,55	37	26	350	60
Belçika	10,16	-	27	380	26
Hırvatistan	4,50	110	45	490	54
Portekiz	9,81	49	51	840	44
İspanya	39,67	-	33	470	32
Slovenya	1,92	-	35	370	41
Britanya	58,14	-	-	-	37
Ortalama		35	30	400	35

2.4 Radyasyon Birimleri

2.4.1 Aktivite Birimi

Bir radyoaktif çekirdeğin başka bir radyoaktif çekirdeğe dönüşmesi bozunma ya da parçalanma olarak adlandırılır. Aktivite, radyoaktif bir maddenin birim

zamandaki bozunma sayısı olarak ifade edilmektedir. Temel birimi Curie (Ci), bu birimin SI birim sistemindeki karşılığı ise Becquerel(Bq)'dir[67].

Curie (Ci): Saniyede $3,7 \times 10^{10}$ defa parçalanma yapan maddenin radyoaktivite miktarıdır [67].

Becquerel(Bq): Saniyede bir defa bozunma yapan radyoaktivite miktarıdır[67].

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq} \quad (2.2)$$

2.4.2 Işınlanma Dozu

Dozimetrik bir kavram olup X-ışınlarının havada yaratacağı etkinin derecesini ifade eden terimdir. Birimi Röntgen (R)'dir ve SI birim sistemindeki karşılığı Coulomb/kilogramdır(C/kg) [68].

Röntgen(R): 0°C ve 760 mm Hg basıncı altında havanın 1 kg'ında 258×10^{-4} C'luk elektrik yükü değerinde (+) ve (-) iyonlar oluşturan X veya Y radyasyonu miktarıdır [68].

2.4.3 Soğurulmuş Doz Birimi

Radyasyona maruz kalmış herhangi bir maddenin birim kütlesinde depolanmış enerjinin ölçüsüne denir. Soğurulmuş doz eski birim sisteminde rad (radiation absorbed dose) ile tanımlanmıştır. SI birim sisteminde ise gray (Gy) olarak tanımlanır [69]. $1 \text{ Gy} = 1 \text{ joule/kg}$ olup, $1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$ 'dır [70],[71].

2.4.4 Eşdeğer Doz Birimi

İyonlaştırıcı radyasyonun canlılar üzerindeki etkisi bilinmektedir. Biyolojik maddeler üzerindeki bu etkiyi belirtmek için eşdeğer doz birimi kullanılır. Eski birimi rem(roentgen equivalent man)'dir. SI birim sistemindeki karşılığı ise Sievert(Sv) olarak adlandırılır. $1 \text{ Si} = 100 \text{ Rem}$ 'dir[69],[71]. Tablo 2.3'te tüm radyasyon birimleri gösterilmiştir.

Tablo 2.3 Radyasyon birimleri [72]

Birimler	SI Birim	Eski Birim	Formüsel İlişki
Aktivite (A)	Becquerel	Curie (Ci)	$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$ $1 \text{ Bq} = 2,7 \times 10^{-11} \text{ Ci}$
Işınlanma	Coulomb/kg (C/kg)	Rontgen(R)	$1 \text{ C/kg} = 3,88 \times 10^3 \text{ R}$ $1 \text{ R} = 2,58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$
Soğurulan Doz	Gray (Gy:Joule/kg)	Rad	$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$
Eşdeğer Doz	Sievert (Sv)	Rem	$1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$

3.1 Ağır Metaller

Ağır metaller yüksek atomik kütleleri ve yüksek yoğunluklarıyla karakterize edilen doğal elementlerdir. Tipik olarak oldukça düşük konsantrasyonda meydana gelmelerine rağmen hemen hemen evrenin her noktasında bulunabilirler. Diğer hafif metallerden ayrıştırılması için genellikle en az 5 g cm⁻³ yoğunluklu elementler olarak adlandırılırlar. Bu tanımla birlikte ağır metaller için daha geniş tanımlarda yapılmıştır. Bu tanımlar, 23'ten büyük bir atomik kütle veya 20'yi aşan bir atom numarası gerektiği şeklindedir. Periyodik tabloya baktığımızda ise yoğunluklarına göre 4-6, sütunlara göre 3-16, yani geçiş metalleri ve geçiş sonrası metallerini kapsayan kısımda olduklarını görülmektedir [73].

Ağır metalleri diğer toksik elementlerden ayıran en büyük özellik insanlar tarafından oluşturulabilir ya da yok edilebilir olmalarıdır. Bu özellikleri sayesinde toprakta, sedimentlerde, temiz su kaynaklarında ve deniz sularında birikmeye eğilimlidirler [74].

Toprakta, sedimentlerde ve su kaynaklarında biriken bu ağır metaller insan sağlığına ve çevreye ciddi zararlar verebilmektedir. Günümüzde en büyük çevre sorunlardan birisi ağır metal kirliliğidir. Öyle ki, ağır metaller normal şartlarda doğal su kaynaklarında eser miktarlarda bulunurlarken çeşitli insan faaliyetleri sonucunda özellikle endüstriyel atık sularının içme sularına karışması veya metalle kirlenmiş olan bazı parçacıkların atmosfere karışıp oradan toprak ve suya geçmesiyle sulardaki konsantrasyonlarında artış görülmektedir [15],[75]. Farklı endüstriyel sektörlerden doğaya yayılan bazı ağır metaller Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1 Çeşitli yollarla doğaya yayılan ağır metaller [76]

Endüstri	Cd	Cr	Cu	Hg	Pb	Ni	Sn	Zn
<i>Kağıt Endüstrisi</i>	-	+	+	+	+	+	-	-
<i>Enerji Üretimi(Termik)</i>	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Petrokimya</i>	+	+	-	+	+	-	+	+
<i>Gübre Sanayi</i>	+	+	+	+	+	+	-	+
<i>Demir-Çelik Sanayi</i>	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Klor-Alkali Üretimi</i>	+	+	-	+	+	-	+	+

Doğada insan faktörünün de etkisiyle artış gösteren bu ağır metaller beslenme zinciri ile üst seviyelere doğru birikmektedirler [77]. Beslenme zincirinde önce deniz canlılarını oradan da insanları etkileyerek canlı ekosistemi ve insan sağlığı açısından ciddi bir tehdit oluştururlar.

3.2 Doğada Yaygın Olarak Bulunan Bazı Ağır Metaller ve İnsan Sağlığına Etkileri

3.2.1 Cıva (Hg)

Atom numarası 80 olan bu element doğada mevcut olan bir elementtir. Yoğunluğu 13.5336 g/cm^3 , kaynama noktası $356.659 \text{ }^\circ\text{C}$ ve ergime noktası $38.829 \text{ }^\circ\text{C}$ 'dir. Cıva elementi hava, su ve toprakta farklı formlarda bulunabilir. Bunlar metalik, organik ve inorganik cıva bileşikleri şeklindedir [78]. Suda çözünmeyen bir element olan cıva, su ile kıyaslandığında 13,55 kat daha ağır, hava ile kıyaslandığında ise 7 kat daha yoğun bir elementtir [79]. Elektrik iletkenliği yüksek bir elementtir. Cıvanın önemli özelliklerinden biri; canlılarda besin zinciri içinde büyüyerek birikebiliyor olmasıdır. Bu özelliğe 'biyolojik

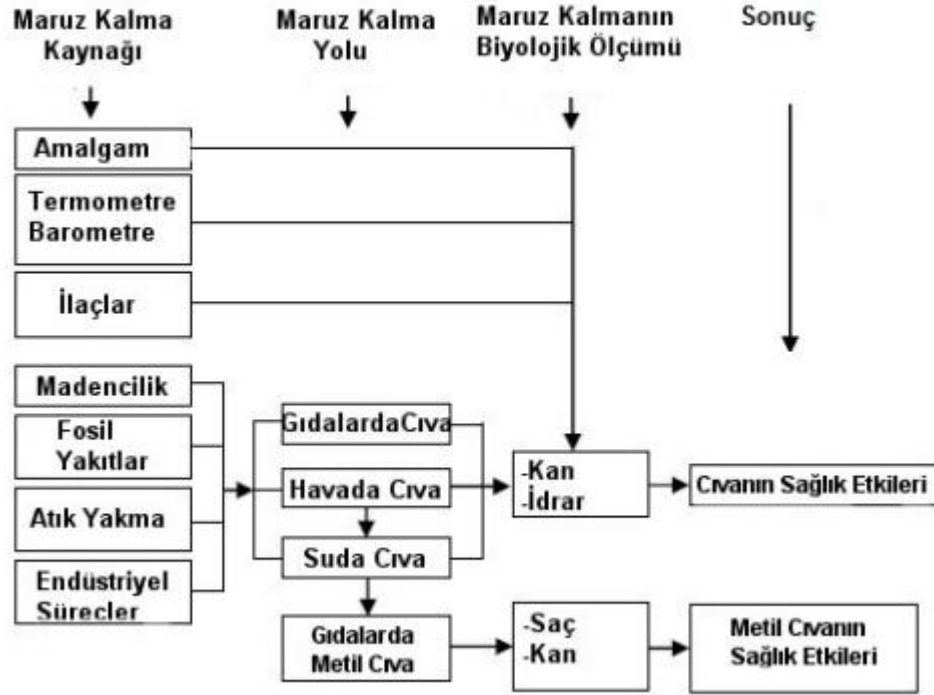
büyüme' adı verilmektedir. Cıvanın besin yoluyla etkileşiminde daha çok organik cıva bileşikleri aktif bir rol oynamaktadır. Besinlerle etkileşebilen organik cıva bileşikleri genellikle balık ve diğer deniz ürünlerinden insan vücuduna geçiş yapmaktadır [80].

Yerkabuğunda ortalama 0,08 ppm oranında bulunan cıva elementi, deniz suyunda 3×10^{-5} ppm civarında bulunmaktadır. Doğal cıva içeriği havada 0.005-0.06 ng/mg³, bitkilerde 0.001-0.3 µg/g (genelde <0.01 µg/g) seviyelerindedir [81].

3.2.1.1 Cıvanın İnsan Sağlığına Etkileri

Cıva elementi endüstride birçok farklı alanda; ilaç sanayi, laboratuvar uygulamaları, boya sanayi, diş tedavilerinde dolgu malzemesi gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Bu endüstriyel alanlarda çalışan kişiler ya da bu endüstriyel sahaların yakınlarında oturup cıva konsantrasyonunun yüksek oranlarda olduğu sulardaki deniz canlılarıyla beslenen kişilerin vücutlarında cıva seviyesi riskli seviyelere çıkabilir [82].

Çeşitli yollarla vücuda girmiş olan cıvanın, sinir sistemi, beyin ve böbrekler üzerinde ağır hasarlar oluşturduğu yapılan araştırmalar ile tespit edilmiştir. Bununla beraber farklı cıva bileşiklerinin vücutta farklı yollar izlediği görülmüştür. Örneğin, metalik cıva çeşitli yollarla vücuda alındığında kana karışır ve beyin dahil olmak üzere tüm dokulara kolayca ulaşır. Buna karşın inorganik cıva bileşikleri beyne ulaşamazlar fakat böbreklerde akümüle olur ve böbreklerin düzgün çalışmasını engellerler [81]. Şekil 3.1'de canlıların cıvadan etkilenme şekilleri gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Canlıların cıvadan etkilenme oranları [83]

Vücutta maruz kalınan cıva miktarının tespit edilmesi için genellikle kan ve idrar tahlilleri ile ölçümler yapılır. Cıvanın hemoglobine bağlanma özelliğinden dolayı vücuttaki Hg miktarını ölçmede en özgün gösterge, eritrosit Hg konsantrasyonudur [84]. Bu tahlillere ek olarak saç örneklerinden de cıva maruziyeti tespit edilebilmektedir.

3.2.2 Bakır (Cu)

Bakır elementi yeryüzünde birçok yerde bulunan çok yaygın bir elementtir. Atom numarası 29 olan bu elementin yoğunluğu 8,92, ergime noktası 1083 °C ve kaynama noktası 2300 °C 'dir. Aktif bir metal değildir ve bu yüzden doğada serbest halde bulunmaktadır [85]. Elektrik ve ısı iletkenliği yüksektir. Alaşımları çok çeşitlidir ve endüstride farklı amaçlarla kullanılmaktadır. Bakır, fosil yakıtların yanması sonucu atmosfere karışır. Tarım arazilerinin yoğun olduğu bölgelerde havada bulunan ortalama bakır konsantrasyonu 5-50 ng/mg³'dür. Taşıtlardan ve endüstriyel faaliyetlerden havaya karışır [76],[86].

3.2.2.1 Bakırın İnsan Sağlığına Etkileri

Bakır elementi havada, çeşitli besin maddelerinde ve içme sularında bulunur. Bu sebeple her gün farkında olmadan vücudumuza bir miktar bakır etki etmektedir. İnsan vücudunda yaklaşık olarak 150 mg kadar bakır mevcuttur. Özellikle böbrek, beyin, dalak, kan, karaciğer ve pankreas gibi organlarda bulunur [85]. Gün içinde alınabilecek maksimum bakır miktarı kadınlarda 12 mg/gün, erkeklerde 10 mg/gün, 6-10 yaş aralığındaki çocuklarda ise 3mg/gün olarak belirlenmiştir [86].

Aşırı dozda bakır elementine maruz kalmak çeşitli zehirlenmelere yol açabilir. Bu zehirlenmelerden en ciddi sayılanlar oral yolla olan zehirlenmelerdir. Ağız yoluyla bakır alındığında, insanlarda öldürücü doz (LD_{50}) miktarı 100 mg/kg'dır [84],[87]. Bu miktar aşıldığında da tedavi mümkündür fakat bağırsakta bakır emiliminde bir problem oluşmuş ise kişide 'Menkes Sendromu' ortaya çıkar. Bu hastalık, saçlarda beyazlama ve beyinde dejenerasyona sebep olur. Bunun yanı sıra bağırsakta bakır emiliminin artmasıyla 'Wilson Hastalığı' da görülmektedir [88].

Bakır elementinin insan sağlığı üzerindeki bu etkileri göz önüne alındığında tespit edilmesi oldukça önem arz etmektedir. Bakırın tespit edilmesi için yüksek duyarlılığa sahip analitik yöntemlere gereksinim duyulmaktadır. Bu yöntemler; İndüktif Eşleşmiş Plazma Atomik Emisyon Salınımı (ICP-AES), Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi (AAS), İndüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrofotometresi (ICP-MS) ve volta metrik metotlardır [89].

3.2.3 Kadmiyum (Cd)

Kadmiyum, çevrede en çok bulunan ve çok fazla toksik etkiye sebep olan bir metaldir. Doğada genellikle, kadmiyum sülfat, kadmiyum oksit ve kadmiyum klorür şeklinde bulunmaktadır [90],[91]. Özellikle metal endüstrisi ve otomotiv sektöründe kullanılmaktadır. En önemli kullanım alanlarından bir diğeri Ni-Cd, Hg-Cd, Ag-Cd pilleridir. Bunun haricinde nükleer reaktör kontrol sistemlerinde de kadmiyum metali kullanılmaktadır [92].

3.2.3.1 Kadmiyumun İnsan Sağlığına Etkileri

Kadmiyum havadan solunarak, bitkiler ve yiyeceklerden ya da su ile insan vücuduna nüfuz etmektedir. Solunan hava içerisinde yaklaşık olarak 0,1-0,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ seviyesinde kadmiyum bulunması akciğerler için önemli oranda tehlike oluşturmaktadır. Bir günde, besinler ve hava yoluyla vücuda nüfuz eden kadmiyum miktarı yaklaşık olarak 18-200 μg olarak hesaplanmıştır [90],[93]. Kadmiyum metalinin insanda karsinojen bir etkiye sahip olduğu 1976 yılında kanıtlanmıştır ve 1993 yılında, IARC (International Agency for Cancer Research) tarafından tip 1 karsinojen madde sınıfına alınmıştır [91]. Bununla birlikte memeli canlılarda kadmiyum birikimi araştırılmıştır ve sonuçlarda genellikle testis ve ovaryumda kadmiyum birikimi olduğu tespit edilmiştir [94].

3.2.4 Çinko (Zn)

Çinko birçok mineralde bulunması yanı sıra yer kabuğunda en bol bulunan elementler arasındadır. Genellikle petrol, metal, sentetik madde, termik enerji, otomotiv ve çelik endüstrisinde kullanılmaktadır. Atık sulardaki çinko birikimleri bu sanayi faaliyetleri sebebiyle oluşmaktadır [95].

3.2.4.1 Çinkonun İnsan Sağlığına Etkileri

İnsan vücudunda çinko alımı ve atımı arasında denge olmalıdır. Çünkü çinko vücutta depo edilemeyen bir metaldir. Çinko, vücudumuzda total olarak 2-4g kadar bulunabilmektedir ve organ sistemleri için büyük bir öneme sahiptir. Memeli canlılarda çinko eksikliği immun sistemi hastalıkları üzerinde ve deri üzerinde oldukça etkilidir [96]. Bunun yanı sıra çinko eksikliği ve fazlalığında DNA sentezinde çeşitli problemler meydana gelmektedir [97],[98],[99].

3.2.5 Kurşun (Pb)

Kurşun atom numarası 82, atom ağırlığı 207,21 olan bir ağır metaldir. Doğada, kurşunun kristal yapısına nadir olarak rastlanılmaktadır [78]. Genellikle demir, bakır, çinko ve gümüş elementleriyle birleşik olarak karşımıza çıkmaktadır [100],[101]. Kurşun saf bir metal olması sebebiyle sanayide ve tel, kablo gibi malzemelerin imalatında kullanılmaktadır. Kurşun dioksit ve kurşun

klorür, kurşun elementinin yaygın olan bileşikleri arasında bulunmaktadır [102], [103].

3.2.5.1 Kurşunun İnsan Sağlığına Etkileri

Ağır metal olarak adlandırılan kurşun, vücuda; hava, su, toprak ve besinler yoluyla alınmaktadır. Bir kişinin günlük ortalama vücuduna giren kurşun miktarı 20-400 mg olup bu maruz kalmanın sebebini genellikle sanayi faaliyetleri oluşturmaktadır. WHO (Dünya Sağlık Örgütü) ve FAO (Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü) tarafından bir kişi için haftalık kurşuna maruz kalma oranı 300 mg olarak tespit edilmiştir [84],[104]. Kurşunun toksik etkileri kronik ve akut olarak ikiye ayrılmıştır. Vücuda düşük miktarlarda kurşun alımında akut etkiler çoğunlukla hissedilmemekte olup bunun yanı sıra yüksek doza maruz kalma durumlarında mide ağrısı, kusma ve daha ciddi olarak koma ve solunum durması gibi rahatsızlıklar meydana gelebilmektedir [105],[106].

Kurşunun toksik etkileri genellikle çocuklarda görülmektedir. Bunun sebebi, küçük yaştaki çocukların toprak ve kurşun içeren boya gibi materyalleri ağızlarına götürmeye meyilli olmalarıdır [105]. Kurşun zehirlenmelerinin etkileri de çocuklar ve yetişkinlerde farklılık göstermektedir. Çocuklarda genellikle birkaç gün içerisinde etki görülmeye başlanmaktadır fakat yetişkinlerde bu süre birkaç haftaya çıkabilmektedir [102],[105]. Kurşun zehirlenmelerinde hızlı bir şekilde müdahale edilip önlem alınması gerekmektedir. Zamanında müdahale edilmediği takdirde riskli durumlar ortaya çıkabilmektedir [107],[108].

3.2.6 Arsenik (As)

Arsenik, farklı kimyasal yapılara sahip olan bir yarı metaldir. Doğada dört farklı oksidasyon formuna sahiptir. Bunlar; Arsenat(As^{+5}), Arsenit(As^{+3}), Arsenik(As^0) ve Arsin(As^{-3})'dir. Arsenik bileşiklerinin büyük çoğunluğu su içerisinde kolay çözünebilmektedir. Bu sebeple arsenik ağır metale maruz kalma nedenlerinin en başında içme suları gelmektedir [109]. Arsenik

genellikle, insanları zehirleme riskine sahip olan ve çevrede yaygın bir şekilde görülen bir kirletici olarak adlandırılmaktadır [109],[110].

3.2.6.1 Arseniğin İnsan Sağlığına Etkileri

Genellikle su kaynakları ile besin zincirine dahil olan arsenik metalinin dokularda birikme oranı farklılık göstermektedir. Saç ve tırnak gibi dokularda birikme özelliğine sahip olan arsenik aynı zamanda emildiğinde böbrek ve kalpte depolanmaktadır [104]. Bunun yanı sıra vücuda yüksek dozda alındığı takdirde DNA ve diğer hücre bileşenlerine bağlanan arsenik metali, yüksek oranda hasara yol açabilmektedir [111],[112],[113].

3.2.7 Krom (Cr)

Metalik bir element olan krom, doğal bileşenlerden biridir. Doğada serbest halde bulunamamaktadır. Kullanım alanı oldukça geniş olan bu element genellikle sanayi, çimento üretimi, boya üretimi ve elektrik kaplama işleri gibi birçok farklı alanda kullanılmaktadır. Doğada oldukça çeşitli yerlerde bulunmaktadır. Kromun toprak üzerindeki konsantrasyonu kilogram başına 2-60 mg'dır. Bu oran toprak çeşidine göre değişmekte olup bazı toprak çeşitlerinde 4 g'a kadar yükselebilmektedir. Toprakta yüksek miktarlarda bulunabilen krom, hava ve su içerisinde daha az oranlarda bulunmaktadır. Su içerisinde ortalama 1 µg/L kadar bulunan krom hava içerisinde ortalama 0,1 µg/m³ kadar bulunmaktadır [114],[115].

3.2.7.1 Kromun İnsan Sağlığına Etkileri

Çeşitli yollarla vücuda alınabilen krom, yüksek dozlarda maruz kalındığında kanser etkisi oluşturabilmektedir. Bunun yanı sıra hava yolu ile maruz kalındığında çeşitli akut etkiler göstermektedir. Üst solunum yolunda tahribat, kaşıntı ve burun kanaması gibi rahatsızlara sebep olabilmektedir. Kilo kaybı ve öksürük gibi etkilerin görülmesi vücudun kroma uzun bir süre maruz kaldığının en önemli işaretleri arasındadır [116].

3.3 Ağır Metal Kirliliğinin Tespiti ve Giderilmesi

Günümüz dünyasında çevre kirliliği ekosistem için büyük bir tehlike oluşturmaktadır. Her geçen gün hava, su ve toprak kirlilik oranlarını artış göstermektedir. Bu artışa sebep olan etkenlerden biri de çeşitli faaliyetler ile havaya, suya ve toprağa karışan ağır metallerdir. Özellikle toprak ve su kaynaklarında biriken ağır metaller insan sağlığı ve ekosistem için büyük bir risk teşkil etmektedir. Toprakta biriken ağır metaller hem topraktaki canlılara hem de bitkilere zarar vermekte olup bitkiler yardımıyla da besin zincirine katılarak insan sağlığına tehdit oluşturabilmektedir [117]. Bunun yanı sıra atık sularda biriken ağır metaller, sulama kaynaklarına karışarak tarımsal sulama faaliyetlerine etki edebilmektedir. Bu etkileşimler sonucunda topraklar kirlenmekte ve toprakta bulunan canlılar, yetişen bitkiler zehre maruz kalmaktadırlar [118]. Bu etkileşim yolları ile besin zincirine ulaşan ağır metaller insan sağlığı için büyük risk oluşturmaktadır [119]. Bu sebeplerden dolayı ağır metal kirliliğinin tespit edilmesi hem insan sağlığı hem de çevre kirliliği açısından büyük önem teşkil etmektedir.

Ağır metallerin tespit edilmesi için birçok analiz yöntemi mevcuttur. Bunlardan bazıları XRF, ICP-OES ve LIBS yöntemidir. Bu yöntemler arasında LIBS yöntemi hızlı ve doğru sonuç vermesi açısından dikkat çekmektedir [120]. Kirliliğin tespit edilmesi haricinde kirliliği engellemek için alınacak önlemler, yapılacak işlemlerde büyük önem taşımaktadır. Alınabilecek önlemlerden bazıları şunlardır; fabrika atıklarının arıtma yapılmadan doğaya salınması engellenmesi, maden atıklarının depo edilmesi, suların arıtılması ve ağır metal içeren toprakların tarım faaliyetlerinden ayrıştırılıp temizlenmesi [117]. Bu önlemler ile ağır metal kirliliğinin önüne geçilerek, olumlu sonuçlar alınacağı düşünülmektedir.

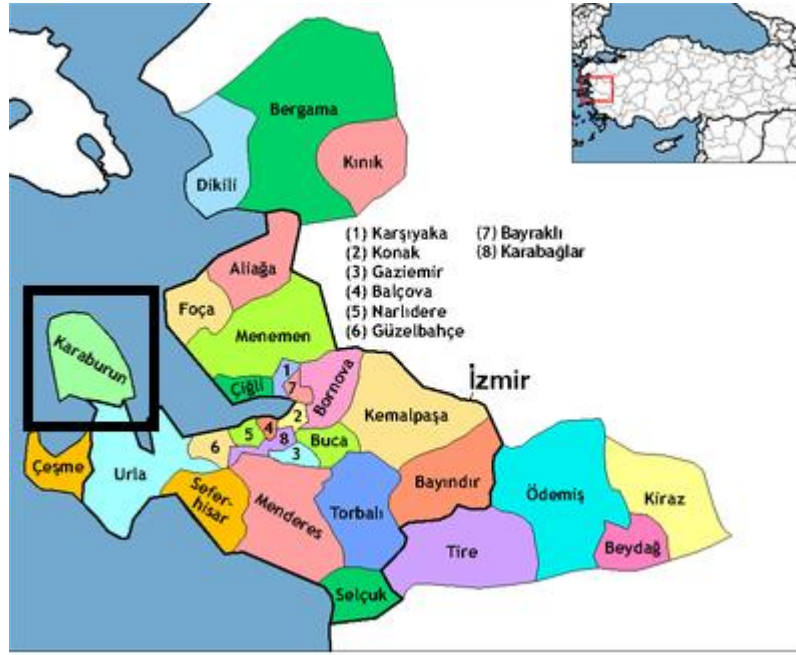
Çalışma sahası olarak seçilen İzmir ili Türkiye'nin en önemli turistik konumlarından bir tanesidir. Özellikle yaz mevsiminde yoğun miktarda turist ziyaret ettiği bölgede nüfus yaz aylarında kış aylarına göre daha yoğundur. Çalışma sahası olan Karaburun bölgesi İzmir Körfezi'nin girişinde yer alır ve güneyinde Çeşme, doğusunda Urla, kuzeyinde Foça Çandarlı, batısında ise Sakız Adası yer almaktadır [121].

Karaburun yarımadası bulunduğu konum itibari ile suyun açık denize baktığı bir noktadadır. Açık denize bakması sebebiyle su devridaim içindedir ve bu da temiz bir deniz suyu olmasına olanak sağlamaktadır. Coğrafi yapı olarak dik dağlık bir yapıya sahip olan Karaburun, kumsaldan çok kayalık bölgelere sahiptir. Su altı zenginliği açısından dikkat çekici bir bölge olması sebebiyle turistik açıdan oldukça ilgi gören bölge, dalış ve balıkçılık faaliyetleri için oldukça uygundur [121].

Bölgede geçmiş yıllarda bazı cıva maden faaliyetleri yapılmıştır. Uzun yıllar çalışmaları devam eden bu madenler belirli bir süre sonra cıva metalinin insan sağlığı açısından tehdit oluşturduğu gerekçesi ile kapatılmıştır. Günümüzde bölgede herhangi bir maden faaliyeti yer almamaktadır. Bölgenin turistik konumu, konum itibari ile deniz suyunun diğer bölgelere oranlara daha temiz olması sebebiyle turistik ilgi merkezi olması ve ülke ekonomisine katkısı göz önüne alınarak bölgedeki deniz suyunun kalitesi, deniz canlılarının yaşam kalitesi stabil tutulmak istenmektedir. Bölgedeki deniz suyunun berrak yapısı artan turist faaliyetleri ile bozulmaması ve bu yönde gerekli önlemlerin alınabilmesi amaçlanarak araştırma bölgesi olarak Karaburun Yarımadası seçilmiştir. Çalışmanın ileride bu bölge hakkında yapılacak araştırmalara referans sağlaması amaçlanmıştır.

4.1 Çalışma Sahası

İzmir ili; Türkiye’de Ege Bölgesi’nde yer alan ve nüfus bakımından en yoğun olan üçüncü şehirdir. Konum olarak 34.41273° K, 27.13838° D noktalarında yer alan ilin yüz ölçümü 11.891 km² dir. Çalışma bölgesi olan Karaburun Yarımadası İzmir Körfezinin girişinde yer almakta olup İzmir’e uzaklığı 100 km’dir. Şekil 4.1’de İzmir ilinin Türkiye haritasındaki konumu ve Karaburun bölgesinin konumu gösterilmiştir.



Şekil 4.1 İzmir haritası ve Karaburun konumu [121]

4.1.1 Bölgenin Özellikleri

4.1.1.1 Karaburun Coğrafyası

Karaburun, İzmir’in Ege Denizine doğru uzanan Urla Yarımadasının, Balıklıova ile Gerence Koyları arasındaki hattın kuzey kesimini oluşturan 600 km²’lik Karaburun Yarımadasında kurulmuştur. İzmir’e uzaklığı 100 km olan bölgenin, güneyinde Çeşme yer alırken doğusunda da Urla yer alır. Karaburun Yarımadası İzmir körfezinin girişinde yer alır ve körfezin Güney kıyılarının büyük bir bölümünü oluşturmaktadır. Bölge 415 km² yüz ölçümüne sahip ve

36-38 Doğu boylamları arasındadır. Yarımada'nın deniz seviyesinden yüksekliği 50m'dir [121]. Bölge Akdeniz ikliminin etkisindedir ve bitki örtüsü tipik Akdeniz bitki örtüsü özelliğini taşır [122].

4.1.1.2 Karaburun Yarımadası Maden Yatakları

Bölgede, 1970 yılına kadar işletilmiş olan, ilçenin güneybatısında yer alan 'Kalecik' cıva madenleri ve yarımada'nın batı sahilinde bulunan Tuzla Koyu'nun kuzeydoğusunda kıydan 0,3 km içerde yer alan 'Karareis' cıva madenleri bulunmaktadır. Bu cıva madenleri eski zamanlarda ekonomik amaçlarla işletilmiş olup daha sonra cıva ağır metalinin insan sağlığına etkileri göz önüne alınarak etkinliklerine son verilmiştir. Bölge ile ilgili yapılan literatürdeki çalışmalara bakılarak bölgede bu maden yataklarından kaynaklanan insan sağlığını tehdit eden düzeyde bir cıva birikmesine rastlanmadığı görülmektedir. Bunun yanında ilçedeki yataklarda %0,2 ile %0,3 arasında Hg tenörüne sahip toplam 370.000 ton görünür, 80.000 ton mümkün rezerv belirlenmiştir [78],[123].

4.2 Numune Temini

Çalışma bölgesi İzmir Karaburun Yarımadası olan proje kapsamında deniz sediment örnekleri core box yöntemi ile alınmıştır. Numuneler, evsel, sanayi, tarım, nehir deşarj noktaları ve liman atığı gibi kirlilik potansiyeli yüksek alanlar tespit edilerek alınmıştır. Çalışma alanının yer bulduru ve lokasyon haritası Şekil 4.2'de de gösterilmiştir. Alınan numunelerin derinlikleri 5-25m aralığındadır.



Şekil 4.2 Yer bulduru ve numune lokasyon haritası

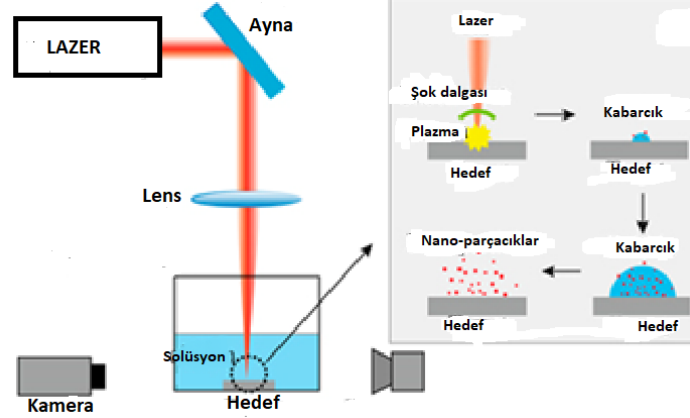
4. 3 Ağır Metal Analizleri

4.3.1 LIBS (Lazer İndüklenmiş Plazma Spektroskopisi) Tekniği

Lazer indüklenmiş plazma spektroskopisi, maddenin katı, sıvı, gaz hali fark etmeksizin, hızlı ve çok elemanlı analizini sağlayan bir atomik emisyon spektroskopisi uygulamasıdır. LIBS, bir malzemenin temel bileşimi veya numunedeki elementler hakkında, gerçek zamanlı, yerinde analiz için oldukça kullanışlı bir analiz yöntemidir [120]. LIBS, bir nokta kaynağı dedektörü olarak, kaya ve mineral yüzeylerini milimetrenin altında uzaysal çözünürlükle analiz edebilir ve birkaç yüz mikron derinliklere kadar profil oluşturabilir. XRF analizinden farklı olarak LIBS, Na'dan daha düşük atom ağırlıklarına sahip elementleri analiz edebilmektedir [124].

LIBS teknolojisinin özünü oluşturan ana fiziksel süreç, kısa bir lazer darbesiyle tetiklenen yüksek sıcaklıklı plazmanın oluşmasıdır. Kısa-darbeli lazer ışını numune yüzeyine odaklandığında, numune kütlesinin küçük bir hacmi (yani hem termal hem de termal olmayan mekanizmalarla) ortadan kaldırılır. Bu işlem lazer ablasyonu olarak adlandırılır. Bu ablasyona uğramış kütle, serbest elektronik uyarılmış atomlar ve iyonlar içeren yüksek enerjili bir plazma oluşturmak için lazer darbesinin arka kısmı ile etkileşir. Birçok temel araştırma projesi, plazma sıcaklığının erken yaşam süresi boyunca 30.000 K'yi

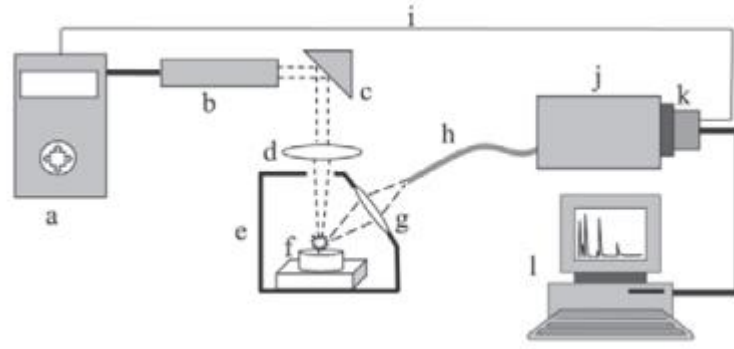
geçebileceğini göstermiştir [125]. Şekil 4.3'te LIBS cihazının çalışma prensibi gösterilmiştir.



Şekil 4.3 LIBS çalışma prensibi [126]

Lazer darbesi sona erdiğinde, plazma soğumaya başlar. Plazma soğutma işlemi sırasında uyarılan elektronik hallerdeki atomların ve iyonların elektronları doğal zemin durumlarına düşer ve bu da plazmanın ayrı spektral tepelerle ışık yaymasına neden olur. Plazmadan yayılan ışık, LIBS spektral analizi için bir ICCD / spektrografi detektör modülü ile toplanır ve birleştirilir. Periyodik tablodaki her bir element, benzersiz LIBS spektral zirveleri ile ilişkilidir. Analiz edilen numuneler için farklı zirveleri belirleyerek, kimyasal bileşimi hızla belirlenebilir. Çoğunlukla, LIBS tepe yoğunlukları hakkındaki bilgiler örnekte eser ve ana elementlerin konsantrasyonunu ölçmek için kullanılabilir [127]. Şekil 4.4'te LIBS sisteminin şematik diyagramı gösterilmiştir.

LIBS tekniği diğer tekniklere göre birçok kolaylık sunmaktadır. Bunlar; tek nokta için çok hızlı ölçüm süresi, hafif elementler dahil olmak üzere geniş element kapsamı, parazit endişesi olmadan ince örnek analizi ve örnek yüzeyinin hızlı profilini içeren çok yönlü örneklemedir [127].



Şekil 4.4 LIBS sisteminin şematik diyagramı (a)lazer kaynağı (b)ateşleyici lazer başlığı (c)ayna (d)odak lens (e)uyarma odası (f)örnek numune (h)fiber optik (i)uyarıcı dedektör sinyali (j)dalga boyu sayıcı (k)dedektör dizini (l)mikrobilgisayar [128]

4.3.1.1 Çalışmada Kullanılan LIBS Cihazı

Bu çalışmada Foster-Freeman Ltd. firması tarafından üretilmiş olan ECCO®2 markalı Lazer İndükleniş Plazma Spektroskopisi cihazı kullanılmıştır (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 ECCO LIBS cihazı

Bu cihaz uyumlaştırılmış standartlara göre Avrupa Birliği'nin ilgili yönergelerine uygun bir biçimde imal edilmiştir [129]. Üretim anında düzgün bir şekilde kalibre edilmiş ve ayarlanmıştır. Cihazın optik özellikleri aşağıdaki tablolarda (Tablo 4.1, 4.2 ve 4.3) gösterilmiştir.

Tablo 4.1 Gömülü lazer [129]

Lazer Sınıfı	4
Darbe Enerjisi	60mJ
Dalga boyu	1064 nm
Işın Sapması	<2,5 mrad
Darbe Tekrar Hızı	0,5 Hz
Darbe Süresi	4-6 ns

Tablo 4.2 Uyarma lazeri [129]

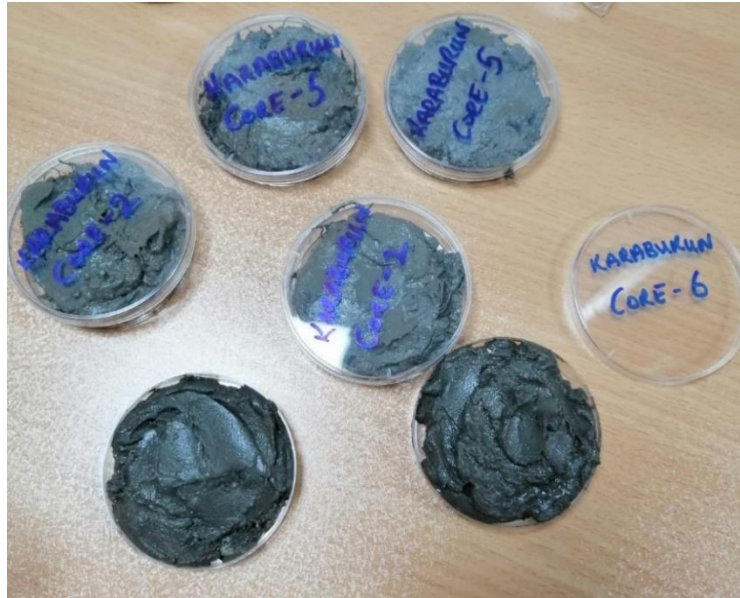
Lazer Türü	Nd:YAG (Q switched)
Dalga Boyu	1064 nm
Optik Enerji	60 mJ
Süre	7 ns
Optik Güç	~10 MW

Tablo 4.3 Hedef alan [129]

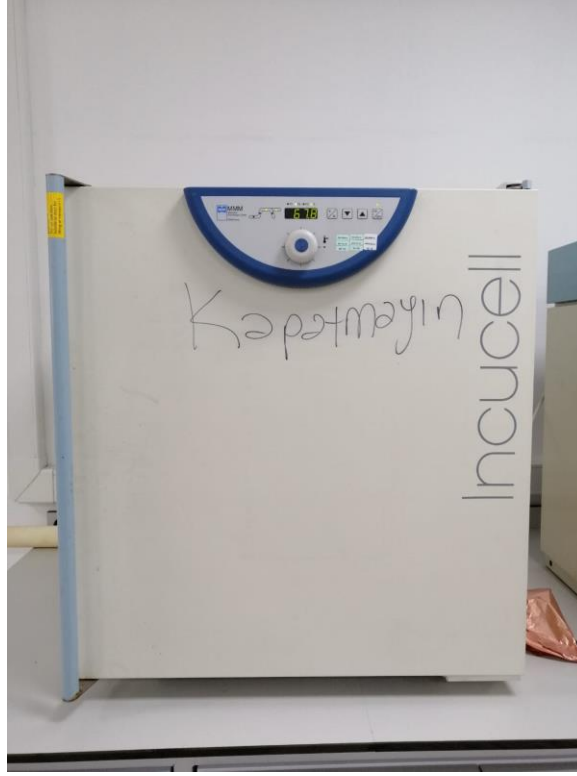
Çap	~80 µm
Plazma Sıcaklığı	~15.000 K

4.3.1.2 LIBS Analizi için Numune Hazırlama

Bölgede, altı farklı noktadan sondaj yöntemiyle alınan numuneler laboratuvar ortamında 50-70 dereceleri arasında bir sıcaklık değerinde numune kurutma fırınında kurutulmuştur. Kurutulan numuneler LIBS analizi için toz haline getirilmiştir. Toz haline getirilen numunelerin analiz için pelet haline getirilmesi gerekmektedir. Bu yüzden toz haline getirilmiş olan numuneler 3 gr numune ve 0.9 gr selüloz olmak üzere ayarlanmıştır. Burada kullanılan selüloz maddesi toz numunenin sıkıştırılmasına yardımcı olmak için kullanılmış olup analiz esnasında cihazda herhangi bir etkisi bulunmamaktadır. Hazırlanan bu karışım 50-70 bar basınç ile sıkıştırılarak numuneler pelet haline getirilmiştir. Aşağıdaki şekillerde (Şekil 4.6,4.7,4.8,4.9 ve 4.10) numunelerin pelet yapılma aşamaları gösterilmiştir.



Şekil 4.6 Sondaj yöntemi ile alınan ıslak numuneler



Şekil 4.7 Numune kurutma fırını



Şekil 4.8 Toz haline getirilmiş numuneler



Şekil 4.9 Pelet yapım aleti



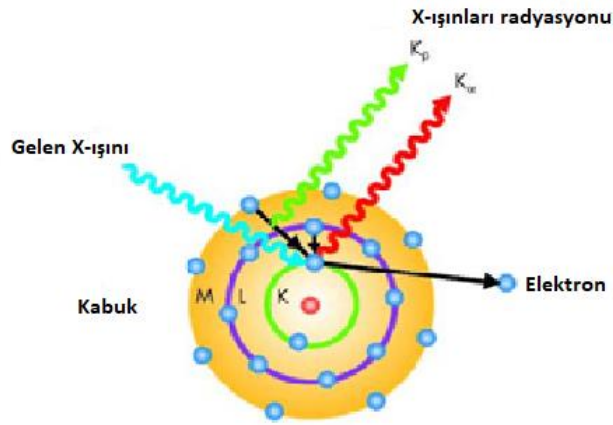
Şekil 4.10 Pelet haline getirilmiş numuneler

4.3.2 XRF (X-Işını Floresans) Tekniği

XRF, malzemelerin temel bileşimini belirlemek için kullanılan tahribatsız analitik bir tekniktir. Bütün XRF cihazları bir XRF kaynağı ve bir dedektör olmak üzere iki ana bileşenden oluşmaktadır. X-ışınları elektromanyetik

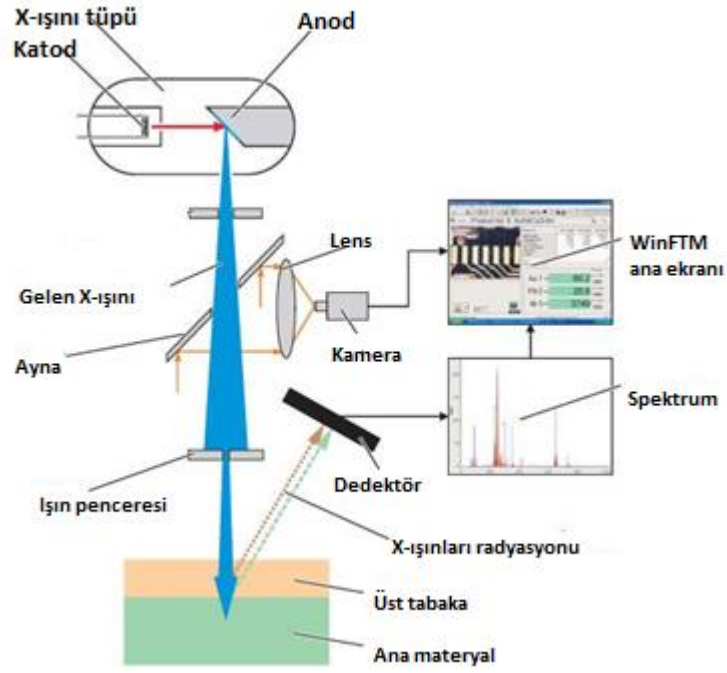
spektrumun bir parçası olup yüksek enerjili ışınlardır. X-ışınlarının enerjisi kiloelektronvolt veya nanometre dalga boyu ile ifade edilir [130],[131].

XRF cihazının çalışma prensibi şu şekilde ifade edilebilir; birincil X-ışınları kaynak tarafından üretildikten sonra numunenin yüzeyine gönderilir. Gönderilen bu ışın numune yüzeyine çarptığında atom kararsız hale gelir yani elektron düşük enerji seviyesinden atılır ve bir atom boşluğu oluşmuş olur. Kararlılığı sağlamak için daha yüksek enerji seviyesinden bir elektron bu boşluğa geçer. Elektronun enerji seviyelerindeki bu değişimi sonucunda salınan enerji ikinci bir X-ışını şeklinde yayılır [132]. Şekil 4.11’de X-ışını ile elektron koparma gösterilmiştir.



Şekil 4.11 X-Işını ile elektron koparma [130]

Yayılan bu X-ışını enerjisi elementin karakteristiğidir ve örnek hakkında bilgi edinilmesini sağlar. Bu şekilde gerçekleştirilen XRF analiz yöntemi dünyada pek çok materyali analiz etmek için kullanılan oldukça yaygın bir yöntemdir [133],[134]. Şekil 4.12’te XRF sisteminin analiz aşaması gösterilmiştir.



Şekil 4.12 XRF analiz aşaması [130]

4.3.2.1 Çalışmada Kullanılan XRF Cihazı

Bu çalışmada Rigaku markasına ait XtaLAB mini cihazı kullanılmıştır. Rigaku XtaLAB mini II, tezgâh üzerine oturan araştırma sınıfı bir kimyasal kristalografi cihazıdır. Veri kalitesinden ödün vermez, uzun toplama süreleri yoktur. Sunulan sonuçlar nettir. X-ışını kaynak tüpünün ömrü 600 W'da çalıştırılarak uzatılır. Daha düşük güçte çalışmayı telafi etmek için, standart bir X-ışını difraktometresine benzer kullanılabilir X-ışını akısı üretmek için bir SHINE optik (özel eğimli monokromatör) kullanılır [134]. Şekil 4.13'te analizde kullanılan cihaz gösterilmiş olup Tablo 4.4'te cihaz özellikleri belirtilmiştir.



Şekil 4.13 Analizde kullanılan XRF cihazı

Tablo 4.4 XRF cihaz özellikleri [134]

Temel Özellikler	Gelişmiş X-ışını dedektörüne sahip tezgah üstü tek kristal X-ışını difraktometresi.
Dedektör	Yaklaşık 3000 mm ² aktif alana ve 100 µm x 100 µm küçük piksel boyutuna sahip HyPix-Bantam iki boyutlu yarı iletken X-ray dedektörü.
X-Işın Kaynağı	Standart bir X-ışını difraktometresine benzer kullanılabilir X-ışını akısı üretmek için özel bir kavisli monokromatöre bağlanmış 600 W'da çalışan standart kapalı tüplü X-ışını kaynağı.
Açı Ölçer (Gonyometre)	Sabit dedektörlü sağlam iki eksenli açı ölçer.
Aksesuarlar	Oxford Cryostream 800, Oxford Smartstream
Numune Boyutları	560 (G) x 674 (Y) x 395 (D) (mm)
Kütle	100 (çekirdek birim) (kg)
Güç Gereksinimleri	1Ø, 100-240 V 50/60 Hz

4.3.2.2 XRF Analizi için Numune Hazırlama

Çalışmada kullanılan XRF cihazında numunelerin analizi için numuneler toz haline getirilmelidir. Bu yüzden sondaj yöntemiyle denizden alınıp numune kurutma fırınında kurutulmuş olan numuneler LIBS analizinde olduğu gibi bu analiz için de toz haline getirilmiştir. Kurutulmuş olan ıslak numunelerden yaklaşık 20-30 gr arasında numune XRF analizi için yeterli olmuştur. Şekil 4.14 ve 4.15'te numunelerin ıslak hali ve XRF için toz haline getirilmiş şekilleri gösterilmiştir.



Şekil 4.14 Islak XRF numuneleri



Şekil 4.15 XRF analizi için toz haline getirilmiş numuneler

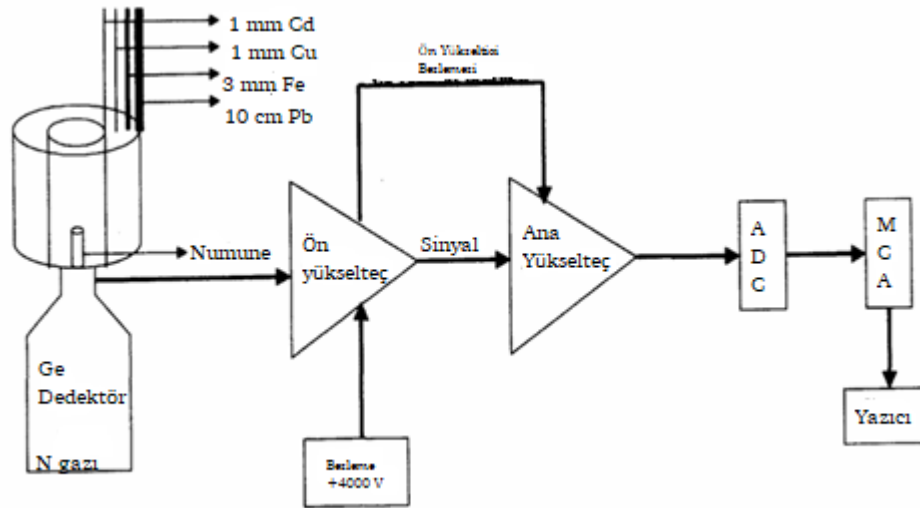
4.4 Radyoaktivite Analizi

4.4.1 Gama Spektroskopisi

Gama spektroskopisi belirli enerji seviyelerinde bulunan fotonların yayınlanmasını ölçmek için kullanılan yaygın bir yöntemdir [136]. Bu sistem ile çevremizdeki maddelerin radyoaktif olup olmadıklarını analiz edilip, radyoaktif ise bu radyoaktivitenin hangi elementlerden kaynaklı olduğu belirlenebilmektedir.

Gelen gama ışınının enerjisine bağlı olarak, detektörden elde edilen elektrik darbeleri, bir seri elektronik modüllerden geçirilerek çok kanallı analizörde (MCA) enerji dağılımları gama spektrumu olarak gözlenir [136].

Detektör ve diğer elektronik modüllerin uygun kombinasyonu gama spektrometresi olarak adlandırılır [137]. Şekil 4.16'da şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.16 Gama spektrometresinin şematik gösterimi [137]

4.4.2 Çalışmada Kullanılan Gama Ölçüm Cihazı (HPGe)

Analiz için yüksek saflıkta germanyum dedektörlü gama ölçüm sistemi (HPGe) kullanılmıştır (Şekil 4.17). Bu sistem ile farklı enerjilere sahip gama ışını yayan radyoaktif maddelerin analizleri yapılabilmektedir. Germanyum dedektörü enerji-duyarlı bir radyasyon detektörüdür. Bu sistem; germanyum dedektörü, sıvı azot bazlı dedektör soğutma mekanizması, sinyal algılayıcı elektronik sistem ve yükselticilerden oluşmaktadır. Cihazın gama ışını ölçme enerji aralığı 40 keV-10MeV arasındadır [138].



Şekil 4.17 ORTEC, GEM50P4-83 Model yüksek saflıkta germanyum dedektörü [138]

4.4.2.1 Radyoaktivite Analizi için Numune Hazırlama

Analiz için kullanılan yüksek saflıkta germanyum dedektöründe (HPGe) sağlıklı sonuçlar alabilmek için XRF analizinde olduğu gibi numunelerin toz haline getirilmesi gerekmektedir. Bu sebeple altı farklı bölgeden katı halde alınan sediment örnekleri toz haline getirilerek 100'er gramlık poşetlere konup analiz için laboratuvara gönderilmiştir. Toz haline getirme işlemi sırasında örneklerin birbirine karışmamaları için işlemde kullanılan aletlerin dezenfektasyonlarına özen gösterilmiştir.

5.1 LIBS (Lazer İndüklenmiş Plazma Spektroskopisi) Sonuçları

LIBS yöntemi kullanılarak analiz edilen altı farklı numunenin cihaz kalibrasyonunda tanımlanan elementler ile yüzdece eşleşme oranları tespit edilmiştir. Altı farklı numune için element analizi yapılmış ve dalga boylarıyla ilişkili olarak spektrumlar elde edilmiş ve elde edilen pikler incelenmiştir. Analiz sonucunda 19 ayrı element (Tablo 5.1) tespit edilmiş olup, aşağıdaki şekillerde (Şekil 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5 ve 5.6) numune element eşleşme spektrumları verilmiştir.

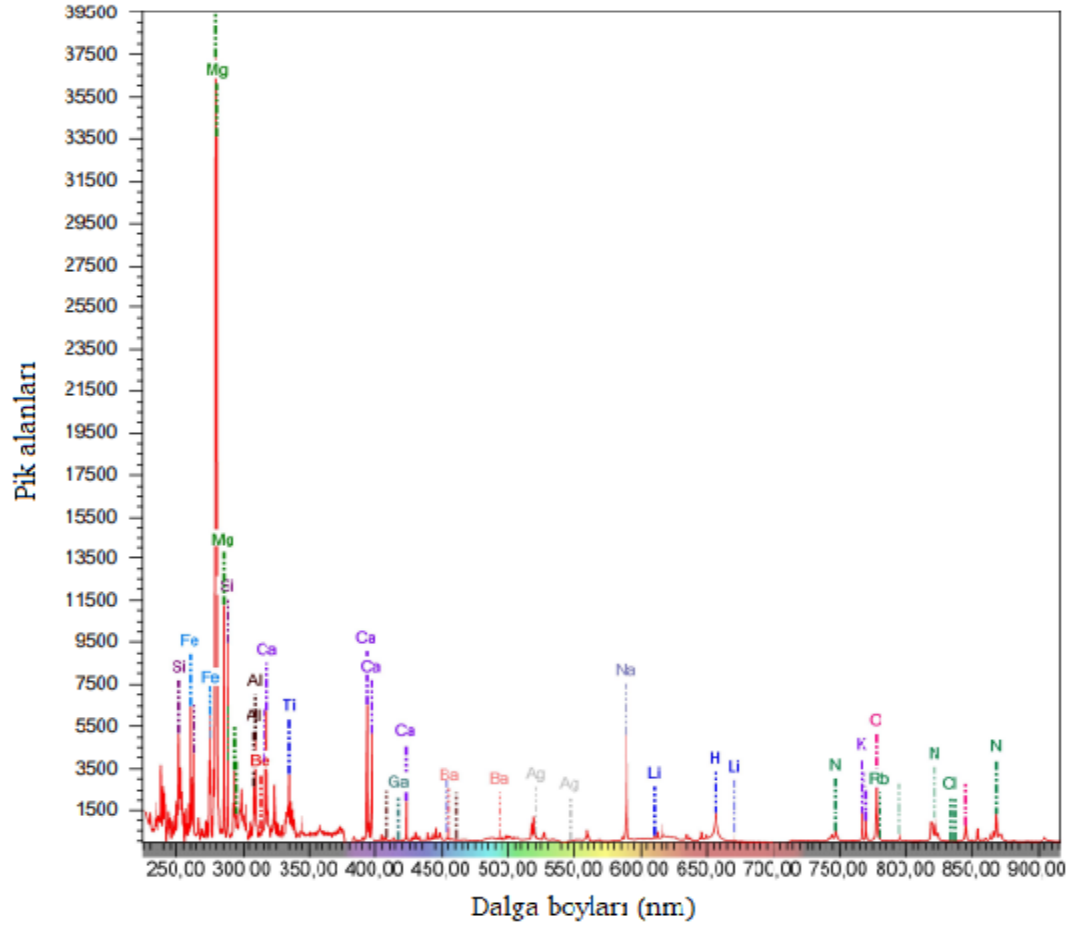
Tablo 5.1 LIBS elementel eşleşme sonuçları (%)

Elementler	Kor-1	Kor-2	Kor-3	Kor-4	Kor-5	Kor-6
K	97	97	97	97	97	97
Fe	95	93	94	94	95	94
Li	89	89	89	91	89	89
Mg	88	90	90	87	90	90
Si	88	89	88	88	87	88
O	79	85	83	79	84	82
Ca	78	75	73	78	78	85

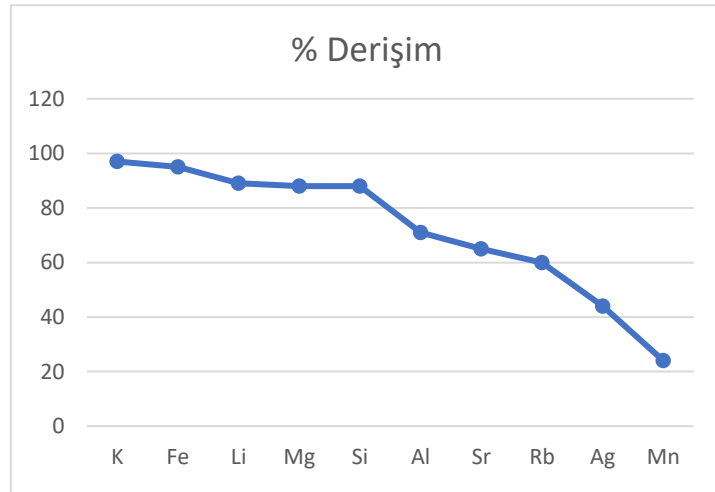
Tablo 5.1 LIBS elementel eşleşme sonuçları (%) (devamı)

Ti	73	64	67	74	64	68
Ba	73	77	90	49	85	82
Na	72	70	71	71	73	72
Al	71	72	71	65	73	74
N	69	75	69	62	78	78
Sr	65	84	86	67	87	87
Rb	60	72	71	46	76	72
Ga	59	20	57	79	78	79
Ag	44	36	38	56	37	49
Be	40	23	40	53	21	52
H	37	41	37	37	37	41
Mn	24	23	31	22	24	28

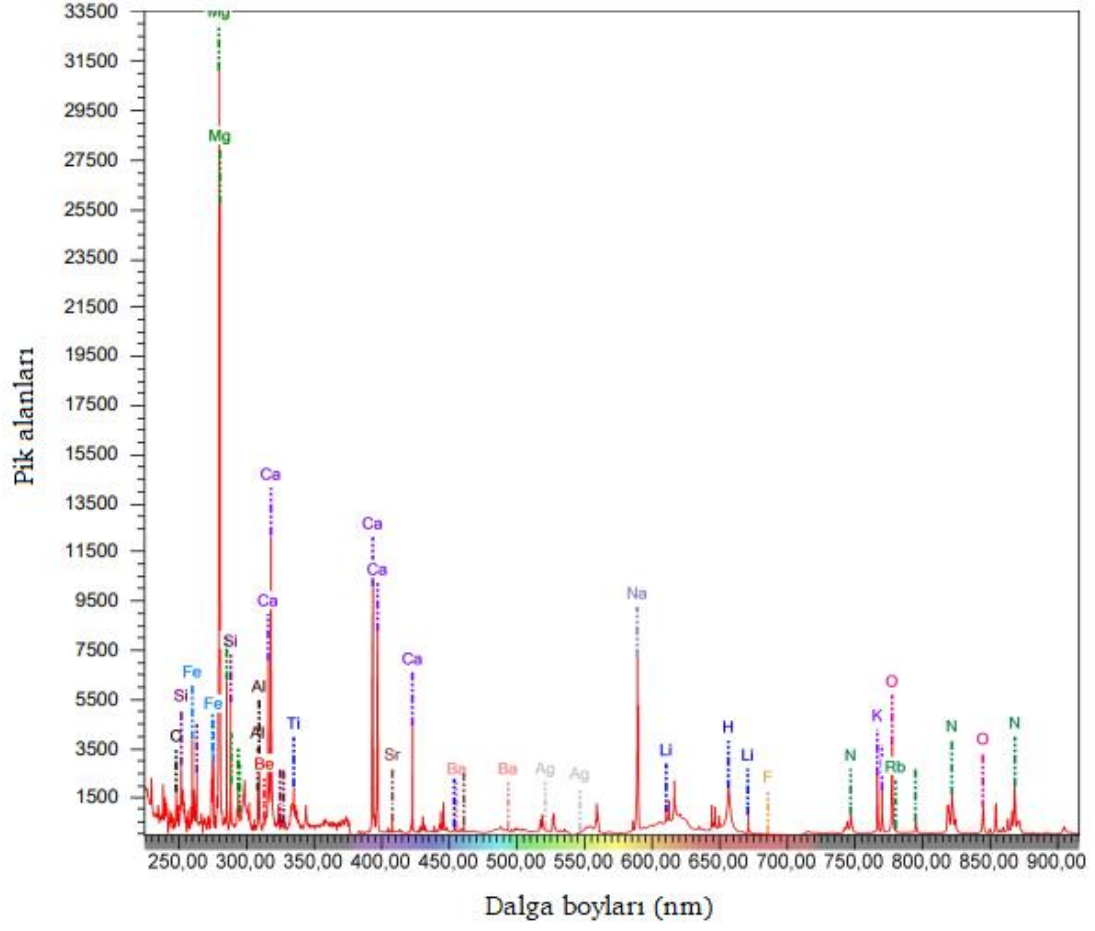
Analiz sonucu tespit edilen 19 farklı element içerisinde en yoğun oranda bulunan ve ağır metal olarak dikkat çeken elementler seçilerek grafik haline getirilmiştir (Grafik 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5 ve 5.6). Elde edilen bu grafikler ile Karaburun yarımadasındaki farklı noktalar için seçilen elementlerin tespit edilme oranları incelenmiştir.



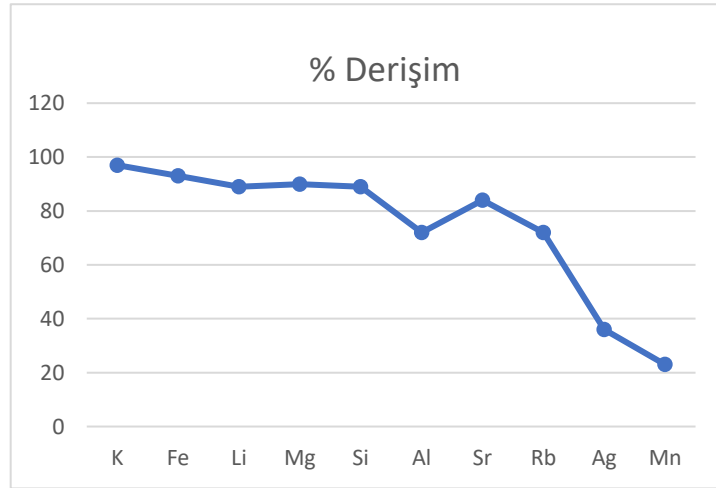
Şekil 5.1 Kor-1 spektrum analizi



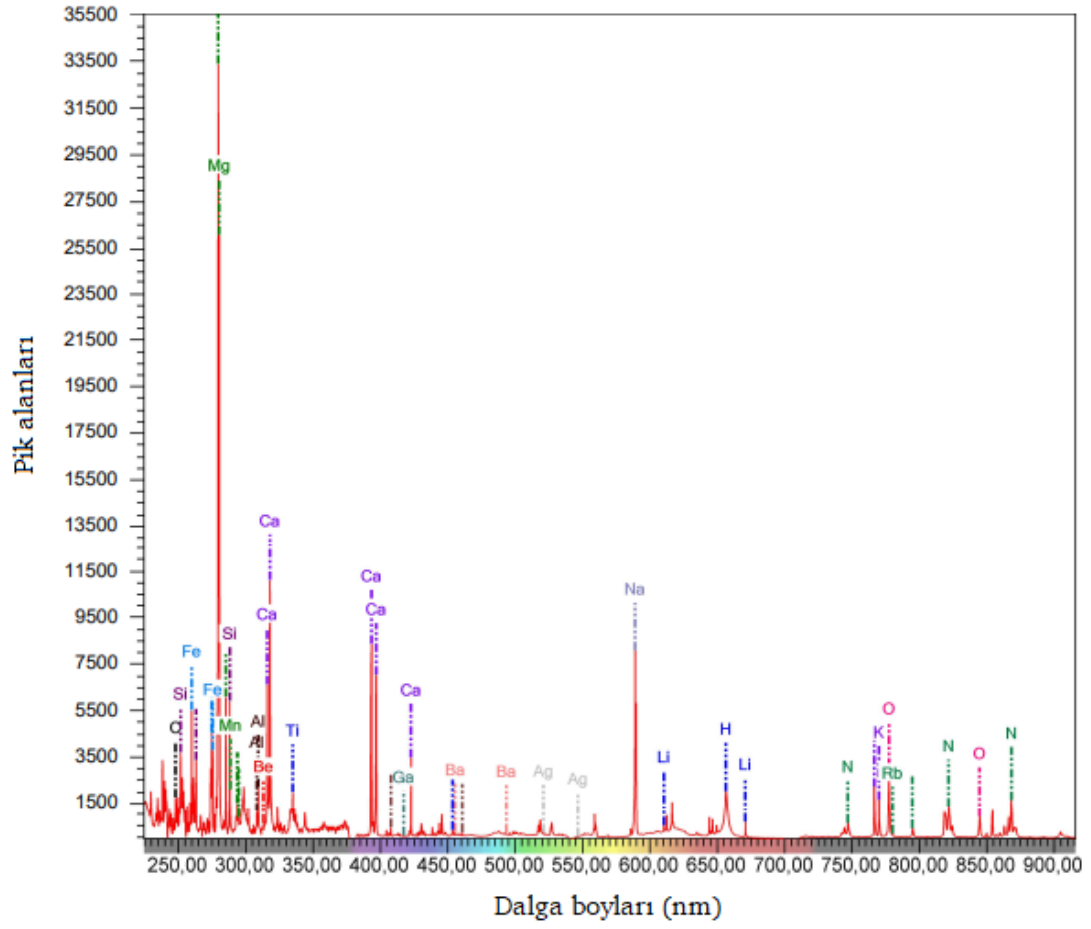
Grafik 5.1 Kor-1 elementel karşılaştırma



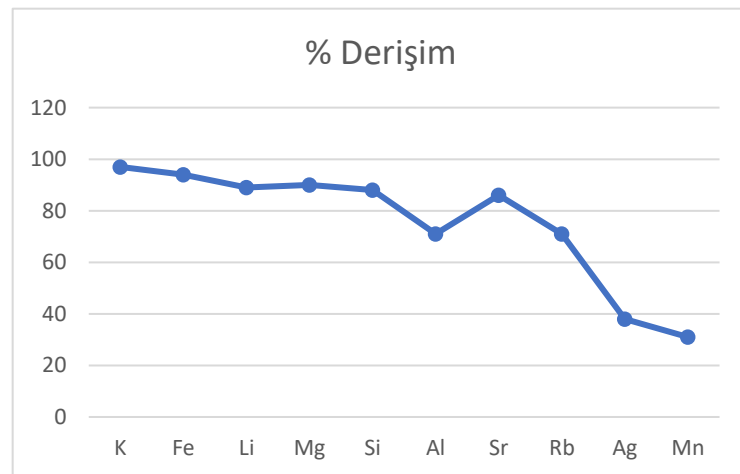
Şekil 5.2 Kor-2 spektrum analizi



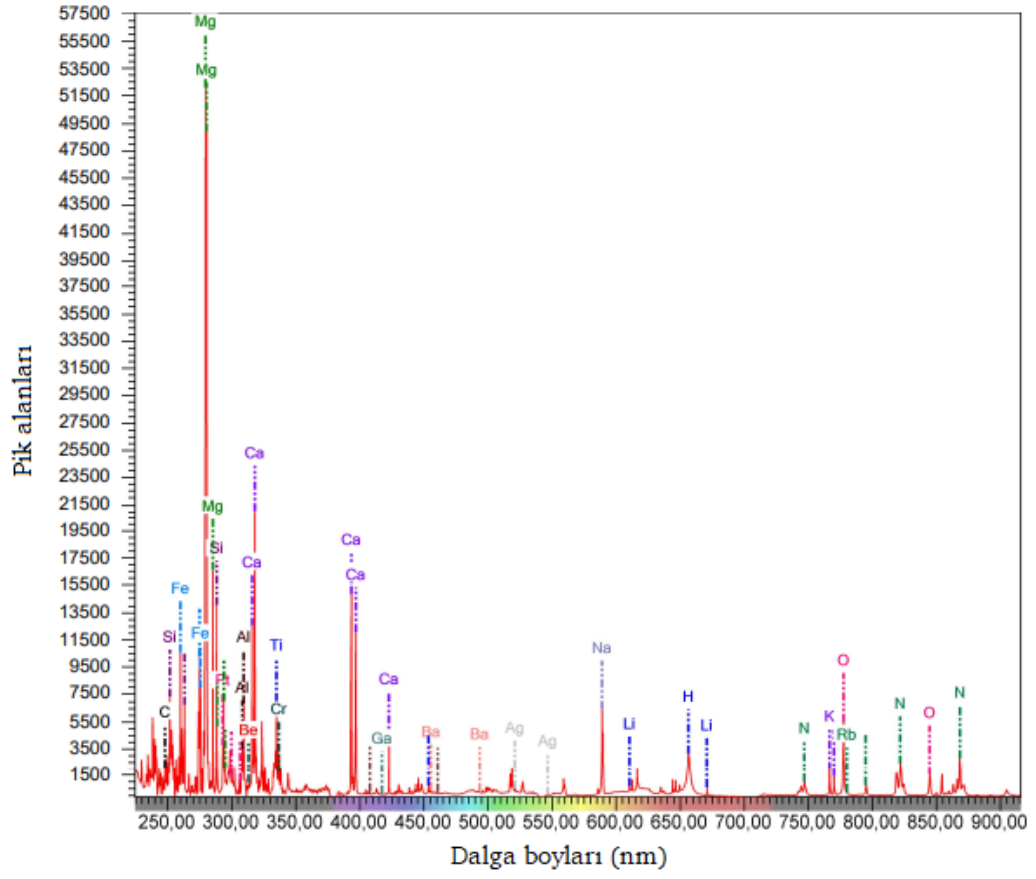
Grafik 5.2 Kor-2 elementel karşılaştırma



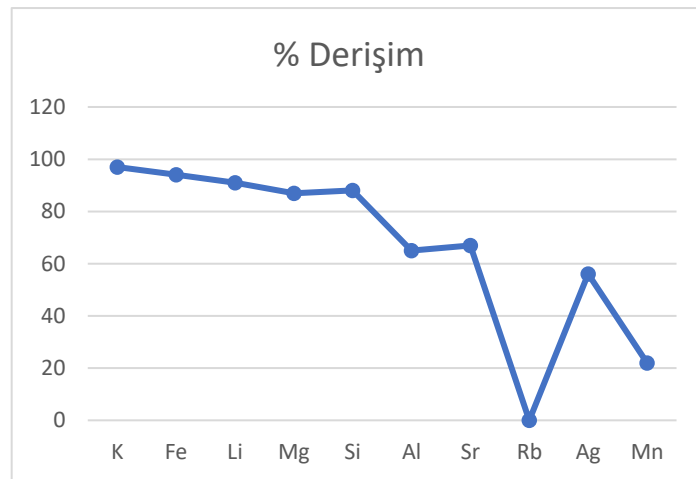
Şekil 5.3 Kor-3 spektrum analizi



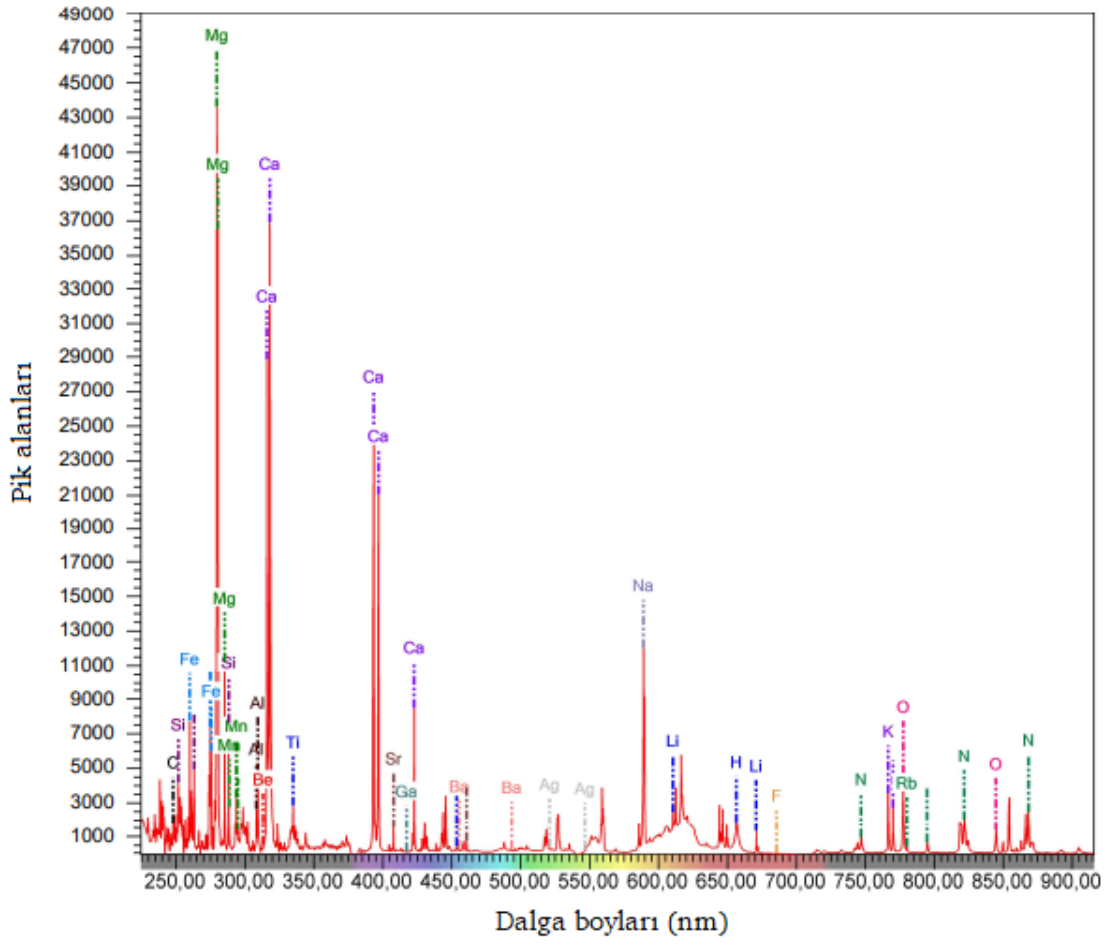
Grafik 5.3 Kor-3 elementel karşılaştırma



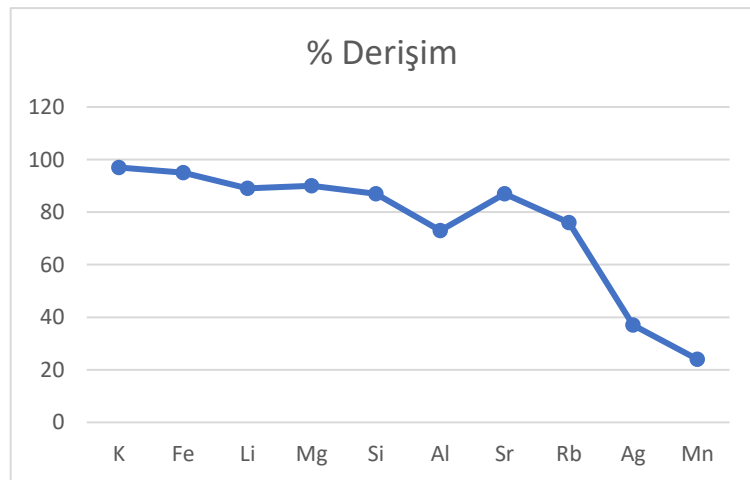
Şekil 5.4 Kor-4 spektrum analizi



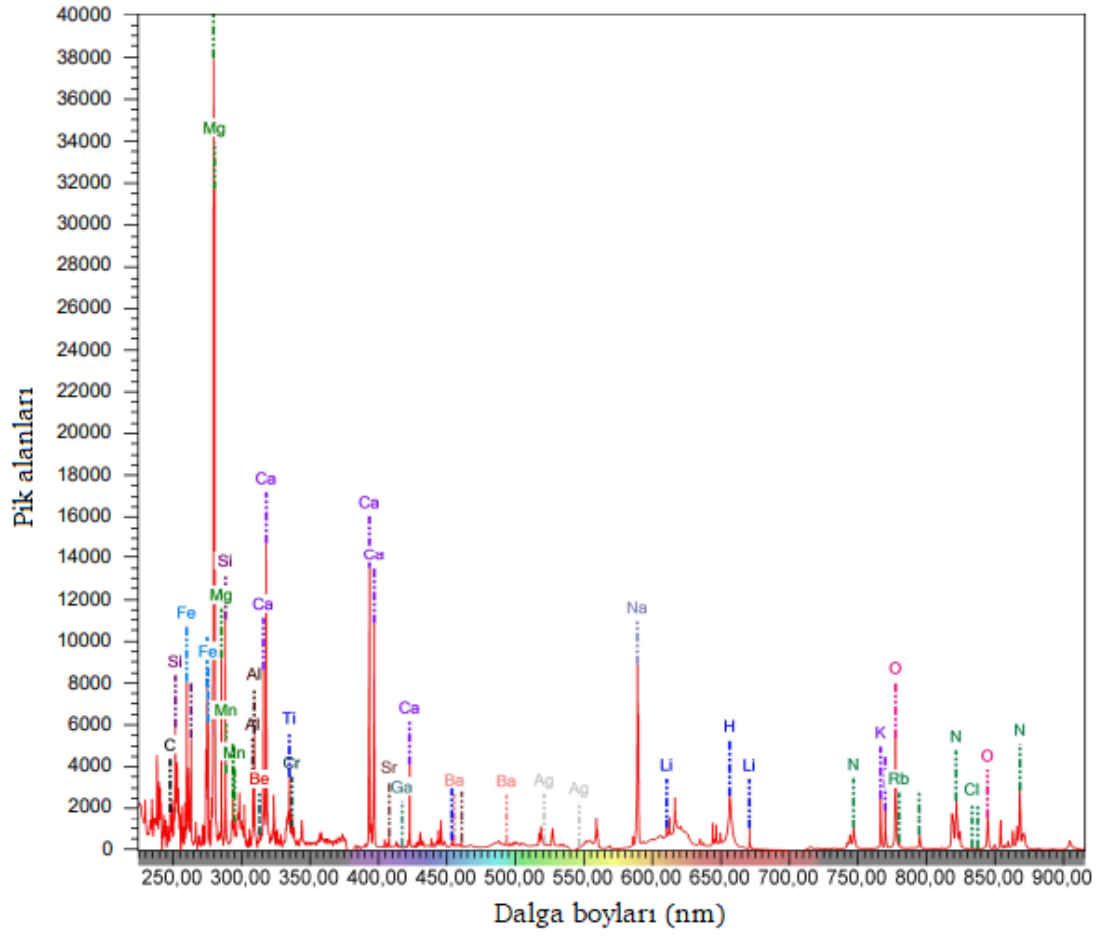
Grafik 5.4 Kor-4 elementel karşılaştırma



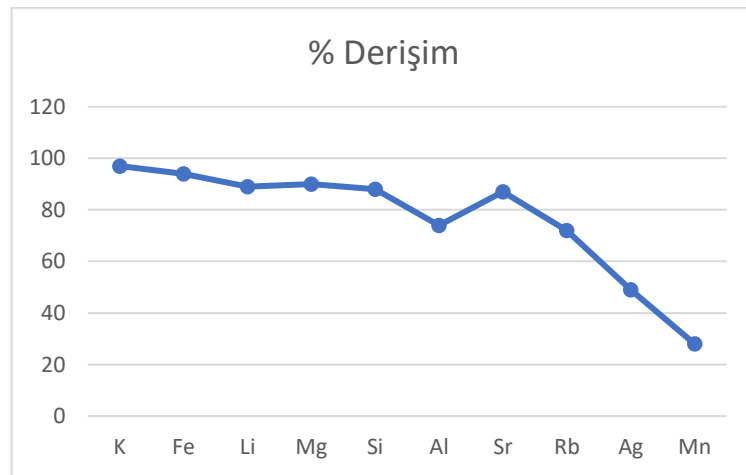
Şekil 5.5 Kor-5 spektrum analizi



Grafik 5.5 Kor-5 elementel karşılaştırma



Şekil 5.6 Kor-6 spektrum analizi



Grafik 5.6 Kor-6 elementel karşılaştırma

Bölgede altı farklı noktadan alınan numunelere yapılmış olan LIBS analizleri neticesinde her noktada analiz değerlerinin benzer oldukları görülmüştür. Yapılan analizler sonucunda, her noktada K (%97), Fe (%94), Li (%89) ve Mg (%89) elementlerine yüksek miktarda rastlanmıştır. Bu elementler dışında Al (%71), Ag (%36) ve Mn (%25) gibi ağır metaller düşük derişimlerde tespit edilmiştir.

5.1.1 LIBS Sonuçlarının PCA ile İncelenmesi

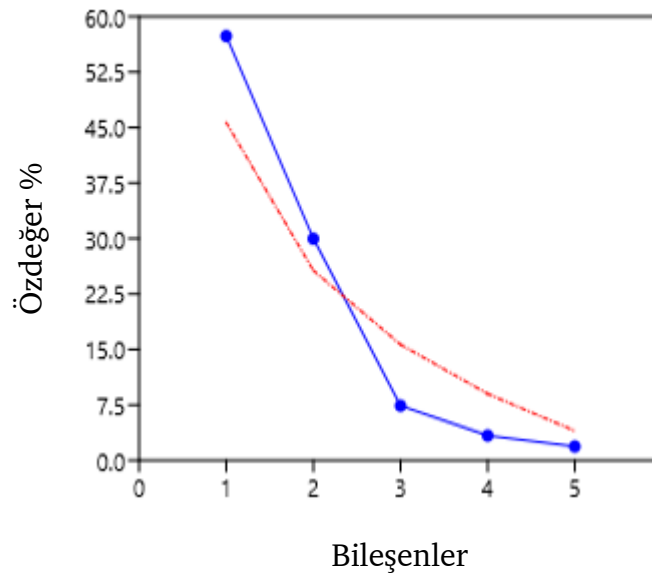
Numunelerin elementel kompozisyon farklılıklarının kümülatif olarak değerlendirilebilmesi için PCA (Principal Component Analysis) yöntemi kullanılmıştır. Bu teknik, analiz verilerinin birbiri ile ilişkisini ortaya koyarken verilerin sonuca etkilerinin ağırlıklarının hesaplanması yöntemini kullanmaktadır. LIBS ile yapılan analizlere PCA tekniği uygulanarak, numuneler arasındaki elementel eşleşmelerin birbiri ile ilişkileri hesaplanarak her değişkenin numunenin içeriğine olan katkısı ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır. Analizler, bölgeden alınan altı farklı numune için %57,377 oranında ayırım göstermiştir (Tablo 5.2).

Tablo 5.2 PCA skor değerleri

	PC 1	PC 2	PC 3	PC 4	PC 5
Kor-1	6.3835	-11.92	-1.6367	-8.366	7.3805
Kor-2	-40.81	-21.59	0.14063	6.0972	0.0015273
Kor-3	-12.33	7.5052	8.6996	-8.089	-6.3435
Kor-4	42.12	-18.44	-3.3326	3.1004	-4.1137
Kor-5	-7.356	24.256	-16.031	0.7841	-0.5733
Kor-6	11.998	20.2	12.16	6.4746	3.6485

Tablo 5.3 PCA özet veriler

PC	Özdeğer	Varyans %
1	766,151	57,377
2	400,271	29,976
3	98,8706	7,4044
4	44,9528	3,3665
5	25,0549	1,8763



Grafik 5.7 Özdeğer grafiği

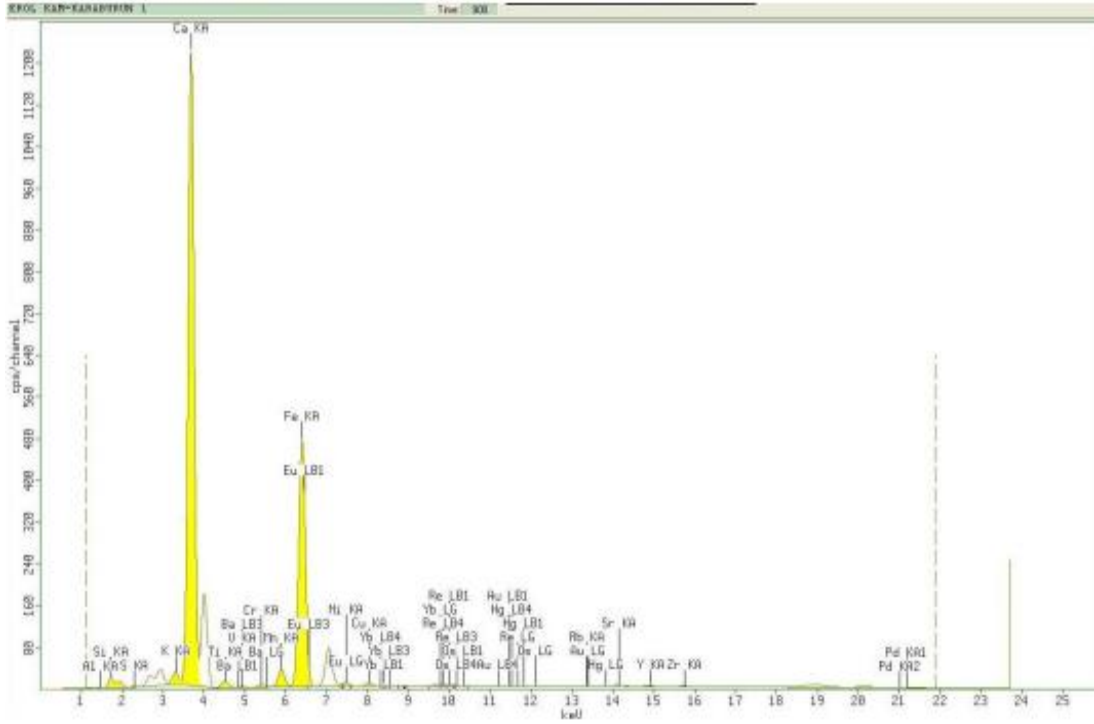
Yapılan PCA analizlerine göre LIBS analizi sonucunda elde edilen 19 farklı elementin varyasyon değerleri %57,377 olarak bulunmuştur. Bu değer, özdeğer grafiği ile desteklenmiştir. Buradaki özdeğer grafiği (Grafik 5.7), altı farklı noktada tespit edilen 19 farklı element tarafından hesaba katılan değişkenliğin ölçüsünü göstermektedir. Burada, ilk üç analiz noktasında elde edilen elementler ile hemen hemen aynı çeşit elementlerin tespit edildiği, bu sebeple de özdeğer grafiğinde üçüncü bileşenden sonra sıfıra yaklaşım olduğu görülmektedir.

5.2 XRF (X-Işını Floresans) Sonuçları

Altı farklı noktadan alınan numunelerin XRF spektrometre ile standartsız analiz yöntemi kullanılarak içerik tayinleri yapılmıştır. Kullanılan XRF spektrometresinin yarı niceliksel analizinde Na-U arasındaki elementler yüzde (%) oranında belirlenmektedir. Bu aralığın dışındaki elementler tayin edilememektedir. Yapılan XRF analizlerinde cihazın standart sapması nedeni ile %5'in altındaki tayin değerleri belirtilmemektedir. Aşağıda, altı farklı bölge için elde edilen XRF analiz sonuçları tablo (Tablo 5.4, 5.5, 5.6, 5.7, 5.8 ve 5.9) ve şekiller (Şekil 5.7, 5.8, 5.9, 5.10, 5.11 ve 5.12) ile gösterilmiştir.

Tablo 5.4 Kor-1 tespit edilen element oranları

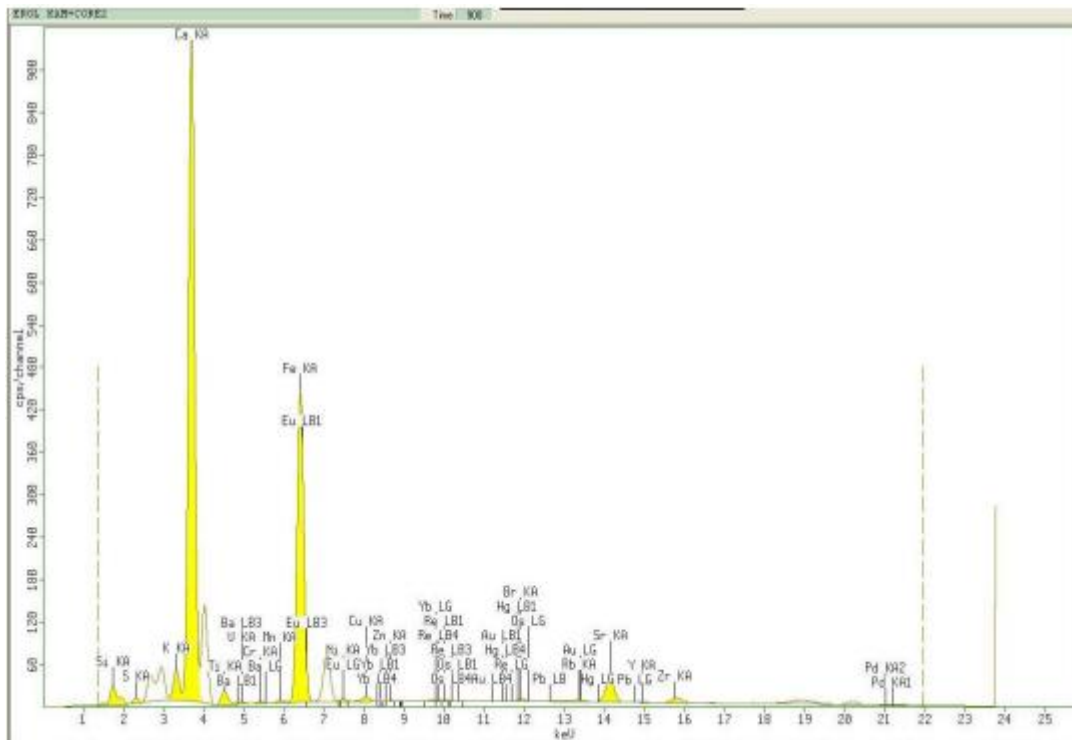
Kor-1	
Element	Yüzde (%)
Si	21,4%
Ca	24,11%
Fe	42,42%
Diğer	12,07%



Şekil 5.7 Kor-1 XRF spektrum analizi

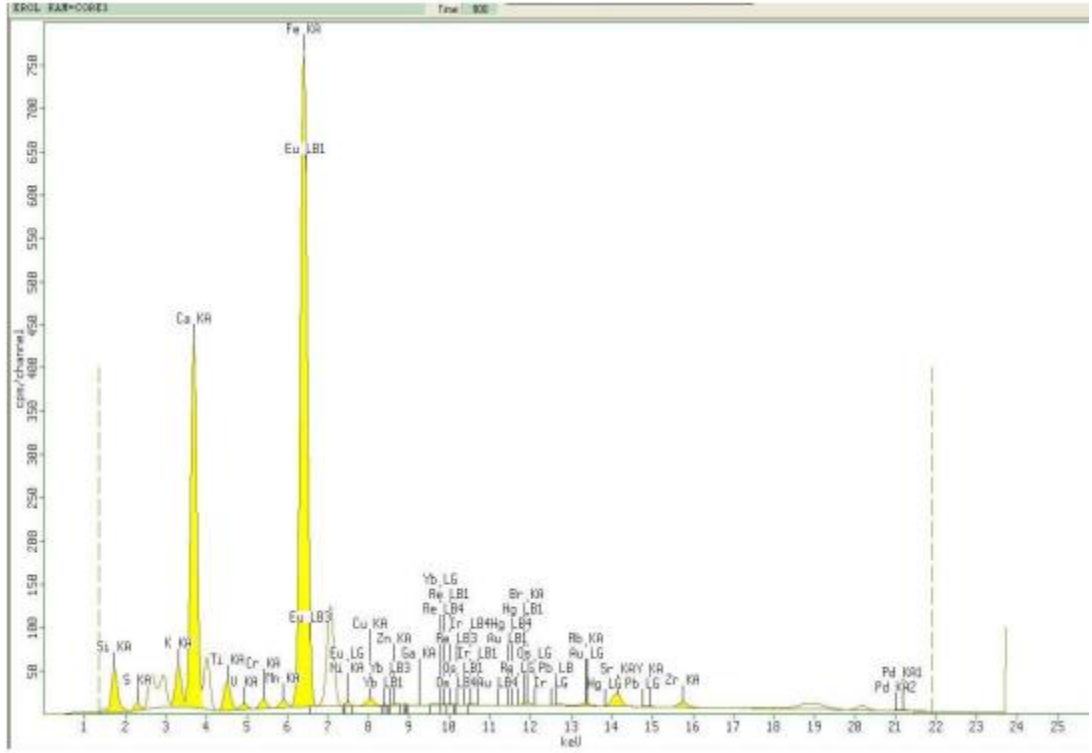
Tablo 5.5 Kor-2 tespit edilen element oranları

Kor-2	
Element	Yüzde (%)
Si	8,77%
Ca	60,87%
Fe	17,21%
Diğer	13,15%



Tablo 5.6 Kor-3 tespit edilen element oranları

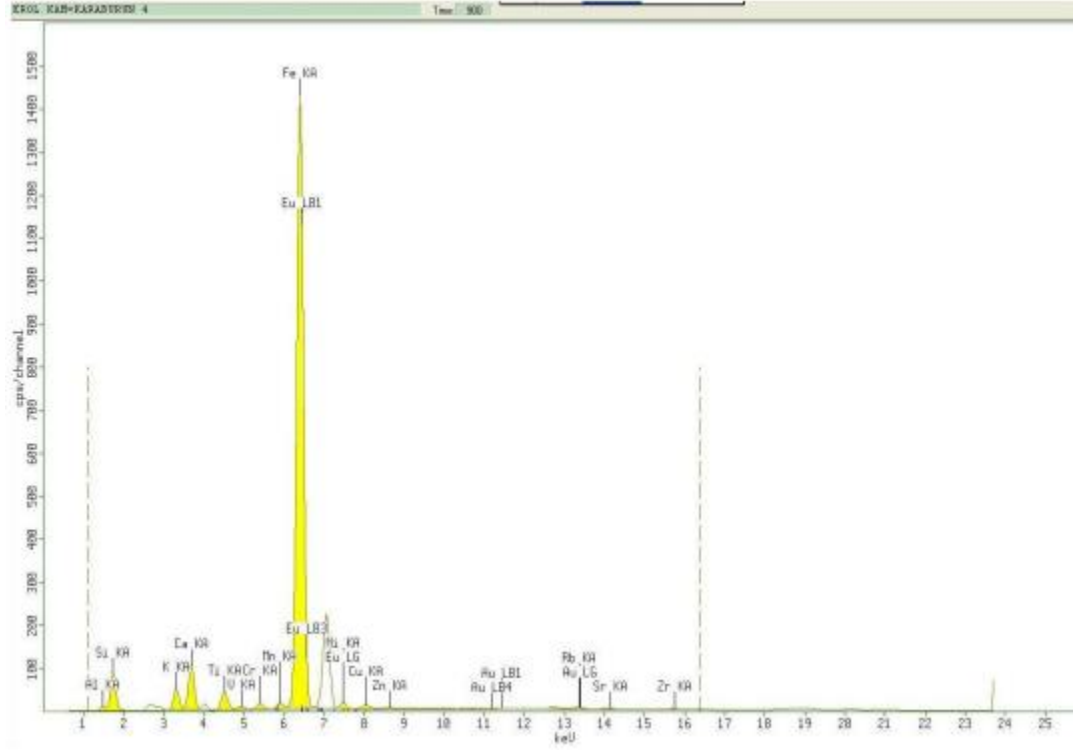
Kor-3	
Element	Yüzde (%)
Si	22%
Ca	37,3%
Fe	27,99%
Diğer	12,71%



Şekil 5.9 Kor-3 XRF spektrum analizi

Tablo 5.7 Core-4 tespit edilen element oranları

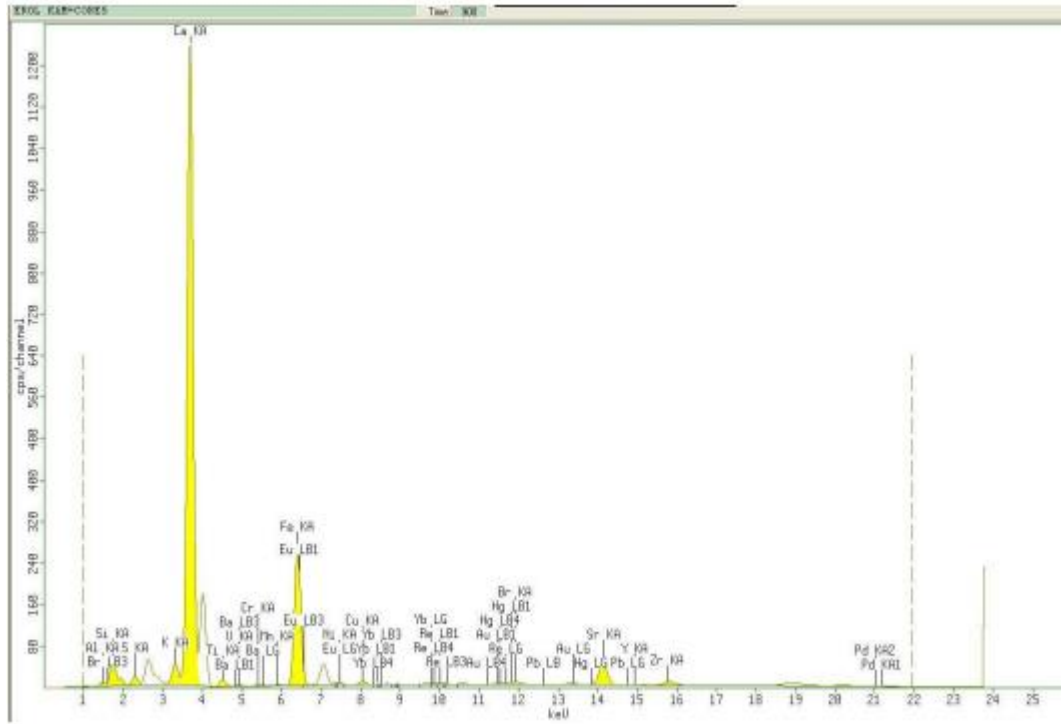
Kor-4	
Element	Yüzde (%)
Si	20,5%
Ca	25,02%
Fe	39,91%
Diğer	14,57%



Şekil 5.10 Kor-4 XRF spektrum analizi

Tablo 5.8 Kor-5 tespit edilen element oranları

Kor-5	
Element	Yüzde (%)
Si	5,85%
Ca	73,82%
Fe	9,58%
Diğer	10,75%



Şekil 5.11 Kor-5 XRF spektrum analizi

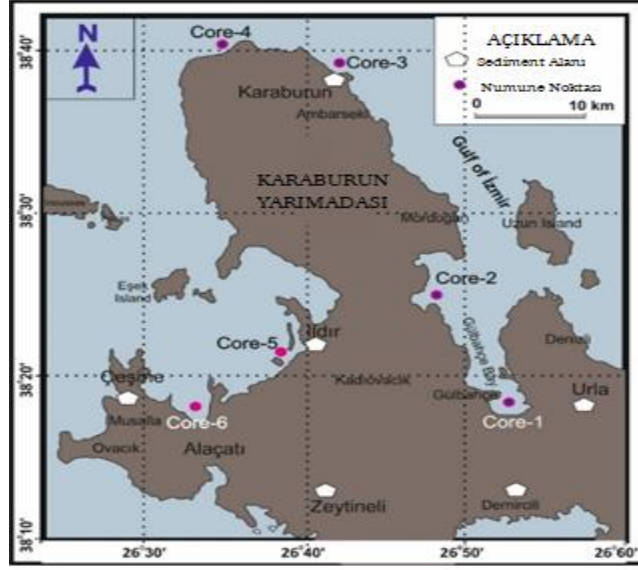
Tablo 5.9 Kor-6 tespit edilen element oranları

Kor-6	
Element	Yüzde (%)
Si	20,7%
K	6,86%
Ca	37,75%
Fe	26,53%
Diğer	8,16%

Tablo 5.10 Radyoaktivite analiz sonuçları

Numune Numarası	Radyoizotoplar ve Aktiviteleri (Bq/kg)				
	U-238	Ra-226	Th-232	K-40	Cs-137
Kor-1	13,2±0,3	33,2±0,7	21,6±0,5	386,2±7,8	0±0
Kor-2	17,5±0,4	31,0±0,6	27,7±0,7	314,3±6,4	0±0
Kor-3	16,6±0,3	20,9±0,4	34,7±0,7	526,7±10,3	2,2±0,1
Kor-4	13,5±0,3	35,1±0,8	14±0,4	322,3±6,5	0±0
Kor-5	12,4±0,3	33,0±0,8	17,6±0,5	256,2±5,2	0,6±0,1
Kor-6	38,3±0,7	38,5±0,9	46,3±0,9	568,1±9,7	0,5±0,1

Sediment örneklerinden tespit edilen aktivitelerin ortalama değerleri sırasıyla 18,58 Bq/kg, 31,95 Bq/kg, 26,98 Bq/kg, 395,63 Bq/kg ve 0,55 Bq/kg olarak hesaplanmıştır. Analiz değerleri ve ortalama değerler incelendiğinde altı farklı noktada da K-40 radyoizotopunun diğer radyoizotoplara göre çok daha fazla miktarda izlendiği belirlenmiştir. Bununla birlikte Şekil 5.13'te belirtilen Kor-6 analiz noktasındaki ölçüm değerlerinin diğer beş noktaya göre daha yüksek bir oranda olduğu dikkat çekmiştir.



Şekil 5.13 Analiz noktaları lokasyon haritası

Kor-6'nın alındığı noktanın Çeşme ve Alaçatı gibi İzmir'in yoğun turistik noktalarına yakın olması, o bölgede diğer bölgelere göre çeşitli ulaşım faaliyetlerinin daha yoğun olması anlamına gelmektedir. Bu nedenle, o bölgedeki çeşitli faaliyetlere bağlı olarak daha yoğun oranda radyoizotop tespit edildiği düşünülmüştür. Elde edilen analiz sonuçları, dünyanın farklı bölgesinde ölçülmüş radyoaktivite sonuçları ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir (Tablo 5.11).

Tablo 5.11 Farklı ülkelerdeki radyoaktivite ölçüm değerleri

Numune Lokasyonları	Radyoizotoplar (Bq/kg)				
	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	^{137}Cs	Referans
Rize, Türkiye (2019)	-	14	404	-	[139]
Ovit Dağbaşı Gölü (2020)	23,86	20,98	300,91	10,61	[140]
Nijerya, Oguta Gölü (2015)	47,89	55,37	1023	-	[141]

Tablo 5.11 Farklı ülkelerdeki radyoaktivite ölçüm değerleri (devamı)

Artvin,Türkiye(2019)	21,46	20,65	721,26	6,81	[142]
Gümüşhane (2015)	26,1	23,9	519,9	18,6	[143]
Mısır (2018)	132	198	236	-	[144]
İtalya (2018)	27	38	794	<0,3	[145]
Çanakkale,Türkiye (2017)	31	36,5	594,4	<6	[146]
Hindistan (2018)	30,81	85,67	425,72	-	[147]
Yalova,Türkiye (2020)	19,7	32,7	589,2	4,17	[148]
İzmir Karaburun (2022)	31,95	26,98	395,63	0,55	Bu çalışma

Bu verilere göre İzmir Karaburun Bölgesinin radyoaktivite ölçüm sonuçları değerlendirildiğinde herhangi bir radyoizotop için dikkat çekici yüksek bir değere rastlanmamış olup aksine genel ortalama olarak bu ülkelerdeki ölçümlerden nispeten düşük ölçümler elde edildiği gözlenmiştir. Bu sonuçlara bakılarak bölgede radyoaktif bir kirlilik olmadığı öngörülmüştür.

5.4 Sonuç

İzmir Karaburun bölgesinde yapılan bu çalışmada bölgedeki ağır metal kirliliği ve radyoaktivite miktarı incelenmiştir. Bölgenin turistik bir alan olması ve gün geçtikçe daha da yoğun bir şekilde turist faaliyetlerine ev sahipliği yapacak olması bu bölgenin seçilmesindeki en büyük etkenlerden bir tanesidir. Araştırma bölgesinin çevresinde eskiden faaliyet gösteren madenlerin olması sebebiyle bölgede ağır metal kirliliği olabileceği düşünülmüştür. Bu sebeple yapılan ağır metal analizlerinde; altı farklı noktada yoğun olarak (%97 oranında) potasyum(K) ve (%94 oranında) demir (Fe) elementi tespit edilmiştir. Tespit edilen bu elementler tehlikeli olarak adlandırılmamaktadır.

Buna ek olarak Kor-1, Kor-4 ve Kor-6 analiz noktalarında, tehlikeli ağır metal olarak adlandırılan elementlerden yalnızca gümüş (Ag) elementine, ortalama %50'lik bir değerde rastlanmıştır. Elde edilen bu değerler neticesinde, genel olarak altı farklı noktadaki ağır metal çeşitleri ve yüzdeleri incelenerek Karaburun bölgesinin insan ve çevre sağlığını tehdit edecek bir düzeyde ağır metal kirliliğine sahip olmadığı sonucuna varılmıştır.

Bölgenin radyoaktivite seviyesinin değerlendirilmesi için, elde edilen analiz sonuçları incelenerek Türkiye ve Dünya'daki örnek ölçüm değerleriyle karşılaştırma yapılmıştır [139], [140], [141], [142], [143], [144], [145], [146], [147], [148]. On farklı noktanın ölçüm değerlerinin ortalamaları (Ra-226:35,98, Th-232:52,57, K-40:560,83, Cs-137:4,65) alınarak yapılan karşılaştırma neticesinde bölgenin radyoaktivite seviyesinin genel ortalamanın altında olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca bölgenin farklı analiz noktalarında tespit edilen değerler kendi aralarında karşılaştırıldığında diğer beş noktadan farklı olarak, İzmir'in en kalabalık iki noktasına, Çeşme ve Alaçatı lokasyonlarına yakın bir noktadan alınan Kor-6 sediment örneğinde diğer noktalara nazaran daha yüksek oranlarda radyoizotop değerlerine rastlandığı görülmüştür ve bunun sebebinin analiz noktasının konumu olduğu düşünülmüştür. Buna ek olarak altı farklı noktada da yapay radyonüklid olarak adlandırılan Cs-137 radyoizotopuna çok düşük oranlarda rastlanmıştır. Bu da bölgede yapay radyoaktivite oranının çok düşük olduğunu ve çeşitli nükleer faaliyetler sebebiyle bölgenin kirlenmediğini bizlere göstermektedir.

Sonuç olarak, Karaburun bölgesinde yapılan bu çalışmalar neticesinde bölgenin ağır metal kirliliği açısından insan sağlığı ve çevre için tehlike içermediği, aynı zamanda radyoaktif analizleri sonucunda bölgede doğal radyoaktivite elementleri olan uranyum, toryum, potasyum ve radyum yataklarının olduğu tespit edilmiş ve radyoaktif kirliliğe rastlanmamıştır. Bölgedeki bu risksiz ortamın devamlılığının sürdürebilmesi için, bölgenin çevresinde gerçekleşen sanayi ve turistik faaliyetlerin denetim altında tutulması, buna ek olarak belirli aralıklarla bölgede ağır metal ve radyoaktivite ölçümünün yapılarak raporlanması önerilmiştir.

- [1] H Ozmen, F K lahci, A Cukurovali, M Doğru. "Concentrations of heavy metal and radioactivity in surface water and sediment of Hazar lake (Elazię,Turkey)". Chemosphere.2004 Apr;55(3):401-8.
- [2] M.M. Sac- n, F. Ortabuk, M.N. Kumru, M. _ I hedef, S. Sert. " Determination of radioactivity and heavy metals of Bakircay river in Western Turkey ", Appl Radiat Isot. 2012 Oct;70(10):2494-9.
- [3] S Arıman, H C ce, E  zbayrak, G Bakan, H B y kg ng r , " Orta Karadeniz Kıyı  eridi Nehirleri Su ve Sediman Ortamlarında Ağır Metal Kirliliği İzlenmesi", 7.Ulusal  evre M hendislięi Kongresi Yaşam  evre Teknoloji,24-27 Ekim, 2007.
- [4] A. Anandkumara,, R. Nagarajan , K. Prabakaran, Chua Han Bing , R. Rajaram. " Human health risk assessment and bioaccumulation of trace metals in fish species collected from the Miri coast, Sarawak, Borneo", Marine Pollution Bulletin vol 133, pp 655-663, August 2018.
- [5] Houqi Liu, Guijian Liu , Zijiao Yuan , Meng Ge , Shanshan Wang , Yuan Liu , Chunnian Da. " Occurrence, potential health risk of heavy metals in aquatic organisms from Laizhou Bay, China", Marine Pollution Bulletin vol 140, pp 388-394, March 2019.
- [6] Sadar Aslama , Malik Wajid Hussain Chana , Ghazala Siddiquia , Grzegorz Boczkajb , Syed Jamil Hasan Kazmic , Mohib Reza Kazmid. " A comprehensive assessment of environmental pollution by means of heavy metal analysis for oysters' reefs at Hab River Delta", Marine Pollution Bulletin 153:110970, February 2020.
- [7] I. Gorlachev, P. Kharkin, M. Dyussebayeva, S. Lukashenko, G. Gluchshenko, L. Matiyenko , D. Zheltov , A. Kitamura , N. Khlebnikov. " Comparative analysis of water contamination of the Shagan river at the Semipalatinsk test site with heavy metals and artificial radionuclides", Journal of Environmental Radioactivity vol 213 :106110, March 2020.
- [8] Andrew Turner, Kevin R. Solman. " Analysis of the elemental composition of marine litter by field-portable-XRF", Talanta 159, June 2016.
- [9] F. Korkmaz G r r, R. Keser, N. Ak ay, S. Dizman. " Radioactivity and heavy metal concentrations of some commercial fish species consumed in the Black Sea Region of Turkey " Chemosphere, 87, 356-361, 2012.
- [10] Xueping Liu, Jingyan Jiang, Yan Yan, YuanYuan Dai, Biao Deng, Sanglan Ding, Shijun Su, Weiyi Sun, Zhi Li , Zhiwei Gan . " Distribution and risk assessment of metals in water, sediments, and wild fish from Jinjiang River in Chengdu, China ", Chemosphere 196:45-52. Apr 2018.
- [11] Fang Xia, Liyin Qu, Ting Wan, Lili Luo, Han Chen, Randy A. Dahlgren, Minghua Zhang, Kun Mei, Hong Huang. " Distribution and source

- analysis of heavy metal pollutants in sediments of a rapid developing urban river system”, *Chemosphere* 207, May 2018.
- [12] M. Cerdà-Domènech, J. Frigola, A. Sanchez-Vidal, M. Canals. “ Calibrating high resolution XRF core scanner data to obtain absolute metal concentrations in highly polluted marine deposits after two case studies off Portmán Bay and Barcelona, Spain”, *Sci Total Environ* 15;717:134778, May 2020.
- [13] Deshuo Meng, Nanjing Zhao, Yuanyuan Wang, Mingjun Ma, Li Fang, Yanhong Gu, Yao Jia, Jianguo Liu. “ On-line/on-site analysis of heavy metals in water and soils by laser induced breakdown spectroscopy”, *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy* vol 137, pp 39-45, November 2017.
- [14] Shubin Zhou, Zhaoxian Yuan, Qiuming Cheng, Zhenjie Zhang, Jie Yang “ Rapid in situ determination of heavy metal concentrations in polluted water via portable XRF: Using Cu and Pb as example”, *Environ Pollut* 243(Pt B):1325-1333, Dec 2018.
- [15] I. Kır, H. Tumantozlu. “ Karacaören-II Baraj Gölü’ndeki Su, Sediment ve Sazan (Cyprinus carpio) Örneklerinde Bazı Ağır Metal Birikiminin İncelenmesi”, *Ekoloji* sayı:82, 65-70, 2012.
- [16] N. Yıldız, G. Yener.” Van Gölü'nde Sediment Birikim Hızı, Radyoaktif ve Ağır Metal Kirliliğinin Tarihlemesi”, *Ekoloji* 19(77):80-87, December 2010.
- [17] Uranium”web.evs.anl.gov/uranium/guide/ucompound/rad/index.cfm.
- [18] Grupen, C.” Introduction to Radiation Protection”. Graduate Texts in Physics. Doi:10.1007/978-3-642-02586-0,2010.
- [19] Ivan G. Draganic, Zorica D. Draganic, Jean-Pierre Adloff. “ Radiation and radioactivity on earth and beyond”.Includes bibliographical references and index. ISBN 0-8493-8675-6.
- [20] S. Daşdağ. “İyonlaştırıcı radyasyonlar ve kanser”, *Dicle Tıp Dergisi, Cilt/Vol* 37, No 2, 177-185, 2010.
- [21] Eric J Hall, “Radiation and Life” / ISBN-13 : 978-0080205984 , 1976.
- [22] S. Pomp “Tutorial on neutron physics in dosimetry” *Radiat. Meas.*, 45 (2010), p. 1090.
- [23] A. Mehdipour, A. Yousefi-Ahmadipour, D. Kennedy, M.K Arababadi. “ Ionizing radiation and toll like receptors: A systematic review article”, *Human Immunology* 82(6):446-454, Jun 2021.
- [24] Işınım (Radyasyondan) Korunma”www.nukleer.web.tr/nukleer_guvenlik/radyasyon01.html’
- [25] Özdemir, İ.” Temel Tıbbi (Radyolojik) Görüntüleme Tekniği”. 2015.
- [26] K. Amanjeet A, Kumar S, Singh J, Singh P, Bajwa BS”Assessment of natural radioactivity levels and associated dose rates in soil samples from

- historical city Panipat”, India, J. Radiat. Res. Appl. Sci., 10 (2017), p. 283.
- [27] George Sgouros. “Alpha particles for targeted therapy”, Advanced Drug Delivery Reviews vol 60, p. 1402-1406, September 2008.
- [28] P. Airey, T. Hinton, J. Twining. “The Scientific Basis”, Radioactivity in the Environment vol 18, p. 1-57. 2012.
- [29] Radiation, www.epa.gov/radiation/radiation-basics.
- [30] Scott, B. R. Radiation Toxicology, Ionizing and Nonionizing. Encyclopedia of Toxicology, 29–43. doi:10.1016/b978-0-12-386454-3.00057-9, (2014).
- [31] Michael F. L’Annunziata. “Alpha Radiation”, Radioactivity Introduction and History p. 71-84, 2007.
- [32] L’annunziata, M. F. “Nuclear Radiation, Its Interaction With Matter And Radioisotope Decay”. Handbook of Radioactivity Analysis, 1–121. doi:10.1016/b978-012436603-9/50006-5, (2003).
- [33] Bobby R. Scott, Raymond A. Guilmette, “Radiation Toxicology, Ionizing and Nonionizing”, Encyclopedia of Toxicology (Second Edition), 2005.
- [34] J. Jeffrey Peirce, Ruth F. Weiner, P. Aarne Vesilind, “Radioactive Waste”, Environmental Pollution and Control (Fourth Edition), p. 211-231, 1998.
- [35] J. B. Marion, “Physics in the Modern World (Second Edition)”, 1981.
- [36] IAEA, “Guidelines for Radioelement Mapping Using Gamma Ray Spectrometry Data”, Avusturya, (2003).
- [37] İ. Aydın, "Bir Jeofizik Yöntem: Gama-Işını Spektrometresi / A Geophysical Method: Gamma-Ray Spectrometry", *Jeofizik Dergisi*, c. 7, sayı. 2, Ara. 1993
- [38] Roussin, Robert W., Kirk, Bernadette L., Trubey, David K. “Radiation Shielding and Protection”, Encyclopedia of Physical Science and Technology, 2003. 581-612.
- [39] Sofia Pessanha, Ana Luisa Silva, Diana Guimarães, “Biological and Biomedical Applications of X-ray Spectrometry”, May/June 2022, doi.org/10.1002/xrs.3285.
- [40] UNEP, “Radiation: Effects and Sources”, Avusturya, (2016).
- [41] Canadian Nuclear Safety Commission. “Introduction to Radiation”, (2012).
- [42] T. Hacıosmanoğlu, “Doğal ve Yapay Radyasyon Kaynakları, Kişisel Doza Katkıları”, 2017.
- [43] International Atomic Energy Agency; Radiation Safety, IAEA Division of Public Information, 96-00725 IAEA/PI/A47E, 1996.
- [44] Kam E., Tekirdağ’ın Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Tayini, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (2004).

- [45] Peter C. Burns, Hydrated Uranium Oxides in Comprehensive Nuclear Materials (Second Edition), 2020.
- [46] Choppin, Gregory R. Liljenzin, Jan-Olov Rydberg, Jan, "Radionuclides in Nature", Radiochemistry and Nuclear Chemistry, 2002. 94-122.
- [47] National Council on Radiation Protection and Measurements. Environmental Radiation Measurement, NCRP Report No. 50, ISBN. 0-913392-32-4, (1977).
- [48] Zhang, Zhifeng Jia, Qiong Liao, Wuping, "Progress in the Separation Processes for Rare Earth Resources", Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths, 2015. 287-376.
- [49] Hania, P. R. Klaassen, F. C., "Thorium Oxide Fuel", Comprehensive Nuclear Materials, 2012. 87-108.
- [50] Andersen, Paul K. Ghassemi, Abbas Ghassemi, Majid, "Nuclear Waste", Encyclopedia of Energy, 2004. 449-463.
- [51] Cook, Gordon T. Passo, Charles J. Carter, Brian. "Environmental Liquid Scintillation Analysis", Handbook of Radioactivity Analysis, 537-607, (2003).
- [52] Chenoweth, William L. Pool, Thomas C. "Uranium", Encyclopedia of Physical Science and Technology, 351-357, (2003).
- [53] Van Der Loeff, M. M. R. "Uranium-Thorium Decay Series in the Oceans: Overview". Encyclopedia of Ocean Sciences: Second Edition, (2001).
- [54] Lucas, H. F., "Radium-226 Whole-Body Gamma Counting and Radon-22 Breath Analysis". Health Physics, 60:163-167, (1991).
- [55] József Kónya, Noémi M. Nagy. "Radioactive Tracer Methods". Nuclear and Radiochemistry: Second Edition, 187-245. Doi: 10.1016/B978-0-12-813643-0.00008-1, 2018.
- [56] Xiao, C., & Wang, S. "Radionuclide sequestration by metal-organic frameworks". Metal-Organic Frameworks (MOFs) for Environmental Applications, 355-382, (2019).
- [57] Liu, Xiang Chen, Guan Ru Lee, Duu Jong Kawamoto, Tohru Tanaka, Hisashi Chen, Man Li Luo, Yu Kuo. "Adsorption removal of cesium from drinking waters: A mini review on use of biosorbents and other adsorbents". Bioresource Technology 142-149, 2014.
- [58] Olatunji, M. A., Khandaker, M. U., Mahmud, H. N. M. E., & Amin, Y. M. "Influence of adsorption parameters on cesium uptake from aqueous solutions- a brief review". RSC Adv., 5(88), 71658-71683. Doi: 10.1039/c5ra10598f, 2015.
- [59] UNSCEAR. Sources and effects of ionizing radiation. UNSCEAR Report to the General Assembly, with scientific annexes. Annex A: Sources; Annex B: Exposures from natural radiation sources. New York: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. United Nations Publications, 2000.

- [60] Kovler, K." Radioactive materials. Toxicity of Building Materials", 196–240. doi:10.1533/9780857096357.196, (2012) .
- [61] Mbonu, Charles Chisom Ben, Ubong Camilus " Assessment of radiation hazard indices due to natural radioactivity in soil samples from Orlu, Imo State, Nigeria" . Heliyon Volume 7, Issue 8, August 2021, e07812. doi: 10.1016/J.HELİYON.2021.E07812, (2021).
- [62] Ekong, G. B., Akpa, T. C., Umaru, I., Akpaowo, M. A., Yusuf, S. D., & Benson, N. U. "Baseline radioactivity and associated radiological hazards in soils around a proposed nuclear power plant facility, South-South Nigeria". Journal of African Earth Sciences, 182, 104289, (2021).
- [63] Ibraheem, A. A., El-Taher, A., & Alruwaili, M. H. M. "Assessment of natural radioactivity levels and radiation hazard indices for soil samples from Abha, Saudi Arabia". Results. Physics of Metals, 11, 325–330, (2018).
- [64] Vishnu, C V Joseph, Antony " Determination of natural radioactivity, hazard parameters and physico-chemical properties of soils from Palakkad-Thrissur district, Kerala, India". Materials Today: Proceedings , 127-137, (2022).
- [65] Filgueiras, R. A., Silva, A. X., Ribeiro, F. C. A., Lauria, D. C., & Viglio, E. P. "Baseline, mapping and dose estimation of natural radioactivity in soils of the Brazilian state of Alagoas". Radiation Physics and Chemistry, 167, 108332, (2020).
- [66] Yang, Jianzhou Sun, Yanling. " Natural radioactivity and dose assessment in surface soil from Guangdong, a high background radiation province in China" Journal of Radiation Research and Applied Sciences 145-151, 2022.
- [67] Mustafa Demir, "Nükleer Tıp Fiziği ve Klinik Uygulamaları", (2011).
- [68] Gökharman D. F., Aydın S., Koşar P. N. "Radyasyon Güvenliğinde Mesleki Olarak Bilmemiz Gerekenler", Süleyman Demirel Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi. 2016; 7(2): 35-40.
- [69] M. Erdoğan, "İyonlaştırıcı Radyasyon ve Korunma Yöntemleri", Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Dergisi, c. 43, sayı. 2, ss. 139-147, Eki. 2017.
- [70] ICRP.Recommendations of the ICRP. ICRP Publication 26. Ann, (1977).
- [71] ICRP."Compendium of dose coefficients based on ICRP" Publication 60, (2012).
- [72] F.Suna Kırac , Doğangün Yüksel. "Radyasyon Biyolojisi" ISBN 975-97560-0-5, (2001).
- [73] Koller, M., & Saleh, H. M. "Introductory Chapter: Introducing Heavy Metals. Heavy Metals". Doi:10.5772/intechopen.74783, (2018).

- [74] T. Seven, B. Can, B.N Darende, S. Ocak. " Hava ve Toprakta Ağır Metal Kirliliği", Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi, Sayı 1(2): 91-103 (2018).
- [75] I. Kır, S.T Özkan, Y. Tuncay. " Kovada Gölü'nün Su ve Sedimentindeki Bazı Ağır Metallerin Mevsimsel Değişimi", E.U. Journal of Fisheries & Aquatic Sciences Cilt/Volume 24, Sayı/Issue (1-2): 155–158, 2007.
- [76] Özkan G., "Endüstriyel Bölge Komşuluğunda Kıyusal Kırsal Alandaki Hava Kalitesi; Muallimköy'de Partikül Maddede ve Topraktaki Ağır Metal Kirliliği", Yüksek Lisans Tezi, GYTE Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze, 9,12-22, 2009.
- [77] Ustun GE " The assessment of heavy metal contamination in the waters of the Nilufer Stream in Bursa". Ekoloji 20 (81): 61-66. doi: 10.5053/ekoloji.2011.819, 2011.
- [78] Cıva, mta.gov.tr.
- [79] Clarkson TW, Magos L, Myers GJ. "The toxicology of mercury current exposures and clinical manifestations". N Engl J Med.2003;349:1731.
- [80] Soydemir E., "Katı Örnekleme Yüksek Çözünürlüklü Elektrotermal Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi ile 2,5 PM Hava Partiküllerinde Cıva Tayini", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 5-7, 2013.
- [81] Güven A., Kahvecioğlu Ö., Kartal G., Timur S., " Metallerin Çevresel Etkileri -III",2003.
- [82] ATSDR, "Toxicological Profiles for Mercury", Mart 1999.
- [83] Poulin J, Gibb H. "Mercury: Assessing the Environmental Burden of Disease at National and Local Levels". Geneva, WHO,2008.
- [84] Özbolat G., Tuli A. "Ağır Metal Toksikitesinin İnsan Sağlığına Etkileri". akted. 2016; 25(4): 502-521.
- [85] M. Y. Ethem, "Bakırın Özellikleri, Alaşımları ve Minarelleri", Bilimsel Madencilik Dergisi, c. 13, sayı. 2, ss. 3-7, Şub. 1974.
- [86] M.Ş Dündar, H. Altundağ, S. Kaygaldurak, V. Şar, A. Acar, " Çeşitli Endüstriyel Atık Sularda Ağır Metal Düzeylerinin Belirlenmesi", SAÜ. Fen Bilimleri Dergisi, 16. Cilt, 1. Sayı, s. 6-12, 2012.
- [87] E. Mutlu, " Sakarya'da Yetişen Fındıklarda Bazı Ağır Metallerin Tayini ve Biyoerişilebilirliklerinin Belirlenmesi" , Yüksek Lisans Tezi, Mayıs 2018.
- [88] Kabak YB, Gülbahar MY. "Sıçanlarda deneysel bakır zehirlenmesinde karaciğer ve böbrek dokularında apoptozisin belirlenmesi", Vet Fak Derg. 2013; 60:39-45.
- [89] Kara H, Çolakoğlu N, Kükner A, Ozan E. "Kadmiyum klorürün sıçan böbrek dokusunda oluşturduğu yapısal değişiklikler ve bu değişiklikler üzerine metallothioneinin etkileri: ışık mikroskopik çalışma", Türkiye Klinikleri J Med Sci.2004;24:592-7.

- [90] Palta A, "Kadmiyum". İnternetin renkli kimya web'i 2002; sayfa1-6.
- [91] IARC, "Ninth Report on Carcinogens, Cadmium and Cadmium Compounds, Known to be human carcinogen, First Annual Report on carcinogens as Reasonably Anticipated to be Human Carcinogens" 1998; 1-8.
- [92] A. Boğa, "Ağır Metallerin Özellikleri ve Etki Yolları", Arşiv Kaynak Tarama Dergisi, c. 16, sayı. 3, Eyl. 2007.
- [93] Teckcominco, "Cadmium Compounds".Cadmium Metal Material Safety Data Sheet 2001; 1-5.
- [94] Fort D.J, Stover E L, Bantle J A, Dumont J N, Finch R A." Evaluation of a Reproductive Toxicity Assay using *Xenopus laevis*: Boric Acid, Cadmium and Ethylene Glycol Monomethyl Ether". Journal of Applied Toxicology 2001; 21: 41-52.
- [95] Küçüköğlu M, "Zebra Balığının (*Brachydanio rerio*) embriyolojik gelişimi üzerine kadmiyum klorür ve çinko klorür gibi çevre kirleticilerinin etkileri". Master Tezi, Çukurova Üniversitesi 1996, Adana.
- [96] Sandstead H H, Zinc: Growth," Development,and Function". The Journal of Trace Elements in Experimental Medicine 2000; 13:41-49.
- [97] Cangul H, Broday L, Salnikow K, Sutherland J, Peng W, Zhang Q, Poltaratsky V, Yee H, Zoruddo M A, Costa M, "Molecular mechanisms of nickel carcinogenesis".Toxicology Letters 2002;127:69-75.
- [98] Brando-Neto J, Stefan V, Berenice B, Mendonca M D, Bloise W, "The essential role of zinc in growth". Nutricion Research 1995 ;15 (3): 335-358.
- [99] Falchuk K H, Zinc." Transcription Factors in Cellular Differentiation and Organogenesis". The journal of TraceElements in Experimental Medicine 1998; 11: 89-102.
- [100] Kitman J. L." The secret history of lead". The Nation, 2000.
- [101] Y. DüNDAR, R. Aslan, "Yaşamı Kuşatan Ağır Metal Kurşunun Etkileri", Kocatepe Tıp Dergisi, c. 6, sayı. 2, ss. 1-5, Ağu. 2005, doi:10.18229/ktd.14826.
- [102] Denizli A, Yavuz H. "Ağır Metal Toksikolojisi". Standart Dergisi, 2001; 477: 76-82.
- [103] Göktepeli A, Ayan Z, Artvinli M, Şahin A, Barış Y. "İnsan Sağlığı ve Jeoloji". Yeryuvarı ve İnsan, 1983; 1: 11-14.
- [104] H. Çiftçi, Ç.E Çalışkan, K. Öztürk. "Bazı Balık Türlerinde İz ve Toksik Metal Düzeylerinin Belirlenmesi ve İnsan Sağlığı Riskinin Değerlendirilmesi", Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences, Cilt 7, Sayı 2, Sayfa 219-234, 2021.

- [105] Grandjean P.” Health significance of metals-lead”. Maxcy-Rosenau-Last Buc-blic Health and Preventive Medicine Ed: Last JM, Wallace RB, 13. Baskı: 389- 391, 1992.
- [106] WHO. “Major Poisoning episodes from environmental chemicals”. Geneva, 3-15, 1992.
- [107] Cummins SK, Jackson RJ. “The built environment and children’s health”. *Pediatr Clin North Am*, 2001; 48(5): 1241-1252.
- [108] Trachtenbarg DE. “Tedavi Ne Zaman Gereklidir? Kurşunun Atılması”. *Sendrom*, 1996; 9: 70-76.
- [109] Flora, S.J.S. “Arsenic: Chemistry, Occurrence, and Exposure, in *Handbook of Arsenic Toxicology*”, Academic Press: Oxford, 1-49, (2015).
- [110] Kumari, B., Kumar, V., Sinha, A.K., Ahsan, J., Ghosh, A.K., Wang, H., DeBoeck, G.” Toxicology of arsenic in fish and aquatic systems”. *Environmental Chemistry Letters*, 15(1): 43-64, (2017).
- [111] Hao, M.M., Mukherjee, S., Maxfield, F.R. “Cholesterol depletion induces large scale domain segregation in living cell membranes”. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 98(23): 13072-13077, (2001).
- [112] M. Bakan, “ Arsenik Metabolizması ve Arsenolipid Biyosentezi”, *Mediterranean Fisheries and Aquaculture Research* c.2, sayı.3, ss.83-88, Eylül 2019.
- [113] Jensen, M. O., Mouritsen, O. G. “Lipids do influence protein function- the hydrophobic matching hypothesis revisited”. *Biochimica Et Biophysica Acta-Biomembranes*, 1666 (1-2): 205-226, (2004).
- [114] Krom, Maden Teknik ve Arama Genel Müdürlüğü, <http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/krom>, 21 Şubat 2018.
- [115] İlhan M.N., “Mesleki Sağlık ve Güvenlik Dergisi (MSG), <http://www.ttb.org.tr/dergi/index.php/msg/article/view/335/315>, cilt:3, sayı:12, 20 Şubat 2018, (2002).
- [116] Atabey E., “Türkiye’de İnsan Kaynaklı (Antropojenik) Unsurlar ve Çevresel Etkileri”, MTA, (2010).
- [117] E. E. Kara, E. Kara, "Toprakta Ağır Metal Kirliliğinin İnsan Sağlığına Etkileri ve Çözüm Önerileri", *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, c. 11, sayı. 1, ss. 56-62, Ara. 2018.
- [118] E. Kalıpçı, Z. Ceylan, "Konya ana tahliye kanalında ağır metal kirliliğinin izlenmesi", *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, c. 8, sayı. 3, ss. 649-658, Tem. 2017.
- [119] Karataş, M., Güler, E., Dursun, Ş., Özdemir C. ve Argun, M.E., “Konya ana tahliye kanalının çengilli bölgesi tarım topraklarında ve buğdayda Cu, Cr, Ni ve Pb derişimlerinin belirlenmesi”, *Selçuk Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Dergisi*, 29, 91-99, (2007).

- [120] Kam, E., Çakar, M., & Yümün Z. Ü. (2022). "Analyses of heavy metals in sea sediments from the İzmir Karaburun region", Journal of Cihannuma Technology Engineering and Natural Sciences Academy, 1(1), 87-100.
- [121] Karaburun ili, www.karaburun.bel.tr
- [122] Yücesoy-Eryılmaz, F., Eryılmaz, M., Özdemir, Z., Esenli, F., Aydın, Ş. ve Türker, A., "Sedimentology and geochemistry of the recent sediments in the Edremit Gulf and Dikili Canal". Second International Conference, Oceanography of the Eastern Mediterranean and Black Sea, Similarities and differences of two Interconnected Basins 13-14 October. 2002, Ankara, 386s, 2002.
- [123] Engin M., Niyazi A., Erol K., ve diğerleri; "Karaburun Yarımadası Kuzey Kıyıların Oşinografik Özelliklerinin Bentikforaminifer ve Ostrakod Toplulukları üzerindeki Etkileri". Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 2012.
- [124] Scott A. Elias, in Encyclopedia of Geology (Second Edition), 2021.
- [125] R.E. Russo, X.L. Mao, H.C. Liu, J.H. Yoo, S.S. Mao: Appl. Phys. A 69 [Suppl.], S887–S894 (1999).
- [126] Hongkun Huang, Jiancheng Lai, Jian Lu, and Zhenhua Li." Pulsed laser ablation of bulk target and particle products in liquid for nanomaterial fabrication ", AIP Advances 9, 015307 (2019).
- [127] LIBS Teknolojisi, <https://appliedspectra.com/technology/lib.html>.
- [128] Celio Pasquini, Juliana Cortez, Lucas M. C. Silva and Fabiano B." Laser Induced Breakdown Spectroscopy", Gonzaga Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, CP 6154 13084-971 Campinas-SP, Brazil, 2007.
- [129] ECCO®2: Lazer İndüklenmiş Plazma Spektroskopisi, Donanım Klavuzu (0142-H-03- TUR-1), Uygunluk Belgesi, 10.2017, p.vi
- [130] XRF Spektrometresi, <https://xrf-spectroscopy.com>.
- [131] Andrew Turner, "In situ elemental characterisation of marine microplastics by portable XRF" Marine Pollution Bulletin 124(2017) 286-291.
- [132] Bonzi, E.V., Mainardi, R.T., "Monte Carlo calculations of efficiencies for photon interactions in plastic scintillators". Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. B 72, 477–480, 1992.
- [133] XRF, troy-met.com/x-isini-floresans-xrf-nedir.
- [134] Piorek, S., "Feasibility of Analysis and Screening of Plastics for Heavy Metals with Portable x-ray Fluorescence Analyser with Miniature X-ray Tube", GPEC Paper Abstract #14, 2004.
- [135] Benchtop Single Crystal X-RAY Diffractometer, rigaku.com.
- [136] Gama Spektroskopisi, <https://arlab.istanbul.edu.tr/>

- [137] Gama Spektroskopisi Şematik Gösterim, <https://avys.omu.edu.tr/>.
- [138] HPGe Cihaz Özellikleri, <http://merlab.kastamonu.edu.tr/>
- [139] Uzun Duran, S., Küçükömeroğlu, B., Çiriş, A. & Çelik, N. "Radioactivity Levels in Soil And Drinking Water Samples Collected from Andon Region (Rize Province, Turkey)" . Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi, 9 (2) ,253-263 DOI: 10.31466/kfbd.582464, (2019).
- [140] S. Sarı ve S. Dizman, "Ovit Dağbaşı Gölü Çevresinden Alınan Toprak Örneklerinde Radyoaktivite ve Radyolojik Etkilerin Araştırılması", El-Cezeri, c. 7, sayı. 3, ss. 1122-1130, Eyl. 2020.
- [141] Isinkaye, M.O., Emelue, H.U., "Natural radioactivity measurements and evaluation of radiological hazards in sediment of Oguta Lake, South East Nigeria", Journal of Radiation Research and Applied Sciences, 2015, 8, 459–469.
- [142] Sirin M., "Evaluation of radioactive pollution in sediment samples of Borçka Dam Lake, Turkey", Cumhuriyet Science Journal, 2019, 40, 624-639.
- [143] Kaya, S., Karabidak, S.M. ve Çevik, U., "Gümüşhane ili çevresinden toplanan toprak ve karayosunu radyoaktivite konsantrasyonlarının belirlenmesi", Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2015, 5, 24–33.
- [144] M.A.Hilal, E.H.Borai, "Hazardous parameters associated with natural radioactivity exposure from black sand". Pharmacology volume 92, February 2018, 245-250.
- [145] Caridi, F., Messina, M., Faggio, G., Santangelo, S., Messina, G. ve Belmusto, G., "Radioactivity, Radiological Risk and Metal Pollution Assessment in Marine Sediments From Calabrian Selected Areas, Southern Italy", The European Physical Journal Plus, 133(2):65, (2018).
- [146] Yümün, Z. Ü., Kam, E., "Effects of Radionuclides on the Recent Foraminifera From the Clastic Sediments of the Çanakkale Strait-Turkey", Journal of African Earth Sciences, 131:179-182, (2017).
- [147] Harikrishnan, N., Ravisankar, R., Chandrasekaran, A., Gandhi, M. S., Vijayagopal, P. ve Mehra, R., "Assessment of Gamma Radiation and Associated Radiation Hazards in Coastal Sediments of South East Coast of Tamilnadu, India with Statistical Approach", Ecotoxicology and Environmental Safety, 162:521-528, (2018).
- [148] Kam, E., Bayrak, K., Çakar, M., "Investigation of Outdoor Gamma Dose Rates in Yalova, Turkey", European Journal of Science and Technology No. 18, pp. 568-573, March-April 2020.

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. Merve Ç., Erol K., Zeki Ü.Y, "Heavy Metal Analysis of Sea Sediments Received from Izmir Karaburun Region", INARS Congress 2021Bildiri Özetleri Kitabı/ INARS Congress 2021Abstracts, ISBN 978-605-70206-4-2 02 Mayıs 2021,Sayfa 171-172, (2021).

Makaleler

1. Kam, E., Çakar, M., & Yümün Z. Ü. " Analyses of heavy metals in sea sediments from the İzmir Karaburun region" Journal of Cihannuma Technology Engineering and Natural Sciences Academy, 1(1), 87-100, 2022.