



**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



Yüksek Lisans Tezi

**Po-210 İÇİN BİYOİNDİKATÖR YUMUŞAKÇA TÜRLERİNİN
BELİRLENMESİ**

Ebru EFE

Biyoloji Anabilim Dalı

Genel Biyoloji Programı

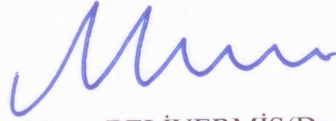
**DANIŞMAN
Prof. Dr. Murat BELİVERMİŞ**

Temmuz, 2019

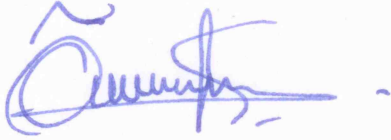
İSTANBUL

Bu çalışma,3.07.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafındanBiyoloji Anabilim Dalı,Genel Biyoloji Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi



Prof. Dr.Murat BELİVERMİŞ(Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi



Prof. Dr.Önder KILIÇ
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi



Doç. Dr.Sevilay HACIYAKUPOĐLU
İstanbul Teknik Üniversitesi
Enerji Enstitüsü



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi’nin aboneli olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

Bu tez, İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin 27919 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca tez konusu seçiminden tez yazımı aşamasına kadar geçen tüm süreçte bilgi birikimi ile bana yol gösteren danışman hocam Prof. Dr. Murat BELİVERMİŞ'e en içten dileklerle teşekkür ederim.

Çalışmalarında yönlendirmeleri ile bana destek olan Prof. Dr. Önder KILIÇ'a çok teşekkür ederim.

Arazi çalışmalarıyla örneklerimin temin edilmesini sağlayıp bana bu konuda destek olan Doç. Dr. Onur GÖNÜLAL'a çok teşekkür ederim.

Laboratuvar çalışmalarım sırasında bana her konuda yardımcı olan doktora öğrencisi Narin SEZER'e, tez çalışmam boyunca beni yalnız bırakmayıp manevi desteklerini her daim hissettiğim arkadaşlarım Hasan Oğuz KOCAOĞLAN'a, Esmâ PURUT'a ve Leyla AKPUNAR'a çok teşekkür ederim.

Yaşamım ve eğitim hayatım boyunca yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman eksik etmeyen aileme çok teşekkür ederim.

Temmuz 2019

Ebru EFE

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ.....	ix
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	x
ÖZET	xi
SUMMARY	xiii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR.....	3
2.1. PO-210 RADYONÜKLİDİNİN GENEL ÖZELLİKLERİ	3
2.2. AKUATİK ORTAMDA ²¹⁰ PO	6
2.3. PO-210 KAYNAKLARI	8
2.4. ÇALIŞMA BÖLGESİ: GÖKÇEADA	9
2.5. YUMUŞAKÇALAR.....	10
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	14
3.1. ÖRNEKLEME ALANI	14
3.2. TOPLANAN YUMUŞAKÇA ÖRNEKLERİ.....	15
3.3. ÖRNEKLERİN ÖLÇÜME HAZIRLANMASI.....	38
3.3.1. Yumuşakçaların Analize Hazırlanması	38
3.4. YUMUŞAKÇA ÖRNEKLERİNDE ²¹⁰ PO ANALİZİ.....	39
3.4.1. Polonyum Depozisyonu.....	42
3.4.2. Po-209 Ara Stok Hazırlanması	42
3.4.3. Alfa Spektrometresinin Özellikleri.....	43
3.4.4. Po-210 Aktivite Konsantrasyonunun Hesaplanması	44
3.5. PO-210 ÖLÇÜMLERİN DOĞRULUĞUNUN TEST EDİLMESİ.....	45
3.6. PO-210 DOZUNUN HESAPLANMASI	46
3.7. İSTATİSTİK TESTLER	46
4. BULGULAR.....	47
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	56
KAYNAKLAR.....	60



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 3.1: Çalışma alanı Gökçeada ve çevresi	14
Şekil 3.2: <i>Donax trunculus</i>	17
Şekil 3.3: <i>Anadara gibbosa</i>	18
Şekil 3.4: <i>Mytilus galloprovincialis</i>	19
Şekil 3.5: <i>Osilinus turbinatus</i>	20
Şekil 3.6: <i>Patella caerulea</i>	21
Şekil 3.7: <i>Hexaplex trunculus</i>	23
Şekil 3.8: <i>Pecten jacobaeus</i>	24
Şekil 3.9: <i>Pinna nobilis</i>	25
Şekil 3.10: <i>Monoplex parthenopeus</i>	26
Şekil 3.11: <i>Cerithium vulgatum</i>	27
Şekil 3.12: <i>Ruditapes decussatus</i>	28
Şekil 3.13: <i>Illex coindetii</i>	29
Şekil 3.14: <i>Pholas dactylus</i>	30
Şekil 3.15: <i>Ostrea stentina</i>	31
Şekil 3.16: <i>Octopus vulgaris</i>	32
Şekil 3.17: <i>Stramonita haemastoma</i>	33
Şekil 3.18: <i>Eledone cirrhosa</i>	34
Şekil 3.19: <i>Sepia orbignyana</i>	35
Şekil 3.20: <i>Patella rustica</i>	36
Şekil 3.21: <i>Eledone moschata</i>	37
Şekil 3.22: Kurutma işlemlerinin kullanıldığı liyofilizatör.....	39

Şekil 3.23: Mikrodalga sindirme sistemi.	40
Şekil 3.24: Örneklerdeki asitlerin buharlaştırılması.....	41
Şekil 3.25: Süzülme işlemi.....	41
Şekil 3.26: Polonyum depozisyonu.....	42
Şekil 3.27: Alfa spektrometresi.....	44
Şekil 3.28: Alfa spektrumunda ^{209}Po ve ^{210}Po pikleri.....	45
Şekil 4.1: Yumuşakçaların yumuşak dokularında bulunan ^{210}Po aktivite konsantrasyonları.....	50
Şekil 4.2: Bivalv yumuşak dokularında bulunan ^{210}Po aktivite konsantrasyonları.....	51
Şekil 4.3: Gastropod yumuşak dokularında bulunan ^{210}Po aktivite konsantrasyonları.....	52
Şekil 4.4: Sefalopodların tüm vücutta bulunan ^{210}Po aktivite konsantrasyonları.	53
Şekil 4.5: Sefalopod sınıfına ait türlerdeki doku bazında hesaplanan ^{210}Po aktivite konsantrasyonları.....	54

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: Fitoplankton ve yumuşakçalardaki bazı doğal radyonüklid konsantrasyonları (Bq kg^{-1}) (Woodhead, 1984).	6
Tablo 2.2: Yiyecekler ve havadaki ^{210}Po konsantrasyonları (UNSCEAR, 2010).	6
Tablo 3.1: Toplanan ve analiz edilen türler.	15
Tablo 4.1: Yumuşakça örneklerinin bazı fiziksel özellikleri.....	48
Tablo 4.2: Yumuşakça türlerinin yumuşak dokularındaki ^{210}Po aktivite konsantrasyonları (Bq kg^{-1}).	49

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
Bq	: Saniyede bozunma sayısı
CaCO₃	: Kalsiyum karbonat
CV	: Varyasyon katsayısı
CF	: Konsantrasyon faktörü
HCl	: Hidroklorik asit
HNO₃	: Nitrik asit

Kısaltmalar	Açıklama
IAEA	: Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu
PTWI	: İzin Verilen Tolere Edilebilir Haftalık Alım Miktarı

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

PO-210 İÇİN BİYOİNDİKATÖR YUMUŞAKÇA TÜRLERİNİN BELİRLENMESİ

Ebru EFE

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Biyoloji Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Murat BELİVERMİŞ

Radyoaktif kirleticiler arasında ^{210}Po , deniz canlılarında etkin birikimi ve alfa emisyonunun yüksek ışınlanması nedeniyle deniz ürünlerinin güvenliği açısından en önemli olanıdır. Deniz ürünleri tüketimi nedeniyle insanların aldığı radyasyon dozunun yaklaşık %70'i ^{210}Po 'dan kaynaklanmaktadır. Kuzey-Doğu Ege'de bulunan Gökçeada'da yumuşakçalarda ^{210}Po seviyeleri ve potansiyel ^{210}Po indikatörü türler bilinmemektedir. Bu çalışmada, Gökçeada'dan toplanan 8 bivalv, 7 gastropod ve 5 sefalopod olmak üzere 20 yumuşakça türünün yumuşak dokusunda ^{210}Po aktivite konsantrasyonları belirlenmiştir. Yumuşakçalar toplandıktan sonra yumuşak dokuları, mikrodalga sindirme sisteminde konsantre asitler kullanılarak sindirilmiştir. Daha sonra ^{210}Po gümüş disk üzerine biriktirilmiştir. Örneklerin ^{210}Po aktivitesi, çok kanallı analizöre bağlı silikon yüzey bariyer dedektörlü ORTEC marka alfa spektrometresi kullanılarak ölçülmüştür.

Po-210 aktiviteleri çalışılan 20 yumuşakça türünde 11,7 ile 1789 Bq kg⁻¹ arasında değişmiştir. Yumuşakça sınıflarında bulunan ^{210}Po aktiviteleri arasında istatistik olarak önemli fark olduğu görülmüştür. Ortalama ve ortanca ^{210}Po konsantrasyonları 400 ± 448 Bq kg⁻¹ ve 223 Bq kg⁻¹ olarak bulunmuştur. Bivalv, sefalopod ve gastropodlardaki ortalama ^{210}Po konsantrasyonları sırasıyla 818 ± 434, 126 ± 178 ve 117 ± 81 Bq kg⁻¹ olarak bulunmuştur. Po-210 aktivite ortanca değerleri bivalvlerde, sefalopodlarda ve gastropodlarda sırasıyla 755, 17,9 ve

108 Bq kg⁻¹ olarak bulunmuştur. Yumuşakçalardaki ²¹⁰Po aktivitesi bivalv >> gastropod > sefalopod olarak sıralanmıştır. Üç trofik seviye (bivalv-gastropod-sefalopod) boyunca ²¹⁰Po konsantrasyonundaki kademeli düşüş, ²¹⁰Po'nun biyoseyreltiğini açıkça göstermiştir. Gastropodlara ve sefalopodlara kıyasla bivalvlerde ²¹⁰Po'nun daha fazla birikmesi farklı beslenme tercihleriyle ilgilidir. Bivalvlerin filtre ederek beslenmesi ²¹⁰Po biyobirikimini artırırken, gastropodlarda ve sefalopodlarda olduğu gibi avlanma ²¹⁰Po biyobirikimini desteklememektedir.

Sefalopod vücut kısımlarında, iç organlarda manto ve kollara kıyasla ²¹⁰Po'nun daha yüksek aktivitesi görülmüştür. Küçük kalamar *Illex coindetii*'nin tüm vücut kısımlarında büyüğe kıyasla daha yüksek ²¹⁰Po aktivitesi görülmüştür. Bivalvler arasında *Anadara gibbosa*, son derece yüksek bir ²¹⁰Po aktivitesi göstermiştir. Bu tür ²¹⁰Po monitoring çalışmalarında biyoindikatör tür olarak düşünülebilir. Mürekkep balığı *Sepia orbignyana*'da da ²¹⁰Po konsantrasyonu yüksek bulunmuş olup ²¹⁰Po kirliliğinde potansiyel bir biyoindikatör olarak kullanılabilir.

Po-210'nun yıllık etkin alım dozu, yumuşakçalarda ölçülen ²¹⁰Po aktiviteleri kullanılarak hesaplanmıştır. Çalışılan bölgede 7,0 kg (3,2-14,2) bivalv yumuşak doku eti tüketimi, ²¹⁰Po nedeniyle yıllık müsaade edilen en yüksek doz olan 1 mSv'ye ulaşılmasına sebep olmaktadır. Bu, çift kabuklu yumuşakçaların tüketiminin, incelenen bölgede ²¹⁰Po alfa radyasyonu nedeniyle artan iç radyasyon dozuna neden olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, bölgede çok düşük yumuşakça tüketimi nedeniyle, yumuşakça tüketimi yoluyla sınır değerlerin üzerinde ²¹⁰Po alfa radyasyonu riski bulunmamaktadır.

Temmuz 2019, 86 sayfa.

Anahtar kelimeler: ²¹⁰Po, Biyobirikim, Yumuşakçalar, Biyoindikatör, Gökçeada

SUMMARY

M.Sc. THESIS

DETERMINATION OF BIOINDICATOR MOLLUSC SPECIES FOR Po-210

Ebru EFE

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Sciences

Department of Biology

Supervisor : Prof. Dr.Murat BELİVERMİŞ

Among the radioactive pollutants ^{210}Po is the most substantial one in terms of seafood safety due to its efficient accumulation in marine animals and high irradiation of its alpha emission. Approximately 70% of radiation dose to human beings due to the consumption of marine products is sourced from ^{210}Po . To our knowledge neither ^{210}Po levels nor potential ^{210}Po indicator molluscs species has been determined in Gökçeada island, north-eastern Aegean Sea. In the current study the activity concentrations of ^{210}Po were determined in soft tissue of twenty mollusc species, including 8 bivalves 7 gastropods and 5 cephalopods, collected at Gökçeada island. After collection soft tissue of molluscs was digested by using concentrated acids in a microwave digestion system. Afterwards ^{210}Po was deposited spontaneously on a silver disc. The ^{210}Po radioactivity of the samples were measured using silicon surface-barrier detectors connected to the multi-channel analyser of an ORTEC alpha spectrometer.

Po-210 activities ranged between 11,7 and 1789 Bq kg⁻¹ in the studied twenty mollusc species. A significant variation was noted among the ²¹⁰Po activity in molluscs. The average and median ²¹⁰Po concentrations were found to be 400 ± 448 Bq kg⁻¹ and 223 Bq kg⁻¹. The average ²¹⁰Po concentrations in bivalves, cephalopods and gastropods were found to be 818 ± 434, 126 ± 178 and 117 ± 81 Bq kg⁻¹. The ²¹⁰Po activity median values were found to be 755, 17,9 and 108 Bq kg⁻¹ in bivalves, cephalopods and gastropods, respectively. The ²¹⁰Po activity in molluscs was, thus, ranked as bivalve >> gastropod > cephalopod. The gradual decrease in ²¹⁰Po concentration through three trophic level (bivalve-gastropod-cephalopod) clearly showed biodilution of ²¹⁰Po. Substantial bioaccumulation of ²¹⁰Po in bivalves compared to gastropods and cephalopods is related to their disparate food preference. Apparently filter feeding as seen in bivalves increases ²¹⁰Po bioaccumulation whereas predation as in gastropods and cephalopods does not support ²¹⁰Po bioaccumulation.

Among the cephalopod body parts, higher activity of ²¹⁰Po was seen in viscera compared to mantle and arms. A higher ²¹⁰Po activity was seen in all the body parts of small squid *Illex coindetii* compared to big individuals. Among the bivalves *Anadara gibbosa* displayed an exceptionally high ²¹⁰Po activity. It could be considered as a sentinel organism for monitoring studies, addressing both ²¹⁰Po. Cuttlefish *Sepia orbignyana* has also high ²¹⁰Po concentration and can be used as a potential bioindicator of ²¹⁰Po pollution.

The annual effective ingestion dose levels of ²¹⁰Po was calculated by using measured ²¹⁰Po activities in molluscs. 7,0 kg (3,2-14,2) bivalve flesh intake is adequate due to ²¹⁰Po ingestion in the studied region to reach 1 mSv which is the annual committed effective dose. Consumption of bivalve molluscs causes increased internal radiation dose in the studied region due to the alpha radiation of ²¹⁰Po. However due to very low mollusc consumption in the region there is no risk of alpha radiation of ²¹⁰Po above the limit values through mollusc consumption.

July 2019,86pages.

Keywords: ²¹⁰Po, Bioaccumulation, Mollusc, Bioindicator, Gökçeada

1. GİRİŞ

Taşıyıcı ve çözücü özelliğe sahip olan su, çevreye salınan kimyasal atıkların yayılmasına ve besin zincirine girmesine neden olmaktadır. Radyonüklidlerin de içerisinde bulunduğu pek çok kimyasal atığın, en son olarak biriktiği ekosistemler sucul ekosistemler özellikle derin deniz dipleri ve okyanuslardır (Ayas ve diğ., 2009). En önemli çevre sorunlarından birisi sucul ekosistemlerin kirliliğidir. Hava ve toprak kirliliği sonucu su kirliliği de oluşur. Çünkü atmosfere salınan ve karasal alanlara bırakılan kirleticiler ve atık maddeler atıldıkları yerde kalmayıp, doğa olayları (yağmur, rüzgar, sel, heyelan) ve diğer yollarla yer altı ve yer üstü sularına karışıp sucul ekosisteme giriş yaparlar ve böylece kirliliği oluştururlar (Güler ve Çobanoğlu, 1997). Karasal ekosistemlerdeki atıklar özellikle nehirler ve akarsular yoluyla denizlere taşınmaktadır.

Sürekli olarak nüfusun artışı ile beraber endüstriyel gelişimin getirdiği sonuçlardan birisi de kirletici maddelerin oluşumundaki ve çevreye salınımındaki artıştır. Ekosistem içerisinde son olarak sucul ortama geçen kirleticiler suyun kalitesini bozar ve bu durum suda yaşayan canlılarla birlikte insanların da yaşamlarını olumsuz olarak etkilemektedir (Jha, 2004; Villela ve diğ., 2006; Benson ve diğ., 2007; Pavlica ve diğ., 2008; Kumar ve Edward, 2009).

Denizel ortamlarda oluşan radyoaktivitenin esas kaynağı doğal radyoaktivite olup denizlerdeki doğal radyoaktivitenin büyük bir kısmını ⁴⁰K radyonüklidi; uranyum, toryum bozunum serisi radyonüklidleri ve kozmojenik radyonüklidler oluşturmaktadır. Bu doğal radyoaktivitenin fosil yakıtların yer üstüne çıkarılarak tüketilmesi nedeniyle canlıların etkileşimde olduğu çevrede arttığı bilinmektedir (Baxter, 1996).

Sucul ortamda yaşayan canlıların radyonüklidleri vücutlarına almaları, suda çözülmüş olarak ve besinleri doğrudan ya da dolaylı olarak veya askıda bulunan katı maddeleri tüketmeleri şeklinde gerçekleşmektedir. İstiridye, midye, karides vb. gibi canlılar vücutlarında radyonüklidleri biriktirirler ve bu birikme sonucu radyonüklidler, canlıların dokularında alfa ve beta gibi parçacık veya gamma gibi elektromagnetik radyasyon yayarak tahribat yapmakta, doku ve organların görevini yapmasına engel olmaktadır. Canlıların radyonüklidleri vücutlarında biriktirmeleri sonucu moleküler ve hücresel seviyede yapısal işlev bozuklukları ve DNA zincirinde kırılmalar meydana gelebilmektedir. Omurgasız canlılardan denizel

ekosistemde tür çeşitliliği ve birey sayısı bakımından zengin bir grup olan yumuşakçalar (mollusca) biyoindikatör (biyomonitör) canlılara örnek olarak verilirler (Lau ve diğ., 1998; Jimoh ve diğ., 2011). Yumuşakça türleri ekosistemdeki fonksiyonları ve ekonomik değerleri sebebiyle sucul ekosistemin önemli türlerindedir (Fredj ve diğ., 1992; Kocataş ve diğ., 2000). Yumuşakçalar sahip oldukları protein miktarı ve içerdikleri besleyici elementler nedeniyle dünyada pek çok insan tarafından fazlasıyla tüketilmektedir (Burger ve Gochfeld, 2005). Yumuşakça türleri sucul ekosistemlerdeki radyoaktif kirliliği tespit etmek amacıyla biyoindikatör olarak birçok çalışmada kullanılmıştır (Kalay ve Canlı, 2000; Topçuoğlu, 2001; Fowler, 2011).

Denizel ortamda yaşayan canlılar yüksek konsantrasyonlarda radyoaktif kirleticiler ile etkileşim halinde olduklarında (suda çözülmüş olan radyonüklidlere maruziyet ve besinle maruziyet), bu metalleri vücuttan uzaklaştırma (atılım) ya da zararsız duruma getirme (hücre içi detoksifikasyon ve karantina) mekanizmalarını çalıştırır. Mekanizmaların çalışması yeterli olmazsa canlılar radyonüklidleri vücutlarının bazı doku ve organlarında biriktirmek zorunda kalırlar (Kalay ve Canlı, 2000). Bu biriken kirleticiler detoksifiye edilemeyip DNA ve sıcaklığa duyarlı proteinler (HSP) gibi hücresel hedeflerde değişikliklere sebep olarak toksik etki göstermektedirler.

Po-210 radyotoksitesitesi çok yüksek olan, deniz organizmalarında etkili bir şekilde biriken doğal bir radyonükliddir. Polonyumun biyobirikimi ile ilgili yapılan çalışmalar ^{210}Po biyoindikatörü olarak hangi türlerin öne çıktığını göstermesine karşın hala birçok türün polonyum biriktirme potansiyeli açığa çıkartılmamış potansiyel biyoindikatör türler belirlenememiştir. Bu çalışmada Gökçeada Bölgesi'nde bulunan yumuşakça filumunda bulunan çift kabuklular (bivalvia), karından bacaklılar (gastropoda) ve kafadan bacaklılar (cephalopoda) sınıflarına ait toplam 20 tür içerisinde hangi türlerin ^{210}Po radyonüklidini yüksek miktarda biriktirdiği belirlenecek, türlerin bulunuş sıklığı, yaşama şekli (sedenter, sesil vb.) gibi özellikleri de dikkate alınarak bu radyonüklid için biyoindikatör türler ortaya konulacaktır.

2. GENEL KISIMLAR

2.1.PO-210 RADYONÜKLİDİNİN GENEL ÖZELLİKLERİ

Polonyum, 1898 yılında Pierre ve Marie Curie tarafından uranyum kaynağında keşfedilmiş olup, ismini Marie Curie'nin ülkesi olan Polonya'dan almaktadır (Curie ve Slodowska-Curie, 1898). Polonyum, uranyum serisinden doğal olarak oluşan radyonüklidlerden birisidir (Ivanovich ve Harmon, 1992). Radyoaktif polonyum izotoplarının kütle sayıları 192-218 arasındadır ve yarı ömürleri bir günden daha uzun olan üç radyoizotopu ^{208}Po , ^{209}Po ve ^{210}Po bulunmak kaydıyla toplam 25 radyoaktif izotopu bulunur (Connan ve diğ., 2007). Bu üç izotop arasında denizel ortam için en ilgi çekici ve önemli olan ^{210}Po 'dur. Bunun sebebi ise yer kabuğunda diğer radyoizotoplara göre çok daha fazla bulunmasıdır. Bu nedenle deniz organizmaları için önemli bir radyasyon dozu kaynağı olarak görülmektedir (Cherry ve Shannon, 1974; Cherry ve Heyraud, 1981).

Po-210 uranyum bozunma zincirinde bulunan ve yarı-ömrü 138 gün olan bir doğal radyonükliddir. Yüksek enerjili (5,304 MeV) alfa parçacıkları yayarak stabil Pb elementine (^{206}Pb) dönüşür (Cherry ve Shannon, 1974). Denizel ortamda oluşan doğal radyonüklidler arasındaki alfa yayıcılar yüksek kütleleri ve yükleri sebebiyle daha fazla biyolojik zarar verdikleri için bu ekosistemlerin radyoekoloji bakımından en önemlileri olarak kabul edilmektedirler (Hernandez ve diğ., 2002). Po-210 deniz organizmaları tarafından güçlü bir şekilde biriktirilir ve konsantrasyon faktörü (CF: canlıdaki radyonüklid konsantrasyonu / sudaki radyonüklid konsantrasyonu) 10^3 ile 10^4 arasında değişir (Mat Çatal, 2006). 138 günlük bir yarı ömrü olmasına karşın atmosferde uzun süre kalmasının ve yer kabuğunda bolca bulunmasının sebebi uranyum serisinde bulunan uzun yarı ömürlü ana radyonüklidlerin (^{210}Pb , ^{226}Ra) bozunmaları sonucunda oluşmasıdır. Uranyum serisinde bulunan ve yarı ömrü nispeten uzun olan ^{210}Pb (22 yıl) önce kısa yarı ömürlü ^{210}Bi 'a (5 gün) dönüşür. Bu radyonüklid de ^{210}Po 'a bozunmaktadır. Bu radyonüklidlerin radyotoksiklik bakımından sıralanışı $^{210}\text{Po} > ^{210}\text{Pb} > ^{210}\text{Bi}$ şeklindedir. Bunun nedeni polonyumun diğerlerine göre canlılarda birikme potansiyelinin çok daha yüksek olması ve yüksek enerjili alfa radyasyonunun biyolojik etkilerinin daha fazla olmasıdır (Uğur, 1998).

Uranyum serisindeki radyonüklidlerin orijini yer kabuğudur (toprak ve ana kayalar). Bu radyoaktif seride gaz halinde bulunan tek radyonüklid olan radonun (^{222}Rn) bir kısmı ana kayalardan ve topraktan atmosfere dağılır. Atmosfere dağılan radon ve onun bozunma ürünleri (diğerleriyle birlikte ^{210}Po ve ^{210}Pb) kuru ve yağ çökme şeklinde havadan fallout olarak yeryüzüne dağılır (Baskaran, 2011). U-238 primordial (dünyanın oluşumundan beri var olan, yarı-ömrü dünyanın yaşından fazla) bir radyonüklid olduğundan U-238 serisinin ürünlerinden biri olan ^{210}Po yer kabuğunda sürekli olarak oluşmaktadır (Masque ve diğ., 2002). Po-210 partikül reaktif bir element olduğundan protein, yağ ve CaCO_3 kabuk gibi yüzeylere olan afinitesi suya olan afinitesinden fazladır. Bu nedenle canlı organizmaların yüzeyine güçlü şekilde tutunur (adsorpsiyon). Po-210 deniz organizmalarında kabuk dışında birikme eğilimi sindirim bezi > bağırsak > solungaç > kas şeklindedir (Uğur ve diğ., 2002; Fowler, 2011; Rozmaric ve diğ., 2012).

Deniz ürünleri tüketimi başta olmak üzere beslenme ^{210}Po maruziyetinden dolayı insandaki iç radyasyon dozunda artışa neden olmaktadır (Guogang ve diğ., 2001; Carvalho ve Oliveira, 2007). İnsanlar tarafından deniz ürünlerinin tüketilmesinden dolayı maruz kalınan doğal radyasyonun dozunun % 70'inin ^{210}Po 'dan kaynaklandığı bilinmektedir (Cherry ve Shannon, 1974).

Po-210 radyonüklidi; denizel besin zincirinde birincil üreticiler tarafından kolayca asimile edilir (Fisher ve diğ., 1983). Po-210; soluk alma ile birlikte, besin ve su tüketimi yoluyla insan vücuduna girer fakat insan vücuduna geçişinin en önemli yolu deniz ürünlerinin tüketilmesidir (Chen ve diğ., 2001). Proteinlerde ^{210}Po miktarı besin zinciri boyunca artmaktadır. Vücuttaki ^{210}Po miktarının artması protein bakımından zengin olan et ve deniz ürünlerinin tüketilmesinden dolayıdır (Watson, 1985; Skwarzec ve diğ., 2001). Polonyumun besin zincirlerinin bazı kısımlarında biyoyükseltgendiği bildirilmiştir (Kılıç ve Çotuk, 2011). Bunun nedeni hızlı ve çok miktarda besin tüketen deniz canlılarında (karides vb.) besinlerle (tüketilen canlıdaki) çok miktarda polonyum alınması bu polonyumun tüketilen canlıya göre nispeten yavaş olarak vücuttan atılmasıdır.

Toprakta, ana kayalarda ve sedimentte bulunan ^{226}Ra radyoaktif bozunması sonucu deniz suyunda çözünmekte denizel çevrede ^{210}Po sürekli olarak oluşmaktadır (Bacon ve diğ., 1976; Carvalho ve Fowler, 1993). Bu doğal yol dışında teknolojinin gelişmesiyle fosil yakıt

tüketimi, fosfat, yağ ve gaz endüstrisinin ürünü doğal olarak meydana gelen radyoaktif atıklar da ^{210}Po ihtiva etmektedir (Villa ve diğ., 2009; Carvalho ve diğ., 2010; Shakhashiro ve diğ., 2011).

Po-210'un insanlar tarafından alınması temel olarak balık, karides ve midye gibi denizel canlıların tüketimi ile olmaktadır (Dahlgaard, 1996; Wildgust ve diğ., 2000). Geçmişte yapılmış olan çalışmalar yapay radyonüklidlerin insandaki radyasyon dozuna olan katkısının doğal radyonüklidlerden daha az olduğunu göstermiştir (Aarkrog ve diğ., 1997; Connan ve diğ., 2007). Son yıllarda yapılan çalışmalar da nükleer bomba denemeleri ve nükleer santral kazaları sonucunda oluşan yapay radyonüklidler fiziksel bozunma ile yarıldığından doğal radyonüklid konsantrasyonlarının yapay radyonüklidlerden çok yüksek olduğunu göstermektedir. Bu nedenle yapılan çalışmalar ^{210}Po ve ^{210}Pb gibi doğal radyonüklidlerin deniz canlılarındaki seviyesini tespit etmek üzerine yoğunlaşmıştır (Bermudez ve diğ., 2018).

Polonyumun denizel canlılarında biyobirikimi ile ilgili yapılan ilk birkaç çalışmada ^{210}Po 'un fitoplankton ve zooplankton tarafından deniz suyundan direkt olarak yüksek miktarda alındığı bildirilmiştir (Shannon ve Cherry, 1967; Shannon ve diğ., 1970). Bu radyonüklid üzerindeki mevcut veri tabanı; daha fazla türe, taksonomik gruplara ve ortamlara göre belirgin bir şekilde genişlemiştir (Carvalho, 1995; Dahlgaard, 1996; Jeffree ve diğ., 1997; Charmasson ve diğ., 1998; Ryan ve diğ., 1999; Godoy ve diğ., 2008; Carvalho ve diğ., 2010a; 2010b). Po-210, ^{226}Ra ve ^{210}Pb 'un çevresel konsantrasyonu ve biyosferdeki dağılımı yoğun olarak incelenmiştir (Osborne, 1963; Beasley ve Palmer 1966; Schell ve diğ., 1973). Bu radyonüklidlerin birçoğu, metabolik olarak gerekli olan elementlerin kimyasal analoglarıdır ve deniz organizmalarının sert ve yumuşak dokularında biyobirikim gösterme eğilimindedirler (Kılıç ve Çotuk, 2011; Carvalho, 2018).

Po-210 radyonüklidler arasında en radyotoksik değere sahip olanlarından birisidir. Bu değer, diğer radyonüklidlerden yaklaşık olarak 10-10000 kat daha yüksektir (IAEA, 2003). Po-210'un radyotoksitesi; nispeten yüksek 5,3 MeV enerjiye sahip alfa partikülleri yayması ile kas, karaciğer ve diğer yumuşak dokularda birikmesiyle bağlantılıdır (Stewart ve diğ., 2008).

Mollusca filumunun (şube) bivalvia sınıfında bulunan midyeler, istridyeler, deniztarakları vb. kirleticilerin çoğunu deniz suyunda bulunduğu miktardan çok daha fazla seviyelerde biriktirirler. Çeşitli bivalv türlerinin insanlar tarafından tüketilmesiyle besin zincirinde

kirleticiler bir üst seviyeye ulaşmış olmaktadır. Bivalvler filtre ederek beslenmeleri ve bir yüzeye tutunarak sabit yaşamaları nedeniyle buldukları ortamın kirliliği hakkında bilgi vermesinden dolayı monitör organizmalar olarak kullanılmaktadır. Gastropodlardan deniz salyangozu türleri de sabit yaşamaları nedeniyle iyi bir biyoindikatördür. (Carvalho ve diğ., 2010; Aközcan ve Uğur, 2013).

Tablo 2.1: Fitoplankton ve yumuşakçalardaki bazı doğal radyonüklid konsantrasyonları (Bq kg⁻¹) (Woodhead, 1984).

Radyonüklid	Fitoplankton	Yumuşakçalar
²²⁶ Ra	0,74	-
²¹⁰ Pb	3,7 - 26	0,19 - 0,37
²¹⁰ Po	15 - 63	12 - 52

Tablo 2.2: Yiyecekler ve havadaki ²¹⁰Po konsantrasyonları (UNSCEAR, 2010).

Ortam	²¹⁰ Po konsantrasyonu (Bq kg ⁻¹)
Balık	2000
Taneli Yiyecekler	100
Et Ürünleri	60
Süt Ürünleri	60
Meyveler	30
Yapraklı Besinler	30
Su	5
Hava	50 (μBq m ⁻³)

2.2.AKUATİK ORTAMDA ²¹⁰Po

Son 50 yılda, doğal radyonüklid olan ²¹⁰Po'un, deniz ortamında zamana ve mekana bağlı olarak nasıl değişim gösterdiği ve deniz ortamında nasıl taşındığı, nasıl hareket ettiği kapsamlı olarak çalışılmıştır (Carvalho, 2011; Uddin ve Behbehani, 2014). Belli deniz alanlarındaki doğal ²¹⁰Po seviyeleri; kamusal ve mesleki radyasyon maruziyetinin daha fazla olmasına neden olan petrol ve kömür kullanılması, madencilik, endüstriyel faaliyetler, nakliye ve tarımsal faaliyetler gibi antropojenik girdiler nedeniyle artmaktadır (Germain ve diğ., 1995; McDonald ve diğ., 1996; Kim ve diğ., 2005; Othman ve Al-Masri, 2007; Belivermiş ve diğ., 2016). Nitekim petrol kuyularının çevresinde bulunan su rezervlerinde denge halinde bulunan ²¹⁰Po konsantrasyonu yüksek miktarda ölçülmüştür (Parfenov, 1974).

Po-210 deniz suyunda partikül reaktiftir ve çeşitli deniz organizmalarında, özellikle de besin zincirinin en alt basamağında bulunan mikroskobik fitoplanktonda yüksek derecede konsantre olduğu bilinmektedir (Fowler, 2011). Po-210, deniz veya tatlı su çevresine girdikten sonra farklı biyojeokimyasal reaksiyonlara (örneğin; çözünme, hidroliz, kompleksleştirme, sorpsiyon/desorpsiyon, ortak çökeltme, türleşme) tabi tutulurlar. Bu tepkimelerden hangisinin baskın olacağı, kimyasal formları ile deniz ve tatlı su çevresinin özelliklerine bağlıdır (Stricht ve Kirchmann, 2001).

Po-210'un konsantrasyon faktörü aynı ortamda yaşayan türler arasında geniş çapta bir değişiklik gösterebilmektedir (Carvalho, 2018). Ege Denizi'nde bulunan yumuşakçalarda ve midyelerdeki ^{210}Po konsantrasyonunun balıklardan ve diğer birçok deniz ürününden daha yüksek olduğu rapor edilmiştir (Aközcan, 2013; Kılıç ve diğ., 2018). Okyanusun tüm katmanlarında bulunan organizmalardaki ^{210}Po konsantrasyonunun, deniz besin zincirlerinde trofik seviyelerdeki enerji transferi ile (çoğunlukla proteinlere bağlanarak) gerçekleştiği belgelenmiştir (Carvalho, 1988; 2011).

Denizel ekosistemlerde var olan doğal ve yapay radyonüklid yoğunluklarının, ağır metal birikimlerinin nasıl olduğunu saptamak aynı zamanda bu radyonüklid ve ağır metal seviyelerindeki değişimleri tespit etmek amacıyla "biyoindikatör" ve "biyomonitör" şeklinde tanımlanan organizmalar kullanılmaktadır. Biyoindikatör diye tanımlanan organizmalar, çevrenin nitelik ve niceliğini gösterirken, biyomonitör organizmalar ise çevrenin nitelik ve niceliğini ölçerler (Duman, 2004). Biyoindikatör canlılara örnek olarak fitoplankton, zooplankton, makroalg, kabuklu, yumuşakça ve birtakım balık türleri verilebilir. Denizel ekosistemlerde yaşayan organizmalarda yapılan birçok araştırmada, özellikle deniz kabuklularında ağır metallerin ve polonyumun yüksek miktarda biriktiği gösterilmiştir (Besada ve diğ., 2002). Beslenme nedeniyle maruz kalınan doğal radyasyonun (denizel ve denizel olmayan) yaklaşık olarak % 7 si ^{210}Po 'dan kaynaklanmaktadır (UNSCEAR, 1988).

Organizmanın birim ağırlığı başına düşen aktivite miktarının, deniz suyunun birim ağırlığı veya hacmi başına düşen aktivite miktarına oranı olan konsantrasyon faktörü (İng: Concentration factor; CF) olarak tanımlanır.

Denizel ekosistemlerin kirlenmesine sebep olan kaynaklar; doğal ve yapay radyonüklidler, ağır metaller, akarsu ve nehirlerin taşıyıp getirdiği atıklar, kullanılmış atık sular, kanalizasyon

suları, fabrikalardan boşaltılan katı atıklar, endüstri çalışmaları sonucu oluşan atıklar, deniz taşıtlarından yayılan petrol ve yağlar gibi akaryakıt atıkları, şehirdeki çöplerin boşaltılması, denizde yapılan çalışmalar sonucundaki kirlilik, gemilerin temizliği esnasında oluşan kirlilik, tarım alanlarında uygulanan gübre ve ilaçların yağışlarla denizlere taşınması, su ürünlerinin alınması esnasında oluşan kirlilik, denizden çıkarılan ve rafine edilmiş petrolün oluşturduğu kirlilik şeklinde sıralanabilir (Kamalı, 1999).

İlk defa Kauranen ve Miettinen (1970) tarafından midyelerdeki ^{210}Po ölçülmüştür. 1984-1985 yıllarında ise İngiltere’de McDonald ve diğ. (1996) midyeler, karidesler ve salyangozları kullanarak bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Midyeler çevresel şartlardaki değişikliklere karşı yüksek adaptasyon yeteneğine sahiptir ve büyük hacimlerde deniz suyu filtre edebilir. Midyeler deniz ortamında radyonüklidler, toksik metaller ve poliklorlu bifeniller gibi kirlenici seviyelerinin belirlenmesi için yaygın olarak kullanılmaktadır (Topçuoğlu ve diğ., 2001; Uğur ve diğ., 2002; Catsiki ve Florou, 2006; Thébault ve diğ., 2008; Kılıç ve Çotuk, 2011; Rozmaric ve diğ., 2012). Akdeniz midyesi *Mytilus galloprovincialis* kirlenici yüksek düzeyde biriktirme kapasitesine sahip olduğu için deniz kirliliğinin belirlenmesinde en uygun biyoindikatör türlerindedir (Carvalho ve diğ., 2010; 2011).

Carvalho ve Fowler (1993) karideslerde yaptıkları çalışmada ^{210}Po ve ^{210}Pb konsantrasyonlarını belirlerken, ^{210}Po alımının büyük bir çoğunluğunun besin zinciri aracılığıyla biriktiğini (tüketilen besinler ile) ve polonyumun suda çözünmüş olarak alımının çok sınırlı olduğunu ifade etmişlerdir. Bu nedenle deniz organizmalarındaki ^{210}Po aktiviteleri organizmanın beslenme şekli ile ve içinde bulunduğu besin ağı ile yakından ilişkilidir.

2.3.PO-210 KAYNAKLARI

Po-210’un doğada bulunan kaynaklarından birisi kömürdür. Kömürün yanması sonucu atmosfere yüksek miktarda ^{210}Po salınmaktadır. Bundan dolayı kömürle çalışan güç santrallerine yakın çevrelerde ^{210}Po konsantrasyonunun sürekli arttığı tespit edilmektedir (Uğur, 1998). Endüstriyel faaliyetler nedeniyle meydana gelen fosfat bileşenlerinin radyum izotopları bakımından zengin olması deniz ortamındaki ^{210}Po artışına neden olmaktadır (Germain ve diğ., 1995; Stepnowski ve Skwarzec, 2000). Fosfat madenlerinin fosfatlı gübre üretim tesislerinin ve yüksek miktarda fosfatlı gübre kullanılan tarım alanlarının nispeten yüksek miktarda uranyum serisi radyonüklidleri içerdiği bilinmektedir. Bunun nedeni fosfat

madenlerinde fosfatın ve uranyumun birlikte bulunmasıdır. Örneğin, tütün yetiştiriciliğinde fosfatlı gübrenin sıklıkla kullanılması sigara ve tütün ürünlerindeki yüksek ^{210}Po 'un en büyük nedeni olarak gösterilmektedir. Aynı zamanda, deniz suyunda doğal olarak var olan ^{210}Pb nedeniyle ^{210}Po doğal kaynağı oluşmaktadır (Stepnowski ve Skwarzec, 2000).

Radyoaktif maddeler tüm atmosferde yer almasına rağmen ağırlıklı olarak yeryüzünün litosfer tabakasında bulunur. Önemli olan temel unsur; uranyum ve toryum cevherleri ile radyoaktiviteye katkıda bulunan potasyum tuzlarıdır. Uranyum bozunma zinciri ^{238}U ile başlayıp ^{226}Ra , ^{222}Rn , ^{210}Pb ve ^{210}Po radyonüklidlerini meydana getirir. Madencilik faaliyetleri (uranyum, kömür ve mineral kumları) teknik olarak geliştirilmiş doğal radyoaktivitenin ana kaynağı olarak kabul edilmektedir. Aynı zamanda fosil yakıtların yanması, jeotermal enerji ve fosfat kayası gibi diğer enerji üretimi yolları da çevresel radyoaktiviteye katkıda bulunur. Madenciliğin fazla olduğu bölgelerdeki radyoaktivitenin sebebi; maden suyunun drenajı ile yüzeye getirilen ve daha sonra yakındaki su sistemlerine deşarj edilen ^{238}U ve ^{232}Th 'nin bozunmasından kaynaklanır. Aynı zamanda, madenlere yakın çevrelerde biriken maden atıkları, hava koşullarına maruz kaldığında ve radyonüklidlerin suyla yıkanmasına neden olduğunda kirlenme oluşur (Alam ve Mohamed, 2011). Motorlu araçlardan çıkan egzoz dumanlarının içeriğinde de belli bir oranda ^{210}Po bulunmaktadır. Yapılan bir çalışmada yapay kaynaklardan meydana gelen polonyumun dozunun atmosferde doğal olarak oluşan dozun % 10-20'sinden daha fazla olmadığını belirtmişlerdir (Parfenov, 1974).

2.4.ÇALIŞMA BÖLGESİ: GÖKÇEADA

Türkiye'nin en büyük adası olan Gökçeada Kuzey Doğu Ege'de bulunmaktadır. Kuzey Ege Denizi, Akdeniz'in (ing: Mediterranean Sea) bir alt birimi olarak kabul edildiğinden Gökçeada bir Akdeniz adasıdır (Peres, 1967). Ada Trakya ve Anadolu'nun bir parçası olarak da düşünülmektedir (Koral ve diğ., 2009). Gökçeada'nın bulunduğu bölge Meriç Nehri'nin besinleriyle zenginleştirilmiş olup bol miktarda fitoplankton tüketerek beslenen çeşitli pelajik balıkları içinde bulundurur (Ulutürk, 1987).

Adanın toplam yüzey alanı 279 km^2 iken sahil şeridi de 92 km uzunluğuna sahiptir. Kuzey Ege Denizi'ndeki birçok adaya bağlı olarak, su hareketleri büyük ölçüde değişmektedir. Çanakkale Boğazı'ndan gelen Karadeniz suları kışın kuzeye doğru akarken yazın güneye

doğru akar. Marmara Denizi'nden gelen daha soğuk ve daha az tuz oranına sahip su, adanın etrafındaki su kütlesini etkilemektedir. Gökçeada'nın kıyı suyunun tuzluluğu % 34,8-35,3 arasındadır (Gönülal ve Güreşen, 2014).

Gökçeada'da herhangi bir endüstriyel veya madencilik faaliyeti yürütülmemekte ve yapılan tarımın % 90'dan fazlası organik tarım oluşturmaktadır. Bu nedenlerle Gökçeada "organik ada" sınıfındadır. En büyük kirlilik kaynağını az sayıdaki nüfusun evsel atıkları oluşturmaktadır. Buna karşın, Gökçeada çevresi; kıyılarının teknik yapıları, kara suları, nadir türlerin avlanması ve toplanması, zehirli atıklar, yabancı türler tarafından istila gibi antropojenik baskıya oldukça duyarlıdır (Bellan-Santini ve diğ., 1994; Boudouresque ve Verlaque, 2002; Chintiroglou ve diğ., 2005). Bununla birlikte dünya denizleriyle kıyaslandığında Ege Denizi; uygun dip yapısından kaynaklı olarak biyolojik çeşitliliğin fazla olması nedeniyle, 10 kat daha fazla ekonomik tür bulundurur (Kocataş ve Bilecik, 1992).

2.5.YUMUŞAKÇALAR

Hayvanlar aleminde eklembacaklılardan sonra en fazla tür sayısına sahip şube olan yumuşakçaların yüz binden fazla tür örneği vardır. Aynı zamanda çok sayıda fosil tür örneği de mevcuttur. Yüksek adaptasyon kabiliyetine sahip olmalarından ötürü denizel kökenli omurgasızlar olmalarına rağmen deniz, kara ve tatlı su gibi ekosistemlerde dağılım göstermektedir. Yumuşakçalarda (sefalopodlar hariç) açık kan dolaşımı gözlenir. Vücutta kirlenen kan, solunum organına gidip temizlendikten sonra iki kulakçık ve bir karıncığa sahip olan kalplerine geri dönüp tekrar vücuda yayılır.

Yumuşakçaların ortak özelliği sinir sistemi organizasyonu, solunum ve boşaltımda rolü olan manto ve manto boşluğu bulunmasıdır. Birçok yumuşakça türü kabuk (ing: shell) bulundurur. Vücutları segmentsiz ve bilateral simetridir. Manto yumuşakçalarda kabuk, plaka ve spikül gibi kalkerli (kalsiyum karbonat; CaCO₃) yapıların oluşumunu sağlar. Anüs ve genital organlar mantoya açılmaktadır. Yumuşakçalarda hareketi ve sedimenti kazma gibi işlevleri sağlayan kaslı ayak bulunur. Sefalopodlarda bu kaslı ayak kollara dönüşmüştür. Sefalopodlarda, bivalvlerde ve gastropodlarda bulunan kabuk gibi vücut dışından görünen sert bir kabuk olmamasına rağmen (*nautilus sp.* hariç) kalsiyum karbonattan yapılmış iç kabuk (internal shell) bulunmaktadır. Bu iç kabuğun hacmi bivalv ve gastropodlara göre daha küçüktür (Alpbaz ve diğ., 1990a).

Taksonomide yumuşakça şubesi (ing: molluscs phylum) bivalvia (çift kapaklılar), gastropoda (karından ayaklılar), sephalopoda (karından bacaklılar), monoplacophora (limpet benzeri yaşayan fosiller), scaphopoda (deniz dişleri), aplacophora (solucanımsı yumuşakçalar) ve polyplacophora (kitonlar) sınıflarını içeren büyük bir şubedir. Bu yedi sınıf içinde ekosistemde anahtar role sahip olmaları ve ekonomik değerleri nedeniyle bivalvler, gastropodlar ve sefalopodlar en önemli üç sınıftır. Bivalvler genel olarak kirletici seviyelerinin tespit edilmesinde kullanılan birincil biyoindikatör organizmalardır (Topçuoğlu ve diğ., 2003; Francioni ve diğ., 2007; Thébault ve diğ., 2008; Carvalho ve diğ., 2010; Uğur ve diğ., 2011; Rozmaric ve diğ., 2012; Kılıç ve diğ., 2014; Fonollosa ve diğ., 2017). Yumuşakça türlerinin özellikle de midye, istiridye, deniz salyangozu gibi kabuklu su ürünlerinin besin olarak tüketilmesi yönünden dış ülkelerle kıyaslandığında ülkemizde sadece denize kıyısı olan bölgelerde bu canlıların tüketiminin yaygın olduğu, bu bölgelerde dahi tüketimin nispeten az olduğu bilinmektedir.

Ülkemizdeki denizlerde bulunan yumuşakçalardan çift kabuklular sınıfına ait olarak 167 tür olduğu ve bunlardan ekonomik önemde olan türlerin de sırasıyla; beyaz kum midyesi (*Chamelea gallina*), kara midye (*Mytilus galloprovincialis*), istiridye (*Ostrea edulis*), akivades (*Ruditapes decussatus* ve *Ruditapes philippinarum*), kidonya (*Venus verrucosa*) ve kum şırlanı (*Donax trunculus*) olduğu bildirilmiştir. Ekonomik değeri olan bu türlerin yayılış gösterdiği bölgeler ise Karadeniz, Marmara, Ege Denizi ve Boğazlar olarak ifade edilmektedir (Özden ve diğ., 2009).

İçerdikleri besleyici elementler ve önemli protein kaynağı olmaları sebebiyle yumuşakça türleri birçok insan tarafından oldukça fazla tüketilmektedir (Burger ve Gochfeld, 2005). Önemli besin değerlerini içeren su ürünleri, dünyadaki birçok ülkede hayvansal protein gereksiniminin önemli bir kısmını karşılamasından dolayı bilinçli beslenen insanlar tarafından tüketilmektedir. Su kaynakları bol olan ülkelerde su ürünlerinin de bol oluşundan kaynaklı olarak ucuz olması, su ürünlerinin tüketilmesini cazip kılan bir faktördür (Göğüş ve Kolsarıcı, 1992; Arslan ve diğ., 1997; Ovayolu, 1997).

Bivalvia sınıfına ait yumuşakçalar kabuklarından ötürü sınırlı harekete sahipken, nispeten hareketli gastropodlarda ise avcıdan uzaklaşma ve avcıya özel geliştirilen karşı saldırı olayları gözlenir. Gastropodlar genellikle zooplanktonlarla ve bivalvlerle beslenirler. Sephalopodlar ise çok daha aktif canlılardır, çok besin tüketirler. Özellikle karides ve balıkla beslenirler.

Dünyada bulunan su ürünlerinin oluşturmuş olduğu ekonominin % 4'ü yumuşakçalara ait olan sefalopodlardır (kalamar, mürekkep balığı, ahtapot, sübye vb.). Sefalopodlar yeryüzündeki tüm omurgasızlar arasında sinir sistemleri en gelişmiş canlılardır (Demir, 2003).

Avrupa'da yaşayan insanlar, deniz ürünlerinin kendileri için gerekli olan elementleri ve proteinleri içerdiği için tüketiminin fazla olmasından dolayı yetiştiriciliğinin de yaygın olduğu bilinmektedir (Barnabe, 1985; Karayücel ve Karayücel, 1999). Ülkemizde ise iyi bir protein kaynağı olduğu bilinen kabuklu yumuşakça etinin tüketiminin çok yaygın olmayışı, akuakültür üretiminin de gelişmemesine sebep olmuştur (Bilecik, 1989).

Deniz omurgasızlarından olan yumuşakçalar ve kabuklular; yapılan toksikolojik çalışmalarda biyoindikatör canlılar olarak kullanılır (Lau ve diğ., 1998, Jimoh ve diğ., 2011). Yumuşakçalar yüksek miktardaki ^{210}Po konsantrasyonunu, başlıca diatom ve fitoplanktonlarla beslenmelerinden dolayı bünyelerinde biriktirirler (Parfenov, 1974). Bivalv yumuşakçaları, özellikle de *Mytilus* cinsinin farklı türleri, ağır metalleri ve polonyumu buldukların ortamdaki çeşitli büyüklük derecelerinde biriktirir ve yoğunlaştırır (Boisson ve diğ., 1998; Nasci ve diğ., 1998; Da Ros ve diğ., 2000; Kılıç ve diğ., 2018). Yapılan çeşitli çalışmalar alfa yayan doğal radyonüklidlerden ^{210}Po 'nun çeşitli organizmaların dokusunda ana radyonüklidi olan ^{210}Pb seviyelerinin çok üzerinde yüksek bir miktarda biriktiğini göstermiştir (Carvalho ve Fowler, 1994; Stepnowski ve Skwarzec, 2000).

Deniz canlılarının büyüklüğü ve gelişme evresi (yumurta, larva, yavru erişkin) dokularındaki polonyum biyobirikimini değiştirmektedir. İskoçya, İngiltere, Fransa ve Monako arasındaki altı kıyı bölgesinde örneklerin toplandığı bir pilot çalışmada, ^{210}Po seviyesinin vücut büyüklüğüne göre değiştiği ve yumuşak doku kuru ağırlığında 111- 459 Bq kg⁻¹ aralığında olduğu bulunmuştur (McDonald ve diğ., 1996). Polonyum biyobirikimi dokular arasında da farklılıklar göstermektedir. Midyenin sindirim bezi; toplam yumuşak doku ağırlığının %10'unu oluşturur ancak ^{210}Po yumuşak doku içeriğinin % 15 ile % 36 sını içerir (Wildgust ve diğ., 1998). Yumuşakçaların bivalve sınıfına ait *Chlamys varia* türünde ^{210}Po konsantrasyonu en yüksek sindirim bezinde bulunmuştur (Bustamante ve diğ., 2002).

Po-210 radyonüklidinin hangi deniz canlılarında yüksek miktarda biriktiği hangi deniz canlılarının ^{210}Po için iyi bir biyoindikatör olabileceği günümüze dek birçok çalışmada ele

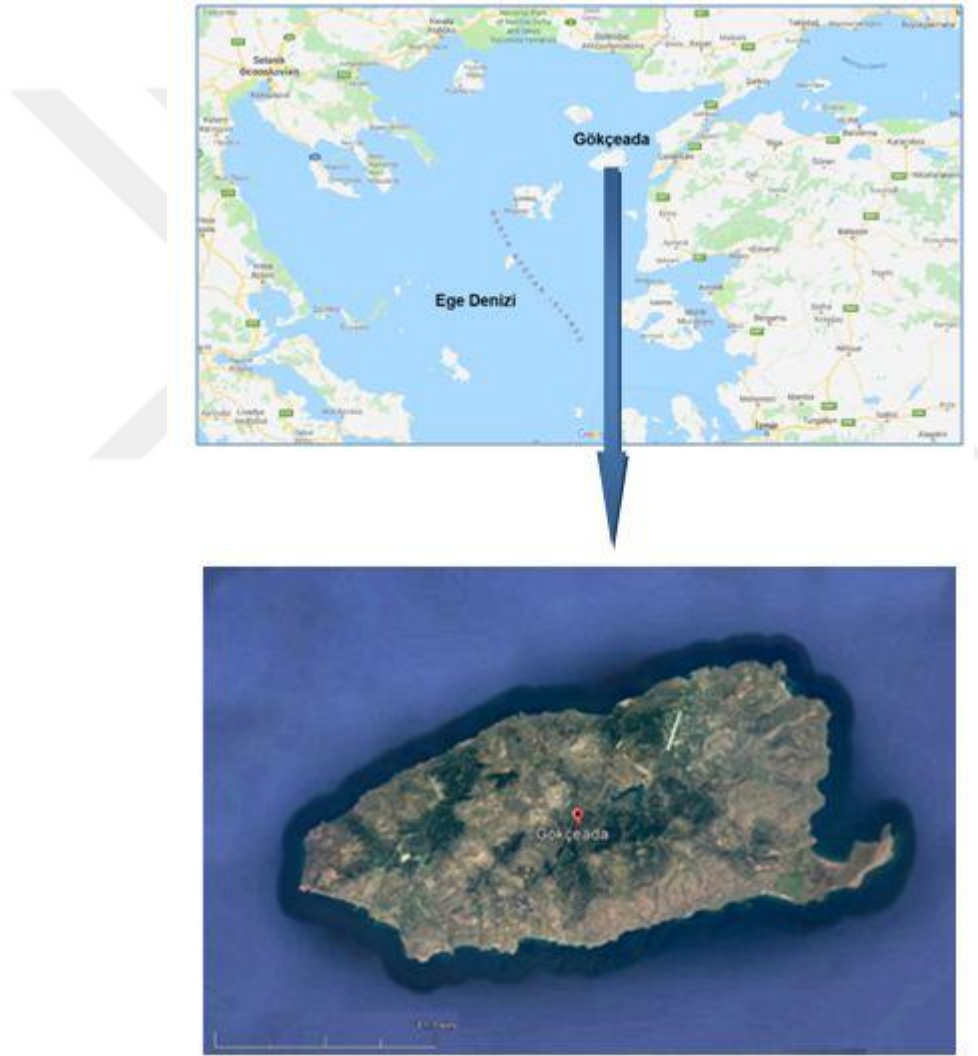
alınmıştır (Kalay ve Canlı, 2000; Topçuoğlu, 2001; Fowler, 2011). Bununla beraber Kuzey Ege Bölgesi ve özellikle de Gökçeada çevresinde bu tip bir çalışmaya rastlanmamıştır. Ayrıca yumuşakçaların ^{210}Po biriktiriciliğinin topluca ele alındığı bir çalışma da günümüze kadar ülkemizde yapılmamıştır. Bu çalışmanın amacı Gökçeada çevresinde ^{210}Po için en uygun biyoindikatör türlerin tespit edilmesidir. Bu amaçla ada çevresinde bulunması mümkün olan tüm yumuşakça türleri toplanarak bu türlerde ^{210}Po aktiviteleri ölçülmüştür. Po-210 aktiviteleri ile birlikte türlerin bolluğu, bulunuş sıklığı ve yaşam şekli gibi özellikleri de değerlendirilerek bölgede ^{210}Po için en iyi biyoindikatör yumuşakça türleri tanımlanmıştır.



3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1.ÖRNEKLEME ALANI

Yumuşakça örnekleri Gökçeada çevresinden Mart-Eylül 2018 tarihleri arasında toplanmıştır (Şekil 3.1). Gökçeada, sahip olduğu yumuşakça tür çeşitliliğinden dolayı örnekleme alanı olarak seçilmiştir.



Şekil 3.1: Çalışma alanı Gökçeada ve çevresi.

Örnekler toplandıktan sonra İstanbul Üniversitesi Su Bilimleri Fakültesi'nin Gökçeada biriminde -20°C'de muhafaza edilmiş mümkün olan en kısa sürede İ.Ü. Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü Radyoekoloji Laboratuvarı'na ulaştırılmıştır.

3.2. TOPLANAN YUMUŞAKÇA ÖRNEKLERİ

Toplanan yumuşakça türlerinin genellikle bivalv daha seyrek olarak da gastropod ve sefalopod sınıflarından olduğu görülmektedir. Bunun nedeni bu türlerin biyoindikatör olarak çokça tercih edilmesi ve diğer sınıflara ait yumuşakçaların çalışma alanında bulunamamasıdır.

Tablo 3.1: Toplanan ve analiz edilen türler.

Sınıf	Bilimsel Adı	Türkçe Adı	Beslenme Şekli
Bivalv			
	<i>Donax trunculus</i>	Kum şırlanı- Takoz midyesi	Suyu filtre ederek
	<i>Anadara gibbosa</i>	Kum midyesi	Suyu filtre ederek
	<i>Mytilus galloprovincialis</i>	Akdeniz midyesi-Kara midye	Suyu filtre ederek
	<i>Pecten jacobaeus</i>	Akdeniz tarağı- Deniz tarağı	Suyu filtre ederek
	<i>Pinna nobilis</i>	Fan midye- Dev midye	Suyu filtre ederek
	<i>Ruditapes decussatus</i>	Akivades	Suyu filtre ederek
	<i>Pholas dactylus</i>	Deniz tarağı	Suyu filtre ederek
	<i>Ostrea stentina</i>	İstiridye	Suyu filtre ederek
Sefalopod			
	<i>Illex coindetii</i>	Akdeniz (kırmızı) kalamarı	Balık, yengeç krustase ve diğer sefalopodlar
	<i>Octopus vulgaris</i>	Adi ahtapot	Yengeç, bivalv ve mollusk
	<i>Eledone cirrhosa</i>	Kıvrılmış ahtapot (kancalı ahtapot)	Yengeç, diğer krustaseler ve balık
	<i>Sepia orbignyana</i>	Dikenli sübye	Krustase, balık ve diğer sefalopodlar
	<i>Eledone moschata</i>	Misk ahtapotu	Krustase, yumuşakça ve balıklar

Tablo 3.1 (devam): Toplanan ve analiz edilen türler.

Gastropod		
<i>Osilinus turbinatus</i>	Deniz salyangozu	Mikroskobik bitkiler
<i>Patella caerulea</i>	Çin şapkası-Akdeniz patellası-Mavi patella	Herbivordur, Epilitif ve epitik algler
<i>Hexaplex trunculus</i>	Dikenli salyangoz	Predatördür, bir çok küçük canlıyı özellikle littorine grubuna ait yavrularla beslenir.
<i>Monoplex parthenopeus</i>	Dev deniz salyangozu	Bivalv, askidyalar ve derisidikenliler
<i>Cerithium vulgatum</i>	Şeytan minaresi	Diatom ve epibentik mikroalgler ve diğer gastropodlar
<i>Stramonita haemastoma</i>	Kırmızı ağızlı kaya kabuğu-kaya salyangozu	Predatör, bivalv ve limpet (su salyangozu)
<i>Patella rustica</i>	Rustik salyangozu	Epifit ve epilitik algler



Şekil 3.2: *Donax trunculus*

Şube: Mollusca

Sınıf: Bivalvia

Alt Sınıf: Heterodonta

Üst Takım: İmparidentia

Takım: Cardiida

Üst Aile: Tellinoidea

Aile: Donacidae

Cins: *Donax*

Tür: *Donax trunculus* (Linnaeus, 1758)

Donax türüne ait canlılar Atlantik Okyanusu ve Akdeniz kıyılarında dağılım gösterirken *D. trunculus* canlısı Senegal'den Fransa'nın Kuzey Atlantik Okyanusu kıyıları boyunca (Tebble, 1966; Ansell ve diğ., 1983) ve Akdeniz ile Karadeniz bölgesinde dağılım sergilemektedir (Bayed ve Guillou, 1985). *D. trunculus*; ekonomik önemi olan, yoğun olarak Kuzey Marmara Denizi boyunca dağılım gösteren ve Marmara Denizi'nin çoğu kısmında gözlemlenen bir bivalv türüdür (Özden ve diğ., 2009).

D. trunculus türünün üreme zamanı yılın mart ve temmuz ayları arasındayken, ağustos ayı ile ocak ayına kadar geçen sürede ise canlının dinlendiği bildirilmektedir (Zeichen ve diğ., 2002; Deval, 2009).

D. trunculus (Kum şırlanı); düz yüzeyle, farklı renklere (solgun sarı, sarımtırak beyaz, kahverengimsi, zeytini bej) sahip, aynı şekilde veya birbirlerine yakınlaşan şeritleri olan süslü bir şekli vardır. Kabuklarının iç tarafı beyaz renkli ve çoğunlukla mor lekelerle sahiptir. Bölgelerin değişen jeolojik koşullarına göre bu lekeler turuncu ya da kahverengimsi olabilir. Bu canlıların ortalama büyüklükleri 25-35 mm arasında değişiklik göstermesine rağmen 50 mm büyüklüğüne sahip bir birey de bulunmuştur (Alpbaz, 1993).



Şekil 3.3: *Anadara gibbosa*

Şube: Mollusca

Sınıf: Bivalvia

Alt sınıf: Pteriomorphia

Takım: Arcida

Üst Aile: Arcoidea

Aile: Arcidae

Cins: *Anadara*

Tür: *Anadara gibbosa* (Reeve, 1844)

A. gibbosa türünün İspanya, Fas, Portekiz ve Maderia'nın Atlantik kıyılarının yanı sıra Akdeniz ve Marmara Denizi'nde de bulunduğu bilinmektedir (Cachia ve diğ., 2004).



Şekil 3.4: *Mytilus galloprovincialis*

Şube: Mollusca

Sınıf: Bivalvia (Lamellibranchiata)

Alt Sınıf: Pteriomorphia

Takım: Mytilida

Üst Aile: Mytiloidea

Aile: Mytilidae

Cins: *Mytilus*

Tür: *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819)

Midyeler beslenmelerini 2-100 µm büyüklüğüne sahip organik ve inorganik maddeleri süzerek gerçekleştirir (Atay, 1997). Midye ortalama olarak bir saatte 3 L suyu süzme yeteneğine sahiptir. Midyelerin filtrasyon hızını etkileyen faktörler; midyenin büyüklüğü, parçacık büyüklüğü, partikül türü, yoğunluğu, su sıcaklığı, su akıntısı şeklinde sıralanmaktadır (Alpbaz ve diğ., 1990a).

M. galloprovincialis dünyanın birçok bölgesinde dağılım gösteren istilacı, sıcak ve ılık sularda yaşayan bivalv mollusk türüdür. İnsanlar tarafından bolca tüketilmektedir ve ayrıca

farklı ülkelerde dağılım göstermektedir. *M. galloprovincialis*, ülkemizde en çok bilinen ve insanlar tarafından tüketilen bivalv türüdür (Meli ve diğ., 2008).

M. galloprovincialis ülkemiz sularında geniş bir dağılıma sahip olan midye türüdür. Akdeniz, Karadeniz, Marmara ve Ege Denizi'nde yaygın olarak bulunmaktadır. Kaya, iskele ve direk gibi sert zeminlere yapışıp gelişimlerini bu şekilde sürdürmektedirler (Atay, 1997; Saçan, 2004).

Yaklaşık olarak 5-6 cm boy aralığındaki bir *M. galloprovincialis* deniz suyunu süzer ve suyun içindeki partiküler cansız maddeleri, fitoplankton ve zooplanktonları sindirerek beslenmesini gerçekleştirir (Angelo ve diğ., 2007).

Midyeler kirleticilerin çoğunu deniz suyunda bulunduğu miktardan çok daha fazla seviyelerde biriktirirler. Sonuç olarak *Mytilus* cinsinin farklı türlerinin insanlar tarafından tüketilmesiyle besin zincirinde kirleticiler ilerler. Midyeler filtre ederek beslenmesi ve bir yüzeye tutunarak sabit yaşamaları nedeniyle buldukları ortamın kirliliği hakkında bilgi vermesinden dolayı monitör organizmalar olarak kullanılmaktadır (Carvalho ve diğ., 2010; Aközcan ve Uğur 2013). Biyolojik açıdan bakıldığında tolerans değeri fazla olduğu için yapılan birçok araştırmada kullanılan bir türdür (De Donno ve diğ., 2008)



Şekil 3.5: *Osilinus turbinatus*

Şube: Mollusca

Sınıf: Gastropoda

Alt Sınıf: Vetigastropoda

Takım: Trochida

Üst Aile: Trochoidea

Aile: Trochidae

Alt Aile: Cantharidinae

Cins: *Osilinus*

Tür: *Osilinus turbinatus* (Born, 1778)

Bu canlı türü, insanlar tarafından tüketilmemektedir.



Şekil 3.6: *Patella caerulea*

Şube: Mollusca

Sınıf: Gastropoda

Alt Sınıf: Patellogastropoda

Üst Aile: Patelloidea

Aile: Patellidae

Cins: *Patella*

Tür: *Patella caerulea* (Linnaeus, 1758)

Çin şapkası adıyla da tanınan bu tür gelgit olaylarının yaşandığı yerlerde sümüksü bir sıvı salgılayarak ayak görevini üstlenen kasları yardımıyla kayalara yapışıp yaşarlar (Della Santina ve diğ., 1993).

Morfolojileri konik şeklinde olup basık huniye benzer. Kabuklarının yüzeyi boyunca devam eden şemsiye şeklinde yaklaşık 10 çıkıntıya sahiptir. Kabuklarının uzunlukları yaklaşık olarak 25 mm, genişlikleri 20 mm ve 6-7 mm kadar yüksekliktedir. İki bölümde dizili olan çıkıntılı dişlere sahip olup ve dişlerinin yükseklikleri birbirlerine eşit değildir.

Patella cinsine ait türlerin ülkemizdeki örnekleri *Patella caerulea*, *Patella aspera* ve *Patella rustica* 'dir (Öztürk ve Ergen, 1999; Demir, 2003; Çulha ve diğ., 2007; Ayas ve diğ., 2008). *P. caerulea* Akdeniz bölgesine ait bir endemik türdür (Mauro ve diğ., 2003).

Bu tür yaygın olarak, Akdeniz'de var olduğu için Akdeniz Patella'sı olarak da bilinmektedir (Öztürk, 1998). Aynı zamanda bu türün sahip olduğu kabuğunun renginden kaynaklı olarak mavi patella da denilmektedir (Orr, 1995). *Patella* türlerinin ana besin kaynağı bitkisel organizmalardır yani bu canlılar herbivor şekilde beslenirler (Santina ve diğ., 1993; Ayas ve diğ., 2008). Özellikle Batı Avrupa ülkelerinde besin olarak tüketilmesi ve balık yemi olarak kullanılması nedeniyle ekonomik öneme sahiptir (Demir, 2003).



Şekil 3.7: *Hexaplex trunculus*

Şube: Mollusca

Sınıf: Gastropoda

Alt Sınıf: Caenogastropoda

Takım: Neogastropoda

Üst Aile: Muricoidea

Aile: Muricidae

Alt Aile: Muricinae

Cins: *Hexaplex*

Alt Cins: *Hexaplex* (Trunculariopsis)

Tür: *Hexaplex trunculus* (Linnaeus, 1758)

H. trunculus türü açık krem rengi kabuğa sahip olup kabuğunun üzerinde dikensi yapıları bulunur. Bu türe ait bireyler Marmara, Akdeniz ve Ege'de 10-100 m ve daha derin sularda bulunup çamurlu kısımlarda yaşar. Bitkilerin ve çamurların üzerinde bulunan mikroorganizmaları tüketerek beslenirler. Üremeleri ise yumurtlayarak gerçekleşir. Bu canlı türleri insanlar tarafından tüketilmemektedir (Artüz, 1994).



Şekil 3.8: *Pecten jacobaeus*

Şube: Mollusca

Sınıf: Bivalvia

Alt Sınıf: Pteriomorphia

Takım: Pectinida

Üst Aile: Pectinoidea

Aile: Pectinidae

Alt Aile: Pectininae

Cins: *Pecten*

Tür: *Pecten jacobaeus* (Linnaeus, 1758)

P. jacobaeus, Akdeniz’de endemik olan bir yumuşakçadır (Rios ve diğ., 2002). Bu canlıların boyları ortalama 8-10 cm olup maksimum olarak 15 cm uzunluğuna ulaşan bireyleri de mevcuttur. Derin sularda ve sert kumlara sahip alanlarda yaşamlarını sürdürürler. Kabuklarının şekli yelpazeye benzer ve kabuklarının üzerinde boylamasına uzanan girintili çizgilere sahiptir. Bu canlıların iç kısımları beyaz renkte olup sol kabuk renkleri kırmızımsı-kahverengi iken sağ kabuk renkleri ise beyazla pembe arasındaki renklere sahiptir.

P. jacobaeus, kabuklarını kapatıp açarak sıçrama yapma yeteneğine sahiptir. Hermafrodit olan bu canlıların kabuklarının maksimum boyutları 15 cm olup üst kabukları kahverengimsi, alt kısımları ise beyazımsı kahverengidir (Haas ve Knorr, 1966).



Şekil 3.9: *Pinna nobilis*

Şube: Mollusca

Sınıf: Bivalvia

Alt Sınıf: Pteriomorphia

Takım: Ostreida

Üst Aile: Pinnoidea

Aile: Pinnidae

Cins: *Pinna*

Tür: *Pinna nobilis* (Linnaeus, 1758)

P. nobilis, 60-120 cm büyüklüğünde olup kabuğunun denizin alt tabakasına ön kısmı tarafından kısmen gömülü olarak yaşayan bivalv canlılara örnektir. En büyük Akdeniz bivalvi olan *P. nobilis* 20 yıl yaşamaktadır. *P. nobilis*'in dış kabuk yüzeyi, bireylerin yaşının belirlenmesine ve kabuk büyüme hızlarının tahmin edilmesine izin veren belirgin bir büyüme halkasına sahip değildir (Richardson ve diğ., 1999).

Bu canlının sahip olduğu kabuğun gömülü olan kısmının iç katmanı sedef tabakası ile kaplıdır. Canlının kabuğunun ventral kısmında ise bisus yapılarının çıktığı açıklık bulunur. 60 cm boy uzunluğuna sahip bireylerin kabuklarının posterior kısmında dikenler mevcuttur. Bu dikenler, canlının kendisini korumaya yönelik bir adaptasyondur. Kabuklarının uzunluğunun artmasıyla kalınlıkları artarken dikenlenmeleri ters orantılı olarak azalır. Çevresel faktörlerin sebep olduğu etkiler sonucunda kabukları kırılan *P. nobilis*, hızlıca kırılan kısmı yenileme kabiliyetine sahiptir (Richardson ve diğ., 1999).



Şekil 3.10: *Monoplex parthenopeus*

Şube: Mollusca

Sınıf: Gastropoda

Alt Sınıf: Caenogastropoda

Takım: Littorinimorpha

Üst Aile: Tonnoidea

Aile: Ranellidae

Alt Aile: Cymatiinae

Cins: *Monoplex*

Tür: *Monoplex parthenopeus* (Salis Marschlin, 1793)

M. parthenopeus, kaydedilen maksimum kabuk uzunluğu 180 mm olan yırtıcı bir deniz salyangozu türüdür (Welch, 2010). Bu canlı türü insanlar tarafından tüketilmemektedir.



Şekil 3.11: *Cerithium vulgatum*

Şube: Mollusca

Sınıf: Gastropoda

Alt Sınıf: Caenogastropoda

Takım: Caenogastropoda

Üst Aile: Cerithioidea

Aile: Cerithiidae

Alt Aile: Cerithiinae

Cins: *Cerithium*

Tür: *Cerithium vulgatum* (Bruguière, 1792)

Minareye benzer şeklinden dolayı “şeytanminaresi” olarak da tanınan türün renkleri kirli sarı ve kahverengi tonları arasında değişiklik gösterir. Ülkemiz denizlerinde bol miktarda bulunur. Kabukları kalın olup, spiralleri geniş olan bu canlının keskin yapıda olmayan spiral dönüşlerinin aralarında 3 adet tüberküllü hat vardır. Bu canlı türü insanlar tarafından tüketilmemektedir (Biçer, 2014).



Şekil 3.12: *Ruditapes decussatus*

Şube: Mollusca

Sınıf: Bivalvia

Alt Sınıf: Heterodonta

Üst Takım: İmparidentia

Takım: Venerida

Üst Aile: Veneroidea

Aile: Veneridae

Cins: *Ruditapes*

Tür: *Ruditapes decussatus* (Linnaeus, 1758)

Akivadesler ülkemiz sularında geniş bir dağılım gösterirler. Akdeniz ve Ege’de yoğun bir şekilde bulunmak üzere Marmara kıyılarında fazla akıntı ve dalga olmayan kıyı bölgelerde yaşamlarını devam ettirirler (Erdal, 2008). Yaşadıkları alandaki suyu bir pompalama sistemi ile vücutlarından geçirerek oksijen ve besin alma işlemini gerçekleştirirler (Çelik, 2004). Akivadeslerin beslenmeleri fitoplankton ve askıdaki organik maddeleri filtrelemeleri (süzmeleri) sonucu gerçekleşir (Atay, 1997).

Filtrasyon hızları ise canlının türüne ve metabolik aktivitelerini değiştiren etkenlere göre farklılık göstermektedir (Alpbaz ve diğ., 1990a).



Şekil 3.13: *Illex coindetii*

Şube: Mollusca

Sınıf: Cephalopoda

Alt Sınıf: Coleoidea

Üst Takım: Decapodiformes

Takım: Oegopsida

Aile: Ommastrephidae

Alt Aile: Illicinae

Cins: *Illex*

Tür: *Illex coindetii* (Vérany, 1839)

Ülkemiz sularında önemli bir potansiyele sahip olan bu kalamar türü gerek iç tüketimde gerekse ihracatta önemli bir yere sahiptir. Kalamar; sefalopod sınıfından olup, vücutları yandan simetrik, başları belirgin, kafanın yanlarında bir çift geniş gözleri, ağız etrafında hareket eden kolları bulunan, solungaçları manto ile korunmuş iç kabukları kitinimsi yapıda olan, geri geri hareket eden, Loliginidae ve Ommastrephidae familyalarına dahil olan yumuşakçalardır (Martinez-Baena, 2006).



Şekil 3.14: *Pholas dactylus*

Şube: Mollusca

Sınıf: Bivalvia

Alt Sınıf: Heterodonta

Üst Takım: İmparidentia

Takım: Myida

Üst Aile: Pholadoidea

Aile: Pholadidae

Alt Aile: Pholadinae

Cins: *Pholas*

Tür: *Pholas dactylus* (Linnaeus, 1758)

P. dactylus; ön tarafa doğru uzanan, oldukça fazla bir şekilde açılabilen, beyaz-kırık beyaz renğinde bir kabuğa sahiptir. Üzerinde spiral ve radyal kanalların düzgün bir şekilde konumlanıp bir ağ görünümünde yerleştiği kabukların içinde dikey yönde kanallar yapıp, bu kanalların içerisinde yaşamalarına devam ederler. Bu canlı türü insanlar tarafından tüketilmemektedir (Biçer, 2014).



Şekil 3.15: *Ostrea stentina*

Şube: Mollusca

Sınıf: Bivalvia

Alt Sınıf: Pteriomorpha

Takım: Ostreida

Üst Aile: Ostreioidea

Aile: Ostreidae

Alt Aile: Ostreinae

Cins: *Ostrea*

Tür: *Ostrea stentina* (Payraudeau, 1826)

Denizlerde yaşayan çift kabuklu istiridye *Ostrea stentina*'nın kabukları sağ ve sol olmak üzere iki tanedir. Manto tarafından salgılanan kabukları, girinti ve çıkıntılarla birbirine sıkıca bağlıdır. Kabukların açılmasında dorsalde yer alan ligamentler görev alırken kabukların kapanmasında ventralde bulunan kaslar görevlidir. *Ostrea* cinsleri saatte 20 L suyu filtre etme özelliğine sahiplerdir (Alpbaz ve diğ., 1990a).



Şekil 3.16: *Octopus vulgaris*

Şube: Mollusca

Sınıf: Cephalopoda

Alt sınıf: Coleoidea

Üst Takım: Octopodiformes

Takım: Octopoda

Alt Takım: Incirrata

Üst Aile: Octopodoidea

Aile: Octopodidae

Cins: *Octopus*

Tür: *Octopus vulgaris* (Cuvier, 1797)

Adi ahtapot olarak da isimlendirilen bu ahtapotların vücutları baş kısmı ve manto şeklinde ikiye ayrılır. Vücutları; baş, gözler, kollar, tentaküller ve kolların ortasında yer alan ağızdan oluşur. İç organları ise manto kısmının içerisinde yer alır. 8 adet kola sahip olan ahtapotta, kollarının ortasında ise kuş gagasına benzeyen keratin yapılı bir çift mandibul diş vardır (Salman, 1992). Ahtapot türlerinin bazıları kollarında bulunan vantuzlardan yararlanılarak sınıflandırılabilir. Ahtapotların kollarında tek sıra halinde vantuz bulunanları *Eledone*

moschata ve *Eledone cirrhosa*'dır. Çift sıra halinde vantuzla sahip olan ahtapotlar ise *O. vulgaris*'dir (Tramacere ve diğ., 2013).

Ahtapotlar arasında 50-100 m derinlikte yaşayan *O. vulgaris* ile 100-200 m derinlikte yaşayan *E. cirrhosa*, biyokütelleri bakımından en önem taşıyan türlerdir. Ahtapotlar balık, yengeç, bivalv ve karidesler gibi canlıları tüketirler (Quetglas ve diğ., 2000).



Şekil 3.17: *Stramonita haemastoma*

Şube: Mollusca

Sınıf: Gastropoda

Alt Sınıf: Caenogastropoda

Takım: Neogastropoda

Üst Aile: Muricoidea

Aile: Muricidae

Alt Aile: Rapaninae

Cins: *Stramonita*

Tür: *Stramonita haemastoma* (Linnaeus, 1758)

S. haemastoma ılıman sularda kayalık litoral habitatlarda bulunan nispeten büyük (yaklaşık 80 mm kabuk büyüklüğüne kadar) olabilen avcı bir yumuşakçadır (Butler, 1985). Bu canlı türü insanlar tarafından tüketilmemektedir.



Şekil 3.18: *Eledone cirrhosa*

Şube: Mollusca

Sınıf: Cephalopoda

Alt Sınıf: Coleoidea

Üst Takım: Octopodiformes

Takım: Octopoda

Alt Takım: Incirrata

Üst Aile: Octopodoidea

Aile: Eledonidae

Cins: *Eledone*

Tür: *Eledone cirrhosa* (Lamarck, 1798)

Vücutları; baş, gözler, kollar, tentaküller ve kolların ortasında yer alan ağızdan oluşur (Salman, 1992). Ahtapotların kollarında tek sıra halinde vantuz bulunanları *E. moschata* ve *E. cirrhosa*'dır (Tramacere ve diğ., 2013).



Şekil 3.19: *Sepia orbignyana*

Şube: Mollusca

Sınıf: Cephalopoda

Alt Sınıf: Coleoidea

Üst Takım: Decapodiformes

Takım: Sepiida

Aile: Sepiidae

Cins: *Sepia*

Tür: *Sepia orbignyana* (Férussac [in d'Orbigny], 1826)

Toplam uzunluğu 12 cm ye kadar çıkabilen, oldukça küçük bir mürekkep balığı türüdür. Baş ve gövdeden oluşan vücutları, üstten basık ve oval şekildedir. Gövdelerine göre daha uzun kollara sahiptir. Gözleri büyük ve başın iki kenarında bulunur. Balık, yengeç ve diğer yumuşakçalarla beslenirler. Bu tür, mürekkep balığı kemiği (cuttlebone, cuttlefish bone) olarak adlandırılan ve kalsiyum karbonattan yapılmış bir iç kabuğa da sahiptir (Bello, 2001).



Şekil 3.20: *Patella rustica*

Şube: Mollusca

Sınıf: Gastropoda

Alt Sınıf: Patellogastropoda

Üst Aile: Patelloidea

Aile: Patellidae

Cins: *Patella*

Tür: *Patella rustica* (Linnaeus, 1758)

Patella cinsine ait türlerin ülkemizdeki örnekleri *Patella caerulea*, *Patella aspera* ve *Patella rustica* 'dir (Öztürk ve Ergen, 1999; Demir, 2003; Çulha ve diğ., 2007; Ayas ve diğ., 2008).

Patella türlerinin ana besin kaynağı bitkisel organizmalardır yani bu canlılar "herbivor" beslenirler (Santina ve diğ., 1993; Ayas ve diğ., 2008). Bu canlı türü insanlar tarafından tüketilmemektedir. Kabuk yüzeyinde bulunan tüberküllü ve siyah noktalı ışınsal çizgileri sayesinde bu tür, diğer iki *Patella* türünden kolaylıkla ayırt edilir. Çok dik kıyılarda, su seviyesinden 90 cm yüksekliğe kadar ulaşabilirken devamlı su altında kalan yüzeylerde hiç rastlanmamıştır (Demir, 2003).



Şekil 3.21: *Eledone moschata*

Şube: Mollusca

Sınıf: Cephalopoda

Alt Sınıf: Coleoidea

Üst Takım: Octopodiformes

Takım: Octopoda

Alt Takım: Incirrata

Üst Aile: Octopodoidea

Aile: Eledonidae

Cins: *Eledone*

Tür: *Eledone moschata* (Lamarck,1798)

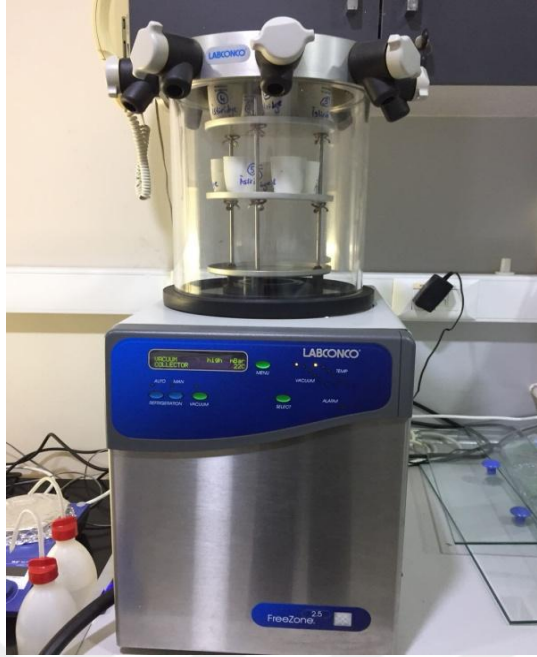
Yumuşakçaların en yüksek hücre organizasyonlu sınıfı olan sefalopodlar, bilateral simetri gösteren vücut yapısına sahiptir. Vücutları baş kısmı ve manto şeklinde ikiye ayrılır. Vücutları; baş, gözler, kollar, tentaküller ve kolların ortasında yer alan ağızdan oluşur (Salman, 1992). Ahtapotların kollarında tek sıra halinde vantuz bulunanları *E. moschata* ve *E. cirrhosa*'dır (Tramacere ve diğ., 2013).

3.3.ÖRNEKLERİN ÖLÇÜME HAZIRLANMASI

3.3.1. Yumuşakçaların Analize Hazırlanması

Laboratuvara cansız olarak getirilen örnekler tür bazında ayrılmış, sert kabuğa sahip olan canlıların üzerindeki epifauna temizlenmiştir. Ardından kumpas yardımıyla canlıların boyutları ölçülmüş, hassas terazide yaş ağırlıkları tespit edilmiştir. Sert kabuk kısmına sahip olan canlılar, yumuşak doku ve kabuk olmak üzere disekte edilmiş, her iki kısmın yaş ağırlığı tespit edilmiştir. Yumuşak doku kısımları krozelere alınarak önce -20°C 'de dondurulmuş, sonra kurutulmak üzere liyofilizatöre alınmıştır. Örneklerin iyice kurutulmasının ardından tekrar tartılarak kuru ağırlıkları tespit edilmiştir. Kabuk dokuları kurutulmak üzere 85°C 'de bir gün boyunca etüvde bekletilmiş, ardından kuru ağırlıkları tespit edilmiştir. Böylece yaş/kuru ağırlık oranı hesaplanmıştır.

Sert dış kabuk kısmına sahip olmayan yumuşakçalarda (sefalopodlarda) iç kabuk ayrılarak, canlılar manto, iç organlar ve tentaküller olarak disekte edilmiş, dokuların yaş ağırlıkları tespit edilmiştir. Krozelere alınan örnekler önce -20°C 'de dondurulmuş, sonra liyofilizatörde kurutulmuştur (Şekil 3.22). Kuru ağırlıkları ölçülen dokuların yaş/kuru ağırlık oranı tespit edilmiştir.



Şekil 3.22: Kurutma işlemlerinin kullanıldığı liyofilizatör.

3.4.YUMUŞAKÇA ÖRNEKLERİNDE ^{210}Po ANALİZİ

Kurutulmuş olan yumuşak doku örnekleri, en kısa sürede ^{210}Po analizi için hazırlanmıştır. Bivalv ve gastropodların sert kabuk dışındaki tüm yumuşak dokularında, sefalopodların sert iç kabuk dışındaki tüm yumuşak dokularında ^{210}Po ölçülmüştür.

Bunun için;

Örnekler 0,3 g olarak tartılmış, sindirme işlemi için teflon kaplara konulmuştur. Örnek üzerine 10 mL % 65'lik HNO_3 eklenmiş, mikrodalga sindirme sisteminde (Milestone Start D Microwave Digestion System) (Şekil 3.23) örneklerin yüksek sıcaklık ve basınç ile tamamen sıvı faza geçmesi sağlanmıştır. Teflon kaplarda mikrodalga sistemi ile sindirme işlemi iki fazla gerçekleşmektedir. Birinci fazda, örnekler 180°C 'de 30 bar basınçta 20 dakika boyunca tutulmuştur. Bu aşamada sıcaklık ve basınç cihaz tarafından yavaş yavaş yükselerek istenilen değerlere ulaşmıştır. İkinci aşamada, örnekler 180°C 'de 30 bar basınçta 15 dakika boyunca tutularak, örneklerin tamamen sıvı faza geçmesi sağlanmıştır. Bu şekilde örneklerdeki organik yapılar iyice parçalanmış, tüm doku organik materyalden arındırılmıştır. Mikrodalga işlemi

başlamadan önce örneklerin içerisine kimyasal verim izleyicisi olarak aktivitesi 0,1 Bq olan 50 µL ^{209}Po ilave edilmiş, böylece verim hesabı yapılmıştır.

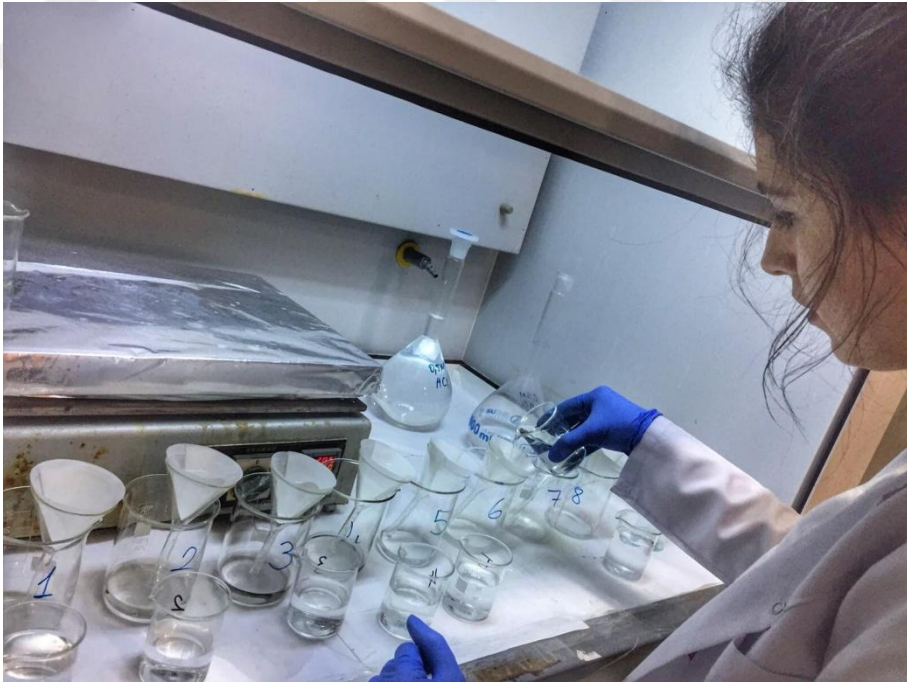
Mikrodalga sindirme sisteminden çıkan örneklerin, çeker ocak altında ısıtma tablası üzerinde 200°C'de asitlerin buharlaşması sağlanmıştır (Şekil 3.24). Isıtma tablası üzerine alınan örneklerde HNO_3 buharlaştırılmış, örnekler üzerine 3 kez 5 mL 0,5 M HCl eklenerek buharlaşması sağlanmıştır. Ardından, kalan tortuların üzerine 200 mL 0,5 M HCl ilave edilmiş, 125 mm por açıklığı olan filtre kağıdı kullanılarak süzölmüş (Şekil 3.25) ve depozisyona (Şekil 3.26) alınmıştır.



Şekil 3.23: Mikrodalga sindirme sistemi.



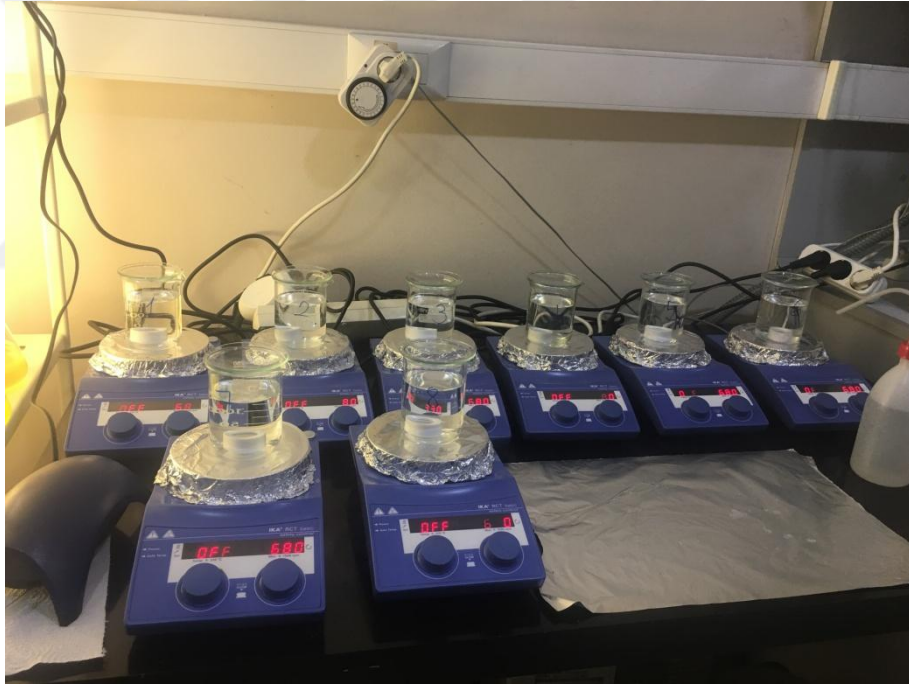
Şekil 3.24: Örneklerdeki asitlerin buharlaştırılması.



Şekil 3.25: Süzülme işlemi.

3.4.1. Polonyum Depozisyonu

Hazırlanmış olan örneklerdeki polonyum (^{209}Po ve ^{210}Po) aktivitesinin ölçümü için, saf gümüşten yapılmış 2 cm çapında 22 μm kalınlığındaki disk taşıyıcıya yerleştirilmiştir. Gümüş diskin üst yüzeyi % 70'lik alkol ile temizlenmiştir. Örnek içerisinde demir (II) ve (III) iyonlarının gümüş üzerine toplanmasını elimine etmek için örnekler üzerine 0,4 g askorbik asit eklenmiştir. Örnekler bir gece boyunca depozisyona alınmış ve içerisindeki polonyumun gümüş disk üzerinde 680 devir/dakika dönüş hızıyla biriktirilmesi sağlanmıştır. Po-210 aktivitesinin hesaplanmasında ^{209}Po üzerinden elde edilen ölçüm verimi (kimyasal verim + dedektör verimi) kullanılmıştır.



Şekil 3.26: Polonyum depozisyonu.

3.4.2. Po-209 Ara Stok Hazırlanması

Toplam verim her örnek için 0,1 Bq ^{209}Po kullanılarak hesaplanmıştır. Kullanılan ^{209}Po kaynağı Eckert & Ziegler Isotope Products firmasından satın alınmıştır (referans numarası: 1781-21). Aktivitesi 104 Bq ve ağırlığı 5,15 g olan radyoaktif çözelti seyreltilerek 10,32 mL

solüsyonda 7488 mBq ^{209}Po aktivitesi olacak şekilde ara stok hazırlanmıştır. Kimyasal işlemler başlamadan önce her bir örneğe ara stoktan 50 μL (0,1 Bq) ^{209}Po konulmuştur.

3.4.3. Alfa Spektrometresinin Özellikleri

Örneklere bulunan ^{210}Po aktivitesinin belirlenmesi amacıyla, “Ortec” marka “Alpha Ensemble” model alfa spektrometresi kullanılmıştır (Şekil 3.27). Alfa spektrometresi, 8 adet dedektöre sahip (çapları 300 mm²) ve dedektörleri iyon implante silisyum parçacık tiptedir. Vakum pompası ile dedektör odacıklarının iç basıncı 50 m Torr’a kadar düşürülmüştür.

Genel özellikleri;

- 10-30 m Torr arası vakum gücüne sahiptir.
- Ölçüm odasına yerleştirilen disk çapının 1-51 cm aralığında olduğu örneklerin ölçümünü yapabilmektedir.
- Dedektörler birinden bağımsız olarak 0-10 MeV enerji değerlerindeki radyonüklidlerin ölçümünü yapabilmektedir.
- Dedektörler 16-19 keV aralığında rezolüsyona sahiptir.
- Yüzey alanı 300 mm² arasında olan iyon-implantasyonlu olan dedektörler, temizlenebilir yapıdadır.



Şekil 3.27: Alfa spektrometresi.

3.4.4. Po-210 Aktivite Konsantrasyonunun Hesaplanması

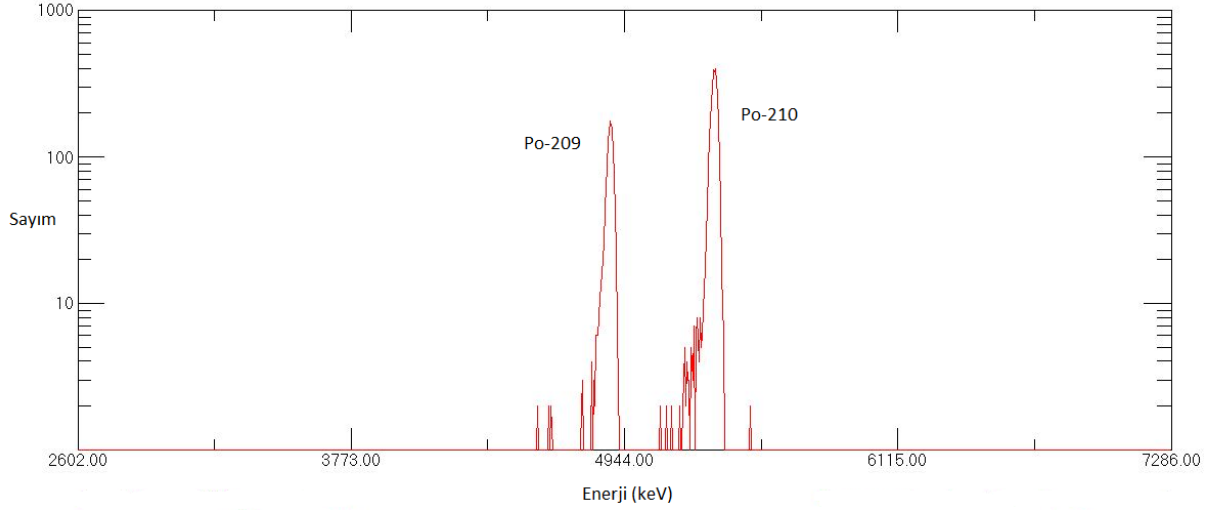
Örnekleredeki ^{210}Po radyonüklidi için aktivite konsantrasyonu hesaplaması aşağıdaki şekilde yapılmıştır.

$$\text{Aktivite (Bqkg}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Pik alanı} \times 1000}{\text{Verim} \times \text{Sayım süresi (s)} \times \text{Örnek ağırlığı (g)}} \quad (3.1)$$

$$\text{Verim} = \frac{\text{Saniyedeki sayım (Po-209)}}{\text{Po-209 aktivitesi}} \quad (3.2)$$

$$\text{Toplam Belirsizlik} = \frac{\text{Aktivite} \times \left(\sqrt{\left(\frac{\text{sayım hatası}}{\text{sayım}} \right)^2} + \sqrt{\left(\frac{\text{Verim hatası}}{\text{Verim}} \right)^2} \right)}{\text{Ağırlık (g)}} \quad (3.3)$$

$$\text{Verim hatası} = \frac{\text{Sayım hatası (Po-209)}}{\text{Sayım süresi (s)}} \quad (3.4)$$



Şekil 3.28: Alfa spektrumunda ^{209}Po ve ^{210}Po pikleri.

3.5.PO-210 ÖLÇÜMLERİN DOĞRULUĞUNUN TEST EDİLMESİ

Po-210 ölçümünde yapılan tüm işlemlerin (kimyasal işlemler, depozisyon ve alfa spektrometrik ölçüm) doğruluğunu test etmek amacıyla IAEA (Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu)'ndan temin edilmiş IAEA 437 kodlu midye yumuşak dokusu (Mussel Tissues Homogenate) referans örneği kullanılmıştır. İçeriğindeki ^{210}Po aktivitesi bilinen bu örnek tezde analiz edilen örneklerle tamamen aynı işlemler yapılarak (3 replikasyonla) analiz edilmiştir. Bu örnekte ^{210}Po aktivitesi $4,2 \text{ Bq kg}^{-1}$ olarak bulunmuştur. IAEA örnek sertifikasında verilen ^{210}Po aktivitesi % 95 güven aralığında $4,0 - 5,4 \text{ Bq kg}^{-1}$ 'dir. Bu sonuçlar ölçüm öncesi yapılan kimyasal işlemlerin ve ölçümlerin doğruluğunu göstermektedir.

3.6. Po-210 DOZUNUN HESAPLANMASI

Po-210 yıllık efektif alım dozu aşağıdaki denklemlerle hesaplanmıştır (IAEA, 2003).

$$E_{Po-210,ing} = 1,2 \times 10^{-6} \times m \times C_{f(Po-210)} \quad (3.6)$$

Bu denkleme göre;

$E_{Po-210,ing}$ Po-210'dan kaynaklı yıllık efektif doz değeri Sv y⁻¹,

$1,2 \times 10^{-6}$ doz çevirme faktörü (Sv Bq⁻¹),

m yıllık yumuşakça tüketim miktarı (kg, nemli ağırlık)

$C_{f(Po-210)}$ yumuşakçanın nemli dokusundaki ²¹⁰Po aktivite konsantrasyonu (Bq kg⁻¹).

3.7. İSTATİSTİK TESTLER

Yumuşakça sınıfları arasında ²¹⁰Po biriktirme kapasitesi bakımından fark olup olmadığını ortaya koyabilmek için parametrik olmayan bir istatistik test olan Kruskal-Wallis testi, grupların ikili karşılaştırılması için de Dunn testi kullanılmıştır. Varyasyon katsayısı (CV-Coefficient of variation) standart sapmanın ortalamaya göre gösterdiği değişimin yüzde olarak ifadesidir. Po-210 standart sapmasının ortalamaya bölünüp 100 ile çarpılması sonucunda bulunmuştur.

4. BULGULAR

Bu tez çalışması kapsamında toplam 20 adet tür bulunmuş ve ^{210}Po analizine alınmıştır. Bu türlerin 8 tanesi bivalv, 5 tanesi sefalopod, 7 tanesi gastropod türüdür. Sefalopod türlerinden *Illex coindetii* türünün büyük ve küçük bireyleri ayrı ayrı analiz edilerek vücut büyüklüğünün sefalopodlarda ^{210}Po biyobirikimine etkisi ile ilgili bilgi elde edilmeye çalışılmıştır.

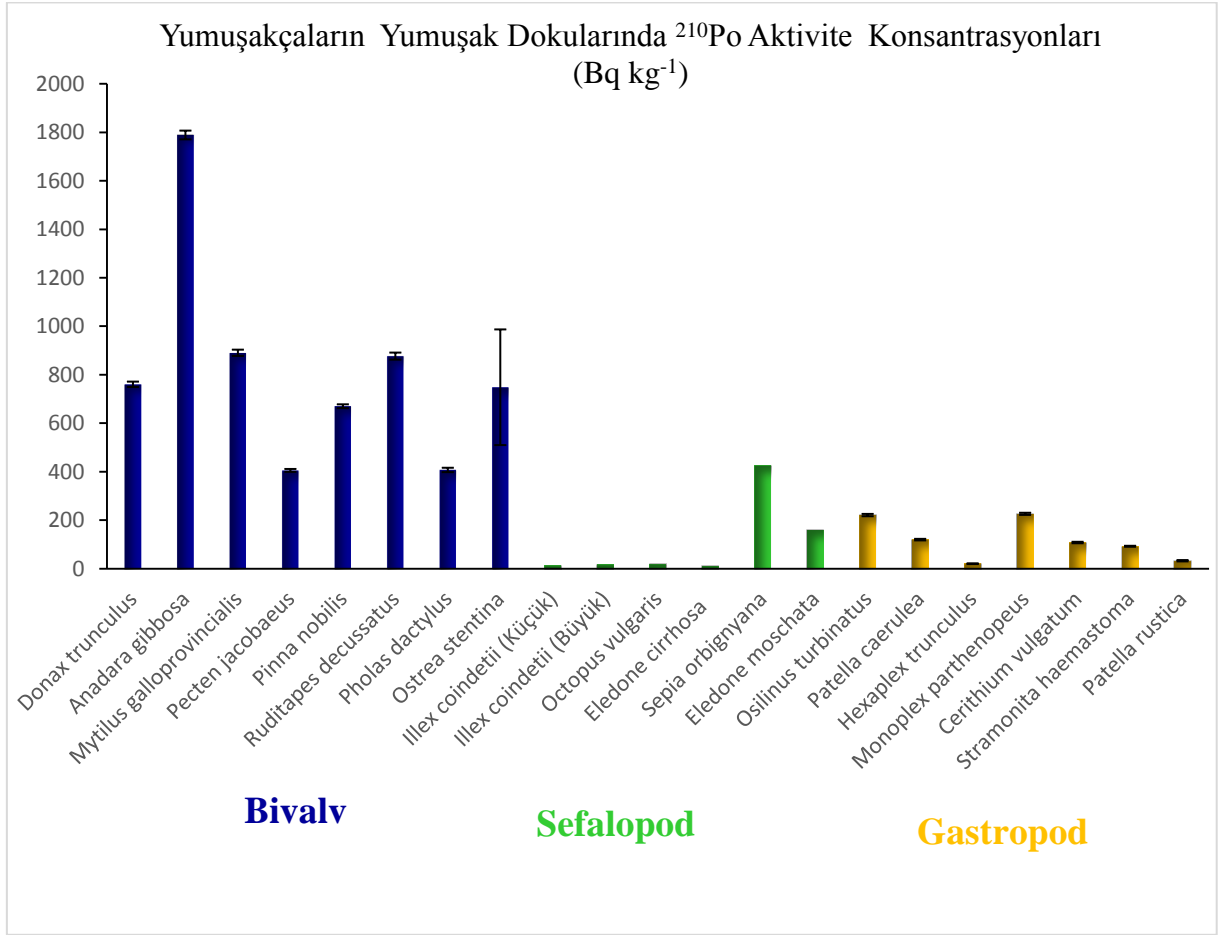
Gökçeada çevresinde fazla sayıda birey bulunması ve saha şartlarında toplanması nispeten kolay olan türlerden (*M. galloprovincialis* ve *C. vulgatum* vb.) bol miktarda bulunurken, genel olarak türlerin en az 3 adet bireyi bulunabilmiş ve analiz edilebilmiştir. Bununla birlikte *P. nobilis* ve *M. parthenopeus* sadece birer adet bulunabilmiştir. Gökçeada çevresinden toplanan yumuşakçaların bazı fiziksel özellikleri Tablo 4.1'de verilmiştir. Tüm türlerde bulunan ^{210}Po konsantrasyonları Tablo 4.2'de ve Şekil 4.1'de, bivalv yumuşak dokularındaki ^{210}Po konsantrasyonları Şekil 4.2'de, gastropod yumuşak dokularındaki ^{210}Po konsantrasyonları Şekil 4.3'de, sefalopodların tüm vücutta bulunan ^{210}Po konsantrasyonları Şekil 4.4'te ve sefalopod sınıfına ait türlerdeki doku bazında ^{210}Po konsantrasyonları Şekil 4.5'te verilmiştir.

Tablo 4.1: Yumuşakça örneklerinin bazı fiziksel özellikleri.

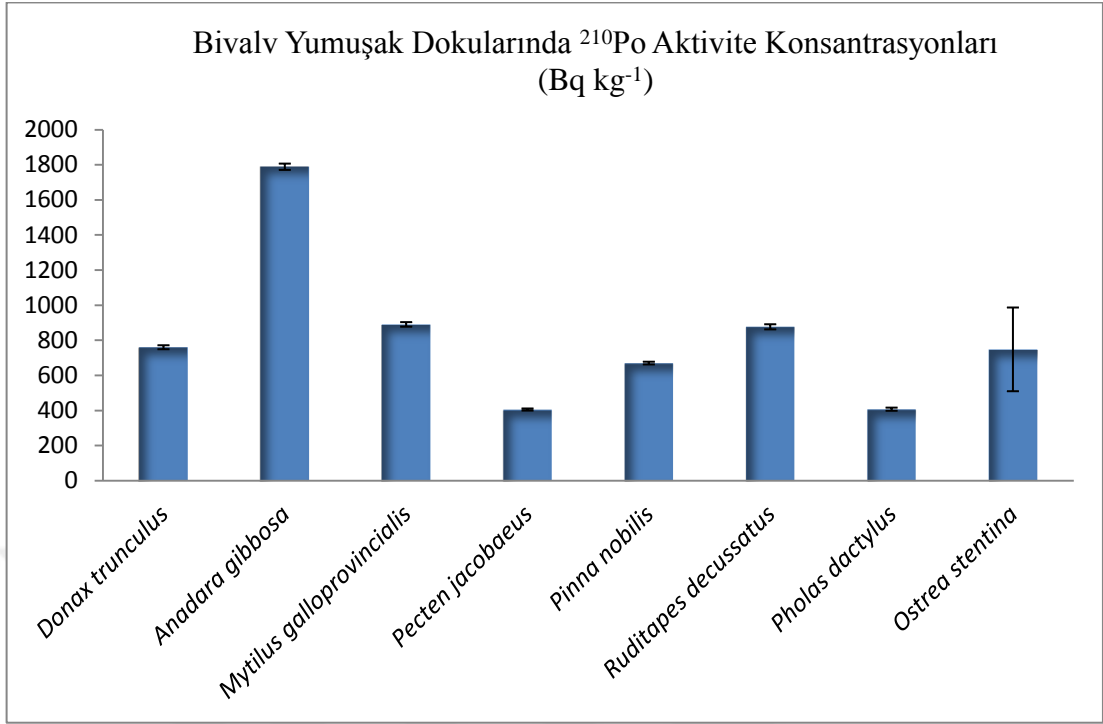
Sınıf Adı	Tür Adı	Adet	Boy Aralığı (cm)	Ortalama Boy (cm)	Ortalama En (cm)	Yaş Ağırlık (g)	Kuru Ağırlık (g)	Y.A/K.A (g)
Bivalv	<i>Donax trunculus</i>	22	0,8-1,4	1,1 ± 0,2	1,9 ± 0,2	8,4	0,08	4,8
	<i>Anadara gibbosa</i>	15	1,4-2,4	2,1 ± 0,3	2,2 ± 0,3	20,2	0,19	7,2
	<i>Mytilus galloprovincialis</i>	26	2,2-3,7	3,0 ± 0,5	1,8 ± 0,3	14,1	0,07	7,8
	<i>Pecten jacobaeus</i>	5	5,7-5,9	5,8 ± 0,1	5,92 ± 0,22	42,9	1,44	6,0
	<i>Pinna nobilis</i>	1	27	27,0	12,0	65,1	10,30	6,3
	<i>Ruditapes decussatus</i>	7	1,9-2,9	2,2 ± 0,3	3,1 ± 0,2	14,7	0,29	7,3
	<i>Pholas dactylus</i>	3	3,3-3,7	3,5 ± 0,2	1,2 ± 0,1	7,2	0,27	8,9
	<i>Ostrea stentina</i>	5	11-15	12,3 ± 1,4	8,6 ± 1,7	174	5,8	6,0
Sefalopod	<i>Illex coindetii</i> (Büyük)	4	-	-	-	266	15 ± 3	4,2
	<i>Illex coindetii</i> (Küçük)	4	-	-	-	48,8	2,9 ± 0,5	4,2
	<i>Octopus vulgaris</i>	3	-	-	-	634	137 ± 16	4,6
	<i>Eledone cirrhosa</i>	3	-	-	-	578	105 ± 15	4,3
	<i>Sepia orbignyana</i>	3	-	-	-	161	14,5 ± 2,1	4,0
	<i>Eledone moschata</i>	3	-	-	-	502	39 ± 8	4,3
Gastropod	<i>Osilinus turbinatus</i>	10	1,9-3,6	2,6 ± 0,5	2,0 ± 0,3	15,5	0,37	4,2
	<i>Patella caerulea</i>	10	3,0-4,8	3,8 ± 0,6	-	20,0	0,44	4,5
	<i>Hexaplex trunculus</i>	8	4,3-7,4	5,7 ± 1,1	3,5 ± 0,6	10,0	0,32	3,8
	<i>Monoplex parthenopeus</i>	1	-	-	-	91,9	22,40	4,1
	<i>Cerithium vulgatum</i>	23	2,6-3,4	3,2 ± 0,7	-	11,2	0,13	3,7
	<i>Stramonita haemastoma</i>	9	2,1-4,9	3,9 ± 0,6	2,4 ± 0,3	14,2	4,6	3,1
	<i>Patella rustica</i>	10	3,6-5,9	4,1 ± 0,7	-	18,6	0,51	5,0

Tablo 4.2: Yumuşakça türlerinin yumuşak dokularındaki ^{210}Po aktivite konsantrasyonları (Bq kg^{-1}).

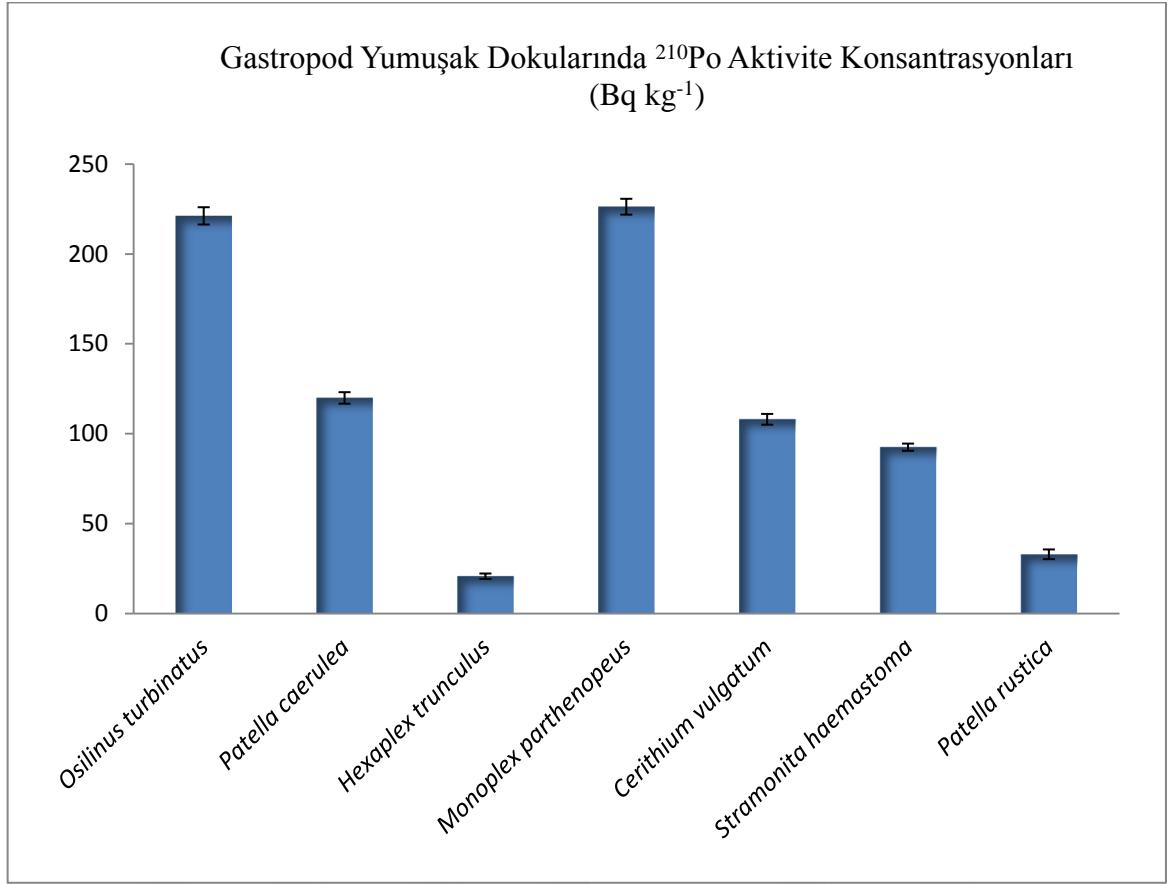
Sınıf Adı	Tür Adı		^{210}Po Aktivite Konsantrasyonu		
Bivalv	<i>Donax trunculus</i>		760,4 ± 11,2		
	<i>Anadara gibbosa</i>		1788,9 ± 18,0		
	<i>Mytilus galloprovincialis</i>		890,4 ± 13,0		
	<i>Pecten jacobaeus</i>		405,4 ± 6,0		
	<i>Pinna nobilis</i>		670,1 ± 7,8		
	<i>Ruditapes decussatus</i>		876,7 ± 14,5		
	<i>Pholas dactylus</i>		407,3 ± 9,0		
	<i>Ostrea stentina</i>		748,3 ± 238,5		
Sefalopod	<i>Illex coindetti</i>	Küçük	Fileto	5,9 ± 0,8	13,3 ± 1,5
			İç Organlar	74,4 ± 29,4	
			Kafa + Tentakül	9,2 ± 1,2	
	<i>Illex coindetti</i>	Büyük	Fileto	2,5 ± 0,2	16,6 ± 4,2
			İç Organlar	74,9 ± 27,3	
			Kafa + Tentakül	2,5 ± 0,9	
	<i>Octopus vulgaris</i>		İç Organlar + Kafa	31,9 ± 15,1	17,9 ± 1,7
			Manto	9,4 ± 0,8	
			Tentakül	5,6 ± 1,2	
	<i>Eledone cirrhosa</i>		İç Organlar + Kafa	21,1 ± 8,9	11,7 ± 1,3
			Manto	7,2 ± 4,3	
			Tentakül	4,1 ± 1,4	
	<i>Sepia orbignyana</i>		İç Organlar	713,2 ± 10,3	425,0 ± 9,8
			Fileto	332,1 ± 8,0	
			Kafa	140,4 ± 4,5	
<i>Eledone moschata</i>		İç Organlar + Kafa	548,4 ± 9,6	160,7 ± 10,0	
		Manto	29,1 ± 2,1		
		Tentakül	16,4 ± 1,6		
Gastropod	<i>Osilinus turbinatus</i>		221,2 ± 4,8		
	<i>Patella caerulea</i>		119,9 ± 3,2		
	<i>Hexaplex trunculus</i>		20,7 ± 1,5		
	<i>Monoplex parthenopeus</i>		226,3 ± 4,4		
	<i>Cerithium vulgatum</i>		108,0 ± 3,0		
	<i>Stramonita haemastoma</i>		92,5 ± 2,0		
	<i>Patella rustica</i>		32,9 ± 2,7		



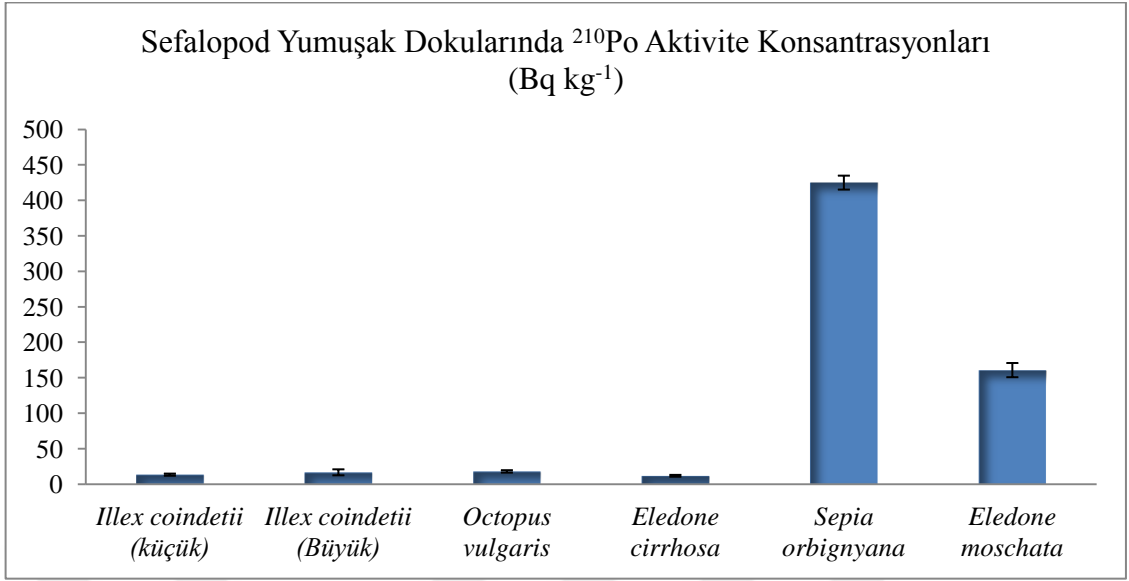
Şekil 4.1: Yumuşakçaların yumuşak dokularında bulunan ^{210}Po aktivite konsantrasyonları.



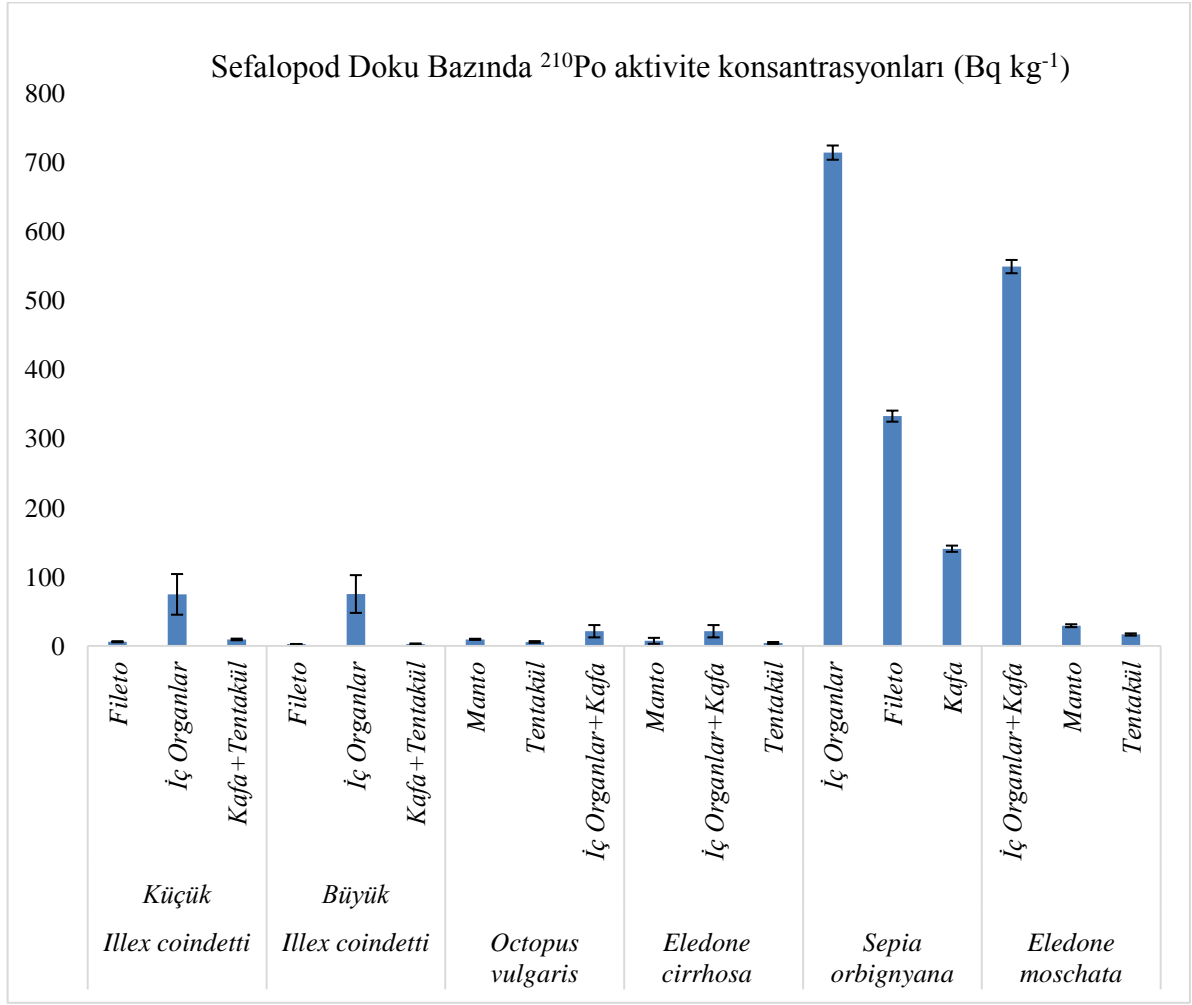
Şekil 4.2: Bivalv yumuşak dokularında bulunan ^{210}Po aktivite konsantrasyonları.



Şekil 4.3: Gastropod yumuşak dokularında bulunan ^{210}Po aktivite konsantrasyonları.



Şekil 4.4: Sefalopodların tüm vücutta bulunan ^{210}Po aktivite konsantrasyonları.



Şekil 4.5: Sefalopod sınıfına ait türlerdeki doku bazında hesaplanan ^{210}Po aktivite konsantrasyonları.

Toplam 20 yumuşakça türünde (*Illex coindetii* türünün küçüğü ile birlikte 21) ölçülen ^{210}Po konsantrasyonları $11,7$ ile 1789 Bq kg^{-1} arasında değişmektedir. Ortalaması $381,5 \text{ Bq kg}^{-1}$, standart sapması 445 Bq kg^{-1} olarak bulunmuştur. Ortalama ^{210}Po konsantrasyonları bivalvlerde $818 \pm 434 \text{ Bq kg}^{-1}$, sefalopodlarda $107 \pm 166 \text{ Bq kg}^{-1}$, gastropodlarda $117 \pm 81 \text{ Bq kg}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Bu şekilde yumuşakçalar ortalama ^{210}Po konsantrasyonları bakımından bivalv \gg gastropod $>$ sefalopod olarak sıralanmıştır. Po-210 ortanca değerleri ise bivalvlerde 755 Bq kg^{-1} , gastropodlarda 180 Bq kg^{-1} , sefalopodlarda ise $17,3 \text{ Bq kg}^{-1}$ olarak bulunmuştur.

Bivalv sınıfına ait türlerdeki ^{210}Po aktivite konsantrasyonlarına bakıldığında (Şekil 4.2) en yüksek değer kum midyesi *A. gibbosa* türünde bulunurken en düşük değer deniz tarağı *P. jacobaeus* türünde hesaplanmıştır. Gastropodlar arasında en yüksek ^{210}Po birikimi bir deniz salyangozu olan *M. Parthenopeus* türünde, en düşük ^{210}Po birikimi ise yine bir deniz salyangozu olan *Hexaplex trunculus* türünde bulunmuştur.

Sefalopodlar arasında ise Şekil 4.5'te görüldüğü gibi kalamar *I. coindetii* fiziksel olarak büyük ve küçük şeklinde ayrılıp; fileto (yenen kısım), iç organlar ve kafa şeklinde tek tek ölçümü yapıldıktan sonra küçük *I. coindetii* canlısının büyük olanına kıyasla üç ayrı dokusunda da daha fazla ^{210}Po biriktirdiği saptanmıştır.

Sefalopodlar içerisinde en yüksek ^{210}Po konsantrasyonuna mürekkep balığı (sübye) *S. orbignyana*'da raslanmıştır. Sefalopodlardan Şekil 4.5'te görüldüğü gibi ahtapot *O. vulgaris* türü de; iç organlar + kafa, manto ve tentakül olmak üzere 3 ayrı kısma ayrılarak ölçümü yapılmıştır. Ölçüm sonucu en yüksek miktarda ^{210}Po biriktiren kısım iç organlar + kafa iken en düşük miktarda ^{210}Po biriktiren kısım ise tentaküller olmuştur. Sefalopod örneklerinden bir başka tür olan mürekkep balığı *S. orbignyana* türü ise doku bazında incelendiğinde en yüksek ^{210}Po biriktiren iç organlar iken en düşük miktarda ^{210}Po biriktiren kısmı kafa olarak bulunmuştur.

Bir diğer sefalopod olan ahtapot *E. cirrhosa* türü de aynı şekilde iç organlar + kafa, manto ve tentakül olmak üzere 3 ayrı kısma ayrılarak ölçümü yapılmıştır. Ölçüm sonucuna bakıldığında (Şekil 4.5) en yüksek miktarda ^{210}Po biriktiren kısmı *O. vulgaris* türünde de olduğu gibi iç organlar + kafa kısmı iken en düşük miktarda ^{210}Po biriktiren kısmı tentaküller olarak bulunmuştur. *E. moschata* türünde ise en yüksek miktarda ^{210}Po biriktiren kısım iç organlar + kafa iken iken en düşük miktarda ^{210}Po biriktiren kısmı tentaküllerdir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada üç yumuşakça sınıfına ait 20 türde doğal bir radyonüklid olan ^{210}Po aktiviteleri ölçülmüş ve hangi türlerin bu radyonüklid için iyi bir biyoindikatör olabileceği araştırılmıştır. Bilindiği gibi bir türün biyoindikatör tür olarak adlandırılması için kolay ve bol bulunabilmesi, toplanmasının kolay ve ekonomik olması, kirleticilerin yüksek konsantrasyonlarına ve aşırı çevresel şartlara dayanıklı olması gerekmektedir. Bir türün ^{210}Po biyoindikatörü olabilmesi için ise en önemli şart bu radyonüklidi iyi biriktirmesi ve dokularında uzun süre tutabilmesidir. Bu çalışmada türler ilk önce dokularında buldukları ^{210}Po aktiviteleri bakımından incelenmiş ve daha sonra diğer biyoindikatör özellikleri de göz önüne alınarak ^{210}Po biyoindikatörü olma kapasiteleri bakımından bir değerlendirme yapılmıştır.

Üç farklı yumuşakça sınıfındaki ^{210}Po konsantrasyonları 11,7 ile 1789 Bq kg⁻¹ arasında bulunmuştur. Varyasyon katsayıları (% CV) % 112 olarak bulunmuştur. Böyle büyük bir varyasyon yumuşakça yumuşak dokularındaki ^{210}Po biyolojik birikiminin türler arasında önemli ölçüde farklı olabildiğini göstermiştir. Allometrik etkiler, taksonomik farklılıklar, beslenme şekilleri, dokulardaki makromolekül miktarları ve canlı büyüklüğü değişimi deniz organizmalarında ^{210}Po aktivitesini belirleyen parametrelerdir (Carvalho ve diğ., 2010). Bu bakımdan aynı bölgede yaşayan farklı türlerin ^{210}Po biriktirme kapasitelerinin farklı olabildiği diğer bazı çalışmalarda da gösterilmiştir (Carvalho, 2018).

Bu çalışmada Gökçeada bölgesinden toplanan bivalv türlerinin ^{210}Po 'u gastropod ve sefalopod türlerinden önemli derecede daha iyi biriktirdiği gösterilmiştir (Kruskal Wallis; p<0,05). Gastropodlar ile sefalopodların yumuşak dokularındaki ^{210}Po konsantrasyonları ise birbirine yakın bulunmuştur (Dunn testi; p>0,05). Bivalvler, gastropodlar ve sefalopodlar ile karşılaştırıldığında bivalvlerde ^{210}Po 'nun önemli derecede daha yüksek miktarda birikmiş olması temel olarak beslenme şekli ile ilgilidir. Bivalvler suyu filtre ederek beslenen (filter feeders) organizmalardır. Kısa sürede büyük miktarda mikroalg tüketirler. Örneğin ergin boyda bir *M. galloprovincialis* günde 40-50 L deniz suyu süzerek bu sudaki mikroalgleri tüketir (Angelo ve diğ., 2007). Biyojenik mikropartiküllerin ve deniz suyunda bulunan fitoplanktonun bolluğu, bivalvler gibi suyu filtre ederek beslenen organizmalarda ^{210}Po

birikimini arttırmaktadır. Bunun nedeni fitoplankton ve zooplankton türlerinin yüksek konsantrasyonda ^{210}Po biriktirmesidir. Po-210 besin zincirlerini kimi basamaklarında artan konsantrasyonda üst basamaklara ilerlediği (biyomagnifikasyon) gösterilmekle birlikte genel olarak besin zincirinin üst tabakalarındaki ^{210}Po aktivitesi alt tabakalara göre daha azdır (biyoseyrelme-biodilution) (Carvalho ve diğ., 2010). Bu çalışmada da besin zincirinin üst tabakasında bulunan sefalopodlarda daha alt tabakada bulunan bivalvlere oranla daha az ^{210}Po bulunması biyoseyrelmeyi doğrulamaktadır. Bivalv-gastropod-sefalopod üç basamaklı besin zinciri ele alındığında net bir şekilde ^{210}Po biyoseyrelmesi olduğu görülmektedir. Çünkü ^{210}Po aktiviteleri ortanca değerleri ele alındığında bivalv gastropoda oranla yaklaşık 4 kat, gastropod da sefalopoda oranla yaklaşık 10 kat daha yüksektir.

Filtre ederek beslenen bazı türlerde ^{210}Po 'un asimilasyon (özümleme) veriminin yüksek olduğu ve vücuttan atılım hızı ve oranının da düşük olduğu gösterilmiştir (Fowler, 2011). Bivalv türlerinin yumuşak dokularında genellikle tükettikleri mikroalgelere oranlara daha yüksek ^{210}Po bulunması bivalvlerde ^{210}Po atılımının mikroalgelere oranla daha yavaş olması ile de açıklanabilmektedir. Bu tez çalışmasına benzer şekilde bivalvlerde gastropod ile karşılaştırıldığında daha yüksek ^{210}Po aktivitesi olduğu başka çalışmalarda da bildirilmiştir (Uddin ve Behbehani, 2014). Diğer bir çalışmada kabuklu yumuşakçaların kalamarlara ve diğer yumuşakça olmayan taksonlara kıyasla daha yüksek ^{210}Po aktivitesine sahip olduğu rapor edilmiştir (Pearson ve diğ., 2015).

Bu tez çalışmasında toplanan tüm türler birbirine yakın lokasyonlardan toplandığından buldukları sudaki ^{210}Po konsantrasyonunun birbirinden çok farklı olabileceği düşünülmemektedir. Ayrıca denizel organizmalarda ^{210}Po biriktirmenin başlıca yolunun (%97-99) besinle alım olduğu bilindiğinden sudan çözünmüş polonyum alımı ihmal edilebilecek düzeydedir. Bu nedenle bu çalışmada farklı türlerde bulunan ^{210}Po aktiviteleri canlıların beslenme şekli, beslenme habitatu, metabolizma hızı ve ^{210}Po 'un bağlanabileceği makromoleküllerinin bolluğu ile açıklanabilir.

Bu çalışmada ele alınan bivalv türlerinin hepsi filtre ederek beslenen türler iken, ele alınan bazı gastropodlar da filtre ederek beslenmektedir. Filtre ederek beslenmenin ^{210}Po biyobirikimini desteklediği sadece bivalvlerde değil filtre ederek beslenen gastropodlarda da gözlenmektedir (Tablo 3.1, Şekil 4.3). Sefalopodlarda ^{210}Po aktivitesinin bivalvlere ve filtre ederek beslenen gastropodlara göre daha düşük olması ise onların predatör beslenme şekli ile

açıklanabilmektedir. Bu çalışmada filtre ederek beslenen türler ^{210}Po konsantrasyonu nispeten yüksek olan mikroalgleri tüketirken, predatör türler midye, istiridye, karides ve küçük balıkları tüketmektedir. Bu avları çoğu zaman kabukları ile birlikte tüketmektedirler. Po-210 ise yumuşak dokularda birikme eğiliminde olduğundan predatör türler bünyelerine yüksek miktarda ^{210}Po almazlar. Ayrıca, sefalopodlarda ^{210}Po atılımı ile ilgili çalışmalar yapılmamış olmasına karşın bu türlerde ^{210}Po atılımının da bivalvlerdeki ^{210}Po atılımından daha hızlı olduğu düşünülmektedir ki bu da ^{210}Po birikiminin neden predatör türlerde daha düşük olduğunu açıklamaktadır.

Bu tez çalışmasının sonuçlarına göre istisna olarak sefalopodlardan sübye *S. orbignyana* yüksek miktarda (bivalvlere yakın konsantrasyonlarda) ^{210}Po biriktirmiştir. Bunun sebebi; bu canlının dipte yaşayan canlılarla beslenmesidir. Diğer çalışılan sefalopodlardan farklı olarak *S. orbignyana* atıklar bakımından zengin kumlu-çamurlu çökelti üzerinde beslenir. Balık yerine daha küçük krustaseleri tüketirler. Krustaseler balıklardan daha yüksek ^{210}Po aktivitesine sahip olduklarından, bu tercihin *S. orbignyana*'da ^{210}Po 'un daha yüksek miktarda birikmesine neden olmuş olabileceği düşünülmektedir.

Bivalvlerdeki ^{210}Po aktivitesi vücut büyüklüğüne, mevsime, coğrafi lokasyona, beslenme şekli ve habitatına göre değişir ve genel olarak 30 ile 1000 Bq kg⁻¹ arasındadır (Stepnowski ve Skwarzec, 2000; Khan ve diğ., 2014; Kılıç ve diğ., 2014). Bivalvlerdeki yüksek ^{210}Po aktivitesi bazı çalışmalarda rapor edilmiştir. Örneğin deniz tarağı *Chlamys varia*'nın yumuşak dokularında ^{210}Po aktivitesi 1181 ± 29 Bq kg⁻¹ olarak rapor edilmiştir (Bustamante ve diğ., 2002). Bu tez çalışmasında ise bir kum midyesi olan *A. gibbosa*'nın yumuşak dokularında oldukça yüksek ^{210}Po aktivitesi (1788,9 ± 11,2 Bq kg⁻¹) olduğu bulunmuştur. Daha önce ^{210}Po biriktiriciliği herhangi bir çalışmada ele alınmamış olan bu türün bölgede ve dünyada bulunabildiği başka bölgelerde ^{210}Po biyoindikatörü olarak kullanılabileceği düşünülmektedir.

Sübyenin (*S. orbignyana*) dokularında nispeten yüksek ^{210}Po bulundurması (sefalopodlar içinde en yüksek), Gökçeada'da sonbahar aylarında bolca bulunabilmesi ve toplanıp analiz edilmesinin kolay olması gibi nedenlerle ^{210}Po için biyoindikatör olarak kullanılabilir. Fakat her ne kadar geniş coğrafik alanlara yayılmasa da tam olarak belirli bir yeri temsil etmeyen bir yaşam sürdürdüğünden (bivalvler gibi sesil, sedenter değil) biyoindikatör özelliği bivalvlere göre daha azdır.

Po-210 yıllık efektif doz değeri, düşük ^{210}Po aktiviteleri nedeniyle gastropod ve sefalopodlarda hesaplanmamış sadece bivalvlerde hesaplanmıştır. Yapılan doz hesaplarına göre 7 kg bivalv (nemli yumuşak doku) tüketilmesi ile yıllık efektif doz limiti olan 1 mSv dozun aşılabileceği bulunmuştur. Bu değer *A. gibbosa*'da en düşük (3,2 kg), *P. dactylus*'da en yüksektir (14,2 kg). Balık dışı deniz ürünü tüketimi Türkiye ortalaması yıllık 0,5 kg'dan az olduğu bilinmesine karşın (FAO, 2010) deniz ürünlerinin nispeten daha çok tüketildiği kıyı bölgelerinde yüksek bivalv tüketimi ile alınacak ^{210}Po dozunun yıllık müsaade edilen efektif doz değeri olan 1 mSv'e ulaşması olasıdır. Bu çalışmada bivalvlerde yüksek ^{210}Po aktivitesi gözlenmesine karşın insan sağlığı açısından riskli bir durum olmadığı düşünülmektedir. Bunun nedeni balık dışı deniz ürünü tüketiminin Türkiye'de ortalama yıllık 0,5 kg gibi çok düşük bir seviyede olmasıdır. Bu sonuç bize ayrıca, bir deniz organizmasının, bir kirletici açısından riskli olarak sınıflandırılması için hem o denizel türün insanlar tarafından bolca tüketilmesi hem de kirleticiyi yüksek konsantrasyonlarda biriktirmesi gerektiğini göstermektedir.

I. coindetii türü kalamarın hem küçük hem de büyük bireylerinde tentakül (kollar) manto ve iç organlarda ^{210}Po ölçülmüş ve aktiviteler arasında önemli bir fark olmadığı görülmüştür. Diğer taraftan *Eledone* cinsi ahtapotun iki türü *E. cirrhosa* ve *E. moschata*'nın tentakül, manto ve iç organlarında ^{210}Po aktivitesi karşılaştırıldığında *E. moschata*'nın iç organlarında diğer türe göre yaklaşık 10 kat daha fazla ^{210}Po bulunduğu görülmektedir. Gastropod türlerinden çin şapkası *P. caerulea* türünde *P. rustica*'ya oranla dört kat daha fazla ^{210}Po bulunmuştur. Bu bulgular aynı türün farklı boylarında benzer ^{210}Po aktivitesi gözlenirken aynı cinsin farklı türlerinde oldukça farklı ^{210}Po aktiviteleri olabildiğini göstermektedir. Bununla beraber bu çalışmada sınırlı sayıda türde farklı vücut büyüklüğü ve cins içi varyasyon ele alındığından bu konuda bir genelleme yapılması için başka benzer çalışmalara ihtiyaç vardır.

KAYNAKLAR

- Aarkrog, A., Baxter, M.S., Bettencourt, A.O., 1997, A comparison of doses from ^{137}Cs and ^{210}Po in marine food: a major international study, *Journal of Environment Radioactivity*, 34, 69-90.
- Aközcan, S., 2013, Levels of ^{210}Po in some commercial fish species consumed in the Aegean Sea coast of Turkey and the dose assessment to the coastal population, *Journal of Environment Radioactivity*, 118, 93-95.
- Aközcan, S., Uğur, Görgün, A., 2013, Variations of ^{210}Po and ^{210}Pb concentration in mussels (*Mytilus galloprovincialis*) from Didim and İzmir Bay (Turkish coast of Aegean Sea), *Marine Pollution Bulletin*, 68, 152-156.
- Alam, L., Mohamed, C.A.R., 2011, A mini review on bioaccumulation of ^{210}Po by marine organisms, *International Food Research Journal*, 18, 1-10.
- Alpbaz, A., Önen, M., Tekin, M., 1990a, Kabuklu (Klasis: Bivalvia) deniz organizmalarının doğal düşmanları, *Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi*, 7 (25), 26-28.
- Alpbaz, A., 1993, Kabuklu ve eklembacaklılar yetiştiriciliği, Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Yayınları No: 26, Ege Üniversitesi Basımevi, Bornova, İzmir, 317.
- Angelo, R.T., Cringan, M.S., Chamberlain, D.L., Stahl, A.J., Haslouer, S.G., Goodrich, C.A., 2007, Residual effects of lead and zinc mining on freshwater mussels in the Spring River Basin (Kansas, Missouri, and Oklahoma, USA), *Science of the Total Environment*, 384, 467-496.
- Ansell, A.D., 1983, The biology of the genus *Donax* sandy beaches as ecosystems (editörler: A. McLachlan ve T. Erasmus), *Junk, The Hague*, 607-635.
- Arslan, A., Çelik, C., Gönülalan, Z., Ateş, G., Kök, F., Kaya, A., 1997, Vakumlu ve vakumsuz aynalı sazan (*Cyprinus carpio* L.) pastırmalarının mikrobiyolojik ve kimyasal kalitesinin incelenmesi, *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 21, 23-29.
- Artüz, M.L., 1994, Türkiye ularında bulunan bazı yumuşakça (Mollusca) türleri, *Denizler Alemi, Popüler Bilim Dergisi*, 37, 20-21.
- Atay, D., 1997, Kabuklu su ürünleri ve üretim tekniği, *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları* No: 1478, Ankara.
- Ayas, D., Almış, M., Kaya, U.L., 2008, Mersin- Karaduvar bölgesinde bulunan *Patella* (Archaeogastropoda) türlerinin dağılımı ve morfometrik özellikleri, *Journal of Fisheries Sciences*, 2 (3), 570-575.

- Ayas, D., Kalay, M., Sangün, M.K., 2009, Mersin Körfezi'nden örneklenen yüzey suyu ve *Patella* türlerindeki (*Patella caerulea*, *Patella rustica*) Cr, Cd ve Pb düzeylerinin belirlenmesi. *Ekoloji*, 18 (70), 32-37.
- Bacon, M.P., Spencer, D.W., Brewer, P.G., 1976, $^{210}\text{Pb}/^{226}\text{Ra}$ and $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ disequilibria in seawater and suspended particulate matter, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 32, 227-296.
- Barnabe, G., 1985, Traditional Mussel Culture, *Aquaculture*, 285-34.
- Baskaran, M., 2011, Po-210 and Pb-210 as atmospheric tracers and global atmospheric ^{210}Pb fallout: a review, *Journal of Environment Radioactivity*, 102, 500-513.
- Baxter, M.S., 1996, Technologically enhanced radioactivity: An overview, *Journal of Environmental Radioactivity*, 32 (1-2), 3-17.
- Bayed, A., Guillou, J., 1985, Contribution a l'étude des populations du genre *Donax*: Ia population de *D. trunculus* L., (Mollusca, Bivalvia) de Mahdia (Maroc.), *Annales de l'Institut oceanographique*, 61 (2), 139-147.
- Beasley, T.M., Palmer, H.E., 1966, Lead-210 and polonium-210 in biological samples from *Alaska Science*, 152, 1062-1063.
- Belivermiş, M., Kılıç, Ö., Çotuk, Y., 2016, Assessment of metal concentrations in indigenous and caged mussels (*Mytilus galloprovincialis*) on entire Turkish coastline, *Chemosphere*, 144, 1980-1987.
- Bellan-Santini, D., Lacaze, J.C., Poizat, C., 1994, Les biocénoses marines et littorales de Méditerranée, *Muséum national d'histoire naturelle*.
- Bello, G., 2001, Dimorphic growth in male and female cuttlefish *Sepia orbignyana* (Cephalopoda: Sepiidae) from the Adriatic Sea, *Helgoland Marine Research*, 55, 124-127.
- Benson, N.U., Essien, J.P., Williams, A.B., Basse, D.E., 2007, Mercury accumulation in fishes from tropical aquatic ecosystems in the Niger Delta, Nigeria, *Current Science*, 92, 781-786.
- Bermudez, S.H., Gonzalez, J.A.J., Santos, J.L., Amigo, C.F.D., Aparicio, I., Mas, J.L., Alonso, E., 2018, Baseline activity concentration of ^{210}Po and ^{210}Pb and dose assessment in bivalve molluscs at the Andalusian coast, *Marine Pollution Bulletin*, 133, 711-716.
- Besada, V., Fumega, J., Vaamonde, A., 2002, Temporal trends of Cd, Cu, Hg, Pb and Zn in mussel (*Mytilus galloprovincialis*) from the Spanish North-Atlantic coast 1991-1999, *Science of the Total Environment*, 288, 239-253.
- Biçer, M., 2014, *Orta Karadeniz'deki mollusca faunası ve kataloglanması*, Yüksek Lisans Tezi, Ordu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Bilecik, N., 1989, The Culture of Mussel (in Turkish), Tarım Orman ve Köyişleri Bakanlığı Su Ürünleri Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Seri A, Yayın No 2, Bodrum.
- Boisson, F., Cotret, O., Fowler, S.W., 1998, Bioaccumulation and retention of lead in mussel *Mytilus galloprovincialis* following uptake from seawater, *Science of the Total Environment*, 222, 55-61.
- Boudouresque, C.F., Verlaque, M., 2002, Biological pollution in the Mediterranean Sea: invasive versus introduced macrophytes, *Marine Pollution Bulletin*, 44 (1), 32-38.
- Burger, J., Gochfeld, M., 2005, Heavy metals in commercial fish in New Jersey, *Environmental Research*, 99, 403-412.
- Bustamante, P., Germain, P., Leclerc, G., Miramand, P., 2002, Concentrations and distribution of ^{210}Po in the tissues of the scallop *Chlamys varia* and the mussel *Mytilus edulis* from the coasts of Charente-Maritime (France), *Marine Pollution Bulletin*, 44, 997-1002.
- Butler, P.A., 1985, Synoptic review of the literature on the southern oyster drill *Thais haemastoma floridana*, *NOAA Technial Report NMFS*, 35, 1-9.
- Cachia, C., Misfud, C., Sammut, P.M., 2004, The marine mollusca of the Maltese Island. Part four. The classes: Caudofoveata, Solenogastres, Bivalvia, Sephalopoda & Cephalopoda, *Backhuys Publishers*, Leiden, 270.
- Carvalho, F.P., 1988, Po-210 in marine organisms: A wide range of natural radiation dose domains, *Radiation Protection Dosimetry*, 24, 113-117.
- Carvalho, F.P., Fowler, S.W., 1993, An Experimental Study on the Bioaccumulation and Turnover of Polonium-210 and Lead-210 in Marine Shrimp, *Marine Ecology Progress Series*, 102, 125-133.
- Carvalho, F.P., Fowler, S.W., 1994, A double-tracer technique to determine the relative importance of water and food as sources of polonium-210 in marine prawns and fish, *Marine Ecology Progress Series*, 103, 251-264.
- Carvalho, F.P., 1995, ^{210}Po and ^{210}Pb intake by the Portuguese population: the contribution of seafood in the dietary intake of ^{210}Po and ^{210}Pb , *Health Physics*, 69, 469-480.
- Carvalho, F.P., Oliveira, J.M., 2007, Alpha emitters from uranium mining in the environment, *Journal of Radioanalytical Nuclear Chemistry*, 274, 167-174.
- Carvalho, F.P., Joao, M.O., Alberto, G., Battle, J.V., 2010, Allometric relationships of ^{210}Po and ^{210}Pb and their application to environmental monitoring, *Marine Pollution Bulletin*, 60, 1734-1742.
- Carvalho, F.P., Oliveira, J.M., Malta, M., 2010a, Radionuclides in deep sea fish and other organisms from the North Atlantic Ocean, *ICES Journal of Marine Sciences*, 68 (2), 333-340.

- Carvalho, F.P., Oliveira, J.M., Alberto, G., Vives i Batlle, J., 2010b, Factors affecting ^{210}Po and ^{210}Pb concentration in mussels and implications for bio monitoring programmes, *Marine Pollution Bulletin*, 60, 1734-1742.
- Carvalho, F.P., 2011, Polonium (^{210}Po) and lead (^{210}Pb) in marine organisms and their transfer in marine food chains, *Journal of Environment Radioactivity*, 102, 462-472.
- Carvalho, F.P., 2018, Radionuclide concentration processes in marine organisms: a comprehensive review, *Journal of Environment Radioactivity*, 186, 124-130.
- Catsiki, V.A., Florou, H., 2006, Study on the behavior of the heavy metals Cu, Cr, Ni, Zn, Fe, Mn and ^{137}Cs in an estuarine ecosystem using *Mytilus galloprovincialis* as a bioindicator species: the case of Thermaikos gulf, Greece, *Journal of Environment Radioactivity*, 86 (1), 31-44.
- Charmasson, S., Germain, P., Leclerc, G., 1998, ^{210}Po as a tracer of variations of trophic input to the deep-sea benthic ecosystems: a study of the deep-sea amphipod *Eurythenes gryllus* from the tropical Atlantic. *Radiation Protection Dosimetry*, 75, 131-138.
- Chen, Q., Hou, X., Dahlgard, H., Nielsen, S.P., Aarkrog, A., 2001, A rapid method for the separation of ^{210}Po from ^{210}Pb by TIOA extraction, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 249, 587-593.
- Cherry, R.D., Shannon, L.V., 1974, The alpha radioactivity of marine organisms, *Atomic Energy Reviews, Vienna*, 12, 3-45.
- Cherry, R.D., Heyraud, M., 1981, Polonium-210 content of marine shrimp: variation with biological and environmental factors, *Marine Biology*, 65, 165-175.
- Chintiroglou, C., Antoniadou, C., Vafidis, D., Koutsoubas, D., 2005, A review on the biodiversity of hard substrate invertebrate communities in the Aegean Sea, *Mediterranean Marine Science*, 6 (2), 51-62.
- Connan, O., Germain, P., Solier, R., Gouret, G., 2007, Variations of ^{210}Po and ^{210}Pb in various marine organisms from Western English Channel: contribution of ^{210}Po to the radiation dose, *Journal of Environmental Radioactivity*, 97, 168-188.
- Curie, P., Slodowska-Curie, M., 1898, Sur une Nouvelle Substance Radio-active Contenu dans la Pechblende, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences, Paris*, 127-175.
- Çelik, U., 2004, Marine Edilmiş Akivades (*Tapes decussatus* L., 1758)'in Kimyasal Kompozisyonu ve Duygusal Analizi, *Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi*, 21 (3-4), 219-221.

- Çulha, M., Bat, L., Çulha, S.T., Gargacı, A., 2007, Sinop yarımadası (orta Karadeniz) sert substratlarında yer alan bazı mollusk türleri, Ulusal Su Günleri 2007, Antalya, *Türk Sucul Yaşam Dergisi*, 3-5 (5-8), 242-250.
- Dahlgaard, H., 1996, Polonium-210 in mussel and fish from the Baltic-North Sea Estuary, *Journal of Environment Radioactivity*, 32, 91-96.
- Da Ros, L., Nasci, C., Marigomez, I., Soto, M., 2000, Biomarkers and trace metals in the digestive gland of indigenous and transplanted mussels, *Mytilus galloprovincialis*, in Venice Lagoon, Italy. *Marine Environmental Research*, 50, 417-423.
- De Donno, A., Liaci, D., Bagordo, F., Lugoli, F., Gabutti, G., 2008, *Mytilus galloprovincialis* as a bioindicator of microbiological pollution of Coastal Waters, *Journal of Coastal Research*, 24 (1), 216-221.
- Della Santina, P., Sunni, C., Sartoni, G., Chelazzi, G., 1993, Food availability and diet composition of three coexisting Mediterranean limpets (*Patella spp.*), *Marine Biology*, 116 (1), 87-95.
- Demir, M., 2003, Shells of mollusca collected from the seas of Turkey, *Turkish Journal of Zoology*, TÜBİTAK, 27, 101-140.
- Deval, M.C., 2009, Growth and reproduction of the wedge clam (*Donax trunculus*) in the Sea of Marmara, Turkey, *Journal of Applied Ichthyology*, 25, 551-558.
- Duman, F., 2004, *Sapanca ve Abant Gölü su sediment ve sucul bitki örneklerinde ağır metal konsantrasyonlarının karşılaştırmalı olarak incelenmesi*, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı.
- Erdal H., 2008, *Çanakkale Çardak Lagünü'nde yetiştirilen akivades'in (Tapes decussatus, Linnaeus, 1758) büyüme performansının değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi.
- FAO, 2010, Statistics division Food Security Statistics, food consumption. Available from: <http://www.fao.org/fishery/statistics/globalconsumption/en>.
- Fisher, N.S., Burns, K.A., Cherry, R.D., Heyraud, M., 1983, Accumulation and cellular distribution of ²⁴¹Am, ²¹⁰Po, and ²¹⁰Pb in two marine algae, *Marine Ecology Progress Series*, 11, 233-237.
- Fonollosa, E., Peñalver, A., Aguilar, C., Borrull, F., 2017, Bioaccumulation of natural radionuclides in molluscs from the Ebro Delta area, *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 208-214.
- Fowler, S.W., 2011, Po-210 in the marine environment with emphasis on its behaviour with in the biosphere, *Journal of Environmental Radioactivity*, 102, 448-461.

- Francioni, E., Wagener, A. De L.R., Scofield, A.L., Depledge, M.H., Cavalier, B., 2007, Evaluation of the mussel *Perna perna* as a biomonitor of polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) exposure and effects, *Marine Pollution Bulletin*, 54 (3), 329-338.
- Fredj, G., Bellan-Santini, D., Meinardi, M., 1992, Etat des Connaissances Rur La Faune Marine Méditerranéenne, *Bulletin de l'Institut Oceanographique*, 9, 133-145.
- Germain, P., Leclerc, G., Simon, S., 1995, Transfer of polonium-210 into *M. edulis* (L.) and *Fucus vesiculosus* (L.) from the Baie de Seine (Channel coast of France), *Science of the Total Environment*, 164, 109-123.
- Godoy, J.M., Oliveira, M.S., Carvalho, Z.L., Almeida, C.E.B., Silva, E.R., Fernandes, F.C., Pitanga, F.L., Danelon, O.M., 2008, ^{210}Po concentration in *Perna perna* mussels: looking for radiation effects, *Journal of Environmental Radioactivity*, 99, 631-640.
- Göğüş A.K., Kolsarıcı, N., 1992, Su Ürünleri Teknolojisi, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayın No: 1243, Ankara, 261.
- Gönülal, O., Güreşen, S.O., 2014, A list of macrofauna on the continental shelf of Gökçeada Island (northern Aegean Sea) with a new record (*Gryphus vitreus* Born, 1778) (Brachiopoda, Rhynchonellata) for the Turkish seas, *Journal of Black Sea/Mediterranean Environment*, 20 (3), 228-252.
- Guogang, J., Belli, M., Blasi, M., Marchetti, A., Rosamilia, S., Sansone, U., 2001, Determination of ^{210}Pb and ^{210}Po in mineral and biological environmental samples, *Journal of Radioanal Nuclear Chemistry*, 247, 491-499.
- Güler, Ç., Çobanoğlu, Z., 1997, Kimyasallar ve Çevre. Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi, No: 50. Türkiye Cumhuriyeti Sağlık Bakanlığı, Sağlık Projesi Genel Koordinatörlüğü, TC. Sağlık Bakanlığı Temel Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Ankara, 27-49.
- Haas, D.W., Knorr, F., 1966, The young specialist looks at marine life. Burke Publishing Company Limited, London, 352.
- Hernandez, C.A., Asencio, M.D., Caravaca, A.M., Morell, E.S., Moreno, R.A., 2002, ^{137}Cs and ^{210}Po dose assessment from marine food in Cienfuegos Bay (Cuba), *Journal of Environmental Radioactivity*, 61, 203-211.
- Heyraud, M., Cherry, R.D., 1979, Polonium-210 and lead-210 in marine food chains, *Marine Biology*, 52 (3), 227-236.
- IAEA, 2003, International basic safety standards for protection against ionizing radiations and for the safety of radiation sources, Safety series no. 115, IAEA, Vienna.

- Ivanovich, M., Harmon, R.S., 1992, Uranium-Series Disequilibrium: Applications to Earth, Marine, and Environmental Sciences, 2nd Edition, *Oxford Science Publications*, Oxford, 910.
- Jeffree, R.A., Carvalho, F., Fowler, S.W., Farber-Lorda, J., 1997, Mechanism for enhanced uptake of radionuclides by zooplankton in French Polynesian oligotrophic waters, *Environmental Science & Technology*, 31, 2584-2588.
- Jha, A.N., 2004, Genotoxicological studies in aquatic organisms: An Overview, *Mutation Research*, 552, 1-17.
- Jimoh, A.A., Clarke, E.O., Ndimele, P.E., Kumolu-Johnson, C.A., Adebayo, F.A., 2011, Concentrations of Heavy Metals in *Macrobrachium vollenhovenii* (Herklots, 1857) from Epe Lagoon, Lagos, Nigeria, *Research Journal of Environmental and Earth Sciences*, 3 (3), 197-202.
- Kalay, M., Canlı, M., 2000, Elimination of Essential (Cu, Zn) and Non-Essential (Cd, Pb) Metals from Tissues of Freshwater Fish *Tilapia zilli*, *Turkish Journal of Zoology*, 24, 429-436.
- Kamalı Uğur, A., 1999, *Samsun-Ordu Kıyı Şeridinde Deniz Kirliliğinin İncelenmesi ve Kirlilik Birikiminin Midye Örneğinde Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Karayücel, S., Karayücel, I., 1999, Growth, Production and Biomass In Raft Cultivated Blue Mussels (*Mytilus edulis L.*) In Two Scottish Sea Lochs, *The Israeli Journal of Aquaculture-Bamidgeh*, 5 (11), 65-73.
- Kauranen, P., Miettinen, J.K., 1970, Polonium and Radio Lead in some Aqueous Ecosystems in Finland, Helsinki University, Department Radiochemistry, *Annual Report*, 3446 (14), 27.
- Khan, M.F., Wesley, S.G., Rajan, M.P., 2014, Polonium-210 in marine mussels (bivalve molluscs) inhabiting the southern coast of India, *Journal of Environmental Radioactivity*, 138, 410-416.
- Kılıç, Ö., Çotuk, Y., 2011, Radioactivity concentrations in sediment and mussel of Bosphorus and Golden Horn, *Journal of Radioanalytical Nuclear Chemistry*, 289, 627-635.
- Kılıç, Ö., Belivermiş, M., Çotuk, Y., Topçuoğlu, S., 2014, Radioactivity concentrations in mussel (*Mytilus galloprovincialis*) of Turkish Sea coast and contribution of ^{210}Po to the radiation dose, *Marine Pollution Bulletin*, 80, 325-329.
- Kılıç, Ö., Belivermiş, M., Sezer, N., Kalaycı, G., 2018, Delineation of radionuclide bioaccumulation in horn İstanbul using bioindicator mussel passive monitoring and transplantation, *Nuclear Technology & Radiation Protection*, 33, 125-132.

- Kim, G., Hong, Y.L., Jang, J., Lee, I., Hwang, D.W., Yang, H.S., 2005, Evidence for anthropogenic ^{210}Po in the urban atmosphere of Seoul, Korea, *Environmental Science & Technology*, 39, 1519-1522.
- Kocataş, A., Bilecik, N., 1992, Ege Denizi ve Canlı Kaynakları, Su Ürünleri Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Bodrum.
- Kocataş, A., Ergen, Z., Mater, S., Özel, İ., Katağan, T., Koray, T., Önen, M., Kaya, M., Taşkavak, E., Mavili, S., 2000, *Türkiye Denizlerinin Biyolojik Çeşitliliği*, Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi, 17 (3-4), 223-230.
- Koral, H., Öztürk, H., Hanilçı, N., 2009, Tectonically induced coastal uplift mechanism of Gökçeada Island, northern Aegean Sea, Turkey, *Quaternary International*, 197 (1), 43-54.
- Kumar, S.P., Edward, J.K.P., 2009, Assessment of metal concentration in the sediment cores of Manakudy Estuary, South West Coast of India, *Indian Journal of Marine Sciences*, 38 (2), 235-248.
- Lau, S., Mohamed, M., Yen Chi, A., Su'ut, S., 1998, Accumulation of heavy metals in freshwater molluscs, *The Science of the Total Environment*, 214, 113-121.
- Martinez-Baena, F., Navarro, J., Albo-Puigserver, M., Palomera, I., Rosas-Luis, R., 2016, Feeding habits of the short-finned squid *Illex coindetii* in the western Mediterranean Sea using combined stomach content and isotopic analysis, *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 96 (6), 1235-1242.
- Masque, P., Sanchez-Cabeza, J.A., Bruach, J.M., Palacios, E., Canals, M., 2002, Balance and residence times of Pb-210 and Po-210 in surface waters of the Northwestern Mediterranean Sea, *Continental Shelf Research*, 22, 2127-2146.
- Mat Çatal, N.E., 2006, *Ege Bölgesi'nde en çok tüketilen balıklarda radyoaktif polonyum düzeyinin ve yıllık gıda dozuna katkısının araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Mauro, A., Arculeo, M., Parinello, N., 2003, Morphological and molecular tools in identifying the mediterranean limpets *Patella caerulea*, *Patella aspera*, *Patella rustica*, *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 295, 131-143.
- McDonald, P., Baxter, M.S., Scott, E.M., 1996, Technological enhancement of natural radionuclides in the marine environment, *Journal of Environment Radioactivity*, 32 (1-2), 67-90.
- Meli, M.A., Desideri, D., Roselli, C., Feduzi, L., 2008, Natural radioactivity in the mussel *Mytilus galloprovincialis* derived from the Central Adriatic Sea (Italy), *Journal of Toxicology and Environmental Health Part A*, 71, 1270-1278.

- Nasci, C., Da Ros, L., Campesan, G., Fossato, V.U., 1998, Assessment of the impact of chemical pollutants on mussel, *Mytilus galloprovincialis* from the Venice lagoon, Italy, *Marine Environmental Research*, 46 (1-5), 279-282.
- Orr, H.A., 1995, Somatic mutation favours the evolution of diploidy, *Genetics*, 139, 1441-1447.
- Osborne, R.V., 1963, Lead-210 and polonium-210 in natural water, *Science*, 134, 98-99.
- Othman, I., Al-Masri, 2007, Impact of phosphate industry on the environment a case study, *Applied Radiation and Isotopes*, 65, 131-141.
- Ovayolu, H., 1997, *Marine edilmiş hamsilerde depolama süresinde yağ asitleri değişimlerinin incelenmesi*, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Özden, Ö., Erkan, N., Deval, M.C., 2009, Trace mineral profiles of the bivalve species *Chamelea gallina* and *Donax trunculus*, *Food Chemistry*, 13, 222-226.
- Öztürk, B., 1998, Black Sea Biological Diversity ,Turkey, Black Sea Environmental Series, Vol:9, New York, 144.
- Öztürk, B., Ergen, Z., 1999, Saros Körfezi' nde (Kuzey Ege Denizi) dağılım gösteren *Patella* (Archeogastropoda) türleri, *Turkish Journal of Zoology*, 23 (2), 513-519.
- Parfenov, Y.D., 1974, Polonium-210 in the environment and in the human organism, *Atomic Energy Review.*, 12, 75-143.
- Pavlica, M., Podrug, M., Štambuk, A., Cvjetko, P., Klobučar, G.I.V., 2008, Seasonal variability in micronuclei induction in haemocytes of mussels along the Eastern Adriatic Coast, *Polish Journal of Environmental Studies*, 17, 765-771.
- Pearson, A.J., Gaw, S., Hermanspahn, N., Glover, C.N., 2015, Activity concentrations of Caesium-137 and Polonium-210 in seafood from fishing regions of New Zealand and the dose assessment for seafood consumers, *Journal of Environmental Radioactivity*, 30, 1-9.
- Peres, J.M., 1967, The Mediterranean benthos, *Oceanography and Marine Biology - An Annual Review*, 5, 449-533.
- Quetglas, A., Carbonell, A., Sánchez, 2000, Demersal continental shelf and upper slope cephalopod assemblages from the Balearic Sea (North-Western Mediterranean). Biological aspects of some deep-sea species, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 50 (6), 739-749.
- Richardson, C.A., Kennedy, H., Duarte, C.M., Kennedy, D.P., Proud, S.P., 1999, Age and growth of the fan mussel *Pinna nobilis* from south east Spanish Mediterranean seagrass (*Posidonia oceanica*) meadows, *Marine Biology*, 133, 205-212.

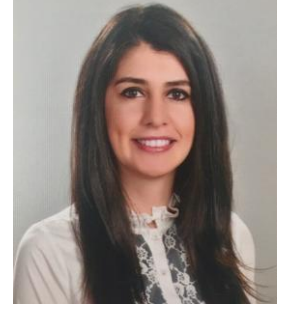
- Rios, C., Sanz, S., Saavedra, C., Pena, J.B., 2002, Allozyme variation in populations of scallops, *Pecten jacobaeus* (L.) and *P. maximus* (L.) (Bivalvia: Pectinidae), across the Almeria-Oran front, *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 267, 223-244.
- Rozmaric, M., Rogic, M., Benedic, L., Strok, M., Barisic, D., Ivsic, A.G., 2012, ^{210}Po and ^{210}Pb activity concentrations in *Mytilus galloprovincialis* from Croatian Adriatic coast with the related dose assessment to the coastal population, *Chemosphere*, 87, 1295-1300.
- Ryan, T.P., Dowdall, A.M., McGarry, A.T., Pollard, D., Cunningham, J.D., 1999, Po-210 in *Mytilus edulis* in the Irish marine environment, *Journal of Environment Radioactivity*, 43, 325-342.
- Saçan, S., 2004, *İzmir Körfezi yüzey sedimentlerinde ve kara midye (M. galloprovincialis L.1758) de ^{210}Pb ve ^{210}Po birikiminin periyodik araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Salman, S., 1992, Omurgasız Hayvanlar Biyolojisi. Atatürk Üniversitesi. Yayın No: 735, 193.
- Santina, P.D., Sonni, C., Sartoni, G., Chelazzi, G., 1993, Food availability and diet composition of three coexisting Mediterranean limpets (*Patella* spp.), *Marine Biology*, 116 (1), 87-95.
- Schell, W.R., Jokela, T., Eagle, R., 1973, Natural ^{210}Po and ^{210}Pb in a marine environment, *Radioactive Contamination of the Marine Environment*, IAEA, Vienna. 701-724.
- Shakhashiro, A., Sansone, U., Wershofen, H., Bollhöfer, A., Kim, C.K., Kim, C.S., Kis-Benedek, G., Korun, M., Moune, M., Lee, S.H., Tarjan, S., Al-Masri, M.S., 2011, The new IAEA reference material: IAEA-434 technologically enhanced naturally occurring radioactive materials (TENORM) in phosphogypsum, *Applied Radiation and Isotopes*, 69, 231-236.
- Shannon, L.V., Cherry, R.D., 1967, Polonium-210 in marine plankton, *Nature*, 216, 352-353.
- Shannon, L.V., Cherry, R.D., Orren, M.J., 1970, Polonium-210 and lead-210 in the marine environment, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 34, 701-711.
- Skwarzec, B., Ulatowski, J., Struminska, D.I., Borylo, A., 2001, Inhalation of ^{210}Po and ^{210}Pb from cigarette smoking in Poland, *Journal of Environmental Radioactivity*, 57, 221-230.
- Stepnowski, P., Skwarzec, B., 2000, A comparison of ^{210}Po accumulation in mollusks from the southern Baltic, the coast of Spitsbergen and Sasek Wielki Lake in Poland, *Journal of Environmental Radioactivity*, 49, 201-208.
- Stewart, G.M., Fowler, S.W., Fisher, N.S., 2008, The bioaccumulation of UeTh series radionuclides in marine organisms. In: Krishnaswami, S., Cochran, J.K. (Eds.), *UeTh Series Nuclides in Aquatic Systems*. Elsevier, Amsterdam, 269-305.

- Stricht, E.V.D., Kirchmann, R., 2001, Radioecology, radioactivity & ecosystems. Fortemps, Liege, 219-303.
- Tebble, N., 1966, British Bivalve Seashells. A Handbook for Identification, British Museum (Natural History), Alden Pres, Oxford, 212.
- Thébault, H., Rodriguez, Y., Baena, A.M., Andral, B., Barisic, D., Albaladejo, J.B., Bologa, A.S., Boudjenoun, R., Delfanti, R., Egorov, V.N., El Khoukhi, T., Florou, H., Kniewald, G., Noureddine, A., Patrascu, V., Pham, M.K., Scarpato, A., Stokozov, N.A., Topçuoglu, S., Warnau, M., 2008, Cs-137 baseline levels in the Mediterranean and Black Sea: a cross-basin survey of the CIESM Mediterranean Mussel Watch programme, *Marine Pollution Bulletin*, 57, 801-806.
- Topçuoğlu, S., 2001, Sources and distribution of anthropogenic radionuclides in Marmara Sea environment, *Turkish Journal of Marine Sciences*, 7, 143-152.
- Tramacere, F., Beccai, L., Kuba, M., Gozzi, A., Bifone, A., Mazzolai, B., 2013, The morphology and adhesion mechanism of *Octopus vulgaris* suckers, *PLOS ONE*, 8 (6), 65074.
- Uddin, S., Behbehani, M., 2014, Bioaccumulation of Po-210 in common gastropod and bivalve species from the northern Gulf, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 104, 132-135.
- Uğur, A., 1998, *Gökova Körfezi deniz sediment korlarında radyoaktif Pb, Po, Ra, Cs, Am ve Pu izotoplarının dağılımının incelenmesi, sedimentasyon hızı ve tarihlendirme çalışmalarında kullanılması*, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Uğur, A., Yener, G., Bassari, A., 2002, Trace metals and ^{210}Po (^{210}Pb) concentrations in mussels (*Mytilus galloprovincialis*) consumed at western Anatolia, *Applied Radiation and Isotopes*, 57, 565-571.
- Uğur, A., Ozden, B., Filizok, I., 2011, Spatial and temporal variability of ^{210}Po and ^{210}Pb in mussels (*Mytilus galloprovincialis*) at the Turkish coast of the Aegean Sea, *Chemosphere*, 83, 1102-1107.
- Ulutürk, T., 1987, Fish fauna, back-ground radioactivity of the Gökçeada marine environment, *Istanbul University Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1 (1), 95-119.
- UNSCEAR, 1988, United Nations Scientific Committee on the effects of atomic radiation. In: Ionizing Radiation: Sources and Biological Effects, 1988 Report to the General Assembly with Annex, United Nations, New York.
- UNSCEAR, 2010, Report: "Summary of low-dose radiation effects on health". The UNSCEAR 2010 Report comprises the main text of the 2010 report to the General Assembly (A/65/46) and a scientific report.

- Villa, M., Mosqueda, F., Hurtado, S., Mantero, J., Manjón, G., Periañez, R., Vaca, F., García-Tenorio, R., 2009, Contamination and restoration of an estuary affected by phosphogypsum releases, *Science of the Total Environment*, 408.
- Villela, I.V., De Oliveira, I.M., Da Silva, J., Henriques, J.A.P., 2006, DNA damage and repair in haemolymph cells of golden mussel (*Limnoperna fortunei*) exposed to environmental contaminants, *Mutation Research*, 605, 78-86.
- Watson, A.P., 1985, Polonium-210 and lead-210 in food and tobacco products: transfer parameters and normal exposure and dose, *Nuclear Safety*, 26, 179-191.
- Welch, J.J., 2010, The Island Rule and Deep-Sea Gastropods: Re-Examining the Evidence, *PLoS ONE*, 5 (1), 8776.
- Wildgust, M.A., McDonald, P., White, K.N., 1998, Temporal changes of ^{210}Po in temperate coastal waters, *Science of Total Environment*, 214, 1-10.
- Wildgust, M.A., McDonald, P., 2000, Assimilation of ^{210}Po by the *Mytilus edulis* from the alga *Isochrysis galbana*, *Marine Biology*, 136, 49-53.
- Woodhead, Gouvea, R.C., 1984, Lead-210 and Polonium-210 concentrations in some species of marine molluscs, *Science of the Total Environment*, 112, 263-267.
- Zeichen, M.M., Agnesi, S., Mariani, A., Maccaroni, A., Ardizzone, G.D., 2002, Biology and population dynamics of *Donax trunculus* L. (Bivalvia: Donacidae) in the South Adriatic Coast (Italy), *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 54, 971-982.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	EBRU EFE
Doğum Yeri	BAKIRKÖY
Doğum Tarihi	16.01.1991
Uyruğu	■T.C.□ Diğer:
Telefon	05514331145
E-Posta Adresi	ebru_efe34@hotmail.com
Web Adresi	



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
Fakülte	FEN FAKÜLTESİ
Bölümü	BİYOLOJİ
Mezuniyet Yılı	18.06.2013

Yüksek Lisans	
Üniversite	İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
Enstitü Adı	FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Anabilim Dalı	BİYOLOJİ ANABİLİM DALI
Programı	GENEL BİYOLOJİ PROGRAMI