



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



YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KAPIDAĞ YARIMADASI (MARMARA DENİZİ) BİYOTASINDA
POLONYUM 210 (²¹⁰PO) AKTİVİTESİNİN BELİRLENMESİ**

Eren NURAL

Biyoloji Anabilim Dalı

Hidrobiyoloji Programı

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Lütfiye ERYILMAZ**

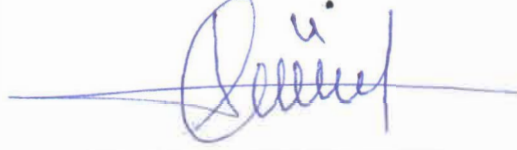
**II. DANIŞMAN
Prof. Dr. Önder KILIÇ**

Ağustos, 2019

İSTANBUL

Bu çalışma, 19.08.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Biyoloji Anabilim Dalı, Hidrobiyoloji Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi



Prof. Dr. Lütfiye ERYILMAZ(Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi



Prof. Dr. Murat BELİVERMİŞ
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi



Prof. Dr. Nagihan GÜLSOY
Marmara Üniversitesi
Fen ve Edebiyat Fakültesi



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 25296 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Lisans ve Yüksek Lisans öğrenimim boyunca bilgisini, desteğini ve tecrübelerini paylaşmaktan esirgemeyen danışmanım Prof. Dr. Lütfiye ERYILMAZ' a en içten sevgi ve saygılarımla teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek Lisans eğitimim ve laboratuvar çalışmalarım boyunca tecrübelerini aktaran, yol gösteren ve yardımlarını esirgemeyen 2. Danışmanım Prof. Dr. Önder KILIÇ' a en içten sevgi ve saygılarımla teşekkür ederim.

Arazi çalışmalarımda yardımda bulunan Dalyan ekibine, laboratuvar çalışmalarım boyunca yardımlarını esirgemeyen Narin SEZER ve Ercan SIKDOKUR' a ve tüm bu süreçte destek olan Orhun HİSLİ' ye teşekkür ederim.

Tüm hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen babam Eyüp NURAL' a, annem Fatma NURAL' a ve ablam Ece NURAL' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, tez projemi destekleyen İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkür ederim

Ağustos 2019

Eren NURAL

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ.....	viii
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	ix
ÖZET	x
SUMMARY	xii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR.....	3
2.1 DENİZEL ÇEVREDE DOĞAL RADYOAKTİVİTE	4
2.2 ²¹⁰ PO GENEL ÖZELLİKLERİ	5
2.3 DENİZEL ORGANİZMALARDA ²¹⁰ PO BİRİKİMİ	6
2.4 PO-210 İLE İLGİLİ ÜLKEMİZİN DENİZEL ÇEVRESİNDE YAPILAN BAŞLICA ÇALIŞMALAR.....	7
2.5 KAPIDAĞ YARIMADASI'NIN ÖZELLİKLERİ	11
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	12
3.1 ÇALIŞMA ALANI VE ÖRNEKLEME	12
3.2 ÖRNEKLERİN ANALİZE HAZIRLANMASI	14
3.2.1 Türlere Ait Bireylerin Diseksiyonu Yapılarak Analize Hazırlanması.....	14
3.2.2 Po-210 Analizinde Uygulanan Radyokimyasal İşlem.....	14
3.2.3 Polonyum Depozisyonu.....	16
3.2.4 Po-210 Ölçümünde Kullanılan Alfa Spektrometre Sistemi Özellikleri Ve Çalışma Prensibi	16
3.2.5 Po-210 Aktivite Konsantrasyonlarının Hesaplanması.....	17
3.2.6 Tüketilen Türlerde ²¹⁰ Po 'dan Dolayı Alınan Dozun Hesaplanması	18
4. BULGULAR.....	19
4.1 ÇALIŞILAN TÜRLERİN SİSTEMATİĞİ	19
4.2 KAPIDAĞ YARIMADASI BAZI BALIK VE OMURGASIZ TÜRLERİNDE ²¹⁰ PO AKTİVİTE KONSANTRASYONLARI	25
4.3 ELDE EDİLEN VERİLERİN İSTATİSTİKSEL ANALİZİ.....	33

5. TARTIŞMA VE SONUÇ	34
5.1 OMURGASIZLARDA BULUNAN ²¹⁰ PO AKTİVİTE KONSANTRASYONLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	34
5.2 OMURGALILARDA BULUNAN ²¹⁰ PO AKTİVİTE KONSANTRASYONLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	35
5.3 TÜKETİLEN BALIKLARDA İNSANLARIN ²¹⁰ PO'DAN DOLAYI ALABİLECEĞİ RADYASYON DOZ DEĞERLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	38
KAYNAKLAR.....	41
EKLER.....	47
ÖZGEÇMİŞ.....	48



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 3.1: Örnekleme yapılan alanın haritası.	13
Şekil 3.2: Elde edilen türlerin boy ölçümlerinin yapılması.....	13
Şekil 3.3: Milestone Start D mikrodalga sindirme sistemi.	15
Şekil 3.4: Isıtma tablasına alınmış örnekler.	15
Şekil 3.5: ^{209}Po izleyicisi ve ^{210}Po için alfa pik örneği.	17
Şekil 3.6: Ortec Maestro 32 veri analiz sistemi.	17
Şekil 4.1: Kapıdağ Yarımadası'nda örneklenen balıkların kas dokularındaki ^{210}Po aktivite konsantrasyonları (Bq kg^{-1}).	27
Şekil 4.2: Kapıdağ Yarımadası'nda örneklenen balıkların solungaçlarındaki ^{210}Po aktivite konsantrasyonu (Bq kg^{-1}).	28
Şekil 4.3: Kapıdağ Yarımadası'nda örneklenen balıkların sindirim sisteminde belirlenen ^{210}Po aktivite konsantrasyonları (Bq kg^{-1}).	30
Şekil 4.4: Kapıdağ Yarımadası'nda örneklenen balıkların karaciğerlerinde belirlenen ^{210}Po aktivite konsantrasyonları (Bq kg^{-1}).	31
Şekil 4.5: Kapıdağ Yarımadası'nda elde edilen balık türleri ve belirlenen ^{210}Po aktivite konsantrasyonları (Bq kg^{-1}).	32
Şekil 4.6: Kapıdağ Yarımadası'ndan örneklenen omurgasız canlılardaki ^{210}Po aktivite konsantrasyonları (Bq kg^{-1}).	33

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 4.1: Çalışmada toplanan ve ^{210}Po ölçümü yapılan türler.....	25
Tablo 4.2: Kapıdağ Yarımadası'ndan örneklenen balıkların kas dokusundaki ^{210}Po aktivite konsantrasyonları (Bq kg^{-1}).	26
Tablo 4.3: Kapıdağ Yarımadası'ndan örneklenen balıkların solungaçlarındaki ^{210}Po aktivite konsantrasyonları (Bq kg^{-1}).	27
Tablo 4.4: Kapıdağ Yarımadası'ndan örneklenen balıkların sindirim sistemindeki ^{210}Po aktivite konsantrasyonları (Bq kg^{-1}).	29
Tablo 4.5: Kapıdağ Yarımadası'ndan örneklenen balıkların karaciğerlerindeki ^{210}Po aktivite konsantrasyonları (Bq kg^{-1}).	30
Tablo 4.6: Kapıdağ Yarımadası'ndan örneklenen omurgasız canlılardaki ^{210}Po aktivite konsantrasyonları (Bq kg^{-1}).	32
Tablo 5.1: Farklı dünya ülkelerindeki omurgasız ve balık örneklerinin farklı dokularından elde edilen minimum ve maksimum ^{210}Po aktivite konsantrasyonları.....	38

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
----------	----------

%	: Yüzde
°C	: Santigrat derece
μ Sv	: Mikrosivert
Bq	: Bekerel
g	: Gram
kg	: Kilogram
km ²	: Kilometrekare
T _{1/2}	: Yarılanma Ömrü
μmol	: Mikromol
mTorr	: Militor
Po	: Polonyum
Pb	: Kurşun
Rn	: Radon
Th	: Toryum
Ra	: Radyum
U	: Uranyum
Bi	: Bizmut
Cr	: Krom
Ni	: Nikel
Cd	: Kadmiyum
Mn	: Manganez
Fe	: Demir
Zn	: Çinko
Cs	: Sezyum
K	: Potasyum

Kisaltmalar	Açıklama
-------------	----------

IAEA	: Uluslararası Atom Enerji Kurumu
LPO	: Lipid Peroksidasyonu

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KAPIDAĞ YARIMADASI (MARMARA DENİZİ) BİYOTASINDA POLONYUM 210 (²¹⁰PO) AKTİVİTESİNİN BELİRLENMESİ

Eren NURAL

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Biyoloji Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Lütfiye ERYILMAZ

II. Danışman : Prof. Dr. Önder KILIÇ

Bu tez çalışması kapsamında, Kapıdağ Yarımadası'nın bazı omurgalı ve omurgasız türlerinde ²¹⁰Po aktivite konsantrasyonları incelenmiştir. Yapılan bu çalışma ile Kapıdağ Yarımadası çevresi denizel türlerinde ²¹⁰Po aktivite seviyeleri ilk kez ortaya konulmuştur. Çalışmanın arazi süreci sonunda 14 omurgalı tür ve 9 omurgasız tür olmak üzere toplamda 23 farklı tür elde edilmiştir. Bu türler içerisinde balık örneklerinin kas, solungaç, sindirim sistemi ve karaciğer dokuları ayrı ayrı, diğer omurgasız canlıların ise yumuşak dokularının tamamı ²¹⁰Po ölçümleri için kullanılmıştır. Örneklerle uygulanan radyokimyasal işlemler sonrasında ²¹⁰Po aktiviteleri alfa spektrometresi (ORTEC Alpha Ensemble) kullanılarak ölçülmüştür. Yapılan ölçümler sonucunda tüm türler içerisinde en yüksek ²¹⁰Po aktivitesi hamsi balığının (*Engraulis encrasicolus*) sindirim sisteminde 4450 ± 32 Bq kg⁻¹ olarak, en düşük ²¹⁰Po aktivitesi ise dikenli vatoz balığının (*Raja clavata*) kas dokusunda $1,0 \pm 0,6$ Bq kg⁻¹ olarak bulunmuştur. Elde edilen veriler doğrultusunda ²¹⁰Po birikiminin farklı türler ve türlerin farklı dokuları bakımından değerlendirmesi yapılarak literatürdeki diğer veriler ile karşılaştırılmıştır. Buna göre çalışma alanında bulunan aktivite konsantrasyonlarının literatürde yayınlanmış değerler aralığında yer aldığı görülmüştür. Yapılan istatistik analizi sonucunda ²¹⁰Po birikimi bakımından dokular arasında anlamlı ($P < 0,05$) farklar belirlenmiştir. Dokular içerisinde en yüksek aktivite sindirim sisteminde ve karaciğerde gözlenmiştir. Tüketilen balıklarda doz hesabı yapılarak insanların balık tüketimi ile maruz kaldıkları ²¹⁰Po doz değerleri belirlenmiştir. Çalışılan türler arasında hamsi (*E. encrasicolus*) tüketiminin insanlarda ²¹⁰Po kaynaklı en yüksek radyasyon dozuna

neden olduğu bulunmuştur. Yapılan çalışma ile elde edilen veriler bu bölge için ilk olup yapılacak çalışmalar için referans niteliği taşımaktadır.

Ağustos 2019, 61 sayfa.

Anahtar kelimeler: Po-210, Balık, Kapıdağ Yarımadası, Marmara Denizi



SUMMARY

M.Sc. THESIS

DETERMINATION OF POLONIUM 210 (²¹⁰PO) ACTIVITY IN BIOTA OF KAPIDAG PENINSULA (SEA OF MARMARA)

Eren NURAL

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Sciences

Department of Biology

Supervisor : Prof. Dr. L t fiye ERYILMAZ

Co-Supervisor : Prof. Dr.  nder KILI 

In the present study, the activity concentrations of ²¹⁰Po were investigated in some vertebrate and invertebrate species of Kapıda  Peninsula. This study provides that the activity levels of ²¹⁰Po of Kapıda  Peninsula were revealed for the first time. A total of 23 species (14 vertebrate and 9 invertebrate) were examined. Muscle, gill, digestive system and liver tissues of fish specimen and total soft tissues of select invertebrates were used for the measurements. After the radiochemical procedures applied to the samples, ²¹⁰Po activities were measured using an alpha spectrometer (ORTEC Alpha Ensemble). As a result of the measurements, the highest ²¹⁰Po activity was found to be $4450 \pm 32 \text{ Bq kg}^{-1}$ in the digestive system of anchovy (*Engraulis encrasicolus*) and the lowest ²¹⁰Po activity was found to be $1,0 \pm 0,6 \text{ Bq kg}^{-1}$ in the muscle tissue of spiny stingray fish (*Raja clavata*). According to the obtained data, ²¹⁰Po accumulation was evaluated in terms of select species and different tissues of the species and compared with other data in the literature. Accordingly, the activity concentrations in the study area were found to be within the range of published values in the literature. As a result of statistical analysis, significant differences ($P < 0.05$) were found between tissues in terms of ²¹⁰Po accumulation. The highest activity was observed in the digestive system and liver tissue. Po-210 radiation dose due to consumption of fish by human was calculated. The highest dose of ²¹⁰Po was

calculated for anchovy (*E. encrasicolus*). The data obtained from this study are the first for this region and serve as baseline data for further studies.

August 2019, 61 pages.

Keywords: Po-210, Fish, Kapıdağ Peninsula, Sea of Marmara



1. GİRİŞ

Dünyanın varoluşundan itibaren doğada farklı konsantrasyonlarda ve sayıda radyonüklidler bulunmaktadır. Doğal olarak bulunan bu radyonüklidlerin önemli bir bölümünü radyoaktif serilerde bulunan bozunma ürünleri oluşturmaktadır. Dünyada uranyum, toryum, aktinyum ve neptünyum olmak üzere dört radyoaktif seri bulunmaktadır. Bu serilerde yer alan bazı radyonüklidler sahip oldukları fiziko-kimyasal özelliklerinden dolayı önem arz etmektedir. Uranyum serisi içerisinde bulunan ^{210}Po 5,30 MeV'lik enerjisi, alfa partikülü yayması, yumuşak dokuda birikmesi ve partikül reaktif özellikte olması açısından önem arz eden radyonüklidlerden biridir. Çeşitli alanlarda fosil yakıtların ve fosfatlı gübrelerin kullanılması gibi insan etkinlikleri neticesinde yaşadığımız ortamda artışı söz konusudur. Bu artış denizel ortamda hem kuru ve yaş atmosferik birikim ile hem de çeşitli deşarjlarla gerçekleşmektedir. Deniz ekosisteminde bulunan ^{210}Po su, organizma ve sedimentte farklı düzeylerde bulunmaktadır. Beslenmek için kullanılan deniz canlıları çevrede bulunan ^{210}Po 'un insanlara geçişinde rol oynar. İnsanların deniz ürünleri tüketimi nedeniyle aldığı radyasyon dozunun büyük çoğunluğu (%70) ^{210}Po 'dan kaynaklandığından bu radyonüklidin deniz canlılarında analiz edilmesi önem arz etmektedir (Kılıç ve diğ., 2014; Kılıç ve diğ., 2018). Çalışmada Kapıdağ Yarımadası (Marmara Denizi) omurgalı ve omurgasız türlerinde (bazı teleost ve crustacea türleri) ^{210}Po aktivite konsantrasyonlarının ve tüketilen organizmalarda ^{210}Po 'dan dolayı alınan dozun belirlenmesi hedeflenmiştir. Tüm örneklemeler Kapıdağ Yarımadası'nın Şahinburgaz bölgesinde gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma ^{210}Po aktivite konsantrasyonları ve ^{210}Po 'dan dolayı alınan doz üzerine Kapıdağ Yarımadası'nda yapılan ilk çalışmadır.

Tezin “Genel Kısımlar” bölümünde denizlerde doğal radyoaktivite ve bunun içerisinde ^{210}Po 'un özellikleri, önemi ve denizel organizmalardaki birikimi hakkında bilgiler verilmiştir. Ayrıca, çalışma alanı olan Kapıdağ Yarımadası ile ilgili bilgilendirme yapılarak daha önce ülkemizde deniz canlılarında ^{210}Po biyobirikimi ile ilgili yapılan çalışmalar söz edilmiştir.

“Malzeme ve Yöntem” kısmında örnekleme işlemleri ve alt başlıklar şeklinde ^{210}Po aktivitelerinin belirlenmesinde kullanılan yöntemden bahsedilmiştir.

“Bulgular” bölümünde elde edilen canlıların sistematikleri, balık türlerinde kas, sindirim sistemi, karaciğer ve solungaçlarında belirlenen ^{210}Po konsantrasyonları ve omurgasız canlılarda belirlenen ^{210}Po konsantrasyonları verilmiştir.

“Tartışma ve Sonuç” bölümünde elde edilen veriler ayrı ayrı ele alınarak değerlendirilmiş ve daha önce yapılan benzer çalışmalar ile karşılaştırılıp çıkarımlarda bulunulmuştur.



2. GENEL KISIMLAR

Deniz ürünleri dünyamızın oluşumundan beri canlıların başlıca beslenme gereksinimlerini karşılamada büyük bir yer tutmaktadır. Yaklaşık olarak dünya üzerinde yaşayan insanların üçte biri başlıca besin kaynaklarını denizlerden sağlamaktadır (Huxley, 1997). Son zamanlarda giderek artan dünya nüfusuna karşın beslenme gereksinimlerini gidermek için deniz ve su ürünlerinden alınan verimin artırılması amacı ile yapılan çalışmaların sayısı giderek artmaktadır. Bunun başlıca nedeni ise su ürünleri besin değerlerinin oldukça yüksek olmasıdır. Başlıca su ürünleri besin kaynaklarını balıklar ve omurgasız deniz canlıları oluşturmaktadır.

Ülkemizde kişi başına balık tüketimi Karadeniz, Marmara, Ege ve Akdeniz kıyılarına sahip olmasına karşın yıllık balık tüketimi 6,14 kg olarak hesaplanmıştır. Bu miktar Avrupa (25 kg) ve dünya ortalamasının çok altındadır. Yunanistan'da 12 kg, Fransa'da 28 kg, kuzey ülkeleri ve Japonya gibi ülkelerde 80 kg'a kadar çıkmaktadır (TÜİK, 2019). İnsanların sağlıklı beslenebilmesi için protein gereksiniminin en az 1/3'ünün hayvansal kaynaklı olması gerekmektedir. Ayrıca balık ve diğer su ürünleri diğer hayvansal gıdalara göre protein ve çeşitli vitaminler bakımından oldukça zengindir (Karadeniz, 2004).

Beslenme dışında biyolojik ve kimyasal döngülerin devamlılığını sağlamada görev alan denizler, ayrıca ulaşım ve turizm gibi iktisadi ve hayati etkinliklere katkı sağlamaktadır. Denizlerin nüfus artışına paralel olarak artan endüstriyel gelişim ile birlikte kirlenme sorunu görülmeye başlanmıştır. Nüfus yoğunluğu fazla olan bölgelerde yetersiz planlanmış atık su noktaları, petrol rafinerileri, termik santraller gibi endüstri kuruluşlarında bulunan eski teknoloji deşarj sistemleri, ara ürün olarak kullanılan kimyasallar, boyalar, dezenfektanlar, ilaçlar ve diğer pek çok imalat sanayi yan ürünleri denizler için önemli kirlilik kaynaklarıdır (Çatal, 2006). Bu maddeler, dikkatli kullanılmadıkları ve gerekli denetimleri yapılmadığı takdirde denizel ortamlarda önemli boyutlarda kirlenmeye sebep olabilmektedirler. Bütün bunların yanı sıra gemi kazaları ve petrol tesislerindeki sızıntılar da önemli kirlenme sebepleridir. Son yıllarda pek çok ülke kıyı bölgelerinin kirliliğe karşı korunmasına artan bir özen göstermekte ve bu konu ile ilgili çalışmalar önemli ölçüde artmaktadır. Bu nedenle denizel ekosistemlerin kirlilik seviyelerinin çok yönlü olarak değerlendirilmesi çok önemlidir.

Doğal radyoaktivitedeki hızlı artış, UNSCEAR (Atomik Radyasyon Etkilerini İnceleyen Birleşmiş Milletler Bilim Komitesi) tarafından halk için maruz kalınan yıllık ortalama doz

olarak saptanmıştır. Maruz kalınan yıllık ortalama doz geçmiş zamanlardan bu yana giderek artmaktadır (IAEA, 2004).

Diğer yandan, genel olarak ağır metaller gibi bazı radyonüklidler de (^{210}Po , ^{210}Pb , ^{234}Th), düşük çözünürlüğe sahip olduklarından deniz suyunda partikül materyallere adsorblanma eğilimindedirler (partikül-reaktif özelliktedirler). Partikül durumundaki materyallere adsorbe olan radyonüklidler, bu partiküllerin sedimentasyonu ile sediment yüzeyinde birikmektedirler (Topçuoğlu, 2005).

2.1 DENİZEL ÇEVREDE DOĞAL RADYOAKTİVİTE

Denizel çevrede bulunan radyoaktivitenin temel kaynağı doğal radyoaktivite olmakla birlikte yapay radyoaktivite de önemli bir ek girdi oluşturmaktadır. Doğal radyonüklidler hava yolu ve akarsular vasıtasıyla ve toprağın erozyonuyla denizlere taşınabilmektedir (Baxter, 1993; Güven ve Öztürk, 2005). Yapay gübrelerin, deterjan ve çeşitli kimyasal kullanımının artışı, fosfat işleme tesislerinin çoğalması, fosil yakıtlarının yanması ve ayrışımı sonucunda doğal radyonüklidler (uranyum, toryum, radyum, radon ve polonyum radyoizotopları) önemli ölçüde çevreye yayılmaktadır (Kılıç ve diğ., 2014). Denizel ortama giren radyonüklidler, sediment, biyota ve su arasında döngüye uğrayabilmekte ve her radyonüklid kendine özgü bir şekilde ve hızla hareket etmektedir (Uğur, 1998).

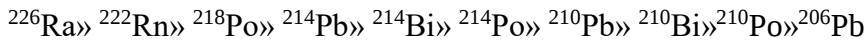
Denizel ortamda bulunan radyonüklidler, ya eriyik (solüsyon) halde ya da asılı olarak (süspansiyon) bulunmakta, daha sonra ya dibe çökmekte ve dip sedimentinde birikmekte veya canlılar tarafından alınmaktadır (Saçan, 2004). Radyonüklidler canlılara beslenme yolu ile geçebilir, metabolik etkinliklerle vücuttan atılabilir ve tekrar yeni bir döngüye katılabilmektedir (Güven ve Öztürk, 2005). Canlıların ölümünden sonra radyonüklidler, bakterilerin ayrıştırması sonucu yeniden metabolik etkinliklere katılabilmektedir (Saçan, 2004). Besin ya da su kaynaklı biyobirikimi, radyonüklid türüne ve ortam koşullarına bağlı değişiklik gösterebilmektedir. Biyobirikim olayı birçok çevresel ve biyolojik etkenler tarafından denetlenmektedir. Bu etkenler, radyonüklidin fiziksel-kimyasal formu, tuzluluk, sıcaklık, diğer elementlerle olan ilişki, canlının büyüklüğü, fizyolojisi, beslenmesi ve benzeri etkenler olarak sıralanabilir (Saçan, 2004). Denizlerde fitoplankton, zooplankton, nekton ve bentos'dan oluşan şemada fitoplankton organizmalarının altında bulunan pikoplankton ve bakterilerin yeri de anlamlılık içermektedir. Deniz organizmalarında biyobirikimle konsantre olan radyonüklidlerin o

organizmalar üzerinde zararlı etkiler oluşturmasının yanı sıra organizmaların tüketilmesi ile besin zinciri boyunca insana kadar ulaşabilmektedir (Heyraud ve Cherry, 1979; Kılıç ve diğ., 2018).

2.2 ²¹⁰PO GENEL ÖZELLİKLERİ

Polonyum periyodik cetvelin VIA grubunda bulunur. 1868 yılında Marie ve Pierre Curie tarafından keşif edilmiştir. Po-210'un atom numarası 84, atom ağırlığı 210, kaynama noktası 962 °C, erime noktası 254 °C ve atom yoğunluğu 9,4 g/cm³ tür. Kütlesel numarası 192 ile 218 arasında değişen 27 izotopu bilinmektedir ve bütün izotoplar radyoaktif özellik göstermektedir (Wildgust ve diğ., 1998). Bu izotoplardan biri olan ²¹⁰Po, ²³⁸U'un bozunum serisi ürünlerindendir. Po-210, polonyumun diğer izotoplarına göre çok daha basit elde edilebilmektedir. Yarı ömrü 138,4 gün olan ²¹⁰Po, 5,3 MeV enerjili α -tanecikleri yayımlamaktadır. Yarılanma ömrü kısa olmasına karşın atmosferde uzun bir süre bulunabilmektedir. Doğadaki ²¹⁰Po miktarı büyük ölçüde ²¹⁰Pb'un miktarına bağlı olmaktadır. Po-210 radyotoksitesi yüksek olan bir radyoizotoptur ve dolayısıyla önemli biyolojik etkiler göstermektedir (Uğur, 1998; Kılıç ve diğ., 2018). Atmosferik araştırmalarda ve sualtı jeolojisinde izleyici radyonüklid olarak da sıkça kullanılmaktadır (Heyraud ve Cherry, 1979).

Po-210'un ana kaynağı, yer kabuğunun yüzey katmanlarından atmosfere yayılan radon (²²²Rn) gazıdır. ²³⁸U ile başlayan uranyum serisindeki radyoizotopların alfa ve beta yayımlayarak bozunmaları sonucunda ²²⁶Ra (t_{1/2}=1622 yıl) oluşur. ²²⁶Ra, alfa parçacıkları yayımlayarak asal gaz olan ²²²Rn'a bozunur. ²²²Rn'un (t_{1/2}=3,82 gün) atmosferdeki bozunumu ile ²¹⁰Pb (t_{1/2} = 22,3 yıl) ve ²¹⁰Bi (t_{1/2} = 5,01 gün) oluşur. Po-210'un alfa parçacığı yayımlayarak stabil Pb'a bozunması ile U serisi sonlanır.



Kömür, doğadaki ²¹⁰Po'un önemli kaynaklarındanır. Kömürün yanmasıyla atmosferde büyük oranda ²¹⁰Po serbest kalmaktadır. Dolayısıyla, kömür ile işletilen termik santrallere yakın alanlarda doğal radyoaktivite düzeyinin giderek arttığı gözlenmektedir (Çatal, 2006). ²¹⁰Po'un diğer doğal kaynaklarından biri uranyum madenleridir. Atmosferde, tungsten, molibden, demir ve fosfatlı kayaçların bulunduğu alanlarda ²¹⁰Po düzeyinin yüksek olduğu bulunmuştur (Uğur, 1998). Petrol kuyularına yakın alanlardaki su rezervlerinde dengedeki ²¹⁰Po, ²¹⁰Pb, ²¹⁰Bi ve ²²⁶Ra konsantrasyonu yüksek bulunmuştur (Parfenov, 1974). Sularda bulunan radon ²¹⁰Po'un

kaynaklarından biridir. Havadaki ^{210}Po konsantrasyonu meteorolojik olaylara bağlıdır. Şehirlerdeki ^{210}Po konsantrasyonu yapay kaynakların artmasına bağlı olarak şehir dışındaki alanlardan 1,5-2 kat fazladır (Parfenov, 1974). Po-210'un diğer bir kaynağı, tıbbi amaçlarla sıkça kullanılan sıvı radon olabilir.

^{210}Po ; ^{210}Bi , ^{210}Pb ve ^{210}Po 'un kuru ve yaş atmosferik depozisyonu ile ayrıca sularda bulunan çözünmüş haldeki ^{226}Ra ve ^{222}Rn gazının radyoaktif bozunumundan deniz ortamına girer. Bu doğal kaynaklar dışında, nükleer reaktörlerde kararlı bizmutun nötron aktivasyonu ile de meydana gelmektedir. Denizlere ve okyanuslara giriş yapan ^{210}Po su kütlelerinden organik parçacık yüzeylerine adsorbsiyon ile geçer ve fitoplankton, zooplankton gibi canlılar tarafından alınmaktadır (Kılıç ve diğ., 2014). Po-210 organik moleküllere afinitesinden dolayı kolayca adsorblanır (IAEA, 1995). Bununla beraber ^{210}Po farklı kimyasal davranışından dolayı, daha derinlerde kolayca sediment, su ve organizma arasındaki döngüye dahil olmaktadır (Carvalho, 1995; Stepnowski ve Skwarzec, 2000). Denizel ortamlardaki ^{210}Po miktarı, endüstriyel işlemler sonucu üretilen radyumca zengin fosfatlar nedeniyle de artmaktadır (Germain ve diğ., 1995; Ryan ve diğ., 1999; Stepnowski, ve diğ., 2000; Bolivar ve diğ., 2002). Po-210 deniz ekosisteminde bulunan ^{210}Pb 'un bozunması ile yaygın bir şekilde bu ortamda oluşmaktadır (Stepnowski ve diğ., 2000; Uğur ve diğ., 2002).

Po-210 canlılar tarafından adsorbsiyon veya absorbsiyon yoluyla ile alınabilmektedir (Topçuoğlu, 2005). Plankton tarafından alınımı onun biyolojik döngüdeki hareketine katkı sağlamaktadır. Plankton tarafından alınan ^{210}Po daha yüksek organizmaların plankton ile beslenmesi sonucu insana kadar ulaşmaktadır. Canlılar ^{210}Po 'u iç organlarında biriktirmektedir. Balıkların kas dokusu ^{210}Po 'yu en az biriktiren kısımdır. ^{210}Po balıklara sudan doğrudan ve besin yoluyla geçmektedir. Yumuşakçalarda ise ^{210}Po konsantrasyonu balıklara göre daha fazladır (Parfenov, 1974). Yapılan çalışmalarda omurgasızların hepatopankreaslarında omurgalıların ise karaciğerlerinde ^{210}Po aktivitesinin diğer dokulara göre daha yüksek olduğu rapor edilmiştir (Heyraud ve Cherry, 1979).

2.3 DENİZEL ORGANİZMALARDA ^{210}Po BİRİKİMİ

Bugüne kadar yapılan çalışmalarda ^{210}Po 'nun deniz canlılarında, deniz suyunda ve askıdaki maddelerdeki aktivitesi belirlenmiştir (Wildgust ve diğ., 1998). Deniz organizmalarında ilk defa 1970 yılında Kauranen ve diğ. (1971) tarafından midyelerde incelenen ^{210}Po , ardından

1984-1985 yıllarında McDonald ve diğ. (1996) tarafından İngiltere’de yaptıkları bir çalışma ile midyeler, karidesler ve salyangozlarda analiz edilmiştir (McDonald, ve diğ., 1996).

Po-210 birçok deniz organizması tarafından çok güçlü bir şekilde tutulur fakat organizmalardaki birikim değerleri farklılıklar göstermektedir (McDonald ve diğ., 1996). Po-210’un aktivite konsantrasyonunun midyelerde İngiltere’de yapılan bir çalışmada 3120 Bq kg⁻¹ düzeyine kadar çıktığı belirlenmiştir.

Wildgust ve diğ. (1998), Galler’in kuzey kıyılarındaki bir yerleşim yerinde, ²¹⁰Po’un denizlerdeki besin zincirine girişini araştırmak için mevsimsel ölçümler yapmışlardır. *Mytilus edulis* ile yapılan çalışmada ²¹⁰Po’un büyük çoğunluğunun midyelerin sindirim sisteminde biriktiği gözlemlenmiştir.

Daha önce yapılan bir çalışmada fitoplanktonda ²¹⁰Po aktivite konsantrasyonu 40 Bq kg⁻¹ (kuru ağırlık) belirlenmişken, farklı karides türlerinin hepatopankreaslarında ve yumuşak dokularında ortalama Po-210 aktivitesi kuru ağırlıkta 15 Bq kg⁻¹’den 1700 Bq kg⁻¹’e kadar değişim göstermektedir. En çok tüketilen deniz ürünlerinden balıkların farklı dokularında 12-7000 Bq kg⁻¹ (kuru ağırlık)’a kadar geniş bir aralıkta ²¹⁰Po aktivite konsantrasyon değerleri yer almaktadır (Carvalho, 1993).

İnsanlar deniz ürünlerinden olduğu kadar diğer çeşitli yollardan da ²¹⁰Po alırlar. Yetişkin bir birey doğal yollardan oluşan ²¹⁰Po’un günlük alımının %77,3’ünü yiyecekler, %4,7’sini su ile, %0,6 havayla ve %17,1’ini eğer içiyorsa sigara içerek almaktadır (Spencer ve diğ., 1977). Burada yiyecekler içinde, deniz ürünlerinden gelen ²¹⁰Po oranı %70 civarındadır. Tüketilen besinlerden (deniz ürünü olan ve olmayan) alınan radyasyon dozunda ²¹⁰Po’un payı ise %7 civarındadır. Besin zinciri vasıtasıyla denizel çevrede yer alan ²¹⁰Po insana kadar ulaşmaktadır (Colangelo ve diğ., 1992; Kılıç ve diğ., 2014).

2.4 PO-210 İLE İLGİLİ ÜLKEMİZİN DENİZEL ÇEVRESİNDE YAPILAN BAŞLICA ÇALIŞMALAR

Topçuoğlu ve diğ. (2000), tarafından yapılan çalışmada Çernobil nükleer santral kazasından sonra Karadeniz ve Marmara Denizi ekosisteminin radyoaktif kirliliğini izlemek için üç yıl süren Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu (IAEA) tarafından desteklenen bir proje kapsamında çeşitli balık, midye, makroalg ve sediment örneklerinde bazı yapay ve doğal radyonüklidlerin

analizi gerçekleştirilmiştir. Marmara Denizi ekosisteminde kuru ağırlıktaki ^{210}Po aktivite konsantrasyonları balık örnekleri için $8,2 - 34,3 \text{ Bq kg}^{-1}$, midye örnekleri için $149 - 167 \text{ Bq kg}^{-1}$, makroalg örnekleri için $36,7 - 46,5 \text{ Bq kg}^{-1}$ ve sediment örnekleri için $22,5 - 100,3 \text{ Bq kg}^{-1}$ aralığında hesaplamışlardır. Karadeniz ekosisteminde kuru ağırlıktaki ^{210}Po aktivite konsantrasyonları balık örnekleri için $2 - 112 \text{ Bq kg}^{-1}$, midye örnekleri için $100 - 162 \text{ Bq kg}^{-1}$, makroalg örnekleri için $9,55 \text{ Bq kg}^{-1}$, sediment örnekleri için $5 - 216 \text{ Bq kg}^{-1}$ aralığında hesaplamışlardır. En yüksek ^{210}Po aktivite konsantrasyonunu Karadeniz’den elde edilen hamsi balığı (*Engraulis encrasicolus*) örneklerinde kuru ağırlıkta 112 Bq kg^{-1} olarak belirlemişlerdir.

Uğur ve diğ. (2002), Ege Denizi’nden toplanan midyelerde (*Mytilus galloprovincialis*) çeşitli metal konsantrasyonlarını ve ^{210}Po aktivite aktivitelerini incelemişlerdir. Yapılan çalışmada en yüksek ^{210}Po aktivite konsantrasyonlarını $1344 \pm 108 \text{ Bq kg}^{-1}$ olarak Foça’dan toplanan örneklerde tayin etmişlerdir. Bu lokasyonda ^{210}Po aktivitesinin yüksek olmasının nedenini Tüpraş gibi endüstri tesislerinin girdisi olarak bildirilmiştir.

Saçan (2004) tarafından yapılan yüksek lisans tez çalışmasında İzmir Körfezi yüzey sedimentlerinde ve Akdeniz midyesinde (*M. galloprovincialis*) ^{210}Pb ve ^{210}Po birikiminin periyodik araştırılması yapılmıştır. Sediment ve midyede bulunan en düşük ve en yüksek ^{210}Po aktiviteleri sırasıyla ilkbaharda $7,68 \pm 0,8$ ve kışın $93,6 \pm 3,9 \text{ Bq kg}^{-1}$ olarak bulunmuştur.

Arslan (2005) tarafından yapılan yüksek lisans tez çalışmasında Ege Denizi’nin farklı bölgelerindeki plankton örneklerinde ^{210}Po birikimi incelenmiştir. Planktonlardaki ^{210}Po aktivite konsantrasyonları için $7 \pm 5 - 232 \pm 20 \text{ Bq kg}^{-1}$ (kuru ağırlık) arasında değişen sonuçlar elde edilmiştir.

Uğur ve diğ. (2006), Ege Denizi’nin bazı bölgelerinden topladıkları *M. galloprovincialis* türü midyelerde ^{210}Po ve ^{210}Pb konsantrasyonlarını incelemişlerdir. Çalışmalarında ^{210}Po ve ^{210}Pb konsantrasyonlarının sırasıyla $52 \pm 6 - 1344 \pm 108$ ve $6 \pm 2 - 167 \pm 10 \text{ Bq kg}^{-1}$ kuru ağırlık arasında değiştiğini bulmuşlardır.

Mat Çatal (2006) tarafından yapılan yüksek lisans tez çalışmasında Ege Denizi kıyılarında yer alan yerel balıkçılardan toplanan bazı ekonomik balık türlerinde ^{210}Po ve ^{210}Pb konsantrasyonları mevsimsel olarak incelenmiştir. Çalışmada balık örnekleri için ve ^{210}Po aktivite konsantrasyonları $1,0 \pm 0,2$ ile $343 \pm 34 \text{ Bq kg}^{-1}$ (kuru ağırlık) aralığında ^{210}Pb aktivite konsantrasyonları ise 2 ± 1 ile $7 \pm 2 \text{ Bq kg}^{-1}$ (kuru ağırlık) aralığında tespit edilmiştir.

Aslan (2010) tarafından yapılan yüksek lisans tezi kapsamında midye (*M. galloprovincialis*) ve bazı balık türleri İnciraltı bölgesinden mevsimsel olarak alınmıştır. Po-210 aktivite konsantrasyonu ile lipid peroksidasyonu (LPO), H_2O_2 ve prolin seviyeleri midye ve balıkların farklı organ (karaciğer ve solungaç) ve dokularında (kas dokusu) incelenmiştir. En yüksek ^{210}Po aktivite konsantrasyonu sırasıyla midye ve balıkların karaciğerinde 75 ± 3 ve 252 ± 14 Bq kg⁻¹ olarak bulunmuştur. Lipid peroksidasyonu (LPO), H_2O_2 ve prolin seviyeleri midye ve balıkların karaciğerlerinde sırasıyla 50-150 nmol g⁻¹ (yaş ağırlık), 16-40 ve 300-370 μ mol g⁻¹ (yaş ağırlık) arasında değişmektedir.

Uğur ve diğ. (2011) tarafından yapılan bir çalışmada, Ege Denizi kıyılarında seçilen 6 istasyondan (Çanakkale, Dikili, Foça, Çeşme, Didim ve Bodrum) toplanan midye (*M. galloprovincialis*) ve sediment örneklerinde ^{210}Po aktivite konsantrasyonları tayin edilmiştir. Örneklerde elde edilen ^{210}Po aktivite konsantrasyonları, istasyona ve mevsime bağlı olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca, midye örnekleri 1-4 cm, 4-6 cm ve >6 cm olmak üzere üç farklı boyutta incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre en yüksek (1960 ± 60 Bq kg⁻¹) ^{210}Po aktivite konsantrasyonu, Didim istasyonundan kış mevsiminde toplanan 4-6 cm'lik boyuta sahip midye örneklerinde bulunmuştur.

Aközcan (2013) İzmir de yaptığı çalışmasında topladığı örneklerde en yüksek ^{210}Po aktivite konsantrasyon değerini 400 ± 9 Bq kg⁻¹ olarak rapor etmiştir.

Cankurt (2013) tarafından yapılan yüksek lisans tez çalışmasında İzmir İç Körfezinin tamamını kapsayan 32 farklı noktadaki yüzey sedimenti örneklerinde ^{210}Po aktivite konsantrasyonları tayin edilmiş ve coğrafi bilgi sistemlerinden yararlanılarak İzmir İç Körfezi ^{210}Po aktivite konsantrasyonu haritası oluşturulmuştur.

Manav (2014) tarafından Bafa gölünde yapılan doktora tez çalışmasında doğal bir set gölü (Lagün) olan Bafa Gölü biyotasında bulunan *Liza ramada* (Kefal balığı), *Dicentrarchus labrax* (Levrek balığı) ve *Anguilla anguilla* (Avrupa yılan balığı), yüzey sedimenti, sediment tuzağı ve kor örneklerindeki ^{210}Po ve ^{210}Pb radyoaktivite düzeyleri ve bazı ağır metal konsantrasyonlarını (Cr, Ni, Pb, Cd, Mn, Fe ve Zn) belirlemeyi amaçlamışlardır. Yüzey sedimenti ve sediment tuzağı örnekleri mevsimsel olarak toplanmıştır. Ortalama ^{210}Po konsantrasyonları yüzey sedimenti ve sediment tuzağı için sırası ile $127,5 \pm 9$ Bq kg⁻¹ ve $75,1 \pm 11$ Bq kg⁻¹ olarak belirlenmiştir. Pb-210 konsantrasyonları ise, yüzey sedimenti ve sediment tuzağı için sırası ile

42,75±7 Bq kg⁻¹ ve 33,84±3 Bq kg⁻¹ olarak elde edilmiştir. Balık örneklerindeki ortalama ²¹⁰Po ve ²¹⁰Pb konsantrasyonları sırasıyla, *L. ramada* için 5,0±0,7 Bq kg⁻¹ ve 1,0±0,3 Bq kg⁻¹, *D. labrax* için 4,1±0,6 Bq kg⁻¹ ve 1,5±0,2 Bq kg⁻¹, *A. anguilla* için 6,5±0,9 Bq kg⁻¹ ve 1,6±0,3 Bq kg⁻¹ olarak tespit edilmiştir. Kor örneğindeki ²¹⁰Po ve ²¹⁰Pb konsantrasyonları ise sırasıyla 116±5 Bq kg⁻¹ ve 71±8 Bq kg⁻¹ olarak elde edilmiştir.

Kılıç ve diğ. (2014) tarafından yapılan çalışmada tatlı su deşarjları ve İstanbul Boğazı'nın bağlanma merkezi olan İstanbul Haliç'inden toplanan kara Akdeniz midyesi (*M. galloprovincialis*) örneklerinde bulunan doğal ve yapay radyonüklidlerin aktivite konsantrasyonları belirlenmiştir. Bu radyonüklidler içerisinde ortalama ²¹⁰Po aktivite konsantrasyonu 91,96±37,88 Bq kg⁻¹ olarak rapor edilmiştir. Söz konusu çalışmada ²¹⁰Po aktivite konsantrasyonlarının Haliç'in içlerinden boğaza doğru gidildikçe arttığı tespit edilmiş olup bunun nedeninin iç kısımlardan boğaza doğru artan plankton yoğunluğu ile ilişkili olduğu rapor edilmiştir.

Kılıç ve diğ. (2014), tarafından Türkiye kıyılarında toplanan midye örneklerinde (*M. galloprovincialis*) ¹³⁷Cs, ⁴⁰K, ²²⁶Ra, ²²⁸Ra, ²¹⁰Po ve ²¹⁰Pb aktivite konsantrasyonları ölçülmüştür. Araştırmacıların örnek aldığı 20 istasyonda ortalama ²¹⁰Po aktivite konsantrasyonu 121,9 ± 4,2 Bq kg⁻¹ (kuru ağırlık) olarak hesaplanmıştır.

Kül ve diğ. (2015), Midyelerde en yüksek ²¹⁰Po ve ²¹⁰Pb aktivite konsantrasyonları sırasıyla 122±26; 4,2±0,4 Bq kg⁻¹ olarak bulunurken balıklarda en yüksek ²¹⁰Po ve ²¹⁰Pb aktivite konsantrasyonları sırasıyla 353,7±45; 3,6±3,0 Bq kg⁻¹ olarak bulunmuştur.

Kılıç ve diğ. (2018), Ege Denizi Gökçeada etrafında yapılan çalışmada 15 farklı balık türünde ²¹⁰Po ve ²¹⁰Pb aktiviteleri kas, solungaç ve karaciğerde olmak üzere üç farklı dokuda incelenmiştir. En yüksek ²¹⁰Po aktivitesi *Xiphias gladius* (kılıç balığı) türünün karaciğer dokusunda 551,17 ± 20,5 Bq kg⁻¹ olarak belirlendiği rapor edilmiştir. Ayrıca yapılan çalışmada ²¹⁰Po aktivitelerinin kas, solungaç ve karaciğer dokularındaki birikiminin istatistiksel olarak anlamlı bir fark gösterdiği bildirilmiştir.

Kılıç ve diğ. (2018) tarafından İstanbul Haliç'inde yapılan diğer bir çalışmada *M. galloprovincialis* kullanılarak aktif ve pasif biyomonitöring yapılarak ²¹⁰Po birikimi mevsimsel olarak belirlenmiştir. Söz konusu çalışmada ²¹⁰Po'un mevsimsel bir değişim göstermediği rapor edilmiştir. Ayrıca, aktif biyomonitöring için midyelerin toplandığı lokasyonun plankton

yoğunluğunun transplante edilen lokasyona göre nispeten yüksek olmasından dolayı bir yıl boyunca üçer ay periyotlarla yapılan ölçümlerde ^{210}Po 'un daha düşük aktivitelere olduğu rapor edilmiştir.

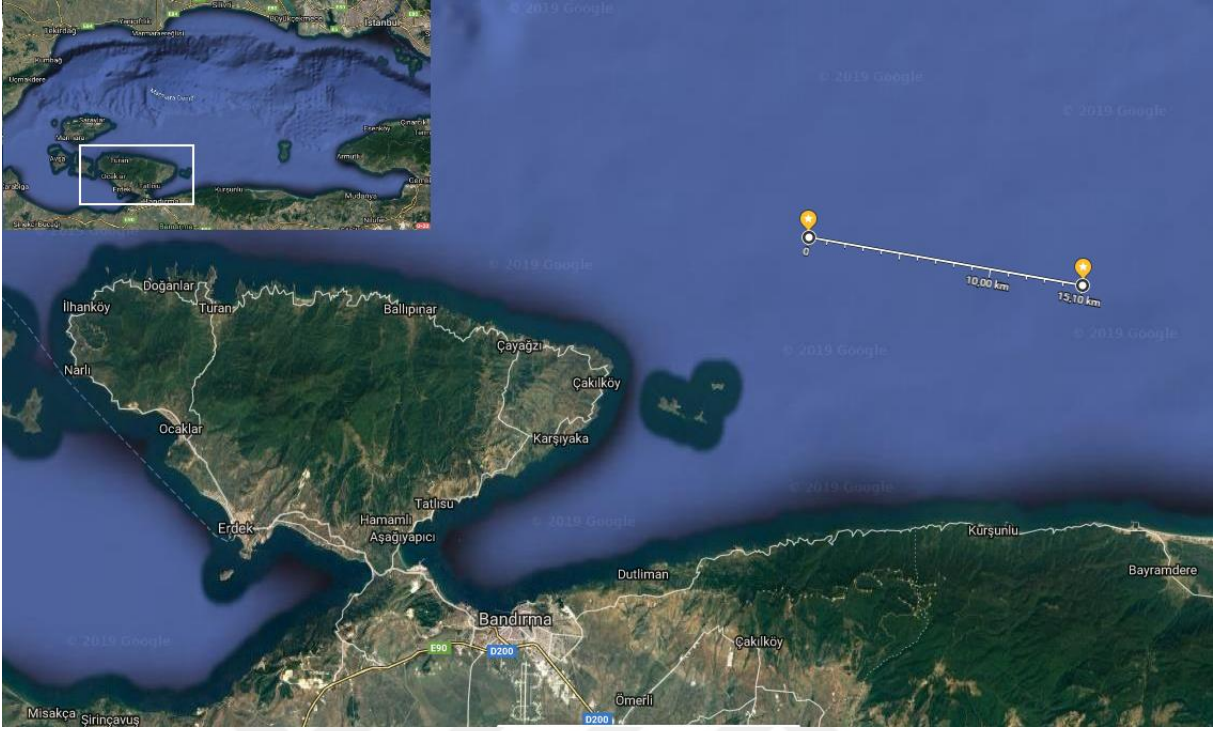
2.5 KAPIDAĞ YARIMADASI'NIN ÖZELLİKLERİ

Çalışmanın yapıldığı Kapıdağ Yarımadası Marmara Denizi'nin güneyinde yer almaktadır. Yaklaşık 300 km² yüzölçümüne sahip olan yarımada'nın başlıca yerleşim yerleri; Erdek, Tatlısu, İlhan köyü, Narlı, Ocaklar, Çeltikçi, Karşıyaka, Çakıl, Kestanelik, Şahinburgaz, Çayağzı, Ballıpınar, Ormanlı, Turan ve Doğanlar'dır. Yarımada'nın kuzey ve batı yamaçları oldukça diktir, ayrıca kuzey kıyıları çok girintili çıkıntılıdır. Kapıdağ yarımadasını ve diğer adaları güneydeki kıyından ayıran deniz çok sığ olup en fazla 40-50 metre derinliktedir (Özgür, 2008). Kapıdağ ve adalar güneydeki kıyıya bağlı eski ve ortak bir kıtanın bugün su üstünde kalmış parçalarıdır, kıyıya yakın bir ada durumunda iken zamanla dalgaların getirdiği malzemelerin birikmesiyle Anadolu'ya bağlanmıştır (Cürebal ve diğ., 1998; Özgür, 2008). Yarımada'nın batısında Erdek Körfezi, doğusunda ise Bandırma Körfezi bulunur. Bandırma Körfezi'nin bulunduğu Bandırma ilçesi, Güney Marmara Denizi'nin ikinci büyük limanına sahip olması ve İstanbul'a yakınlığı nedeniyle ekonomik yönden hızla gelişmektedir (Kurun, 2010). Bu körfezin bulunduğu Bandırma ilçesinde beyaz et ve gübre üretimi yapılmaktadır (Koç, 2002; Özelli ve Özbaysal, 2001). Bölge aynı zamanda gıda, kimyasal gübre, bor ve asit üreten fabrikalara sahip önemli bir sanayi merkezidir. Bu ve benzeri sanayi kuruluşlarının atıklarının bu körfeze boşaltılması önemli kirlilik sorunlarına sebep olmaktadır (Koç, 2002). Bu bölgenin, karasal, doğal ve insan kaynaklı organik maddelerden etkilendiği bilinmektedir. Bölgenin gerisinde bulunan madenlerden, nehirler vasıtasıyla gerçekleşen taşınma, körfezi olumsuz yönde etkilemektedir (Balkıs ve Çağatay, 2001). Yarımada'nın batısındaki Erdek Körfezi'nin bulunduğu Erdek ilçesinde turizm, balıkçılık ve tarımsal faaliyetler yoğundur. Sanayileşme ve kentleşme bakımından sakin bir ilçe olmasına rağmen, Karabiga ve Gönen nehirleriyle madencilik aktivitesi sonucu çeşitli metaller bu körfeze ulaşır (Balkıs ve Çağatay, 2001). Aynı zamanda evsel atıklar, ötrofikasyon, gemi trafiği, egzotik istilacı türler ve aşırı avcılık Erdek Körfezi'nin ekolojik dengesini tahrip etmektedir (Balkıs ve Çağatay, 2001; Keskin, 2007). Yarımada'nın kuzeyinde ise geçimini balıkçılık ve tarımla sağlayan birkaç köyden başka yerleşim yeri bulunmamaktadır.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1 ÇALIŞMA ALANI VE ÖRNEKLEME

Çalışmada analizleri yapılan türler 2017 yılının Eylül ve Nisan aylarında yapılan örnekleme çalışması sonucu elde edilmiştir. Örnekleme Kapıdağ Yarımadası'nın kuzeydoğusunda Çayağzı ile Ormanlı köyleri arasında kalan bölgede kıyıda 6-7 mil açıktaki algarna ağlarıyla yapılmıştır (Şekil 3.1). Örnekler alındıktan sonra ^{210}Po fiziksel yarı ömrünün kısalığından dolayı çok bekletmeden hızlıca analize alınmıştır. Bununla beraber tüm örnekler analizleri yapılınca kadar -20°C de saklanmıştır. Kimyasal işlemler ve ölçümler yapılmadan önce elde edilen türlerin boy ve ağırlıkları ayrıca *Raja* ve *Torpedo* genusuna ait türlerin disk genişlikleri ölçümleri yapılmıştır.



Şekil 3.1: Örnekleme yapılan alanın haritası.



Şekil 3.2: Elde edilen türlerin boy ölçümlerinin yapılması.

3.2 ÖRNEKLERİN ANALİZE HAZIRLANMASI

3.2.1 Türlere Ait Bireylerin Diseksiyonu Yapılarak Analize Hazırlanması

Elde edilen omurgalı türlerin kas, karaciğer, solungaç, mide ve bağırsak dokuları omurgasız türlerin ise tüm yumuşak dokusu analiz için kullanılmıştır. Aynı türlerin bireylerinden alınan doku örnekleri birleştirilerek ölçümleri yapılmıştır.

Dokuların yaş ağırlıkları ölçüldükten sonra liyofilizatör kullanılarak -55 °C’de sabit ağırlığa gelene kadar kurutulmuştur. Kuru ağırlıkları ölçülen örnekler öğütülerek homojenize edilmiştir. Bu işlemlerden sonra her doku örneği için 0,3 g alınarak mikrodalga sindirme sisteminin teflon kaplarına konularak sindirme işlemine hazır hale getirilmiştir.

3.2.2 Po-210 Analizinde Uygulanan Radyokimyasal İşlem

Çalışmada toplam verimin hesaplanması için her bir örneğe izleyici olarak 100 mBq ²⁰⁹Po (Eckert & Ziegler Isotope Products) eklenmiştir. Akabinde her bir örneğe 10 ml %65’lik konsantre nitrik asit (HNO₃) eklenmiştir. Daha sonra teflon kapların ağzı kapatılarak MILESTONE START D (24 teflon tüplü ve sıcaklık sensörlü) mikrodalga sindirme sistemine (Şekil 3.2) yerleştirilmiştir. Bu iki aşamalı işlemin ilk basamağında örnekler 30 bar basınçta 180°C’de 20 dakika ikinci basamağında ise 30 bar basınçta 180°C 15 dakika mikrodalga sindirme sisteminde tutulmuştur. Böylelikle örneklerin organik maddelerden arındırılması ve sıvı faza geçirilmesi sağlanmıştır. Örnekler soğuduktan sonra çeker ocak altında açılmış ve 100 ml’lik beherlere aktarılmıştır. Beherler ısıtma tablasına (Şekil 3.3) yerleştirilmiş ve 200 °C’de konsantre nitrik asitin buharlaştırılması için üzerine 3 kez çok az miktarlarda 0,5 M HCl eklenmiştir. Örnekler kurumaya yakınken üzerlerine toplamda 200 ml 0,5 M HCl eklenmiş ve 125 mm gözenek açıklığı olan filtre kağıdından süzülerek 250 ml hacimli beherlere aktarılmıştır. Son hacmi 200 ml olan örnekler depozisyon işlemine alınmıştır.



Şekil 3.3: Milestone Start D mikrodalga sindirme sistemi.



Şekil 3.4: Isıtma tablasına alınmış örnekler.

3.2.3 Polonyum Depozisyonu

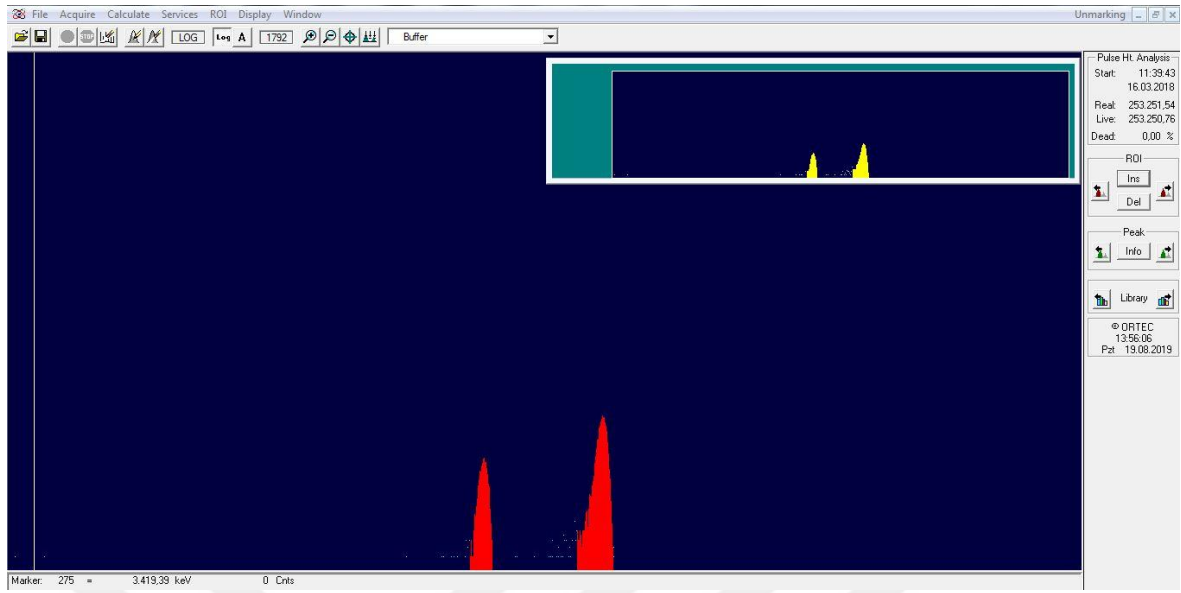
Depozisyon işlemi için önce 2 cm çapında 22 µm kalınlığında gümüş diskler hazırlanıp özel olarak yapılmış taşıyıcıya (kapak + manyetik çubuk) yerleştirilmiş ve üzerleri %70'lik alkol ile temizlenmiştir. Taşıyıcılar örneklerin bulunduğu 250 ml'lik beherlere konulmuş ve örnek solüsyonuna Fe^{+2} ve Fe^{+3} iyonlarının gümüş disklerle birikmesini engellemek için 400 mg askorbik asit eklenmiştir. Örneklerin polonyum depozisyonu oda sıcaklığında 700 devir/dakika olacak şekilde 16 saat boyunca gerçekleştirilmiştir.

Depozisyon işlemi sonucunda gümüş diskler solüsyondan çıkarılıp taşıyıcıdan ayrılmış ve kuruması için oda sıcaklığında masa lambası altında 5 dakika bekletilmiştir. Kuruyan gümüş disklerdeki ^{210}Po aktivitesinin belirlenmesinde alfa spektrometresinde ^{209}Po izleyicisinin 4,88 MeV'lik enerjideki alfa piki üzerinden hesaplanan toplam verim (kimyasal verim + dedektör verimi) kullanılmıştır.

3.2.4 Po-210 Ölçümünde Kullanılan Alfa Spektrometre Sistemi Özellikleri ve Çalışma Prensibi

Çalışmada ^{210}Po aktivite konsantrasyonlarının belirlenmesinde ORTEC Alpha Ensemble spektrometresi kullanılmıştır. Alfa spektrometresi; iyon implante silisyum yüklü parçacık tipi, yüzey alanları 300 mm² olan 8 adet dedektörü bulunan bir sistemdir ve sisteme bağlı vakum pompası bulunmaktadır. Tüm ölçümler uygulanan vakumun dedektör odacıklarının basıncını 30-40 mTorr değerine düşürmesinin ardından başlatılmıştır.

Spektrometrenin vakum kontrolü 10 mTorr ile 30 Torr arasında değişmektedir. 1 mm'den 51 mm çapına kadar olan diskler ölçülebilmektedir. Her detektör bağımsız olarak 0 ile 10 MeV enerji aralığında ölçüm yapabilmektedir. Dedektörlerin maksimum rezolüsyonu 16-19 keV arasındadır. Temizlenebilir ve yüzey alanı 300 mm² arasında olan iyon-implantasyonlu bir dedektördür. Örneklerle ait net pik alanlarının hesaplanmasında ORTEC Maestro 32 veri analiz sistemi (Şekil 3.5) kullanılmıştır. Bu hesaplamanın yapılmasında ^{210}Po 'un 5,30 MeV ve ^{209}Po izleyicisinin ise 4,88 MeV'lik enerjilerde yer alan karakteristik alfa pik alanlarından faydalanılmıştır (Şekil 3.4). Standart multialfa kaynağı kullanılarak periyodik bir şekilde her bir detektöre ait enerji kalibrasyonu yapılmıştır. Örneklerin sayım süresi anlamlı bir pik oluşumu dikkate alınarak en az iki gün olarak ayarlanmıştır.



Şekil 3.5: ^{209}Po izleyicisi ve ^{210}Po için alfa pik örneği.



Şekil 3.6: Ortec Maestro 32 veri analiz sistemi.

3.2.5 Po-210 Aktivite Konsantrasyonlarının Hesaplanması

$$\text{Aktivite}(\text{Bq kg}^{-1}) = \frac{\text{Pik alanı (Po - 210)} \times 1000}{\text{Toplam verim} \times \text{Sayım süresi}(s) \times \text{Örnek ağırlığı}(g)}$$

$$\text{Toplam verim} = \frac{\text{Pik alanı (Po - 209)}}{\text{Po - 209 aktivitesi (Bq)} \times \text{sayım süresi}}$$

$$Toplam\ belirsizlik = Aktivite \times \sqrt{\left(\frac{Sayım\ hatası}{Sayım}\right)^2 + \left(\frac{Verim\ hatası}{Verim}\right)^2}$$

3.2.6 Tüketilen Türlerde ^{210}Po 'dan Dolayı Alınan Dozun Hesaplanması

Tüketilen organizmalarda ^{210}Po 'dan dolayı alınan doz miktarı aşağıda verilen denklem yoluyla hesaplanmıştır (IAEA, 2003).

$$DPo - 210 = 1,2 \times 10^{-6} \times Cb \times Fc$$

DPo-210 = Tüketiciler tarafından tüketilen organizmalardan dolayı alınan yıllık etkin doz (Sv yıl⁻¹).

Cb= Örneklenen türlerin dokularında belirlenen ^{210}Po aktivitesi (Bq kg⁻¹ yaş ağırlıkta).

Fc= Türün kişi başı yıllık tüketim miktarı (kg yıl⁻¹).

1,2x10⁻⁶: Doz dönüşüm faktörü (Sv Bq⁻¹).

4. BULGULAR

4.1 ÇALIŞILAN TÜRLERİN SİSTEMATİĞİ

Phylum: Cnidaria

Class: Scyphozoa

Subclass: Discomedusae

Order: Semaestomeae

Family: Ulmaridae

Genus: *Aurelia*

Aurelia aurita (Linnaeus, 1758)

Phylum: Echinodermata

Subphylum: Asterozoa

Classis: Asteroidea

Order: Forcipulatida

Family: Asteroiidae

Genus: *Marthasterias*

Marthasterias glacialis (Linnaeus, 1758)

Order: Paxillosida

Family: Astropectinidae

Genus: *Astropecten*

Astropecten irregularis (Pennant, 1777)

Subphylum: Echinozoa

Class: Holothuroidea

Order: Synallactida

Family: Stichopodidae

Genus: *Parastichopus*

Parastichopus regalis (Cuvier, 1817)

Class: Ophiuroidea

Order: Ophiurida

Family: Ophiuridae

Genus: *Ophiura*

***Ophiura* sp.**

Phylum: Mollusca

Class: Cephalopoda

Order: Myopsida

Family: Loliginidae

Genus: *Loligo*

Loligo vulgaris (Lamarck, 1798)

Class: Gastropoda

Order: Neogastropoda

Family: Muricidae

Genus: *Bolinus*

Bolinus brandaris (Linnaeus, 1758)

Phylum: Arthropoda

Subphylum: Crustacea

Class: Malacostraca

Order: Decapoda

Family: Penaeidae

Genus: *Parapenaeus*

Parapenaeus longirostris (Lucas, 1846)

Family: Polybiidae

Genus: *Liocarcinus*

Liocarcinus depurator (Linnaeus, 1758)

Phylum: Chordata

Subphylum: Craniata

Superclass: Gnathostomata

Grade: Condrictiomorpi

Class: Chondrictyes

Subclass: Elasmobranchii

Infraclass: Euselachii

Division: Neoselachii

Subdivision: Batoidea

Order: Torpediniformes

Family: Torpedinidae

Torpedo marmorata (Risso, 1810)

Order: Rajiformes

Family: Rajidae

Genus: *Raja*

Raja clavata (Linnaeus, 1758)

Class: Actinopterygii

Subclass: Neopterygii

Division: Teleostei

Subdivision: Ostarioclupeomorpha

Superorder: Clupeomorpha

Order: Clupeiformes

Suborder: Clupeoidei

Family: Engraulidae

Genus: *Engraulis*

Engraulis encrasicolus (Linnaeus, 1758)

Order: Gadiformes

Family: Merlucciidae

Subfamily: Merlucciinae

Genus: *Merluccius*

Merluccius merluccius (Linnaeus, 1758)

Family: Gadidae

Subfamily: Gadinae

Genus: *Merlangius*

Merlangius merlangus (Linnaeus, 1758)

Order: Lophiiformes

Suborder: Lophioidei.

Family: Lophiidae

Genus: *Lophius*

Lophius budegassa (Spinola, 1807)

Order: Zeiformes

Suborder: Zeioidei

Family: Zeidae

Genus: *Zeus*

Zeus faber (Linnaeus, 1758)

Order: Scorpaeniformes

Suborder: Platycephaloidei.

Family: Triglidae

Genus: *Trigla*

Trigla lyra (Linnaeus, 1758)

Order: Perciformes

Suborder: Percoidei

Family: Pomatomidae

Genus: *Pomatomus*

Pomatomus saltatrix (Linnaeus, 1766)

Family: Carangidae

Genus: *Trachurus*

Trachurus trachurus (Linnaeus, 1758)

Family: Mullidae

Genus: *Mullus*

Mullus barbatus (Linnaeus, 1758)

Family: Sparidae

Genus: *Pagellus*

Pagellus erythrinus (Linnaeus, 1758)

Suborder: Trachinoidei

Family: Trachinidae

Genus: *Trachinus*

Trachinus draco (Linnaeus, 1758)

Order: Pleuronectiformes

Suborder: Psettodoidei

Superfamily: Pleuronectoidea

Family: Scophthalmidae

Genus: *Lepidorhombus*

Lepidorhombus boscii (Risso, 1810)

Kapıdağ Yarımadasında belirlenen türler ve bu türlerin Türkçe yaygın isimleri, beslendiği habitat ve beslenme şekilleri Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1: Çalışmada toplanan ve ^{210}Po ölçümü yapılan türler.

Tür Adı	Yaygın İsmi	Beslendiği Habitat	Sınıflandırma	Beslenme Şekli
<i>Astropecten irregularis</i>	Deniz Yıldızı	Bentik	Omurgasız	Karnivor
<i>Aurelia aurita</i>	Deniz Anası	Pelajik	Omurgasız	Planktivor
<i>Bolinus brandaris</i>	Gastropod	Bentik	Omurgasız	Planktivor
<i>Engraulis encrasicolus</i>	Hamsi	Pelajik	Omurgalı	Planktivor
<i>Lepidorhombus boscii</i>	Benekli Pisi Balığı	Bentik	Omurgalı	Karnivor
<i>Liocarcinus depurator</i>	Yengeç	Bentik	Omurgasız	Detritivor-Karnivor
<i>Loligo vulgaris</i>	Adi Kalamar	Bentopelajik	Omurgasız	Karnivor
<i>Lophius budegassa</i>	Fener	Bentik	Omurgalı	Karnivor
<i>Marthasterias glacialis</i>	Dikenli Deniz Yıldızı	Bentik	Omurgasız	Karnivor
<i>Merlangius merlangus</i>	Mezgit	Bentopelajik	Omurgalı	Karnivor
<i>Merluccius merluccius</i>	Berlam	Bentopelajik	Omurgalı	Karnivor
<i>Mullus barbatus</i>	Barbunya	Bentik	Omurgalı	Karnivor
<i>Ophiura sp.</i>	Yılan Yıldızı	Bentik	Omurgasız	Detritivor
<i>Pagellus erythrinus</i>	Kırma Mercan	Bentopelajik	Omurgalı	Omnivor
<i>Parapeneus longirostris</i>	Çimçim Karides	Bentik	Omurgasız	Karnivor
<i>Parastichopus regalis</i>	Deniz Hıyarı	Bentik	Omurgasız	Detritivor
<i>Pomatomus saltatrix</i>	Lüfer	Pelajik	Omurgalı	Karnivor
<i>Raja clavata</i>	Dikenli Vatoz	Bentopelajik	Omurgalı	Karnivor
<i>Torpedo marmorata</i>	Çarpan	Bentik	Omurgalı	Karnivor
<i>Trachinus draco</i>	Trakonya	Bentopelajik	Omurgalı	Karnivor
<i>Trachurus trachurus</i>	İstavrit	Pelajik	Omurgalı	Karnivor
<i>Trigla lyra</i>	Öksüz	Bentik	Omurgalı	Karnivor
<i>Zeus faber</i>	Dülger	Bentopelajik	Omurgalı	Karnivor

4.2 KAPIDAĞ YARIMADASI BAZI BALIK VE OMURGASIZ TÜRLERİNDE ^{210}Po AKTİVİTE KONSANTRASYONLARI

Yapılan örnekleme çalışması sonucunda farklı gruplara ait 23 türden 79 birey elde edilmiştir. Elde edilen omurgalı bireylerin total boy ve ağırlıkları ölçüldükten sonra disekte edilerek kas, solungaç, sindirim sistemi ve karaciğer dokularından örnekler alınmıştır. Omurgasızlarda ise tüm yumuşak doku alınmıştır. Alınan doku örnekleri laboratuvarında radyo kimyasal işlemler gerçekleştirildikten sonra ^{210}Po ölçümleri yapılmıştır. Ölçüm sonuçları $1-4450 \text{ Bq kg}^{-1}$ aralığında değişmektedir. En yüksek ^{210}Po aktivitesi ($4450 \pm 32,5 \text{ Bq kg}^{-1}$) hamsi balığının

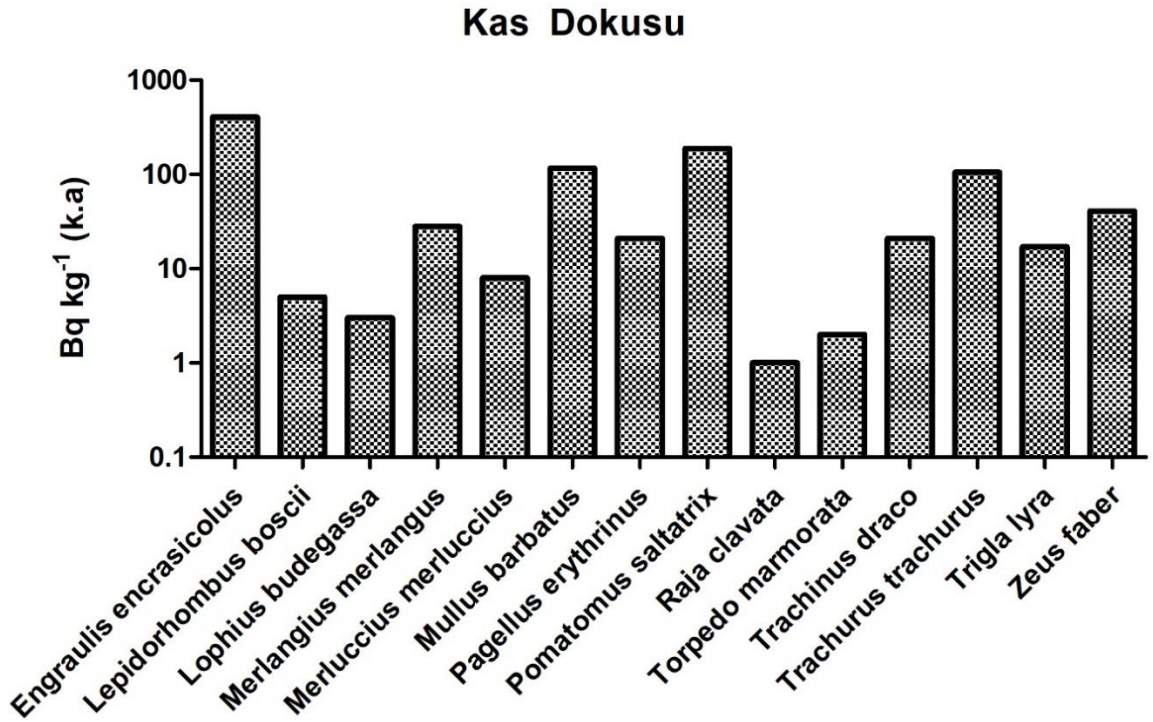
(*Engraulis encrasicolus*) sindirim sisteminin tamamında belirlenmiştir. En düşük ^{210}Po aktivite konsantrasyonu ise $1 \pm 0,6 \text{ Bq kg}^{-1}$ olarak dikenli vatoz balığının (*Raja clavata*) kas dokusunda belirlenmiştir.

Çalışma alanından örneklenen balıkların kas dokusunda belirlenen ^{210}Po aktivite değerleri Tablo 4.2’ de verilmiştir.

Tablo 4.2: Kapıdağ Yarımadası’ndan örneklenen balıkların kas dokusundaki ^{210}Po aktivite konsantrasyonları (Bq kg^{-1}).

Tür adı	Örnekleme tarihi	Örnek sayısı(n)	Boy (cm)	Kuru/yaş	^{210}Po
<i>Engraulis encrasicolus</i>	3.03.2018	5	13-13,6	0,29	$407 \pm 7,4$
<i>Lepidorhombus boscii</i>	25.11.2017	2	26-27,5	0,21	$5 \pm 1,2$
<i>Lophius budegassa</i>	25.11.2017	1	28	0,15	$3 \pm 1,1$
<i>Merlangius merlangus</i>	25.11.2017	4	13-13,5	0,19	$28 \pm 3,5$
<i>Merluccius merluccius</i>	25.11.2017	5	15-23,5	0,22	$8 \pm 1,8$
<i>Mullus barbatus</i>	3.03.2018	5	11,1-14,4	0,47	$116 \pm 5,5$
<i>Pagellus erythrinus</i>	3.03.2018	3	12,7-13,6	0,37	$21 \pm 3,3$
<i>Pomatomus saltatrix</i>	3.03.2018	5	14,5-16,5	0,43	$189 \pm 7,6$
<i>Raja clavata</i>	20.09.2017	6	43,9-72,1	0,23	$1 \pm 0,6$
<i>Torpedo marmorata</i>	20.09.2017	4	31,5-18,6	0,12	$2 \pm 0,6$
<i>Trachinus draco</i>	3.03.2018	1	21,6	0,27	21 ± 3
<i>Trachurus trachurus</i>	3.03.2018	11	11,5-12,7	0,27	$105 \pm 5,5$
<i>Trigla lyra</i>	3.03.2018	3	19-21	0,26	$17 \pm 2,3$
<i>Zeus faber</i>	3.03.2018	1	18,5	0,20	$41 \pm 3,2$

Tablo 4.2 incelendiğinde kas dokusunda ^{210}Po aktivite konsantrasyonu en yüksek *E. encrasicolus* türünde ($407 \pm 7,4 \text{ Bq kg}^{-1}$) belirlenmiştir. *P. saltatrix* ($189 \pm 7,6 \text{ Bq kg}^{-1}$), *M. barbatus* ($116 \pm 5,5 \text{ Bq kg}^{-1}$), *T. trachurus* ($105 \pm 5,5 \text{ Bq kg}^{-1}$) türlerinin kas dokusunda bulunan ^{210}Po aktivite konsantrasyonları diğer türlerden daha yüksek bulunmuştur. En düşük ^{210}Po aktivite konsantrasyonu ise *R. clavata* türünde $1 \pm 0,6 \text{ Bq kg}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Türlerin kas dokusuna ait ^{210}Po aktivite konsantrasyon değerleri Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1: Kapıdağ Yarımadası'nda örneklenen balıkların kas dokularındaki ²¹⁰Po aktivite konsantrasyonları (Bq kg⁻¹).

Kapıdağ Yarımadası'nda örneklenen balıkların solungaçlarındaki ²¹⁰Po aktivite konsantrasyonları Tablo 4.3'de verilmiştir.

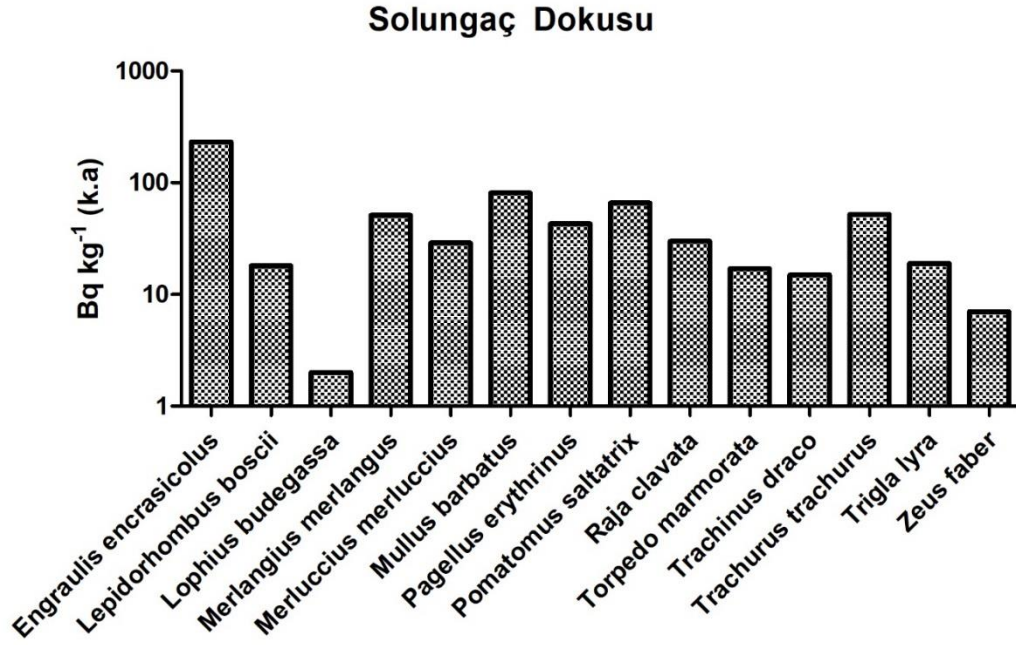
Tablo 4.3: Kapıdağ Yarımadası'ndan örneklenen balıkların solungaçlarındaki ²¹⁰Po aktivite konsantrasyonları (Bq kg⁻¹).

Tür adı	Örnekleme tarihi	Örnek sayısı(n)	Boy (cm)	Kuru/yaş	²¹⁰ PO
<i>Engraulis encrasicolus</i>	3.03.2018	5	13-13,6	0,24	233 ± 5,9
<i>Lepidorhombus boscii</i>	25.11.2017	2	26-27,5	0,19	18 ± 2,3
<i>Lophius budegassa</i>	25.11.2017	1	28	0,14	2 ± 1,1
<i>Merlangius merlangus</i>	25.11.2017	4	13-13,5	0,20	51 ± 4,5
<i>Merluccius merluccius</i>	25.11.2017	5	15-23,5	0,20	29 ± 3,2
<i>Mullus barbatus</i>	3.03.2018	5	11,1-14,4	0,26	81 ± 3,4
<i>Pagellus erythrinus</i>	3.03.2018	3	12,7-13,6	0,03	43 ± 3,1
<i>Pomatomus saltatrix</i>	3.03.2018	5	14,5-16,5	0,26	66 ± 3,5
<i>Raja clavata</i>	20.09.2017	6	43,9-72,1	0,18	30 ± 2,2
<i>Torpedo marmorata</i>	20.09.2017	4	31,5-18,6	0,20	17 ± 1,4

Tablo 4.3 (Devamı)

<i>Trachinus draco</i>	3.03.2018	1	21,6	0,30	15 ± 1,8
<i>Trachurus trachurus</i>	3.03.2018	11	11,5-12,7	0,22	52 ± 3,1
<i>Trigla lyra</i>	3.03.2018	3	19-21	0,24	19 ± 2,5
<i>Zeus faber</i>	3.03.2018	1	18,5	0,17	7 ± 1,5

Tablo 4.3 incelendiğinde toplanan balık örneklerinin solungaçlarından en yüksek ^{210}Po aktivite konsantrasyonu *E. encrasicolus* (Hamsi balığı) türünde olduğu gözlemlenmektedir. En düşük aktivite ise *L. budegassa* türünde tespit edilmiştir. Balıkların solungaçlarındaki ^{210}Po aktivite konsantrasyonu Şekil 4.2’ de belirtilmiştir.



Şekil 4.2: Kapıdağ Yarımadası’nda örneklenen balıkların solungaçlarındaki ^{210}Po aktivite konsantrasyonu (Bq kg⁻¹).

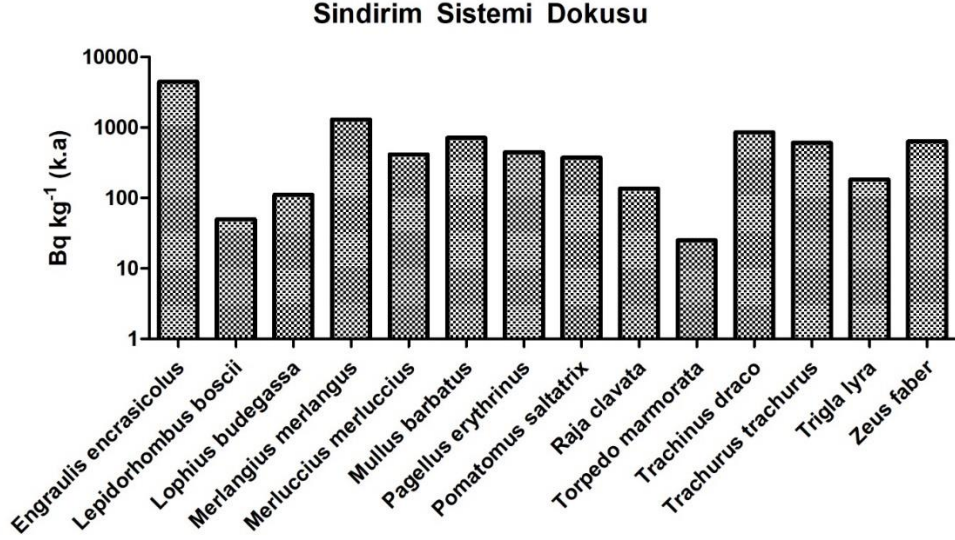
Örnekleme alanında toplanan balıkların sindirim sistemlerinden ölçülen ^{210}Po aktivite konsantrasyon değerleri Tablo 4.4’te verilmiştir.

Tablo 4.4: Kapıdağ Yarımdası'ndan örneklenen balıkların sindirim sistemindeki ^{210}Po aktivite konsantrasyonları (Bq kg^{-1}).

Tür adı	Örnekleme tarihi	Örnek sayısı(n)	Boy (cm)	Kuru/yaş	^{210}Po
<i>Engraulis encrasicolus</i>	3.03.2018	5	13-13,6	0,33	$4450 \pm 32,5$
<i>Lepidorhombus boscii</i>	25.11.2017	2	26-27,5	0,18	$50 \pm 0,2$
<i>Lophius budegassa</i>	25.11.2017	1	28	0,11	$111 \pm 2,8$
<i>Merlangius merlangus</i>	25.11.2017	4	13-13,5	0,24	$1299 \pm 16,6$
<i>Merluccius merluccius</i>	25.11.2017	5	15-23,5	0,19	$414 \pm 5,6$
<i>Mullus barbatus</i>	3.03.2018	5	11,1-14,4	0,23	718 ± 12
<i>Pagellus erythrinus</i>	3.03.2018	3	12,7-13,6	0,29	$446 \pm 9,9$
<i>Pomatomus saltatrix</i>	3.03.2018	5	14,5-16,5	0,28	$372 \pm 12,2$
<i>Raja clavata</i>	20.09.2017	6	43,9-72,1	0,20	$136 \pm 4,6$
<i>Torpedo marmorata</i>	20.09.2017	4	31,5-18,6	0,18	$25 \pm 1,3$
<i>Trachinus draco</i>	3.03.2018	1	21,6	0,33	$857 \pm 13,7$
<i>Trachurus trachurus</i>	3.03.2018	11	11,5-12,7	0,22	607 ± 11
<i>Trigla lyra</i>	3.03.2018	3	19-21	0,22	$183 \pm 3,8$
<i>Zeus faber</i>	3.03.2018	1	18,5-	0,20	$634 \pm 11,3$

Tablo 4.4 incelendiğinde sindirim sisteminde ölçülen ^{210}Po aktivite konsantrasyonlarının kas ve solungaca oranla daha yüksek olduğu belirlenmiştir. *E. encrasicolus* türünde $4450 \pm 32,5$ (Bq kg^{-1}), *M. merlangius* türünde $1299 \pm 16,6$ (Bq kg^{-1}) ve 4 türde (*Zeus faber*, *Trachurus*

trachurus, *Trachinus draco*, *Mullus barbatus*) 500 (Bq kg⁻¹)’den daha yüksek aktivite değerleri ölçülmüştür. Balıkların sindirim sistemlerindeki ²¹⁰Po konsantrasyonuna ait veriler Şekil 4.3’te verilmiştir.



Şekil 4.3: Kapıdağ Yarımadası’nda örneklenen balıkların sindirim sisteminde belirlenen ²¹⁰Po aktivite konsantrasyonları (Bq kg⁻¹).

Çalışmamızda elde edilen balıkların karaciğerindeki ²¹⁰Po aktivite konsantrasyonları Tablo 4.5’de verilmiştir.

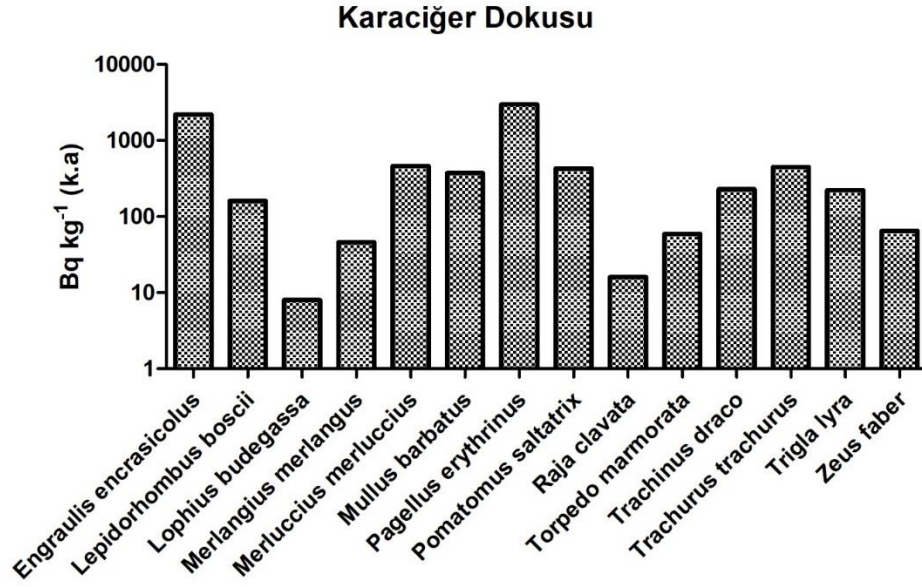
Tablo 4.5: Kapıdağ Yarımadası’ndan örneklenen balıkların karaciğerlerindeki ²¹⁰Po aktivite konsantrasyonları (Bq kg⁻¹).

Tür Adı	Örnekleme tarihi	Örnek sayısı(n)	Boy (cm)	Kuru/yaş	²¹⁰ Po
<i>Engraulis encrasicolus</i>	3.03.2018	5	13-13,6	0,25	2189 ± 26,8
<i>Lepidorhombus boscii</i>	25.11.2017	2	26-27,5	0,46	160 ± 5,7
<i>Lophius budegassa</i>	25.11.2017	1	28	0,42	8 ± 1,6
<i>Merlangius merlangus</i>	25.11.2017	4	13-13,5	0,40	46 ± 3,7
<i>Merluccius merluccius</i>	25.11.2017	5	15-23,5	0,60	462 ± 10,2
<i>Mullus barbatus</i>	3.03.2018	5	11,1-14,4	0,33	372 ± 7,5
<i>Pagellus erythrinus</i>	3.03.2018	3	12,7-13,6	0,25	2957 ± 30,3
<i>Pomatomus saltatrix</i>	3.03.2018	5	14,5-16,5	0,33	428 ± 12,2
<i>Raja clavata</i>	20.09.2017	6	43,9-72,1	0,58	16 ± 2
<i>Torpedo marmorata</i>	20.09.2017	4	31,5-18,6	0,32	59 ± 2

Tablo 4.5 (Devamı)

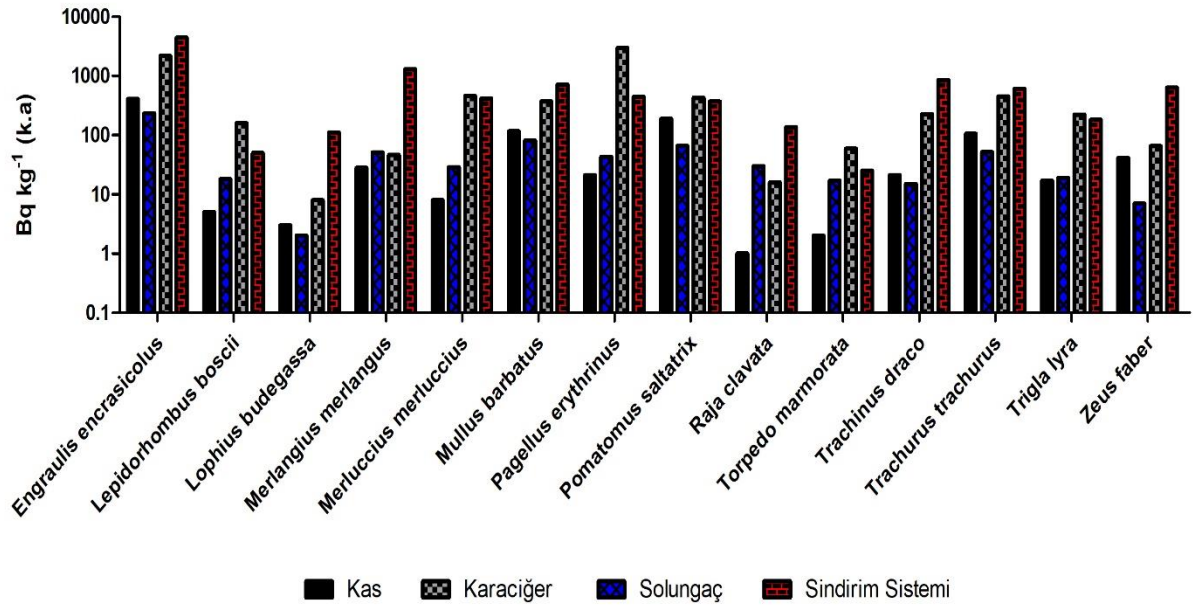
<i>Trachinus draco</i>	3.03.2018	1	21,6-	0,43	228 ± 6
<i>Trachurus trachurus</i>	3.03.2018	11	11,5-12,7	0,25	450 ± 20,1
<i>Trigla lyra</i>	3.03.2018	3	19-21	0,27	223 ± 6,2
<i>Zeus faber</i>	3.03,2018	1	18,5-	0,56	65 ± 3

Tablo 4.5 incelendiğinde *P. erythrinus* türü karaciğerinde diğer türlere oranla daha yüksek ^{210}Po aktivite konsantrasyonuna sahip olduğu görülmüştür. *E. encrasicolus* türünde ^{210}Po aktivite konsantrasyonu kas, sindirim sistemi ve solungaçta olduğu gibi karaciğer dokusunda da yüksek değerlerde olduğu gözlemlenmiştir. Karaciğer dokularındaki ^{210}Po aktivite konsantrasyon dağılımı grafiği Şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.4: Kapıdağ Yarımadası'nda örneklenen balıkların karaciğerlerinde belirlenen ^{210}Po aktivite konsantrasyonları (Bq kg⁻¹).

Kapıdağ Yarımadası'nda örneklenen balıklara ait tüm dokularda görülen karşılaştırmalı ^{210}Po aktivite konsantrasyon değerleri Şekil 4.5'te verilmiştir.



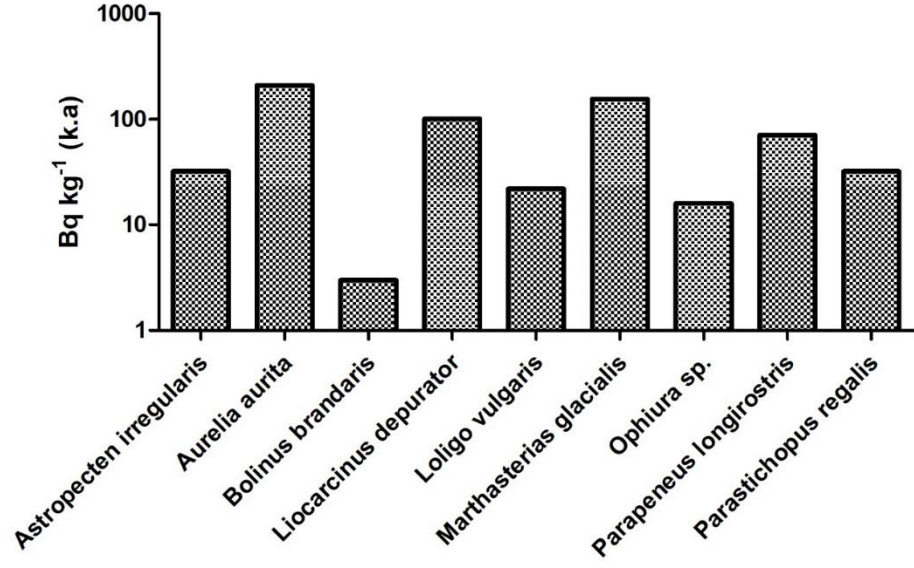
Şekil 4.5: Kapıdağ Yarımadası'nda elde edilen balık türleri ve belirlenen ^{210}Po aktivite konsantrasyonları (Bq kg^{-1}).

Kapıdağ Yarımadası'nda yapılan örnekleme sonucu omurgasız canlıların dokularında saptanan ^{210}Po konsantrasyonu Tablo 4.6'te verilmiştir.

Tablo 4.6: Kapıdağ Yarımadası'ndan örneklenen omurgasız canlılardaki ^{210}Po aktivite konsantrasyonları (Bq kg^{-1}).

Tür adı	Örnekleme tarihi	Örnek Sayısı	Kuru/yaş	^{210}Po
<i>Astropecten irregularis</i>	25.11.2017	2	0,33	$32 \pm 1,6$
<i>Aurelia aurita</i>	25.11.2017	1	0,04	209 ± 7
<i>Bolinus brandaris</i>	25.11.2017	1	0,26	$3 \pm 0,4$
<i>Liocarcinus depurator</i>	25.11.2017	5	0,22	$101 \pm 6,8$
<i>Loligo vulgaris</i>	25.11.2017	1	0,18	$22 \pm 2,5$
<i>Marthasterias glacialis</i>	25.11.2017	1	0,24	$155 \pm 6,5$
<i>Ophiura sp.</i>	25.11.2017	1	0,45	$16 \pm 1,4$
<i>Parapeneus longirostris</i>	20.09.2017	10	0,24	$71 \pm 3,6$
<i>Parastichopus regalis</i>	25.11.2017	1	0,08	$32 \pm 1,7$

Tablo 4.6 incelendiğinde dokularda en fazla ^{210}Po görülen türler sırası ile *A. aurita*, *M. glacialis*, *L. depurator*, *P. longirostris* olduğu belirlenmiştir. Omurgasız canlılara ait ^{210}Po aktivite konsantrasyon miktarı grafiği Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.6: Kapıdağ Yarımadası'ndan örneklenen omurgasız canlılardaki ^{210}Po aktivite konsantrasyonları (Bq kg⁻¹).

4.3 ELDE EDİLEN VERİLERİN İSTATİSTİKSEL ANALİZİ

Çalışma sonucunda elde edilen verilerin analizleri GraphPad programı ile yapılmıştır. Elde edilen verilerin parametrik olup olmadığını belirlemek için Kolmogorov-Smirnov testi yapılmıştır. Analiz sonucunda verilerin non-parametrik olduğu belirlenmiştir. Daha sonrasında ^{210}Po aktivite konsantrasyonlarının balıkların farklı dokularında birikimi bakımından fark olup olmadığını belirlemek için Kruskal-Wallis testi uygulanmış olup post-hoc test olarak Dunns seçilerek verilerin karşılaştırılması yapılmıştır ($P < 0.05$).

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

5.1 OMURGASIZLARDA BULUNAN ^{210}Po AKTİVİTE KONSANTRASYONLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Kapıdağ Yarımadası'nda gerçekleştirilen çalışmamızda 9 omurgasız canlı türünde ^{210}Po aktivite konsantrasyonları ölçülmüştür. Bu canlıların ^{210}Po aktivite konsantrasyon değerleri incelendiğinde en yüksek değer *Aurelia aurita* türünde $209 \pm 7 \text{ Bq kg}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Pelajik olarak yaşayan bir tür olan *A. aurita* plankton ile beslenmektedir. *A. aurita* türü biriktirdiği ^{210}Po 'u sudan direkt almanın yanı sıra esas birikimine filtre ederek ^{210}Po 'un adsorbe olduğu biyogenik partikülleri ve planktonlarla beslenmesi sonucu olduğu düşünülmektedir. Ayrıca söz konusu tür geniş alanları tarayarak filtre etmesi ile ^{210}Po birikimini arttırmaktadır. Besinlerini filtrasyon yaparak alan organizmalar yüksek asimilasyon verimi ve düşük ^{210}Po atılım oranı ile etkili bir biyobirikim gösterebilmektedir (Swift ve diğ., 1995; Stewart ve Fisher, 2003; Belivermiş ve diğ., 2019). Çalışmamızda elde edilen *Marthasterias glacialis* dikenli deniz yıldızı $155 \pm 6,5 \text{ Bq kg}^{-1}$ ile en fazla ^{210}Po aktivite konsantrasyonuna sahip ikinci türdür. Bunun nedeni ise yaşadığı habitat (bentik olarak yaşamakta olup sedimentte bulunan ^{210}Po 'u bünyesine almaktadır) ve beslenme alışkanlıklarının sonucu olduğu tahmin edilmektedir.

Liocarcinus depurator türü yengeçteki ^{210}Po aktivite konsantrasyonu $101 \pm 6,8 \text{ Bq kg}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. *Parapeneus longirostris* ekonomik değeri yüksek olan bir Crustacea türüdür. Çalışmamızda bu türdeki ^{210}Po aktivite konsantrasyon değeri $71 \pm 3,6 \text{ Bq kg}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. *Parastichopus regalis* (deniz hıyarı) ve *Astropecten irregularis* (deniz yıldızı) türlerinin ^{210}Po aktivite konsantrasyon değerleri $32 \pm 1,7$ ve $32 \pm 1,6 \text{ Bq kg}^{-1}$ olarak hesaplanmış olup söz konusu değerler birbirine yakın bulunmuştur. *Ophiura* sp. türünde ise ^{210}Po aktivite konsantrasyon değeri $16 \pm 1,4 \text{ Bq kg}^{-1}$ hesaplanmıştır. Bu türler bentik olarak yaşamakta olup karnivor ve detritivor beslenme özelliklerine sahip organizmalardır. Söz konusu türler özellikle sahip oldukları bu beslenme özelliklerinden dolayı daha düşük ^{210}Po birikimi göstermiş olabilirler. Çalışmamızda en düşük ^{210}Po aktivite konsantrasyon değeri ($3 \pm 0,4 \text{ Bq kg}^{-1}$) ise *Bolinus brandaris* gastropod türünde bulunmuştur.

Elde edilen veriler aşağıda verilen literatürde yapılmış çalışmalarda bulunan değerler ile karşılaştırılmıştır.

Mamish ve diğ (2015) Doğu Akdeniz kıyılarında yaptıkları çalışmada *A. aurita* türünde $48,7 \pm 3,4$ ile $56,2 \pm 3,9$ Bq kg⁻¹ arası ²¹⁰Po aktivite konsantrasyon değerleri rapor etmişlerdir. Çalışmamızda aynı türde ²¹⁰Po aktivite konsantrasyonu 209 ± 7 Bq kg⁻¹ olarak hesaplanmıştır. İki çalışma karşılaştırıldığında bu çalışmamızda daha yüksek değerler bulunmuştur.

Cherry ve Heyraud (1881) yaptıkları çalışmada *P. longirostris* türünde 0,088 Bq kg⁻¹ olarak hesaplamıştır. Çalışmamızda ise $71 \pm 3,6$ Bq kg⁻¹ olarak hesaplanan daha yüksek bir değer bulunmuştur.

Carvalho (2011), yaptığı çalışmada omurgasız canlı türünde ²¹⁰Po aktivite konsantrasyonunu $0,7 \pm 0,1$ Bq kg⁻¹ ile 33500 ± 1675 Bq kg⁻¹ aralığında değerler rapor etmiştir. Bu çalışmada ise omurgasız canlılarda $3 \pm 0,4$ ile 209 ± 7 Bq kg⁻¹ aralığında değerler hesaplanmıştır.

Díaz-Francés ve diğ. (2013) yaptıkları çalışmada *B. brandrais* türünde ²¹⁰Po aktivite konsantrasyon değerlerini 16 ± 4 Bq kg⁻¹ olarak rapor etmişlerdir. Bu çalışmada aynı tür için $3 \pm 0,4$ Bq kg⁻¹ değeri hesaplanmıştır. Ayrıca crustacea ve mollusca gruplarında $0,09 \pm 0,02$ ile 115 ± 3 Bq kg⁻¹ aralığında ²¹⁰Po aktivite konsantrasyon değerleri rapor etmişlerdir.

Literatürde yer alan ²¹⁰Po aktivite değerlerinin yapılan bu tez çalışmasında bulunan değerlerden nispeten farklı olmasının sebebi çalışılan bölgelerin sahip olduğu ekolojik parametrelerin, plankton yoğunluğunun, çeşitli insan aktivitelerinin (fosil yakıt kullanımı ve fosfat gübresi deşarjı vb.) sonucunda oluşan girdilerin, yağış rejimlerinin, denge ve denge üstü ²¹⁰Po aktivite değerlerinin birbirinden farklı olmasının yanı sıra aynı türlerin allometrik özelliklerinin farklılığından kaynaklı olabilir (Fowler, 2011; Uddin ve diğ., 2017).

Çalışmamızda elde edilen *Marthasterias glacialis*, *Liocarcinus depurator*, *Parastichopus regalis*, *Astropecten irregularis*, *Ophiura* sp. türleri için ilk kez ²¹⁰Po aktivite konsantrasyon değerleri rapor edilmektedir. Bu bakımdan literatüre bu türlerle ilgili ²¹⁰Po birikimi bakımından ilk veriler sunularak katkı sağlanmaktadır.

5.2 OMURGALILARDA BULUNAN ²¹⁰PO AKTİVİTE KONSANTRASYONLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Balıkların farklı dokularında (kas, solungaç, karaciğer ve sindirim sistemi) belirlenen ²¹⁰Po aktivite değerleri Tablo 4.2-4.5 ve Şekil 4.2-4.5’de verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre

aktivite değerleri türler ve dokular bazında farklılıklar göstermektedir. Türler bazında ^{210}Po birikiminin farklılıklar göstermesinin esas nedenleri beslenme şekli ve habitatı ile ilgili olabilmektedir. Çalışma alanından toplanan balık türlerinin kas, solungaç ve sindirim sistemi dokularında ^{210}Po aktivite konsantrasyonları incelendiğinde en yüksek aktivite *Engraulis encrasicolus* (hamsi) türünde belirlenmiştir (Tablo 4.2-4.4) Karaciğerde ise en yüksek ^{210}Po aktivite konsantrasyonu *Pagellus erythrinus* türünde belirlenmiştir (Tablo 4.5). En düşük ^{210}Po aktivite konsantrasyonu kas dokusunda *Raja clavata* (dikenli vatoz) türünde $1 \pm 0,6 \text{ Bq kg}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Solungaç ve karaciğerde en düşük ^{210}Po aktivite konsantrasyonu ise *Lophius budegassa* türü fener balığında bulunmuştur (Tablo 4.3-4.5). Sindirim sisteminde en düşük ^{210}Po aktivite konsantrasyonu $25 \pm 1,3 \text{ Bq kg}^{-1}$ olarak da *Torpedo marmorata* ( arpan balığı) türünde bulunmuştur.

Tüm türler içerisinde bir değerlendirme yapıldığında, *E. encrasicolus* türünde görülen yüksek ^{210}Po aktivite konsantrasyon değerlerinin nedeni tercih ettiği besinlerden dolayı olduğu düşünülmektedir. Bilindiği  zere *E. encrasicolus* türü plankton ağırlıklı olarak beslenmektedir. Literatürde de belirtildiği üzere ^{210}Po 'un ana birikim yolunun diyet alımı olduğu ve toplam alım içerisinde %97 civarında bir oranı olduğu ulaştığı bilinmektedir (Carvalho ve Fowler, 1993). Po-210 planktonik organizmalarda yoğun miktarda tutulup birikmektedir. *E. encrasicolus* türü ^{210}Po 'un yüksek bulunmasının temel sebebi planktonik organizmaları t ketererek beslenmesi olarak görülmektedir. Yapılan  nceki çalışmalarda da *E. encrasicolus* türünde ^{210}Po 'un yüksek düzeyde biriktiği rapor edilmiştir ( atal ve diğ., 2012). Bu çalışmada özellikle karnivor tip beslenen balık türlerinin daha düşük düzeyde ^{210}Po birikimi gösterdiği görülmektedir (Tablo 4.2-4.5, şekil 4.2-4.5). Çalışmada elde edilen veriler literatürde rapor edilen sonuçları desteklemektedir (Kılıç ve diğ., 2018;  atal ve diğ., 2012; Belivermiş ve diğ., 2019).

Tablo 4.2-4.5 ve şekil 4.2-4.5 incelendiğinde farklı balık türlerinde yüksek ^{210}Po aktivite konsantrasyonları karaciğer ve sindirim sisteminde belirlenirken kas ve solungaç dokularında birikim nispeten daha düşük düzeyde tespit edilmiştir. Yapılan istatistiksel analiz (Kruskal-Wallis, Dunns post-hoc testine göre) sonucunda kas ile karaciğer, kas ile sindirim sistemi, solungaç ile karaciğer ve solungaç ile sindirim sistemi arasında anlamlı farklılıklar ($P < 0.05$) olduğu belirlenmiştir. Bu farklılıkların nedeni karaciğer ve sindirim sisteminin aşağıda vurgulanan bazı özelliklerinden dolayı diğer dokulara oranla daha fazla birikim göstermesindendir. Canlılarda karaciğer dokusu kan içinde    n m ş halde bulunan ağır metal

ve radyonüklid gibi kirleticileri detoksifiye ve biyotransforme eder. Bu nedenle balıkların karaciğerinde diğer organlarla kıyaslandığında daha yüksek oranda ^{210}Po bulunması beklenen bir sonuçtur. Ayrıca karaciğerde bulunan metalloproteinler ve metallothioneinler gibi metal ve radyonüklid bağlayıcı proteinler söz konusu kirleticilerin tutulmasında önemli görevler üstlendiğinden bu organda kirleticiler nispeten yüksek konsantrasyonlarda ölçülebilmektedir (Skwarzec, 1988; Durand ve diğ., 1999). Sindirim sisteminde ^{210}Po birikiminin yüksek çıkması ise besinlerle alınan ^{210}Po 'un adsorbsiyon ve absorpsiyonla sindirim sisteminde alıkonmasından ileri geldiği düşünülmektedir. Hepatopankreas ve karaciğer gibi sindirim sistemine ait organlarda ^{210}Po 'nun çok yüksek aktivitelerine sahip omurgasızların ve balıkların (Skwarzec, 1988; Bustamante ve diğ., 2002) ^{210}Po 'un ana birikim yolunun beslenme olduğu hipotezini desteklemektedir.

Yapılan bu tez çalışmasında *E. encrasicolus*, *M. barbatus* ve *T. trachurus* türlerinde bulunan ^{210}Po aktivite konsantrasyonları Çatal (2006) tarafından yapılan çalışmada aynı türlerde bulunan aktivite değerlerinden katları derecesinde daha yüksek düzeyde bulunmuştur. Kılıç ve diğ. (2018) tarafından yapılan çalışmada Ege Denizi Gökçeada çevresinde toplanan *E. encrasicolus*, *L. budegassa*, *M. merluccius* ve *P. erythrinus* türlerinde bulunan ^{210}Po aktivite konsantrasyonları (kas dokusunda sırasıyla $64,5 \pm 6,7$; $16,05 \pm 2,05$; $81,09 \pm 27,19$; $6 \pm 0,96$ Bq kg^{-1} karaciğer dokusunda sırasıyla $219,85 \pm 15$; $91,36 \pm 11,27$; $206,12 \pm 26,5$; $563,95 \pm 35,35$ Bq kg^{-1} solungaç dokusunda sırasıyla $31,35 \pm 3,6$; $47,88 \pm 4,18$; $172,95 \pm 42,45$ Bq kg^{-1}) ile karşılaştırıldığında çalışmamızda bulunan aktivite değerleri *E. encrasicolus* ve *P. erythrinus* türlerinde daha yüksek diğer iki türde benzer ya da daha düşük olarak bulunmuştur. Aközcan ve Uğur (2013) tarafından gerçekleştirilen çalışmada *M. barbatus* ve *T. trachurus* türlerinde bulunan aktivite değerleri ($60,0 \pm 3,0$ ve $18,6 \pm 2,0$ Bq kg^{-1}) çalışmamızda aynı iki türde bulunandan daha düşük düzeydedir.

Diğer ülkelerde omurgasız ve balık örneklerinin farklı dokularından elde edilen minimum ve maksimum ^{210}Po aktivite konsantrasyon değerleri ile bu çalışmada elde edilen değerlerin karşılaştırması ise Tablo 5.1 de verilmiştir. Çalışmamızda bulunan değerler yapılan çalışmalar ile karşılaştırıldığında elde edilen aktivitelerin çalışmamızda daha yüksek olduğu görülmektedir. Bölgeler arası ^{210}Po aktivitelerinin aynı türlerde farklı bulunması çalışılan alanlardaki doğal radyoaktivite düzeylerinin farklılığı, çeşitli fosil yakıt ve fosfat girdilerinin etkisi, türlerin allometrik özellikleri, ekolojik ve oşinografik parametrelerin farklı olması, farklı

bölgelerde farklı besinlerle beslenmesi ve farklı biyoçeşitlilik gibi birçok nedenden ileri gelebilmektedir (Kılıç ve diğ., 2018; Belivermiş ve diğ., 2019) Söz konusu bölgelerde sedimentte ve suda yapılacak ölçümlerle yorumlamaların daha kolay olacağı düşünülmektedir.

Tablo 5.1: Farklı dünya ülkelerindeki omurgasız ve balık örneklerinin farklı dokularından elde edilen minimum ve maksimum ^{210}Po aktivite konsantrasyonları.

Ülke	Po-210 (Bq kg^{-1})	Kaynakça
Amerika	0,4–153,3	Noshkin ve diğ. 1994
Hindistan	1,2–92,3	Khan ve Wesley (2011)
Japonya	0,6–2,6	Yamamoto ve diğ. 1994
Polonya	0,9–5	Skwarzec (1997)
Portekiz	0,2–11	Carvalho, 1988
Slovenya	0,039–35	Štrok ve Smodiš (2011)
Sudan	0,25–6,42	Hassona ve diğ. (2008)
Suriye	0,27–27,48	Al-Masri ve diğ. (2000)
Türkiye	$1 \pm 0,6$ – $4450 \pm 32,5$	Bu çalışma

5.3 TÜKETİLEN BALIKLARDA İNSANLARIN ^{210}Po 'DAN DOLAYI ALABİLECEĞİ RADYASYON DOZ DEĞERLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Tüketilen organizmalarda ^{210}Po 'dan dolayı alınan yıllık etkin doz değerleri balıkların kas dokusunda belirlenen ^{210}Po aktivite konsantrasyonları üzerinden hesaplanmıştır. ICRP (2007) tarafından halk için yıllık izin verilen sınır değer 1 mSv olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada kas dokusunda en yüksek ^{210}Po aktivitesine sahip olan hamsi balığında (*E. encrasicolus*) aktivite değeri yaş ağırlıkta $118,03 \text{ Bq kg}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Hesaplamaya göre yıllık efektif dozun

1 mSv'e ulaşması için 8,4 kg hamsi tüketilmesi gerekmektedir. En düşük ^{210}Po aktivite değerine sahip fener balığı (*L. budegassa*) türünden alınacak yıllık etkin dozun 1 mSv'e ulaşabilmesi için yıllık olarak 2222 kg tüketilmesi gerekmektedir. Ülkemizde yıllık balık tüketim oranı (6,14 kg) dikkate alındığında bu değerlerin altında olduğu görülmektedir.

Kılıç ve diğ. (2018) yaptıkları çalışmada balık filetosundan alınan yıllık doz değerini 62 μSv olarak rapor etmişlerdir. Kılıç ve diğ. (2014) *Mytilus galloprovincialis* türünde yaptıkları çalışmada bu türün tüketimine bağlı efektif dozu 0,25-3,30 $\mu\text{Sv yıl}^{-1}$ olarak rapor etmişlerdir. Aközcan ve Ugur (2013), en yüksek doz değerini hamsi balığında 8,908 $\mu\text{Sv y}^{-1}$ olarak rapor etmiştir. Aközcan (2013), en yüksek doz değerini hamsi balığında 14,66 μSv olarak rapor etmiştir. Çatal (2006)' ya göre Ege Bölgesi'nde yaşayan insanların sardalya balığı yiyerek ^{210}Po radyonüklidinden aldığı yıllık doz değeri yaklaşık 26 $\mu\text{Sv yıl}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Topçuoğlu ve diğ. (2003), hamsi balığı yiyerek ^{210}Po radyonüklidinden Karadeniz halkının aldığı yıllık doz değerini 72 $\mu\text{Sv yıl}^{-1}$ olarak tayin etmişlerdir. Çatal ve diğ. (2012), sardalya balığında tüketime bağlı alınan doz miktarını 10,5 $\mu\text{Sv yıl}^{-1}$ olarak rapor etmişlerdir. Belivermiş ve diğ. (2019) tarafından yapılan çalışmada ise Ege Denizi Gökçeada çevresinden toplanan mollusk türlerinin tüketilmesi ile ^{210}Po 'dan dolayı alınacak yıllık doz hesabı yapılmıştır. Söz konusu çalışmada alınacak dozun 1 mSv'i geçebilmesi için en yüksek ^{210}Po biriktiren *Anadara gibbosa* türünün yıllık tüketiminin 3,2 kg ve en düşük ^{210}Po biriktiren *Pholas dactylus* türünün ise yıllık 14,2 kg olarak tüketilmesi gerektiği rapor edilmiştir. Türkiye genelinde yapılan bu çalışmalarda ^{210}Po 'dan dolayı alınan yıllık etkin doz değerleri genel olarak 1 mSv'in altında bulunmuştur. Türkiye'de deniz ürünleri tüketimi dünya ortalaması altında ve 1 mSv'e ulaşabilmesi için tüketilecek miktarlarda olmaması bakımından çalışmada kullanılan türlerin tüketiminde sağlık açısından herhangi bir sakınca görülmemektedir.

Sonuç olarak elde edilen verilere göre omurgasızlar içerisinde ise en yüksek aktivite geniş bir alan tarayarak pelajik olarak planktonla beslenmesinden dolayı *Aurelia aurita* türünde, omurgalılar içerisinde ise en yüksek aktivite yine planktonik organizmalarla beslenmesinden dolayı *E. encrasicolus* türünde bulunmuştur. Elde edilen bu sonuçlar, özellikle kas, solungaç ve sindirim sisteminde yüksek ^{210}Po birikiminden dolayı *E. encrasicolus* balık türünün bu tip çalışmalarda iyi bir biyoindikatör organizma olarak tercih edilebileceğini göstermiştir. Ayrıca, karaciğer dokusunda en yüksek ^{210}Po birikimi omnivor olarak beslenen *Pagellus erythrinus* kırma mercan balık türünde belirlenmiş olup yine biyomonitöring çalışmalarında

kullanılabileceği düşünülmektedir. Balıklarda en düşük aktivite değerlerinin ise karnivor tipi beslenen türlerde olduğu gözlenmiştir. Balıklarda dokulara göre yapılan analizlerde karaciğer ve sindirim sisteminde ^{210}Po birikiminin solungaç ve kas dokusuna göre istatistiksel olarak anlamlı olarak daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Literatür verisi ile karşılaştırıldığında çalışmamızda bulunan ^{210}Po aktivite konsantrasyon değerleri diğer bölgelere göre nispeten daha yüksek olarak hesaplanmıştır. Bu durumun nedenleri yukarıda da bahsedildiği üzere bölgede bulunan denge ve denge üstü (çalışma alanı çevresinde bulunan çeşitli sanayi kuruluşlarının etkisi söz konusu olabilir) ^{210}Po seviyesinin diğer bölgelerden farklı olması, türlerin allometrik özelliklerinin farklı olması, plankton yoğunluğundaki farklılık, farklı oşinografik parametreler ve biyoçeşitlilik olarak düşünülebilir. Çalışmada ^{210}Po 'dan dolayı alınan yıllık etkin doz değerleri göz önünde bulundurulduğunda hesaplanan doz değerlerinin balık tüketimi bakımından herhangi bir sağlık sorunu teşkil etmediği belirlenmiştir. Bu çalışma Kapıdağ Yarımadası bazı balık ve omurgasız türleri için ^{210}Po aktivite konsantrasyonları verisinin sunulduğu ilk çalışma olması bakımından önemli olup ileride yapılacak çalışmalara bir referans olma niteliği taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- Aközcan, S., ve Uğur, A., 2013, Activity levels of 210Po and 210Pb in some fish species of the Izmir Bay (Aegean Sea), *Marine Pollution Bulletin*, 66(1-2), 234–238. doi:10.1016/j.marpolbul.2012.10.003
- Al-Masri, M.S., Mamish, S., Budeir, Y., Nashwati, A., 2000, 210Po and 210Pb concentrations in fish consumed in Syria. *Journal Environment Radioactiv*, 49, 345–352.
- Arslan, F. D., 2005, *Ege Denizi'nin Farklı Bölgelerindeki Plankton Örneklerinde Po-210 Birikiminin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Aslan, E., 2010, *İzmir Körfezi'ndeki Kara Midyelerinin (Mytilus galloprovincialis) ve Bazı Balık Türlerinin Farklı Organ ve Dokularındaki 210Po Konsantrasyonu ile Lipid Peroksidasyonu (LPO), H2O2 ve Prolin Arasındaki Korelasyonunun İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Balkıs, N., Çağatay, M, N., 2001, Factors controlling metal distributions in the surface sediments of the Erdek Bay, Sea of Marmara, Turkey, *Environment International*, 27, 1-13.
- Baxter, M.S., 1993, Environmental Radioactivity: A Perspective on Industrial Contributions, *IEAE Bulletin*, 35(2), 33-38.
- Belivermiş, M., Kılıç, Ö., Efe, E., Sezer, N., Gönülal, O., Kaya, T. N. A., 2019, Mercury and Po-210 in mollusc species in the island of Gökçeada in the north-eastern Aegean Sea: Bioaccumulation and risk assessment for human consumers, *Chemosphere*, 235, 876-884.
- Bolivar, J. P., Garcia-Tenorio, R., Mas, J. L., Vaca, F., 2002, Radioactive impact in sediments from an estuarine system affected by industrial wastes releases, *Environment International*, 27, 639-645.
- Bustamante, P., Germain, P., Leclerc, G., Miramand, P., 2002, Concentration and distribution of 210Po in the tissues of the scallop *Chlamys varia* and the mussel *Mytilus edulis* from the coasts of Charente-Maritime (France), *Marine Pollution Bulletin*, 44(10), 997-1002.
- Cankurt, S., 2013, *İzmir Körfezi'ndeki Fitoplankton, Zooplankton ve Yüzey Sedimentlerinde 210Po Birikiminin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Nükleer Bilimler ABD.
- Carvalho, F.P., 1988, 210Po in marine organisms: a wide range of natural radiation dose domains, *Radiation Protection Dosimetri* 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., 1995, ^{210}Po and ^{210}Pb intake by the Portuguese population: The concentration of seafood in the dietary intake of ^{210}Po and ^{210}Pb , *Health Physics*, 69: 469-480.
- Carvalho, F. P., 2011, Polonium (^{210}Po) and lead (^{210}Pb) in marine organisms and their transfer in marine food chains. *Journal of Environmental Radioactivity*, 102(5), 462-472.
- Catal, E. M., Uğur, A., Özden, B., & Filizok, I., 2012, ^{210}Po and ^{210}Pb variations in fish species from the Aegean Sea and the contribution of ^{210}Po to the radiation dose, *Marine Pollution Bulletin*, 64(4), 801-806.
- Cherry, R. D., and Heyraud, M., 1981, Polonium-210 content of marine shrimp: variation with biological and environmental factors, *Marine Biology*, 65(2), 165-175.
- Colangelo, C. H., Huguet, M. R., Palacios, M. A., & Oliveira, A. A., 1992, Levels of ^{210}Po in some beverages and in tobacco, *Journal of radioanalytical and nuclear chemistry*, 166(3), 195-202.
- Cürebal, İ., Kızılçaoğlu, A., Soykan, A., 1998, Belkıs Tombolosu'nun Jeomorfolojik ve Uygulamalı Jeomorfolojik Özellikleri, *Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 1(1): 1-23.
- Çatal, M., ve Ebru, N., 2006, *Ege bölgesinde en çok tüketilen balıklarda radyoaktif polonyum düzeyinin ve yıllık gıda dozuna katkısının araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Çatal, E. M., Uğur, A., Özden, B., & Filizok, I., 2012, ^{210}Po and ^{210}Pb variations in fish species from the Aegean Sea and the contribution of ^{210}Po to the radiation dose. *Marine Pollution Bulletin*, 64(4): 801-806.
- Díaz-Francés, I., García-Tenorio, R., Mantero, J., & Manjón, G., 2013, Evaluation of the Amount of ^{210}Po Ingested by the Spanish Population and its Relation to their Diet Habits, *IRPA13*.
- Durand, J. P., Carvalho, F. P., Goudard, F., Pieri, J., Fowler, S. W., Cotret, O., 1999, ^{210}Po binding to metallothioneins and ferritin in the liver of teleost marine fish, *Marine Ecology Progress Series*, 177, 189-196.
- Fowler, S. W., 2011, ^{210}Po in the marine environment with emphasis on its behaviour within the biosphere, *Journal of Environmental Radioactivity*, 102(5), 448-461.
- Germain, P., Leclerc, G., Simon, S., 1995, Transfer of polonium-210 into *Mytilus edulis* and *Fucus vesiculosus* from Baie de Seine. *Science of Total Environment*, 164, 109-123.
- Güven, K. C. ve Öztürk, B., 2005, *Deniz Kirliliği*. İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü ve Su ürünleri Fakültesi Yayın No: 2
- Hassona, R.K., Sam, A.K., Osman, O.I., Sirelkhatim, D.A., Larosa, J., 2008, Assessment of committed effective dose due to consumption of Red Sea coral reef fishes collected from the local market (Sudan), *Science of Total Environment* 393 (2–3), 214–218.

- Heyraud M, Cherry RD., 1979, ^{210}Po and ^{210}Pb in marine food chains, *Marine Biology*, 52:227–236.
- Huxley, K., 1997, Joining Forces for the Environment, *The Journal of the Marine Science*, 45, 17-18.
- IAEA, 1995, Sources of radioactivity in the marine environment and their relative contributions to overall dose assessment from marine radioactivity (MARDOS), *IAEA-TECDOC-838*.
- IAEA, 2003, International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiations and for the Safety of Radiation Sources, In: Safety Series No., vol. 115. IAEA, Vienna.
- IAEA, 2004, Radiation, People and the Environment, *International Atomic Energy Agency*, PI, A,75, 04-00391
- Karadeniz, C., B., 2004, Karadeniz’de Balıkçılığın Sorunları, *Standart*, 510, 46-56.
- Kauranen, P., ve Miettinen, J. K., 1971, Polonium And Radiolead In Some Aqueous Ecosystems In Finland (No. NYO-3446-14; CONF-700412-2), Helsinki Univ (Finland). Dept. Of Radiochemistry.
- Keskin, C., 2007, Temporal variation of the fish assemblages in different shallowwater habitats in Erdek Bay, Marmara Sea, Turkey, *Journal Black Sea/Mediterranean Environment*, 13, 215-234.
- Khan, M.F., Wesley, S.G., 2011, Assessment of health safety from ingestion of natural radionuclides in seafoods from a tropical coast, India, *Marine Pollution Bulletin*, 62, 399–404.
- Kılıç, Ö., Belivermiş, M., Çotuk, Y. ve 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., Gözel, F., Carvalho, F.P., 2014, Radioactivity Levels In Mussels And Sediments of the Golden Horn by the Bosphorus Strait, Marmara Sea, *Marine Pollution Bulletin*, 82, 1-6.
- Kılıç, Ö., Belivermiş, M., Gönülal, O., Sezer, N., & Carvalho, F. P., 2018, ^{210}Po and ^{210}Pb in fish from northern Aegean Sea and radiation dose to fish consumers, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 318(2), 1189-1199.
- Koç, T., 2002, Bandırma ilçesinde tavukçuluğun çevresel etkisi, *Ekoloji*, 43, 11–16.
- Kül, M., & Görgün, A. U., 2015, Pesticides Residues And ^{210}Po Activity Concentrations In Mussel (*Mytilus Galloprovincialis*) And Some Fish Samples From Izmir Bay, Turkey, (p. 115).

- Kurun, A., 2010, *Bandırma ve Erdek Körfezlerinin bentik Amphipoda (Crustacea) faunası ve dağılımlarını etkileyen bazı ortam faktörleri*, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Mamish, S., Al-Masri, M. S., ve Durgham, H., 2015, Radioactivity in three species of eastern Mediterranean jellyfish, *Journal of Environmental Radioactivity*, 149, 1-7.
- Manav, R., 2014, *Bafa Gölü'nde (Milas-Muğla) Bazı Ağır Metallerin ve Doğal Radyonüklidlerin Askıdaki Katı Madde, Biyota ve Sediment Örneklerinde Araştırılması*, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Mat Çatal, E., 2006, *Ege Bölgesi'nde en çok tüketilen balık türlerinde radyoaktif polonyum düzeyinin ve yıllık gıda dozuna katkısının araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- McDonald, P., Baxter, M. S., ve Scott, E. M., 1996, Technological enhancement of natural radionuclides in the marine environment, *Journal of Environmental Radioactivity*, 32(1-2), 67-90.
- National Research Council, committee on the Biological Effects of Ionizing Radiations, 1988, Health Risks of Radon and other Internally Deposited Alpha-Emitters: BEIR IV, 159-175.
- Noshkin, V.E., Robison, W.L., Wong, K.M., 1994, Concentration of ^{210}Po and ^{210}Pb in the diet at the Marshall Island, *Science of Total Environment*. 155, 87–104.
- Özelli, C., Özbaysal, M.K., 2001, Kalkınmada öncelikli yöreler, Balıkesir il profili, T,C, Sanayi Bakanlığı KOSGEB.
- Özgür, K. B., 2008, *Kapıdağ Yarımadası (Balıkesir) CU-PB-ZN Verilerinin Jeostatistiksel Olarak Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Özkaya, A., 1992, *İzmir Körfezi Balıklarında Radyoaktivite ve Ağır Metal Tayinleri*, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Parfenov, Y. D., 1974, Polonium-210 in the environment and in the human organism, *At,Energy Rev.*, 12:75-143.
- Ryan, T. P., Dowdall, A. M., McGarry, A. T., Pollard, D., Cunningham, J.D., 1999, ^{210}Pb in *Mytilus edulis* in the Irish Marine environment, *Journal of Environmental Radioactivity*, 43, 325-342.
- Saçan, S., 2004, *İzmir Körfezi Yüzey sedimentlerinde Radyoaktif Pb-210 ve Po-210 Birikiminin Tayin Edilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- 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.

- Sekin, F., 2000, *Ege Denizi 'ndeki midyelerde radyoaktif polonyum Düzeyinin Elektrokimyasal Yöntemiyle Ölçülmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Skwarzec, B., 1988, Accumulation of ^{210}Po in selected species of Baltic fish, *Journal of Environmental Radioactivity*, 8(2), 111-118.
- Skwarzec, B., 1997, Polonium, uranium and plutonium in the southern Baltic Sea, *Ambio* 26 (2), 113–117
- Spencer, H., Holtzman, R. B., Kramer, L., & Ilcewicz, F. H., 1977, Metabolic Balances of ^{210}Pb and ^{210}Po at Natural Levels, *Radiation Research*, 69(1), 166-184.
- Stepnowski, P. ve 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, 201-20.
- Stewart, G. M., & Fisher, N. S., 2003, Bioaccumulation of polonium-210 in marine copepods, *Limnology and Oceanography*, 48(5), 2011-2019.
- Štok, M., Smodiš, B., 2011, Levels of ^{210}Po and ^{210}Pb in fish and molluscs in Slovenia and the related dose assessment to the population, *Chemosphere* 82, 970–976.
- Swift, D. J., Smith, D. L., Allington, D. J., & Winpenny, K., 1995, A laboratory and field study of ^{210}Po depuration by edible winkles (*Littorina littorea* L.) from the Cumbrian Coast (north-eastern Irish Sea), *Journal of Environmental Radioactivity*, 26(2), 119-133.
- Topçuoğlu, S., 2000, Black Sea ecology, pollution research in Turkey of the marine environment, *IAEA Bulletin*, 42(4), 12-14.
- Topçuoğlu, S., 2005, Denizlerin Radyoaktif Kirliliği (VI, Bölüm), *Deniz Kirliliği, Tüdev Yayınları*, İstanbul, 21, 512
- TÜİK, 2019, *Su Ürünleri İstatistikleri*, <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=30697>, [Ziyaret Tarihi: 20 Haziran 2019].
- Uddin, S., Fowler, S. W., Behbehani, M., Metian, M., 2017, ^{210}Po bioaccumulation and trophic transfer in marine food chains in the northern Arabian Gulf, *Journal of Environmental Radioactivity*, 174, 23-29.
- Uğur, A., 1998, *Gökova Körfezi deniz sediment korlarında radyoaktif Pb, Po, Ra, Cs, Am ve Pu izotoplarının dağılımının incelenmesi, sedimentasyon hızı ve tarihleme çalışmalarında kullanılması*, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Uğur, (Tanbay), A., Yener, G., 2001, Accumulation rates and sediment deposition in Gökova Bay in Aegean Sea Turkish Coast, *Applied Radiation and Isotopes*, 55: 581-588.
- Uğur, A., Yener G., Başsarı, A., 2002, Trace metals and ^{210}Po (^{210}Pb - ^{210}Po) concentrations in mussels (*Mytilus galloprovincialis*) consumed at western Anatolia, *Applied Radiation and Isotopes*, 57, 565- 571.

- Uğur, A., Yener, G., Topcuoğlu, S., Sunlu, U., Aközcan, S., ve Özden, B., 2006, ^{210}Po in mussels (*Mytilus galloprovincialis*) and sediments along the Turkish coast of the Aegean Sea, *Radioactivity in the Environment*, 8, 272-280.
- Uğur, A., Özden, B., Filizok, I., 2011, Determination of ^{210}Po and ^{210}Pb concentrations in atmospheric deposition in İzmir (Aegean sea - Turkey), *Atmospheric Environment*, 45, 4809–481.
- Wildgust, M.A., McDonald, P. and White, K.N., 1998, Temporal changes of ^{210}Po in temperate coastal waters, *The Science of the Total Environment* 214: 1-10.
- Yamamoto, M., Abe, T., Kuwabara, J., Komura, K., Takiza, Y., 1994, Polonium-210 and lead-210 in marine organisms: intake levels for Japanese, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 178, 81–90.

EKLER

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Eren Nural
Doğum Yeri	Fatih/İstanbul
Doğum Tarihi	09.10.1992
Uyruğu	☒ T.C. ☐ Diğer:
Telefon	0537 733 08 93
E-Posta Adresi	nuraleren@gmail.com
Web Adresi	



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Fakülte	Fen Fakültesi
Bölümü	Biyoloji
Mezuniyet Yılı	17.06.2015

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Biyoloji Anabilim Dalı
Programı	Hidrobiyoloji Programı