

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

İZMİR KÖRFEZİNDEKİ KARA MİDYELERİNİN (*Mytilus galloprovincialis*) VE BAZI BALIK TÜRLERİNİN FARKLI ORGAN VE DOKULARINDAKİ ²¹⁰Po KONSANTRASYONU İLE LİPİD PEROKSİDASYONU(LPO), H₂O₂ VE PROLİN ARASINDAKİ KORELASYONUN İNCELENMESİ

Ersan ASLAN

Tez Danışmanı : Aysun UĞUR GÖRGÜN

Nükleer Bilimler Anabilim Dalı

Bilim Dalı Kodu : 622.01.01

Sunuş Tarihi : 07/01/2010

Bornova-İZMİR

2010

ÖZET

İZMİR KÖRFEZİNDEKİ KARA MİDYELERİNİN (*Mytilus galloprovincialis*) VE BAZI BALIK TÜRLERİNİN FARKLI ORGAN VE DOKULARINDAKİ ^{210}Po KONSANTRASYONU İLE LİPİD PEROKSİDASYONU(LPO), H_2O_2 VE PROLİN ARASINDAKİ KORELASYONUN İNCELENMESİ

ASLAN, Ersan

Yüksek Lisans Tezi, Nükleer Bilimler Enstitüsü

Tez Yöneticisi: Doç. Dr. Aysun UĞUR

Aralık 2009, 103 sayfa

Polonyum-210; uranyum bozunum zincirinde yer alan, yüksek enerjili α -parçacığı yayan doğal bir radyonükliddir ve ^{210}Po 'un deniz organizmalarında içsel radyasyon dozuna önemli bir katkısının olduğu kabul edilmektedir. Bazı deniz organizmalarının solungaç, karaciğer ve kas dokusu gibi dokuları yüksek oranda ^{210}Po içerebilmektedir. ^{210}Po konsantrasyonu deniz organizmalarında toksik etki yaratmaktadır. Ekolojik kalite izlenme programlarında biyolojik tepkimelerle birlikte kimyasal verilerin toplanması organizmaların maruz kaldığı kontaminasyonun sınıflandırılabilmesi için şiddetle tavsiye edilmektedir. Bu çalışmanın amacı bazı deniz canlılarında ^{210}Po ile lipid peroksidasyonu (LPO), H_2O_2 ve prolin seviyeleri arasındaki ilişkiyi incelemektir.

Bu çalışma kapsamında midye (*Mytilus galloprovincialis*) ve bazı balık türleri (*Sparus aurat*, *Liza ramada*, *S. solea*, *Trachurus mediterraneus* ve *İsperi*) İnciraltı bölgesinden mevsimsel olarak toplanmıştır. ^{210}Po konsantrasyonu ile lipid peroksidasyonu (LPO), H_2O_2 ve prolin seviyeleri midye ve balıkların farklı organ (karaciğer ve solungaç) ve dokularında(kas dokusu) incelenmiştir.

^{210}Po tayinleri 5,30 MeV enerjili alfalarından yararlanılarak yapılmış ve izleyici olarak ^{209}Po ($0,1 \text{ Bq mL}^{-1}$) kullanılmıştır. En yüksek polonyum aktivite konsantrasyonu sırasıyla midye ve balıkların karaciğerinde 75 ± 3 ve $252\pm14 \text{ Bq kg}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Midye ve bazı balık türlerinde ölçülen lipid peroksidasyonu (LPO), H_2O_2 ve prolininde en yüksek seviyeleri karaciğerde

bulunmuştur. Lipid peroksidasyonu (LPO), H_2O_2 ve prolin seviyeleri midyelerin ve balıkların karaciğerinde sırasıyla 50-150 nmol/g yaş ağırlık, 16-40 ve 300-370 μ mol/g yaş ağırlık arasında değişmektedir.

Anahtar Sözcükler: Midye, Balık, ^{210}Po , LPO

ABSTRACT

**INVESTIGATION OF CORRELATION BETWEEN
CONCENTRATION OF ^{210}Po WITH LIPID PEROXIDATION
(MDA), H_2O_2 AND PROLIN IN DIFFERENT ORGANS AND
TISSUES OF MUSSELS (*Mytilus galloprovincialis*) AND SOME
FISH SPECIES IZMIR BAY**

ASLAN, Ersan

MSc Thesis, Institute of Nuclear Sciences

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Aysun UĞUR GÖRGÜN

December, 2009, 103 pages

^{210}Po , a naturally occurring radionuclide, is a high energy alpha particle emitter in the uranium decay chain and is considered as an important source of the natural radiation received internally by marine organisms. The tissues of some marine organisms, such as gills, hepatopaneas and muscle tissues, may contain elevated concentrations of ^{210}Po . The concentrations of polonium may exert toxic effects on aquatic organisms. In ecological quality monitoring programs, the integration of chemical data with biological responses (biomarkers) is strongly recommended to characterize effects of contaminants to organisms. In this study, it is aimed to determine the correlation between the concentrations of ^{210}Po and lipid peroxidation (LPO), H_2O_2 and prolin levels in some marine organism.

In the study, mussels (*Mytilus galloprovincialis*) and fish species were collected seasonally on environmental changes in İnciraltı, İzmir. ^{210}Po , lipid peroxidation (LPO), H_2O_2 and prolin levels were investigated in different tissues (gills, hepatopaneas and muscle) of mussels and some fish species.

^{210}Po , a naturally occurring radionuclide, is a high energy alpha particle emitter in the uranium decay chain and is considered as an important source of the natural radiation received internally by marine organisms. The highest activity concentrations of ^{210}Po was found 75 ± 3 and 252 ± 14 Bq kg^{-1} in hepatopaneas of mussels and some fish species, respectively. The highest levels of lipid peroxidation (LPO), H_2O_2 and prolin in mussels and some fish species were also measured in hepatopaneas. These levels were determined between 50-150

nmol/g yaş ağırlık, 16-40 and 300-370 μ mol/g yaş ağırlık for lipid peroxidation (LPO), H_2O_2 and prolin in mussels and some fish species in hepatopaneas, respectively.

Keywords: Mussel, fish, ^{210}Po , LPO

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince değerli bilgi ve önerileri ile çalışmalarımı yönlendiren, her türlü destek ve imkanı sağlayan tez hocam Sayın Doç. Dr. Aysun UĞUR GÖRGÜN'e en içten saygı ve sevgilerimle teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarım süresince bilgi ve önerileri ile beni yönlendiren, desteğini esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Tülin AYDEMİR' e ve Sayın Yar. Doç. Selma KATALAY' ya teşekkürlerimi sunarım. Nükleer Bilimler Enstitüsü Müdürü Sayın Prof. Dr. Perihan ÜNAK'a sundukları imkan ve çalışma ortamı için teşekkürlerimi sunarım.

Arazi ve laboratuvar çalışmaları sırasında yardımları ve desteği için Sayın Ar. Gör. Banu ÖZDEN, Sayın Ar. Gör. Seda CİN, Sayın Yüksek Lisans öğrencisi Işık FİLİZOK'a ve Sayın Yüksek Lisans öğrencisi Mehmet BAKIM teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	ii
ABSTRACT	vii
TEŞEKKÜR	ix
ŞEKİLLER TABLOSU.....	xiv
ÇİZELGELER TABLOSU.....	xvii
1. GİRİŞ	1
2.GENEL BİLGİ.....	17
2.1 Radyoaktivite	17
2.1.1 Doğal radyoaktivite	17
2.1.2 Doğal radyoaktivitenin keşfi	18
2.1.3 Radyasyon çeşitleri ve özellikleri	20
2.1.4 Doğal ve yapay radyoaktif seriler	21
2.1.5 Sularda bulunan doğal radyoaktivite.....	24
2.1.6 Sularda bulunan yapay radyoaktivite	25
2.1.7 ²¹⁰ Po'un genel özellikleri	26
2.2 Deniz kirliliği ve Kaynakları	29
2.3 Deniz Suyunda Çözünmüş Halde Bulunan İnorganik Maddeler.....	33
2.3.1 Deniz suyunda bulunan radyonüklidler.....	34
2.3.2Deniz suyunda asılı halde bulunan organik ve inorganik parçacıklar....	35
2.3.3 Asılı parçacıkları oluşturan maddeler	35
2.4 Denizel Ortamın Ekolojik Bölümleri.....	37
2.4.1 Pelajik bölge	37
2.4.2 Bentik bölge	37
2.5 Ekolojik Faktörler ve Organizmalara Etkileri.....	38
2.5.1 Abiyotik faktörler	38
2.5.2 Biyotik Faktörler	42
2.6 Antioksidanlar ve Serbest Radikaller.....	42
2.6.1 Serbest radikaller.....	43
2.6.2 Serbest radikale bağlı hastalıklar.....	48
2.6.3 Lipid peroksidasyonu	50

2.6.4 Prolin	50
2.7 Biyolojik Örneklerin Seçimi	53
2.8.1 Midyeler (<i>Mytilus galloprovincialis</i>) hakkında genel bilgiler	54
2.8.3 Deniz balıkları	59
2.9 Türkiye'deki Balık ve Midye Tüketimi	63
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	68
3.1 İzmir Körfezi	68
3.2 Örnekleme Bölgesi	70
3.3 Metot	71
3.3.1 Midye ve balıklardaki ^{210}Po tayinleri	71
3.3.2 Örneklerle uygulanan radyokimyasal işlem	72
3.3.3 Depozisyon	73
3.3.4 Alfa spektroskopik analizlerde kullanılan ^{209}Po standardının hazırlanması.....	74
3.3.5 ^{210}Po tayininde kullanılan alfa spektrometre sistemi	74
3.4 Biyokimyasal Analizler	76
3.4.1 Hidrojen Peroksit Tayini.....	76
3.4.2 Prolin Tayini	76
3.4.3 Lipid Peroksidasyonu Tayini	76
4. BULGULAR	78
4.1 Kara Midyelerin (<i>Mytilus galloprovincialis</i>) Farklı Organlarındaki (karaciğer ve solungaç) ^{210}Po Konsantrasyonları	78
4.2 Bazı Balık Türlerinin (Lidaki, Dil Balığı, Isparoz, İstavrit, Kefal) Farklı Organ (Karaciğer ve Solungaç) ve Dokularında (Kas Dokusu) ^{210}Po Konsantrasyonları.....	79
4.3 Kara Midyelerin (<i>Mytilus galloprovincialis</i>) Farklı Organlarındaki (Karaciğer ve Solungaç) Lipid Peroksidasyonu (LPO), H_2O_2 ve Prolin Seviyeleri.....	80
4.4 Bazı Balık Türlerinin (Lidaki, Dil Balığı, Isparoz, İstavrit, Kefal) Farklı Organlarında ki (Karaciğer ve Solungaç) ve Lipid Peroksidasyonu (LPO), H_2O_2 ve Prolin Seviyeleri	83
5. TARTIŞMA	85
5.1 Midye Örneklerinin Farklı Organlarındaki ^{210}Po Konsantrasyonları.....	85

5.2 Balık Örneklerinin Farklı Organ ve Dokularında ^{210}Po Konsantrasyonlarının Değerlendirilmesi	87
5.3 Midye ve Balık Örneklerinin Farklı Organ ve Dokularındaki ^{210}Po Konsantrasyonu ile Lipid Peroksidasyonu (LPO), H_2O_2 ve Prolin Seviyeleri Arasındaki İlişkinin İncelenmesi	89
KAYNAKLAR	93

ŞEKİLLER TABLOSU

Şekil 2.1 Henri Becquerel, Marie ve Pierre Curie ve Rutherford.....	19
Şekil 2.2 Alfa, beta ve gama parçacıkları	21
Şekil 2.3 Denizlerdeki ²¹⁰ Po'un kaynağı	29
Şekil 2.4 Deniz kirliliği	29
Şekil 2.5 Ötrifikasyon Şeması	32
Şekil 2.6 Bentik ve pelajik bölgenin bölümleri	38
Şekil 2.7 Antioksidan ve Savunma Sistemleri.....	42
Şekil 2.8 Mytilus galloprovincialis morfolojik özellikleri	55
Şekil 2.9 Mytilus galloprovincialis Doku ve Organları.....	56
Şekil 2.10 İstavritin genel görünüşü	60
Şekil 2.11 Kefalin genel görünüşü	61
Şekil 2.12 Isparozun genel görünüşü.....	62
Şekil 2.13 Dil Balığının genel görünüşü	62
Şekil 2.14 Lidakinin genel görünüşü	63
Şekil 2.15 Dünyadaki yıllara göre midye üretimi.....	64
Şekil 2.16 Mytilus galloprovincialis üreten ana ülkeler	65
Şekil 2.17 Dünyadaki km başına yıllık balıkçılık verimi açısından görünüşü	67
Şekil 3.1 İzmir Körfezinin genel görünüşü.....	68
Şekil 3.2 Dış, Orta ve İç körfezin genel görünüşü.....	69
Şekil 3.3 İnciraltı Balıklı Bölgesinin uydudan görünüşü.....	71
Şekil 3.4 Midye örnekleri saf su ile yıkanıp kurutma kağıdı üzerinde boyutlarına ayrılmıştır.....	72
Şekil 3.5 Balık ve midye örnekleri doku ve organlarına ayrılma aşaması	72
Şekil 3.6 Doku ve organların yaş ağırlıklarının tartılması.....	72
Şekil 3.7 Balık ve midye örneklerine uygulanan radyokimyasal ayırma işleminin akış şeması	73
Şekil 3.8 Deposizyon işlemi	74

Şekil 3.9 Alfa spektrometre sisteminin genel görünüşü	75
Şekil 4.1 Mevsimlere ve organlara göre kara midyelerinde (<i>Mytilus galloprovincialis</i>) ^{210}Po konsantrasyonlarında ki değişimler.....	79
Şekil 4.2 Midyelerin Karaciğer ve Solungaçlarında ki LPO, H_2O_2 ve Prolin seviyelerinin karşılaştırılması	81
Şekil 4.3 Mevsimlere göre Midyelerin ^{210}Po konsantrasyonu ile lipid peroksidasyonu, H_2O_2 ve prolin seviyelerinin karşılaştırılması.....	82
Şekil 4.4 İlkbahar mevsimine göre ^{210}Po konsantrasyonu ile lipid peroksidasyonu, H_2O_2 ve prolin seviyelerinin karşılaştırılması.....	83
Şekil 4.5 Kış ve İlkbahar mevsiminde Dil balığı örneklerinin ^{210}Po konsantrasyonu ile lipid peroksidasyonu, H_2O_2 ve prolin seviyelerinin karşılaştırılması	84
Şekil 4.6 Yaz mevsimine göre ^{210}Po konsantrasyonu ile lipid peroksidasyonu, H_2O_2 ve prolin seviyelerinin karşılaştırılması.....	84

ÇİZELGELER TABLOSU

Tablo 2.1 Toryum, Uranyum ve Aktinyum elementine ait bazı özellikler.....	22
Tablo 2.2 Doğal Toryum Serisi Üyelerinin Bazı özellikleri	23
Tablo 2.3 Doğal uranyum serisinin üyelerinin bazı özellikleri.	23
Tablo 2.4 Doğal Aktinyum serisi üyelerinin bazı özellikleri	24
Tablo 2.5 Neptinyum elementine ait bazı özellikler.....	24
Tablo 2.6 Radyonükleidlerin sahip olduğu parçacıkların enerjilere göre dizilişi .	28
Tablo 2.7 Deniz Suyunda Çözünmüş Halde Bulunan İnorganik Maddeler	33
Tablo 2.8 Türkiye’deki yıllara göre midye tüketim	64
Tablo 2.9 Türkiye’de ki yıllara ve balık çeşitlerine göre tüketimi	65
Tablo 4.1 İnciraltı Balıklıhalı bölgesinden toplanan kara midyelerin (<i>Mytilus galloprovincialis</i>) Karaciğer ve Solungaçlarındaki ²¹⁰ Po konsantrasyonların mevsimsel değişimleri	78
Tablo 4.2 Farklı Balık Türlerinin organ ve dokularındaki ²¹⁰ Po konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi.....	79
Tablo 4.3 Mevsimlere göre Midyelerin Farklı Organlarındaki LPO, H ₂ O ₂ ve Prolin Seviyelerindeki Değişimler.....	81
Tablo 4.4 Mevsimlere göre Midyelerin ²¹⁰ Po konsantrasyonu ile lipid peroksidasyonu, H ₂ O ₂ ve prolin seviyeleri	82
Tablo 4.5 Mevsimlere göre farklı balık türlerinin karaciğer ve solungaçlarında LPO, H ₂ O ₂ ve Prolin seviyesindeki değişimler.....	83

1. GİRİŞ

Deniz kirliliğinin temel sebepleri, yoğun nüfusa sahip olan deniz kıyılarında yetersiz planlanmış atık su deşarjları, petrol rafinerileri, termik santraller gibi endüstri kuruluşlarında bulunan eski teknoloji deşarj sistemleri, ara malzeme olarak kullanılan kimyasallar, boyalar, dezenfektanlar, ilaçlar ve diğer pek çok imalat sanayi yan ürünleridir. Bu maddeler, dikkatli kullanılmadıkları ve gerekli denetimler 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 bölgelerinde denizlerin kirliliğe karşı korunmasına artan bir özen göstermekte ve bu konu ile ilgili çalışmalar önemli ölçüde artmaktadır. Bu çalışmaların genel amaçları;

- Seçilen bölgelerde, indikatör organizmalardaki radyonüklid ve ağır metal konsantrasyonlarının dağılımlarını belirlemek; kirlilik kaynaklarını tayin etmek ve denizel ortamlardaki mevsimsel döngüyü saptamak,
- Ayrıca halk sağlığı açısından deniz ürünleri tüketiminden kaynaklanacak etkili ve kritik doz düzeylerini hesaplamaktır

Radyonüklidlerin ve ağır metallerin organizmalardaki ve sedimentteki biyobirikimi ya doğrudan su ya da besin yolu ile olmakta ve bu süreçler birçok çevresel ve doğal faktörler tarafından kontrol edilmektedir. Bazı su hareketleri (upwelling, downwelling, adveksiyon) sedimentlere yerleşen bu radyonüklid ve toksik maddelerin, tekrar hareketlenmesine ve su kolonlarında askı yüküne geçmesine neden olmaktadır. Suda asılı partiküller, radyonüklidlerin ve toksik elementlerin taşınmasında etkili olmaktadır. Sucul bir ortama girmiş olan radyonüklidler, ya çözünmüş halde ya da asılı olarak (süspansiyon) kalmakta, daha sonra ya dibe çökmekte ya da organizmalar tarafından alınmaktadır (Uğur, 1998; Topçuoğlu, 2005).

Kirliliğin söz konusu olduğu ortamlarda bulunan canlı organizmalar, ekosistemin bozulmasına çeşitli tepkiler verirler. Tepkilerden en belirgin olanları, dağılım özellikleri olarak adlandırılan tür çeşitliliği, tür zenginliği, bolluk ve benzerlik değerleridir. Kirlenme, bir grup organizmanın ortamı terk etmesi veya

yok olmasına neden olabilse de, diğ er bazı organizmalar direnerek ortamdaki varlıklarını s urd urebilirler. Bu duruma kar şı kirlilikten belli  l   de etkilenmeleri kaçınılmazdır. Bu etkilenme genelde olumsuz yönde olurken, bazı türler için olumlu olabilir. Ekolojik toleransı geniş olan dayanıklı ve fırsatçı türler, kendilerine avantaj sağlayan kirlenme tiplerinin habercisidirler. Kirliliğ in etkisi özellikle dipte yaşayan ve kötü ortam şartlarından kaçma yeteneğ i sınırlı olan ve hiç olmayan organizmalarda belirgin bir biçimde görülmektedir. Kirlilik etkisini izleyebilmek için kirlilik tehdidi altındaki bir bölgenin canlı faunasının bilinmesi ve belirli aralıklarla kontrol edilmesi gerekmektedir.

Deniz ekosisteminde yaşayan bentik omurgasız organizmalar denizlerdeki besin zincirinin fitoplanktonik ve zooplanktonik organizmalardan sonraki üçüncü halkasını oluşturmaktadır. Bir ortamdaki kirleticinin kaynağ ı ne olursa olsun en büyük etki bentik organizmalar üzerine olur. Zira bu organizmalar büyük  oğ nlukla yaşadıkları ortamı terk etmezler. Belirli bir bölgede yaşayan bentik grubu canlıları sediment içinde gömülü yaşadıkları gibi sediment üzerinde de yaşamaktadırlar. Gerek bu ortamdan beslenmeleri gerekse yaşamaları nedeniyle kirliliğ e yoğ n bir şekilde maruz kalırlar. Yavaş hareket etmeleri sebebiyle ortamdaki uzakla maları yavaş olmakta ya da  oğ  sesil türler gibi ortamda sabit kaldıklarından kirliliğ in etkisiyle ölümler görülebilmektedir. Bu nedenle bentik organizmalarla kirliliğ in etkisini konu alan çalışmalar oldukça yoğ ndur.  alı malar sonucunda bazı bentik organizmaların kirlilik belirtici olarak kullanılabileceğ i ortaya konulmuştur.

Özellikle Pelecypoda sınıfında bulunan midyeler denizlerde bol miktarda bulunmaları, metalleri yüksek yoğ nluklarda biriktirip, bunları uzun bir süre bünyelerinde tutmalarından dolayı sularda kirliliğ i yansıtan biyolojik indikatörlerin başında gelir. Dünyanın çeşitli ülkelerinde gıda olarak tüketilen midyeler, deniz suyu içinde çözünmüş halde bulunan maddeleri direkt olarak absorbe ederek veya suda asılı halde bulunan partikülleri süzerek beslendiğ i için kirleticileri bünyesinde toplamaktadır. Bazı omurgasızlar ve özellikle CaCO_3 ’dan kabuk oluşturan türler ağır metal ve radyonüklidlerin biyolojik biriktiricileridirler. Bu organizmaların bünyelerindeki ağır metal düzeyleri, deniz suyuna oranla binlerce hatta yüz binlerce defa daha fazla olmaktadır. Duyarlı olması nedeniyle

dünyada ağır metal birikim düzeyleri üzerine yapılan çalışmalarda materyal olarak indikatör türler seçilmektedir. Bu organizmalardan *Mytilus galloprovincialis*, *Patella caerulea*, örnekleri ağır metallerin biyoindikatörü olduklarından en çok kullanılan türlerdendirler.

Önemli kirleticilerden kabul edilen metallerin bazıları (Fe, Mn, Zn, Cu, Co, Mb) organizmaların yaşamları için gerekli olsa da, canlı bünyesinde yaşamsal fonksiyonları olan bu metallerin konsantrasyonlarındaki en küçük bir değişiklik, dokularda tahribata ve dolayısıyla organ ve dokunun görevini yapmasını engelleyerek ikinci bir değişime neden olmaktadır (Sunlu, 1994).

Her ne kadar bazı metaller canlıların yaşamları için gerekli olsalar da, Hg, Pb, Cd, Cu, Cr, Zn, Ni gibi elementler belli konsantrasyonların üzerinde toksik etki yaptıkları ve bir organizmadan diğerine geçişleri sırasında artabildiği için önem kazanmış ve pek çok araştırmaya konu olmuştur (Egemen, 2000).

Denizel ortamlar için tehlikeli ve insan sağlığına zarar verebilen önemli kirletici unsurlardan bir diğeri ise doğal radyonüklidlerdir. Denizel ortamlarda doğal radyonüklid konsantrasyonları; yapay gübrelerin, fosil yakıtların, deterjan ve pestisit kullanımının, fosfat işleme tesislerinin ve fosil yakıt kullanan termik santrallerin çoğalması ile hızla artmaktadır. Örneğin, bir termik santralde bir gigawatt elektrik üretiminde kullanılan kömürden çevreye yılda 10^9 - 10^{11} Bq ^{220}Ra ve ^{222}Rn , 10^8 - 10^{10} Bq ^{210}Pb , ^{210}Po , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{232}Th ve ^{238}U verilmektedir (Baxter, 1993).

^{238}U bozunum serisinin doğal bir ürünü olan ^{210}Po ($t_{1/2}=138$ gün, 5,304 MeV), deniz organizmaları tarafından güçlü bir şekilde biriktirilen ve konsantrasyon faktörü 10^3 ile 10^4 arasında değişen bir radyonükliddir. ^{210}Po ; ^{210}Bi , ^{210}Pb ve ^{210}Po 'un kuru ve yaş atmosferik depozisyonu ile 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 gelir. Denizlere ve okyanuslara giriş yapan ^{210}Po su kütlelerinden organik parçacık yüzeylerine adsorbsiyon ile geçer ve fitoplankton, zooplankton gibi organizmalar tarafından alınır. ^{210}Pb ise, ^{210}Po 'un

aksine organik parçacıklardan ziyade inorganik parçacık yüzeylerine adsorblanır (IAEA, 1995). Bununla beraber ^{210}Po , farklı kimyasal davranışından dolayı, daha derinlerde kolayca sediment, su ve organizma arasındaki döngüye dahil olur (Carvalho, 1995; Stepnowski ve Skwarzec, 2000; Wildgust ve McDonald, 2005).

Genel olarak deniz suyunda ağır metaller ve bazı radyonüklidler (^{210}Po , ^{210}Pb , ^{234}Th), düşük çözünürlüğe sahiptirler ve partikül materyallere adsorblanma eğilimindedirler. Partikül materyallere adsorblanan radyonüklidler, bu partiküllerin sedimentasyonu ile sediment yüzeylerine depoze olmaktadır.

Çoğu çalışmada, deniz suyu ve midyelerdeki ^{210}Po konsantrasyon seviyeleri mevsimsel değişim ile birlikte değerlendirilmiştir. İlkbahar aylarında oluşan fitoplankton miktarındaki artışa bağlı olarak çeşitli biyoindikatör organizmalardaki ^{210}Po konsantrasyonu maksimum seviyelere ulaşabilmektedir.

^{210}Po çok güçlü bir şekilde birçok deniz organizması tarafından tutulur fakat organizmalardaki birikim değerleri farklılıklar gösterir. Doğal bir radyonüklid olan ^{210}Po 'un midyelerdeki konsantrasyonunun İngiltere'de (Whitehaven) yapılan bir çalışmada 3120 Bq kg^{-1} düzeyine kadar çıktığı bulunmuştur (McDonald et al., 1995).

Wildgust ve arkadaşları (1998), Galler'in kuzey kıyılarındaki bir yerleşim yerinde, ^{210}Po 'un denizlerdeki besin zincirine girişini araştırmak için mevsimsel ölçümler yapmışlardır. *Mytilus edulis*'te akümüle olan ^{210}Po 'un büyük çoğunluğunun, midyelerin sindirim sisteminde toplandığını bulmuşlardır.

^{210}Po , deniz organizmalarında ilk defa 1970 yılında Kauranen ve arkadaşları tarafından incelenmiştir. Heyraud ve arkadaşları (1976), zooplanktonik bir örnek olan euphausiids'in (*Meganyctiphanes norvegica*) farklı organ ve dokularında ^{210}Po aktivite konsantrasyonlarını incelemişlerdir. Ayrıca, çalışmada euphausiids (*Meganyctiphanes norvegica*) farklı boyutlara ayrılmış ve boyutlara göre ^{210}Po dağılımı da incelenmiştir. En yüksek ^{210}Po aktivite konsantrasyonunu, euphausiids'in (*Meganyctiphanes norvegica*) karaciğerinde bulmuşlardır. Yapılan

bu çalışmada zooplanktonların, ^{210}Po 'un yüzey katmanlarından okyanusun derinliklerine kadar taşınmasında önemli bir rol oynadığını tespit etmişlerdir.

Cherry ve Heyraud (1979), besin zincirinin birinci ve ikinci basamağında yer alan pelajik ve bentik canlılarda ^{210}Po ve ^{210}Pb aktivite konsantrasyonlarını incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre konsantrasyon faktörlerinin, deniz suyundan her iki besin zincirindeki tüm organizmalara kadar hemen hemen sabit ve ^{210}Po için 10^4 , ^{210}Pb için ise 10^2 olarak bulmuşlardır.

1984–1985 yıllarında McDonald ve arkadaşları İngiltere’de midyeler, karidesler ve salyangozlar üzerinde yaptıkları bir çalışmada; 5,3 MeV enerjili alfa parçacığı yayınlayan ^{210}Po miktarını tespit etmişlerdir (McDonald et al., 1996; Saçan, 2004).

Portekiz’de tüketilen gıdalarda ^{210}Pb ve ^{210}Po ölçümünü yapan F.P. Carvalho (1995), elde ettiği sonuçlarda besin yoluyla alınan ^{210}Po 'un %70'inin deniz ürünlerinden kaynaklandığını rapor etmiştir. Çalışmada, ^{210}Po 'un radyotoksitesinin oldukça yüksek bir radyoizotop olduğu ve biyolojik etkilerinin de ana radyonüklidi olan ^{210}Pb 'a kıyasla daha fazla olduğunu işaret etmiştir.

Shahul ve arkadaşları (1996) tarafından yapılan çalışmada; Hindistan'ın güney doğu kıyısında yer alan Kaveri Nehri’nde yaptıkları bir çalışmada biyotik ve sedimentte ^{210}Po ve ^{210}Pb 'un biyobirikimlerini incelemişlerdir. Çalışmalarında sediment, deniz suyu, plankton, çeşitli türde makroalg, kabuklu, yumuşakça ve balıkları incelemişlerdir. Makroalgler arasında en yüksek ^{210}Po konsantrasyonunu (20 Bq kg^{-1}) *Sargassum wightii* türünde tayin etmişlerdir. İnceledikleri tüm makroalg türlerinde ^{210}Pb konsantrasyonlarının ($1,35$ ile $1,98 \text{ Bq kg}^{-1}$), ^{210}Po konsantrasyonlarından çok daha düşük olduğunu bulmuşlardır. Aynı çalışmada 50 ile $900 \mu\text{m}$ arasında değişen 6 farklı boyutta sediment örneği incelemişler ve 200 ile $900 \mu\text{m}$ arasındaki sedimentlerde ^{210}Po konsantrasyonunu $5,7$ ile 24 Bq kg^{-1} aralığında bulmuşlardır. En yüksek ^{210}Po konsantrasyonunu ise $50 \mu\text{m}$ 'lik partikül boyutunda 164 Bq kg^{-1} olarak tayin etmişlerdir. Bu durum, ^{210}Po 'un daha küçük sediment partiküllerine doğru bir eğiliminin olduğunu göstergesidir.

Gasco ve arkadaşları ise 1997 ve 1999 yılları arasında CANIGO-FLUGIST projesi kapsamında İspanya’da deniz suyu örneklerindeki doğal (^{210}Po , ^{210}Pb) ve yapay ($^{239,240}\text{Pu}$, ^{137}Cs) radyonüklidleri incelemiştir. Akdeniz sularında ortalama ^{210}Po ve ^{210}Pb konsantrasyonlarını $0,84 \pm 0,34 \text{ Bq m}^{-3}$ ve $0,66 \pm 0,34 \text{ Bq m}^{-3}$ olarak bulmuşlardır. Aynı çalışmada $^{239,240}\text{Pu}$ konsantrasyonlarını $22,0 \pm 3,0 \text{ Bq m}^{-3}$ ve ^{137}Cs konsantrasyonlarını ise $2,52 \pm 0,28 \text{ Bq m}^{-3}$ olarak tayin etmişlerdir.

Sunlu ve Egemen (1998), Homa Dalyanı ve İzmir Körfezi’nden topladıkları bazı balık türlerinin farklı organ ve dokularında ağır metal düzeylerini mevsimsel olarak tayin etmişlerdir. Araştırma sonucunda doku ve organların içermiş olduğu ağır metal düzeyleri en yüksek karaciğerde bulunmuştur. Çalışmada, en yüksek ağır metal birikimini Fe’de, en düşük birikimi ise Cd’da tayin etmişlerdir.

Ryan ve arkadaşları (1999), İrlanda kıyı şeridinde belirlenen istasyonlardan alınan midye (*Mytilus edulis*) örneklerinde ^{210}Po konsantrasyonlarını tayin etmişler ve örneklerin toplandığı istasyona bağlı olarak ^{210}Po konsantrasyonlarının değişimini incelemiştir. Araştırmada ayrıca Sutton ve Carlingford bölgelerinden toplanan midye (*Mytilus edulis*) örneklerindeki ^{210}Po aktivite konsantrasyonlarının toplandıkları döneme ve midye boyutlarına göre değişimleri incelenmiştir. Belfast yakınlarındaki Seapark ve Sutton bölgelerinden toplanan midyelerdeki ^{210}Po aktivite konsantrasyonları sırayla $80 \pm 9 \text{ Bq kg}^{-1}$ ve $468 \pm 32 \text{ Bq kg}^{-1}$ olarak bulunmuştur. ^{210}Po konsantrasyonlarında örneklem zamanına ve midye boylarına bağlı değişimler görülmüştür.

Ryan ve arkadaşları tarafından (1999) yapılan bir çalışmada; İrlanda kıyılarında 1997 ile 1998 yılları arasında balık ve deniz kabuklularında Pu ve Am aktivite konsantrasyonları incelenmiştir. Çalışmada, balıklardaki aktivite konsantrasyonları ölçülebilir seviyenin altında bulunmuştur. Midye ve istiridye örneklerinde ise 1991-1996 yılları arasında Ryan ve arkadaşları tarafından yapılan bir başka çalışmada elde edilen konsantrasyonlara göre, önemli miktarda azalma gözlenmemiştir. İrlanda’nın kıyı şeridinden toplanan *Fucus vesiculosus* türünde ölçülen Pu aktivite konsantrasyonlarında 1986 ile 1996 yılları arasında gözle görülebilir bir azalma saptanmamıştır. Ayrıca İrlanda’nın batı sahillerinden toplanan *Fucus vesiculosus* türünde ortalama $^{238}\text{Pu}/^{239,240}\text{Pu}$ oranı $0,17 \pm 0,05$

olarak bulunmuş ve bu ortamda yaşayan örneklerde hesaplanan Pu aktivite konsantrasyonlarında önemli miktarda artış gözlenmiştir.

Szefer ve arkadaşları tarafından (1999) yapılan çalışmada; Japonya'nın Kyushu adasının batı sahilleri boyunca belirlenen üç bölgeden toplanan mavi midye (*Mytilus edulis*) örneklerinin yumuşak dokusu ve bisüslerinde Hg ve bazı metallerin (Ag, Cr, Co ve Ni) konsantrasyonları soğuk buharlama tekniği ile saptanmıştır. Midyelerin gerek yumuşak dokularında gerekse bisüslerinde ölçülen konsantrasyonları arasında büyük farklılıklar gözlenmiştir. Endüstriyel bakımdan gelişmemiş Urashiro bölgesinden alınan midyelerin yumuşak dokularındaki Hg aktivite konsantrasyonları diğer bölgelerle karşılaştırıldığında (Saganoseki) daha düşük bulunmuştur. Yumuşak dokularla karşılaştırıldığında, bisüsler Hg, Cr, Co ve Ni için daha duyarlı biyomonitör olarak belirlenmiştir.

Wilgust ve arkadaşları (2000), 1996 yılında Old Colwyn Körfezi'nde farklı boyutlarda *Mytilus edulis* türü midyeler (55 ile 60 mm kabuk boylarına sahip) toplamışlar ve besin zincirinde bulunan *Isochrysis galbana* yoluyla bu midyelerin aldıkları ^{210}Po 'u tayin etmişlerdir.

Stepnowski ve Skwarzec (2000), Polonya'da Gdansk Körfezi'nden, Slupsk Boğazı'ndan, Spitsbergen'in güney kıyılarından ve kuzey-doğu Polonya'daki Sasek Wielki Gölü'nden alınan dört farklı yumuşakça türünün doku ve organlarında ^{210}Po birikimi ve dağılımı incelenmiş; birbirleriyle karşılaştırılmıştır. En yüksek ^{210}Po aktivite konsantrasyonu, Baltık denizinde ve tatlı sularda yaşayan canlıların karaciğerlerinde bulunurken; kutup bölgesinde ise solungaçlarda bulunmuştur. $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ aktivite oranı Baltık denizindeki çift kabuklu yumuşakçalar için hesaplanmış ve oranın genel olarak tüm doku ve organlar için (*Mya arenaria* kabuğu hariç) birden büyük olduğu saptanmıştır. Çalışmada, analizi yapılan yumuşakçaların tüm yumuşak dokularındaki konsantrasyon faktörünün 3,600 ile 72,000 arasında değiştiği bulunmuştur. ^{210}Po aktivite konsantrasyonu en yüksek *Mytilus trossulus*'un karaciğerinde 1026 Bq kg^{-1} (kuru ağırlık) olarak bulunurken, solungaçlarda ise 232 Bq kg^{-1} (kuru ağırlık) olarak hesaplanmıştır. Bisus liflerinde ve kaslardaki ^{210}Po konsantrasyonları sırasıyla 30 Bq kg^{-1} (kuru ağırlık) ve 56 Bq kg^{-1} (kuru ağırlık) olarak aynı mertebede

bulunurken, kabuktaki radyonükleid içeriğinin ($0,9 \text{ Bq kg}^{-1}$ kuru ağırlık) önemli olmadığı saptanmıştır. *Mytilus trossulus*'un karaciğerindeki ^{210}Po konsantrasyonu, McDonald ve arkadaşları tarafından bu radyonüklidin antropojenik kaynaklardan etkilenmeyen bir bölgeden aldıkları *Mytilus edulis*'un karaciğeri için verdikleri değerin yaklaşık iki katıdır. $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ aktivite oranı genellikle *Mytilus trossulus*'un tüm doku ve organları için birden büyüktür. En yüksek oranlar karaciğer ve kaslar için sırayla 68,4 ve 41,8'dir, bu durum göreceli olarak yüksek ^{210}Po ve düşük ^{210}Pb konsantrasyonlarını yansıtmaktadır. *Mya arenaria*'nın doku ve organlarındaki ^{210}Po konsantrasyonunun *Mytilus trossulus* ile karşılaştırıldığında çok daha düşük olduğu, kabuklarında $0,4 \text{ Bq kg}^{-1}$ (kuru ağırlık) ile karaciğerde 87 Bq kg^{-1} (kuru ağırlık) arasında değiştiği saptanmıştır.

Besada ve arkadaşları (2002), 1991-1999 yılları arasında İspanya Kuzey Atlantik kıyılarında yaptıkları bir izleme çalışması kapsamında topladıkları *Mytilus galloprovincialis* türü midyelerde Cd, Cu, Hg, Pb ve Zn gibi ağır metallerin yıllık olarak nasıl değişim gösterdiğini incelemişlerdir. Altı farklı istasyonda yapılan bu çalışmaya göre en yüksek ve en düşük değerler Bilbao bölgesinde çinko (462 mg kg^{-1} kuru ağırlık) ve civa ($0,10 \text{ mg kg}^{-1}$ kuru ağırlık) için tayin edilmiştir.

Topçuoğlu ve arkadaşları (2002), Karadeniz kıyılarından aldıkları organizmalarda (makroalg, deniz salyangozu, midye ve balık) ve sedimentlerde ağır metal konsantrasyonlarını tayin etmişlerdir. Midye örneklerinde en yüksek konsantrasyon çinkoda $512,5 \pm 2,6 \text{ } \mu\text{g g}^{-1}$ (kuru ağırlık) olarak, en düşük konsantrasyon ise kadmiyumda $< 0,02 \text{ } \mu\text{g g}^{-1}$ (kuru ağırlık) olarak bulunmuştur. Sediment örneklerinde en yüksek konsantrasyon manganezde ($870,3 \pm 3,5 \text{ } \mu\text{g g}^{-1}$ kuru ağırlık) en düşük konsantrasyon ise kadmiyumda ($< 0,02 \text{ } \mu\text{g g}^{-1}$ kuru ağırlık) saptanmıştır.

Küçüksezgin ve arkadaşları (2002), İzmir Körfezi'nden topladıkları bazı balık türlerindeki iz metal konsantrasyonlarını mevsimsel olarak incelemişlerdir. Dış ve orta körfezde Hg değerlerini $12-829 \text{ } \mu\text{g kg}^{-1}$ ve $5-315 \text{ } \mu\text{g kg}^{-1}$, Cd değerlerini $0,10-10 \text{ } \mu\text{g kg}^{-1}$ ve $0,44-32 \text{ } \mu\text{g kg}^{-1}$, Pb değerlerini ise $14-918$ ve $7,1-713 \text{ } \mu\text{g kg}^{-1}$ arasında bulmuşlardır.

Bustamante ve arkadaşları (2002), Fransa'nın Atlantik kıyılarında yer alan La Rochelle koyundan ve Ré adasından topladıkları deniz tarağı (*Chlamys varia*) ve midye (*Mytilus edulis*) örneklerinin yumuşak dokularında ^{210}Po analizi yapmışlardır. Bu iki bölgede tayin edilen en yüksek ^{210}Po konsantrasyonu, La Rocelle'dan toplanan deniztarağının yumuşak kısımlarında $1181 \pm 29 \text{ Bq kg}^{-1}$ (kuru ağırlık) olarak bulunmuştur. Benzer boyutlu örnekler için, bölgeler (Ré adası > La Rochelle koyu) ve türler (*C. varia* > *M. edulis*) arasında önemli farklılıklar gözlenmiştir. *C. varia* deniztarağı için, en yüksek ^{210}Po konsantrasyonları sindirim salgı bezinde, La Rochelle koyunda 3150 Bq kg^{-1} (kuru ağırlık), Ré adasında 4637 Bq kg^{-1} 'a (kuru ağırlık) olarak bulunmuştur. Hücre altı düzeyde yapılan araştırmalar sindirim salgı bezindeki ^{210}Po 'un %40'nın sitozolik kısımda bulunduğunu göstermiştir. Araştırmacılar, La Rochelle koyundan toplanan küçük boyutlu deniz taraklarının en yüksek ^{210}Po konsantrasyonlarına sahip olduğunu, benzer şekilde tüm yumuşak parçaların konsantrasyonlarının sindirim salgı bezi ve geri kalan kısımlarından fazla olduğunu bulmuşlardır. En yüksek ^{210}Po konsantrasyonları endüstriyel aktivitelerden uzak, herhangi bir polonyum kaynağına sahip olduğu kanıtlanmamış Ré adasından toplanan deniztaraklarında ve midyelerinde bulunmuştur. Deniztarağının diseksiyonu, tüm yumuşak dokulardaki yüksek seviyelerden sindirim salgı bezinin sorumlu olduğunu göstermiştir. Ayrıca pek çok deniz kabuklusunun sindirim salgı bezinde yüksek ^{210}Po konsantrasyonları ölçülmüştür. *C. islandicus*'ta en yüksek ^{210}Po konsantrasyonları bu tür için polonyum girişini sağladığı görülen solungaçlarda bulunmuştur. Literatürde, ^{210}Po 'un hücre altı düzeyde sindirim salgı bezi ya da karaciğer gibi depolama organlarındaki dağılımı ile ilgili oldukça az çalışma bulunmakta ve sonuçlar çok büyük farklılıklar göstermektedir.

Al-Masri ve arkadaşları (2004), Fırat Nehri'ndeki su, sediment ve biyota örneklerinde doğal radyonüklidleri (Ra ve U izotopları ile ^{210}Po ve ^{210}Pb) incelemişler ve tüm potansiyel kirletici kaynakların etkisini araştırmak için Türkiye'yi de içine alan bölgesel bir araştırma projesinin gerekli olduğunu bildirmişlerdir.

Licata ve arkadaşları (2004), Faro Gölü'nün (İtalya, Sicilya) 5 farklı bölgesinden topladıkları kara midyesinin (*Mytilus galloprovincialis*) yumuşak dokularında ağır metal ve organik klor bileşiklerini incelemişlerdir. Çalışmada Zn konsantrasyonları, Cu ve Se konsantrasyonlarına göre daha yüksek bulunmuş; Cd, Pb ve Hg değerleri ise daha düşük konsantrasyonlar göstermişlerdir.

Szefer ve arkadaşları (2004), Kore'de Masan Körfezi ve Ulsan Körfezi'nden toplanan *Mytilus galloprovincialis* türü midyelerin yumuşak dokularında ve bisus liflerinde; Cd, Co, Cu, Cr, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Sn, Ti ve Zn konsantrasyonlarını AAS, ICP-MS ve AFS yöntemleriyle analiz etmişlerdir. Ulsan Körfezi'nden alınan midyelerdeki Cd, Pb, Hg, Cu, Zn, Co ve Mn seviyelerinin çok yüksek olduğu ve bu elementlerin yüksek konsantrasyonlarının diğer coğrafik alanlardaki *Mytilus sp.* türü midyelerin konsantrasyonlarıyla karşılaştırılabilecek düzeyde olduğu saptanmıştır. Bazı metal konsantrasyonlarında mevsimsel değişimler de gözlenmiştir. Bu değişimler; deniz suyu sıcaklığındaki, midye besin kaynaklarındaki büyük farklılıklardan ve/veya tatlı suda çözünmüş parçacıkların deniz suyuna karışmasından kaynaklanabilmektedir. Pb, Cu, Zn, Co, Ni, Fe ve Mn bisus liflerinde; yumuşak dokuya nazaran daha fazla zenginleşmektedir. Midyelerin yumuşak dokudaki ve bisus liflerindeki bazı metallerin konsantrasyonları (Cd, Cu, Pb ve Zn) ile asılı parçacıklar arasında önemli bir ilişki gözlenmiştir. Çalışmada, Kore kıyı sularından toplanan *M. galloprovincialis* türü midyelerin biyomonitör olarak kullanılabileceği belirtilmiştir.

Hamed ve Emara (2006), Suez Körfezi'nde (Kızıldeniz) 7 farklı istasyondan su, sediment ve farklı deniz organizmalarında Cu, Zn, Pb, Cd, Cr, Ni, Fe ve Mn konsantrasyonlarını saptamışlardır. Petrol rafinerileri, gübre fabrikaları ve termik santrallerin bulunduğu istasyonlarda tayin edilen metal konsantrasyonlarının diğer istasyonlara göre daha yüksek değerlere ulaştığını gözlenmiştir.

Sunlu (2006), Eylül 2002-Ağustos 2003 tarihleri arasında Türkiye'nin Ege Denizi kıyılarında tespit ettiği 6 farklı istasyondan mevsimsel olarak topladığı midye örneklerinde Cd, Pb, Zn ve Cu analizlerini yapmıştır. Analizler sonucunda midyelerdeki ağır metal konsantrasyonlarının 0,04 – 0,52 μg Cd/g yaş-ağırlık, 0,49 – 1,72 μg Pb/g yaş-ağırlık, 0,95 – 1,85 Cu/g yaş-ağırlık; 16,11 – 37,15 μg

Zn/g yaş-ağırlık arasında değiştiğini tespit etmiştir. Araştırmacı ayrıca, en yüksek metal değerlerini İzmir İç Körfez’de, en düşük değerleri ise Sığacık ve Güllük istasyonlarında ölçülmüştür.

Lafabrie ve arkadaşları (2007), Akdeniz’de belirledikleri üç farklı istasyondan midye (*Mytilus galloprovincialis*), su ve sediment örneklerinde Cd, Co, Cr, Hg, Ni ve Pb birikimini tayin etmişlerdir. Midye örneklerinde tayin edilen Cr ve Hg konsantrasyonlarının diğerlerine göre önemli derecede farklı olduğu bulmuşlardır.

Uluturhan ve Küçüksezgin (2007) Ege Denizi’nden topladıkları mercan balıklarında Hg, Cd, Zn, Cu ve Pb konsantrasyonlarını tayin etmişlerdir. Çalışmada tayin edilen metallerin mevsime bağlı olarak farklılık gösterdiği görülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre en yüksek konsantrasyon, kış mevsiminde bulunmuştur.

Connan ve arkadaşları (2007) tarafından yaklaşık 2 yıl boyunca Fransa kıyılarında farklı noktalardan alınan çeşitli deniz canlılarında (midye, istiridye, su yosunu, balık ve denizkulağı) ^{210}Po ölçümleri gerçekleştirmişler. Toplanan bu türlerden bazılarının yaşam şekilleri, yaşadıkları bölgeye ve mevsime bağlı olarak belirgin farklılıklar gözlemlenmiştir. Çalışmada; en yüksek aktiviteler kış periyodunda, en düşük aktiviteler ise mayıstan ekime kadar geçen sürede belirlenmiştir. Midye ve istiridyedeki aktiviteler birbirine benzerlik göstermekte ve yaklaşık olarak $90\text{-}600\text{ Bq kg}^{-1}$ arasında değişmekte iken, makroalgte (*Fucus serratus*) bu oran düşük ve $4\text{-}16\text{ Bq kg}^{-1}$ arasında değişmektedir. En yüksek ^{210}Po aktivite konsantrasyonlarının denizkulağı ve balıkların sindirim bezlerinde, solungaçta ve gonadda olduğunu bulmuşlardır.

Ryan ve arkadaşları (2008) tarafından yapılan bir çalışmada; Güney Alligator Nehri birleşme noktasından alınan tatlı su ve deniz suyu midyeleri ile sedimentlerde $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$ oranı tespit edilmiştir. Araştırmacılar; maden çıkarılan bölgenin yakınlarından alınan midyelerdeki U konsantrasyonlarının diğer bölgelere kıyasla daha fazla olduğunu bulmuşlar, ancak önemli oranda bir artış gözlememişlerdir.

Godoy ve arkadaşları (2008) tarafından Cabo Frio Adasında 20 noktada 400 *perna perna* midye yavrusu toplanmış ve ^{210}Po konsantrasyonu incelenmiştir. Belirlenen noktalarda 10 erkek ve 10 dişi hemolenf çeşitleri alınmış, $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ oranlarına bakılmıştır. Bir yıl boyunca aylık olarak yapılan örneklemelerin analizi sonucunda, ^{210}Po konsantrasyonlarının midyelerin yaşına ve boyuna bağlı olarak değişmediği açıkça gözlenmiştir. Ortalama ^{210}Po dozu 155 Bq kg^{-1} bulunmuştur. Radyasyon dozuna bağlı olarak mikroçekirdeklerin frekansında ve midye DNA'sında herhangi bir bozulmaya neden olmadığı gözlenmiştir.

Waska ve arkadaşları (2008)_tarafından yapılan çalışmada kalamarın (*Todarodes pacificus*) solungaç, karaciğer, mide ve kas dokularında S, Se, Te ve ^{210}Po arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Bu çalışmada; Se ve ^{210}Po 'un, deniz omurgasızlarının ve balıkların iç organlarında benzer dağılımlara sahip olduğu, ancak dört halojenin (S, Se, Te ve ^{210}Po) gelişmiş organizmalar içinde nasıl bağlandığı ya da alınımının çevreden nasıl etkilendiğine dair geniş bir çalışma bulunmadığı belirtilmiştir. Se, Te ve ^{210}Po 'un en yüksek konsantrasyonları karaciğerde; en düşük değerleri ise kas dokusunda bulunmuştur. En yüksek Se konsantrasyonu solungaçlarda, en yüksek ^{210}Po konsantrasyonu ise midede tayin edilmiştir. Tüm dokulardaki ^{210}Pb değerleri ^{210}Po ile karşılaştırıldığında çok düşük olduğundan (ortalama olarak %3'ten küçük), ^{210}Pb 'un ^{210}Po aktivitelerine katkısı ihmal edilmiştir. Değişik organlardaki dört elementin konsantrasyonları için Pearson korelasyonu uygulanmış; solungaç ve mide ile halojen elementler arasında bir korelasyon bulunamamıştır. Karaciğer ve kas dokuları için, S'nin başta ^{210}Po olmak üzere diğer halojenlerle negatif korelasyona sahip olduğu bulunmuştur. Çalışmada, kalamar organlarındaki Se, Te ve ^{210}Po konsantrasyon dağılımları, karaciğerde çok yüksek, kas dokularında ise çok düşük bulunmuştur.

Yoğun sanayileşme ve şehirleşme etkisinde bulunan Ege Denizi Türkiye kıyılarında radyoaktif ve ağır metal kirliliğinin birlikte incelendiği çalışmalara 1992'de Enstitü'müzde başlanmıştır. Bugüne kadar çeşitli organizmalarda ve sedimentlerde bazı radyonüklid ve ağır metal dağılımlarına ilişkin çalışmalar yapılmış ve yayınlanmıştır. Aşağıda bu çalışmalara örnekler verilmektedir.

Enstitü'müzde bu konuda yapılan ilk yüksek lisans çalışmasında, İzmir Körfezi'nin değişik bölgelerinden alınan farklı balık örneklerinde bazı radyoaktif elementlerle ağır metallerin tayini yapılmıştır (Özkaya, 1992).

Sekkin (2000) tarafından yapılan bir başka yüksek lisans çalışmasında, Ege Denizi'ndeki midyelerde radyoaktif polonyum düzeyinin elektrokimyasal depozisyon yöntemi ile ölçümü yapılmıştır.

Uğur ve arkadaşları (2002), Ege Denizi'nden toplanan midyelerde iz metal ve ^{210}Po (^{210}Pb) konsantrasyonlarını incelemişler, en yüksek ^{210}Po (^{210}Pb) konsantrasyonlarını Foça'dan toplanan örneklerde tayin etmişlerdir.

Saçan (2004), İzmir Körfezi'ndeki kara midyede (*Mytilus galloprovincialis*) ^{210}Pb ve ^{210}Po birikiminin periyodik araştırılmasını yapmıştır.

Arslan (2005) tarafından yapılan yüksek lisans tezinde, Ege Denizi'nin farklı bölgelerindeki plankton örneklerinde ^{210}Po birikimi incelenmiştir. Planktonlar, denizlerdeki besin zincirinin ilk halkasını oluşturan organizmalardır ve radyonüklidleri yüksek düzeyde akümüle ederler.

Gönülalan tarafından 2006 yılında tamamlanan yüksek lisans tezinde, atmosferik radyoaktif kurşun akısı kirliliğini değerlendirmek için Ege Denizi kıyı sedimentlerinde denge üstü ^{210}Pb birikimi alfa ve gama spektroskopisi ile incelenmiştir.

Uğur ve arkadaşları (2006) tarafından yapılan bir çalışmada, Ege Denizi kıyılarında seçilen 6 istasyondan (Çanakkale, Dikili, Foça, Çeşme, Didim ve Bodrum) toplanan midye (*Mytilus 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 ^{210}Po aktivite konsantrasyonu, Didim istasyonundan kış mevsiminde toplanan 4-6 cm'lik boyuta sahip midye örneklerinde bulunmuştur.

Mat Çatal (2006) tarafından yapılan yüksek lisans tezinde, Ege Bölgesi'nde en çok tüketilen balıklarda radyoaktif polonyum düzeyi ve yıllık gıda dozuna katkısı araştırılmıştır.

Ayrıca konu ile ilgili olarak 2003-2007 yılları arasında IAEA (International Atomic Energy Agency-Contract No. B5-TUR-31834) tarafından desteklenen bir kontrat projesi tamamlanmıştır.

Enstitümüzde bu konuda yapılan son yüksek lisans tezinde, İzmir Orta Körfez'deki planktonik organizmalarda ^{210}Pb ve ^{210}Po düzeylerinin aylık değişimleri incelenmiştir (Tatar, 2007).

Uğur ve Yener (2009) tarafından yapılan bir çalışmada; Ege Denizi kıyılarından toplanan midye, balık ve sediment örneklerinde ^{210}Po ve ^{210}Pb aktivite konsantrasyonları tayin edilmiştir. Ayrıca çalışma kapsamında alfa spektrometre sisteminin kontrolü için Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA) tarafından gönderilen referans materyalinde (IAEA-437) ^{210}Po aktivite konsantrasyonları belirlenmiştir.

Aközcan (2009) tarafından yapılan doktora tezinde, Ege Denizi kıyı şeridinde yer alan Didim ve İzmir Körfezi'nden aylık olarak toplanmış olan sediment, deniz suyu, farklı türde balık ve kara midyelerinde (*Mytilus galloprovincialis*) bulunan ^{210}Po , ^{210}Pb ve ^{137}Cs radyonüklidleri alfa ve gama spektroskopisi ile tayin edilmiş, ayrıca Zn, Cu, Fe, Cd, Mn, Ni, Pb, Cr gibi ağır metallerin miktarı ICP-OES ile ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre, midye (*Mytilus galloprovincialis*) örneklerinde tayin edilen ^{210}Po ve ^{210}Pb konsantrasyonları sırasıyla 34 ± 9 ile 2303 ± 383 Bq kg⁻¹ ve ND (dedeksiyon limitinin altında) ile 64 ± 6 Bq kg⁻¹ (kuru ağırlık) arasında değişmektedir. Çalışmada analiz edilen balıklar arasında sardalya (*Sardina pilchardus*) gibi planktonla beslenen küçük pelajik balıkların daha fazla ^{210}Po biriktirme eğiliminde olduğu bulunmuştur. Midye, sediment ve balık örneklerindeki Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn değerleri (balıkta Cd hariç) kabul edilebilir sınırların altında tayin edilmiştir.

Nükleer Bilimler Enstitüsü'nde yapılan yukarıdaki çalışmalar dışında toplam radyoaktivite veya ağır metal kirliliğinin ölçüldüğü bazı çalışmalar bulunmaktadır (Sunlu, 1998; Küçüksezgin, 2002).

Bu çalışmanın amacı mevsimlere göre ^{210}Po konsantrasyonu ile lipid peroksidasyonu, H_2O_2 ve prolin seviyeleri arasındaki korelasyonu incelemektir. Ayrıca bu moleküllerin ve ya metabolitlerin seviyelerinin ^{210}Po incelemelerinde biyomarkör olarak kullanılabilirliğini değerlendirmektir.

Ağır metaller vücuda alındıkları takdirde serbest radikal oluşturmaya başlarlar. Serbest radikal, atomik veya moleküler yapılarda çiftlenmemiş tek elektron içeren yapılara verilmiş isimdir. Çiftlenmemiş tek elektron içeren moleküller daha aktif olmaktadır. Radikal oluşuktan sonra elektronu başka moleküle verebilir, bir başka molekülden alıp çift hale gelebilir ya da nonradikal hale gelebilir (Braugher JM., 1986). Pek çok türde radikal oluşabilir. Ancak en sık oluşanı **“lipid peroksidasyonudur”**. Sucul canlılar metaller gibi serbest radikal (reaktif oksijen türleri, ROT) üreten veya çevresel kirlleticilerin oksidatif etkilerine karşı kolay hedef olurlar. Metal iyonlarının, serbest radikal reaksiyonları üzerindeki önemi lipid peroksidasyonundaki etkileridir. Lipid peroksidasyonu membrandaki fosfolipidlerde yer alan yağ asitlerinin serbest radikallerle girdikleri zincirleme reaksiyonu olarak tanımlanabilir. Metaller ve özellikle geçiş metalleri lipid peroksidasyonu başlattıkları gibi sentezlenmiş olan lipid hidroperoksitlerinin parçalanmalarını ve lipid peroksidasyonunun zincir reaksiyonlarını katalize ederek serbest radikallerin zararlarını artırır. Serbest radikaller canlıların normal yaşamsal metabolizmaları sonucu yan ürün olarak ortaya çıkar; elektron transferi, enerji üretimi ve pek çok diğer işlevde temel oluştururlar. Fakat bu radikaller, savunma sistemlerinin kapasitesini aştıklarında, zincir reaksiyonu kontrolsüz bir davranış gösterirse hücrede oksidatif hasarlara neden olur. Oluşan bu hasarın birincil göstergesi hücre zarlarında lipid peroksidasyon seviyesinin artmasıdır. Canlılarda doku hasarına yol açan bu serbest radikaller arasında süperoksit radikalleri, singlet oksijen, hidrojen peroksit ve hidroksil radikalleri sayılabilir. http://www.genetikbilimi.com/gen/serbest_radikaller.htm (Erişim tarihi 20 Kasım 2009).

Lipid peroksidasyonu, H_2O_2 ve prolin seviyeleri ile ağır metaller arasında ilişkiyi inceleyen birçok çalışma olmasına rağmen radyonüklidler ile olan ilişkisini değerlendiren çalışmalar yok denecek kadar azdır.

2.GENEL BİLGİ

2.1 Radyoaktivite

Atom çekirdeğinin kendiliğinden bozunuma uğrayarak bazı ışınlar yayınlayıp niteliğini başka çekirdeğe dönüştürmesi olayına radyoaktivite denilmektedir. Bozunuma uğrayan radyoizotop doğada kendiliğinden bulunuyor veya doğada bulunan diğer radyoizotopların bozunmasından ortaya çıkıyorsa buna “**doğal radyoaktiflik**”, eğer bozunuma uğrayan radyoizotop insan tarafından, yapay olarak reaktörlerde veya hızlandırıcılarda üretiliyorsa buna da “**yapay radyoaktiflik**” denilmektedir. Kararlı olmayan doğal ya da yapay radyoizotopların bozunum ve parçalanmaları sonucu açığa çıkan enerji ise “**radyasyon**” olarak adlandırılmaktadır (Arya 1999).

2.1.1 Doğal radyoaktivite

Doğal radyoaktivite kaynakları kozmik veya primordiyal olabilir. Doğal radyoaktivite, özellikle uzaydan gelen kozmik ışınlar ve çevremizdeki toprak, su ve havada bulunan doğal radyonüklidlerin bozunuma uğramaları sonucu yayınlanan ışınlardır. Kozmik radyasyonun en belirgin özelliği 10^{10} ile 10^{20} eV değerleri arasında değişen enerjilerde sahip olduğu yüksek girişkenliktir. Kozmik radyasyon izotropik olarak dünya atmosferini etkiler ve bu radyasyonun %87’si protonlar, %11’i alfa tanecikleri, %1’i yüksek enerjili elektronlar ve % 1’i ise atom numarası 4 ile 26 arasında değişen elementlere ait çekirdeklerden meydana gelir (Saçan, 1994).

Kozmik ışınlardan ileri gelen radyasyon dozu miktarı, jeomagnetik enlem dairesi ve deniz seviyesinden olan yüksekliğe göre değişim gösterir. Radyoaktif çekirdeklerin yeryüzündeki dağılımı da kozmik ışınlarda meydana gelen değişiklikler gibi değişebilmektedir. Dolayısıyla bir yerin doğal radyoaktivite seviyesi, bölgenin jeolojik yapısı, coğrafik konumu ve radyokimyasal özelliklerine bağlı olarak değişiklik gösterir. Yağmur, kar, alçak basınç, yüksek basınç ve rüzgar yönü gibi etkenler de doğal radyasyon seviyesinin büyüklüğünü belirler. İnsanlar, içinde yaşadıkları doğal çevrede bulunan bu kaynaklardan yayınlanan değişik tipteki radyasyonlara her zaman maruz kalmaktadır. Gözlenen

en yaygın doğal radyasyon kaynakları ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K izotoplarıdır (Arya 1999).

Çevresel örneklerde doğal radyoaktivite seviyelerini belirleme çalışmaları, nükleer enerjinin hayatımıza girmesi ve nükleer santrallerde üretilen radyoaktif maddelerin çevredeki etkilerinin araştırılmaya başlanması ile hız kazanmıştır. Bu tür çalışmalar, hem doğal radyoaktivite seviyelerinin belirlenmesi hem de nükleer santrallerin kurulduğu bölgelere yakın oturan insanların çevresel doğal radyasyonların yanı sıra çeşitli nükleer uygulamalardan hangi oranlarda radyasyona maruz kaldıklarının belirlenmesi açısından önemlidir (Zorer, 2006).

Dünyanın yaşına kıyasla oldukça uzun yarı ömürlü birkaç radyoaktif elementin bugün hala radyoaktiflikleri gözlenebilmektedir. Bu radyoaktif izotoplar çevremizdeki bütün maddelerde, özellikle 4.5×10^9 yıl önce yoğunlaşmış kaya ve minerallerde bulunurlar. Genel olarak radyoaktif elementler minerallere sıkıca bağlıdırlar ve sağlığımız için zararlı değildirler. Ancak tüm doğal radyoaktif serilerde olan radon gazının yayınlanması söz konusudur. Bu element gaz halinde olup kayalıkların derinliklerinde oluştuğunda kaya çatlaklarından kaçabilir. Radonun aynı zamanda minerallerin yüzeyinden kaçma olasılığı vardır ve bu özellikle inşaat yapımında kullanılan taş, tuğla gibi bina yapı malzemelerinde önemlidir (Zorer, 2006).

Uzun yarı ömürlülere nispeten kısa yarı ömürlü doğal radyoaktif kaynaklar da vardır. Bu elementler, yüksek enerjili fotonların atmosferin üst katmanlarındaki atomlarla çarpışarak neden oldukları nükleer reaksiyonlar sonucu oluşan ^3H ve ^{14}C 'dür. ^{14}C izotopu radyoaktif yaş tayini çalışmalarında kullanılan son derece önemli bir radyonüklidtir (Zorer, 2006).

2.1.2 Doğal radyoaktivitenin keşfi

Bugün mevcut olan 92 elementin 300' e yakın izotopundan 60 kadarı kararlı değildir. $Z=81$ ve $Z=92$ arasındaki çekirdeklerin hepsi kararsızdır. Bu kararsız çekirdekler kendiliğinden uygun bozunma şekilleri ile kararlı olan çekirdeklere dönüşürler. Bu dönüşüm sırasında ışıınım yayarlar. Bu olaya radyoaktiflik denir. Radyoaktif özelliği gösteren çekirdeklere radyoaktif çekirdekler, yayınlanan ışıınıma da radyasyon denir (Arya 1999).

Doğal radyoaktivite 1896’ da Henri Becquerel tarafından rastlantı sonucu keşfedilmiştir. Becquerel uranyum tuzu içeren bir maddeyi, siyah bir kağıda sarılmış fotoğrafik bir levha yanına bıraktı. Bir süre sonra fotoğrafik levhanın uranyum tuzundan etkilendiğini fark etti (Enge 1966).

Rutherford 1898’ de deneylere devam ederek, uranyum tarafından yayınlanan ışınımın iki tür olduğunu buldu. Bu radyasyonlar alfa ve beta radyasyonlarıydı. Bu keşiften iki yıl sonra Villard üçüncü bir radyasyon keşfetti. Bu radyasyona gamma ışını denildi (Hodgson ve ark.1997).

Daha sonraki araştırmalar sonucunda toryumunda uranyum gibi ışınım yaptığı bulundu. Uranyum ve toryum içeren bazı mineraller üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda, bu minerallerin uranyum ve toryumun kendisinden daha fazla radyasyon yaydıkları bulundu. Bu keşifle Marie ve Pierre Curie iki yeni radyoaktif element buldular. Bunlara polonyum ve radyum denildi (Hodgson ve ark.1997).



Şekil 2.1 Henri Becquerel, Marie ve Pierre Curie ve Rutherford

Doğal radyoaktivitenin keşfi, çekirdeğin yapısı ve nükleer mekanizmalar ile ilgili önemli gelişmelere yol açtı. Ayrıca radyoaktivite, temel etkileşmeler üzerinde önemli bilgiler sağladı. Radyoaktivitenin keşfinden sonra radyasyonların özellikleri araştırılmaya başlandı. Bu araştırmalar bazı özellikler göz önünde tutularak yapıldı. Bunlar;

1. Çeşitli maddelerdeki giriciliği
2. Gazları iyonlaştırma özelliği

3. Elektrik ve manyetik alan altındaki davranışları (Arya 1999).

2.1.3 Radyasyon çeşitleri ve özellikleri

2.1.3.1 Alfa parçacıkları

Alfa parçacıkları (α) iki elektronu olmayan helyum çekirdekleridir. İki protona ve iki nötrona sahip olan alfa parçacıkları atomun çekirdeğinden yayılırlar. Alfa ışınları içlerinden geçtikleri gazları daima iyonlaştırırlar. İyonlaşma yaparken enerjilerini ve hızlarını kaybederler. Bir süre sonra termal hıza ulaşırlar. Termal hıza ulaştıkları zaman daha fazla iyonlaşma yapamazlar. Elektron yakalayarak nötr atomlar haline gelirler (Arya 1999).

Alfa parçacıklarının giriciliği çok zayıftır. Alfa parçacıkları kuvvetli bir manyetik alan altında küçük sapmalar gösterirler ve pozitif yüklü parçacıklar gibi davranırlar.

Doğal radyoaktif elementlerden yayınlanan alfa parçacıklarının ortalama hızları yaklaşık olarak 2×10^7 m/s' dir. Çıkış enerjileri 4–10 MeV arasında değişir (Balıkesir 1998). Alfa ışınları tek enerjili olup enerji spektrumları kesiklidir.

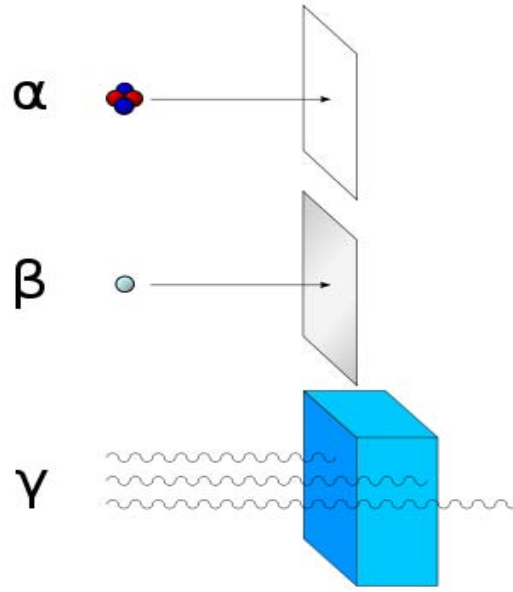
2.1.3.2 Beta parçacıkları

Beta parçacıkları (β) hızlı hareket eden elektron ve pozitronlardır. Alfa parçacıklarına göre daha az iyonlaşmaya neden olurlar. Fakat alfa parçacıkları ile karşılaştırıldığında giricilikleri daha fazladır. Beta ışınlarının hızları $0.99c$ 'ye kadar ulaşabilir. Bir radyoaktif elementten değişik enerjilerde beta ışınları yayınlanır. Beta enerji spektrumu, alfa ışınları gibi tek enerjili olmayıp sürekli dağılımına sahiptir. Bu nedenle beta ışınlarının enerji spektrumu sürekli bir yapı gösterir. Bu enerji spektrumu 0 ile belli bir maksimum enerji değeri arasında değişir. Maksimum enerjiye son nokta enerjisi denir (Arya 1999).

2.1.3.3 Gamma ışınları

Gamma ışınları (γ), X-ışınları gibi elektromanyetik radyasyon fotonlarıdır. Fakat X-ışınları ve görünür ışığa göre daha giricidirler. Enerjileri daha büyük, dalga boyları daha kısadır.

Gamma ışınları yüksüzdürler. Bu nedenle elektrik ve manyetik alanda sapma göstermezler. Işık hızında hareket ederler. Gamma ışınlarının giriciliği alfa ve beta parçacıklarıyla karşılaştırıldığında daha büyüktür. Fakat alfa ve beta parçacıklarına göre daha az iyonlaşmaya neden olurlar. Belli bir radyoaktif elementten belli enerjilerde gamma ışınları yayınlanır. Gamma ışınlarının enerjileri 0.1–10 MeV arasında değişir. Bu enerji aralığı çekirdeğin enerji durumları arasındaki enerji farkı ile aynı mertebededir. Bu enerji aralığı 10^4 ile 10^6 fm dalga boyu aralığına karşılık gelmektedir (Krane 2001).



Şekil 2.2 alfa, beta ve gama parçacıkları

2.1.4 Doğal ve yapay radyoaktif seriler

Doğal radyoaktif izotopların birçoğu ağır elementlerden oluşmaktadır. Bu ağır elementler üç seride toplanmaktadır. Bunlar toryum, uranyum ve aktinyum serileridir. Bu isimler seride mevcut olan radyoaktif izotoplardan en uzun yarı ömürlü olana aittir. n bir tam sayı olmak üzere bu seriler, $4n$, $4n+2$, $4n+3$ denklemleri ile tanımlanır. n değeri seriye bağlı olarak 51 veya 52' den 58 veya 59' a kadar değişir. Bu denklemlerle serideki radyoaktif çekirdeklerin kütle

numaraları elde edilir. Alfa bozunması yapan bir radyonüklidin kütle numarası dört birim azalır. Beta bozunumu yapan radyonüklidin kütle numarası değişmez. Bu nedenle bu serilerden herhangi birinde bir bozunma gerçekleşirse, oluşan yeni element yine aynı serinin bir üyesi olur. Bu üç seriye adını veren toryum, uranyum ve aktinyum elementlerine ait bazı özellikler Şekil 2.3’ de verilmiştir.

Tablo 2.1 Toryum, Uranyum ve Aktinyum elementine ait bazı özellikler (Krane 2001).

Seri Adı	Türü	En son bozunma Ürünü	Radyoaktif çekirdek	Yarı ömür (y)
Toryum	4n	^{208}Pb	^{232}Th	1.41×10^{10}
Uranyum	4n+2	^{206}Pb	^{238}U	4.47×10^9
Aktinyum	4n+3	^{207}Pb	^{235}U	7.04×10^8

Bu üç serinin de en kararlı elementi kurşunun izotoplarıdır. Tablo 2.2, Tablo 2.3 ve Tablo 2.4’ de sırasıyla toryum, uranyum ve aktinyum bozunma serilerine ait elementler ve bunların bazı özellikleri gösterilmektedir.

Tablo 2.2 Doğal Toryum serisi üyelerinin bazı özellikleri (Hodgson ve ark.1997).

Element – Z	Sembol	Yarı ömrü	Alfa (MeV)	Beta (MeV)	Gamma (MeV)
Toryum – 90	²³² Th	1.40×10^{10} y	4.00	-	0.06
Radyum - 88	²²⁸ Ra	5.8 y	-	0.054	-
Aktinyum - 89	²²⁸ Ac	6.13 sa	-	1.11	0.09
Toryum - 90	²²⁸ Th	1.91 y	5.43	-	0.08
Radyum - 88	²²⁴ Ra	3.7 gün	5.68	-	0.24
Radon – 86	²²⁰ Rn	55.6 s	6.29	-	-
Polonyum - 84	²¹⁶ Po	145 ms	6.78	-	-
Kurşun - 82	²¹² Pb	10.6 sa	-	0.36	0.238
Bizmut - 83	²¹² Bi	60.6 dk	6.05	2.20	0.04
Polonyum - 84	²¹² Po	300 ns	8.78	-	-
Talyum - 81	²⁰⁸ Tl	3.1 dk	-	1.79	2.62
Kurşun - 82	²⁰⁸ Pb	Kararlı			

Tablo 2.3. Doğal uranyum serisinin üyelerinin bazı özellikleri (Hodgson ve ark.1997).

Element – Z	Sembol	Yarı ömrü	Alfa (MeV)	Beta (MeV)	Gamma (MeV)
Uranyum – 92	²³⁸ U	4.5×10^9 y	4.2	-	0.048
Toryum – 90	²³⁴ Th	24.1 gün	-	0.19	0.09
Protaktinyum – 91	²³⁴ Pa ^m	1.17 dk	-	2.29	1.0
Uranyum – 92	²³⁴ U	2.5×10^5 y	4.8	-	0.05
Toryum – 90	²³⁰ Th	7.5×10^4 y	4.8	-	0.068
Radyum – 88	²²⁶ Ra	1600 y	4.8	-	0.186
Radon – 86	²²² Rn	3.82 gün	5.49	-	0.5
Polonyum – 84	²¹⁸ Po	3.05 dk	6.00	-	-
Kurşun – 82	²¹⁴ Pb	26.8 dk	-	0.65	0.24
Bizmut – 83	²¹⁴ Bi	19.9 dk	5.5	1.5	0.61
Polonyum – 84	²¹⁴ Po	164 μ s	7.7	-	0.8
Kurşun – 82	²¹⁰ Pb	22.3 y	-	0.016	0.046
Bizmut – 83	²¹⁰ Bi	5.0 gün	-	1.16	-
Polonyum – 84	²¹⁰ Po	138 gün	5.30	-	0.80
Kurşun – 82	²⁰⁶ Pb	Kararlı			

Tablo 2.4 Doğal Aktinyum serisi üyelerinin bazı özellikleri (Hodgson ve ark.1997).

Element - Z	Sembol	Yarı ömrü	Alfa (MeV)	Beta (MeV)	Gamma (MeV)
Uranyum – 92	²³⁵ U	7.0 × 108 y	4.38	-	0.185
Toryum - 90	²³¹ Th	25.5 sa	-	0.30	0.25
Protaktinyum - 91	²³¹ Pa	3.3 × 104 y	5.06	-	Birçok
Aktinyum – 89	²²⁷ Ac	21.8 y	4.95	0.046	Birçok
Toryum - 90	²²⁷ Th	18.7 gün	6.04	-	Birçok
Radyum – 88	²²³ Ra	11.4 gün	5.86	-	Birçok
Radon – 86	²¹⁹ Rn	4.0 s	6.82	-	0.27
Polonyum – 84	²¹⁵ Po	178 ms	7.38	-	-
Kurşun – 82	²¹¹ Pb	36.1 dk	-	1.36	0.83
Bizmut - 83	²¹¹ Bi	2.15 dk	6.62	0.59	0.35
Talyum - 81	²⁰⁷ Tl	4.79 dk	-	1.44	2.90
Kurşun - 82	²⁰⁷ Pb	Kararlı			

Bu üç seriden farklı olarak neptinyum serisi olarak adlandırılan bir radyoaktif seri daha vardır. Neptinyum serisi yapay bir radyoaktif seridir. Neptinyum serisi 4n+1 denklemiyle tanımlanır. Neptinyum serisindeki en uzun ömürlü radyoaktif elementin yarı ömrü, dünyanın yaşıyla kıyaslandığında çok kısa olduğu için bugün doğal maddelerde gözlenmemektedir (Hodgson ve ark.1997). Bu radyoaktif elemente ait özellikler Tablo 2.5.' de verilmiştir.

Tablo 2.5 Neptünyum elementine ait bazı özellikler (Enge 1966)

Element - Z	Sembol	Yarı ömrü
Neptünyum – 93	²³⁷ Np	2.14 × 10 ⁶ y

2.1.5 Sularda Bulunan Doğal Radyoaktivite

Sulardaki doğal radyoaktivite seviyesi belirleme çalışmaları, geçmişte yalnız kaplıca suları ile sınırlı kalmıştır. Daha sonraki yıllarda, içme sularında da bazı doğal radyonüklidlerin bulunduğu ortaya çıkmıştır. Fakat içme sularındaki radyonüklid konsantrasyonları önemli sayılabilecek seviyede bulunmamıştır.

Yeraltı sularında yüzey sularına göre daha çok radyoaktif element bulunduğundan yer altı suları yüzey sularına göre daha radyoaktiftir. Bunun sebebi, yer altı sularının, yeraltında bulunan radyoaktif kütlelerle ya da minerallerle temas etmesidir. Sularda uranyum bozunum serisi elemanlarından radyum ve radon diğerlerine göre daha fazla bulunmaktadır. ²²⁶Ra'nın bozunum ürünü olan ²²²Rn, bazı yeraltı sularında oldukça yüksek konsantrasyonlarda

bulunur. Yeraltı sularında bulunan aktinyum serisi elemanlarını tespit etmek oldukça zordur. Bazı sularda ^{232}Th ve ^{226}Ra 'nın dedekte edilebilecek miktarda bulunmasına rağmen, ^{220}Rn 'in, çok kısa yarı ömre sahip olması su ve kayalarda birikmesine imkan vermemektedir (Özger, 2005).

Uranyum, toryum ve aktinyum serilerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri birbirinden farklıdır. Bu serilerde bulunan radyonüklidlerin, sulardaki doğal radyoaktivite değerleri incelendiğinde, Uranyum ve Aktinyum serilerindeki radyonüklidlerin topraktan suya geçerken bazı dengesizlikler gösterdiği görülmektedir. Örneğin, yarı ömrü 3,8 gün olan ^{222}Rn yeraltı sularında çok yavaş hareket etmekte ve dolayısıyla konsantrasyonu $2\text{-}40\text{ Bq l}^{-1}$ arasında değişen ^{222}Rn 'nin atmosfere kaçması sınırlı olmaktadır. ^{222}Rn 'nin yeraltı sularındaki konsantrasyonu ^{226}Ra 'dan daha fazla bulunduğundan bu radyonüklidler toprak ve kaya altlarında radyoaktif dengeye daha kolay gelmektedir. Bu radyonüklidlerin okyanus deniz ve göl sularındaki konsantrasyonları oldukça düşük olduğundan yayınlanan gama radyasyon oranları da ihmal edilecek kadar düşüktür (Özger, 2005).

Sularda bulunan doğal ve yapay radyonüklidlerin sistematik ve periyodik ölçümleri çevre açısından oldukça önemlidir. Bu ölçümler; doğal radyasyon ve insan faaliyetinin neden olduğu yapay radyasyonun tayini, ülkelerin yönetmelik sınırlamalarına uygunluğunun tespiti, çevresel doğal radyasyonun bileşimi ve insanların neden olduğu radyoizotopların çevresel ortamlardaki transferi ve tutulması çalışmaları için yapılması gerekli ölçümlerdir. Çevresel bakımdan suların radyoaktif kirliliğin saptanmasında doğal kaynaklardaki gama aktif elementlerin yarı ömürlerinin alfa ve beta aktif elementlere göre daha kısa ve alfa ve beta radyoaktivite ölçümlerinin daha önemli olması nedeniyle, sulardaki radyoaktivite seviyesinin belirlenmesi üzerinde durulacak önemli bir konudur (Özger, 2005).

2.1.6 Sularda bulunan yapay radyoaktivite

Yapay radyoaktivite, nükleer silah denemeleri, nükleer kazalar ya da nükleer yakıt endüstrisinden çevreye fisyon ve nötron aktivasyon ürünü

radyonüklidlerin yayılması sonucu oluşan radyoaktivitedir. Çevreye yayılan bu radyonüklidlerden bazıları ise besin zincirleri yoluyla insana ulaşırlar. Yapay radyasyon oluşumunda etkili olan kaynaklar arasında tıp, endüstri ve bilimsel araştırmalarda kullanılan radyonüklidler de sayılmaktadır (Kılıç, 2006).

Atmosferde gerçekleştirilen nükleer bomba ve silah denemeleri sonucu meydana gelen radyoaktif serpintiler (^{90}Sr , ^{95}Zr , ^{106}Ru , ^{131}I , ^{137}Cs ve ^{134}Cs) radyoaktif çevre kirliliğine neden olan en büyük yapay radyasyon kaynağı sayılır.

^{237}Np , ^{239}Pu ve ^{241}Am nükleer güç reaktörlerinde üretilen ve nükleer silah bileşeni olarak kullanılan önemli radyonüklidlerdir.

^{90}Sr , ^{95}Zr , ^{106}Ru , ^{131}I , ^{137}Cs ve ^{134}Cs gibi nükleer fisyon ürünleri, nükleer serpinti bulutları ile taşınan ve dünyada geniş yayılım göstermiş olan önemli yapay radyonüklidlerdir. Nükleer reaktörlerin normal işleyişleri sırasında çevreye yaydıkları radyoaktivite oldukça küçüktür. Nükleer atık, nükleer enerji ile ilgili en önemli problemidir. Atık içindeki radyonüklidlerin farklı aktivite ve yarı ömre sahip olmaları nükleer atık için önemli bir kriterdir. Özellikle ^{137}Cs ve ^{90}Sr , 500 ile 1000 yıllık bir süre için potansiyel olarak tehlikeli yapay radyonüklidlerdir (Ergül, 2004).

2.1.7 ^{210}Po 'un genel özellikleri

Periyodik tablonun VIA grubunda yer alan polonyum, ilk olarak 1868 yılında Marie ve Pierre Curie tarafından bulunmuş, radyoaktif bir elementtir. Polonyumun atom sayısı 84, atom ağırlığı 210, kaynama noktası 962°C , erime noktası 254°C , atom yoğunluğu $9,4 \text{ g cm}^{-3}$ tür.

Polonyumun kütle numarası 197 ile 218 arasında değişen 27 izotopu vardır. Bu izotoplardan biri olan ^{210}Po , ^{238}U 'un bozunum serisi ürünlerindendir ve radyoaktiftir. Bozunum serisi içindeki önemli ana radyonüklidler ^{226}Ra , ^{222}Rn ve polonyumun ana radyonüklidi ^{210}Pb 'dur. Yarı ömrü 138,4 gün olan ^{210}Po , 5,3 MeV enerjili α -tanecikleri yayınlar. Kısa yarı ömrü olmasına rağmen ^{210}Po 'nun doğadaki bolluğu, yarı ömrü 22 yıl olan ^{210}Pb bozunumu kararlı bir şekilde devam

etmektedir. Dolayısıyla, doğadaki ^{210}Po miktarı büyük ölçüde ^{210}Pb 'un miktarına bağlı olmaktadır. ^{210}Po , radyotoksitesi oldukça yüksek olan bir radyoizotoptur ve buna bağlı olarak biyolojik etkileri ^{210}Pb 'a göre daha fazladır. ^{210}Po 'un tek bir bozunumundan açığa çıkan eşdeğer doz oranı ^{210}Pb 'un bozunumundan açığa çıkan dozdan binlerce defa daha fazladır (Uğur, 1998).

^{210}Po 'un doğadaki en önemli kaynağı dünya kabuğunun üst katmanlarından atmosfere yayılan radon gazıdır. ^{238}U bozunum serisindeki radyonüklidlerin alfa ve beta yayımlayarak bozunumları sonucu ^{226}Ra ($t_{1/2}=1622$ yıl), ^{226}Ra 'un bozunumu sonucu ise oldukça kısa yarı ömürlü bir radyoizotop olan ^{222}Rn ($t_{1/2}=3,82$ gün) oluşur. ^{222}Rn 'un atmosferdeki bozunumu ile ^{210}Pb ($t_{1/2} = 22,3$ yıl) ve ^{210}Bi ($t_{1/2}=5,01$ gün) meydana gelir (Uğur, 1998).

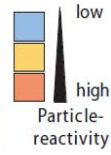
Doğal ^{210}Po 'un doğadaki miktarı ve davranışı, büyük ölçüde atmosferden kara parçalarına veya denizlere geri dönen ^{210}Pb 'un çökmesine bağlıdır (Uğur, 1998).

Kömür'de ^{210}Po 'un kaynakları arasında yer almaktadır. Kömürün yanması sonucunda atmosfere oldukça yüksek oranda ^{210}Po salındığı bilinmektedir (Uğur, 1998).

Çevresel araştırmalarda ve su altı jeolojisinde iz element olarak kullanılan ^{210}Po 'un alfa bozunumu ile yüksek lineer enerji transferi, düşük gama radyasyon intensitesi ve büyük miktarlarda üretiminin mümkün olması gibi bir takım özelliklerinden dolayı, uzay araçlarında ısınma ve güç jeneratörleri için izotopik kaynak olarak kullanılmaktadır (Uğur, 1998). ^{210}Po , okyanuslardakinin yanı sıra atmosferdeki süreçleri de kapsayan çevresel çalışmalarda izleyici olarak büyük önem taşımaktadır. Dünyanın birçok yerinde ^{210}Po 'un atmosferik depozisyon akısının belirlenmesine yönelik çok sayıda çalışma yapılmıştır (Su and Huh, 2002; Waska et al., 2008; Tateda and Iwao, 2008).

Tablo 2.6 radyonükleidlerin sahip olduğu parçacıkların enerjilere göre dizilişi (www.awi.de/.../tracers_for_transport_processes) (Erişim tarihi 1 Aralık 2009)

Element	Uranium-238 Series					Th-232 Series			U-235 Series		
Uranium	U-238 4.47*10 ⁹ y		U-234 245500 y						U-235 7.0*10 ⁸ y		
Protactinium		Pa-234 1.17 min								Pa-231 32760 y	
Thorium	Th-234 24.10 d		Th-230 75380 y			Th-232 1.4*10 ¹⁰ y		Th-228 1.91 y	Th-231 25.5 h		Th-227 18.72 d
Actinium							Ac-228 6.15 h			Ac-227 21.773 y	
Radium			Ra-226 1600 y			Ra-228 5.75 y		Ra-224 3.66 d			Ra-223 11.435 d
Francium											
Radon			Rn-222 3.82 d								
Astatine											
Polonium			Po-218 3.1 min	Po-214 164.3 µs	Po-210 138.4 d						
Bismuth			Bi-214 19.9 min		Bi-210 5.0 d						
Lead			Pb-214 26.8 min	Pb-210 22.3 y	Pb-206 stable			Pb-208 stable		Pb-207 stable	



2.1.7.1 Denizlerde ²¹⁰Po

Su kütleleri üzerindeki atmosfer ortamında yer alan radyoaktivite konsantrasyonları genelde sudaki uranyum ve radyum konsantrasyonlarının düşük olması nedeniyle kara atmosferine göre daha düşüktür (Kathren, 1986; Gürboğa, 1998).

Denizlerde ²¹⁰Po'un başlıca ana kaynağı ²¹⁰Pb'un bozunumudur. Akuatik ortamlarda ²¹⁰Pb aktivitesine eşit ²¹⁰Po aktivitesi dengedeki ²¹⁰Po'u vermekte, bunun üstündeki ²¹⁰Po aktivitesi ise denge üstü ²¹⁰Po olarak kabul edilmektedir. Bu bileşenin ana kaynağı atmosferik yağıştır. ²¹⁰Po'un atmosferik yağışı, toplam ²¹⁰Pb yağışının %10'u kadardır (Gönülalan, 2006).

Su kütlelerinden organik parçacık yüzeylerine adsorbsiyon ile geçen ²¹⁰Po, fitoplankton, zooplankton gibi organizmalar tarafından alınır. ²¹⁰Pb ise, organik parçacıklardan ziyade inorganik parçacık yüzeylerine adsorblanır. Akuatik ortamlarda organik materyaller ve askıdaki materyaller farklı alan ve derinliklerde değişim göstermektedirler. ²¹⁰Po'un okyanuslarda dağılımı düzenli olsa da akuatik ortamlardaki ve organizmalardaki birikim oranı çok çeşitlidir (Uğur, 1998; Gönülalan, 2006).

Denizlerin kullanım alanlarında birisi, kirlilik veren deşarjlar için bir alıcı ortam olarak kullanılmasıdır. Bu kirlilik deniz kıyısındaki yerleşim yerleri ve endüstrilerden doğrudan verilebildiği gibi akarsular, yağmur suları ve hava kirliliği ile de daha uzak bölgelere taşıma yoluyla verilebilir. Bunun yanında endüstriyel olarak petrol ve petrol türevlerinin yaygın bir şekilde üretilip kullanılması, kullanım sonucu yapılan deşarjlar, deniz taşıması ve kazalar denizlerin kirlenmesinde önemli rol oynarlar.

Ege Denizi'nde kirleticiler genellikle;

- 1-Yerleşim sonucu evsel atıklarla,
- 2-Sanayiden kaynaklanan atık su deşarjlarıyla,
- 3-Yağış sonucu yıkanma ve süzülmeyle,
- 4-Tarımsal faaliyetler sonucuyla,
- 5-Liman faaliyetleri ve deniz trafiğiyle,
- 6-Denize ulaşan nehir ve akarsular vasıflarıyla, ulaşımlardır.

Ege Bölgelerinde sanayi gelişimine paralel olarak gerçekleşen nüfus artışı yurdumuz ortalamasının üzerindedir. Turizm sonucu özellikle yaz aylarında nüfus çok artmakta ve kirlilik yükü normalin çok üzerine çıkmaktadır. Mevcut altyapı da yetersiz kaldığından sorunlar ortaya çıkmaktadır (<http://www.forumacil.com/ekoloji-ve-cevre-sorunlari/127294-deniz-kirliligi-ve-nedenleri-deniz-kirliligi-ile-ilgili-.html>).

Denizlerde su kalitesini etkileyen etmenler arasında aşağıdakiler sıralanabilir;

Sudaki serbest oksijen miktarı, suda yaşayan canlıların sayısını etkileyen unsurlardan biridir. Denizlerdeki oksijenin büyük çoğunluğu direkt olarak atmosferden gelir fakat atmosferdeki oksijen miktarının sudan daha fazla olması nedeni ile zamanla atmosferdeki oksijen deniz suyu içinde çözülür ve akıntılar sayesinde denizin farklı derinliklerine dağılır ve ayrıışmadan ötürü su kullanılamayacak hale gelebilir. Atmosfer ile denizel ortam arasındaki oksijen değişimi ise deniz yüzeyinde gerçekleşir. Suyun sıcaklığındaki bir artış, sudaki

balıklar, bitkiler ve bakteriler için gereken serbest oksijen miktarının azalmasına da neden olabilir.

Deniz suyu sıcaklığı da ekolojik denge açısından çok önemli bir unsurdur. Deniz suyu, gerekli ısıyı hem güneş ışığından hem de atmosferden alır. Deniz yüzeyinin temiz olmasına bağlı olarak atmosferle temas eden yüzeydeki su atmosferin ısınıp emer. Denizlerdeki kirlenme en yoğun deniz yüzeyinde görülür ve bu sebeple bu bölgelerde görülen aşırı kirlenme denizlerin soğuma kapasitesini zayıflatır, hava ve güneş ile temas etmeyen denizel ortamlarda ekolojik denge bozulur. Bunların sonucu; deniz canlı türleri azalmakta, yaşam kaynakları zarar görmekte, balıkçılık gibi deniz faaliyetleri etkilenmekte ve kullanılan deniz suyunun kalitesi bozulmaktadır. (http://www.yesilkutu.net/dyn_files/news/)(Erişim tarihi 2 Aralık 2009).

Güneş ışığı, fotosentez için gerekli en önemli öğelerden bir tanesidir ve sudaki besin zincirinin en alt tabakası olan zooplanktonlar ve fitoplanktonlar fotosentez ile beslenir. Deniz yüzeyi ne kadar berrak ve temiz olursa güneş ışığı da o kadar derin bölgeye ulaşabilir.

Deniz suyunun dengesini bozan bir diğer unsur ise suyun pH düzeyidir. Yoğun sanayi etkinliklerinden kaynaklanan asit yağmurları sebebiyle su kaynaklarının asitlik düzeyi artabilir ve bu artış balık ölümlerine ve balıkların yediği yumuşakça ve eklembacaklıların sayısının azalmasına yol açabilir (http://www.yesilkutu.net/dyn_files/news/25.pdf)(Erişim tarihi 4 Aralık 2009).

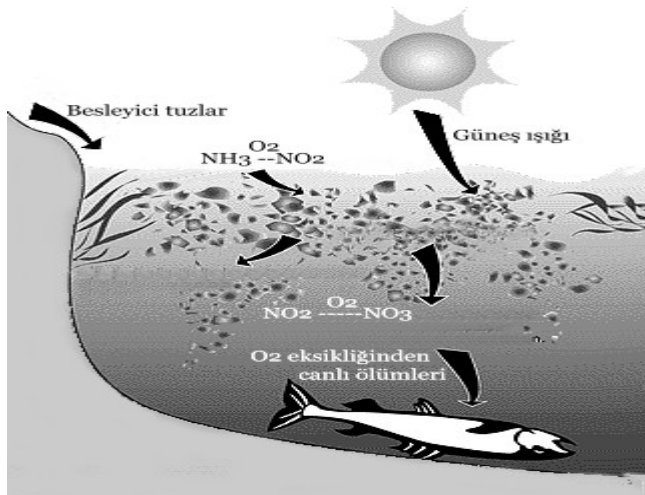
Sudaki fosfor ve azot içeriği, suni gübreler ve kanalizasyonlardan gelen deterjan benzeri maddelerin etkisiyle artabilir. Sudaki bu zararlı çözeltiler, deniz, göl ya da akarsuları organik ve inorganik besin maddesi yönünden zenginleştirmektedir. Bu duruma suların biyoelementler tarafından zenginleşmesi yani “ötrifikasyon” denilmektedir. Bu olay sonucunda sulardaki yeşil bitkiler büyük bir biyolojik kütle geliştirmekte ve yaşadıkları sürece bol miktarda oksijene gereksinim duymaktadırlar. Böylece sudaki diğer canlılar için oksijen azalmakta ve buna bağlı olarak da canlıların ölümleri gerçekleşmektedir (Taygun ve Balanlı, 2005).

Ötrifikasyonun Nedenleri;

- Toprak ve kayaçların aliterasyonundan oluşan besinlerin doğal yüzey akışı
- Nitrat ve fosfat içeren anorganik gübrelerin yüzey akışı
- Hayvan çiftliklerinden hayvan dışkılarının yüzey akışı (Nitrat, fosfat, ve Amonyak içermekte)
- Erozyondan kaynaklanan yüzey akışı
- Deterjanların(fosfat içermekte) çevreye bırakılması
- Kısmen arıtılmış veya arıtılmamış evsel atık suların çevreye bırakılması (nitrat ve fosfat içermekte). (<http://www.hidrojeoloji.net/otrifikasyon.html>)(Erişim tarihi 2 Aralık 2009)

Ötrifikasyonun etkileri;

- Bitki ve hayvan biyokütlesinde artış
- Köklü bitkilerin büyümesinde artış
- Suyun bulanıklığında artış
- Sedimentasyon oranında artış
- Anoksik durumların gelişimi (düşük oksijen seviyeleri)
- Canlı türlerinde azalma
- Alg oluşum sıklığında artış



Şekil 2.5 Ötrifikasyon Şeması (www.artuz.com/.../cumhuriyet09.htm) (Erişim tarihi 5 Aralık 2009)

2.3 Deniz Suyunda Çözünmüş Halde Bulunan İnorganik Maddeler

Bugüne değin yapılan araştırmalarda deniz suyunda çözünmüş halde 80'den fazla elementin mevcut olduğu saptanmış olup, daha duyarlı kimyasal yöntemlerin geliştirilmesiyle bu sayının daha da artacağı sanılmaktadır. Bununla beraber elementlerin deniz suyundaki konsantrasyonları düşük olup, ancak % 3,5 civarındadır.

Tablo 2.7 Deniz Suyunda Çözünmüş Halde Bulunan İnorganik Maddeler (Remzi Geldiay, Ahmet Kocataş, 2006)

Element	Simgesi	Konsantrasyon (mg/l=ppm)	Çözünmüş halde bulunma şekilleri	Toplam miktarı
Sodyum	Na	1.077×10^4	Na^+	$1,42 \times 10^{16}$
Magnezyum	Mg	1.290×10^3	Mg^{+2}	$1,71 \times 10^{15}$
Kükürt	S	9.05×10^2	SO_4^{2-} , NaSO_4^-	$1,2 \times 10^{15}$
Kalsiyum	Ca	4.12×10^2	Ca^{+2}	$5,45 \times 10^{14}$
Potasyum	K	3.0×10^2	K^+	$5,02 \times 10^{14}$
Karbon	C	28	HCO_3^- , CO_3^{2-} , CO_2	$3,7 \times 10^{13}$
Azot	N	11,5	N_2 gaz, NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+	$1,5 \times 10^{13}$
Stronsiyum	Sr	8	Sr^{2+}	160×10^{13}
Oksijen	O	6	O_2 gaz	$7,93 \times 10^{12}$
Argon	Ar	0,43	Ar gaz	$5,68 \times 10^{11}$
Fosfor	P	6×10^{-2}	HPO_4^{2-} , PO_4^{3-} , H_2PO_4^-	$7,93 \times 10^{14}$
İyot	I	6×10^{-2}	IO_3^- , I^-	$7,93 \times 10^{10}$
Uranyum	U	$3,2 \times 10^{-2}$	$\text{UO}_2(\text{CO}_3)_2^{4-}$	$4,23 \times 10^9$
Sezyum	Cs	4×10^{-4}	Cs^+	$5,29 \times 10^8$

Manganez	Mn	2×10^{-4}	$Mn^{2+} \cdot MnCl^+$	$2,64 \times 10^8$
Kurşun	Pb	3×10^{-6}	$PbCO_3, (PbCO_3)_2^{-2}$	$3,97 \times 10^7$
Bizmut	Bi	2×10^{-5}	$BiO^+, Bi(OH)_2^+$	$2,64 \times 10^7$
Toryum	Th	1×10^{-6}	$Th(OH)_4$	$1,32 \times 10^7$
Radyum	Ra	7×10^{-11}	Ra^{2+}	9,25
Radon	Rn	5×10^{-16}	Rn gaz	$7,93 \times 10^{-4}$
Polonyum	Po		$PoO_3^{2-}, Po(OH)_2$	

2.3.1 Deniz suyunda bulunan radyonüklidler

Çeşitli kaynaklardan denizlere gelen radyoaktif maddeler bu ortamın değişik fiziko kimyasal özellikleri ile karşılaştırıldığında yeni ortamlarda özel reaksiyonlar gösterirler. Bu reaksiyonun en önemlisi deniz suyunu iyonize etmeleridir.

Denizlerdeki doğal radyonüklidlerden oluşan enerji ve dozu deniz suyunda önemli bir fiziko kimyasal değişim yapacak yetenekte olmakla beraber, bu ortamda yaşayan organizmalar daha duyarlı olduklarından bunlar üzerinde önemli değişmelere neden olurlar.

Denizlerde yaşayan canlılar deniz suyunda ve denizaltı kayaçlarında mevcut doğal radyonüklidlerden yılda 1-28 milirad alırlar. Aynı organizmalar kozmik ışıklardan gelen radyasyonu da bulundukları derinliğe göre alıp biriktirebilirler. Kozmik ışınlar yüzeyde 35 milirad civarında olduğu halde 100m derinliklerde hemen hemen sıfıra yaklaşır.

Organizmaların radyasyona olan hoşgörülerinin gruptan gruba değişiklikler gösterdiği izlenmiş olup, radyasyona en duyarlı grubun insanlar, en hoşgörülü olanın da Protozoa türlerin olduğu saptanmıştır. Ayrıca aynı grup türleri arasında da radyasyona olan hoşgörü türde türe değişiklikler göstermekte olduğu deneysel olarak saptanmıştır.

Bitkiler ve hayvanlar üzerinde yapılan gözlemlerde radyasyonun bu organizmaların anatomi, morfoloji ve boyları üzerinde önemli etkiler gösterdiği bulunmuştur. Alglerin radyasyon etkisiyle boy ve yapılarında anormallikler olduğu izlenmiş, hücrelerin düzensiz şekilde geliştiği ve dev hücrelerin olduğu görülmüştür. Hayvanlarda da benzer sonuçlara rastlanmış olup, radyasyonun etkisinde anormal yapıda ve büyüklükte formların geliştiği deneylerden izlenmiştir (Ahmet Kocataş, 2004)

2.3.2 Deniz suyunda asılı halde bulunan organik ve inorganik parçacıklar

Deniz suyunda, bu zamana kadar incelenen çözünmüş maddelerden başka, asılı halde organik ve inorganik parçacıklar da mevcuttur. Bir deniz suyu örneği 0,5 µm göz açıklığındaki filtreden geçirildiğinde bu filtre üzerinde kalan tüm maddeler asılı (süspansiyon) parçacıklara dâhil edilirler.

Deniz suyunun içerdiği asılı parçacıklar, boy ve şekil yönünden çok çeşitli özelliklerde olabildikleri gibi, yapıları ve kökenleri yönünden de farklı olabilirler. Kendilerine özgü bir hareketten yoksun bu organik (**Plankton**) ve inorganik (**Tripton**) parçacıkların tümüne birden **Seston** adı verilir. Sestonun aksi Nekton olup, aktif olarak hareket edebilen organizmalar içerir. Deniz suyunda asılı halde bulunan maddeler üzerindeki çalışmalar, çözünmüş maddelere göre daha azdır (Ahmet Kocataş, 2004).

2.3.3 Asılı parçacıkları oluşturan maddeler

Deniz suyunda asılı halde bulunan parçacıklar, yapıları yönünden organik ve inorganik olarak iki büyük gruba ayrılırlar. Bu parçacıkların oranı ve bileşimleri derinliğe ve yörelere bağlı olarak değişir. Örneğin, sığ sular kıyısal orijinli veya nehirlerin taşıdığı maddeler yönünden zengin oldukları halde, açık denizlerin yüzey suları organik madde yönünden zengin olurlar.

Deniz suyunda asılı halde bulunan organik maddelerin esasını canlı formlar ve organik detritus oluşturur. Canlı parçacıkların büyük bir bölümünü oluşturan

fitoplankton türleri, ötofik zonda bulunurlar. Bunlara ilave olarak zooplankton, bakteri ve balıklar gösterilebilir.

Canlı olmayan, fakat asılı halde bulunan organik parçacıklar ise çok çeşitli tipte olabilirler. Bunların kaynağını ölmüş organizmalar (özellikle bitkiler ve zooplanktonlar) oluştururlar. Canlı organizmaların ölüm sonrası artıklarından olan bu parçacıklara **Detritus** adı verilir.

Deniz suyunda asılı halde bulunan inorganik parçacıklar; terrijenik, atmosferik ve kozmik olmak üzere başlıca üç bölümde incelenebilir. Terrijenik parçacıklar, denizlere akarsuların taşınmasıyla veya sahillerin aşınmasıyla geldikleri gibi, insanların denize döktükleri artıklarla da ilave olmaktadır. Atmosferik parçacıklar ise, atmosferdeki sirkulasyonlarla taşınmaları sırasında denize düşen parçacıklardır. Çok nadir de olsa kozmik yolla da denize asılı inorganik maddelerin ilave olduğu bilinmektedir. (Ahmet Kocataş, 2004).

2.3.3.1 Asılı parçacıkların mevsimsel, yöresel ve derinliğe bağlı değişimleri

Deniz suyunda asılı halde bulunan parçacıkları denizlerdeki enlem ve boylamlara göre dağılımları henüz birkaç araştırmacı tarafından incelenmiş olup, elde ettikleri sonuçlara benzer özelliktedirler. Buna göre genellikle sahil suları; nehir taşınmaları, sahil aşınmaları ve biyolojik aktivite nedeniyle açık deniz sularına göre asılı madde yönünden daha zengindir. Bu nedenle sahil suların içerdiği asılı madde miktarı nehrin yakınlığına, debisine, kıyının yapısına, denizdeki su hareketlerinin durumuna ve endüstriyel aktiviteye bağlıdır. Açık sulardaki asılı madde miktarı ise sadece biyolojikve fotosentetik aktiviteye ve aynı zamanda atmosferik taşınımlara bağlıdır.

Derinliğe bağlı değişimler oldukça net bir şekilde gözlenmiştir. Asılı madde miktarı yüzey sularında çok fazla fakat düzensiz konsantrasyonlarda olduğu halde, 150-200 m'den sonra düzenli bir şekilde azalış gösterir. Derin su tabakalarının ise asılı madde yönünden homojen, fakat oldukça düşük miktarlar sahip oldukları bilinmektedir (Ahmet Kocataş, 2004).

2.4 Denizel Ortamın Ekolojik Bölümleri (Ahmet Kocataş, 2004).

Denizel ortamlar ekolojik olarak **Bentik Bölge** ve **Pelajik Bölge** olmak üzere iki büyük bölümde incelenir. Bunlardan bentik bölge sahilten itibaren en derin yere kadar olan tüm diplerden; pelajik bölge ise bentik de örten tüm su kütlesinden oluşmuştur.

2.4.1 Pelajik bölge

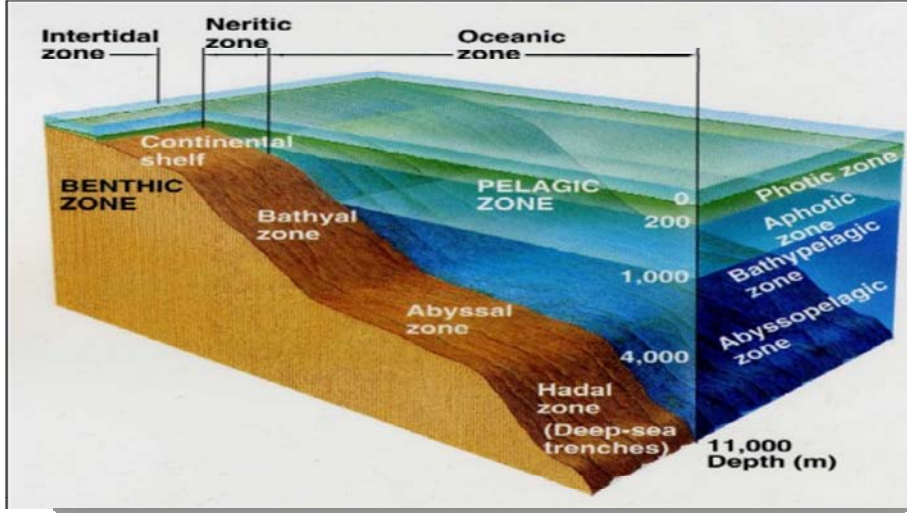
Su kütlesinden oluşmuş bu bölge altı zonda incelenebilir. Bunlar yüzeyden dibe doğru sırayla **Epipelajik Zon** (0 ile 100-200 m arasında), **Mezopelajik Zon** (200 ile 1000 m arasında), **İnfrapelajik Zon** (1000-2000 ile 3000 m arasında), **Batipelajik Zon** (3000 ile 4000-6000 m arasında), **Abissopelajik Zon** (4000-6000 ile 7000 m arasında) ve **Hadopelejik Zon** (6000 ile 7000 m'den sonraki bölgede) olarak sınıflandırılmaktadır.

Bazen pelajik bölge **Neritik Bölge** ve **Oseanik Bölge** olarak iki bölümde incelenir. Bunların neritik bölge dikey yönde 200 m'lik isobatla sınırlandırılmış, oseanik bölge ise neritiğin dışında kalan tüm bentik ve pelajik ortamı içerir.

2.4.2 Bentik bölge

Deniz diplerini içeren bu bölgede kendi içinde önce **Littoral Sistem** ve **Derin Deniz Sistemi** olmak üzere iki alt bölgeye ayrılır. Bunlardan littoral sistem 200 m derinliğe kadar uzanır; çeşitli denizel bitkileri içerdiğinden **Fital Sistem** olarak da adlandırılabilir ve kendi içinde **Supralittoral Zon** (su dışında kalan bölge), **Mediolittoral Zon** (periyodik olarak suya batıp çıkan bölge), **İnfralittoral Zon** (0-40 m arasındaki bölge) ve **Sirkalittoral Zon** (40-200 m arasındaki bölge) olarak adlandırılan bölümlere ayrılır. (Ahmet Kocataş, 2004).

Bentik bölgenin ikinci bölümünü oluşturan derin deniz sistemi ise bitkisiz olduğu için **Afital Sistem** adını da alır. Bu sistem de kendi içinde **Batiyal Zon** (200-3000 m), **Abissal Zon** (3000-7000 m) ve **Hadal Zon** (7000 m' den sonraki dipler) olmak üzere üç zona ayrılır. (Ahmet Kocataş, 2004).



Şekil 2.6 Bentik ve pelajik bölgenin bölümleri (bealbio.wikispaces.com/Cross+Talk)
(Erişim Tarihi 15 Kasım 2009)

2.6 Ekolojik Faktörler ve Organizmalara Etkileri (Ahmet Kocataş, 2004)

Deniz canlılarının yaşantısında ve dağılışında önemli etkenlere sahip çevresel faktörler, karasal ortamda olduğu gibi abiyotik ve biyotik olarak iki grupta incelenebilirler. Bunlardan abiyotik çevresel faktörler Radyasyon, Isı, Sıcaklık ve Nem, Basınç, Su Hareketleri, Besleyici Elementler, Oksijen ve Karbondioksit; biyotik etkenlere de besin ve beslenme faktörüyle organizmalar arasında oluşan karşılıklı ilişkiler dahildir.

2.5.1 Abiyotik faktörler

Sıcaklık, nem, yağış, hava hareketleri iklimin ana öğelerini oluştururlar. Hemen hemen her gün sözünü ettiğimiz bölgesel anlamdaki geniş kapsamlı iklimin yanında daha yöresel hatta organizmanın boyutundaki iklim koşulları canlının gelişimi için büyük önem taşımaktadır. Örneğin bir dağın kuzey ve güney yönündeki değişik sıcaklık ve nem gibi iklimsel faktörlere bağlı olarak buralarda bulunan bitki ve hayvan türleri de değişiklik gösterir. Örneğimizdeki boyutu biraz daha küçültürsek, bir kaya kütesinin güney ve kuzeye bakan yönlerinde bile farklı sıcaklık, nem ve ışık ihtiyacına sahip bitki ve hayvanların yaşadığını görebiliriz. Bu durumda rahatlıkla, bitki ve dolayısıyla hayvanların yayılışlarında temel

belirleyicinin iklim olduğunu söyleyebiliriz. İklimsel olaylar, yeryüzünü çevreleyen atmosfer tabakasında gerçekleşir. Canlıların yaşamı için gerekli olan havada azot, oksijen, karbondioksit gibi gazların yanında daha az miktarda başka gazlarda bulunur. Ayrıca hava, su buharı, toz, polen ve mikroorganizmaları da değişik zaman ve ortamlarda farklı yoğunlukta içerir. Uygarlığın gelişmesi ile birlikte, son yıllarda birçok kirletici havanın bileşimine katılmıştır. Bu kirleticiler sadece kaynağında değil, salındığı yerden çok uzaklarda da canlı sağlığı üzerinde olumsuz etkiler yapmaktadırlar. Azot oksitler, karbondioksit, kükürtdioksit bu kirleticilere örnek olarak verilebilir. Atmosfere salındıktan sonra bu kirleticiler ikincil kirleticiler adı verilen bileşiklere dönüşerek etkilerini daha da arttırmaktadırlar. Atmosfer tabakasının canlılar için diğer önemi ise güneşten gelen radyasyonun canlılar için olumsuz etkisini engellemesidir. Ancak bu işlevi gören ozon tabakasının çeşitli kirleticiler tarafından inceltildiği hatta delindiği bilinmektedir. Sıcaklık, atmosferdeki hava hareketleri, iklimsel değişiklikler ve mevsimlerin belirlenmesinde önemli yer tutan bir ekolojik faktördür. Bu nedenle de canlıların dağılışında önemli role sahiptir. Örneğin, sıcak su kaynaklarında yaşayan bazı suyosunu ve kabuklu hayvan türlerinin yüksek dağlardaki soğuk sularda yaşayabilmesi imkansızdır. Ancak canlıların çoğu bu konuda daha geniş ekolojik hoşgörülük sınırlarına sahiptir. Bitki ve hayvan türlerinin yaşamlarının belli evrelerinde tercih ettikleri sıcaklık dereceleri de farklılıklar gösterebilir.

Bilindiği gibi, yeryüzünün % 71'ine yakın bölümü su ile kaplanmış durumdadır. Bunun % 98'i sıvı, kalan kısmı ise katı ve gaz halindedir. **Su; atmosfer, karalar ve okyanuslar arasında katı, sıvı ve gaz halinde devamlı dolaşır, bu harekete hidrolojik dolaşım adı verilir.** Sucul ortamdaki canlılar için suyun sıcaklığı, içindeki çözünmüş maddeler, tuzluluk derecesi, durgun ya da akarsu oluşu önem taşır. Yayılış alanları, yukarıda sayılan özelliklerine göre belirlenir. Ayrıca suda derinliğe bağlı olarak değişen basınç da sucul organizmalar için önemlidir. Bütün bu özelliklere uyum sağlamak üzere canlılar çeşitli fizyolojik, morfolojik ve davranışa bağlı mekanizmalar geliştirmişlerdir. İnsan faaliyetlerine bağlı olarak suyun yapısında meydana gelen değişiklikler canlıların yaşamlarını olumsuz yönde etkilemektedir. Büyük deniz kazalarından sonra yayılan petrol ya da çeşitli endüstriyel ve evsel atıkların doğrudan suya verilmesi onun kimyasal bileşimini bozmakta, o çevredeki canlı türlerinin yok olması veya

göç etmesine neden olmaktadır. Ayrıca yine endüstriyel faaliyetler sonucunda soğutma amaçlı kullanılan suyun sıcaklığının değişmesi bile içindeki canlılar için yaşanılmaz hale gelmesine yol açmaktadır.

Işık, denizlerdeki primer prodüktivite ile deniz canlılarının enlemsel ve boylamsal yöndeki yayılışlarını direkt veya indirekt şekilde etkileyen önemli bir çevresel faktördür. Işık şiddetine ve müddetine bağlı olarak denizlerin verimi değişebilir. Zira fotosentez olayı direk olarak ışığın etkisinde gelişir. Deniz bitkileri ve özellikle fitoplanktonik formlar, fotosentez için gerekli enerjiyi güneş ışınlarından sağlarlar.

Sıcaklık (temperatür) ;canlılar için geniş bir yaşam alanı oluşturan okyanusların sıcaklığı termoklin tabakasının altında hemen hemen sabit olup, genellikle 5⁰C'nin altındadır. Bu nedenle okyanus sularının büyük bir bölümünü oluşturan termoklin tabakasının altında sıcaklık değişimleri çok az olduğundan burada yaşayan organizmalar üzerinde önemli etki göstermezler. Halbuki termoklin tabakasının üzerindeki katmanda suların sıcaklığı zamana ve enlemlere bağlı olarak çok değişir. Bu nedenle de termoklin tabakasının üstündeki suda veya bu suların örttüğü dipte yaşayan organizmaların morfoloji, fizyoloji ve dağılışlarında sıcaklığın önemli bir rolü vardır.

Diğer bir denizlerdeki abiyotik etmen arasında ise **pH** etkisi gösterilebilir. Deniz suyunun pH'ı genellikle önemsiz kabul edilmekle beraber, ortalama olarak 7,5-8,4 arasında değişir. Bu nedenle denizel formların yaşamı için önemli bir çevresel faktörü oluşturmaz. Sadece sahil zonların bazı bölgelerinde diğer çevresel faktörlerin etkisiyle ortam pH'ında önemli değişimler olabilir. Bunun bir sonucu olarak da organizmaların fizyolojisinde bazı değişimler izlenebilir.

Basınç, okyanus ve denizlerde paralel yönde oldukça homojen bir dağılış gösteren basınç faktörü derinliğe bağlı olarak düzenli artış göstermektedir. Bu nedenle basın yüzey formları için önemli bir etmen olmaktan yoksun, buna karşın deniz formları ile vertikal yönde yer değiştiren formlar için etkili bir faktördür. Bu etki direkt olduğu gibi, ortamdaki gazların çözünürlüğü veya viskozitesini değiştirmek suretiyle indirekt şekilde de olabilir.

Su Hareketleri, denizlerde izlenen su hareketleri (akıntılar, dalgalar, gel-git) organizmaların yaşantısında ve dağılışında diğer abiyotik faktörler kadar önemli etkilere sahiptir. Eğer denizlerde su hareketleri olmasaydı, yaşam için gerekli olan oksijen, besin gibi faktörler en azından yüzey tabakasında homojen bir dağılım göstermeyeceklerinden denizlerin bazı bölgeleri yaşam için devamlı veya geçici olarak uygun olmayacaktı.

Su hareketlerinden akıntılar denizlerdeki tüm yaşam için etkili olabilir. Bu etki besin veya oksijen taşıyarak olduğu gibi, sularda pasif olarak yer değiştiren formların dağılışı üzerinden de olabilir. Akıntıların bu geniş etkinliğine karşın dalgalar ve gel-git olayı özellikle sahil kesimlerindeki yaşam için önemlidir.

Oksijen ve Karbondioksit, bazı bakterilerin dışında, tüm canlıların yaşamı için serbest oksijene kesinlikle gereksinme vardır. Yaşam için kaçınılmaz olan bu çevresel faktör ortamdaki canlıların dağılışını kesinlikle sınırlar; oksijeni içermeyen zonlarda yaşam son bulur. Bunun en tipik örneğini Karadeniz'deki bentik canlıların dağılışı oluşturur ki, bu denizde 150-200 m derinlikten sonra bakteriler dışındaki diğer canlılara rastlanmaz.

Suda çözünmüş halde bulunan karbondioksit miktarı belli bir düzeyden sonra çoğu organizmanın yaşantısını sınırladığı halde, bitkilerin fotosentez faaliyetleri için kaçınılmaz bir bileşiktir. Bundan başka yapılarında CaCO_3 içeren canlılar da ortamlarda bulunan karbondioksite gereksinme duyarlar. Bentik veya planktonik olabilen bu canlıların yapısı ortamdaki karbondioksit konsantrasyonu bağlı olarak değişir.

Besleyici elementlere dahil silis, azot ve fosfor deniz suyunda çeşitli şekillerde bulunurlar ve deniz ekosistemindeki madde dolaşımında ilk basamağı oluştururlar. Bu nedenle bir ortamdaki besleyici element miktarı bu ortamdaki primer ve daha sonraki üretimleri direkt olarak etkiler. (Ahmet Kocataş, 2004).

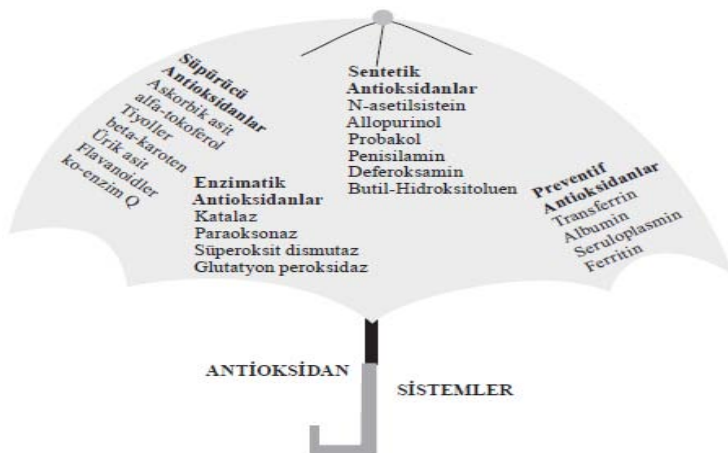
2.5.2 Biyotik Faktörler

Besin ve Beslenme, canlıların başlıca besin kaynağını oluşturan besinler, oksijenden sonra vital aktivitenin işleyişindeki etkenliği yönünden ikinci sırayı alırlar. Organizmaların yararlandığı besin miktarı ve kalitesi bunların yaşamı yönünden önemlidir; zira her canlı belli miktar ve çeşitteki besin aldığından yaşantısını sürdürür, ürer, gelişir ve neslini devam ettirir. Herhangi bir ortamdaki besin ve beslenme dengesinin bozulmasının sonucu bu ortamdaki canlılar ya göç eder ya da ölürler.

Organizmalar Arası İlişkiler, karasal ortamda olduğu gibi, denizel ortamda da organizmalar arası ilişkiler, aynı türün bireyleri ya da farklı türlerin bireyleri arasında olabilir (Ahmet Kocataş, 2004).

2.6 Antioksidanlar ve Serbest Radikaller

Antioksidanların öyküsü serbest radikallerle başlar. Bu yüksek aktiviteye sahip bileşikler (*serbest radikaller*), kirli havalarda, sigara dumanında, radyasyonda (*ışınım*), bitki koruma ilaçlarında, bozulmuş gıdalarda ve normal vücut metabolizmasında (*metabolik süreçte*) bulunurlar. Serbest radikaller vücuttaki hücrelere saldırır ve tahrip eder. İlk saldırıda öncelikli olarak yeni bir serbest radikal oluşur ve kontrol edilemeyen zincirleme bir reaksiyon başlar. (Halliwell B., 1995)



Şekil 2.7 Antioksidan Savunma Sistemleri

Antioksidan moleküller endojen ve eksojen kaynaklı yapılar olup, oluşan oksidan moleküllerin neden olduğu hasarı hem hücre içi hem de hücre dışı savunma ile etkisiz hale getirilirler. Hücre dışı savunma, albümin, bilirubin, transferin, seruloplazmin, ürik asit gibi çeşitli molekülleri içermektedir. Hücre içi serbest radikal toplayıcı enzimler asıl antioksidan savunmayı sağlamaktadır. Bu enzimler süperoksit dismutaz (SOD), glutatyon-S-transferaz, glutatyon peroksidaz, glutatyon redüktaz, katalaz ve sitokrom oksidazdır. Bakır, çinko ve selenyum gibi eser elementler ise bu enzimlerin fonksiyonları için gereklidir. (Halliwell B., 1995)

Oksidasyona neden olan serbest radikaller temel olarak oksijen kaynaklı metabolitler, (süperoksit anyonları O_2^- , hidrojen peroksit H_2O_2 , hidroksil radikali $OH^\cdot$) hipoklorik asit, kloraminmler, azot dioksit, ozon ve lipid peroksitlerdir. Bunlar organizmalar tarafından hücre içinde mitokandriyal solunum zincirinde, ya da hücre dışında, özellikle de fagositler tarafından oluşturulur. (Dawn B.M., 1996)

2.6.1 Serbest radikaller (Nilgün Altan, 2006)

Kuantum kimyasına göre ancak iki elektron bir bağın yapısına girebilir. Ayrıca iki elektronun ters dönüş doğrultusunda olması gerekir. Yani yukarıya doğru dönen bir elektronun eşi aşağıya doğru dönen bir elektrondur. Elektron çiftleri oldukça kararlıdır ve insan vücudunun neredeyse tüm elektronları elektron çifti halinde bulunur.

Bir bağ koptuğunda elektronlar ya birlikte kalır (ikisi de bir atoma katılır) ya da ayrılırlar (biri bir atoma, diğeri diğerine). Eğer birlikte kalırlarsa oluşan atom bir iyon olur, eğer ayrılırlarsa da serbest radikaller oluşur. Bu eşleşmemiş elektronlar yüksek enerjilidir ve eşleşmiş elektronları ayırıp işlerine engel olurlar. Bu işlem serbest radikalleri hem tehlikeli hem kullanışlı yapar.

Serbest radikaller yaşam için gereklidir. Elektron transferi enerji üretimi ve pek çok diğer metabolik işlevde temel oluşturur. Ama eğer zincir reaksiyonu kontrolsüz bir davranış gösterirse hücrede hasarlara neden olur. Bilim adamları 1954'lerden beri serbest radikallerin yaşlanma ve dejeneratif hastalıklara neden olduğunu bilmektedirler.

Çoğu elektronlar çift halde bulunurken, serbest radikal bu elektronları birbirinden ayırarak reaksiyonu durdurur. Ama sonuçta serbest radikal kendine bir çift elektron alarak elektron çifti haline geçer, diğer elektron serbest radikal olur.

Antioksidantlar ise serbest radikaller için kolay bir elektron hedefi oluşturur. Bağlanan serbest iki serbest radikali birleştirerek nötralize edebilme özelliğine sahip bir enzime (glutatyon peroksidaz, katalaz, süperoksit dismutaz...) taşınana kadar radikalle stabil bir yapı oluşturur.

Eğer serbest radikaller nötralize edilmezlerse vücutta ciddi hasarlara neden olabilirler:

- Hücre membranı proteinlerini yıkarak hücreleri öldürmek,

- Membran lipit ve proteinlerini yok ederek hücre membranını sertleştirip hücre fonksiyonunu engellemek,

- Nuklear membranını yararak nukleustaki genetik materyale etki edip DNA'yı kırılma ve mutasyonlara açık hale getirmek,

- Bağışıklık sistemindeki hücreleri yok ederek bağışıklık sistemini zorlamak.

Bu etkiler oksidatif stres olarak bilinen DNA mutasyonları, hücre ölümleri ve hastalıkları gibi hasarlara neden olur. Peki serbest radikaller bu hasarları nasıl verirler? Bu sorunun cevabı çok çeşitli mekanizmalara dayandırılabilmeyle beraber en temel etkileri, lipit peroksidasyonu, proteinler arasında disülfid bağı oluşumu ve DNA hasarıdır.

a) Membran Lipitlerinin Peroksidasyonu

Bu, serbest radikaller hücrenin membranına saldırdıklarında gerçekleşir. Serbest radikaller, hücre membranının stabilizasyonunu ortadan kaldırarak, hızlı hücre ve doku bozulmalarına neden olurlar.

b) Disülfid Bağı Oluşumu

Glutasyon (GSH) gibi tiyollerin (R-SH) oksidasyonu tiyol ve oksijen radikallerinin oluşumuna neden olur. Her ne kadar hidroksil radikallerinden daha zayıf olsalar da tiyol radikalleri bazı biyolojik sorunlara neden olurlar. Bunlar sülfür merkezli radikallerdir (RSH) ve proteinlerdeki homolitik fisyon (sülfürlerin karşılıklı bağlanması) reaksiyonları disülfid bağını oluşturur. Bu da proteinlerin konfigürasyonlarını bozarak vücuttaki metabolik aktivitelerini engeller.

c) Serbest radikallerin nükleik asitler ve DNA'ya etkileri

İyonize edici radyasyonla oluşan serbest radikaller DNA'yı etkileyerek hücrede mutasyona ve ölüme yol açarlar. Hidroksil radikali ($\text{OH}^\bullet$) deoksiriboz ve bazlarla kolayca reaksiyona girer ve değişikliklere yol açar. Aktive olmuş nötrofillerden kaynaklanan hidrojen peroksit (H_2O_2) membranlardan kolayca geçerek ve hücre çekirdeğine ulaşarak DNA hasarına, hücre disfonksiyonuna ve

hatta hücre ölümüne yol açabilir. Süperoksit ($\text{O}_2^{\bullet -}$) maruz kalan DNA

molekülleri hayvanlara enjekte edildiklerinde daha fazla antijenik özellik gösterirler ki bu oldukça önemli bir etkidir, çünkü otoimmün bir hastalık olan sistemik lupus eritematozusta (SLE) ve romatoid artrit (RA) dolaşımında anti-DNA antikorlar bulunur.

Serbest radikaller ve önemli çeşitleri;

2.6.1.1 Süperoksit radikalleri

Süperoksit radikali ($O_2^{\cdot-}$) hemen tüm aerobik hücrelerde moleküler

oksijenin (O_2) bir elektron alarak indirgenmesi sonucu oluşur. İndirgenmiş geçiş metallerinin otooksidasyonu süperoksit radikali meydana getirebilir. (Nilgün Altan, 2006)

Süperoksit radikali kendisi direkt olarak zarar vermez. Bu radikal anyonun asıl önemi, hidrojen peroksit kaynağı olması ve geçiş metalleri iyonlarının indirgeyicisi olmasıdır. (Nilgün Altan, 2006)

Süperoksit radikali düşük pH değerlerinde daha reaktiftir, oksidan perhidroksi radikali ($HO_2^{\cdot}$) oluşturmak üzere protonlanır. (Nilgün Altan, 2006)

Süperoksit radikali ile perhidroksi radikali birbirleriyle reaksiyona girince biri okside olur diğeri indirgenir. Bu dismutasyon reaksiyonunda moleküler oksijen ve hidrojen peroksit meydana gelir. (Nilgün Altan, 2006)

Süperoksit radikali hem oksitleyici hem indirgeyici özelliğe sahiptir. Örneğin ferrisitokrom c ya da nitroblue tetrazolium ile reaksiyonunda indirgeyici olarak davranarak bir elektron kaybeder ve moleküler oksijene okside olur. (Pitkanen O.M, 1992)

Süperoksit radikali epinefrinin oksidasyonunda oksidan olarak davranarak bir elektron alır ve hidrojen perokside (H_2O_2) indirgenir. (Pitkanen O.M, 1992)

Süperoksit radikalının fizyolojik bir serbest radikal olan nitrik oksit ($NO^{\cdot}$) ile birleşmesi sonucu bir reaktif oksijen türü olan peroksinitrit ($ONOO^-$) meydana gelir. Peroksinitrit, nitrit (NO_2^-) ve nitrat (NO_3^-) oluşturmak üzere metabolize

edilir. Peroksinitrit, azot dioksit ($\text{NO}_2^\bullet$), hidroksil radikali ($\text{OH}^\bullet$), nitronyum iyonu (NO_2^+) gibi toksik ürünlere dönüşebilir ki nitrik oksitin ($\text{NO}^\bullet$) zararlı etkilerinden peroksinitrit sorumludur. (Pitkanen O.M, 1992)

2.6.1.2 Hidroksil radikalleri

Hidroksil radikali ($\text{OH}^\bullet$), Fenton reaksiyonu ve Haber-Weiss reaksiyonu sonucu hidrojen peroksitten oluşmaktadır. Ayrıca suyun yüksek enerjili iyonize edici radyasyona maruz kalması sonucunda oluşur.

Hidroksil radikali son derece reaktif bir oksidan radikaldir, yarılanma ömrü çok kısadır.

Hidroksil radikali olasılıkla reaktif oksijen türlerinin (ROS) en güçlüsüdür. Oluştğu yerde tiyoller ve yağ asitleri gibi çeşitli moleküllerden bir proton kopararak tiyil radikalleri ($\text{RS}^\bullet$), karbon merkezli organik radikaller ($\text{R}^\bullet$), organik peroksitler ($\text{RCOO}^\bullet$) gibi yeni radikallerin oluşmasına ve sonuçta büyük hasara neden olur. (Burtis C.A., 1999)

2.6.1.3 Nitrik oksit ($\text{NO}^\bullet$)

Nitrik oksit hücresel patofizyolojide önemli bir rol oynayan çözünebilir, serbest radikal gazıdır. Vazodilatör mesajı endotelyumdan düz kasa taşıyan bir enerji aktarıcısı olarak, sentral ve periferel sinirsel aktarımda ve bağışıklıkta aktif rol alır. Sonuçta hücrede ve hücre dışında taşınan $\text{NO}^\bullet$ miktarı çok hassastır. (Dawn B.M., 1996)

2.6.1.4 Hidrojen peroksit (H_2O_2)

Hidrojen peroksit (H_2O_2), süperoksidin çevresindeki moleküllerden bir elektron alması veya moleküler oksijenin çevresindeki moleküllerden iki elektron alması sonucu oluşan peroksitin iki proton (H^+) ile birleşmesi sonucu meydana gelir.

Biyolojik sistemlerde hidrojen peroksidin asıl üretimi, süperoksidin ($O_2^{\cdot-}$)

dismutasyonu ile olur. İki süperoksit molekülü, süperoksidin dismutasyonu reaksiyonunda iki proton alarak hidrojen peroksit ve moleküler oksijeni oluştururlar.

Bu reaksiyon, radikal olmayan ürünler meydana geldiğinden dismutasyon reaksiyonu olarak bilinir, ya spontan gerçekleşir ya da **süperoksit dismutaz (SOD)** enzimi tarafından katalizlenir. Spontan dismutasyon pH 4,8'de en hızlıdır, enzimatik dismutasyon ise spontan dismutasyonun nispeten yavaş olduğu nötral ya da alkali pH'da daha belirgindir.

Hidrojen peroksit bir serbest radikal olmadığı halde reaktif oksijen türleri (ROS) kapsamına girer ve serbest radikal biyokimyasında önemli bir rol oynar. Çünkü Fe^{2+} veya diğer geçiş metallerinin varlığında **Fenton reaksiyonu** sonucu,

süperoksit radikalının ($O_2^{\cdot-}$) varlığında **Haber-Weiss reaksiyonu** sonucu en

reaktif ve zarar verici serbest oksijen radikali olan hidroksil radikali ($OH^{\cdot}$) oluşturur.

Süperoksit radikalının lipid solubilitesi sınırlı olduğu halde hidrojen peroksit lipid solubldur. Bu nedenle hidrojen peroksit kendisinin olduğu yerden uzakta olan fakat Fe^{2+} içeren membranlarda hasar oluşturabilir.(Dawn B.M., 1996)

2.6.2 Serbest radikale bağlı hastalıklar

Serbest radikaller vücudun hastalıklara karşı direncini vücudu saran organizmaları yok ederek artırır. Buna karşın fazla üretildiğinde vücuttaki bazı

yerlerde hasara neden olarak hastalıklara yol açar. Serbest radikal reaksiyonlarının neden olduğu hastalıklarda giderek bir artış olmaktadır. Bu serbest radikal hastalıkları üç grupta toplanabilir:

1. genetiğe bağlı (Fanconi's anemia, bloom syndrome)
2. çevresel bileşenler (iş hastalıkları, zehirlenmeler, virus ve bakteriyel enfeksiyonlar)
3. hem genetik hem de çevresel (bronşial astım, diabetes mellitus, kanser, kardiovasküler hastalıklar ve diğerleri)

Serbest radikal hastalıklarına birkaç örnek aşağıda verilmiştir:

Yangı: Yangı sırasında serbest radikallerden çıkan oksijen, lökositler salınır. Bu işlem çoğunlukla koruyucu olmasına rağmen kontrolsüz olursa zarar verir.

Mikroorganizmaların Öldürülmesi: Vücutta sayısı artan mikroorganizma, lökositlerin fagolizozomları tarafından öldürülüp sindirilirler. Bu sırada reaktif süperoksitler ve hidroksil radikalleri oksidatif reaksiyonlar sonucu oluşur. Bu işlemler milisaniye'lik kısa sürelerde olmasına rağmen kontrolsüz gerçekleştiklerinde toksik ve zarar vericidirler. (http://www.genetikbilimi.com/gen/serbest_radikaller.htm)(Erişim tarihi 20 Kasım 2009)

2.6.2.1 Oksijen ve diğer gazların toksisiteleri

Yüksek oksijen ve diğer gazlar maruz kalındığında canlılar için zararlı hatta bazı durumlarda öldürücüdür. Oksijenin hasara neden olan etkileri oksijen oluşturan serbest radikallerin ya da diğer serbest radikal ara ürünlerinin hücre membranı gibi hücresel komponentlerini okside etmesindendir.

Yaşlanma: Denham Harman tarafından ortaya atılan serbest radikal teorisine göre normal yaşlanma, aerobik metabolizma sırasında oluşan serbest radikallerin dokularda birikmesi sonucu oluşan hasarlar nedeniyle olmaktadır. O halde dengeli bir beslenme, serbest radikal reaksiyonlarını minimumda tutmalıdır.

Radyasyon: Canlı hücrelerin temel bileşeni olan su, iyonize radyasyona maruz bırakıldığında (x-ışını ya da gamma ışını gibi) hidroksil radikali oluşacaktır. Bu hidroksil radikalleri DNA ve hücre membranının hasarından sorumludurlar.

Arteriosklerozis: Düşük yoğunluklu lipoproteinlerin (LDL) peroksidasyonunun arteriosklerozis hastalığına karıştığı bilinmektedir. Bu kan damarlarındaki daralma, arteriyel kan basıncının düşmesine ve hastalığın diğer belirtilerinin oluşmasına neden olur.

DNA'ya Etkisi: hidojen peroksit oksidantlar arasında en belalı kabul edilen bir maddedir ve hücrede pek çok bölgeyi hedef alarak bu bölgelere saldırarak hidroksil radikali oluşturur. DNA hidroksil radikallerinin oluşturduğu hasarlara karşı oldukça hassastır: hem DNA zincirinin kırılmasına hem de bazların hidroksilasyonuna neden olabilir. DNA zincirinin kopması bir DNA bağlayıcı protein olan poli(ADP)polimerazı aktif hale geçirir. Bu protein NAD'yi substrat olarak nuklear proteinlere bağlı ADP-riboz polimerleri oluşturur. Bu koşullarda NAD turnoverı azalır, bu da ATP sentezini mitokondriyal sentezi inaktive ederek etkiler (http://www.genetikbilimi.com/gen/serbest_radikaller.htm)(Erişim tarihi 20 Kasım 2009)

2.6.3 Lipid peroksidasyonu

Lipid peroksidasyonu serbest radikal zincir reaksiyonlarıdır. Çoklu doymamış yağ asitlerinin (PUFAs) oksidatif bozunmasıyla sonuçlanır. Çoklu doymamış yağ asitleri ise iki çiftten fazla kovalent bağlı karbon atomu içeren yağ asitleri olarak tanımlanır. Çoklu doymamış yağ asitleri serbest radikal atağına hassastır. Lipid peroksidasyonu karmaşık bir süreçtir ve üç basamakta gerçekleşir: Başlangıç, çoğalma ve bitiş basamaklarıdır.

Lipid peroksidasyonu invivo ve invitro ortamda kolayca okside olabilir. Biradikal olarak moleküler oksijen paralel spinli eşleşmemiş iki elektron içerir. Paralel spin, elektron çiftinin başka bir moleküle eklenmesini ve kimyasal bir bağ oluşturmalarını engeller. Bağın oluşması için paralel spinin ters çevrilmesi gerekir.

Spinin ters çevrilmesi, aktif komplekslerin yarılanma ömürlerine kıyasla daha uzun zaman aldığından moleküler oksijen bağıl olarak zayıf bir oksidan olarak düşünülür ve canlı organizmalarda lipidlerin otooksidasyonu için yavaş bir prostestir. Bununla birlikte lipidler den hidrojenin uzaklaştırılmasıyla serbest radikaller tetiklenir ve bu serbest radikaller aktive olur. Bunun sonucunda da aktive olan serbest radikaller moleküler oksijenle kolaylıkla reaksiyona girerler. Reaksiyon sırasında peroksi serbest radikal ROO oluşur ve bu süreç lipid peroksidasyonu (LPO) olarak adlandırılır. Özellikle çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA) peroksidasyona maruz kalırlar. Çünkü metilen-karbon yapısında bulunan çift bağın yanındaki C-H bağları zayıf bağlardır ve kısmen aktive edilmiş sayılırlar. Bu yüzden LPO' nun başlangıç basamağı olarak bu karbon atomundan hidrojen uzaklaştırılır.

Başlangıç basamağı sırasında serbest radikal maddesi (X), bir yada daha çok bağ içeren yağ asiti zinciri ile reaksiyona girer. Çift bağın yanındaki karbon atomunda radikal merkezi oluşur. Serbest radikal başlatıcısı X, hidrojeni uzaklaştırdıktan sonra serbest radikale son verir (XH). Buna karşılık alkil radikal R'de lipidden meydana gelir. Başlangıcı çeşitli konfigürasyon değişiklikleri izler, hızlı ve büyük elektron transferleri gerçekleşir.

Başlangıç basamağının zincir reaksiyonunu başlatması eğer savunma mekanizmalarınca kontrol edilmezse çevre moleküllerde aşırı hasara yol açabilir. Lipidlerin otooksidasyonu yeni C-C bağlarının oluşumuna yol açar. Lipidler membran bileşikleri olduklarından çapraz bağlanmanın membranlara ne derece hasar verdiği kolayca izlenebilir.

Otooksidasyon, yayılan hidroperoksitlerin parçalanmasını arttıran geçiş metallerinin (demir ve bakır gibi) varlığıyla oldukça hızlanır. Kolaylıkla okside olabilen lipidler oksijenin proteinler, nükleik asitler gibi hücrel bileşenlerin varlığında metal katalizli oksidasyonunu katalizler. Otooksidasyon çok yavaştır ve fizyolojik koşullarla sınırlıdır. Patolojik koşullarda hızlanır, büyür ve tüm temel biyomoleküllere hasar verebilir. Metastabil lipid peroksitler lipid peroksidasyonu sırasında oluşur, malondialdehit (MDA) ve diğer stabil lipid peroksidasyonunun son ürünleri hücrenin daha uzak bölümlerine veya diğer hücrelere ulaşabilirler. Bu

yüzden lipid peroksidasyonu peroksidatif hasara direkt maruz kalmamış hücrelere veya dokulara kolaylıkla zarar verebilir.

Lipid peroksidasyonunun en önemli ürünü malondialdehid (MDA) dir. Üç ya da daha fazla çift bağ içeren yağ asitlerinin peroksidasyonunda malondialdehid meydana gelir. Oluşan malondialdehid, hücre membranlarından iyon alış-verişine etki ederek membrandaki bileşiklerin çapraz bağlanmasına yol açar ve iyon geçirgenliğinin ve enzim aktivitesinin değişimi gibi olumsuz sonuçlara neden olur. Malondialdehid bu özelliği nedeniyle, DNA'nın nitrojen bazıları ile reaksiyona girebilir ve bundan dolayı mutajenik, hücre kültürleri için genotoksik ve karsinojeniktir.

Peroksidasyonu tayini ve hesaplanması oksijen alımının ölçülmesiyle 230 nm de konjuge dienin fotometrik tayini veya peroksit oksidasyonu ile KI dan iyodun salınımının tiyosülfat titrasyonu yada tiyobabütirik asitin 532 nm de kolorimetrik tayini ile yapılır. Metodun uygulanabilirliği tiyobarbütirik asit reaksiyonu ile sınırlıdır. Çünkü bu metod diğerlerine göre çok daha hassastır.

Son yıllarda tiyobarbütirik asit kullanılarak malondialdehid öncüsü ve lipohidroperoksit ölçümü için çeşitli metodlar kullanılmıştır. Asidik bir solüsyonda TBA' nın deney örneğiyle ısıtılması ve ortamın renklenmesi basamağı tüm metodlarda vardır (45). Bunun yanında bir diğer yöntem doku homojenatına bazı çöktürücü proteinlerin eklenmesiyle elde edilen çökeleğin kullanılmasını önermektedir. Bir diğeri ise deney sırasında tüm homojenatın asitlendirilerek kullanımını önermektedir. Farklı test metodları farklı deney sonuçları elde edilmesine yol açar. Bu yüzden farklı araştırmacıların sonuçlarının direkt olarak karşılaştırılması yapılmamalıdır. (M. Işıl Mutaş, 1990, Smirnoff ve Cuebas, 1989.)

2.6.4 Prolin

Prolin; bir amino asit olan, diatomların (Schobert, 1974) ve yüksek bitkilerin (Barnett ve Naylor, 1966; Stewart ve Lee, 1974; Treichel, 1975) kuraklık stresine karşı gösterdiği dirençte rol oynadığı için biyolojik bir öneme

sahiptir. Kuraklık stresi koşullarında serbest prolinin bitki hücrelerinin stoplazmasında biriktirdiği gözlenmiştir. Su açısından eski koşullar sağlandığında ise, artmış prolin düzeyinin hızlı bir şekilde azaldığı gözlenmiştir.

Prolinin kaynağı prolince zengin bir proteinin hidrolizlenmesi olmayıp, depolanmış maddeler ve dışarıdan gelen azot kaynağı ile sentezlenmektedir (Schobert, 1974; Barnett ve Naylor, 1966; Stewart *et al.*, 1966; Schobert, 1977). Prolin ağır metallerle maruz bırakılmış ve prolin birikimin metal şelatlanması ile ilgisi olmadığı anlaşılmıştır. Prolin in vitro koşullarda hidroksil radikali yakalayıcısı olarak görev yapmaktadır (Smirnoff ve Cunbes, 1989).

2.7 Biyolojik Örneklerin Seçimi

Bir sistem veya bu sisteme ait bölümün davranışları hakkında bilgi edinmek için izleyici adı verilen maddelerle çalışılan tekniklere “izleme teknikleri” adı verilir. İzleme teknikleri içinde özellikle radyoaktif izleme tekniği, denizlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Birçok deniz canlısı sudaki kirleticileri, bulundukları ortamdan daha fazla oranda bünyelerinde biriktirirler. Kirleticiler, organizmaların bünyelerine ya doğrudan sudan, ya besin yoluyla, ya da her iki yolla alınmaktadır. Radyoaktif izleme tekniğinin kullanılması, uzun bir geçmişe sahip olup, bir ortamda yapılan ölçümleme çalışmalarının rasyonelliğine dayanır. Bu sayede hangi radyonüklidin hangi organizmada daha fazla biriktiği tespit edilirse, ölçümleme çalışması yapılırken direkt o organizmanın seçilmesi ile sonuca ulaşmak hızlanır. Denizel ortamlarda doğal ve yapay radyonüklidlerin ile ağır metal gibi çeşitli kirletici unsurların konsantrasyonları hakkında bilgi edinmek için biyoindikatör organizmalar kullanılmaktadır. Biyoindikatör organizmalar, bulundukları akuatik ortamlardaki radyonüklidleri çok yüksek düzeylerde bünyelerinde biriktirmektedirler. Aynı zamanda suda hızlı seyrelmeye uğrayan veya mevcut tekniklerle belirlenmesi zor radyonüklidlerin saptanmasında da seçilmiş bu tür organizmalar kullanılmaktadır (Topçuoğlu, 2005; Güngör, 1999).

Kirlilik izleme çalışmalarında seçilen indikatör organizmaların radyonüklid konsantre etme yeteneklerinin yanında, bünyelerinden atılmalarının da yavaş

olmasına dikkat edilmelidir. Diğer taraftan, çalışılan bölgelerde çok bulunmalı, kolay toplanmalı ve geniş bir coğrafik dağılım göstermelidirler.

Seçilen biyoindikatör organizma bulunduğu bölgeye tutunarak yaşması, bu bölgeyi daha iyi temsil etmesi açısından önem kazanmaktadır. Bu nedenle izleme çalışmalarında midye gibi organizmalar tercih edilebilir.

Günümüzde denizlerdeki kirlilik izleme çalışmalarında biyoindikatör organizma olarak, plankton, makroalg, çeşitli kabuklu ve yumuşakçalar ile balık gruplarından seçilen farklı türler yaygın olarak kullanılmaktadır (Topçuoğlu, 2005).

2.8.1 Midyeler (*Mytilus galloprovincialis*) hakkında genel bilgiler

2.8.1.1 Taksonomisi

Bivalvia sınıfından ve Mytilidae familyasına ait olan midyeler, ülkemiz sularında ekonomik olarak bulunurlar. Midyeler, sert zeminlere yapışarak yaşayan, deniz suyunu filtre eden, su içindeki planktonlar ve asılı haldeki organizmalar ile beslenen omurgasız canlılardır. Denizlerde bol miktarda bulunmaları, çabuk üremeleri, suda bulunan ağır metal ve bazı radyonüklidleri özellikle de ^{210}Po 'u yüksek yoğunluklarda biriktirip bunları uzun süre bünyelerinde tutmalarından dolayı midyeler sularda kirliliği yansıtan biyolojik indikatörlerin başında gelmektedir. Midyelerin izleyici olarak yaygın bir şekilde kullanılmasında beslenme şekilleri önemli bir rol oynamaktadır. *Mytilus galloprovincialis*in sistematikteki yeri şu şekildedir (Tomruk, 2004).

Kök (Filum): Mollusca

Sınıf (Klasis) : Bivalvia

Takım (Ordo): Flibranchiata

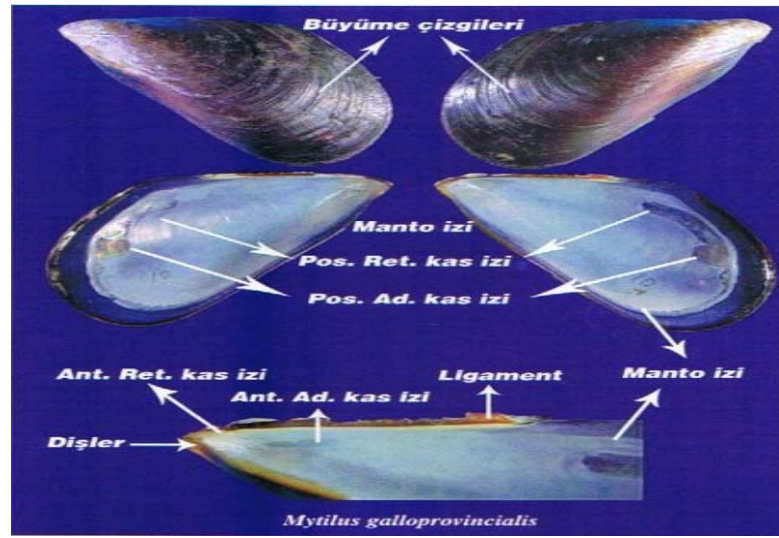
Familya: Mytilidae

Cins (Genus): *Mytilus*

Tür (Species): *Mytilus galloprovincialis*

2.8.1.2 Morfolojik özellikleri

Mytilus galloprovincialis türünde eşit iki parça şeklinde olan kabukların ön, arka, alt ve üst kenarları kolayca ayırt edilebilir. Ön kenar oldukça kısadır. Arka taraf oval, ön taraf ise üçgen şeklindedir. İki kabuk kısa olan ön kenarda ligament ile birbirlerine bağlanmıştır. Ön kenarda yer alan ligament yarığı içine yerleşmiş olan ligament, öne doğru uzanan ve kabukları birbirine bağlayan kahverengi elastik bir şerit gibidir. Bu şeride paralel ve bitişik olan, mat ve beyaz renkte, üzerinde bir dizi halinde çukurluklar yer alan ligament çıkıntıları bulunur.



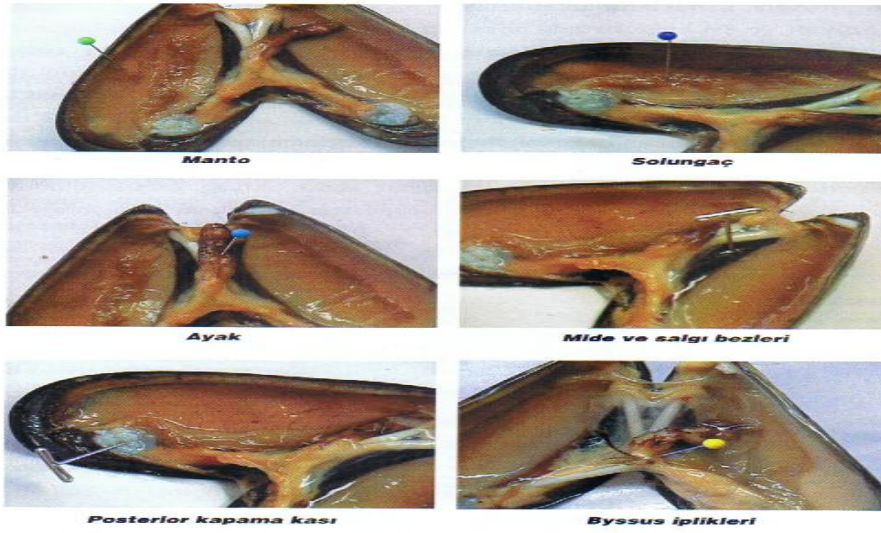
Şekil 2.8 *Mytilus galloprovincialis* morfolojik özellikleri

Ligament, kapama kaslarının kapama kuvvetlerinin aksi yönünde bir kuvvete sahiptirler. Midyeler öldüklerinde, kaslar kapama kuvvetlerini kaybettiklerinden dolayı kabuklar açılır. Midyelerde kabukların bağlantı yerine yakın bir konumda her iki kabuk üzerinde umbo adı verilen bir şişkinlik mevcuttur ve kabukların üzerinde, bu şişkinlikten kenara paralel giden küçük eliptik daireler şeklinde büyüme çizgileri bulunur. Kabuk rengi genel olarak siyah, siyahımsı mavi, koyu mor ve kahverengimsi tonlarda olup, ekolojik koşullara bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

Kabukların içi düzgün olup bakıldığında kolayca fark edilebilen iki renk görülür. Orta kısım beyazımsı sedef parlaklığındadır, kenarlara doğru renk koyu maviye dönüşür. Kabuklar bissus deneni ipliklerle kendilerini bir mesnede tespit ederler. Kabuğun ventralinde yer alan bissus yarığı, periostrakum kıvrımlarıyla

örtülmüştür ve bunlar, kabuklar kapandığında bissus iplikleri yardımıyla aralanan kabukların iç tarafına su ve yabancı cisim girmesine engel olurlar (Atayeter, 1991).

Midyelerde iki kabuk arasında menteşe bulunur. Dişlerin bulunduğu bu menteşenin dışını çevreleyen kısma lunula adı verilir. Sivri bir gaga şeklinde olan lunula, umbonun anterior ucunda, ve periostrakum ile örtülü olması, burada bulunan diş şeklindeki çıkıntıların kolayca görünmesini engeller. Midyelerdeki dişler, sivrilmiş lamel görüntüsündedir ve her kabuktaki diş diğer kabuktaki çukurluğa uyum sağlayacak yapıdadır (Atayeter, 1991).



Şekil 2.9 *Mytilus galloprovincialis* Doku ve Organları

2–100 μm boyutlarında olan organik ve inorganik her türlü partikülü süzerek beslenen midyeler (ortalama 7-8 cm boyutunda olan)saatte 10-15 litre suyu süzme özelliğine sahiptir. Midye büyüklüğü, partikül büyüklüğü, partikül yoğunluğu, partikül türü, su sıcaklığı ve su akıntısı gibi bazı parametreler midyelerin filtrasyon hızı üzerinde etkilidirler (Tosyalı, 2005).

2.8.1.3 Üremesi

Midyelerin üreme organları, kasları, solungaçları ve ayakları hariç vücudunun her tarafına dağılmış kanal ve kanalcıklar şeklindedir. Üreme döneminde mantoya dağılmış olan genital organında çok belirgin cinsiyet hücrelerine rastlamak mümkündür. .(Geldiay, Kocataş, 2006)

Midyelerde mantonun genital hücrelerle tamamen dolu olması ve mantonun rengine göre cinsiyet ayrımı yapılır. Yumurtlama dönemlerinde manto rengi gözle görülebilen bir değişime uğrar. Olgun midyelerde gametler nedeniyle manto rengi dişilerde portakal rengi ya da kırmızımsı olurken erkeklerde kirli beyaz ya da süt beyazıdır. .(Geldiay, Kocataş, 2006)

Su sıcaklığı, tuzluluk miktarı ve besin maddeleri midyelerin yumurta bırakma süresini ve yumurta bolluğunu etkileyen unsurlar arasında yer almaktadır. Midyelerde üreme dönemleri sonbahar ile ilkbahar sonlarıdır. Bu dönemlerde gametlerin atılması dalgalar, akıntı, tuzluluk ve sıcaklıkta olan ani değişimler gibi birçok çevresel faktöre bağlıdır. .(Kocataş, 2006)

Manto içerisindeki dokularda gelişimlerini tamamlayan sperm ve yumurtalar genital kanallar aracılığıyla suya bırakılır. Yumurtalar gruplar halinde suya bırakılır. Suda birbirinden ayrılan yumurtalar pembe veya kırmızımsı bir renk olarak su yüzeyinde birikirler. Sperm bırakma ise aralıklı olarak yaklaşık 2-3 saat sürer. Sperm midye etrafında toplandıktan sonra su beyazımsı bir renk alır. Sudaki dalga ve diğer hareketler yumurtaların döllenmesinde oldukça önemli etkenlerdir. (Atayeter, 1991; Yılmaz, 1989).

Midyelerde suya bırakılan sperm kuyrukları ile yumurtaya kendilerini sararlar ve armut şeklindeki başlarıyla yumurta zarını delerek içeri girerler. Sperm yumurtaya girdikten 1 ile 5 dakika içinde döllenme zarı oluşur. Döllenmeden yaklaşık 4 saat 20 dakika sonra siler meydana gelir ve embriyonun vücudunun yüzeyinde siler oluşunca, büyüme ve hareket başlar (Atayeter, 1991; Yılmaz, 1989).

2.8.1.4 Beslenmesi

Diğer filtre ediciler gibi midyelerde suda süspansiyon halindeki mikroorganizmalarla beslenir. Hayat tarzı sedender olup beslenme için herhangi bir hareket görülmez. Solungaçları ile bir taraftan solunup yaparken diğer taraftan suyun hareketliliğini sağlar (Geldiay, Kocataş, 2006).

2.8.1.5 Filtrasyon hızı

Filtrasyon canlının bütün vücudu boyunca dolaştırdığı su anlamına gelir. Fakat hayvan suyu filtre etmeden de dolaştırabilir. Bu durumda filtrasyon hızı dolaştırdığı suyun hızından daha az olacaktır. Birçok araştırmacı, filtrasyon hızını etki eden faktörleri ve etkilerini araştırmışlar fakat farklı sonuçlar bulmuşlardır. Yapılan araştırmalarda midye kültürüne bit miktarı alg kültürü ilave edildiğinde filtrasyon hızının normal hızdan daha fazla olduğu tespit edilmiştir. (Geldiay, Kocataş, 2006)

Ortam sıcaklığının, midyelerin yaşamında ve filtrasyon hızındaki etkileri Widdows ve Bayne (1971) tarafından araştırılmıştır. Midyelerin filtrasyon hızına 5-20 °C sıcaklığın etkili olduğu, 20-25 °C de ise yavaşladığı belirtilmiştir (Kocataş, 2006).

Britanya kıyılarında yapılan arazi çalışmaları sırasında filtrasyon hızının mevsimler arasında da farklılık gösterdiği bulunmuştur. benzer olarak partikül halindeki suda bulunan maddelerle ters orantılı olduğu ortaya çıkarılmıştır. .(Geldiay, Kocataş, 2006)

2.8.1.6 Solunumu

Mollusca türlerin beslenmesinde solunum oldukça önemli role sahiptir. Çünkü bu türde solunum organı olarak solungaçlar mevcuttur. Mantoları, direkt olarak çevresindeki suda mevcut olan gazla temas halinde olduğu için solunuma yardımcı olur. Birçok araştırmacı midyelerin oksijen tüketimi ile ilgili faktörleri araştırmıştır. Bu faktörlerden O₂ tüketiminin, hayvanın ağırlığı, beslenmesi ve ortam sıcaklığıyla ilgili olduğu tespit edilmiştir. .(Geldiay, Kocataş, 2006)

2.8.2 Midyelere çeşitli faktörlerin etkisi(Ahmet Kocataş, 2006)

2.8.2.1 Midyelere tuzluluğun etkisi

Midyeler, % 5-40 arasındaki tuzluluk değişiklerine dayanabilmektedir. Belli tuzluluktaki suda uzun müddet yaşayan midyelerin bulunduğu ortamın tuzluluğu %5 ten fazla miktarda ani bir şekilde değişecek olursa midyelere ölmektedir. Fazla olamayan tuzlulukta % 5-10 midye beslenebilmekte fakat iyi büyümemektedir. Midyelerin büyümeleri için optimal tuzluluk %15-25 arasındadır.

2.8.2.1 Midyelere su sıcaklığının tesiri

Midyelerin gelişmeleri, büyümeleri, üremeleri ve beslenmelerinde su sıcaklığının önemli etkisi bulunmaktadır. Midyelerin dağılışında sıcaklığın etkisi büyüktür. *Mytilus galloprovincialis* 1-26 °C deki sus sıcaklığına dayanabilmektedir. Fakat beslenme, çoğalma ve gelişmesi için gerekli olan optimal su sıcaklığı 8-26 °C dır.

2.8.2.3 Midyelere akıntılarının etkisi

Akıntılarının, midyeleri hem olumlu hem de olumsuz yönde etkiler. Suyun dip tabakalarının akıntılara maruz kalması, oksijen, detritus ve plankton bolluğuna neden olduğu için midyelerin beslenme ve büyümesinde olumlu etki yapmaktadır. Ayrıca larvaların nakli ve yeni bölgelere dağılımı da gerçekleşmiş olmaktadır. Kuvvetli akıntılar ise midye larvalarının tespitini güçleştirmektedir.

2.8.3 Deniz balıkları

Balıkların vücutları genellikle sudaki harekete uygun olacak biçimde uzun ve yuvarlağımsıdır. Diğer bir ifade ile iğ şeklindedir ki, buna “Fusiform” şekil adı verilir. Tamamen yuvarlak olabildiği gibi, yanlardan hafif veya kuvvetli basık da olabilmektedir.

Balığın yaşadığı bölge ve yaşam koşullarına bağlı olarak, bu vücut şekli düz tabak şeklinde, yaprak şeklinde veya balık türlerine bağlı olarak bir ağacın dallarına andıracak şekilde dallı budaklı da olabilmektedir. Genellikle dipte yaşayan balıklarda vücut yassı, pelajik su kesiminde ve yüzeyde yaşayan balıkların pek çoğunda vücut iğ şeklindedir.

Solungaç iplikleri ve solungaç boşluğu kapiler kan damarları ile doludur. Balığın solunumu basit olarak suyun alınması, solungaç kapakları ile gövde arasından dışarı atılması şeklinde ifade edilebilir.

Bu işlem esnasında suda bulunan erimiş oksijen absorbe edilirken vücudu dolaşan kanda bulunan karbondioksit suya verilir. Ancak yalnız karbondioksit verilmeye kalmaz, metabolizma artıkların % 90'ında solungaçlardan vücudu terk eder.

Belirttiğimiz bu solunum şekline ilaveten bazı balıklarda solunumla ilgili değişiklikler de vardır. Bazı balıkların sudaki solunuma ilaveten havadaki oksijenden de yaralandıkları saptanmıştır. (Geldiay, Kocataş, 2006)

2.8.3.1 İstavrit

Familyası: **Carangidae**

Tür: ***Trachurus mediterraneus*, (Steindachner, 1868)**



Şekil 2.10 İstavritin genel görünüşü

Carangidae familyasına mensup semipelajik bir balık türü olan istavrit türü denizlerimizde 200 m derinliğe kadar olan kesimlerde bulunur. Boyları en fazla 50 cm olup, vücut yandan hafifçe yassı ve uzuncadır. Yan çizgi plakaları daha ince, vücudun yarısına kadar düz olup, sonra yukarıya doğru eğik olarak devam

eder. Başın üzerinden solungaç kapağının hizasından başlayarak yan çizginin eğrildiği yere kadar devam eden ve burada biten karakteristik ikinci bir çizgi bulunmaktadır. Bu çizgi *Trachurus trachurus* istavritinde vücut sonuna kadar devam etmektedir. (Mater, S., ve ark., 2003; Whitehead, P.J.P., 1984).

2.8.3.2 Kefal

Familyası: Mugilidae

Tür : *Liza ramada*, (Risso, 1826)



Şekil 2.11 Kefalin genel görünüşü

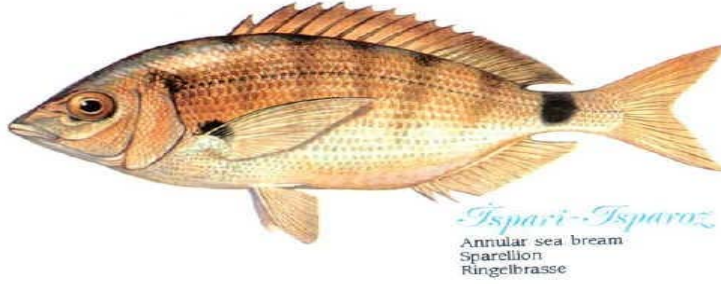
Epipelajik bir balık türü olan kefal, Mugilidae familyasına ait bir üyedir. Boyları maksimum 50 cm' dir. Vücut yapıları yuvarlak ve mekik şeklindedir. Üzerleri yuvarlak pullar ile kaplı olup burunları düz ve basıktır. Kefal türleri beslenmek için lagünlere giren katadrom balıklardır. Değişik su sıcaklıklarına, değişik tuzluluğa ve çözünmüş oksijeni az olan ortamlara karşı dayanıklı olan bu balık türleri omnivordurlar (her şeyi yiyebilen) fakat buna rağmen daha çok bitkisel gıdaları severler. Ölü ve canlı kurtçuk ile küçük böcekleri severek tüketirler ve dip çamuru içerisindeki her türlü organik maddeyi süzerek yiyebilirler. Dipte yemlenirken ağız dolusu çamuru alır, yüzmeyi sürdürüp çamurun yenilmeyecek kısmını tükürürler.

Kefal balıkları Karadeniz, Marmara, Ege ve Akdeniz'de bulunurlar. Sularımızda yaşayan cinsleri mayıs-haziran aylarında yumurta dökerler. Genel olarak kıyılara yakın yaşayan balık türü olan kefal, yaz aylarında beslenmek için sığ kesimlere ve dalyanlara yönelme eğilimi gösterirler. (Mater, S., ve ark., 2003; Whitehead, P.J.P., 1984).

2.8.3.3 Isparoz

Familyası : Sparidae, Diplodus annularis

Türü; İspari



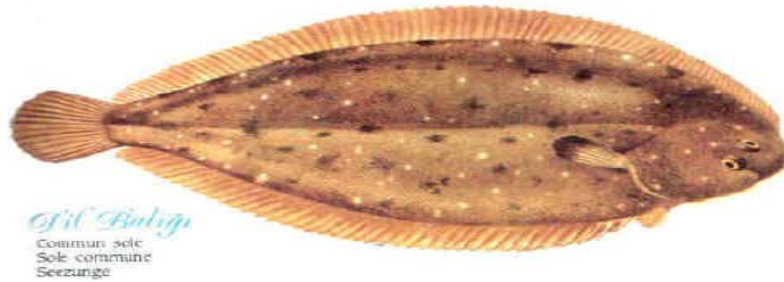
Şekil 2.12 Isparozun genel görünüşü

Vücut yanlardan yassılaştırmış oval şekilde olup, iri pullarla kaplıdır. Karın yüzgeci sarı renktedir, vücut gümüşü ve bariz enine ışınlar bulunmaktadır. Yanlar ve karın kısmı beyaz renktedir. Kuyruk yüzgecinin ortasında kendi karakteristik özelliği olan siyah yuvarlak bir nokta bulunur. (www.scubaturk.8m.com/deniz_baliklari_8.htm)(Erişim tarihi 8Aralık 2009)

2.8.3.4 Dil Balığı

Familyası; Soleidae

Türü; S.Solea



Şekil 2.13 Dil Balığının genel görünüşü

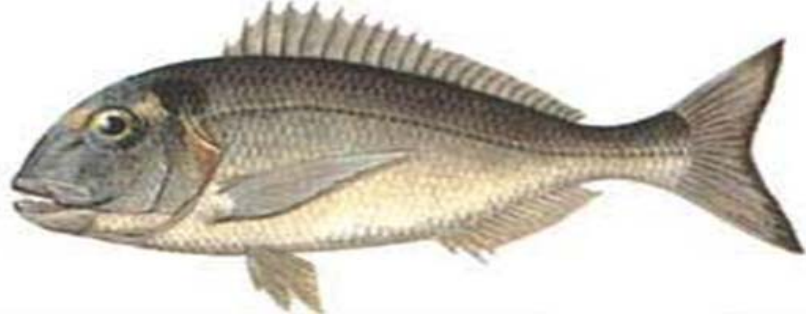
Denizlerimizde 10 m. den 300–500 m. ye kadar derinliklerin, kumlu, çamurlu veya çakıllı diplerinde fazla hareket etmeden ve uzun göçler yapmadan yaşar. Boyları 20–25 cm. kadardır. Dipteki omurgasızlar, küçük balıklar ve böceklerle beslenir. Bahardan itibaren kıyılara sokularak Haziran – Temmuz

arasında üreme yapar. (www.scubaturk.8m.com/deniz_baliklari_8.htm)(Erişim tarihi 8Aralık 2009)

2.8.3.5 Lidaki

Familyası: Sparidae

Tür: *Sparus Aurat*

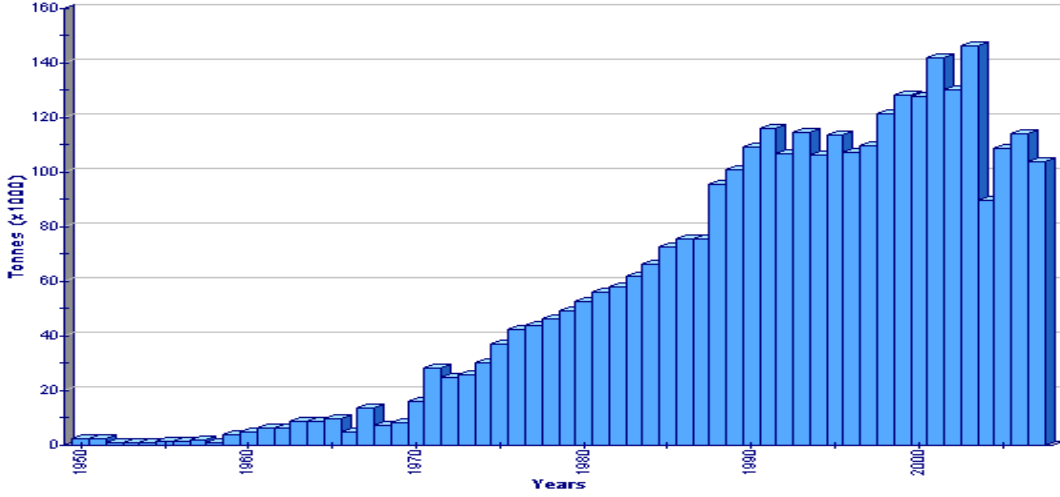


Şekil 2.14 Lidakinin genel görünüşü

Ege ve Akdeniz'in bu namı balığı Marmara'da seyrek bulunur. Ortalama 25 - 35 cm. boy ve 0,5-3 kg. ağırlıkta, en çok 60 cm. ve 6 kg' da olabilir. Etçil bir balıktır. Kuvvetli çenesiyle küçük kabukluları, balıkları ve diğer hayvanları kolayca yer. Yaz devresinde sığlarda, kış aylarında da 35-40 m. derinliklerde yaşar. İki yaş üstündekiler daha da derinlere iner. Üremeleri Ekim-Aralık aylarında olur. 100,000–150,000 yumurta döker. Ayrıca üretim kültürüne uygunluğu nedeniyle ekonomik değeri çok yüksektir. (www.scubaturk.8m.com/deniz_baliklari_8.htm)(Erişim tarihi 8Aralık 2009)

2.9 Türkiye'de ki Balık ve Midye Tüketimi

Dünya midye üretimi 2002 (FAO) verilerine göre yaklaşık olarak 990.000 tonu aşmış bulunmaktadır. Bu üretimin 663,000 tonu *M.galloprovincialis* geri kalanını ise *M.edulis* oluşturmaktadır.



Şekil 2.15 Dünyadaki yıllara göre midye üretimi (FAO midye tüketim istatistikleri)

Ülkemiz sularında ise yıllık midye üretimi ise 12,362 tonu bulmaktadır. *M.galloprovincialis*'in sularımızda zengin yataklar oluşturmaya karşın, Türkiye su ürünleri üretimindeki katkısı, stokların verimliliğine oranla çok düşük seviyede kalmaktadır. Ek olarak, yıllara göre üretimi incelendiğinde artan bir grafik göze çarpmaktadır.

Tablo 2.8 Türkiye’de ki yıllara göre midye tüketim (DİE, 2008)

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Midye - Mussel ***	1 200	1 500	5 000	8 100	5 734	12 362	-	-	-
Beyaz Kum Midyesi - Striped venus	-	-	-	-	-	-	48 344	47 215	36 896
Kara-Kıllı Midye - Mediterranean-Bearded horse mussel	-	-	-	-	-	-	9 234	1 493	342
Kıdonya - Warty venus	-	-	-	-	-	-	-	73	1
Akvades(Kum midyesi)-Carpet shell	10 000	7 500	10 000	19 700	16 899	10 847	1 266	1 334	1 255

Yakın gelecekte yeni işletmelerin kurulması ve Akdeniz’e kıyısı bulunan diğer Avrupa ülkelerinde olduğu gibi su ürünleri içerisinde ayrı bir sektör haline gelmesi beklenmektedir.



Şekil 2.16 *Mytilus galloprovincialis* üreten ana ülkeler (FAO, 2006)

Kabuklu su ürünleri çiftliklerinin, balık çiftliklerinin kurulumunda olduğu gibi, yüksek maliyetli yatırımlar gerektirmemesi ve risk faktörünün düşük olması nedeniyle, gelecekte ülkemizde balık üretiminde olduğu gibi kabuklu su ürünleri yetiştiriciliğine olan ilginin artacağı kesindir.

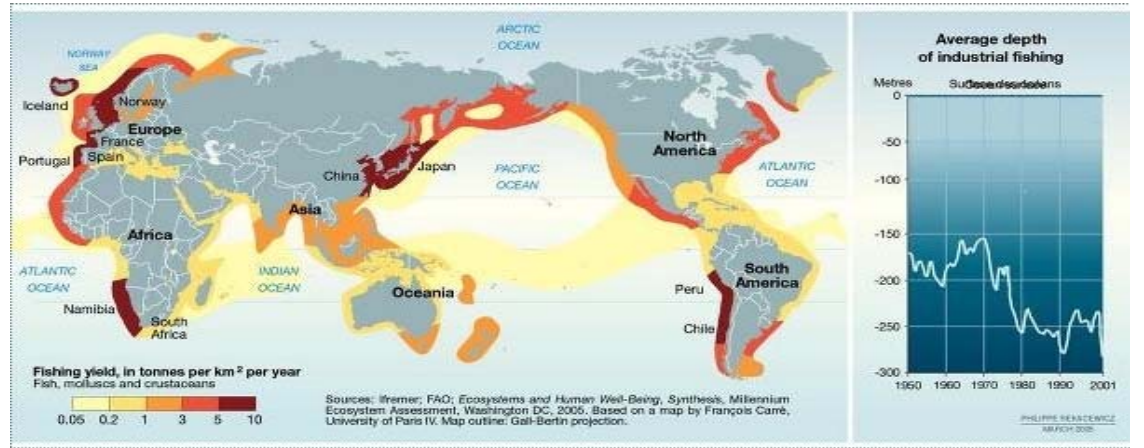
Su ürünleri üretimi, 2008 yılında bir önceki yıla göre % 16,32 oranında azaldı. Avcılıkla yapılan üretim, 2008 yılında bir önceki yıla göre %21,87 azalırken, yetiştiricilik üretimi ise %8,8 oranında arttı.

Tablo 2.9 Türkiye’deki yıllara ve balık çeşitlerine göre tüketimi (DİE,2008)

Avlanan deniz balıkları miktarı - Quantity of caught sea fish									
									Ton - Tons
Balık türü	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Type of fish									
Toplam - Total	441 690	465 180	493 446	416 126	456 752	334 248	409 945	518 201	395 660
Akya - Leer fish	320	255	330	262	352	505	606	549	513
Avcı - Greater amberjack	50	35	45	40	30	60	53	57	75
Albakor (Patlakgöz) - Albacore	-	-	-	-	27	30	73	852	208
Barbunya - Red mullet	2 450	2 455	2 395	1 400	1 848	2 825	2 617	2 091	1 925

Çaça - Sprat	7 000	1 000	2 050	6 025	5 411	5 500	7 311	11 921	39 303
Çipura - Seabream	830	1 070	700	794	879	1 215	867	759	1 526
Dil-Pisi - Common sole	1 000	1 250	585	410	624	1 190	937	851	848
Dülger - John dory	100	130	55	24	24	76	95	101	72
Fangri - Common seabream	70	100	80	64	89	107	168	88	176
Gümüş - Silverside	500	575	518	664	1 037	1 479	993	999	1 142
Hamsi - Anchovy	280 000	320 000	373 000	295 000	340 000	138 569	270 000	385 000	251 675
Hani - Painted comber	400	410	100	94	127	93	90	103	229
İskarmoz - European barracuda	150	130	206	250	255	281	234	417	218
İskorpit - Black skorpion fish	300	525	270	240	329	353	326	202	362
İsparoz - Annular bream	670	280	548	340	264	516	552	336	298
İstavrit(Kraça)-Horse mackerel	15 000	15 545	19 500	16 400	18 068	13 540	14 127	22 991	22 134
İstavrit (Karagöz) - Scad	7 200	10 635	6 982	11 600	9 337	13 978	11 800	9 030	10 043
İşkine - Brown mearge	20	20	39	30	17	26	54	73	41
İzmarit - Picarel	1 500	2 250	1 105	1 200	1 020	1 869	1 321	1 044	742
Kalkan - Turbot	2 700	2 455	459	300	376	649	807	769	528
Karagöz - Two banded bream	750	375	203	235	243	203	185	189	263
Kayabalığı - Gobies	300	335	201	170	210	141	113	136	164
Kefal - Grey mullet	27 000	22 000	12 000	11 000	12 424	10 560	8 915	8 291	3 345
Keler - Angelshark	60	20	18	25	28	38	51	15	34
Kılıç - Sword fish	370	360	370	350	386	425	410	423	386
Kırlangıç - Red gurnard	260	200	271	230	241	313	560	339	362
Kolyoz - Chup mackerel	9 000	4 500	1 500	1 480	1 402	2 001	2 760	2 263	1 818
Köpek - Topeshark	2 880	1 000	686	400	458	734	668	496	413
Kupez - Bogue	1 500	1 000	1 126	1 540	1 463	3 062	3 601	3 851	2 580
Lahoz - Waker	-	-	292	230	264	295	384	345	313
Levrek - Seabass	1 900	1 200	713	700	628	581	490	421	751
Lipsöz - Small-Scalled	60	115	26	27	37	44	60	37	35
Lüfer - Blue fish	4 250	13 060	25 000	22 000	19 901	18 357	8 399	6 858	4 048
Melanurys - Saddled seabream	80	90	130	150	138	142	332	169	128
Mercan - Striped bream	540	320	403	550	551	541	1 021	689	634
Mezgit - Whiting	18 000	10 000	8 808	8 000	8 205	8 309	9 112	12 940	12 231
Mıgır - European cogger **	-	-	-	-	-	-	-	8	77
Mırmır - Conger eel	200	340	300	290	239	233	283	249	349
Minekop - Croaker	45	55	70	77	63	52	29	19	22
Orfoz - Dusky grouper	85	80	71	107	97	151	97	95	25
Orkinos - Bluefin tuna	1 070	2 100	2 300	3 300	1 075	990	806	918	887
Yazılı Orkinos - Little tunny	-	-	-	-	568	507	1 230	785	1 072

Öksüz - Piper **	-	-	-	-	-	-	-	24	14
Palamut-Torik - Atlantic bonito	12 000	13 460	6 286	6 000	5 701	70 797	29 690	5 965	6 448
Patlakgöz mercan - Large-eye dentex **	-	-	-	-	-	-	-	97	143
Sardalya - Pilchard	16 500	10 000	8 684	12 000	12 883	20 656	15 586	20 941	17 531
Sargöz - Black sea bream	45	45	40	76	70	109	320	71	30
Sarpa - Saupe	200	160	243	230	198	391	599	321	190
Sinagrit - Dentex	100	60	79	90	106	136	242	106	146
Tekir - Striped red	2 300	1 570	1 450	1 050	961	1 207	1 256	1 732	1 978
Tirsi - Twaite shad	720	690	862	1 100	1 172	2 176	1 738	2 252	2 289
Trana - Blue spatled bream	40	35	57	60	74	55	80	82	119
Uskumru - Mackerel	900	550	486	350	568	781	783	1 076	516
Vatoz - Thornback ray	1 100	555	369	540	532	763	813	974	591
Zargana - Gar fish	300	640	482	450	491	577	375	400	335
Zurna - Saury	250	55	97	160	140	206	289	409	348
Diğer - Other	300	175	280	440	380	600	1 109	754	321



Şekil 2.17 Dünyadaki km başına yıllık balıkçılık verimi açısından görünüşü (FAO, 2002)

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 İzmir Körfezi

Denize kıyısı bulunan ülkelerin en önemli problemlerinden biri deniz ve kıyı bölgesi kirliliğidir. Bu bölgelerdeki kirlilik, ekolojik dengenin bozulmasına ve halk sağlığının tehdit edilmesine sebep olur. İzmir Körfezi, toplam 200 km²'lik alanı ve 11,5 milyar m³'lük su kapasitesi ile Akdeniz'in en büyük doğal körfezlerinden biridir. Körfeze adını veren ve önemli bir ticaret, endüstri ve kültür şehri olan İzmir, yaklaşık 88000 ha.'lık alanı ile körfez etrafındaki en büyük yerleşim bölgesidir.



Şekil 3.1 İzmir Körfezinin genel görünüşü

Çalışma alanını oluşturan İzmir Körfezi (enlem $38^0 20'$ N, boylam $26^0 30'$ E ve enlem $38^0 40'$ N, boylam $27^0 10'$ E) Ege Denizi'ne açılan kapalı bir körfezdır ve yaklaşık 60 km. uzunluğa sahiptir. İzmir Körfezi genel olarak Dış Körfez, İç Körfez ve Orta Körfez olmak üzere üç bölgeye ayrılmaktadır.



Şekil 3.2 Dış, Orta ve İç körfezin genel görünüşü

Dış Körfez; Karaburun yarımadası ile Gediz deltası arasında kuzeybatı-güneydoğu doğrultusunda uzanan daha geniş ve daha derin kesimdir. Uzunluğu 45 km. olan Dış Körfez'in genişliği ağız kesiminde 24 km'yi bulur. Derinliği genellikle 45,0 m olan Dış Körfez güneyde, derinliği en çok 18,0m olan Gülbahçe Koyu ile sona ermektedir. Dış Körfez'in en önemli kirlilik kaynağı Aliağa Rafinerisi ve rafineriden petrol türevleri taşıyan tankerlerdir. Zaman zaman Foça civarında deniz yüzeyinde petrol bazlı malzemelerin birikinti halinde yüzdükleri görülmektedir.

Orta Körfez; Dış Körfez'in güneydoğusunda yer almakta ve Yenikale fenerleri ile Urla'dan Tuzla'nın kuzeybatısına kadar uzanmaktadır ve İzmir kentinin kıyılarında yer alan İç Körfez kesimi ile sona ermektedir. Toplam uzunluğu 38 km olan Orta Körfez'in genişliği batıda 20 km'yi bulurken doğuya doğru gidildikçe azalır. Ortalama derinliği 43,0 m'dir.

Toplam uzunluğu 38 km olan İç Körfez İzmir şehrinin kıyıları boyunca uzanmaktadır. İç Körfezin en derin yeri orta kesimlerde yer alır ve 21,0 m civarındadır. İç ve Orta Körfezde batıdan doğuya doğru gidildikçe derinlik azalmaktadır. Bu kesimdeki sığlaşmanın nedeni, 19. Yüzyılın ikinci yarısına değin Karşıyaka'nın hemen batısına dökülen Gediz ırmağının, taşıdığı alüvyonları İç Körfeze yığmış olmasıdır. İzmir limanı dolma tehlikesi ile karşılaştığından 1986'da akış yönü değiştirilerek Gediz'in ağızı daha geniş ve daha derin olan Dış Körfeze çevrilmiştir (Uslu,1994).

İzmir Körfezi, özellikle de İç Körfez, 1960-1992 yılları arasındaki dönemde kentteki aşırı nüfus artışı, göç, çarpık kentleşme, hızlı sanayileşmeye bağlı olarak, evsel, endüstriyel atık suları ile tarımsal sulamadan geri dönen suların körfeze dökülmesiyle, giderek hızlanan bir süreç içinde kirliliğin yoğunlaştığı bir alan haline gelmiştir.

İç Körfez'in en önemli kirlilik kaynağı da Gediz Nehri'dir. Gediz Havzası, yüksek tarımsal üretim potansiyelinin yanı sıra, son yıllarda hızlı bir endüstriyel gelişmeye de sahne olmaktadır. Endüstriyel gelişme, yoğun tarım ve havza nüfusunun hızla artması havzadaki yüzeysel ve yer altı su kaynaklarına yoğun kirlilik yükleri getirmekte ve bu kaynakların su kalitesinin bozulmasına yol açmaktadır. 1989 yılı içerisinde Gediz Nehri'nde görülen kitle halindeki balık ölümleri, havzadaki kirlenmenin en belirgin göstergesidir. 29.4.1989 yılında Süleymanlı Köyü mevkiinde alınan su örnekleri üzerinde yapılan incelemelere göre, ölçülen fenolik maddeler ve siyanür açısından Gediz Nehri 4. Sınıf (çok kirlenmiş) su sınıfına girmektedir (TÇV,1991)

25.1989 tarihinde DSİ Menemen Regülatörü mevkiinde alınan su örneği üzerinde D.E.Ü Çevre Mühendisliği Bölümünde yapılan incelemede elde edilen sonuçlara göre; Gediz'deki kirlenmenin özellikle fenolik maddeler, siyanür, yağ ve gres, organik maddeler ve zehirlilik etkisi açısından fazla olduğu anlaşılmaktadır.

3.2 Örneklem Bölgesi

Çalışma bölgesi olarak seçilen İnciraltı balıkhali bölgesi, İzmir'in 10 km. batısında yer almaktadır (Bkz. Şekil3.4). Bu bölgenin suları; kirli ve genellikle sakin sulardır.



Şekil 3.3 İnciraltı Balıkhalı Bölgesinin uydudan görünüşü ($38^{\circ} 24' 45''$ K, $27^{\circ} 02' 28''$ D)

Bölge topografik yönden, engebe göstermektedir. Kuzeyden güneye veya doğudan batıya topografya, düz bir çizgi konumundadır. Bu kesimler; İzmir körfezinin kuzey yönünden çekilmesi ve güneyden yağmur ile taşınan malzemelerle kaplanmıştır. Genellikle alüvyon diye adlandırılan değişik boyuttaki kaya kırıntılarında yapılmış bu malzeme; kum taşı, şeyl, kireçtaşı, çakıl, kum, kil ve mil boyutundaki kırıntılardan oluşmuştur.

Bunun sonucunda bölgede sert ve hareketli substratum yan yana bulunmaktadır. Sert substratumun esasını, kireçtaşı oluşturmaktadır.

Kirli iç körfez sularının etkisinde olan araştırma istasyonu, aynı zamanda yoğun balıkçılık faaliyetlerinin de olumsuz etkilerini taşımaktadır.

3.3 Metot

3.3.1 Midye ve balıklardaki ^{210}Po tayinleri

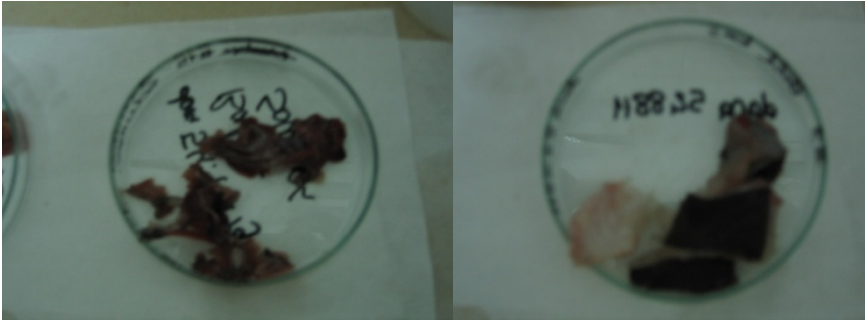
Bu çalışmada İnciraltı balıkhalı istasyonundan midye ve farklı türde balık örnekleri mevsimsel periyotlarla yerel balıkçılardan toplanmıştır. Örnekler üzerinde bulunan safsızlıkları arındırmak için saf su ile yıkanmıştır. Yıkama işleminden sonra midyeler karaciğer ve solungaçlarına, balıklar ise karaciğer, kas dokusu ve solungaçlarına ayrılmıştır. Doku ve organları çıkarılmış olan örnekler yaş olarak tartılıp sabit ağırlığa gelinceye kadar 50°C de etüvde kurutulmuştur.



Şekil 3.4 Midye örnekleri saf su ile yıkanıp kurutma kağıdı üzerinde boyutlarına ayrılmıştır.



Şekil 3.5 Balık ve midye örnekleri doku ve organlarına ayrılma aşaması



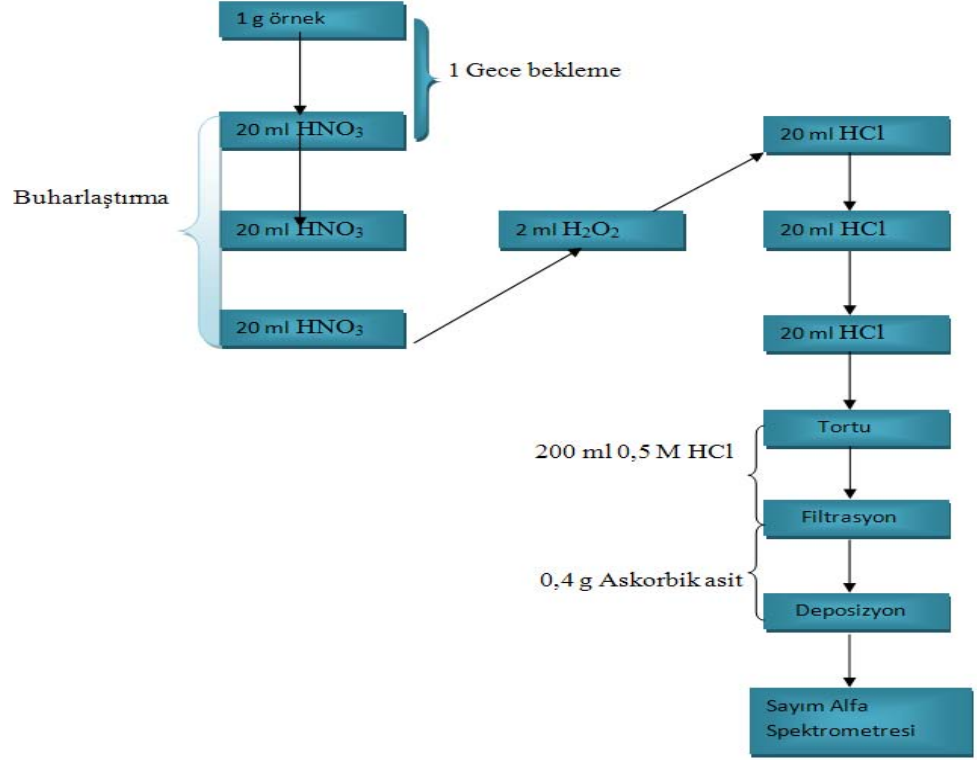
Şekil 3.6 Doku ve organların yaş ağırlıklarının tartılması

Kurutulan örneklerin havanda tanecik boyutu küçültülmüş ve ortamın neminden korunmak amacıyla plastik kaplarda saklanmıştır.

3.3.2 Örneklerle uygulanan radyokimyasal işlem

Çalışmada kurutulup, tanecik boyutu küçültülmüş olan midye ve balık örneklerinden 1 gram alınarak her bir örnek HNO_3 , HCl ve H_2O_2 'den oluşan bir

asit karışımıyla tamamen çözüldükten sonra karışım etüvde buharlaştırılmıştır (IAEA, 2006).



Şekil 3.7 Balık ve midye örneklerine uygulanan radyokimyasal ayırım işleminin akış şeması

3.3.3 Depozisyon

Çözelti tam kurumadan önce ısıtıcı tabla üzerinden alınmış, elde kalan tortu 0,5 M HCl asit ile tekrar çözülerek, katı ve sıvı fazlar filtrasyonla ayrılmıştır. 250 mL.'lik bir behere süzülen çözeltinin içine askorbik asit ve taşıyıcıya yerleştirilmiş bakır disk konularak, üzeri saat camı ile kapatılmıştır (Flynn, 1968; Uğur, 1998). Manyetik karıştırıcılı ısıtıcıda 70°C'de depozisyon işlemi tüm örnekler üzerine uygulanmıştır. Depozisyon sonucunda çözelti soğumaya bırakılmıştır. Daha sonra bakır disk taşıyıcıdan çıkartılmış ve kurutulmuştur.



Şekil 3.8 Depozisyon işlemi

3.3.4 Alfa spektroskopik analizlerde kullanılan ^{209}Po standardının hazırlanması

Çalışmada toplam verim ^{209}Po ($0,1 \text{ Bq ml}^{-1}$) standardı kullanılarak hesaplanmıştır. Kullanılan ^{209}Po standardı (National Institute of Standards & Technology Certificate, Standard Reference Material 4326, Polonium-209 Radioactivity Standard) Enstitü'müzde daha önce tamamlanan bir proje kapsamında hazırlanmıştır. Bu projede aktivitesi 500 Bq ve ağırlığı ($5,160 \pm 0,003$) g olan stok standard çözeltinin bulunduğu ampül 2M HCl ile seyreltilmiş ve 100 mL 'deki konsatrasyonu 10Bq olan ^{209}Po sıvı kaynağı hazırlanmıştır.

Çalışmada bu standard radyokimyasal verim tayininde izleyici olarak kullanılmıştır.

3.3.5 ^{210}Po tayininde kullanılan alfa spektrometre sistemi

Çalışmada kullanılan alfa spektrometre sistemi "Ortec Octete Plus" spektrometre sistemidir. Bu sistemde aynı anda farklı ölçümlerin alınabildiği sekiz adet PIPS (Passivated Implanted Planar Silicon) dedektörü kullanılmaktadır. Harici sekizli sayım sistemi ile de donatılabilmektedir. PIPS dedektörler modern yarı iletken teknolojisinin bir ürünüdür ve yüzey engelli silikon yarı-iletken dedektörlere göre birçok avantajı vardır:

- Daha düşük akım kaçağı
- Daha ince pencere kalınlığı
- Düşük gürültülü
- Sabit ve dayanıklı giriş penceresi
- Kolaylıkla temizlenebilir olması gibi avantajları bulunduğundan pek çok uygulamada bu dedektörün yerini alır.



Şekil 3.9 Alfa spektrometre sisteminin genel görünüşü

Spektrometrenin genel özellikleri ise:

- Vakum kontrolü 10 mTorr ile 30 Torr arasında değişmektedir.
- 1 mm den 51 mm çapına kadar olan diskleri ölçülebilmektedir.
- Her detektör bağımsız olarak 0 ile 10 MeV enerji aralığında ölçüm yapabilmektedir.
- Hardware ve software olarak kolay kurulabilmektedir.
- Ekstra düşük art ortam, temizlenebilir, yüzey alanı 450 mm²-1200 mm² arasında olan iyon-implantasyonlu bir detektördür (<http://www.nel.com.tr>)(Erişim tarihi 4 Ekim 2009).

3.4 Biyokimyasal Analizler

3.4.1 Hidrojen Peroksit Tayini

Hidrojen peroksit içeriği Jana ve Choudhuri (1981) tarafından önerilen metoda göre tayin edilmiştir. Balık ve midye örneklerinden alınan solungaç ve kas dokuları yaş olarak tartılıp 50 mM potasyum fosfat tamponunda (pH 6,5) homojenize edilmiştir. Homojenatlar 10 000 g de 25 dakika santrifüjlenip süpernatantın üzerine % 1 lik titanium (IV) klorid (V/V) (1ml titanium (IV) klorid 25 ml 50 mM, pH 6,5 fosfat tamponu içinde çözülüp, derişik sülfirik asit ilave edildi ve aynı tamponla 100 ml ye tamamlandı) ilave edilip her örnek vortekle karıştırıldıktan sonra tekrar 10 000 g de 15 dakika santrifüjlenmiştir. Elde edilen süpernatantların 410 nm deki absorbandsı ölçülerek hidrojen peroksit konsantrasyonu Nmole/g yaş ağırlık belirlenmiştir.

3.4.2 Prolin Tayini

Prolin içeriği Bates ve arkadaşları (1973) tarafından belirlenen metoda göre spektrofotometrede 520 nm de absorbandsın ölçülmesiyle belirlenmiştir. Örnek dokulardan 0,5 g alınıp % 5'lik sülfosalisilik asit solusyonunda homojenize edilip 13 000g de 10 dk. santrifüjlenip süpernatant üzerine 1 ml glasier asetik asit ve 1 ml taze hazırlanmış ninhidrin solusyonu eklenerek 95 °C de 1 saat inkübe edilip oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur. Elde edilen çözeltinin üzerine 2 ml toluen eklenerek vorteksle 20 sn karıştırılıp toluen fazı alınıp 520 nm de köre karşı absorbandslar okunmuştur. Prolin konsantrasyonu prolin standart eğrisi oluşturularak µmole/g yaş ağırlık olarak belirlenmiştir.

3.4.3 Lipid Peroksidasyonu Tayini

Lipid peroksidasyonu Heat ve Packer (1968) tarafından belirlenen metoda göre tayin edilmiştir. 1 g doku örneği, % 20 trikloroasetik asit ve % 0,5 tiyobarbütirik asit içeren 10 ml çözeltide homojenize edilip, homojenatlar 95 °C de 30 dakika inkübe edilmiştir ve 10 000 g de 10 dakika santrifüjlenmiştir. 532 ve 600 nm de süpernatantların absorbandsları okunup, 600 nm deki spesifik olmayan

absorbans çıkarılıp, kırmızı renkli MDA-TBA kompleksinin miktarı dan lipid peroksidasyon değışimleri $\mu\text{mol/g}$ yağ ağırlık olarak hesaplanmıştır.

4. BULGULAR

Ege Denizi'ndeki İnciraltı Balıkhalı istasyonundan Eylül 2008-Ağustos 2009 tarihleri arasında mevsimsel periyotlarla midye ve balık örnekleri alınmıştır. Bu dönem içerisinde midye ve balık örneklerinin farklı organ (karaciğer ve solungaç) ve dokularında (kas dokusu) ^{210}Po aktivite konsantrasyonları ile lipid peroksidasyonu (LPO), H_2O_2 ve prolin seviyelerindeki değişimler mevsimsel olarak incelenmiştir.

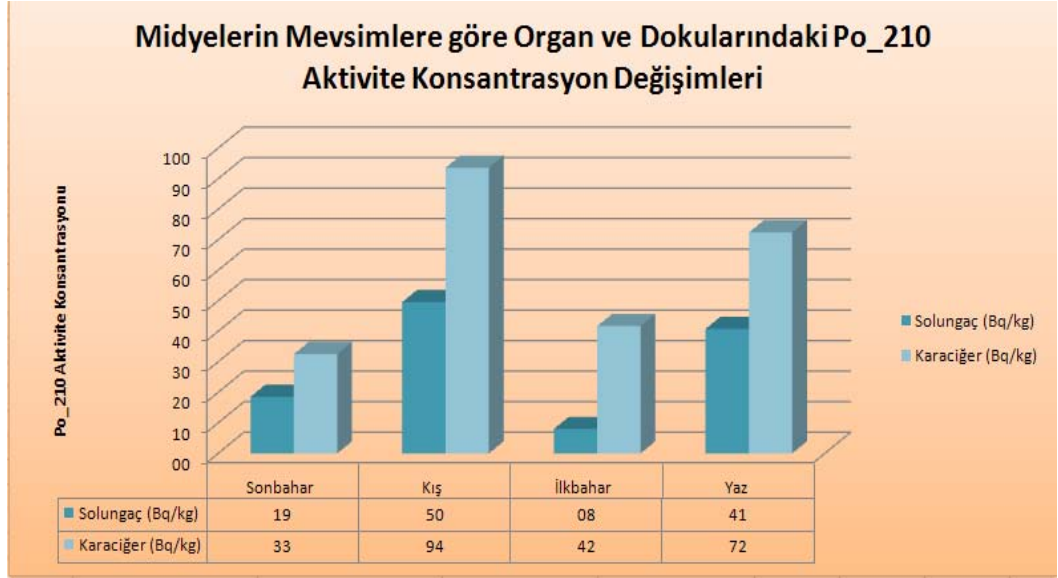
4.1 Kara Midyelerin (*Mytilus galloprovincialis*) Farklı Organlarındaki (karaciğer ve solungaç) ^{210}Po Konsantrasyonları

İnciraltı Balıkhalinden toplanan kara midyesi (*Mytilus galloprovincialis*) örneklerinde mevsimsel ^{210}Po konsantrasyonları tayin edilmiştir. Elde edilen konsantrasyonlar Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1 İnciraltı Balıkhalı bölgesinden toplanan kara midyelerin (*Mytilus galloprovincialis*) Karaciğer ve Solungaçlarındaki ^{210}Po konsantrasyonlarının mevsimsel değişimleri

Midye (^{210}Po Bq/kg)	Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yaz
Solungaç	18,6	49,6	8,0	40,8
Karaciğer	32,5	93,6	41,7	72,4

İnciraltı Balıkhalı Bölgesinden toplanan kara midyelerin (*Mytilus galloprovincialis*) en yüksek ^{210}Po konsantrasyonları karaciğerinde ve kış ayında $93,6 \pm 3,9$ Bq/kg bulunmuştur. En düşük ^{210}Po konsantrasyonları midyelerin solungaçlarında ve ilkbahar döneminde $7,68 \pm 0,8$ Bq/kg olarak tayin edilmiştir.



Şekil 4.1 Mevsimlere ve organlara göre kara midyelerinde (*Mytilus galloprovincialis*) ²¹⁰Po konsantrasyonlarında ki değişimler

4.2 Bazı Balık Türlerinin (Lidaki, Dil Balığı, Isparoz, İstavrit, Kefal) Farklı Organ (Karaciğer ve Solungaç) ve Dokularında (Kas Dokusu) ²¹⁰Po Konsantrasyonları

İnciraltı'ndan toplanan balık örneklerinde mevsimsel olarak ²¹⁰Po konsantrasyonları tayin edilmiştir. Balıkların hareketli olmasından dolayı her mevsim aynı tür balık örnekleri alınamamıştır. Alınan balık türlerinin farklı organ (karaciğer ve solungaç) ve dokularına ait ²¹⁰Po aktivite konsantrasyonları Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.2 Farklı Balık Türlerinin organ ve dokularındaki ²¹⁰Po konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi

	²¹⁰ Po(Bq/kg)	Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yaz
Lidaki	Solungaç	30,5	*	*	27,2
	Karaciğer	113,5	*	*	189,5
	Kas Dokusu	17,9	*	*	25,2
Isparoz	Solungaç	35,1	*	37,8	*
	Karaciğer	37,5	*	55,1	*

	Kas Dokusu	7,3	*	13,5	*
İstavrit	Solungaç	29,5	*	*	*
	Karaciğer	131,9	*	*	*
	Kas Dokusu	18,6	*	*	*
Dil balığı	Solungaç	*	33,4	34,6	*
	Karaciğer	*	247,9	72,4	*
	Kas Dokusu	*	4,3	4,1	*
Kefal	Solungaç	*	*	17,6	*
	Karaciğer	*	*	70,5	*
	Kas Dokusu	*	*	5,8	*

*Bu dönem bu balık türleri alınamamıştır.

Balıklar arasındaki en yüksek ve en düşük ^{210}Po konsantrasyonları kış mevsiminde sırasıyla dil balığının karaciğerinde ve kas dokusunda 247,9 Bq/kg ve 4,3 Bq/kg olarak bulunmuştur.

4.3 Kara Midyelerin (*Mytilus galloprovincialis*) Farklı Organlarındaki (Karaciğer ve Solungaç) ^{210}Po Konsantrasyonları ve Lipid Peroksidasyonu (LPO), H_2O_2 ve Prolin Seviyeleri

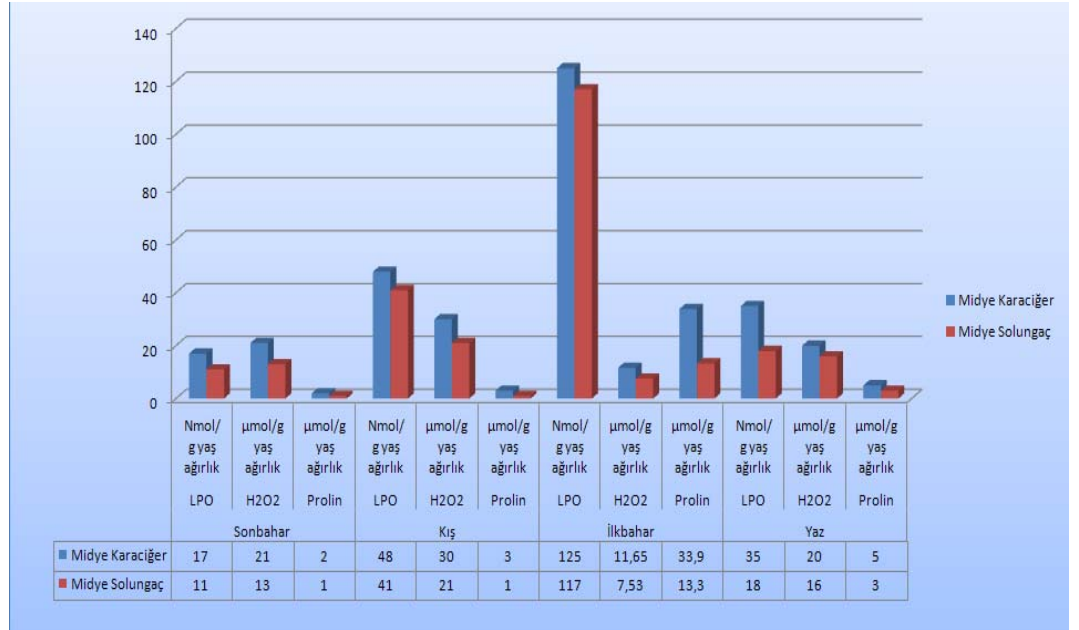
İnciraltı Balıkhalı bölgesinden toplanan kara midye (*Mytilus galloprovincialis*) örneklerinde mevsimsel olarak Lipid Peroksidasyonu, H_2O_2 ve Prolin Seviyeleri tayin edilmiştir. Elde edilen seviyeler Şekil 4.3’de verilmiştir.

En yüksek LPO ve prolin seviyeleri midyelerin karaciğerinde ve ilkbahar döneminde sırasıyla 125 Nmole/g yaş ağırlık, 33,9 $\mu\text{mol/g}$ olarak bulunmuştur. En yüksek H_2O_2 seviyesi ise 30 $\mu\text{mol/g}$ yaş ağırlık olarak midyelerin karaciğerinde ve kış aylarında tespit edilmiştir.

Tablo 4.3 Mevsimlere göre Midyelerin Farklı Organlarındaki LPO, H₂O₂ ve Prolin Seviyelerindeki Değişimler

	Sonbahar			Kış			İlkbahar			Yaz		
	LPO	H ₂ O ₂	Prolin	LPO	H ₂ O ₂	Prolin	LPO	H ₂ O ₂	Prolin	LPO	H ₂ O ₂	Prolin
	Nmol/g	μmol/g	μmol/g	Nmol/g	μmol/g	μmol/g	Nmol/g	μmol/g	μmol/g	Nmol/g	μmol/g	μmol/g
	yaş	yaş	yaş	yaş	yaş	yaş	yaş	yaş	yaş	yaş	yaş	yaş
	ağırlık	ağırlık	ağırlık	ağırlık	ağırlık	ağırlık	ağırlık	ağırlık	ağırlık	ağırlık	ağırlık	ağırlık
Midye Karaciğer	17	21	2	48	30	3	125	11,65	33,9	35	20	5
Midye Solungaç	11	13	1	41	21	1	117	7,53	13,3	18	16	3

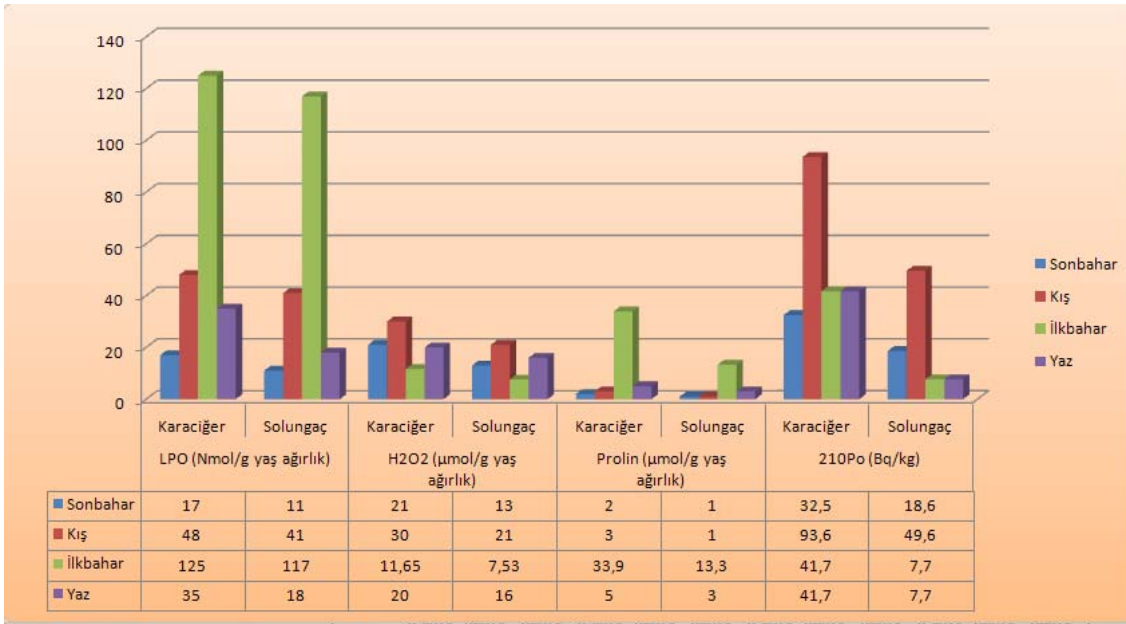
En düşük LPO, H₂O₂ ve prolin seviyesi midyelerin solungaçlarında sırasıyla 11 Nmol/g yaş ağırlık 7,53 μmol/g yaş ağırlık ve 1,00 μmol/g yaş ağırlık olarak bulunmuştur.



Şekil 4.2 Midyelerin Karaciğer ve Solungaçlarında ki LPO, H₂O₂ ve prolin seviyesin mevsimsel değişimi

Tablo 4.4 Mevsimlere göre Midyelerin ^{210}Po konsantrasyonu ile lipid peroksidasyonu, H_2O_2 ve prolin seviyeleri

		Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yaz
LPO (Nmol/g yaş ağırlık)	Karaciğer	17	48	125	35
	Solungaç	11	41	117	18
H_2O_2 ($\mu\text{mol/g}$ yaş ağırlık)	Karaciğer	21	30	11,65	20
	Solungaç	13	21	7,53	16
Prolin ($\mu\text{mol/g}$ yaş ağırlık)	Karaciğer	2	3	33,9	5
	Solungaç	1	1	13,3	3
^{210}Po (Bq/kg)	Karaciğer	32,5	93,6	41,7	41,7
	Solungaç	18,6	49,6	7,7	7,7



Şekil 4.3 Mevsimlere göre Midyelerin ^{210}Po konsantrasyonu ile lipid peroksidasyonu, H_2O_2 ve prolin seviyelerinin karşılaştırılması

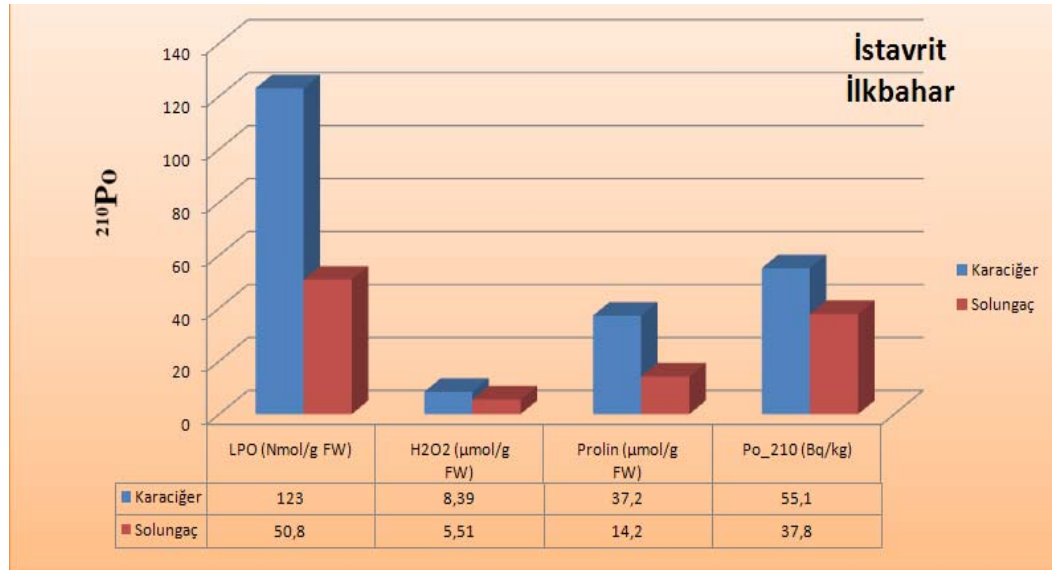
4.4 Bazı Balık Türlerinin (Lidaki, Dil Balığı, Isparoz, İstavrit, Kefal) Farklı Organlarında ki (Karaciğer ve Solungaç) ^{210}Po Konsantrasyonları ve Lipid Peroksidasyonu (LPO), H_2O_2 ve Prolin Seviyeleri

İnciraltı'ndan toplanan balık örneklerinin karaciğer ve solungaçlarında mevsimsel olarak Lipid Peroksidasyonu (LPO), H_2O_2 ve prolin seviyeleri tayin edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 4.4'de verilmiştir.

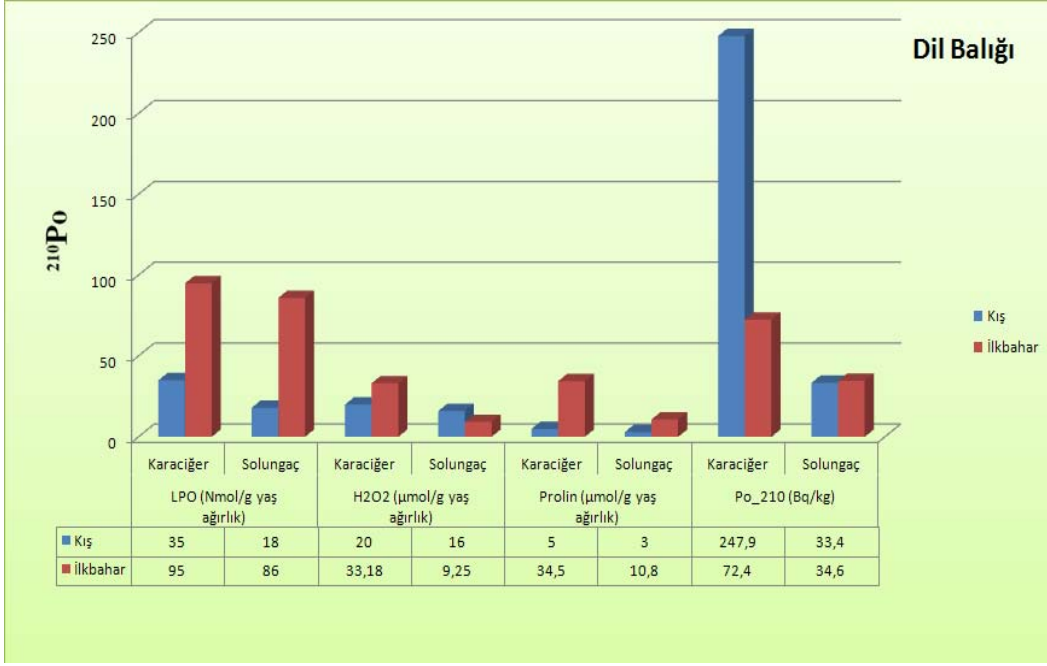
Tablo 4.5 Mevsimlere göre farklı balık türlerinin karaciğer ve solungaçlarında LPO, H_2O_2 ve Prolin seviyesindeki değişimler

		Sonbahar			Kış			İlkbahar			Yaz		
		LPO	H_2O_2	Prolin	LPO	H_2O_2	Prolin	LPO	H_2O_2	Prolin	LPO	H_2O_2	Prolin
		Nmol/g yaş ağırlık	$\mu\text{mol/g}$ yaş ağırlık	$\mu\text{mol/g}$ yaş ağırlık	Nmol/g yaş ağırlık	$\mu\text{mol/g}$ yaş ağırlık	$\mu\text{mol/g}$ yaş ağırlık	Nmol/g yaş ağırlık	$\mu\text{mol/g}$ yaş ağırlık	$\mu\text{mol/g}$ yaş ağırlık	Nmol/g yaş ağırlık	$\mu\text{mol/g}$ yaş ağırlık	$\mu\text{mol/g}$ yaş ağırlık
İstavrit	Karaciğer	*	*	*	*	*	*	123	8,39	37,2	*	*	*
	Solungaç	*	*	*	*	*	*	50,8	5,51	14,2	*	*	*
Kefal	Karaciğer	*	*	*	*	*	*	113	9,55	36,5	*	*	*
	Solungaç	*	*	*	*	*	*	55	8,91	17,8	*	*	*
Dil Balığı	Karaciğer	*	*	*	35	20	5	95	33,18	34,5	*	*	*
	Solungaç	*	*	*	18	16	3	86	9,25	10,8	*	*	*
Lidaki	Karaciğer	*	*	*	*	*	*	*	*	*	41	21	8
	Solungaç	*	*	*	*	*	*	*	*	*	18	16	5

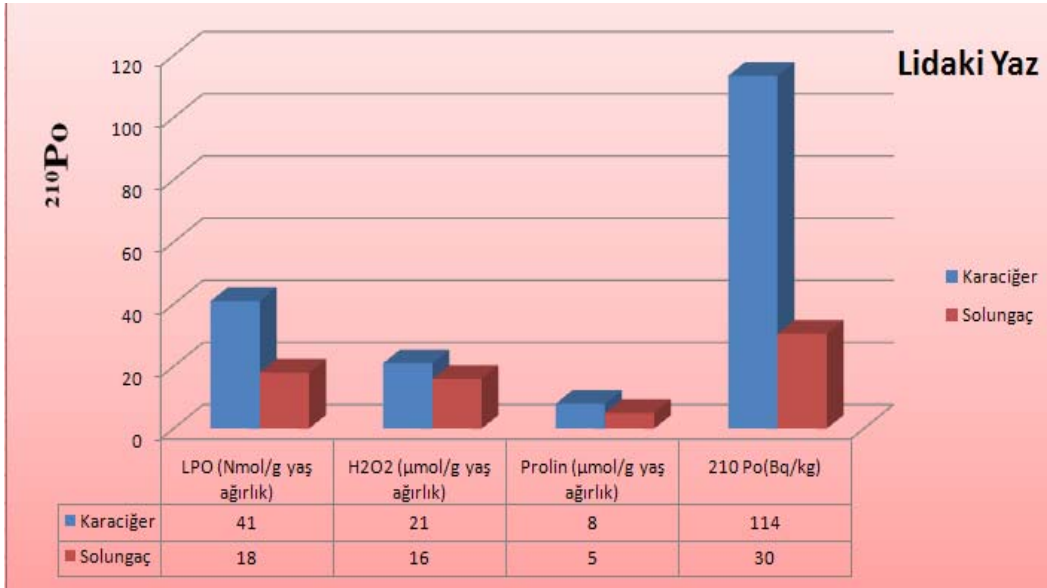
* Bu dönem bu balık türleri alınamamıştır



Şekil 4.4 İlkbahar mevsimine göre ^{210}Po konsantrasyonu ile lipid peroksidasyonu, H_2O_2 ve prolin seviyelerinin karşılaştırılması



Şekil 4.5 Kış ve İlkbahar mevsiminde Dil balığı örneklerinin ^{210}Po konsantrasyonu ile lipid peroksidasyonu, H_2O_2 ve prolin seviyelerinin karşılaştırılması



Şekil 4.6 Yaz mevsimine göre ^{210}Po konsantrasyonu ile lipid peroksidasyonu, H_2O_2 ve prolin seviyelerinin karşılaştırılması

5. TARTIŞMA

Yoğun balıkçılık faaliyetlerinin yapıldığı İnciraltı balıkhali bölgesinden Eylül 2008-Ağustos 2009 dönemleri arasında mevsimsel periyotlarla kara midyesi (*Mytilus galloprovincialis*) ve çeşitli balık türleri lidaki (*Sparus Aurat*), kefal (*Liza ramada*) dil dalığı (*S.Solea*), istavrit (*Trachurus mediterraneus*) ve isparoz(*İsperi*) toplanmıştır. Toplanan midye ve balık örneklerinin farklı organ ve dokularında ^{210}Po aktivite konsantrasyonları ile LPO, H_2O_2 ve prolin seviyelerine bakılmış, aralarındaki korelasyon değerlendirilmiştir.

5.1. Midye Örneklerinin Farklı Organlarındaki ^{210}Po Konsantrasyonları

İnciraltı balıkhali bölgesinden toplanan kara midyelerindeki (*Mytilus galloprovincialis*) en yüksek ^{210}Po konsantrasyonları midyelerin karaciğerlerinde ve kış ayında $93,6 \pm 3,9$ Bq/kg bulunmuştur. En düşük ^{210}Po konsantrasyonları midyelerin solungaçlarında ve ilkbahar döneminde $7,68 \pm 0,8$ Bq/kg olarak tayin edilmiştir.

Midyelerde üreme dönemleri sonbahar ile ilkbahar sonlarıdır. Bu dönemlerde gametlerin atılması dalgalar, akıntı, tuzluluk ve sıcaklıkta olan ani değişimler gibi birçok çevresel faktöre bağlıdır. Su sıcaklığı, tuzluluk miktarı ve besin maddeleri midyelerin yumurta bırakma süresini ve yumurta bolluğunu etkileyen unsurlar arasında yer almaktadır.

İzmir körfezinde midyeler Eylül-Ekim ve Mart-Nisan aylarında üredikleri için kış ve yaz dönemlerinde en büyük boyutlarına ulaşırlar. Küçük boyuttaki midyeler büyük midyelere oranla daha hızlı filtrasyon yapmakla birlikte, ^{210}Po , ^{210}Pb ve ağır metal gibi toksik maddelerin zamanla daha fazla miktarda vücut içersinde biriktiği bilinmektedir. Bunun sonucunda büyük midyelerde daha fazla ^{210}Po akümüle olur. Bu nedenlerden dolayı kış mevsiminde daha yüksek ^{210}Po konsantrasyonları bulunmuştur. (Atayeter, 1991).

Kış döneminde artan yağmur ve balıkçılık faaliyetlerinden dolayı suda çözünmüş halde bulunan ^{210}Po aktivitesi artmaktadır. Enstitümüzde

gerçekleştirilen bir çalışmaya göre; yağmur suyu örneklerinde tayin edilen en yüksek ^{210}Po aktivite konsantrasyonları sonbahar ve kış mevsimlerinde gözlenmiştir (Uğur ve Özden, yayımlanmamış veri). Wildgust ve arkadaşları (1998), 1996-1997 yılları arasında aylık olarak *Mytilus edulis* türü midyelerde ^{210}Po konsantrasyonunu incelemiş ve en yüksek spesifik aktiviteyi Şubat ve Nisan aylarında, en düşük aktiviteyi ise Eylül ayında tayin etmişlerdir. Bu çalışmada spesifik ^{210}Po aktivitesinin sonbahar ve kış dönemlerinde arttığı tayin edilmiştir. Bu durum kış aylarında artan yağmurlara bağlanmıştır.

Connan ve arkadaşları (2007), Fransa kıyılarında deniz suyu, midye ve balık türlerinde ^{210}Po ve ^{210}Pb dağılımlarını mevsimsel olarak incelemişler ve midyelerdeki ^{210}Po konsantrasyonlarında etkili olduğunu bulmuşlardır. *Mytilus edulis* türü midyelerde yapmış oldukları incelemede en yüksek ^{210}Po konsantrasyonlarını kış mevsimi gibi soğuk periyotlarda bulurken, en düşük konsantrasyonları ise yaz mevsimi gibi sıcak dönemlerde tayin etmişler ve sıcak periyotlardaki ^{210}Po biyoakümüülasyonunun soğuk periyotlara göre daha düşük olduğunu ve kış mevsimi gibisoğuk periyotların midyelerin üremeleri için daha etkin dönemler olduğunu vurgulamışlardır. Çalışmamızda kış aylarında ^{210}Po konsantrasyonunun yüksek olması ile paralel bir bağlantı olduğu görülmüştür. Ayrıca metaller için yapılan birçok çalışmada, metallerin organizmalar tarafından biyoakümüülasyonunda vücut ağırlığı ve büyüklüğünün de etkisi olduğu söylenmektedir. Connan ve arkadaşları da yapmış oldukları çalışmada daha büyük boyuttaki midyelerdeki ^{210}Po alımının daha fazla olduğunu görmüşlerdir.

Türkiye denizlerinde *Mytilus galloprovincialis* türü midyeler yaygın olarak bulunsa da bu tür midyelerde ^{210}Po konsantrasyonlarının değişimi üzerine sınırlı çalışma mevcuttur.

Uğur ve arkadaşları (2002), tarafından Ege Denizi kıyılarında yapılan bir çalışmada *Mytilus galloprovincialis* türü midyelerde ^{210}Po konsantrasyonlarını 52 ± 6 ile 1344 ± 108 Bq kg^{-1} kuru ağırlık, bununla beraber ^{210}Pb konsantrasyonlarının ise 6 ± 2 ile 167 ± 10 Bq kg^{-1} kuru ağırlık arasında değiştiği tayin edilmiştir. Çalışmalarında en yüksek ^{210}Po ve ^{210}Pb konsantrasyonlarını Mayıs ayında Foça bölgesinden topladıkları midyelerde tayin etmişlerdir. Foça'da

buldukları yüksek konsantrasyonların Aliğa ve İzmir çevresinde yer alan petrol ve diğer kimya endüstrilerini (Tüpraş, Petkim gibi) kapsayan kıyısız endüstri kuruluşlarına bağlı olabileceğini öne sürmüşlerdir.

Sunlu (2006), Eylül 2002-Ağustos 2003 tarihleri arasında Türkiye'nin Ege Denizi kıyılarında tespit ettiği 6 farklı istasyondan mevsimsel olarak topladığı midye örneklerinde Cd, Pb, Zn ve Cu analizlerini yapmıştır. Analizler sonucunda midyelerdeki ağır metal konsantrasyonlarının $0,04 - 0,52 \mu\text{g Cd g}^{-1}$ (yaş-ağırlık), $0,49 - 1,72 \mu\text{g Pb g}^{-1}$ (yaş-ağırlık), $0,95 - 1,85 \mu\text{g Cu g}^{-1}$ (yaş-ağırlık), $16,11 - 37,15 \mu\text{g Zn g}^{-1}$ (yaş-ağırlık) arasında değiştiğini tespit etmiştir. Araştırmacı ayrıca, en yüksek metal değerlerini İzmir İç Körfez'de en düşük değerleri ise Sığacık ve Güllük istasyonlarında ölçtüğünü rapor etmiştir. Sunlu, Gediz ve Bakırçay nehirlerinin İzmir ve Çandarlı Körfezi'nin kirlenmesi yönünde etkili olduğunu belirtmiştir. Çalışmada ayrıca bu bölgelerin büyük kentsel ve endüstriyel merkezlerin yakınında olmasının da yüksek konsantrasyonların tayin edilmesinde etkin rol oynadığı vurgulanmıştır

Enstitümüz'de tamamlanmış olan IAEA (2006) (International Atomic Energy Agency) destekli proje kapsamında Uğur ve arkadaşları tarafından Ege Denizi kıyılarında yapılmış olan çalışmada, 6 farklı istasyondan (Çanakkale, Dikili, Foça, Çeşme, Didim and Bodrum) alınan midyelerdeki en yüksek ^{210}Po konsantrasyonları kış mevsiminde 1996 Bq kg^{-1} kuru ağırlık olarak Didim, en düşük ^{210}Po konsantrasyonu ise sonbahar mevsiminde Çanakkale'den toplanan midyelerde (*Mytilus galloprovincialis*) tayin edilmiştir. Bu çalışmada da midyelerdeki en yüksek ortalama ^{210}Po konsantrasyonları Didim'den toplanan midyelerde kış mevsiminde tayin edilmiştir.

5.2. Balık Örneklerinin Farklı Organ ve Dokularında ^{210}Po Konsantrasyonlarının Değerlendirilmesi

Balık örneklerinde tayin edilen ^{210}Po konsantrasyonları bulgular kısmında (Bkz. Tablo 4,2) verilmektedir. Beslenme şekline bağlı olarak balıklardaki ^{210}Po konsantrasyonlarının çok çeşitli olduğu bulunmuştur. Balıklar arasındaki en yüksek ^{210}Po konsantrasyonu dil balığının karaciğerinde ve kış döneminde

247,9±9,4 Bq/kg olarak tespit edilmiştir. En düşük ^{210}Po konsantrasyonu dil balığının kas dokusunda ve kış ayında 4,3 Bq/kg olarak ölçülmüştür. Kış döneminde diğer dönemlere göre tüm balık türlerinde en yüksek ^{210}Po konsantrasyonunun bulunması midyelerde olduğu gibi üreme dönemi gibi biyolojik faktörler ve kış dönemindeki denizlerdeki ^{210}Po konsantrasyonun yüksek oluşu gibi sebeplere bağlanabilir. Bunun yanı sıra balıklar arasındaki ^{210}Po konsantrasyonundaki farklılıkların sebebi bu balık türlerinin farklı beslenme şekillerine sahip olmasıdır. Dil balığındaki ^{210}Po konsantrasyonundaki artışın sebebi diplerde yaşaması (300-500 m derinlerde yaşamaktadır) ve besinini sedimente yakın bölgelerden temin etmesidir. Benzer şekilde lidaki (35-40 m), kefal (5-10 m), ısparoz (40-500 m) ve istavrit (100-200 m) gibi balık türleri arasındaki farklılıkların temel sebebinin de beslenme şekilleri ve beslenme bölgeleridir.

Karaciğer, yediğimiz yiyeceklerin vücut tarafından kullanılabilir hale gelmesini sağlar. Bunu yaparken, sindirim sisteminden gelen kan içindeki karmaşık molekülleri parçalayarak kullanılabilir veya depolanabilir moleküller haline getirir. Daha sonra faydalı olanları tekrar kan yoluyla diğer hücrelere gönderir. Zararlı olanları ise, birkaç işlemde geçirerek böbreklere yollar ve oradan da süzülerek üre halinde vücuttan atılmalarını sağlar (http://www.ebilge.com/7470/Karacigerin_gorevi_nedir.html)(Erişim tarihi 5 Aralık 2009). İnsanlarda olduğu gibi balıklarda ve midyelerde de karaciğer kan içersinde çözünmüş halde bulunan ağır metal ve radyonüklid gibi maddeleri depolama isteğine sahiptir. Bu nedenden dolayı hem balıkların hem de midyelerin karaciğerinde diğer organlarla kıyaslandığında daha yüksek oranda ^{210}Po ihtiva edeceği düşünülmektedir. Yaptığımız çalışmada en yüksek ^{210}Po aktivite konsantrasyonları hem balıkların hem de midyelerin karaciğerinde bulunmuştur.

Heyraud ve arkadaşları (1976), zooplanktonik bir örnek olan euphausiids'in (*Meganyctiphanes norvegica*) farklı organ ve dokularında ^{210}Po aktivite konsantrasyonlarını incelemişlerdir. En yüksek ^{210}Po aktivite konsantrasyonunu, euphausiids'in (*Meganyctiphanes norvegica*) karaciğerinde bulmuşlardır. Yapılan bu çalışmada zooplanktonların, ^{210}Po 'un yüzey katmanlarından okyanusun derinliklerine kadar taşınmasında önemli bir rol oynadığı tespit edilmiştir.

Solungaçların genel şekilleri değişik canlılarda farklı olmasına rağmen temel yapı ve görevleri bakımından birbirine benzedikleri görülmektedir. Balığın solunumu basit olarak ağızdan suyun alınması, solungaç kapakları ile gövde arasından dışarı atılması olarak tanımlanmaktadır (Ahmet Kocataş, 2004). Dolayısıyla su ile direk temas halinde bulunan solungaç suda çözünmüş halde bulunan maddeleri tutucu görevinde üstlenmektedir. Bu nedenlerden dolayı da solungaçlardaki ve karaciğerdeki ^{210}Po konsantrasyonları yakın bulunabilmektedir.

Stepnowski ve Skwarzec (2000), Polonya’da dört farklı yumuşakça türünün doku ve organlarında ^{210}Po birikimi ve dağılımı incelenmiş; birbirleriyle karşılaştırılmıştır. En yüksek ^{210}Po aktivite konsantrasyonu, Baltık denizinde ve tatlı sularda yaşayan canlıların karaciğerlerinde bulunurken; kutup bölgesinde ise solungaçlarda bulunmuştur.

5.3. Midye ve Balık Örneklerinin Farklı Organ ve Dokularındaki ^{210}Po Konsantrasyonu ile Lipid Peroksidasyonu (LPO), H_2O_2 ve Prolin Seviyeleri Arasındaki İlişkinin İncelenmesi

İnciraltı Balıklıhalı bölgesinden toplanan kara midyelerindeki (*Mytilus galloprovincialis*) en yüksek ^{210}Po konsantrasyonun midyelerin karaciğerinde bulunduğu daha önceki bölümlerde (Bkz. bölüm 4.1 ve 5.1) işaret edilmişti. Aynı şekilde Lipid Peroksidasyonu (LPO), H_2O_2 ve prolin seviyelerinin de en yüksek değerleri midyelerin karaciğerinde tespit edilmiştir.

Deniz suyunda bulunan radyonüklidler ve ağırmetaller suda yaşayan canlılar tarafından alındığı takdirde canlı organizma strese maruz kalır, serbest radikallerin oluşumu artar ve canlıda hasar meydana geldiği düşünülür. Serbest radikaller hem sitotoksik bileşenler hem de stres toleransını başlatan medyatörler olarak görev yaparlar. Hücresel membranları ve organelleri aktif oksijen türlerinin hasarından korumak için kompleks antioksidan sistemler canlı organizmalar için çok önemlidir. Antioksidan sistemler üçe ayrılırlar;

1. Yağda çözülebilir ve membrana bağlı olan tokoferoller,

2. Düşük molekül ağırlığına sahip askorbik asit ve glutatyon gibi suda çözünebilir indirgen ajanlar,
3. Süperoksit dismutaz, askorbat peroksidaz, katalaz glutatyon peroksidaz ve glutatyon redüktaz gibi antioksidan enzimler.

Denizlerdeki kirlilik seviyesinin belirlenmesinde seçilen canlının farklı dokularındaki kontaminasyonun etkilerini gözlemlemek için geleneksel yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemlerden en önemlisi ve en yaygın olarak kullanılanı biyomarkırlardır. Biyomarkırlar deniz canlıları üzerinde kirlilikten kaynaklanabilecek etkileri değerlendirmek için önerilmektedir. Özellikle biyokimyasal seviyedeki etkiler canlı üzerinde kontaminasyon etkilerini değerlendirmek için ilk uyarı sistemi olarak bilinmektedir. Bunun sebebi pek çok biyoizleyici özellikle kirlilik stresine duyarlı olmasından kaynaklanmaktadır.

Midye örneklerinde lipid peroksidasyonu, prolin ve H_2O_2 düzeylerinde kış ve ilkbahar mevsiminde gözlenen farklılıkların, ^{210}Po konsantrasyonu ve hücre seviyesinde oluşturduğu oksidatif hasar ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Hücre membranında meydana gelen hasarın en önemli göstergelerinden biri olan lipid peroksidasyonunun yüksek ^{210}Po konsantrasyonuna rağmen kış dönemi örneklerinde daha az seviyede gözlenmesi bu dönemde midyelerin oksidatif hasar giderici antioksidant savunma sistemlerini daha aktif bir şekilde çalıştırması ile ilgili olabilir. Antioksidant savunma sisteminin önemli bileşenlerinden olan katalaz, peroksidaz ve süperoksit dismutaz gibi enzimlerin aktivitelerinin belirlenerek sonuçlarımızla ilişkilendirilmesinin yararlı olacağını düşünmekteyiz. Elde edilen sonuçlara göre ilkbahar döneminde daha az seviyede biriken ^{210}Po konsantrasyonuna rağmen stres belirteci olan moleküllerin daha yüksek düzeylerde sentezlenmiş olmaları midyelerin bu dönemde yüksek oksidatif hasar etkisi altında olduğunu göstermektedir. Kış döneminde stres belirteci olan moleküllerin daha az seviyede birikmesi detoksifikasyon mekanizmalarının bu dönemde daha aktif çalıştığının bir göstergesidir. Çalışmamızın stres belirteci moleküllerin yanı sıra savunma sistemi bileşenlerinin tespit edilmesiyle de kuvvetlendirilmesi ve desteklenmesi düşünülmektedir. ^{210}Po konsantrasyonlarının en yüksek elde edildiği özellikle karaciğer gibi dokulardaki katalaz süperoksit

dizmutaz gibi enzimlerin aktivitelerinin tayini gereklidir. Midyelerde yaz aylarında karaciğer dokularında ilkbaharla aynı seviyelerde tespit edilen ^{210}Po konsantrasyonuna rağmen lipid peroksidasyonu, prolin ve H_2O_2 düzeylerinde görülen azalma bu görüşümüzü destekler niteliktedir. Kış dönemine benzer biçimde yaz döneminde de antioksidant savunma sisteminin veya diğer detoksifikasyon mekanizmalarının aktif bir biçimde çalıştığı öngörülmektedir. Her mevsim aynı balık türü bulunmamasından dolayı karşılaştırmalar belirli mevsimler için yapılmıştır.

Lipid peroksidasyonunu başlatan serbest radikallerin meydana gelişinde bazı metallerin önemli rolü olduğu düşünülmektedir. Deneysel sistemlerde genellikle demir veya bakır tuzları kullanılmaktadır. Çeşitli vücut sıvılarından elde edilen, proteine bağlı olmayan demirin lipid peroksidasyonu başlatabileceği düşünülmektedir.

Çalışma kapsamında alınmış olan midye ve bazı balık örneklerinde ^{210}Po ile lipid peroksidasyonu, prolin ve hidrojen peroksit arasındaki korelasyon mevsimlere bağlı olarak incelemiştir. Elde edilen sonuçlara göre en yüksek ^{210}Po konsantrasyonu ile en yüksek lipid peroksidasyonu, prolin ve hidrojen peroksit seviyeleri hem midyelerin hem de balıkların karaciğerinde bulunmuştur. Bu sonuçlar ^{210}Po konsantrasyonu ile lipid peroksidasyonu, prolin ve hidrojen peroksit seviyeleri arasında bir korelasyon olduğunu göstermektedir. Böylece çalışmada; lipid peroksidasyonunun, prolinin ve hidrojen peroksitin kirlilik düzeyinin belirlenmesinde ^{210}Po 'un biyomarkır olarak kullanılabileceği düşünülmektedir. Ayrıca çalışmada, deniz ortamında radyonüklid kirliliğine bağlı olarak oluşabilecek biyokimyasal stres parametreleri için kara midyelerin (*Mytilus galloprovincialis*) ve balıkların biyoizleyici olarak kullanılabilirliği değerlendirilmiştir.

Bazı ağır metallerin canlılarda oksidatif strese yol açtığı bunun sonucunda da canlıda enzimatik ve enzimatik olmayan antioksidatif cevap oluştuğu ve lipid peroksidasyonunun da uyarıldığı gösterilmiştir. Serbest radikallere bağlı doku hasarı oluşumunda en önemli mekanizma, hücre zarındaki lipidlerin peroksidasyona uğramasıdır. Oksidan ajanlar, çoklu doymamış yağ asitleriyle

reaksiyona girerek lipid peroksidasyonunu başlatırlar. Bunun sonucunda, hidroperoksidaz ve uzun etkili aldehitler ortaya çıkar. Lipid peroksidasyonunun son ürünleri, MDA, eten ve pantendir. Bu reaksiyonlar, hücre membranındaki lipidlerin yapısını bozar, hücrede iyonlara karşı geçirgenlik artar ve hücre ölümü olur (Babior BM, 1975). Ayrıca deniz ortamındaki metal kirliliğinin oluşturduğu toksisitenin izlenmesinde veya maruziyetin belirlenmesinde deniz canlılarında meydana gelen biyokimyasal cevapların saptanması için bazı antioksidan (SOD, CAT, GSH-Px, GSH-Red, GST) ve detoksifikasyon (GST) enzimlerinin, antioksidan ajanların (GSH), lipid peroksidasyonu, prolin ve hidrojen peroksit düzeylerinin yanı sıra kullanılmaktadır. Bu nedenlerden dolayı ^{210}Po analizlerinin yanı sıra örnekler üzerinde ağır metal analizleri ve antioksidan (SOD, CAT, GSH-Px, GSH-Red, GST) ve detoksifikasyon (GST) enzimlerinin, antioksidan ajanların (GSH) düzeylerinin tayin edilmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Ae TY, Jones DP**, ATP concentration gradients in cytosol of liver cells during hypoxia. Am J Physiol 249: c385-c392
- Aközcan, S., Uğur, A., Özden, B., Çatal, E.**, 2004, Ege Denizi'nde tüketilen kara midyelerin (*Mytilus galloprovincialis* L.1758) yumuşak dokularındaki ^{210}Po konsantrasyonları, V. Ulusal Ekoloji ve Çevre Kongresi, Bildiri Özet Kitabı, sayfa: 166.
- Aközcan, S., Uğur, A., Yener, G., Sunlu, U.**, 2004, Ege Denizi kıyılarında kara midye (*Mytilus galloprovincialis* L.1758)'de ^{210}Po birikiminin alfa spektrometresi ile tayini, Türk Fizik Derneği 22. Fizik Kongresi, Bildiri özet kitabı, sayfa: 367.
- Aközcan, S., Uğur, A., Yener, G., Özden, B., İçhedef, M.**, 2005, Bodrum midyelerinde (*Mytilus galloprovincialis*) ^{210}Po konsantrasyonlarının boyutlara ve mevsime bağlı değişiminin incelenmesi, IX. Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi, Bildiri kitabı, Sayfa 121.
- Aközcan, S., Uğur, A., Yener, G., Özden, B.**, 2005, The effect of size and season on ^{210}Po concentration in mussels (*Mytilus galloprovincialis*) from south western Anatolia, X. European Ecological Congress, Bildiri kitabı, Sayfa: 307.
- Alam, M. N., Chowdhury, M. I., Kamal, M., Ghose, S., Matin, A. K. M. A., Ferdousi, G. S. M.**, 1999, "Radionuclide concentrations in mussels collected from the southern coast of Bangladesh", Journal of Environmental Radioactivity, 47, 201-212.
- Alia, P. Pardha Saradhi, Prasanna Mohanty, December 1991**, Proline enhances primary photochemical activities in isolated thylakoid membranes of Brassica juncea by arresting photoinhibitory damage *Biochemical and Biophysical Research Communications, Volume 181, Issue 3, 31, Pages 1238-1244*

- Allison TB, Bruttig SP, Crass MF, Eliot RS, Shipp JC, 1976,** Reduced high-energy phosphate levels in rat hearts. 1. Effects of alloxan diabetes. *AM J Physiol* 230: 1744-1750,
- Allison TB, Crass MF, Shipp JC., 1972,** Reduced ATP and creatine phosphate in heart muscle of acute alloxan diabetic rats. *Circulation* 46, Suppl 2 : 255,
- Al-Masri, M. S., Byrakdar, M. E., Mamish, S., Al-Haleem, M. A., 2004,** Determination of natural radioactivity in Euphrates river, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 261 (2), 349-355.
- Arslan, F. D., 2005,** Ege denizinin farklı bölgelerindeki plankton örneklerinde ^{210}Po birikiminin incelenmesi, Ege Üniv., Fen Bil. Ens., Nükleer Bilimler Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Atam P: Arya, 1996,** Fundamentals of Nuclear Physics
- Babior BM, Curnutte JT, Kipness RS, 1975,** Biological defense mechanism. Evidence for the participation of superoxide in bacterial killing by xanthine oxidase. *J Lab Clin Med* 85:235-244,
- Baxter, M.S., 1993,** Environmental radioactivity: A perspective on industrial contributions, *IAEA Bulletin* 2.
- Beyazıt, T., 2003,** İzmir Körfezi'nin kirliliği, kaynakları ve giderilme tekniklerinin değerlendirilmesi, Gazi Üniv., Fen Bil. Ens., Çevre Bilimleri, Yüksek Lisans Tezi.
- B. Halliwell, John M. C. Gutteridge, June 1984,** Lipid peroxidation, oxygen radicals, cell damage, and antioxidant therapy *the lancet*, volume 323, issue 8391, 23, pages 1396-1397

- Boisson, F., Cotret, O., Fowler, S. W.,** 1998, Bioaccumulation and retention of lead in mussel *Mytilus galloprovincialis* following uptake from seawater, The Science of the Total Environment, 222, 55-61
- Bruce Ryan, Andreas Bollho, Paul Martin a,b,** 2008, Radionuclides and metals in freshwater mussels of the upper South Alligator River, Australia Journal of Environmental Radioactivity 99
- 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.
- 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.
- 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.
- Dahlgaard, H.,** 1996, Polonium-210 in mussel and fish from the Baltic-North Sea Estuary, Journal of Environment Radioactivity, 32, 91-96.
- Egemen, Ö.,** 2000, Çevre ve su kirliliği, Ege Üniversitesi Yayınları, Su Ürünleri Fak., Yayın No:42.
- Egemen, Ö.,** 2006, Su kalitesi, Ege Üniversitesi Yayınları, Su Ürünleri Fak., Yayın No:14.

Flynn, W.W., 1968, The Determination of low levels of Polonium-210 in environmental materials, *Anal. Chim. Acta.*, 43, 221-227.

Frederick Chu, David L. Miller, Tanya Schulz, Herbert Weissbach, Nathan Brot, December 1976, DNA-directed in vitro synthesis of elongation factor Tu, *Biochemical and Biophysical Research Communications*, Volume 73, Issue 4, 20, Pages 917-927

Gasco, C., Anton, M. P., Delfanti, R., Gonzalez, A. M., Meral, J., Papucci, C., 2002, Variation of the activity concentrations and fluxes of natural (^{210}Po , ^{210}Pb) and anthropogenic ($^{239,240}\text{Pu}$, ^{137}Cs) radionuclides in the Strait of Gibraltar (Spain), *Journal of Environmental Radioactivity*, 62 (3), 241-262.

Geldiay, R. ve Kocataş, A. , 2001, Deniz Biyolojisine Giriş, Ege Üniv., Fen Fakültesi Kitaplar Serisi, No: 31.

Germain, P., Leclerc, G., Simon, S., 1995, Transfer of polonium-210 into *Mytilus edulis* (L.) and *Fucus vesiculosus* (L.) from the Baie de Seine (Channel coast of France), *The Science the Total Environment*, 164, 109-123.

Güven, K. C. ve Öztürk, B., 2005, Deniz Kirliliği, Tüdev yayınları, No:21, İstanbul.

J.M. Godoy a,b,* , Monica S. de Oliveira a, 2008, “Po-210 concentration in *Perna perna* mussels: looking for radiation effects”, *Journal of Environmental Radioactivity* 99

Halldorsson H.P., Svavarsson, J. and Granmo, A., 2005, The effect of pollution on scope for growth of the mussel (*Mytilus edulis* L.) in Iceland, *Marine Environmental Research*, 59, 47-64.

Hakan Günel, Tuncay Kınacıgil__Dondurulmuş midyenin (*Mytilus galloprovincialis*, Larmarck,1819) farklı yöntemlerle çözündürülmesi sırasında meydana gelen kalite değişimleri.

Hannelore Waskaa, Seolwon Kima, Guebuem Kima, 2008, Mi Ran Kangb, Gi Beum Kimb, Distribution patterns of chalcogens (S, Se, Te, and ^{210}Po) in various tissues of a squid, *Todarodes pacificus*, Science of the total environment

<http://www.forumacil.com/ekoloji-ve-cevre-sorunlari/127294-deniz-kirliligi-ve-nedenleri-deniz-kirliligi-ile-ilgili-.html>

http://www.yesilkutu.net/dyn_files/news/25.pdf

<http://www.hidrojeoloji.net/otrifikasyon.html>

http://www.genetikbilimi.com/gen/serbest_radikaller.htm

<http://www.kimyaevi.org/elementler>.

IAEA, 1995, Sources of radioactivity in the marine environment and their relative contributions to overall dose assessment from marine radioactivity (MRA DOS). IAEA-TECDOC-838. International Atomic Energy Agency.

IAEA, 2006, ^{210}Po and ^{210}Pb in marine ecosystem of Aegean Sea Turkish Coast, IAEA- Research Contract No: 302-K4.00.24-TUR-12641, B5-TUR-31834.

Ito, T., Aramaki, T., Kitamura, T., Otosaka, S., Suzuki, T., Towaga, O., Kobayashi, T., Senju, T., Chaykovskaya, E. L., Karasev, E.V., Lishavskaya, T.S., Novichkov, V.P., Tkalin, A.V., Shcherbinin, A.F., Volkov, Y.N., 2003, Anthropogenic radionuclides in the Japan Sea: their distributions and transport processes, Journal of Environmental Radioactivity, 68, 249–267

- Kamalı Uğur, A.**, 1999, Samsun-Ordu kıyı şeridinde deniz kirliliğinin incelenmesi ve kirlilik birikiminin midye örneğinde araştırılması, Ondokuz Mayıs Üniv. Fen Bil. Ens, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Kim, Y. H., Narita, H., Noriki, S., Tsunogai, S.**, 1997, Export of particulate matter from Tokyo Bay studied with radiochemical tracer, ^{210}Po and ^{210}Pb , Journal of Oceanography, 53, 517-527.
- Kocataş, A. ve Bilecik, N.**, 1992, Ege Denizi ve Canlı Kaynakları, Su Ürünleri Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Bodrum.
- Küçüksezgin, F., Altay, O., Uluturhan, H., Konaş, A.**, 2001, Trace metal and organochlorine residue levels in Red Mullet (*Mullus Barbatus*) from the Eastern Aegean , Turkey, Wat. Res., Vol. 35, No. 9, pp. 2327–2332.
- Küçüksezgin, F., Uluturhan, H., Konaş, A., Altay, O.**, 2002, Trace metal concentrations in edible fishes from İzmir Bay, Eastern Aegean, Marine Pollution Bulletin, 44, 816-832.
- Küçüksezgin, F., Konaş, A., Altay, O., Uluturhan, H., Darılmaz, E.**, 2006, Assessment of marine pollution in Izmir Bay: Nutrient, heavy metal and total hydrocarbon concentrations, Environment International, 32, 41 – 51.
- Livingston, H.D. and Povinec, P. P.**, 2000, Antropogenic marine radioactivity, Ocean&Coastal Management, 43, 689-712.
- Lök, A.**, 2001, İskele-Urta'da (İzmir Körfezi) kültüre alınan farklı boy gruplarındaki midyelerin (*Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819) büyüme oranları, Ege Üniv., Su Ürünleri Dergisi, Cilt 18, Sayı 1-2, 141-147.
- Luengen, A.C., Friedman, C. S., Raimondi, P. T., Russell Flegal, A.**, 2004, Evaluation of mussel immune responses as indicators of contamination in San Francisco Bay, Marine Environmental Research, 57 (3), 197-212.

- Mat Çatal, E.**, 2006, Ege Bölgesi'nde en çok tüketilen balık türlerinde radyoaktif polonyum düzeyinin ve yıllık gıda dozuna katkısının araştırılması, Ege Üniv., Fen Bil. Ens., Nükleer Bilimler Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- McDonald, P., Baxter, M. S. and Scott, E. M.**, 1996. Technological enhancement of natural radionuclides in the marine environment. J.Environ. Radioactivity, 32 (1-2), 67-90.
- Saçan, S.**, 2004, İzmir Körfezi yüzey sedimentlerinde ve kara midye (*Mytilus galloprovincialis* L.1758)'de ^{210}Pb ve ^{210}Po birikiminin periyodik araştırılması, Ege Üniv., Fen Bil. Ens., Nükleer Bilimler Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Saito, R. T. and Cunha, I. I. L.**, 1997, Analysis of ^{210}Po in marine samples, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Vol. 220, No. 1, 117-119.
- Shahul Hameed, P., Shahul Hameed, M. M., Ravikumar, S., Masilamani, V.**, 2001, A comparative study on the distribution of polonium-210 in the ecosystem of Athangarai estuary (Palk Strait) and Punnaikayal estuary (Gulf Mannar), Proc. Nat. Sem. Atom. Energ. Ecol. Environ., Jamal Ohamed College, Trichy, 135-142.
- Steven D. Aust, Lee A. Morehouse, Craig E. Thomas**, 1985, Role of metals in oxygen radical reactions Journal of Free Radicals in Biology & Medicine, Volume 1, Issue 1, Pages 3-25
- 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.
- Strezov, A., Milanov, M., Mishev, P., Stoilova, T.**, 1998, Radionuclide accumulation in near-shore sediments along the Bulgarian Black Sea Coast, Appl. Radiat. Isot., Vol. 49, No. 12, 1721-1728.

- Su, C. -C. and Huh, C. A,** 2002, Atmospheric ^{210}Po anomaly as a precursor of volcano eruptions, *Geophysical Research Letters*, 29 (5), 1070.
- Sunlu, U.,** 1994, S.Ü.F.A. (Homa) Dalyanı ve Ege Denizi'nin farklı bölgelerindeki kirlenme durumu ile bazı ekonomik balık türlerinde ağır metal düzeylerinin araştırılması, *Ege Üniv., Fen Bil. Ens., Su Ürünleri Anabilim Dalı, Doktora tezi.*
- Sunlu, U., Egemen, O. ve Kaymakçı, A.,** 1998, Trace Metals in Mediterranean Mussel *Mytilus galloprovincialis* (L. 1758) and in Surficial Sediments from Urla-İskele, Izmir- Turkey, *International Symposium on Marine Pollution Extended Synopsis*, 5–9 October – Monaco, 645–646.
- Sunlu, U.,** 2006, Trace metal levels in mussels (*Mytilus galloprovincialis* L. 1758) from Turkish Aegean Sea Coast, *Environmental Monitoring and Assessment*, 114, 273 – 286.
- Tatar, E.,** 2007, İzmir Orta Körfezdeki planktonik organizmalarda ^{210}Pb ve ^{210}Po düzeylerinin aylık değişimlerinin incelenmesi, *Ege Üniv., Fen Bil. Ens., Yüksek Lisans Tezi.*
- Tateta, Y., Carvalho, F. P., Fowler, S. W., Miquel, J.-C.,** 2003, Fractionation of ^{210}Po and ^{210}Pb in coastal waters of the NW Mediterranean continental margin, *Continental Shelf Research*, 23, 295–316.
- Tateda, Y. And Iwao, K.,** 2008, High ^{210}Po atmospheric deposition flux in the subtropical coastal area of Japan, *Journal of Environmental Radioactivity*, 99, 98-108.
- Topçuoğlu, S. and Güngör, N.,** 1999, Radionuclide concentrations in macroalgae and sediment samples from the Bosphorus, *Turkish J. Marine Sciences*, 5, 19-24.

- Topçuoğlu, S., Güngör, N., Kırbaşoğlu, Ç.,** 2000, Marmara Denizi'nin radyoaktif kirlilik boyutu, Marmara Denizi 2000 Sempozyumu yayını, 556-561.
- Topçuoğlu, S.,** 2000, Black Sea ecology pollution research in Turkey of the marine environment, IAEA Bulletin, 42/4, 12-14.
- Topçuoğlu, S.,** 2001, Sources and distribution of anthropogenic radionuclides in Marmara Sea environment, Turkish J. Marine Sciences, 7, 143-152.
- 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, Ege Üniv., Fen Bil. Ens., Nükleer Bilimler, Anabilim Dalı, Doktora Tezi.
- Uğur, A., Yener, G. and Başsarı, A.,** 2002, Trace metals and ^{210}Po (^{210}Pb) concentrations in mussels (*Mytilus galloprovincialis*) consumed at western Anatolia, Applied Radiation and Isotopes, 57(4), 565-571.
- Uğur, A., Yener, G., Aközcan, S., Sunlu, U.,** 2004, ^{210}Po in mussels (*Mytilus galloprovincialis* L.1758) and sediments at Aegean Sea Turkish coast using alpha spectroscopy, International Conference on Isotopes in Environmental Studies-Aquatic Forum, Monte-Carlo, Monaco, IAEA-CN-118/13.
- Uğur, A., Yener, G., Aközcan, S., Özden, B., İçhedef, M., Gönülalan, F., Mat Çatal, E.,** 2006, ^{210}Po in The Turkish Coast of The Aegean Sea Ecosystem, The Fourth Eurasian Conference "Nuclear Science and its Application" 31 October-03November, Baku/Azerbaijan.
- Uğur, A., Yener, G., Aközcan, S., Mat Çatal, E., Gönülalan, F., Özden, B., İçhedef, M.,** 2007, ^{210}Po and ^{210}Pb in The Turkish Coast of The Aegean Sea Ecosystem, 38th CIESM Congress-İstanbul, Turkey.

- Waska, H., Kim, S., Kim, G., Kang, M. R., Kim, G. B.,** 2008, Distribution patterns of chalcogens (S, Se, Te, and ^{210}Po) in various tissues of a squid, *Todarodes pacificus*, *Science of Total Environment*, 392, 218-224.
- Wildgust, M. A., McDonald, P. and White, K. N.,** 1998, Temporal changes of ^{210}Po in temperate coastal waters, *The Science of the Total Env.*, 214, 1-10.
- Wildgust, M. A. and McDonald, P.,** 2000, Assimilation of ^{210}Po by the *Mytilus edulis* from the alga *Isochrysis galbana*, *Marine Biology*, 136, 49-53.
- Yılmaz, N.,** 1989, Doğu Karadeniz Midyelerinin (*Mytilus galloprovincialis* Lamarck) bazı biyo-ekolojik özellikleri ve biyokimyasal yönden araştırılması, Karadeniz Teknik Üniv., Fen Bil. Ens., Biyoloji Anablim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.

ÖZGEÇMİŞ

25 Eylül 1983’de Bursa’de doğdu. İlköğrenimini 1997 yılında Çiftlikköy İlköğretim Okulu’nda ve lise öğrenimini 2001 yılında Yalova Yabancı Dil Ağırlıklı Lisesi’nde tamamladı. 2007’de Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü’nden mezun oldu. Aynı yıl Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü, Nükleer Bilimler Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans eğitimine başladı. Halen Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü Nükleer Bilimler Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans öğrencisidir.