



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BESİN HİJYENİ VE TEKNOLOJİSİ
ANABİLİM DALI



**GEMLİK KÖRFEZİNDEN AVLANAN BAZI DENİZ ÜRÜNLERİNİN
KAS DOKUSUNDAKİ AĞIR METAL KONTAMİNASYONUNUN
İNDÜKTİF EŞLEŞMİŞ PLAZMA-OPTİK EMİSYON
SPEKTROMETRESİ (ICP-OES) METODUYLA BELİRLENMESİ**

UMUT ÇELİK

DOKTORA

BURSA-2017

UMUT ÇELİK

BESİN HİJYENİ VE TEKNOLOJİSİ ANABİLİM DALI DOKTORA TEZİ

2017



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BESİN HİJYENİ VE TEKNOLOJİSİ
ANABİLİM DALI



**GEMLİK KÖRFEZİNDEN AVLANAN BAZI DENİZ ÜRÜNLERİNİN
KAS DOKUSUNDAKİ AĞIR METAL KONTAMİNASYONUNUN
İNDÜKTİF EŞLEŞMİŞ PLAZMA-OPTİK EMİSYON
SPEKTROMETRESİ (ICP-OES) METODUYLA BELİRLENMESİ**

UMUT ÇELİK

(DOKTORA TEZİ)

DANIŞMAN:

Prof. Dr. Figen ÇETİNKAYA

BURSA-2017

T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK BEYANI

Doktora tezi olarak sunduğum “Gemlik Körfezinden Avlanan Bazı Deniz Ürünlerinin Kas Dokusundaki Ağır Metal Kontaminasyonunun İndüktif Eşleşmiş Plazma-Optik Emisyon Spektrometresi (ICP-OES) Metoduyla Belirlenmesi” adlı çalışmanın, proje safhasından sonuçlanmasına kadar geçen bütün süreçlerde bilimsel etik kurallarına uygun bir şekilde hazırlandığını ve yararlandığım eserlerin kaynaklar bölümünde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir ve beyan ederim.






Umut ÇELİK
03 Ocak 2017

İmza



SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ'NE

Veteriner Fakültesi Besin Hijyeni ve Teknolojisi Anabilim Dalı Doktora öğrencisi Umut ÇELİK tarafından hazırlanan "Gemlik Körfezinden Avlanan Bazı Deniz Ürünlerinin Kas Dokusundaki Ağır Metal Kontaminasyonunun İndüktif Eşleşmiş Plazma-Optik Emisyon Spektrometresi (ICP-OES) Metoduyla Belirlenmesi" konulu doktora tezi 10 / 02 / 2017 günü,-..... saatleri arasında yapılan tez savunma sınavında jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

	<u>Adı-Soyadı</u>	<u>İmza</u>
Tez Danışmanı	Prof. Dr. Figen GETİNKAYA	
Üye	Prof. Dr. ELE SOYUTEMİZ	
Üye	Prof. Dr. Ali AYDIN	
Üye	Prof. Dr. Mehmet ELMALI	
Üye	Doç. Dr. Özden GÖBAĞOĞLU	

Bu tez Enstitü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı toplantısında alınan numaralı kararı ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Gülşah ÇEÇENER
Enstitü Müdürü

TEZ KONTROL ve BEYAN FORMU

Adı Soyadı: Umut ÇELİK

Anabilim Dalı: Besin Hijyeni ve Teknolojisi Anabilim Dalı

Tez Konusu: "Gemlik Körfezinden Avlanan Bazı Deniz Ürünlerinin Kas Dokusundaki Ağır Metal Kontaminasyonunun İndüktif Eşleşmiş Plazma-Optik Emisyon Spektrometresi (ICP-OES) Metoduyla Belirlenmesi"

<u>ÖZELLİKLER</u>	<u>UYGUNDUR</u>	<u>UYGUN DEĞİLDİR</u>	<u>AÇIKLAMA</u>
Tezin Boyutları	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Dış Kapak Sayfası	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
İç Kapak Sayfası	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Kabul Onay Sayfası	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Sayfa Düzeni	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
İçindekiler Sayfası	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Yazı Karakteri	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Satır Aralıkları	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Başlıklar	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Sayfa Numaraları	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Eklerin Yerleştirilmesi	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Tabloların Yerleştirilmesi	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Kaynaklar	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

DANIŞMAN ONAYI

Unvanı Adı Soyadı: Prof. Dr. Figen ÇETİNKAYA

İmza:

İÇİNDEKİLER

DIŞ KAPAK	
İÇ KAPAK	
ETİK BEYAN.....	II
KABUL ONAY	III
TEZ KONTROL BEYAN FORMU	IV
İÇİNDEKİLER	V
TÜRKÇE ÖZET	VII
İNGİLİZCE ÖZET	VIII
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	4
2.1. AĞIR METALLER.....	4
2.1.1. Demir (Fe)	4
2.1.2. Çinko (Zn).....	5
2.1.3. Alüminyum (Al).....	6
2.1.4. Kadmiyum (Cd)	6
2.1.5. Bakır (Cu)	7
2.1.6. Arsenik (As).....	8
2.1.7. Kurşun (Pb).....	9
2.1.8. Nikel (Ni)	9
2.1.9. Kobalt (Co)	10
2.1.10. Krom (Cr).....	10
2.1.11. Mangan (Mn)	11
2.1.12. Civa (Hg).....	11
2.2. BALIKLARIN İNSAN BESLENMESİNDEKİ ÖNEMİ	12
2.3. BALIK TÜKETİMİNİN İNSAN SAĞLIĞINA ETKİLERİ	13
2.4. İZ ELEMENT KAYNAĞI OLARAK BALIKLAR.....	14
2.5. AĞIR METALLERİN DENİZ ÜRÜNLERİNDE BİRİKİM YOLLARI VE MEKANİZMASI	17
2.6. AĞIR METALLERİN BALIKLARIN BÜYÜME VE GELİŞİMLERİNE ETKİLERİ.....	18
2.7. GEMLİK KÖRFEZİ	19
2.8. GEMLİK KÖRFEZİNDE SIKLIKLA AVLANAN SU ÜRÜNLERİ VE ÖZELLİKLERİ.....	21
2.8.1. KARİDES (PARAPENAEUS LONGIROSTRIS)	21
2.8.2. İSTAVRİT BALIĞI (TRACHURUS MEDİTERRANEUS)	21
2.8.3. DİL BALIĞI (SOLEA SOLEA)	22
2.8.4. BARBUN BALIĞI (MULLUS BARBATUS)	23
3. GEREÇ ve YÖNTEM	24
3.1. GEREÇ.....	24
3.1.1. BALIK ÖRNEKLERİ.....	24
3.1.2. ÖRNEKLERİN HAZIRLANMASI.....	24
3.2. YÖNTEM.....	26
3.2.1. ICP-OES CİHAZININ KALİBRASYONU VE DOĞRULAMA	27
3.2.2. İSTATİSTİKSEL ANALİZLER.....	28
4. BULGULAR.....	29
4.1. Demir (Fe)	29

4.2. Çinko (Zn).....	31
4.3. Alüminyum (Al).....	31
4.4. Kadmiyum (Cd)	32
4.5. Bakır (Cu)	32
4.6. Arsenik (As).....	33
4.7. Kurşun (Pb).....	33
4.8. Nikel (Ni)	34
4.9. Kobalt (Co)	34
4.10. Krom (Cr).....	34
4.11. Mangan (Mn)	35
4.12. Civa (Hg).....	35
5. TARTIŞMA ve SONUÇ.....	40
5.1. TARTIŞMA	40
5.1.1. Demir (Fe).....	40
5.1.2. Çinko (Zn).....	40
5.1.3. Alüminyum (Al).....	41
5.1.4. Kadmiyum (Cd)	42
5.1.5. Bakır (Cu)	43
5.1.6. Arsenik (As).....	44
5.1.7. Kurşun (Pb).....	44
5.1.8. Nikel (Ni)	45
5.1.9. Kobalt (Co)	46
5.1.10. Krom (Cr).....	46
5.1.11. Mangan (Mn)	47
5.1.12. Civa (Hg).....	47
5.2. SONUÇ	48
6. KAYNAKLAR	50
7. TEŞEKKÜR.....	57
8. ÖZGEÇMİŞ	58

TÜRKÇE ÖZET

Bu tez çalışmasında, Ocak-Haziran 2013 tarihleri arasında Gemlik Körfezi'nden avlanan karides, dil, istavrit ve barbun balıklarının kaslarında ağır metal birikiminin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla her tür için aylık 10 adet olmak üzere 6 ay süresince 240 adet deniz ürünü incelenmiştir. Örneklerin analize hazırlanması amacıyla yaş yakma yöntemi kullanılmıştır. Hazırlanan örneklerin ağır metal içerikleri, Plazma Kaynaklı Emisyon Spektrometre (ICP-OES) cihazı kullanılarak ölçülmüştür.

Tüm verilerin ortalaması incelendiğinde Cd, Cu, Zn, Co, Mn, Al, As karideslerde sırasıyla 1,445 mg/kg, 9,673 mg/kg, 40,932 mg/kg, 1,111 mg/kg, 1,482 mg/kg, 17,978 mg/kg ve 1,868 mg/kg; Pb, Fe, Ni ve Hg barbun örneklerinde sırasıyla 0,260 mg/kg, 23,980 mg/kg, 0,220 mg/kg ve 0,260 mg/kg; Cr dil balığı örneklerinde 0,640 mg/kg olmak üzere en yüksek düzeyde tespit edilmiştir. Örnek türlerinin her bir aya ait analiz sonuçları değerlendirildiğinde ise; karideslerde Haziran ayında Cd, Cu, Fe, Zn, Ni, Mn, Mayısta Al ve Martta As için; barbun balıklarında Şubat ayında Pb ve Haziranda Co için; dil balıklarında ise Mart ayında Hg ve Cr için en yüksek değerler alınmıştır.

As, Cu, Mg, Zn'nin karideslerde tespit edilen yüksek değerleri ile Cd, Fe, Zn'nin istavritlerde belirlenen düşük değerleri diğer türlere göre istatistiksel olarak farklılık göstermiştir. Dil ve barbun örneklerinde Cr düzeyinin, istavritteki değerlerle karşılaştırıldığında istatistiki olarak anlamlı biçimde daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Bu durum göstermiştir ki; demersal türlerden olan barbun ve dil balıkları ile karides örneklerinde ağır metal birikimi istavrit balıklarına göre daha fazladır.

Mevcut tez çalışmasında ağır metallere Cd'nin dil ve barbun balıkları ile karideslerde; Pb'nin barbun ve dil balıklarında ve Hg'nin dil balığı örneklerinde Türk Gıda Kodeksi tarafından belirlenen yasal limitlerin üzerinde olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Gemlik Körfezi, ağır metal, karides, balık, ICP-OES

ABSTRACT

Determination of heavy metal contamination in muscle tissue of seafood caught in the Gulf of Gemlik by inductively coupled plasma-optical emission spectrometry (ICP-OES).

In this PhD thesis study it is aimed to determine the accumulation of heavy metals in muscles of shrimp, sole, mackerel and red mullet caught between January-June 2013, in Gulf of Gemlik. For this reason 240 samples of fisheries were studied through 6 months, 10 samples per month for each species. Wet-ashing method was applied to the samples for analysis. The heavy metal content of samples were measured by Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy (ICP-OES) device.

When the all data means were analysed, the highest levels in shrimps Cd, Cu, Zn, Co, Mn, Al, As means were determined as 1,445 mg/kg, 9,673 mg/kg, 40,932 mg/kg, 1,111 mg/kg, 1,482 mg/kg, 17,978 mg/kg and 1,868 mg/kg; in red mullet samples Pb, Fe, Ni and Hg 0,260 mg/kg, 23,980 mg/kg, 0,220 mg/kg and 0,260 mg/kg; in sole samples Cr 0,640 mg/kg respectively. When the sample species analysis results were evaluated for each months the highest values were obtained: in shrimps in June for Cd, Cu, Fe, Zn, Ni, Mn, in May Al, and in March As; in red mullets in February for Pb, and in June for Co; in sole in March for Hg and Cr.

In shrimps the highest values of As, Cu, Mg, Zn and the lowest values of Cd, Fe, Zn in mackerel showed statistical difference according to the other species. Cr levels of sole and red mullet samples were significantly higher when compared with the values of mackerel. This showed that in red mullet and sole which are demersal species and in shrimp samples heavy metal accumulation were more than analysed in mackerel.

In this PhD thesis study it was determined that as an heavy metal Cd in sole, red mullet and shrimps; Pb in red mullet and sole and Hg in sole were above the legal limits which were determined by Turkish Food Codex.

KeyWords: Gemlik Gulf, heavy metal, shrimp, fish, ICP-OES

1. GİRİŞ

Günümüzün en önemli sorunlarından biri, sürekli artan dünya nüfusunun beslenmesi için gerekli gıda kaynaklarının sağlanması ve korunmasıdır. Çevre kirliliğine paralel olarak, gıda kaynakları da kirlenmekte ve insanlar için önemli sağlık sorunları oluşturabilmektedir. Endüstrinin ve tarımın hızla gelişmesi; ırmakların, göllerin ve denizlerin ağır metallerle kirlenmesine yol açmış ve bu kirlilik ekolojik çevreye, omurgasızlara, balıklara ve insanlara önemli zararlar vermiştir. Biyolojik olarak gıdalarda ağır metal birikimi, insan sağlığı açısından ve ekosistemin devamı için önemli bir yer teşkil etmektedir (Djedjibegovic ve ark., 2012; Duran ve ark., 2014; Erdoğan ve Ateş, 2006; Jaishankar ve ark., 2014 ve Yi ve Zhang, 2012).

Balıklar ve diğer deniz canlıları, besin zincirinin sonunda yer alan insanların beslenmesi için önemli bir besin kaynağıdır. Balıkların özellikle kasları insanlar tarafından bolca tüketilmekte ve bir araştırmaya göre de dünya genelinde yakalanan balıkların % 75'i insan beslenmesinde kullanılmaktadır (Ersoy ve Çelik, 2010). İnsanların sosyo-ekonomik yapısı, yemek kültürü ve yöresel alışkanlıklar, balık ve deniz ürünleri tüketiminin yüksek oranda seyretmesine neden olmaktadır (Kalyoncu ve ark., 2012). Başka bir araştırmaya göre ise dünyadaki toplam insan gıdasının % 10'luk bir oranını balık ve diğer deniz ürünleri oluşturmaktadır (Castro-Gonzales ve Mendez-Armenta, 2008).

Son yıllarda yapılan araştırmalarda deniz ürünleri tüketiminin insan sağlığına olumlu katkıları bulunduğu vurgulanmıştır. Omega-3 yağ asitleri içermesinin yanı sıra diğer besin maddelerinden de zengin olması, balık tüketiminin artmasına yol açmıştır (Akbulut ve Akbulut, 2010 ve Ersoy ve Çelik, 2010). Bazı araştırmalarda balık tüketiminin kan trigliserid seviyesini ve yüksek tansiyonu düşürdüğü bildirilmiştir. Düzenli olarak balık tüketme alışkanlığı olan insanlarda sürekli omega-3 alımına bağlı olarak kalp krizi ve ani ölüm riskinin azaldığı rapor edilmiştir (Djedjibegovic ve ark., 2012; Duran ve ark., 2014; Jaishankar ve ark., 2014 ve Petkovsek ve ark., 2012).

Çevrede, denizlerin ve akarsuların kirlenmesine neden olan birçok toksik ağır metal bulunmaktadır. Ekolojik dengeyi bozan ağır metallerin başlıca kaynakları; tarımsal drenaj, fabrika atıkları, kanalizasyon akıntıları, kimyasal akıntıların sulara karışması, deniz taşıtlarından kaynaklı petrol akıntıları, bazı organik maddeler, yağlar, tarımsal gübreler, fosil yakıtlar, pestisitler ve çeşitli kimyasallardır (Ahmad ve ark., 2015; Erdoğan ve Ateş, 2006; Duran ve ark., 2014; Subotic ve ark., 2013 ve Velusamy ve ark., 2014). Birçok kimyasal madde ve ağır metaller sucul ekosistemde birikerek deniz, göl ve akarsuları kirletmektedir. Buna bağlı olarak toksik metallerin akuatik konsantrasyonu artmakta ve suyun taşıyıcı ve çözücü özelliklerinden dolayı daha uzak noktalara taşınabilmektedir (Alhas ve ark., 2009 ve Özan ve Kir, 2008). Akarsularla birlikte deniz ve göllere taşınan ağır metaller çoğunlukla dibe çökmekte, zaman zaman sudaki hareketlenmelere bağlı olarak tekrar su yüzeyine yakın bölgelere ulaşabilmektedir.

Deniz ekosisteminde yaşayan canlılar, sudaki ağır metaller ve toksik maddeler açısından önemli biyoindikatörler olarak kabul edilmektedir. Bunun nedeni sudaki ağır metallerin deniz canlılarının biyolojisini ve metabolizmasını doğrudan etkilemesi ve bu canlıların ağır metalleri sindirim sisteminde, derisinde, kabuklarında, karaciğerlerinde ve az miktarda da olsa kaslarında sürekli olarak depolamasıdır (Djedjibegovic ve ark., 2012; Morgano ve ark., 2011; Subotic ve ark., 2013 ve Velusamy ve ark., 2014).

Metallerin bazıları (Fe, Cu, Co, Ni vb.) hayvanlar ve insanlar için esansiyel bir element özelliği taşımakta, vücutta yetersiz düzeyde bulunduğu çeşitli sağlık problemlerine ve gelişim geriliklerine yol açmaktadır. Organizmada aşırı miktarlarda biriken iz elementler esansiyel metaller olsa bile, özellikle karaciğerde toksik etkiler oluşturmaktadır (Ahmad ve ark., 2015 ve Guerin ve ark., 2011). Ağır metaller insanlarda olduğu gibi balıkların metabolizması üzerine de toksik etki oluşturarak balıkların sağlıklarını olumsuz etkilemektedir (Visnjic-Jeftic ve ark., 2010). Denizde yaşayan ve insanlar tarafından tüketilen canlıların vücudundaki su, yağ, protein ve toksin/ağır metal oranı; balığın sağlığı ve fizyolojik durumu açısından önemli belirteçlerdir (Özan ve Kir, 2008). Farklı ekolojik koşullarda yaşayan fakat aynı türe ait balıkların vücut bileşimi; yaşadıkları suyun kalitesine, pH'sına, sıcaklığına,

derinliğine, beslenme şekline, olgunluk durumuna ve balıkların tutulduğu döneme göre değişiklik göstermektedir (Duran ve ark., 2014).

Akarsularda, denizlerde ve göllerde biriken ağır metaller besin zinciri yoluyla insanlara kadar ulaşabilmektedir (Alhas ve ark., 2009 ve Erdoğan ve Ateş, 2006). Bu durumda deniz ürünlerinin sağlığa uygun olup olmadığını belirleyebilmek için hem sularda hem de deniz canlılarında ağır metal seviyesinin rutin takibi zorunlu hale gelmiştir (Soliman ve ark., 2015).

Bu çalışma ile Gemlik Körfezi'nde avlanan dil balığı (*Solea solea*), barbun (*Mullus barbatus*), istavrit (*Trachurus mediterraneus*) ve deniz kabuklularından karides (*Parapenaeus longirostris*) türlerinin kas dokusundaki ağır metal (Pb, Cd, Cu, Fe, Zn, Cr, Ni, Co, Mn, Al, As ve Hg) varlığı ve seviyelerinin balık sezonu boyunca "İndüktif Eşleşmiş Plazma-Optik Emisyon Spektrometresi (ICP-OES) Metodu" ile incelenerek, insani tüketim açısından uygun olup olmadıklarının ortaya konulması amaçlanmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Ağır Metaller

“Ağır metal” terimi, dansitesi yüksek olan ya da düşük dansiteli bile olsa toksik veya zehirli elementleri ifade etmektedir (Kalyoncu ve ark., 2012). Fiziksel olarak ise, yoğunluğu 5 g/cm^3 'ten daha yüksek olan metaller ağır metaller olarak adlandırılmaktadır (Jaishankar ve ark., 2014 ve Türkmen ve ark., 2008). Ağır metallerden en önemlileri Pb, Cd, Cr, Fe, Co, Cu, Ni, Hg ve Zn olup bu grupta 60'tan fazla metal bulunmaktadır (Bakar ve Baba, 2009 ve Kalyoncu ve ark., 2012). Ağır metaller suda yaşayan canlılarda yapısal ve metabolik bozukluklara yol açabilir. Bu maddeler doğal dengeyi olumsuz yönde etkilemektedir. Son yıllarda teknolojinin ve sanayinin gelişimiyle birlikte fabrika atıklarının artışı ve bu atık maddelerin denizlere boşaltılması, denizlerin kirlenmesine neden olmuştur (Shinn ve ark., 2009). Ayrıca ağır metaller su kaynaklarına; endüstriyel atıklar veya asit yağmurlarının, toprağı ve dolayısı ile bileşiminde bulunan ağır metalleri çözmesi sonucunda çözünen ağır metallerin ırmak, göl ve yeraltı sularına ulaşmasıyla da karışabilirler (Kahvecioğlu ve ark., 2003; Uysal ve ark., 2009 ve Younis ve ark., 2015).

2.1.1. Demir (Fe)

Demir, yer kabuğunda en çok bulunan ikinci elementtir. Organizmanın gelişmesi ve büyümesinde önemli fonksiyonları mevcuttur. Enzimlerin, hemoglobinin ve myoglobinin gibi oksijen taşıyıcı proteinlerin yapısına katılır. Bunun yanı sıra balıkların karaciğerinde hemosiderin ve ferritinin bileşiminde de rol alır (Erdoğan ve Erbilir, 2007 ve Medeiros ve ark., 2012). Biyolojik sıvılarla ve gıdalarla fazla miktarda Fe'in vücuda girişi büyük ölçüde serbest radikallerin oluşmasına ve bunların da proteinlere bağlanmasına neden olur (Soliman ve ark., 2015). Dolaşımdaki Fe'in fazlası gastrointestinal kanalda ve biyolojik sıvılarda korozif etkiler yapar. Bu serbest Fe kalp hücrelerinin, karaciğer ve beyin hücrelerinin içine penetre olur. Serbest Fe tarafından oksidatif fosforilasyonun engellenmesi sonucunda hidrojen iyonları salınmaya başlar ve bu da metabolik asidoza yol açar. Karaciğerin

hemopoetik fonksiyonu ve bu organda yoğun bir kan dolaşımının olması Fe'in karaciğerde daha fazla birikmesine neden olmaktadır (Usero ve ark., 2003). Fe'in hücreler üzerine toksisitesi, lizozom ve mitokondri gibi hücre içi organeller üzerinde toksik etki yapması ve oksitlenme meydana getirmesinden ileri gelmektedir. Aşırı miktarda Fe tüketiminin serbest radikalleri arttırdığı ve bunların da potansiyel olarak hücre hasarına neden olduğu bildirilmiştir. Fe kaynaklı serbest radikaller DNA'ya saldırarak, mutasyon ve malignant dönüşümlere neden olur (Vural, 1993). Çocuklar demir toksikasyonuna oldukça duyarlıdır. Gelişmiş ve çok miktarda et tüketen ülkelerde yoğun Fe tüketimi ciddi bir problemdir ve kanser riskini arttırmaktadır. Dolayısıyla akciğer kanserinin en önemli etkenlerinden biridir. Serbest intraselüler Fe, DNA hasarına da yol açabilir. DNA moleküllerinin oksidasyonu ile kanser başlangıcı ortaya çıkabilir (Jaishankar ve ark., 2014).

2.1.2. Çinko (Zn)

Çinko endüstride Fe, Cu ve Al'dan sonra en çok kullanılan metaldir. Galvenize çelik ve pirinç gibi alaşımların yapısına katılmasının yanı sıra pil, boya ve kozmetik sektöründe de geniş bir kullanım alanına sahiptir. Hem hayvansal hem de bitkisel gıdalarda; özellikle deniz ürünleri, et ve baklagillerde az miktarda da olsa Zn bulunur. İmmun sistemi de olumlu yönde etkilediği bilinen Zn'nun belli dozlarda gıdalarla alınmasının soğukalgınlığını önlediği ileri sürülmüştür (Medeiros ve ark., 2012 ve Shinn ve ark., 2009). Normal koşullarda Zn yaşam için gerekli bir iz element olup protein sentezinde görevlidir ve bazı enzimlerin fonksiyonunda önemli bir rol oynamaktadır (Ahmad ve ark., 2015). Zn yetersizliği durumunda çocuklarda gelişim bozuklukları ortaya çıkmaktadır. Ancak gıdalarla fazla miktarda Zn alınması Fe ve Cu gibi elementlerin emilimini engelleyebilmektedir (Shinn ve ark., 2009). Aşırı miktarda Zn alındığında toksik etkiler gözlenebilmektedir. Galvenizli yemek kaplarında ve içecek ambalajlarında yüksek oranda Zn bulunabilmektedir.

Çinko için ortalama alım düzeyi Avrupa'da erkek ve kadınlarda sırasıyla 13 mg/gün ve 9 mg/gün olarak bildirilmiştir. Amerika' da ise bu elementin tavsiye edilen günlük alım düzeyi erkeklerde 11 mg/gün ve kadınlarda 8 mg/gündür (EFSA, 2006).

2.1.3. Alüminyum (Al)

Alüminyum, yer kabuğunun yaklaşık % 8'ini oluşturmakta ve doğada alüminyum silikat formunda bulunmaktadır. Endüstriyel olarak başlıca kumaş boyacılığında, tabak yapımında, kozmetikte, ambalaj, çimento ve mürekkep üretiminde ve sert suların yumuşatılmasında kullanılmaktadır (Bakar ve Baba, 2009; Dökmeci ve ark., 2014). Al'un organizmaya girişi çoğunlukla sindirim yolu ile olmaktadır. Kontamine sular Al'u kolaylıkla taşıyabilmekte ve bu suların tüketimi sonucu Al sindirim sisteminden kan dolaşımına geçebilmektedir. Büyük bir kısmı böbreklerden atılan Al, kemik dokusunda ve akciğerlerde birikim yapmaktadır. Al'un en önemli toksik özelliği sinir sistemi üzerinedir. Alzheimer ve parkinson hastalığı ile ilişkili olduğu düşünülmektedir (Bakar ve Baba, 2009; Dökmeci ve ark., 2014 ve Medeiros ve ark., 2012).

2.1.4. Kadmiyum (Cd)

Kadmiyum, sıkça rastlanan yüksek toksisitede bir elementtir. Çok düşük konsantrasyonları bile hücreler için toksik etki meydana getirebilmektedir (Djedjibegovic ve ark., 2012; Duran ve ark., 2014 ve Erol, 2007). Cd genellikle sanayide PVC ürünlerinde renk pigmenti, tekrar şarj edilebilir pillerde Ni ile birlikte kullanılabilirdiği gibi, birçok metalde korozyonu engelleyici olarak da kullanılmaktadır. 20. yy.'da dünya çapında Cd kullanımı dramatik olarak artmış ve Cd içeren ürünler nadiren geri dönüşüme gönderilmiştir. İnsanlarda ise Cd'un vücuda alımı çoğunlukla sigara tüketimi ile olmaktadır. Sigara içen bireylerde içmeyenlere göre Cd oranın 4-5 kat daha fazla olduğu ortaya konulmuştur (Jarup, 2003). Sigara içmeyen toplumlarda ise Cd vücuda çoğunlukla besinler (lifli sebzeler, tahıllar, meyveler, et, balık vb.) yoluyla girmektedir. Cd'un insanlarda yarılanma ömrü 17-30 yıl arasında değişkenlik göstermektedir (Castro-Gonzales ve Mendez Armenta, 2008 ve Erol, 2007). Bayanlarda erkeklere göre enerji tüketimi daha düşük olduğu için vücutta Cd birikim oranı daha düşüktür. Üriner sistem yoluyla vücuttan atılan Cd'un kandaki konsantrasyonu sigara içen bireylerde daha fazladır ve bu nedenle önemli ölçülerde böbrek hasarına yol açabilmektedir (Kahvecioğlu ve ark., 2003). Uzun süreli maruz kalma durumlarında iskelet sistemine hasar verebilir. Osteomalazi ve osteoporozise de yol açtığı bildirilmiştir. Hayvan deneylerinde ise kardiyovasküler

hastalıkların oluşmasında bir risk faktörü olduğu ileri sürülmüştür (Erol, 2007 ve Yaman ve ark., 2013). Fakat insanlarda böyle bir durum gözlenmemiştir. İnsanlarda akciğer kanseri, koroner arter hastalığı, akciğer amfizemi, prostat ve böbrek kanserleri ile ilişkili olabileceği bildirilmiştir. Yüksek dozda Cd'a maruz kalan insanlarda hepatopankreatik hasar meydana gelmektedir (Ahmad ve ark., 2015; Fraser ve ark., 2013 ve Yaman ve ark., 2013). Çocuklarda kan-beyin bariyerini daha kolay geçebildiği için merkezi sinir sistemi hasarları daha şiddetli olmaktadır (Castro-Gonzales ve Mendez-Armenta, 2008).

Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Yönetmeliği'ne (TGK, 2011) ve Avrupa Birliği (EU) Komisyonu'nun 1881/2006 no'lu düzenlemesine (European Commission, 2006) göre, maksimum Cd seviyesi dil ve istavrit balıklarında 0,1 mg/kg ve diğer balıklarda 0,05 mg/kg olarak; kabuklularda ise 0,5 mg/kg olarak belirtilmiştir.

2.1.5. Bakır (Cu)

Doğada en yaygın bulunan elementlerden bir diğeri de Cu'dur. Vücut için esansiyel bir elementtir. Kanda, enzimlerin yapısında ve pigmentlerde bulunur (Erdoğan ve Ateş, 2006 ve Yaman ve ark., 2013). Birçok gıdada yeterli miktarda Cu bulunduğu için insanlarda yetersizliğine genellikle rastlanmaz. Fazla miktarda alınması zehirlenmeye hatta ölüme neden olabilmektedir (Duran ve ark., 2014; Medeiros ve ark., 2012; Shinn ve ark., 2009 ve Yaman ve ark., 2013). Başlıca elektronik sektörü olmak üzere sanayinin birçok dalında Cu kullanılmaktadır. Bazı tarım ilaçlarının yapısında da bakır mevcuttur. Bakır kaplardan yiyeceklere özellikle karbonatlı ve asidik gıdalara bakır geçişi hızlı olmaktadır ve geçmişte bakır kapların kullanımı toksikasyon oranının daha yüksek olmasına neden olmuştur. Sindirim yolu ile vücuda alınan Cu; karaciğer, böbrek, kalp, beyin gibi organlarda ve kas dokusunda birikir (Duran ve ark., 2014; Medeiros ve ark., 2012 ve Visnjic-Jeftic ve ark., 2010). Fazla miktarda Cu alınması bu doku ve organlarda hasar meydana getirir, özellikle hepatik dejenerasyon meydana getirerek ölüme yol açabilir. Cu'nun hepatik dokuda yoğun olarak bulunan düşük molekül ağırlığındaki proteinlere (metallothionein benzeri proteinler) bağlanma eğilimi fazladır.

Bu durum Cu'nun karaciğer dokusunda daha fazla birikme nedenini açıklamaktadır (Ahmad ve ark., 2015 ve Usero ve ark., 2003).

Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (European Food Safety Authority, EFSA) tarafından yetişkin bireylerde Cu için tolere edilebilir günlük alım miktarı 0,9 mg/gün olarak rapor edilmiştir (EFSA, 2006).

2.1.6. Arsenik (As)

Yer altı ve içme sularında yüksek oranda bulunan ve deniz ürünlerinde de sıklıkla tolerans limitinin üzerinde tespit edilen As, insanlarda deri ve guatr kanserine neden olabileceği gibi genellikle karaciğer, kemik, deri ve tırnak dokusunda da birikebilmektedir. Karsinojenik etkiyi hücrelerde DNA'yı hasara uğratarak yapmakta ve embriyo üzerinde de toksik etki göstermektedir (Erol, 2007; Jaishankar ve ark., 2014 ve Medeiros ve ark., 2012). Kronik olarak As'e maruz kalan insanlarda deri lezyonları, cilt kanseri, mesane kanseri ve solunum sistemi kanserleri görülebilmekte, gastrointestinal, kardiyovasküler ve merkezi sinir sistemi hastalıklarına ve hatta ölüme yol açabilmektedir (Erol, 2007 ve Jarup, 2003). Akut As zehirlenmesinde ise bulantı, kusma, ishal, karaciğer ve böbrek hasarı, görme bozuklukları ve kas felçleri meydana gelebilir. İnsanların As'le kontaminasyonu; pestisit ilaçlar, sigara, kontamine yiyecekler ve ahşap kaplama malzemeleri ile temas sonucu olmaktadır (Bakar ve Baba, 2009 ve Djedjibegovic ve ark., 2012). İnorganik As, organik As'ten daha tehlikeli olup başlıca bulaşma kaynağı deniz ürünleridir. Karaciğer, dalak, böbrekler, sindirim sistemi organları ve solunum sistemine yerleştiği zaman kısa sürede elimine edilir; fakat keratin dokusuna yoğun ilgisi olduğu için saç, tırnak ve deride birikimi yoğundur (Erol, 2007). Bu nedenle insanlarda en sık gözlenen toksikasyon belirtileri; deri ve tırnaklarda aşınmalar, pigment artışı, dermatit ve nörolojik bozukluklardır (Bakar ve Baba, 2009; Güven ve ark., 2004). Ayrıca yapılan çalışmalarda As'in büyük bir kısmının et, balık ve tavukta birikim gösterdiği görülmüştür (Noel ve ark., 2013).

Arsenik için tolere edilebilir haftalık alım miktarı, Gıda Katkıları FAO/WHO Ortak Uzmanlar Komitesi (The Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, JECFA) tarafından 15 µg/kg olarak bildirilmiştir (JECFA, 2010).

2.1.7. Kurşun (Pb)

Kurşun doğada en sık karşılaşılan ağır metallere birisidir ve sanayide yoğun olarak kullanılması da sularda Pb konsantrasyonunun artışına yol açmıştır. Pb'un hem kendisi hem de diğer elementlerle oluşturduğu bileşikler toksik etkiler meydana getirmektedir. Son derece toksik bir metal olan Pb'un; Cu, Zn ve Mn gibi diğer ağır metallere tersine vücuda herhangi bir faydası bulunmamaktadır (Erol, 2007). Pb'un biyolojik işlemlerde bilinen bir fonksiyonu olmadığı gibi, esansiyel olmayan toksik metallere grubunda da yer almaktadır (Erdoğan ve Erbilir, 2007 ve Jaishankar ve ark., 2014). Pb endüstride boya hammadde olarak, araç akülerinde, benzin içerisinde, kozmetik sektöründe, kuyumculukta, insektisitlerde, su borularında yaygın bir kullanım alanına sahip olmuştur (Dökmeci ve ark., 2014 ve Yaman ve ark., 2013). Pb yoğunluğu yüksek olan topraklarda yetişen meyve ve sebzelerin tüketilmesiyle de insan vücudunda birikim meydana gelmektedir. Fabrika atıklarının denizlere bırakıldığı bölgelerde de su kontaminasyonu ve dolayısıyla deniz ürünlerinde Pb birikimi söz konusudur (Bakar ve Baba, 2009; Erol, 2007 ve Kalyoncu ve ark., 2012). Pb ile Ca arasında negatif bir etkileşim görülmekte ve diyetle düşük miktarda Ca alan bireylerde kan Pb seviyesi daha yüksek olmaktadır (Castro-Gonzales ve Mendez-Armenta, 2008 ve Erol, 2007). Pb, solunum ve sindirim sisteminin yanı sıra deriden de emilmektedir. Çoğunlukla akciğer ve mide kanserlerine yol açmaktadır (Jarup, 2003 ve Petkovsek ve ark., 2012). Pb zehirlenmesi durumunda insanlarda nörolojik dejenerasyonlar, ensefalitis, hipertansiyon, immunsupresyon, üreme fonksiyonlarında bozukluklar, körlük ve karsinogenik etkiler meydana gelmektedir (Ahmad ve ark., 2015; Erol, 2007; Jaishankar ve ark., 2014 ve Kahvecioğlu ve ark., 2003).

Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Yönetmeliği'ne (TGK, 2011) ve Avrupa Birliği (EU) Komisyonu'nun 1881/2006 no'lu düzenlemesine (European Commission, 2006) göre maksimum Pb seviyesi balıklarda 0,3 mg/kg ve kabuklularda 0,5 mg/kg olarak rapor edilmiştir.

2.1.8. Nikel (Ni)

Elektronik, çelik, pil ve gıda sektöründe kullanılan Ni'in en önemli kaynakları madenler, fırınlar ve rafineri atıklarıdır. Gıda üretimi esnasında çelik tencerelerden

ya da çelik kaplardan gıda maddelerine 0,13-0,22 mg/kg arasında değişen düzeyde Ni geçişi söz konusu olmaktadır. Gıda maddelerine uygulanan ısıl işlemler ise yiyeceklerdeki Ni konsantrasyonunu arttırıcı etki oluşturmaktadır (Duran ve ark., 2014). Tahılların öğütülmesi ve parçalanması Ni miktarını azaltırken, pişirme işlemi Ni miktarını arttırmaktadır (Ahmad ve ark., 2015 ve Yaman ve ark., 2013). Sindirim sistemi yoluyla vücuda alınan Ni'in büyük bir kısmı emilime uğramadan dışkı ile dışarı atılmakta, bir kısmı ise akciğer, bağırsak, deri gibi dokularda birikim yapabilmektedir. Ni birçok mekanizma vasıtasıyla tümör hücrelerinin çoğalmasını sağlamaktadır. Hücrelerarası iletişimin engellenmesi, fibroblast ve epitel hücrelerinin ölümü bu mekanizmalar arasında sayılabilir (Yaman ve ark., 2013). Rusya, İngiltere ve Japonya'da işçiler üzerinde yapılan çalışmalarda vücutta biriken Ni'in mide ve akciğer kanserine yakalanma riskini arttırdığı bildirilmiştir (Duran ve ark., 2014; Vural, 1993 ve Yaman ve ark., 2013).

2.1.9. Kobalt (Co)

Kobalt, doğada oldukça yaygın bulunan bir ağır metaldir. Endüstriyel olarak metal alaşımlarının sertleştirilmesi ve dayanıklı hale getirilmesi için kullanılmaktadır. İnsanlar tarafından Co alımı hava, su ve besinler yoluyla olmaktadır. Co iz elementlerden biri olup belirli ölçülerde gıdalarla birlikte alınmalıdır. Özellikle B₁₂ vitaminin üretiminde önemli rol oynamaktadır (Duran ve ark., 2014 ve Medeiros ve ark., 2012). Aşırı miktarda vücutta birikimi sağlık problemlerine yol açabilmektedir. Geçmişte biralarda kalıcı köpük oluşturulması için Co kullanılmış ve bu içeceği aşırı miktarda tüketen bireylerde kalp problemleri ve hatta kalp krizine bağlı ölümlere rastlanılmıştır. Fakat kesin olarak kalp krizine yol açtığı ispat edilemesede yine de Co kullanımına son verilmiştir (Alexander, 1972).

2.1.10. Krom (Cr)

Krom dünyada en çok bulunan yedinci elementtir. En sık görülen formları trivalan ve heksavalan form olup her ikisi de insanlar, hayvanlar ve bitkiler için toksiktir (Duran ve ark., 2014). Endüstriyel atıklar doğal sularda Cr'un birikimine neden olabilir ve insanlarda kan dolaşımına girdikten sonra çeşitli organlara dağılarak özellikle karaciğerde birikmektedir. Karaciğerde Cr, küçük peptidlere

bağlanmakta ve kanda Cr seviyesi düşmeye başlamaktadır. Akut ve kronik toksikasyonlar sonucu karaciğerde ve beyinde hiperglisemi ve glikogenolizis meydana gelmektedir (Ahmad ve ark., 2015 ve Yaman ve ark., 2013). Cr doğal olarak yağın ve kömürün yanması sonucu oluşabildiği gibi petrol, kromlu metaller, çelik ve gübrelerde de bulunabilir. Antropojenik olarak Cr çevreye gübreler ve atık sularla yayılmaktadır. Trivalan Cr indirgenğinde immobil ve suda çözünmezken, heksavalan Cr oksitlendiğinde suda çözünebilir ve mobil hale geçer (Duran ve ark., 2014 ve Kahvecioğlu ve ark., 2003). Cr çoğunlukla endüstride metalürji, elektronik, boya üretimi, konserve kaplarında, verniklerde, kağıt üretiminin kimyasal aşamalarında kullanılmaktadır. Bu endüstriler Cr'un doğaya yayılımında önemli bir rol oynamaktadır. Endüstriyel ve tarım uygulamaları büyük ölçüde çevredeki Cr toksikasyonunu arttırmaktadır (Erdoğan ve Ateş, 2006). Heksavalan Cr güçlü bir oksitleyici ajandır ve diğer Cr tiplerine göre daha toksiktir. Hücrelerde oksidatif strese neden olmaktadır. DNA ve proteinlerde hasar meydana getirmektedir. Heksavalan Cr sağlık için diğerlerinden daha tehlikeli olup, mutajenik özelliklere sahiptir ve insanlarda birinci grup kanserojen elementler grubunda yer almaktadır. Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı tarafından da kanserojen olduğu kabul edilmiştir (Jaishankar ve ark., 2014 ve Yaman ve ark., 2013).

2.1.11. Mangan (Mn)

Mangan esansiyel elementler grubuna aittir ve karaciğerde kaslardan daha fazla bulunmaktadır. Organizmada birçok enzimin yapısında kofaktör olarak rol almaktadır (Erdoğan ve Ateş, 2006 ve Tüzen, 2003). Erişkin bir insan vücudunda 12-20 mg kadar Mn bulunabilir ve Mn'in büyük bir kısmı karaciğer ve pankreas dokusunda yer almaktadır. Ağız yoluyla alınan Mn'in az miktarda ince bağırsaklardan emilimi de söz konusudur. Yeşil sebzelerde, fındık ve çaylarda bulunur. Mn zehirlenmesi durumlarında şizofren benzeri nöbetler görülebilir (Liu ve ark., 2010).

2.1.12. Civa (Hg)

Civa diğer ağır metaller gibi daha önceleri geniş bir kullanım alanına sahipken, son yıllarda endüstride kullanımı sınırlandırılmaya çalışılmaktadır. Doğaya

bulaşması başlıca boya atıkları, diş dolgu malzemeleri, elektrokimyasal sanayi, termometreler, kan basınç ölçüm cihazları, fosil yakıtlar, atık piller, laboratuvar atıkları nedeniyle olmaktadır. Sulara karışan Hg, su ortamındaki canlıların ve mikroorganizmaların etkinliği ile metilcivaya dönüşmektedir (Bakar ve Baba, 2009; Castro-Gonzales ve Mendez-Armenta, 2008; Dökmeci ve ark., 2014 ve Noel ve ark., 2013). Başta balık olmak üzere Hg ihtiva eden gıdaların tüketimi yeni doğan bebeklerde ve yetişkinlerde ciddi nörolojik hasara yol açmaktadır (Erol, 2007 ve Harrington ve ark., 2004). Hg insanlarda akut ya da kronik zehirlenmelere sebep olabilmektedir (Castro-Gonzales ve Mendez-Armenta, 2008; Erdoğan ve Ateş, 2006; Harrington ve ark., 2004 ve Subotic ve ark., 2013). Akut belirtiler halsizlik, bulantı, kusma, solunum güçlüğü ve titremeler şeklinde görülürken, kronik vakalarda ise sinir sistemi bulgularına ek olarak taşikardi, aritmi, aşırı salivasyon ve radyoaktif olarak iyotun tutulması sonucu guatr hastalığı ortaya çıkabilmektedir (Bakar ve Baba, 2009; Djedjibegovic ve ark., 2012 ve Dökmeci ve ark., 2014). Kronik Hg toksikasyonuna maruz kalan çocuklarda zihinsel gelişimin olumsuz etkilendiği gözlenmiştir (Erol, 2007 ve Jarup, 2003).

Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Yönetmeliği'ne (TGK, 2011) ve Avrupa Birliği (EU) Komisyonu'nun 1881/2006 no'lu düzenlemesine (European Commission, 2006) göre maksimum Hg seviyesi barbunda 1,0 mg/kg, diğer balıklar ve kabuklularda 0,5 mg/kg olarak belirtilmiştir.

2.2. Balıkların İnsan Beslenmesindeki Önemi

Balıklar insan sağlığı için önemli bir protein ve besin kaynağı olarak kabul edilmektedir. Omega-3 yağ asidi içeriği sayesinde farmasötik etkileri de bulunmaktadır (Duran ve ark., 2014 ve Uysal ve ark., 2009). Bu nedenle haftada iki yada üç kez balık tüketimi önerilmektedir (Alhas ve ark., 2009 ve Özan ve Kir, 2008).

Balığın kimyasal kompozisyonu incelendiğinde % 66-84 su, % 15-24 protein, % 0,1-22 yağ, % 0,8-2 mineral madde ve % 0,1-3 glikojenden meydana geldiği görülmektedir (Arslan, 2013). Balık etinde bulunan protein, insanlar için esansiyel olan aminoasitlerin tamamını yeterli miktarda içermektedir. Balıklardaki protein oranı, balığın türü, beslenme ortamı, yaşı, cinsiyeti, kas dokudaki yağ ve su oranına

bağlı olarak değişmektedir. Selüloz ve lif içermediğinden dolayı balık eti kolay sindirilebilir özelliğindedir (Turan ve ark., 2006). Balık yağı % 40 ve üzeri miktarda uzun zincirli doymamış yağ asidi içermektedir. Deniz balıklarında toplam yağın yaklaşık % 2'sini esansiyel yağ asitlerinden linoleik (omega-6) ve linolenik (omega-3) yağ asitleri oluşturmaktadır (Arslan, 2013). Balıklar başta olmak üzere tüm deniz ürünleri diğer besinlerde bulunmayan ve omega-3 yağ asidinin bir üyesi olan eikosapentaenoik (EPA) ve dokosaheksaenoik (DHA) yağ asitlerini içermektedir (Turan ve ark., 2006).

Vitamin içeriği bakımından ise balık eti B ve C vitaminlerini, kırmızı ve beyaz et ile benzer miktarlarda içermesine rağmen, yağda çözünen A, D, E ve K vitaminlerini daha yüksek oranda içermektedir. Mineral içeriği yönünden balık eti yüksek Ca, P ve düşük Na miktarı ile ön plana çıkmaktadır. Özellikle Na diyeti yapması gereken bireylere tavsiye edilmektedir. Adı geçen mineraller yanı sıra, K ve Mg bakımından da zengin bir gıda maddesidir (Turan ve ark., 2006).

2.3. Balık Tüketiminin İnsan Sağlığına Etkileri

Deniz ürünlerinin insan tüketiminde kullanılmasında dünya genelinde hızlı bir artış görülmektedir. 2004 yılında yapılan bir araştırmaya göre, üretilen veya yakalanan balıkların % 75'i doğrudan insanlar tarafından tüketilmektedir (Ersoy ve Çelik, 2010). Balık ve diğer deniz ürünleri dünya üzerinde insan diyetinin % 10'luk bir parçasını oluşturmaktadır (Castro-Gonzales ve Mendez-Armenta, 2008).

Son yıllarda yapılan birçok çalışmada balık tüketiminin insan sağlığına faydaları ortaya konulmuştur. Omega-3 yağ asitleri içermesinin yanı sıra, diğer besin maddelerinden yana da zengin olması, balık tüketimini teşvik etmiştir (Akbulut ve Akbulut, 2010 ve Ersoy ve Çelik, 2010). Gerçekleştirilen araştırmalar sonucunda balık tüketiminin kan trigliserid seviyesini ve yüksek tansiyonu düşürdüğü ortaya konmuştur. Düzenli balık tüketen bireylerde, sürekli omega-3 alımı dolayısıyla, kalp krizi ve ani ölümlerinin azaldığı bildirilmiştir (Djedjibegovic ve ark., 2012; Duran ve ark., 2014; Jaishankar ve ark., 2014 ve Petkovsek ve ark., 2012). Özellikle EPA ve DHA'nın migren tipi baş ağrıları, eklem romatizması, bazı kanser türleri, yetişkinlerde şeker hastalığı, yüksek kolesterol, yüksek tansiyon, kalp damar hastalıkları ve bazı allerjenlere karşı vücudu koruduğu bildirilmektedir. Beyin, retina,

testis ve spermin yapısında yer alan DHA, doku fonksiyonlarının uygun şekilde işlev görmesi üzerine etkilidir. Güncel araştırmalar prematüre bebeklerin dokularındaki DHA düzeyinin, normal sürede doğan bebeklerden daha az olduğunu göstermiştir. Beslenmelerinde omega-3 yağ asitleri olmayan bebeklerin, görme ve sinir dokularının gelişiminin yetersiz olduğu tespit edilmiştir (Turan ve ark., 2006).

Bu kadar önemli etkilere sahip olmasına rağmen, son yıllarda sulardaki kirliliğe bağlı olarak balık dokusunda ağır metallerin birikimi ve buna bağlı muhtemel olumsuz sağlık etkileri söz konusudur. Özellikle ağır metaller arasında yer alan metilciva, balığın kalp ve damar koruyucu etkisini engellemektedir. Bazı balıklarda yüksek miktarda bulunan Cd, Pb ve As gibi metaller gençlerde ve yetişkinlerde ciddi sağlık sorunlarına neden olabilmektedir (Castro-Gonzales ve Mendez-Armenta, 2008; Djedjibegovic ve ark., 2012; Duran ve ark., 2014 ve Medeiros ve ark., 2012). Balık ve deniz ürünleri tüketimine bağlı insan vücudundaki ağır metal birikimini azaltmak için, Castro-Gonzales ve Mendez-Armenta (2008) farklı türlerde balık tüketilmesini ve daha az miktarda balık yenmesini önermişlerdir. Bu faktörlerin yanı sıra tüketicilerin sofralarına koyacakları balığı nereden aldıkları ya da hangi deniz veya gölden avladıkları son derece önemli bir konudur. Çünkü balığın kalitesi yaşadığı suyun kirlilik/temizlik durumundan, beslenmesinden ve hasat edildiği bölgeden etkilenmektedir (Morgano ve ark., 2011).

2.4. İz Element Kaynağı Olarak Balıklar

Son yıllarda, iz element ve toksik elementler konusunda fazla miktarda çalışmalar yürütülmeye başlamıştır. İz elementler çevreden ya da kontamine gıdalarla alınarak organizmada birikir (Kalyoncu ve ark., 2012; Karadede ve ark., 2004 ve Tepe ve ark., 2008). Esansiyel olmayan fakat insanlar için toksik olduğu rapor edilen iz elementler Pb, Cd, Hg, As, Al, Ba, Li, Pt, Te, Ti, Sb, Be, Ga, In, V, Ni, Sr, Sn, Ge, Ag, Au, Bi, Tl ve U'dur. Toksik iz elementlerin dokularda biriken miktarlarının belirlenmesi, çevresel kirlenme hakkında bilgi vermesi yanısıra, beslenmeye bağlı hastalıkların tanısı ve tedavisinde önem taşımaktadır (Yarsan ve ark., 2014). Bir ağır metalin toksik ya da iz element olması canlının organizması ve fizyolojisine göre değişiklik göstermektedir. Örneğin Ni hayvanlar için bir iz element fakat bitkiler için toksik bir metaldir (Bakar ve Baba 2009 ve Guerin ve ark., 2011).

Deniz ekosisteminde yaşayan canlılarda metallerin dağılımı dilüsyon, difüzyon, presipitasyon gibi fizikokimyasal yollarla düzenlenmektedir. Ekolojik ihtiyaçlar, cinsiyet, gelişim siklusu, deniz suyunun sıcaklığı, boyut ve mevsimsel değişiklikler, deniz canlılarının pullu olması dokularda metal birikimini etkilemektedir. (Djedjibegovic ve ark., 2012; Ersoy ve Çelik, 2010; Guerin ve ark., 2011; Hussein ve Khaled, 2014; Subotic ve ark., 2013 ve Türkmen ve ark., 2008). İz metaller balık vücudunda karaciğer, böbrek, dalak ve daha az olarak da kaslarda birikmektedir. Toksik etkilerini engelleme konusunda başlıca karaciğer işlev görmektedir ve detoksifikasyon için karaciğerde metallothionein ve glutatyon gibi toksin bağlayıcı proteinler sentezlenmektedir (Ahmad ve ark., 2015; Duran ve ark., 2014; Kayhan ve ark., 2009 ve Visnjic-Jeftic ve ark., 2010). Karaciğerde birikme eğiliminin sebebi ise bu elementlerin metallothionein proteinindeki oksijen karboksilat, amino grubu ve merkaptan grubunun nitrojen ve/veya sülfür kısmı ile reaksiyona girmesidir (Usero ve ark., 2003). Farklı çevre şartlarında yürütülen çalışmalarda, balıklarda iz element ve ağır metal karşılaştırmasını yapmak zordur. Çünkü balık türlerinin özellikleri değişken olup, analiz edilen dokular, metodoloji ve diğer faktörler de farklılık gösterebilmektedir (Dalman ve ark., 2006).

Deniz ürünlerinde ve diğer su ürünlerinde ağır metallerin birikimi konusunda çalışmaların yapılması; suda yaşayan canlıların bu maddelere karşı gösterdiği reaksiyonun incelenmesi, canlıların vücudunda meydana getirdikleri biyokimyasal ve metabolik değişimlerin araştırılması ve yaşadıkları ortamdaki ağır metal konsantrasyonunu yansıtması konusunda bilgiler sağlaması bakımından önemlidir (Jaishankar ve ark., 2014; Morgano ve ark., 2011 ve Noel ve ark., 2013). Gıdalarla birlikte bu maddelerin az miktarlarda ve sürekli olarak vücuda alınması aynı zamanda insan sağlığını da doğrudan etkilemektedir (Erdoğan ve Ateş, 2006 ve Yaman ve ark., 2013). Balık, aquatik besin ağının son zinciridir ve insanlar için önemli bir besin kaynağıdır. Bu nedenle aquatik çevredeki ağır metaller, besin zinciri vasıtasıyla insanlara transfer edilmektedir (Alhas ve ark., 2009 ve Erdoğan ve Ateş 2006).

Metallerden bir kısmı iz element özelliğinde olup, insan sağlığı açısından vücuda alınmaları önemlidir. Örneğin; bakır eksikliğinde çocuklarda gelişim gerilikleri görülebilir, ayrıca deri, kemik ve saçın bileşiminde bulunan bakır aynı

zamanda insan ve hayvan eritrositlerinin üretiminde görevlidir (Bakar ve Baba, 2009 ve Guerin ve ark., 2011). Diğer taraftan ağır metaller, kimyasal reaksiyonlara girerek fizyolojik işleyişi olumsuz etkilemekte ve karsinojenik, mutajenik ve alerjik etkilerde bulunmaktadır. Böyle durumlarda tedavi imkanları da çoğunlukla kısıtlıdır ve ağır metal toksikasyonları ölümle sonuçlanmaktadır. Çimento, demir çelik, termik santral, cam fabrikaları ve katı atık arıtma tesisleri ve çamur yakma tesisleri ağır metallerin çevreye dağılımında en fazla öneme sahip sanayi kuruluşlarıdır (Bakar ve Baba, 2009; Velusamy ve ark., 2014 ve Yaman ve ark., 2013). Ağır metallerin insan sağlığı açısından en önemli özellikleri yağ dokusunda ve kemik dokusunda birikmesi ve eşik değeri aştıktan sonra toksik etkilerinin görülmesidir. Bu metaller arasında en önemlileri: Al, As, Pb, Cd, Co, Cr, Zn, Fe, Hg, Mn, Cu ve Ni'dir (Bakar ve Baba, 2009; Morgano ve ark, 2011; Noel ve ark., 2013 ve Yaman ve ark., 2013).

Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Yönetmeliği kapsamında, balık ve kabuklu deniz hayvanlarında izin verilen ağır metal kalıntılarına ait maksimum limitler Tablo 1'de verilmiştir (TGK, 2011). Diğer taraftan Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA, 2006), Gıda ve İlaç Dairesi (US Food and Drug Administration, FDA), Gıda ve Tarım Örgütü (Food and Agriculture Organization, FAO) ve JECFA (Cot, 2004) gibi kuruluş ve organizasyonlar tarafından, çeşitli iz elementlerin deniz ürünleri aracılığıyla insanlar tarafından günlük ve/veya haftalık kabul edilebilir alım limitleri rapor edilmiştir.

Tablo 1: Balık ve kabuklu deniz ürünlerindeki ağır metal limitleri (TGK, 2011)

Ağır metal	Gıda maddesi	Maksimum limit (mg/kg yaş ağırlık)
Kurşun (Pb)	Balık eti	0,30
	Kabuklular (yengeç, istakoz vb.)	0,50
Kadmiyum (Cd)	Balık eti	0,05
	Kabuklular (yengeç, istakoz vb.)	0,50
	İstavrit (<i>Trachurus</i> sp.)	0,10
Civa (Hg)	Balık eti	0,50
	Barbun (<i>Mullus</i> sp.)	1,00
	Kabuklular (yengeç, istakoz vb.)	0,50

2.5. Ağır Metallerin Deniz Ürünlerinde Birikim Yolları ve Mekanizması

Besin zincirinde kirleticilerin bir kısmı deniz ürünlerinde birikebilirken, bir kısmı da birikim göstermez. Kentsel ve endüstriyel atıkların günden güne artış göstermesiyle birlikte çevresel kirliliğin artması sonucunda toprakta, suda ve havada birikim gösteren ağır metallerin su ve canlılardaki birikimi, çevresel kirliliğin göstergelerinden biri haline gelmiştir (Djedjibegovic ve ark., 2012; Kahvecioğlu ve ark., 2003; Kalyoncu ve ark., 2012 ve Subotic ve ark., 2013). Genel olarak sudaki metal konsantrasyonlarının, sıcak mevsimlerde yükseldiği ve ılık mevsimlerde düştüğü bilinmektedir (Özan ve Kir, 2008). Bu durumun sebebi ağır metal birikimi ile yağış rejimi arasında yakın bir ilişki bulunması olarak açıklanmaktadır. Meche ve ark. (2010) Brezilya'da yaptıkları bir araştırmada, sularda en çok ağır metalin, yağışların en yoğun olduğu Ekim-Kasım ayları ile Nisan-Mayıs aylarında olduğunu bildirmişlerdir. Yağışların başlaması ile birlikte toprakta bulunan ağır metaller su debisi etkisiyle nehirlerle, ardından da deniz ve göllere ulaşmakta ve böylece konsantrasyonunun arttığı ileri sürülmektedir. Metal konsantrasyonundaki artış ve azalış kurak mevsimlerde buharlaşma, şiddetli yağış ve ılık mevsimlerde karların erimesi gibi faktörlerden de etkilenebilmektedir (Özan ve Kir, 2008). Sudaki metal konsantrasyonu ile balık dokusundaki metal konsantrasyonu arasında pozitif bir korelasyon bulunmaktadır (Younis ve ark., 2015).

Balıklarda metal akümülyasyonu bölgeye, sudaki dağılımına, habitat tercihine, yaşa, boyuta, metale maruz kalma süresine ve homeostatik düzenleme aktivitesine bağlıdır (Akbulut ve Akbulut, 2010; Djedjibegovic ve ark., 2012; Subotic ve ark., 2013; Tüzen, 2003; Uysal ve ark., 2009 ve Velusamy ve ark., 2014). Suda bulunan ağır metallerin deniz canlılarının vücuduna alınması çoğunlukla solungaçlar vasıtasıyla olmakla birlikte, sindirim yolu ve deri yüzeyinden emilim ile de vücuda giriş söz konusudur. (Karadede ve ark., 2004; Türkmen ve ark., 2008 ve Yang ve Swami, 2007). Solungaçlar ağır metallerin sudan doğrudan alındığı önemli bir bölgedir. Solungaçlarda metal konsantrasyonunun yüksek olması, esas kontaminasyonun sudan kaynaklandığını işaret edebilmektedir (Jaric ve ark., 2011). Öyle ki solungaçların yüzey alanının geniş olması, metallerin buradan daha kolay organizmaya girişine yol açmaktadır.

Ağır metaller vücuda girdikten sonra çeşitli organ ve dokularda değişen derecelerde birikim meydana getirmektedir. Bu maddelerden bir kısmı iz element olarak depolanırken, toksik özellikte olanlar enzimlerin yapısını bozarak vücudun işleyişini bozabilirler (Alhas ve ark., 2009; Tepe ve ark., 2008 ve Yazkan ve ark., 2004). Toksik maddeler özellikle eritrositlerin hücre membranına etkiyerek geçirgenlik artışına yol açmakta ve hücrenin normal işleyişini bozmaktadır. Balıkların karaciğer, böbrek ve mide gibi organları ile kas dokusu, denizdeki ağır metal yoğunluğunu belirlemek için iyi bir indikatördür (Ahmad ve ark., 2015; Morgano ve ark., 2011; Usero ve ark., 2003 ve Visnjic-Jeftic ve ark., 2010). Bu nedenle sudaki ağır metal konsantrasyonunun belirlenmesi için çoğunlukla karaciğer dokusu kullanılmaktadır. Uluturhan (2004), Ege denizinde avlanan mercan balıkları üzerinde yaptıkları bir çalışmada en fazla metal birikiminin karaciğer dokusunda olduğunu ve karaciğerin bu maddelerin detoksifiyonda önemli bir rolünün bulunduğunu ortaya koymuşlardır. Bununla birlikte karaciğerden daha çok kas dokusu, insanlar tarafından besin maddesi olarak tüketildiğinden, insan sağlığını direkt olarak ilgilendirmesi sebebiyle kas dokusunda ağır metal analizleri ayrı bir öneme sahiptir (Kayhan ve ark., 2009 ve Visnjic-Jeftic ve ark., 2010). Balık kas dokusunun ağır metal birikimi için aktif bir doku olmadığı bilinmesine rağmen, ağır metallerin balıkların yenilebilir bölgelerinde kabul edilebilir seviyeleri aştığı birçok çalışmada bildirilmiştir (Ahmad ve ark., 2015; Akbulut ve Akbulut, 2010; Djedjibegovic ve ark., 2012; Kayhan ve ark., 2009 ve Subotic ve ark., 2013).

Saklama ve muhafaza yöntemlerinin de balıklardaki ağır metal konsantrasyonunu etkilediği kanıtlanmıştır. Deniz ürünlerinin özellikle konserve şeklinde depolanması Al, Cu, Fe, Mn ve Zn konsantrasyonunun taze deniz ürünlerine göre daha fazla miktarda bulunmasına neden olduğu ortaya konmuştur. Bunun yanı sıra metal kaplarda muhafaza edilen deniz ürünlerinde, daha fazla ağır metal kalıntısı bulunduğu gözlenmiştir (Younis ve ark., 2015).

2.6. Ağır Metallerin Balıkların Büyüme ve Gelişimlerine Etkileri

Su kirliliği ve ağır metaller balıklarda üreme ve gelişme konusunda çeşitli fizyolojik işlevleri etkilemektedir. Su kaynaklı metallerin balıklar tarafından alınması ve organizmalarında birikimi, çeşitli doku ve organlarda metalle ilişkili olarak

yapısal ve fonksiyonel bozukluklara yol açmaktadır (Duran ve ark., 2014; Jezierska ve ark., 2009 ve Meche ve ark., 2010). Balıkların erken gelişim döneminde, embriyolar yumurta kabuğu tarafından korunmakta iken özellikle intoksikasyonlara karşı duyarlıdır. Embriyoların ağır metaller tarafından bozulmasının nedeni, balıkların yumurtlamadan önce bu metallere maruz kalmış olmasıdır. Gonadlar metallerin en çok birikim yaptığı organlardandır (Djedjibegovic ve ark., 2012 ve Yaman ve ark., 2013). Yumurtlayan balıkların metallere maruz kalması, yumurta ve spermelerin kontaminasyonu ile sonuçlanmaktadır. Bu durum balıkların fertilitesi ve embriyonik gelişimini olumsuz etkiler. Başarılı bir döllemenin oluşması için gerekli olan spermatazoa motilite süresi de, ağır metaller tarafından etkilenmektedir. Yetişkinler ve gençler için bildirilen çeşitli metal toksikasyonu yolları bulunmaktadır (Morgano ve ark., 2011 ve Noel ve ark., 2013). Ağır metallerin neden olduğu toksikasyonlarda temel mekanizma ozmotik basıncın, enzim sentezi ve aktivitesinin bozulmasıdır. Örneğin; Cd'un Ca-ATPaz aktivitesini azaltmak suretiyle Ca alımını olumsuz etkilediği bilinmektedir. Diğer taraftan Cu, Na/K ATPaz aktivitesini bozarak esasen Na ve ClO_2^- (klorit) kinetiğini etkilemekte, bu durum ozmotik basıncın bozulmasıyla sonuçlanmaktadır. Ağır metaller aynı zamanda balıkların endokrin sistemine de zarar vermektedir. Nitekim Cd'un tiroid seviyesini azalttığı, östrojen seviyesini engellediği ve büyüme hormonu üretimini bozduğu bildirilmiştir; bunun yanı sıra Pb, I metabolizmasını etkileyerek tiroid hormon sentezini inhibe etmektedir (Hussein ve Khaled, 2014). Cd'un, Cu ve Pb'un aynı zamanda gonadotoksik etkileri bulunmaktadır. Böylece ağır metaller balık embriyolarında gelişimi engellemekte, morfolojik ve fonksiyonel anomalilere neden olmakta ve duyarlı bireylerde ölüme yol açmaktadır (Jaishankar ve ark., 2014; Jezierska ve ark., 2009 ve Yaman ve ark., 2013).

2.7. Gemlik Körfezi

Gemlik Körfezi, Marmara Denizi'nin güney doğusunda yer alan ve batıya doğru genişleyerek uzanan bir körfezdır. Kışları kuzeybatıdan, diğer mevsimlerde de kuzeydoğu yönünden esen rüzgârlar denizin hareketliliğinde oldukça etkilidir. Körfezin en derin olduğu noktanın derinliği 107 metredir (Ünübol HA, 2008). Şekil 1'de Gemlik Körfezi'nin coğrafi durumu gösterilmektedir.

Marmara Denizi, Karadeniz ve Akdeniz arasında kalan bir iç deniz özelliği taşıması nedeniyle, hem Karadeniz tarafından hem de Akdeniz tarafından gelen akıntılardan etkilenmektedir. Gemlik Körfezinde bu akıntıların etkisinden dolayı iki tabakalı su akıntısı söz konusudur (Ünübol, 2008). Gemlik ilçesi, çevresinde 11 adet yerleşim merkezi bulunan körfezin kenarındaki en büyük yerleşim yeridir. Gemlik'in aktif bir sanayi bölgesi olması ve yaz aylarında turistik beldelerde nüfusun artması; buna karşılık altyapı konusundaki eksiklikler Gemlik Körfezi'nde kirlenme oranını artırmaktadır (Büyükurgancı, 2011).



Şekil 1: Gemlik Körfezi

Gemlik kıyılarında yer alan zeytincilik ve sabunculuk işletmeleri ile gıda, petrol, otomotiv, metal, tekstil ve kimya fabrikalarının atıkları körfezin sularına karışmaktadır. Gemlik Körfezi'nin etrafında yaklaşık 780 adet endüstriyel kuruluş bulunmaktadır. Körfezin etrafındaki fabrikaların yanı sıra İznik Gölü'nden başlayıp Orhangazi ilçesinden geçen ve geçtiği bölgelerden de sanayi atıklarını toplayıp Gemlik Körfezi'ne dökülen Karsak Deresi, körfezin kirlenmesindeki en büyük etkenlerden biridir (Büyükurgancı, 2011). Gemlik dört adet limana sahip olması nedeniyle Türkiye'de gemi trafiğinin en yoğun olduğu bölgelerden biridir. Fabrika atıklarının yanısıra, gemi trafiği ile sürüklenen kirleticiler körfezdeki su kirliliğini artırmaktadır (Büyükurgancı, 2011 ve Ünübol, 2008).

2.8. Gemlik Körfezi'nde Sıklıkla Avlanan Su Ürünleri ve Özellikleri

2.8.1. Karides (*Parapenaeus longirostris*)

Penaidae ailesine ait derinsu pembe karidesidir (Şekil 2). Denizin çamurlu dip alanını tercih etmektedir. Yaşam alanı olarak, maksimum 700 metre derinlikte ve minimum 20 metre derinlikte yaşayabilmelerine karşın, genellikle 150 ile 400 metre derinlik aralığını tercih etmektedirler. Deniz suyu sıcaklığı olarak 14-15 °C'de yaşarlar. Erkeklerde maksimum uzunluk 160 mm ve dişilerde 186 mm'dir. Üreme sezonu Mayıs ile Temmuz ayları arasındadır. Ege ve Akdeniz'in yanı sıra yaygın olarak Marmara Denizi'nde de bulunmaktadır. Türkiye'de 2015 yılında toplam 1764,4 ton karides (*Parapenaeus longirostris*) avlanırken, bu miktarın 1234 tonu Marmara Denizi'nden elde edilmiştir (Öztürk, 2009 ve TÜİK, 2015).



Şekil 2: Karides (*Parapenaeus longirostris*)

2.8.2. İstavrit Balığı (*Trachurus mediterraneus*)

Carangidae ailesine ait etçil bir balıktır (Şekil 3). Sıcaklıkları farklı birçok denizde yaşama gücüne sahiptirler. Yaşam alanı 200 metre derinliğe kadar ulaşabilir. Genç dönemde larvaları plankton gibi küçük canlılarla beslenirken, erişkinleri kendilerinden daha küçük balıklarla beslenmektedir. İki yaşını aşan istavrit balıkları olgunluğa erişirler ve 14 yıl kadar yaşayabilirler. Yumurtlama dönemleri Nisan ile Eylül ayı arasında sürmektedir. Karadeniz'de yaz aylarını geçiren istavritler, kış aylarında Marmara Denizi'ne göç ederler. Yumurtlama sezonunun uzun olması ve avlanma kapasitesinin yüksekliği sebebiyle ülkemizde sıkça tüketilen bir balık türüdür (Akşiray, 1987 ve TSE, 1989).



Şekil 3: İstavrit Balığı (*Trachurus mediterraneus*)

2.8.3. Dil Balığı (*Solea solea*)

Soleidae ailesine ait bir dip balığıdır (Şekil 4). Denizin demersal (tabansal) bölgesinde kumlu ve çamurlu zeminde yaşarlar. Ülkemizdeki tüm denizlerde yaşam alanı bulmaktadır. Maksimum 70 cm, genelde de 15 cm ile 40 cm boyundadırlar. Ege Denizi'nde Aralık ve Nisan ayları arasında, Akdeniz'de ise Nisan ve Mayıs ayları arasında üremektedir. Ekonomik değeri yüksektir. 200 metre derinliğe kadar inebilirler. Çakıllı, kumlu ve çamurlu diplerde yaşarlar. Yavaş hareket etmeleri sebebiyle uzaklara göç etmezler. Üreme sezonunda sahillere doğru hareket ederler. Omurgasız küçük deniz canlılarını (dikenliler, kabuklular) yiyerek beslenirler. Yaşam süreleri 24 ile 27 yıla kadar ulaşabilmektedir. Üç buçuk yaşında cinsel olgunluğa erişirler. Yumurta ve larvaları pelajik (asılı durumda) iken, ilerleyen dönemde diplere inerek demersal yaşama geçerler. Etleri lezzetli olması sebebiyle ekonomik değeri yüksektir (Can ve Bilecenoğlu, 2005).



Şekil 4: Dil Balığı (*Solea solea*)

2.8.4. Barbun Balığı (*Mullus barbatus*)

Mullidae ailesine ait demersal bir balık türüdür (Şekil 5). Karadeniz, Marmara, Ege ve Akdeniz'de dağılım göstermektedir. Marmara Denizi'nde Nisan ve Eylül ayları arasında üremektedir. En yüksek yumurtlama Haziran ile Temmuz ayları arasındadır. Ekonomik değeri çok yüksektir. Aynı aileye ait barbun türleri ile yılda toplam 4750 ton avlanmaktadır (Can ve Bilecenoğlu, 2005). Denizin çamurlu-kumlu bölgelerinde yaşanan bir dip balığıdır. Sıcak ve ılık sularda yaklaşık olarak 300 metre derinlikte bulunabilmektedir. Kabuklular, yumuşakçalar ve dikenliler gibi küçük deniz canlıları ile beslenirler. Boyları 10 ile 30 cm arasında değişmektedir. Üreme yaşları ikidir. İlk iki aylık yaşta yavrular pelajik bölgede yaşarlar. Pelajik dönemdeki gençler zooplanktonlar ile beslenirken, erginler küçük kabuklularla ve küçük boyuttaki balıklarla beslenirler (Akşıray 1987 ve Can ve Bilecenoğlu 2005).



Şekil 5: Barbun Balığı (*Mullus barbatus*)

3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1. Gereç

3.1.1. Balık Örnekleri

Bursa ilinin Gemlik körfezinde ticari olarak satış yapan balıkçılardan, Ocak - Haziran 2013 tarihleri arasında barbun balığı (*Mullus barbatus*), karides (*Perapenaeus longirostris*), dil balığı (*Solea solea*) ve istavrit balığı (*Trachurus mediterraneus*) türlerinin her birinden aylık 10 adet olmak üzere toplam 240 adet deniz ürünü, örnek olarak kullanılmak üzere satın alındı. Tüm örnekler ayrı steril polietilen torbalarda etiketlenerek, soğuk zincirde Askeri Veteriner Okulu Gıda Kontrol ve Araştırma Merkezi Başkanlığı laboratuvarına getirildi ve analizleri gerçekleşene kadar derin dondurucuda (Uğur Derin Dondurucu UDD 400 BK) - 20 °C'de saklandı.

3.1.2. Örneklerin Hazırlanması

Ağır metal analizleri yapılmadan önce, dondurulan balık numuneleri buzdolabında +4 °C'de 12 saat bekletilerek çözündürüldü. Balıkların epaksiyal kas dokuları ayrıldıktan sonra çapraz kontaminasyonu önlemek amacıyla ultra distile su ile yıkanarak, hazırlanmış farklı petri kaplarına alındı. Petri kapları, etüvde (Nüve FN 500) 55°C 'de 12±1 saat boyunca, örnekler sabit tartım ağırlığına gelene kadar tutuldu. Tartım ağırlığı sabitlenen örnekler porselen havan ile öğütülerek homojenize toz haline getirildi ve falkon tüplerine aktarılarak üzerleri parafinle kapatıldı ve desikatörde muhafaza edildi. Kurutulmuş ve homojenize toz halindeki örnekler hassas terazide (Precisa XB 220A), her bir örnekten 0,5 gr olacak şekilde teflon tüpler içerisinde tartıldı. Ardından yaş yakma işlemi amacıyla örneklerin üzerine 5 ml % 65'lik Nitrik asit (HNO₃) ve 2 ml % 35'lik Hidrojen peroksit (H₂O₂) ilave edildi (Şekil 6). Yaş yakma işlemi mikrodalga yakma fırını (Anton Paar Multiwave Pro, Şekil 7) kullanılarak Tablo 2'de sıcaklık ve süreleri belirtilen beş aşamada gerçekleştirildi.



Şekil 6: Yaş yakma için örneklerin hazırlanması



Şekil 7: Mikrodalga destekli yaş yakma fırını

Tablo 2: Yaş yakma işleminin aşamaları.

Aşama	Sıcaklık (°C)	Süre (dk)	Fan Düzeyi
Sıcaklık Artışı 1	100	15	1
Sıcaklığın Sabitlenmesi 1	100	2	1
Sıcaklık Artışı 2	180	10	1
Sıcaklığın Sabitlenmesi 2	180	8	1
Soğuma	70	19	3

Yakma işleminin ardından, teflon tüplerin soğumalarını müteakiben kapakları açılarak tüp içerisindeki gazın tamamının çıkması sağlandı. Ardından sıvı hale gelmiş örnekler 50 ml'lik falkon tüplere aktarıldı. Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn analizleri için örnekler % 0,3'lük HNO₃ ile 25 ml'ye tamamlandı ve böylece örnekler okuma işlemine hazır hale getirildi. As ve Hg analizleri için ise; örnekler ilk olarak % 5'lik Hidroklorik asit (HCl) ile 25 ml'ye tamamlandı, daha sonra 5 gr Potasyum iyodür (KI) ile 5 gr Askorbik asit (C₆H₈O₆) ilave edildi ve ultra distile su ile 100 ml'ye tamamlandı. Bu karışımdan her örneğe 0,25 ml eklenerek, tüm örnekler ağır metal analizlerinin yapılacağı cihazda, spektrometrik okumaya hazır hale getirildi (SMC, 1997).

3.2. Yöntem

Hazırlanan örneklerde Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn, As ve Hg ağır metallerine ait kalıntı seviyeleri Plazma Kaynaklı Emisyon Spektrometre (ICP-OES, Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer, Shelton, CT 06484, USA) cihazı (Şekil 8) kullanılarak ve her bir örnek için ölçüm 3 kez tekrarlanarak tespit edildi. Cihaz tarafından bu işlemler otomatik olarak gerçekleştirildi ve sonuçlar mg/kg birimi üzerinden cihaza bağlı olarak çalışan bilgisayar sistemi ve bu sisteme özel yazılım ile yorumlanarak elde edildi (Jaric ve ark., 2011).



Şekil 8: ICP-OES cihazı

3.2.1. ICP-OES Cihazının Kalibrasyonu ve Doğrulama

ICP-OES cihazının kalibrasyonu için içeriğinde belli miktarda As, Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn ağır metallerini çoklu olarak içeren standart (Multi Element Calibration Standart 3, Perkin Elmer Inc.) solüsyon kullanıldı. Civa (Hg) için ise, Mercury (Perkin Elmer Inc.) standardı tercih edildi. Kullanılan her iki standart solüsyon, içerisinde her bir metali 10 mg/kg düzeyinde içermekteydi. Kalibrasyon amacıyla bu solüsyonlardan ultra distile su ile 0, 10, 20, 50, 100 ve 200 ppb'lik standart çözeltiler hazırlandı. Yalnızca As ve Hg ölçümü için ise % 5'lik HCl ile 0, 2, 5, 10 ve 20 ppb'lik standart çözeltiler hazırlandı. Örneklerin analizine geçilmeden önce hazırlanan standart çözeltiler cihazda okutulup kalibrasyon eğrileri oluşturuldu ve standart çözeltilerden elde edilen kalibrasyon eğrisinde en az 0,997 doğrulukla korelasyon sağlandı.

Çalışmada analiz sonuçlarının doğrulanması ve hassasiyetinin değerlendirilmesi amacıyla deniz ürünlerine özgü, içerisinde standart düzeyde ağır metallerin bulunduğu ve uluslararası sertifikalı standart köpekbalığı kas numunesi örnekleri (Dogfish Muscle, Dorm 4, National Research Council, Canada) kullanıldı. Bu standart örneklere de, çalışmada kullanılan örneklerle aynı şekilde yaş yakma işlemi uygulandı ve ardından ICP-OES cihazında okuma işlemi gerçekleştirildi. Mevcut tez çalışmasında varlığı/düzeyi araştırılan ağır metallerin okunduğu dalga boyları ve okuma sınır değerleri Tablo 3'de özetlenmektedir.

Tablo 3: Metallerin okunduğu dalga boyları ve okuma sınır değerleri

Ağır Metal	Dalga Boyu (nm)	Ölçüm Limitleri (mg/kg)
Al	396,153	0,001
As	188,979	0,001
Cd	228,804	0,0001
Co	228,616	0,0002
Cr	267,716	0,0002
Cu	327,393	0,0004
Fe	238,204	0,0001
Hg	253,652	0,001
Mn	257,610	0,0001
Ni	231,604	0,0005
Pb	220,353	0,001
Zn	206,200	0,0002

3.2.2. İstatistiksel Analizler

Mevcut tez çalışmasında elde edilen veri ortalamalarının karşılaştırması One-Way ANOVA varyans analizi ile yapıldı. Türler arasında tespit edilen farklılıkların anlamlılığı ise Tukey testi ile ortaya konuldu ve farklılıkların anlamlılık düzeyi $p \leq 0,05$ olarak değerlendirildi.



4. BULGULAR

Analiz edilen deniz ürünlerinde; örnek türü ve aylara göre ölçülen Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn, As ve Hg ağır metal düzeylerine ait veriler Tablo 4'te sunulmuştur. Cd, Cu, Fe, Zn, Ni ve Mn ağır metallerine ait en yüksek değerler Haziran ayında, Al için Mayıs ayında ve As için ise Mart ayı içerisinde toplanan ve analiz edilen karides örneklerinde bulunmuştur. Co Haziran ve Pb Şubat ayında hasat edilen barbun balıklarında, Cr ve Hg ise Mart ayında temin edilen dil balığı örneklerinde maksimum düzeyde tespit edilmiştir.

Karides, dil, barbun ve istavrit balıklarının kas dokusunda belirlenen ağır metal düzeylerine ilişkin veriler aşağıda ayrı ayrı açıklanmıştır.

4.1. Demir (Fe)

Analiz edilen deniz ürünlerine ait ortalama Fe düzeyleri Tablo 5 ve Şekil 10'da verilmektedir. Fe düzeyi karideslerde en düşük 8,510 mg/kg (Şubat) ve en yüksek 39,309 mg/kg (Haziran) olarak, dil balıklarında en düşük 12,351 mg/kg (Ocak) ve en yüksek 31,543 mg/kg (Mart) olarak tespit edilmiştir. Fe'in istavrit balıklarındaki seviyeleri ise en düşük 0,249 mg/kg ile Ocak ayında ve en yüksek 1,608 mg/kg ile Mayıs ayında belirlenmiştir. Barbun balıklarında ise Fe düzeyleri 16,920 mg/kg (Şubat) ile 36,609 mg/kg (Haziran) arasında değişmektedir.

Sezon boyunca elde edilen veri ortalamaları incelendiğinde karides, dil ve barbun balıklarında Fe düzeyi sırasıyla 22,723 mg/kg, 20,599 mg/kg ve 23,980 mg/kg olarak ölçülmüştür. İstavrit balıklarında ise 1,026 mg/kg olarak tespit edilmiş olup, bu düzeyin diğer türlerden istatistiki olarak anlamlı bir şekilde düşük olduğu görülmüştür ($p < 0,05$).

Tablo 4: Örnek türü ve aylara göre ağır metal analizleri sonuçları (mg/kg)

Örnek türü	Aylar	Ağır metal düzeyleri (mg/kg)											
		Pb	Cd	Cu	Fe	Zn	Cr	Ni	Co	Mn	Al	As	Hg
Karides	Ocak	0,041	1,014*	13,207	17,792	42,068	0,296	0,092	0,120	1,004	15,638	1,723	0,319
	Şubat	0,046	1,528*	9,746	8,510	38,879	0,271	0,008	0,100	0,711	6,192	1,871	0,058
	Mart	0,060	1,438*	4,852	16,796	32,988	0,240	0,037	0,094	0,876	13,487	2,233	0,064
	Nisan	0,181	1,136*	3,503	15,110	26,030	0,124	0,205	0,092	0,654	2,864	1,702	0,183
	Mayıs	0,098	1,681*	5,278	38,820	50,854	0,420	0,107	0,083	2,364	45,502	1,679	0,295
	Haziran	0,043	1,872*	21,451	39,309	54,775	0,722	0,470	0,176	3,284	27,185	1,998	0,164
Dil balığı	Ocak	0,035	0,826*	1,047	12,351	22,674	0,496	0,015	0,049	0,984	1,523	0,512	0,089
	Şubat	0,320*	1,454*	1,100	22,146	24,919	0,453	0,039	0,077	0,905	8,357	1,598	0,116
	Mart	0,120	1,352*	1,287	31,543	22,659	1,220	0,196	0,054	1,281	12,497	1,328	0,528*
	Nisan	0,094	0,873*	0,697	13,633	23,304	0,489	0,263	0,046	0,506	3,287	0,630	0,049
	Mayıs	0,135	1,302*	1,299	18,253	28,904	0,577	0,030	0,155	1,240	7,389	1,097	0,369
	Haziran	0,140	1,532*	2,051	25,670	30,537	0,606	0,082	0,175	0,662	4,286	0,923	0,184
İstavrit balığı	Ocak	0,070	0,051	0,037	0,249	0,162	0,009	0,034	0,010	0,013	0,560	1,135	0,066
	Şubat	0,032	0,009	0,022	0,262	0,089	0,007	0,020	0,018	0,018	0,497	1,004	0,174
	Mart	0,018	0,024	0,031	1,226	0,109	0,008	0,021	0,003	0,020	0,455	1,281	0,105
	Nisan	0,145	0,064	0,038	1,298	0,123	0,010	0,147	0,017	0,004	0,893	1,311	0,081
	Mayıs	0,092	0,050	0,096	1,608	0,255	0,047	0,215	0,023	0,026	1,729	0,913	0,160
	Haziran	0,105	0,044	0,061	1,510	0,248	0,033	0,207	0,132	0,051	1,156	1,116	0,101
Barbun balığı	Ocak	0,362*	0,796*	1,425	25,773	32,802	0,297	0,262	0,056	0,423	3,519	0,426	0,141
	Şubat	0,482*	0,654*	1,711	16,920	27,610	0,335	0,307	0,113	0,487	2,930	0,502	0,277
	Mart	0,253	1,206*	1,406	26,664	27,561	1,070	0,243	0,048	0,606	2,531	1,624	0,206
	Nisan	0,291	1,400*	1,559	18,232	28,397	0,408	0,226	0,039	0,522	1,564	1,787	0,267
	Mayıs	0,099	1,076*	1,768	19,681	23,054	0,756	0,224	0,060	0,561	3,625	1,610	0,478
	Haziran	0,070	0,239*	3,091	36,609	41,126	0,550	0,057	0,258	1,240	13,024	0,330	0,189

*: Yasal limitlerin üzerinde tespit edilmiş olan veriler. (TGK, 2011)

4.2. Çinko (Zn)

Analiz edilen deniz ürünlerine ait ortalama Zn düzeyleri Tablo 5 ve Şekil 10'da verilmektedir. Karideslerde Zn düzeyinin 54,775 mg/kg (Haziran) ile 26,030 mg/kg (Nisan) arasında, dil balıklarında ise 22,659 mg/kg (Mart) ile 30,537 mg/kg (Haziran) arasında olduğu görülmüştür. İstavrit balıklarında Zn düzeyi en düşük 0,089 mg/kg (Şubat) ve en yüksek 0,255 mg/kg (Mayıs) olarak tespit edilmiştir. Barbun balıklarında Zn düzeyleri 23,054 mg/kg (Mayıs) ile 41,126 mg/kg (Haziran) arasında bulunmuştur.

Sezon boyunca elde edilen Zn düzeyi veri ortalamaları incelendiğinde, en yüksek Zn düzeyi 40,932 mg/kg ile karideslerde ölçülmüştür. Karideslerdeki bu düzeyin diğer türlerden anlamlı bir şekilde yüksek olduğu görülmüştür ($p<0,05$) (Tablo 8). Dil ve barbun balıklarında Zn düzeyi ortalamaları sırasıyla 25,500 mg/kg ve 30,092 mg/kg olarak tespit edilmiştir. İstavrit balıklarında ise 0,164 mg/kg olarak ölçülmüş olup, bu düzeyin diğer türlerde tespit edilen Zn düzeyi ortalamasından istatistiki olarak oldukça düşük olduğu görülmüştür ($p<0,05$).

4.3. Alüminyum (Al)

Analiz edilen deniz ürünlerine ait ortalama Al düzeyleri Tablo 5 ve Şekil 10'da verilmektedir. Altı aylık süreç sonunda Al ortalama ölçüm düzeyi karideste 17,978 mg/kg, dil balığı örneklerinde 6,223 mg/kg, barbun örneklerinde 4,472 mg/kg, ve istavrit balığı örneklerinde 0,882 mg/kg, olarak belirlenmiştir. Karideslerde Al düzeyi en düşük 2,864 mg/kg (Nisan) ve en yüksek 45,502 mg/kg (Mayıs) olarak, dil balıklarında en düşük 1,523 mg/kg (Ocak) ve en yüksek 12,497 mg/kg (Mart) olarak bulunmuştur. İstavrit balıklarında ise en düşük düzey 0,455 mg/kg ile Mart ayında ve en yüksek 1,729 mg/kg ile Mayıs ayında tespit edilmiştir. Barbun balıklarında ise Al düzeyleri 1,564 mg/kg (Nisan) en düşük değer ile 13,024 mg/kg (Haziran) değerleri arasında değişmektedir.

Veri ortalamaları incelendiğinde, sezon boyunca elde edilen karideslerin ortalama 17,978 mg/kg Al içerdiği belirlenmiş ve bu düzeyin istavrit (0,882 mg/kg) ve barbun (4,472 mg/kg) balıklarından anlamlı bir şekilde yüksek olduğu görülmüştür ($p<0,05$). Dil balıklarında ise Al düzeyi ortalaması 6,223 mg/kg olarak

ölçülmüş olup, bu düzeyin diğer türlerden istatistiki olarak farklı olmadığı anlaşılmıştır.

4.4. Kadmiyum (Cd)

Analiz edilen deniz ürünlerine ait ortalama Cd düzeyleri Tablo 6 ve Şekil 11'de verilmektedir. Cd düzeyi karideslerde en düşük 1,014 mg/kg (Ocak) ve en yüksek 1,872 mg/kg (Haziran) olarak, dil balıklarında en düşük 0,826 mg/kg (Ocak) ve en yüksek 1,532 mg/kg (Haziran) olarak tespit edilmiştir. İstavrit balıklarında en düşük 0,009 mg/kg ile Şubat ayında ve en yüksek düzey 0,064 mg/kg ile Nisan ayında belirlenmiştir. Barbun balıklarında ise Cd düzeyleri 0,239 mg/kg (Haziran) ile 1,400 mg/kg (Nisan) arasında değişkenlik göstermiştir.

İstavrit balığı örneklerinde Cd düzeyi en düşük ortalama 0,040 mg/kg olarak saptanmıştır. Bu değer diğer örneklerle karşılaştırıldığında istatistiksel olarak anlamlı ($p < 0,05$) olduğu görülmüştür. Sezon boyunca elde edilen veri ortalamaları incelendiğinde, karideslerin Cd düzeyi (1,445 mg/kg) ile istavrit (0,040 mg/kg) ve barbun (0,895 mg/kg) balıklarındaki düzeyler arasında istatistiksel açıdan bir farklılık belirlenmiş, ancak dil balıkları (1,223 mg/kg) ile arasında herhangi bir istatistiksel farkın olmadığı gözlenmiştir.

4.5. Bakır (Cu)

Analiz edilen deniz ürünlerine ait ortalama Cu düzeyleri Tablo 6 ve Şekil 11'de verilmektedir. Karideslerde Cu düzeyi 21,451 mg/kg (Haziran) ile 3,503 mg/kg (Nisan) arasında, dil balıklarında ise 0,697 mg/kg (Nisan) ile 2,051 mg/kg (Haziran) arasında ölçülmüştür. İstavrit balıklarında Cu düzeyi en düşük 0,022 mg/kg (Şubat) ve en yüksek 0,096 mg/kg (Mayıs) olarak tespit edilmiştir. Barbun balıklarında ise Cu düzeyi 1,406 mg/kg (Mart) ile 3,091 mg/kg (Haziran) arasında değişmiştir.

Karides örneklerinde (9,673 mg/kg) tüm aylara göre ortalama Cu seviyesinin diğer balık türleri ile karşılaştırıldığında yüksek olduğu ve bu sonucun istatistiksel olarak anlamlı olduğu ($p < 0,05$) belirlenmiştir. Dil, istavrit ve barbun balıklarında ise sırasıyla 1,247 mg/kg, 0,048 mg/kg ve 1,827 mg/kg olarak tespit edilen Cu seviyelerinin aralarındaki farklılığın anlamlı olmadığı anlaşılmıştır.

4.6. Arsenik (As)

Analiz edilen deniz ürünlerine ait ortalama As düzeyleri Tablo 6 ve Şekil 11'de verilmektedir. Örnek türüne göre As düzeyleri karideslerde en düşük 1,679 mg/kg (Mayıs) ve en yüksek 2,233 mg/kg (Mart) olarak, dil balıklarında en düşük 0,512 mg/kg (Ocak) ve en yüksek 1,598 mg/kg (Şubat) olarak tespit edilmiştir. İstavrit balıklarında en düşük düzey 0,913 mg/kg ile Mayıs ayında ve en yüksek 1,311 mg/kg ile Nisan ayında belirlenmiştir. Barbun balıklarında ise As düzeylerinin 0,330 mg/kg (Haziran) ile 1,787 mg/kg (Nisan) arasında değiştiği görülmüştür.

Sezon boyunca elde edilen veri ortalamaları incelendiğinde, en yüksek As düzeyi ortalaması 1.868 mg/kg olarak karideslerde tespit edilmiştir. Karides ile diğer balık türleri arasındaki bu farkın istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür ($p<0,05$). Dil, istavrit ve barbun balıklarında ise ortalamalar sırasıyla 1,015 mg/kg, 1,127 mg/kg ve 1,047 mg/kg olarak ölçülmüş ve bu balıklara ait ölçüm sonuçları arasında istatistiksel olarak herhangi bir fark olmadığı belirlenmiştir.

4.7. Kurşun (Pb)

Analiz edilen deniz ürünlerine ait ortalama Pb düzeyleri Tablo 7 ve Şekil 12'de verilmektedir. Karideslerde Pb düzeyi 0,041 mg/kg (Ocak) ile 0,181 mg/kg (Nisan) arasında, dil balıklarında ise 0,035 mg/kg (Ocak) ile 0,320 mg/kg (Şubat) arasında ölçülmüştür. İstavrit balıklarında Pb düzeyi en düşük 0,018 mg/kg ile Mart ayında ve en yüksek 0,145 mg/kg ile Nisan ayında tespit edilmiştir. Barbun balıklarında ise Pb düzeyi 0,070 mg/kg (Haziran) ile 0,482 mg/kg (Şubat) arasındaki değerlerde belirlenmiştir.

Sezon boyunca elde edilen Pb düzeyi veri ortalamaları karşılaştırıldığında, en yüksek Pb düzeyi 0,260 mg/kg ile barbun balığında ölçülürken, en düşük karides ve istavrit balıklarında (0,078-0,077 mg/kg) tespit edilmiştir. Türler arasındaki bu farklılıkların istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür ($p<0,05$). Dil balıklarında (0,141 mg/kg) ise diğer türlere oranla ortalama Pb düzeyinde istatistiksel bir fark görülmemiştir.

4.8. Nikel (Ni)

Analiz edilen deniz ürünlerine ait ortalama Ni düzeyleri Tablo 7 ve Şekil 12'de verilmektedir. Karideslerde Ni düzeyi 0,008 mg/kg (Şubat) ile 0,470 mg/kg (Haziran) arasında, dil balıklarında ise 0,015 mg/kg (Ocak) ile 0,263 mg/kg (Nisan) arasında ölçülmüştür. İstavrit balıklarında Ni düzeyi en düşük 0,020 mg/kg ile Şubat ayında ve en yüksek 0,215 mg/kg ile Mayıs ayında tespit edilmiştir. Barbun balıklarında ise Ni düzeyi 0,057 mg/kg (Haziran) ile 0,307 mg/kg (Şubat) arasında ölçülmüştür.

Sezon boyunca elde edilen Ni düzeyi veri ortalamaları karşılaştırıldığında en yüksek Ni düzeyi 0,220 mg/kg ile barbun balıklarında ölçülürken, en düşük dil balıklarında (0,104 mg/kg) belirlenmiştir. Karideslerde ve istavrit balıklarında ise sırasıyla 0,153 mg/kg ve 0,107 mg/kg olarak tespit edilmiştir. Ni düzeyi açısından türler arasında farklılıklar olmasına karşın, bu farklılıkların istatistiki olarak anlamlı olmadığı görülmüştür.

4.9. Kobalt (Co)

Analiz edilen deniz ürünlerine ait ortalama Co düzeyleri Tablo 7 ve Şekil 12'de verilmektedir. Co düzeyi karideslerde en düşük 0,083 mg/kg (Mayıs) ve en yüksek 0,176 mg/kg (Haziran) olarak, dil balıklarında en düşük 0,046 mg/kg (Nisan) ve en yüksek 0,175 mg/kg (Haziran) olarak belirlenmiştir. İstavrit balıklarında en düşük düzey 0,003 mg/kg ile Mart ayında ve en yüksek 0,132 mg/kg ile Haziran ayında tespit edilmiştir. Barbun balıklarında ise 0,039 mg/kg (Nisan) ile 0,258 mg/kg (Haziran) arasında değiştiği görülmüştür.

Örneklere ait veri ortalamaları incelendiğinde, sezon boyunca elde edilen karides, dil, istavrit ve barbun balıklarının sırasıyla 0,111 mg/kg, 0,093 mg/kg, 0,034 mg/kg ve 0,096 mg/kg ortalama Co içerdiği görülmüştür. En yüksek Co düzeyi barbunda ve en düşük, istavrit balıklarında tespit edilmesine karşın türler arasındaki bu farklılıkların istatistiksel olarak anlamlılık taşımadığı gözlenmiştir.

4.10. Krom (Cr)

Analiz edilen deniz ürünlerine ait ortalama Cr düzeyleri Tablo 8 ve Şekil 13'de verilmektedir. Cr düzeyi karideslerde en düşük 0,124 mg/kg (Nisan) ve en

yüksek 0,722 mg/kg (Haziran) olarak, dil balıklarında en düşük 0,453 mg/kg (Şubat) ve en yüksek 1,220 mg/kg (Mart) olarak belirlenmiştir. İstavrit balıklarında en düşük düzey 0,007 mg/kg ile Şubat ayında ve en yüksek 0,047 mg/kg ile Mayıs ayında tespit edilmiştir. Barbun balıklarında ise Cr düzeyleri 0,297 mg/kg (Ocak) ile 1,070 mg/kg (Mart) arasında değişmektedir.

Altı aylık avlanma sezonunda hasat edilen ve ardından analiz edilen karideslerin ortalama 0,346 mg/kg Cr içerdiği görülmüş olup, bu düzeyin diğer türlerden istatistiksel olarak farklı olmadığı anlaşılmıştır. Dil (0,640 mg/kg) ve barbun (0,569 mg/kg) balıkları istavrit balıklarına (0,019 mg/kg) oranla daha fazla Cr içermekte olup, bu farklılık istatistiki olarak anlamlı ($p<0,05$) bulunmuştur.

4.11. Mangan (Mn)

Analiz edilen deniz ürünlerine ait ortalama Mn düzeyleri Tablo 8 ve Şekil 13'de verilmektedir. Mn düzeyi karideslerde en düşük 0,654 mg/kg (Nisan) ve en yüksek 3,284 mg/kg (Haziran) olarak, dil balıklarında en düşük 0,506 mg/kg (Nisan) ve en yüksek 1,281 mg/kg (Mart) olarak belirlenmiştir. İstavrit balıklarında en düşük 0,004 mg/kg ile Nisan ayında ve en yüksek düzey 0,051 mg/kg ile Haziran ayında tespit edilmiştir. Barbun balıklarında ise Mn düzeyleri 0,423 mg/kg (Ocak) ile 1,240 (Haziran) mg/kg arasında değişmektedir.

Sezon boyunca elde edilen veri ortalamaları incelendiğinde karideslerde Mn düzeyi 1,482 mg/kg ve istavrit balıklarında ortalama 0,022 mg/kg olarak ölçülmüştür. Karides ile istavrit balıkları arasındaki bu farkın istatistiki olarak anlamlı olduğu görülmüştür ($p<0,05$). Dil ve barbun balıklarında ise Mn düzeyi ortalaması sırasıyla 0,930 mg/kg ve 0,640 mg/kg olarak ölçülmüş olup, diğer türler ile arasında istatistiki olarak herhangi bir farkın olmadığı anlaşılmıştır.

4.12. Civa (Hg)

Analiz edilen deniz ürünlerine ait ortalama Hg düzeyleri Tablo 8 ve Şekil 13'de verilmektedir. Hg düzeyi karideslerde en düşük 0,058 mg/kg (Şubat) ve en yüksek 0,319 mg/kg (Ocak) olarak, dil balıklarında en düşük 0,049 mg/kg (Nisan) ve en yüksek 0,528 mg/kg (Mart) olarak tespit edilmiştir. İstavrit balıklarında en düşük düzey 0,066 mg/kg ile Ocak ayında ve en yüksek 0,174 mg/kg ile Şubat ayında

belirlenmiştir. Barbun balıklarında ise Hg düzeyleri 0,141 mg/kg (Ocak) ile 0,478 mg/kg (Mayıs) arasında değişmektedir.

Veri ortalamaları incelendiğinde, sezon boyunca elde edilen karideslerde, dil, istavrit ve barbun balıklarının sırasıyla ortalama 0,181 mg/kg, 0,223 mg/kg, 0,115 mg/kg ve 0,260 mg/kg Hg içerdiği görülmüştür. En yüksek ve en düşük Hg düzeyleri dil balığı örneklerinde tespit edilmiştir, diğer taraftan türler arasındaki farklılıkların istatistiki olarak anlamlı olmadığı görülmüştür.



Tablo 5: Örnek Türüne Göre Fe, Zn ve Al Düzeyi Ortalamaları (mg/kg)

Örnek türü	Ağır Metal					
	Fe		Zn		Al	
	Ortalama	Standart sapma	Ortalama	Standart sapma	Ortalama	Standart sapma
Karides	22,723a	13,066	40,932a	10,78	17,978a	14,691
Dil Balığı	20,599a	7,348	25,500b	3,411	6,223ab	3,993
İstavrit	1,026b	0,612	0,164c	0,072	0,882b	0,495
Barbun	23,980a	7,366	30,092b	6,230	4,472b	4,247

a,b,c: Farklı harfler örnek türleri arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olduğunu ifade eder.

Tablo 6: Örnek Türüne Göre Cd, Cu ve As Düzeyi Ortalamaları (mg/kg)

Örnek türü	Ağır Metal					
	Cd		Cu		As	
	Ortalama	Standart sapma	Ortalama	Standart sapma	Ortalama	Standart sapma
Karides	1,445a	0,324	9,673a	6,809	1,868a	0,217
Dil Balığı	1,223ab	0,301	1,247b	0,451	1,015b	0,413
İstavrit	0,040c	0,020	0,048b	0,027	1,127b	0,154
Barbun	0,895b	0,420	1,827b	0,636	1,047b	0,692

a,b,c: Farklı harfler örnek türleri arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olduğunu ifade eder.

Tablo 7: Örnek Türüne Göre Pb, Ni ve Co Düzeyi Ortalamaları (mg/kg)

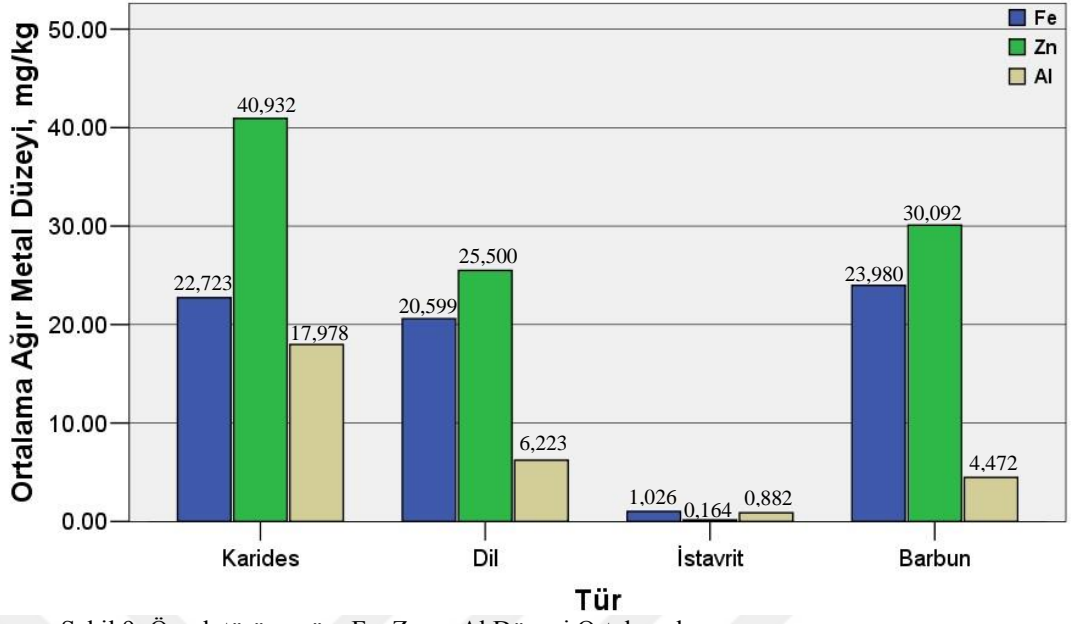
Örnek türü	Metaller (mg/kg)					
	Pb		Ni		Co	
	Ortalama	Standart sapma	Ortalama	Standart sapma	Ortalama	Standart sapma
Karides	0,078b	0,055	0,153a	0,169	0,111a	0,034
Dil Balığı	0,141ab	0,096	0,104a	0,102	0,093a	0,057
İstavrit	0,077b	0,047	0,107a	0,093	0,034a	0,049
Barbun	0,260a	0,157	0,220a	0,085	0,096a	0,084

a,b: Farklı harfler örnek türleri arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olduğunu ifade eder.

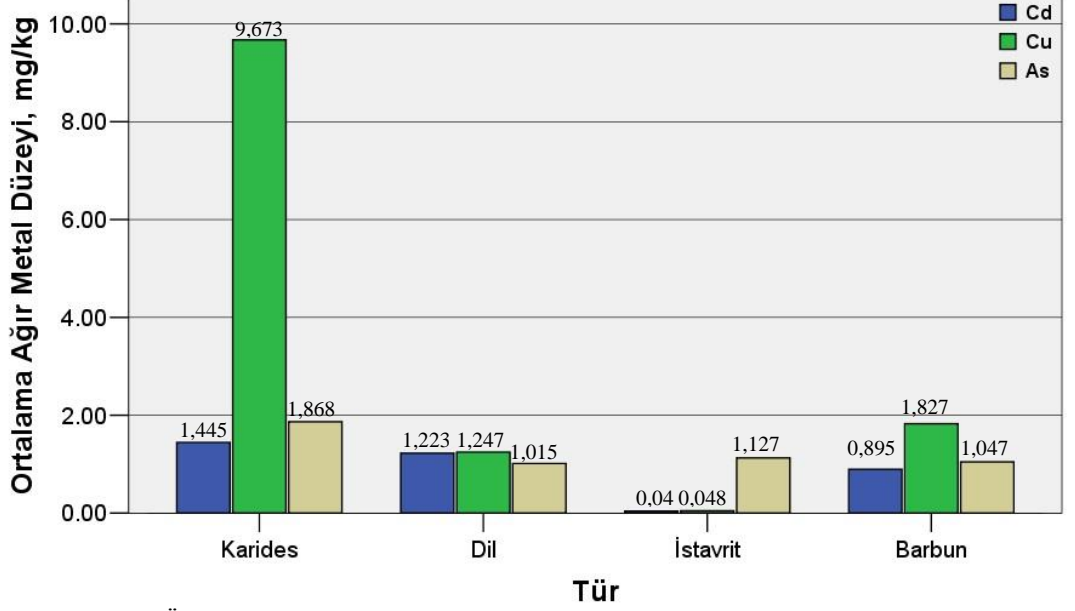
Tablo 8: Örnek Türüne Göre Cr, Mn ve Hg Düzeyi Ortalamaları (mg/kg)

Örnek türü	Metaller (mg/kg)					
	Cr		Mn		Hg	
	Ortalama	Standart sapma	Ortalama	Standart sapma	Ortalama	Standart sapma
Karides	0,346ab	0,028	1,482a	1,086	0,181a	0,111
Dil Balığı	0,640a	0,290	0,930ab	0,308	0,223a	0,187
İstavrit	0,019b	0,007	0,022b	0,016	0,115a	0,043
Barbun	0,569a	0,297	0,640ab	0,301	0,260a	0,118

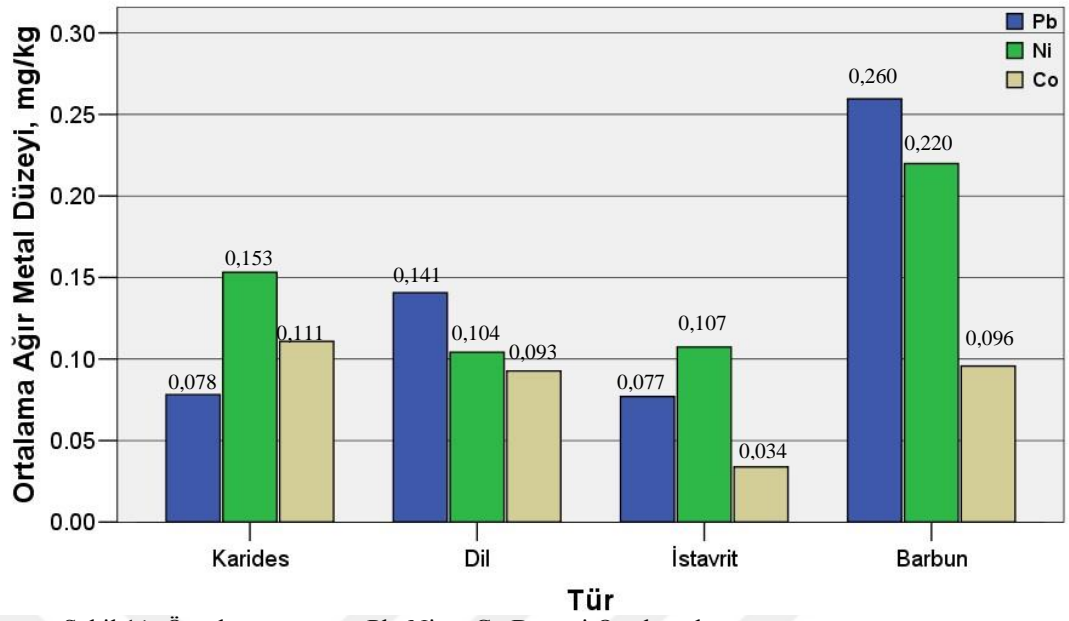
a,b: Farklı harfler örnek türleri arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olduğunu ifade eder.



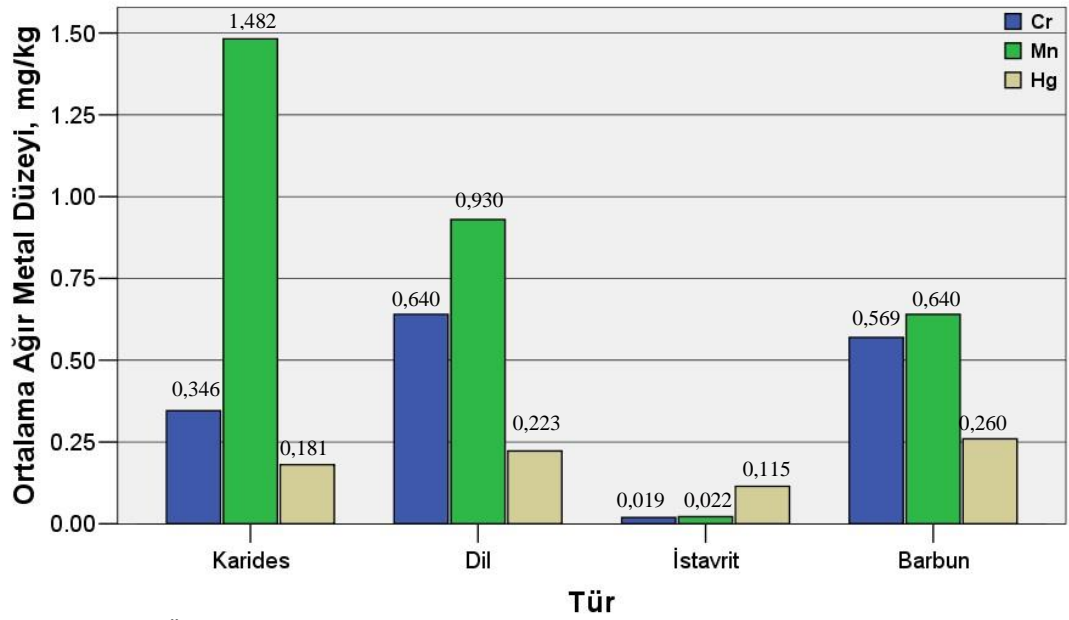
Şekil 9: Örnek türüne göre Fe, Zn ve Al Düzeyi Ortalamaları



Şekil 10: Örnek türüne göre Cd, Cu ve As Düzeyi Ortalamaları



Şekil 11: Örnek türüne göre Pb, Ni ve Co Düzeyi Ortalamaları



Şekil 12: Örnek türüne göre Cr, Mn ve Hg Düzeyi Ortalamaları

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

5.1. Tartışma

5.1.1. Demir (Fe)

Gerçekleştirilen tez çalışmasında ortalama en düşük Fe istavritte 1,026 mg/kg bulunurken, dil balığında 20,599 mg/kg ve karideste 22,723 mg/kg ölçülmüştür. En yüksek Fe düzeyi 23,980 mg/kg ile barbun balıklarında belirlenmiştir. Fe elementinin sediment tabakada fazla bulunması ve barbun balığının demersal bir balık türü olması, Fe birikiminin nispeten fazla olmasının nedeni olabileceği düşünülmektedir. (Soliman ve ark., 2015 ve Yang ve Swami, 2007). Karadeniz ve Ege Deniz'inden elde edilen balıklar üzerine yapılan bir çalışmada, Uluözlü ve ark. (2007) mevcut araştırma sonuçlarının çok üzerinde veriler (68,6-163 mg/kg) rapor ederken, bu çalışmaya paralel sonuçları (30-160 mg/kg) Topçuoğlu ve ark. (2002) Karadeniz kıyılarında avlanan balıklarda bildirmiştir. Mevcut çalışmada istavrit örneğinde Fe düzeyi 1 mg/kg civarında bulunurken, Tüzen (2003) bu balık türlerinde Fe düzeyini 31,26 mg/kg olarak rapor etmiştir. Duran ve ark. (2014) barbun balığı örneklerinde Fe düzeyini (11,0 mg/kg) mevcut çalışmada alınan verilerle (23,980 mg/kg) kıyaslandığında, yaklaşık yarı yarıya daha düşük düzeyde tespit etmiştir. Dil balıklarında ise çeşitli araştırmacılar (Duran ve ark., 2014; Ersoy ve Çelik, 2010 ve Guerin ve ark., 2011) tarafından yine daha düşük bulgular rapor edilmiştir. Diğer bir çalışmada Fraser ve ark. (2013) tarafından deniz ürünlerinde Fe düzeyi <25 mg/kg olarak bildirilirken; Guerin ve ark. (2011) karideslerde Fe düzeyini 15,8 mg/kg olarak rapor etmişlerdir.

5.1.2. Çinko (Zn)

İstavrit örneği hariç, incelenen tüm deniz ürünlerinde Zn'nin en yüksek düzeyde ölçülen metal olduğu tespit edilmiştir. Karides örneklerinde ortalama 40,932 mg/kg gibi çok yüksek bir seviyede bulunduğu ortaya konmuştur. Fakat Amerikan Çevre Koruma Kurumuna (United States Environmental Protection Agency, US EPA) göre Zn'nin zehirlenmeye sebep olabilecek minimum günlük alım miktarının

0,3 mg/kg/canlı ağırlık olduğu (Bazzi ve ark., 2008) göz önünde bulundurulduğunda, insan sağlığına yönelik olumsuz bir etki oluşturma potansiyelinin düşük olduğu düşünülmektedir. Balık örneklerinden barbun ve dil balığında sırasıyla Zn düzeyi 30,092 mg/kg ve 25,500 mg/kg gibi yüksek miktarlarda bulunurken, istavrit balığında ise 0,164 mg/kg düzeyinde ölçülmüştür. Tez çalışmasındaki verilerin değişkenliğine benzer farklılıklar diğer araştırmacıların raporlarında da gözlenmiştir ve sonuçlar aşağıda sunulmuştur. Zn düzeyini Topçuoğlu ve ark. (2002) Karadeniz kıyılarında 9,5-22,9 mg/kg olarak, Kalay ve ark. (2004) Akdeniz'den avlanan balıklarda 16,1-31,4 mg/kg olarak rapor etmişlerdir. Fraser ve ark. (2013) Kanada'da satılan deniz ürünlerinde Zn düzeyini 8,1 mg/kg olarak ölçmüşlerdir. Tüzen (2003) Orta Karadeniz'de yaptığı bir çalışmada, yaş yakma yöntemi kullanarak istavrit balıklarında Zn düzeyini 11,41 mg/kg olarak belirlemiştir. Doğu Akdeniz'de Ersoy ve Çelik (2010) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada dil balıklarında yaz, sonbahar, kış ve ilkbahar mevsimlerinde balık kaslarında ortalama Zn düzeyi sırasıyla 2,09 mg/kg, 2,76 mg/kg, 2,18 mg/kg ve 2,76 mg/kg olarak tespit etmişlerdir. Guerin ve ark (2011) ise dil balıklarında ve karideslerde Zn düzeyini sırasıyla 4,35 mg/kg ve 15,1 mg/kg olarak bildirmişlerdir. Zn'nin karideslerde yüksek, buna karşılık balıklarda değişen derecelerde bulunması dikkat çekicidir. Bu durumun balıkların vücut dokularında, Zn konsantrasyonunu kontrol edebilmesinden ileri geldiği düşünülmekte ve bu nedenle dokulardaki Zn düzeyinin çevresel kontaminasyonu yansıtmayacağı belirtilmektedir. Bu durum balıklardaki Zn düzeyindeki farklılıkların sebebini açıklamaktadır (Petkovsek ve ark., 2012).

5.1.3. Alüminyum (Al)

Mevcut tez çalışmasında analiz edilen örneklerde ortalama en yüksek Al düzeyi 17,978 mg/kg ile karides örneklerinde belirlenmiştir. Balıklarda ise ortalama en yüksek Al düzeyi dil balıklarında (6,223 mg/kg) ve en düşük istavrit örneklerinde (0,882 mg/kg) ölçülmüştür. Su ürünlerinde Al varlığı ve miktarını belirlemek üzere dünyada ve ülkemizde birçok araştırma yapılmıştır. Bu çalışmalardan elde edilen veriler aşağıda özetlenmiştir. Tez çalışmasında elde edilen sonuçlara benzer olarak Guerin ve ark. (2011) Al düzeyini karides ve dil balıklarında sırayla 26,3 ve 0,847 mg/kg olarak tespit etmişlerdir. Kanada'da karides örneklerinde Al'u 1,10 mg/kg

düzeyinde ölçen Fraser ve ark.'nın (2013) elde ettiği verilerin, tez çalışması sonuçlarına göre daha düşük olduğu gözlenmiştir. Türkiye'de Marmara Denizi'nde yürütülen bir çalışmada ise karideslerde Al düzeyi 22,08 mg/kg ve 38,850 mg/kg arasında belirlenmiştir (Özden, 2010). Marmara Denizi'nde barbun ve istavrit balığı örnekleri üzerinde gerçekleştirilen bir diğer çalışmada barbun balığı Al düzeyleri 4,396 mg/kg ve istavrit balığında 2,167 mg/kg aralığında ölçülmüştür (Sökmen 2011). İskenderun Körfezi'nde gerçekleştirilen bir araştırmada ise, dil balıklarında Al düzeyi 2,23 mg/kg olarak saptanmıştır (Yılmaz ve ark., 2010). Sunulan çalışmalara ait sonuçlar mevcut tez çalışması verileri ile benzerlik göstermektedir. Marmara Denizi'nde ve Gemlik Körfezi'nde yaşayan canlılarda Al düzeyinin yüksek olmasının muhtemel nedeni olarak Marmara Bölgesi'nde ve Gemlik Körfezi çevresinde ağır sanayinin gelişmiş olması, metal işleyen fabrikaların yoğun ve atıklarının deniz suyuna karışıyor olması düşünülmektedir (Büyükurgancı, 2011; Taşdemir, 2002 ve Ünübol, 2008).

5.1.4. Kadmiyum (Cd)

Mevcut tez çalışmasında; karides, dil ve barbun örneklerinin tüm aylara ait Cd ölçüm verilerinin Türk Gıda Kodeksi (TGK, 2011) tarafından belirlenen maksimum limiti (karides için 0,5 mg/kg, dil ve istavrit balıkları için 0,1 mg/kg, barbun balıkları için 0,05 mg/kg) aştığı belirlenmiştir. Sadece istavrit balıklarında Cd yasalara uygun miktarda tespit edilmiştir. Mevcut çalışma sonuçlarının aksine aşağıda özetlenen raporlara göre Marmara Denizi'nden hasat edilen çeşitli balık türlerinde Cd seviyesi yasal limitler içerisinde bulunmuştur. Bu araştırmacıardan Keskin ve ark. (2007) Marmara Denizi'nden avlanan karides, dil ve barbun balıklarında Cd düzeylerini sırasıyla 0,016 mg/kg, 0,022 mg/kg ve 0,012 mg/kg olarak ölçmüştür. Sökmen (2011) ise istavrit ve barbun balıklarında Cd düzeylerini 0,044 mg/kg ve 0,047 mg/kg olarak tespit etmişlerdir. Dökmeci ve ark. (2014) ile Özden (2010) Cd düzeylerini yine Marmara Denizi'nden avlanan karideslerde sırasıyla 0,05 mg/kg ve 0,106 mg/kg aralığında tespit etmişlerdir. Karadeniz kıyılarından hasat edilen balıkların kas dokusunda Cd düzeyi 0,02 - 0,24 mg/kg olarak bulunmuştur (Hussein ve Khaled, 2014). Sunulan tez çalışmasında, balık örneklerine ait sonuçlar ile paralel olarak satış yerlerinden elde edilen barbun

balıklarında ortalama Cd düzeyi 0,54 mg/kg ve dil balıklarında 0,64 mg/kg olarak ölçülmüştür (Duran ve ark., 2014). Şireli ve ark. (2006) ise marketlerdeki çeşitli deniz ürünlerinde Cd düzeyini ortalama 0,0136 mg/kg olarak tespit etmişlerdir. Orta Karadeniz'de yaş yakma yöntemi kullanarak yapılan başka bir çalışmada ise istavrit balıklarında Cd düzeyi 0,48 mg/kg olarak belirlenmiştir (Tüzen, 2003). Doğu Akdeniz'de dil balıkları üzerine gerçekleştirilen araştırmada yaz, sonbahar, kış ve ilkbahar mevsimlerinde balık kaslarında ortalama Cd seviyesi sırasıyla 0,08 mg/kg, 0,03 mg/kg, 0,11 mg/kg ve 0,11 mg/kg olarak rapor edilmiştir (Ersoy ve Çelik, 2010). Fraser ve ark. (2013) Kanada'da satılan deniz ürünlerinde Cd düzeyini < 0,05 mg/kg olarak bildirmişlerdir. Sonuç olarak Gemlik Körfezi'nden elde edilen deniz ürünlerinde ölçtüğümüz Cd değerlerinin, Marmara Denizi'nin farklı bölgelerinde yapılan çalışma sonuçlarından daha yüksek olduğu anlaşılmıştır.

5.1.5. Bakır (Cu)

Tez çalışmasında karides örneğinde ortama Cu düzeyi 9,673 mg/kg olarak tespit edilmiştir. 2007 ve 2010 yılları arasında Marmara Denizi'nde avlanan karidesler üzerine gerçekleştirilen iki farklı araştırmada, Cu seviyeleri sırasıyla 0,88 mg/kg (Keskin ve ark., 2007) ve 6,37 mg/kg (Özden, 2010) olarak ölçülmüştür. İskenderun Körfezi'nden elde edilen karideslerde Cu düzeyi 4,19-5,64 mg/kg aralığında belirlenmiştir (Duran ve ark., 2014). Yukarıda özetlenen araştırma sonuçlarının mevcut çalışma sonuçlarından daha düşük olduğu gözlenirken, Guerin ve ark.'nın (2011) 9,22 mg/kg'lık raporunun elde edilen verilerle benzerlik gösterdiği anlaşılmıştır. Dil balığı örneklerinden elde edilen 1,25 mg/kg seviyesine yakın sonuçlar Ersoy ve Çelik (2010) ve Duran ve ark (2014) tarafından, daha düşük analiz verileri ise Keskin ve ark (2007) ve Guerin ve ark.(2011) tarafından bildirilmiştir. Buna karşılık istavrit balıklarında Cu miktarı Tüzen (2003) ve Sökmen (2011) çalışmalarından daha düşük düzeyde bulunmuştur. Barbun balıklarında ise sunulan tezdeki Cu metaline ilişkin veriler (1,83 mg/kg) Sökmen'in (2011) 3,14 mg/kg'lık ölçümünden daha düşük, Keskin ve ark.'nın (2007) rapor ettiği 0,30 mg/kg'dan daha yüksek, Duran ve ark.'nın (2014) 1,11 mg/kg'lık sonucuyla benzer seviyede tespit edilmiştir. Bakır düzeyleri arasındaki heterojen ölçümlerin muhtemel nedeni Marmara Denizi'nin farklı bölgelerinde bakır düzeylerinin farklılık göstermesi olarak

düşünülmektedir. Gemlik, zeytinciliğin yaygın olarak yapıldığı ve dolayısıyla bakır sülfatın yoğun olarak kullanıldığı bir bölgedir. Bu nedenle Gemlik Körfezi'nin bakır kontaminasyonuna daha fazla maruz kalabileceği ve böylece tarımsal amaçlı kullanılan bakırın deniz canlılarına kadar ulaşabileceği teorisi ortaya atılmıştır (Ünübol, 2008; Büyükgüncü, 2011).

5.1.6. Arsenik (As)

Gıda Katkıları FAO/WHO Ortak Uzmanlar Komitesi (JECFA) tarafından tolere edilebilir haftalık alım miktarı 15 µg/kg (JECFA, 2010) olarak açıklanan As düzeyi, tez çalışmasında incelenen karidesler ile istavrit, barbun ve dil balıklarında sırasıyla en yüksek 2,233 mg/kg, 1,311 mg/kg, 1,787 mg/kg ve 1,598 mg/kg ve ortalama 1,868 mg/kg, 1,127 mg/kg, 1,047 mg/kg ve 1,015 mg/kg olarak ölçülmüştür. Bu durumda As'in deniz ürünlerinde tüketim sıklığına ve miktarına bağlı olarak risk oluşturabileceği kanaatine varılmıştır.

Mevcut tez çalışmasında alınan sonuçlarımıza benzer olarak Yılmaz ve ark. (2010) As miktarını tüm balıklarda 0,98 mg/kg ve 1,74 mg/kg arasında tespit etmiştir. Dökmeçi ve ark (2014) Tekirdağ Körfezi'nden avlanan karideslerde As düzeyini en düşük 0,86 mg/kg ve ortalama 0,93 mg/kg olarak bildirmişlerdir. Tez çalışması sonuçlarından farklı olarak bazı araştırmalarda As miktarı daha düşük belirlenmiştir. Bu çalışmalardan birisinde Marmara Denizi'nden avlanan karideslerde As düzeyi en düşük 0,262 mg/kg ve en yüksek 0,368 mg/kg olarak bulunmuştur (Özden, 2010). Bir diğer çalışmada ise Aksu ve ark. (2011) Marmara Denizi'nin farklı bölgelerinden 2009 av sezonu süresince avlanan balıklarda As düzeyini en düşük 0,001 mg/kg ve en yüksek 0,21 mg/kg olarak ölçmüşlerdir. İspanya'da Olmedo ve ark. (2013) marketlerde satılan karides, dil ve istavrit balıklarında As düzeyini sırasıyla ortalama 0,739 mg/kg, 0,233 mg/kg ve 0,243 mg/kg bulmuşlardır.

5.1.7. Kurşun (Pb)

Şubat ayında avlanan dil balığı (0,320 mg/kg) ile Ocak (0,362 mg/kg) ve Şubat aylarının (0,482 mg/kg) her ikisinde hasat edilen barbun balığı örneklerinde Pb düzeyinin (>0,30 mg/kg) Türk Gıda Kodeksi (TGK, 2011) tarafından belirlenen maksimum limiti aştığı görülmüştür. Nisan ayında analiz edilen barbun balıklarında

ise Pb 0,291 mg/kg'lık ölçüm sonucuyla, yasal limite çok yakın seviyede tespit edilmiştir. Diğer taraftan karides ve istavrit örneklerinden elde edilen veriler, yasal sınırın altında (sırasıyla <0,5 mg/kg ve <0,3 mg/kg) bulunmuştur. Mevcut tez çalışmasından alınan sonuçlara benzer olarak, Pb seviyesi Duran ve ark. (2014) tarafından barbun balıklarında (1,33mg/kg) ve dil balıklarında (1,01 mg/kg); Ersoy ve Çelik (2010) tarafından ise sadece sonbahar ayında toplanan dil balığı örneklerinde (0,38 mg/kg) yasal limitlerin üzerinde olduğu bildirilmiştir. Bir diğer araştırmada Marmara Denizi'nde avlanan barbun ve istavrit balıklarında kurşun düzeyleri sırasıyla 0,65 mg/kg ve 0,53 mg/kg olarak ölçülmüştür (Sökmen, 2011). Aşağıda özetlenen birçok araştırmada ise farklı sonuçlar elde edilmiştir. Pb düzeyi Orta Karadeniz'de Tüzen (2003) tarafından balık kaslarında 0,22-0,85 mg/kg aralığında ölçülürken; Şireli ve ark. (2006) marketlerdeki çeşitli deniz ürünlerinde bu metali 0,117 mg/kg seviyesinde tespit etmişlerdir. Marmara Denizi'nde karides, dil ve barbun balıklarında Pb düzeyleri sırasıyla 0,167 mg/kg, 0,133 mg/kg ve 0,035 mg/kg olarak bildirilmiştir (Keskin ve ark. 2007). Dökmeçi ve ark. (2014) Tekirdağ Körfezi'nde avlanan karideslerde Pb düzeyinin 0,51-2,12 mg/kg arasında olduğunu belirlemişlerdir. Özden (2010) Marmara Denizi'nden elde edilen karideslerde Pb'yi 0,197 mg/kg ve 0,230 mg/kg arasındaki seviyelerde tespit etmiştir. Fransa'da gerçekleştirilen bir çalışmada dil balıkları ve karideslerde Pb düzeyi sırasıyla 0,011 mg/kg ve 0,015 mg/kg olarak bulunmuştur (Guerin ve ark., 2011).

5.1.8. Nikel (Ni)

Çalışmada karides, dil ve istavrit örneklerinde ortalama Ni düzeyleri sırasıyla 0,153 mg/kg, 0,104 mg/kg ve 0,107 mg/kg, barbun balığında ise 0,220 mg/kg olarak bulunmuştur. Mevcut çalışma sonuçlarından daha yüksek olarak, Marmara Denizi'nde avlanan barbun ve istavrit balıklarında Ni düzeyi sırasıyla 0,48 mg/kg ve 0,468 mg/kg olarak belirlenirken (Sökmen, 2011), karides örneklerinde 0,22-19,25 mg/kg (Dökmeçi ve ark., 2014) ve 0,32-0,51 mg/kg (Özden, 2010) arasında değişen miktarlarda bulunmuştur. Benzer olarak Duran ve ark. (2014) tarafından barbun balıklarında ortalama Ni düzeyi 1,37 mg/kg ve dil balıklarında 2,05 mg/kg olarak ölçülmüştür. Ersoy ve Çelik'in (2010) Doğu Akdeniz'de yaptıkları bir çalışmada ise dil balıklarında yaz, sonbahar, kış ve ilkbahar mevsimlerinde kas dokudaki Ni

düeyleri sırasıyla 0,22 mg/kg, 0,12 mg/kg, 0,07 mg/kg ve 0,16 mg/kg olarak tespit edilmiştir. Ni kontaminasyonu Türkmen ve Ciminli (2007) tarafından İskenderun Körfezi'nden avlanan balık kaslarında 0,66 - 1,59 mg/kg arasında, Topçuoğlu ve ark (2002) tarafından ise Karadeniz kıyılarındaki balıklarda < 0,01-2,04 mg/kg arasında değişen seviyelerde bulunmuştur. Yurtdışında gerçekleştirilen bir çalışmada dil balıkları ve karideslerde Ni düzeyi sırasıyla 0,05 mg/kg ve 0,13 mg/kg olarak belirlenmiştir (Guerin ve ark., 2011).

5.1.9. Kobalt (Co)

Çalışmamızda ortalama en yüksek Co düzeyinin (0,111 mg/kg) karideslerde ve ortalama en düşük Co düzeyinin (0,034 mg/kg) istavrit balıklarında olduğu tespit edilmiştir; ancak türler arasında istatistiksel olarak Co düzeyleri açısından anlamlı bir farkın bulunmadığı gözlenmiştir. Mevcut çalışmada elde edilen sonuçlar, Özden'in (2010) Marmara Denizi'nden avlanan karideslerde belirlediği 0,081 - 0,249 mg/kg aralığında elde ettiği veriler ile uyumluluk göstermektedir. Dil balıklarındaki Co düzeyi (0,096 mg/kg) ise Yılmaz ve ark.'nın (2010) 0,39 mg/kg'lık bulgusuna kıyasla daha düşük seviyede bulunmuştur. Duran ve ark. (2014) barbun balıklarında ortalama Co düzeyini 2,38 mg/kg ve dil balıklarında 3,28 mg/kg, Tepe ve ark. (2008) ise 0,03 mg/kg olarak tespit etmişlerdir. Guerin ve ark. (2011) yaptıkları bir çalışmada, dil balıklarında ve karideslerde Co düzeyini sırayla 0,003 ve 0,013 mg/kg bulmuşlardır.

5.1.10. Krom (Cr)

Mevcut çalışmada Gemlik Körfezi'nden elde edilen su ürünlerinde Cr düzeyinin 0,019 mg/kg ile 0,640 mg/kg arasında değişkenlik gösterdiği ortaya konmuştur. Akdeniz'de ve Marmara Denizi'nde farklı zamanlarda yapılan ve aşağıda özetlenen çalışma sonuçları ile mevcut araştırma sonuçları karşılaştırıldığında Cr düzeylerinin benzerlik gösterdiği anlaşılmıştır. Tekirdağ Körfezi'nde avlanan karideslerde Cr düzeyi 0,13-0,77 mg/kg arasında ölçülürken (Dökmeci ve ark., 2014), Marmara Denizi'nin farklı bölgelerindeki karideslerde 1,262-1,502 mg/kg arasında tespit edilmiştir (Özden, 2010). Sökmen (2011) ise Marmara Denizi'nden elde ettikleri barbun ve istavrit balıklarında Cr düzeylerini sırasıyla 0,66 mg/kg ve

0,66 mg/kg olarak belirlemiştir. Ersoy ve Çelik (2010) Doğu Akdeniz'de yaptıkları çalışmada dil balıklarında yaz, sonbahar, kış ve ilkbahar mevsimlerinde balık kaslarında ortalama Cr seviyesini sırasıyla 0,03 mg/kg, 0,04 mg/kg, 0,05 mg/kg ve 0,04 mg/kg olarak ortaya koymuştur. Yılmaz ve ark. (2010) tarafından İskenderun Körfezi'nde yapılan bir çalışma, dil balıklarındaki Cr düzeyinin 0,70 mg/kg seviyesinde olduğunu göstermiştir. Duran ve ark. (2014) ise barbun balıklarında 5,03 mg/kg ve dil balıklarında 5,03 mg/kg'lık ölçüm verileriyle tez çalışmasına nispeten oldukça yüksek bir sonuç rapor etmişlerdir.

5.1.11. Mangan (Mn)

Yapılan tez çalışmasında Mn karideslerde ortalama en yüksek 1,482 mg/kg bulunurken, istavritte en düşük 0,022 mg/kg düzeyinde tespit edilmiştir. Karides örneklerinde çeşitli araştırmacılar tarafından 1,46 mg/kg (Özden, 2010) ve 0,05 mg/kg'lık (Guerin ve ark., 2011) ölçüm sonuçları rapor edilmiştir. Mn düzeyi Marmara Denizi'ndeki barbun balıklarında 2,40 mg/kg (Sökmen, 2011), İskenderun'da ise 1,71-2,64 mg/kg (Türkmen ve ark., 2005) olarak belirlenmiştir. Dil balığı örneklerinde ise mevcut çalışmadan daha düşük (Ersoy ve Çelik, 2010), veriler olduğu gibi daha yüksek (1,64 mg/kg) (Yılmaz ve ark., 2010) ve benzer (0,12 mg/kg) (Guerin ve ark., 2011) sonuçlar bildirilmiştir. Mn düzeyi istavrit balıklarında Tüzen (2003) tarafından 3,50 mg/kg ve Sökmen (2011) tarafından 1,55 mg/kg olarak belirlenmiştir.

5.1.12. Civa (Hg)

Mart ayında hasat edilen dil balığı örnekleri (0,528 mg/kg) hariç, diğer analiz edilen tüm su ürünlerinde Hg miktarı, Türk Gıda Kodeksi (TGK, 2011) tarafından belirlenen limitler içerisinde tespit edilmiştir. Keskin ve ark. (2007) Marmara Denizi'nden elde edilen dil balıklarında Hg düzeyini (0,329 mg/kg) yasal limitler içerisinde rapor etmiştir. Tez verilerine benzer olarak Dökmeci ve ark. (2014), Özden (2010) ve Keskin ve ark. (2007) karides örneklerinde Hg miktarını yasal sınırlar dahilinde rapor etmiştir. Keskin ve ark. (2007) barbun balıklarında Hg miktarını 0,434 mg/kg olarak bulurken, Olmedo ve ark. (2013) İspanya'da yaptıkları çalışmada istavrit balıklarında Hg düzeyini 0,107 mg/kg olarak rapor etmişlerdir.

5.2. Sonuç

Örnek türlerine göre ağır metal analiz sonuçları incelendiğinde; barbun balıklarında Cd ve Pb, dil balıklarında Hg, Cd ve Pb, karides örneklerinde ise Cd düzeyinin yasal limitlerin üzerinde olduğu ortaya konmuştur. Yine analiz edilen karides örneklerinde tespit edilen As düzeyinin, ilgili ürünün her gün tüketilmesi durumunda bireylerin haftalık As alım miktarını aştığı ve sağlık riski oluşturabileceği belirlenmiştir. Ağır metallerin ortalama en yüksek düzeyde hangi deniz ürününde bulunduğu baktığımızda, karides örneklerinde Cd, Cu, Zn, Co, Mn, Al, As; barbun örneklerinde Pb, Fe, Ni, Hg; dil balığı örneklerinde ise sadece Cr metali bakımından en yüksek analiz sonucu elde edilmiştir. Bu durum göstermiştir ki, dip balığı olan barbun ve dil balığı örnekleri ile yine denizin dip tabakasında yaşayan karides örneklerinde ağır metal birikimi, analiz edilen istavrit örneklerine göre daha fazladır.

Sonuç olarak analiz edilen deniz ürünlerinde değişik düzeylerde ağır metal kontaminasyonu bulunduğu mevcut tez çalışmasında ortaya konmuştur. Bu ürünlerin tüketimiyle insanlara nakledilebilen ağır metallerin vücutta birikim yapma eğilimleri ve böylece tüketicilerde muhtemel sağlık riskleri meydana getirebilme potansiyelleri göz önünde bulundurulduğunda; su ürünlerinde ağır metal kalıntılarına ilişkin denetimlerin sıklığının artırılmasının yararlı olacağı düşünülmektedir. Özellikle hamileler ve çocuklarda besleyici değeri sebebiyle balık tüketiminin diğer bireylere nispeten fazla olması, bu bireylerin risk grubunda olduğunu göstermektedir.

Akuatik çevreler ve buralarda yaşayan su canlıları, birçok kaynaktan ağır metal kontaminasyonuna maruz kalabilmektedir. Metal kirliliğinde rol oynayan önemli tehlikeler arasında bölgedeki tarımsal ve endüstriyel gelişmeler yer alabilmektedir. Türkiye'de gemi trafiğinin en yoğun olduğu ve aynı zamanda uluslararası ticarete önemli yere sahip bir körfez olan Gemlik Körfezi'nin birçok kirlenici kimyasala maruz kaldığı bilinmektedir. Körfez çevresine yerleşmiş olan ağır sanayiden kaynaklanan ağır metaller, deniz suyuna karışmakta ve bölgede bulunan deniz ürünlerinde birikime sebep olmaktadır. Bu durum gıda güvenliği açısından risk oluşturmakta ve dolayısıyla tüketici sağlığını olumsuz etkileyebilmektedir. Bu nedenle körfezdeki kirlenici minimum seviyeye indirmek için endüstriyel atıklar başta olmak üzere, deniz suyunu kirlen için gerekli önlemlerin zaman geçirilmeden alınması gerektiği düşünülmektedir. Ayrıca insanlar tarafından iz

elementlerin aşırı alımını önlemek amacıyla Gemlik Körfezindeki deniz ürünlerinin ve deniz suyunun kirliliğinin periyodik olarak kontrol edilerek izlenmesinin uygun olacağı değerlendirilmektedir.



6. KAYNAKLAR

Ahmad H, Yousafzai AM, Siraj M et al (2015) Pollution problem in River Kabul: accumulation estimates of heavy metals in native fish species. *BioMed Research International* 2015: 1-7.

Akbulut A, Akbulut NE (2010) The study of heavy metal pollution and accumulation in water, sediment, and fish tissue in Kızılırmak River Basin in Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment* 167: 521-526.

Aksu A, Balkıs N, Taşkın, ÖS (2011) Toxic metal (Pb, Cd, As and Hg) and organochlorine residue levels in Hake (*Merluccius merluccius*) from the Marmara Sea, Turkey. Author's Proof *Environmental Monitoring and Assessment* 182: 509-521.

Akşıray F (1987) Türkiye Deniz Balıkları ve Tayin Anahtarı II. Baskı, İstanbul Üniversitesi Rektörlüğü Yayınları, İstanbul, s: 60-626.

Alexander CS (1972) Cobalt-beer cardiomyopathy. A clinical and pathologic study of twenty-eight cases. *The American Journal of Medicine* 53:395-417.

Alhas E, Oymak SA, Akın KH (2009) Heavy metal concentrations in two barb, *Barbus xanthopterus* and *Barbus rajanorum mystaceus* from Ataturk Dam Lake, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 148: 11.

Arslan A (2013) Et Muayenesi ve Et Ürünleri Teknolojisi. Medipress Yayınevi, 2. Baskı, Malatya, s: 537-560.

Bakar C, Baba A (2009) Metaller ve insan sağlığı: yirminci yüzyıldan bugüne ve geleceğe miras kalan çevre sağlığı sorunu. 1.Tıbbi Jeoloji Çalıştayı, 30 Ekim–1 Kasım 2009, Nevşehir s: 162-185.

Bazzi A, Nriagu JO, Linder AMJ (2008) Determination of toxic and essential elements in children's blood with inductively coupled plasma-mass spectrometry. *Environmental Monitoring and Assessment* 10: 1226-1232.

Büyükurgancı N (2011) Gemlik Körfezi'nden avlanan ekonomik balık türlerinde ağır metal birikiminin tespiti. Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Can A, Bilecenoğlu M (2005) Türkiye Denizleri'nin Dip Balıkları Atlası. Birinci Baskı Arkadaş Yayınevi, Ankara, s: 110-161.

Castro-Gonzalez MI, Mendez-Armenta M (2008) Heavy metals: implications associated to fish consumption. *Environmental Toxicology and Pharmacology* 26: 263-271.

Cot (Committee on Toxicity) (2004) Advise on fish consumption: benefits and risks. Food Standards Agency and the Department of Health, Her Royal Majesty's Stationery, Norwich, UK.

Dalman Ö, Demirak A, Balcı A (2006) Determination of heavy metals (Cd, Pb) and trace elements (Cu, Zn) in sediments and fish of the Southeastern Aegean Sea (Turkey) by atomic absorption spectrometry, *Food Chemistry* 95: 157-162.

Djedjibegovic J, Larssen T, Skrbo A et al (2012) Contents of cadmium, copper, mercury and lead in fish from the Neretva river (Bosnia and Herzegovina) determined by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). *Food Chemistry* 131: 469-476.

Dökmeci AH, Yıldız T, Öngen A et al (2014) Heavy metal concentration in deepwater rose shrimp species (*Parapenaeus longirostris*, Lucas, 1846) collected from the Marmara Sea Coast in Tekirdağ. *Environmental Monitoring and Assessment* (2014) 186:2449–2454.

Duran A, Tüzen M, Soylak M (2014) Assessment of trace metal concentrations in muscle tissue of certain commercially available fish species from Kayseri, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment* 186: 4619-4628.

EFSA (European Food Safety Authority) (2006) Tolerable upper intake levels for vitamins and minerals. Scientific Committee on Food Scientific Panel On Dietetic Products, Nutrition And Allergies, s: 192.

Erdoğan Ö, Ateş DA (2006) Determination of cadmium and copper in fish samples from Sir and Menzelet Dam Lake Kahramanmaraş, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment* 117: 281-290.

Erdoğan Ö, Erbilir F (2007) Heavy metal and trace elements in various fish samples from Sir Dam Lake, Kahramanmaraş, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment* 130: 373-379.

Erol İ (2007) Gıda Hijyeni ve Mikrobiyolojisi. Pozitif Matbaacılık Limited Şirketi, Ankara, s: 312-317.

Ersoy B, Çelik M (2010) The essential and toxic elements in tissues of six commercial demersal fish from Eastern Mediterranean Sea. *Food and Chemical Toxicology* 48: 1377-1382.

European Commission (2006). Commission Regulation (EC) No 1881/2006 of 19 December 2006. Setting maximum Levels for certain contaminants in foodstuffs. *Official Journal of the European Union*, L 364, sayfa 5-24.

Fraser M, Surette C, Vaillancourt C (2013) Fish and seafood availability in markets in the Baie des Chaleurs region, New Brunswick, Canada: a heavy metal contamination baseline study. *Environmental Science and Pollution Research* 20: 761-770.

Guerin T, Chekri R, Vastel C et al (2011) Determination of 20 trace elements in fish and other seafood from the French market. *Food Chemistry* 127: 934-942.

Güven A, Kahvecioğlu Ö, Kartal G et al (2004) Metallerin çevresel etkileri-III. *Metalurji Dergisi* 138: 64-71.

Harrington CF, Merson SA, Silva TM (2004) Method to reduce the memory effect of mercury in the analysis of fish tissue using inductively coupled plasma mass spectrometry. *Analytica Chimica Acta* 505: 247-254.

Hussein A, Khaled A (2014) Determination of metals in tuna species and bivalves from Alexandria, Egypt. *Egyptian Journal of Aquatic Research* 40: 9-17.

Jaishankar M, Tseten T, Anbalagan N et al (2014) Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdisciplinary Toxicology* 7: 60-72.

Jaric I, Visnjic-Jeftic Z, Cvijanovic G et al (2011) Determination of differential heavy metal and trace element accumulation in liver, gills, intestine and muscle of sterlet (*Acipenser ruthenus*) from the Danube River in Serbia by ICP-OES. *Microchemical Journal* 98: 77-81.

Jarup L (2003) Hazards of heavy metal contamination. *British Medical Bulletin* 68: 167-182.

JECFA (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives) (2010). Seventy-second meeting Rome, JECFA/72/SC, 16–25 February 2010.

Jeziarska B, Lugowska K, Witeska W (2009) The effects of heavy metals on embryonic development of fish (a review). *Fish Physiology and Biochemistry* 35: 625-640.

Kahvecioğlu Ö, Kartal G, Güven A (2003) Metallerin çevresel etkileri-I. *Metalurji Dergisi* 136: 47-53.

Kalay M, Koyuncu CE, Dönmez AE (2004) Comparison of cd levels in the muscle and liver tissues of *mullus barbatus* and *sparus aurata* caught from the Mersin Gulf, (In Turkish). *Ekoloji Çevre Dergisi* 13: 23-27.

Kalyoncu L, Kalyoncu H, Arslan G (2012) Determination of heavy metals and metals levels in five fish species from Isıklı Dam Lake and Karacaören Dam Lake (Turkey). *Environmental Monitoring and Assessment* 184: 2231-2235.

Karadede H, Oymak SA, Ünlü E (2004) Heavy metals in mullet, Liza abu, and catfish, *Silurus triostegus*, from the Ataturk Dam Lake (Euphrates), Turkey, *Environment International* 30: 183-188.

Kayhan FS, Muşlu MN, Koç ND (2009) Bazı ağır metallerin sucul organizmalar üzerinde yarattığı stres ve biyolojik yanıtlar. *Journal of Fisheries Sciences* 3: 153-162.

Keskin Y, Baskaya R, Özyaral O et al (2007) Cadmium, lead, mercury and copper in fish from the Marmara Sea, Turkey. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 78:258-261.

Liu H, Wang C, Chen PH et al (2010) Association of the manganese superoxide dismutase gene Ala-9Val polymorphism with clinical phenotypes and tardive dyskinesia in schizophrenic patients. *Progress in Neuro-Psychopharmacology & Biological Psychiatry* 34:692-696.

Meche A, Martins MC, Lofrano Bofrano B (2010) Determination of heavy metals by inductively coupled plasma-optical emission spectrometry in fish from the Piracicaba River in Southern Brazil. *Microchemical Journal* 94: 171-174.

Medeiros RJ, Santos LMG, Freire AS et al (2012) Determination of inorganic trace elements in edible marine fish from Rio de Janeiro State, Brazil. *Food Control* 23: 535-541.

Morgano MA, Rabonato LC, Milani RF et al (2011) Assessment of trace elements in fishes of Japanese foods marketed in São Paulo (Brazil). *Food Control* 22: 778-785.

Noel L, Chekri R, Millour S et al (2013) Distribution and relationships of As, Cd, Pb and Hg in freshwater fish from five French fishing areas. *Chemosphere* 90: 1900-1910.

Olmedo P, Hernandez AF, Pla A et al (2013) Determination of essential elements (copper, manganese, selenium and zinc) in fish and shellfish samples. Risk and nutritional assessment and mercury–selenium balance. *Food and Chemical Toxicology* 62: 299-307.

Özan ST, Kir I (2008) Seasonal variations of heavy metals in some organs of carp (*Cyprinus carpio* L. 1758) from Beyşehir Lake (Turkey). *Environmental Monitoring and Assessment* 138: 201-206.

Özden Ö (2010) Seasonal differences in the trace metal and macrominerals in shrimp (*Parapenaeus longirostris*) from Marmara Sea. *Environmental Monitoring and Assessment* 162: 191-199.

Öztürk B (2009) Investigations of the rose shrimp *Parapenaeus longirostris* (Lucas, 1846) in the Northern Marmara Sea. *Journal Black Sea / Mediterranean Environment* 15: 123- 134.

Petkovsek SAS, Grundik ZM, Pokorny B (2012) Heavy metals and arsenic concentrations in ten fish species from the Šalek lakes (Slovenia): assessment of potential human health risk due to fish consumption. *Environmental Monitoring and Assessment* 184: 2647-2662.

Shinn C, Dauba F, Grenouillet G et al (2009) Temporal variation of heavy metal contamination in fish of the Lot River in southern France. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 72: 1957-1965.

SMC (Standard Methods Commiteee) 1997. 3030 Preliminary Treatment of Samples (20th Edition). U.S.A.

Soliman NF, Nasr SM, Okbah MA (2015) Potential ecological risk of heavy metals in sediments from the Mediterranean coast. *Egypt Journal of Environmental Health Science and Engineering* 13: 70.

Sökmen TÖ (2011) Marmara Denizinde yaşayan bazı balık türlerinin dokularındaki mineral ve ağır metal seviyelerinin belirlenmesi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Erzurum.

Subotic S, Spasic S, Visnjic-Jeftic Z et al (2013) Heavy metal and trace element bioaccumulation in target tissues of four edible fish species from the Danube River (Serbia). *Ecotoxicology and Environmental Safety* 98: 196-202.

Şireli UT, Göncüoğlu M, Yıldırım Y et al (2006) Assessment of Heavy Metals (Cadmium and Lead) in Vacuum Packaged Smoked Fish Species (Mackerel, *Salmo salar* and *Oncorhynchus mykiss*) Marketed in Ankara (Turkey). *Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi* 23: 353-356.

Taşdemir Y (2002) Marmara denizi: kirleticiler ve çevre açısından alınabilecek tedbirler. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi* 7: 39-45.

Tepe Y, Türkmen M, Türkmen A (2008) Assessment of heavy metals in two commercial fish species of four Turkish seas. *Environmental Monitoring and Assessment* 146: 77-284.

Topçuoğlu S, Kırbaşoğlu C, Güngör N (2002) Heavy metals in organisms and sediments from Turkish Coast of the Black Sea, 1997-1998. *Environment International* 27: 521-526.

TSE (Türk Standartları Enstitüsü) (1989). İstavrit Balığı. TS 6418/UDK 597.58. Birinci Baskı, Ankara.

TGK (Türk Gıda Kodeksi) (2011). Bulaşanlar Yönetmeliği. Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Sayı:28157 (3. Mükerrer), 29 Aralık 2011, Ankara.

Turan H, Kaya Y, Sönmez G (2006) Balık etinin besin değeri ve insan sağlığındaki yeri. *Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi*, 23: 505-508.

TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu) (2015). Su ürünleri istatistikleri. Türkiye İstatistik Kurumu Matbaası, ISSN: 1013-617713, Ankara.

Türkmen A, Türkmen M, Tepe Y (2005) Heavy metals in three commercially valuable fish species from Iskenderun Bay, Northern East Mediterranean Sea, Turkey Food Chemistry 91: 167-172.

Türkmen M, Ciminli C (2007) Determination of metals in fish and mussel species by inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry. Food Chemistry 103: 670- 675.

Türkmen M, Tepe Y, Genç E et al (2008) Assessment of heavy metal accumulations in ray species from Iskenderun, Mersin and Antalya bays. Project Result Report pp. 39.

Tüzen M (2003) Determination of heavy metals in fish samples of the middle Black Sea (Turkey) by graphite furnace atomic absorption spectrometry. Food Chemistry 80: 119-123.

Uluözlü OD, Tüzen M, Mendil D et al (2007) Trace metal content in nine species of fish from the Black and Aegean Seas, Turkey. Food Chemistry 104: 835-840.

Uluturhan E (2004) Levels of heavy metals in different organs of *Pagellus erythrinus* (red pandora) with environmental parameters in the Aegean Sea. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi, İzmir.

Usero J, Izquierdo C, Morillo J et al (2003) Heavy metals in fish (*Solea vulgaris*, *Anguilla anguilla* and *Liza aurata*) from SALT marshes on the southern Atlantic coast of Spain. Environment International 29: 949-956.

Uysal K, Köse E, Bülbül M et al (2009) The comparison of heavy metal accumulation ratios of some fish species in Enne Dam Lake (Kütahya/Turkey). Environmental Monitoring and Assessment 157: 355-362.

Ünüböl HA (2008) Gemlik körfezi makro alglerinin bazı biyokimyasal özelliklerinin belirlenmesi. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bursa.

Velusamy A, Kumar PS, Ram A et al (2014) Marine Bioaccumulation of heavy metals in commercially important marine fishes from Mumbai Harbor. India Pollution Bulletin 81: 218-224.

Visnjic-Jeftic Z, Jaric I, Jovanovic L et al (2010) Heavy metal and trace element accumulation in muscle, liver and gills of the Pontic shad (*Alosa immaculata* Bennet 1835) from the Danube River (Serbia). Microchemical Journal 95: 341-344.

Vural H (1993) Ağır metal iyonlarının gıdalarda oluşturduğu kirlilikler. Çevre Dergisi 8: 3-8.

Yaman M, Bal T, Yaman İH (2013) Metal levels in *Trachurus trachurus* and *Cyprinus carpio* in Turkey. *Food Additives and Contaminants* 6: 301-306.

Yang KX, Swami K (2007) Determination of metals in marine species by microwave digestion and inductively coupled plasma mass spectrometry analysis. *Spectrochimica Acta, Part B: Atomic Spectroscopy* 62: 1177-1181.

Yarsan E, Yipel M, Yipel FA et al (2014) Accumulation of nonessential potentially toxic trace elements (PTEs) in the some economically important seafood species of Mediterranean. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi* 20: 185-188.

Yazkan M, Özdemir F, Gölükçü M (2004) Cu, Zn, Pb and cd contents in some molluscs and crustacean in the gulf of Antalya. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences* 28: 95-100.

Yılmaz AB, Sangün MK, Yağlıoğlu D et al (2010) Metals (major, essential to non-essential) composition of the different tissues of three demersal fish species from Iskenderun Bay, Turkey. *Food Chemistry* 123: 410-415.

Yi YJ, Zhang SH (2012) The relationships between fish heavy metal concentrations and fish size in the upper and middle reach of Yangtze River. *Procedia Environmental Sciences* 13: 1699-1707.

Younis EM, Al-Asgah NA, Abdel-Warith AA et al (2015) Seasonal variations in the body composition and bioaccumulation of heavy metals in Nile tilapia collected from drainage canals in Al-Ahsa, Saudi. Arabia *Saudi Journal of Biological Sciences* 22: 443-447.

7. TEŞEKKÜR

Bilimsel farkındalığı yakalamamda bilgi ve tecrübeleri ile bana yol gösteren, her zaman şahsiyetini ve kişiliğini kendime rehber edineceğim, üst düzey enerjisi ile kararlılığımın zayıflamasına engel olan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Figen ÇETİNKAYA'ya; nihai hedefe ulaşmamda sunduğu imkan ve destekleri sebebi ile sonsuz saygı ve şükranlarımı sunarım.

Zorlu ve vakit alıcı çalışmalarımda, özel yaşantılarından fedakarlık ederek bana yardımlarını esirgemeyen Doç. Dr. Ömer ÇELİK, Dr. Emel SOYKAN ve ayrıca, tüm süreçte bilgisi ve öngörülerini bana yol gösteren Dr.Tülay Elal MUŞ ve Dr.Serkan ÇATIK'a teşekkür ederim.

Hayat arkadaşım Veteriner Hekim Çiğdem ÇELİK ve hayatımın anlamı sevgili biricik kızım Defne ÇELİK; sabrınız, özveriniz ve sunduğunuz huzurlu çalışma ortamı, doktora çalışmalarımı bitirmemde ve bu günlere gelmemde her türlü takdir ve teşekkürün üzerindedir. İyi ki varsınız.

Umut ÇELİK
Ocak 2017

8. ÖZGEÇMİŞ

1979 yılında Aydın'da doğan Umut ÇELİK; ilk, orta ve lise öğrenimini aynı ilde tamamlamış ve Selçuk Üniversitesi Veteriner Fakültesinden 2002 yılında mezun olmuştur. 2004 yılında TSK bünyesinde Veteriner Subay olarak meslek hayatına başlayan Umut ÇELİK, sınıfının gerektirdiği değişik yer ve görevlerde bulunduktan sonra 2010 yılı genel atamaları ile Askeri Veteriner Okulu Gıda Kontrol ve Araştırma Merkezi Başkanlığı bünyesinde görevlendirilmiştir. 2011 yılında Uludağ Üniversitesi Veteriner Fakültesi Besin Hijyeni ve Teknolojisi Anabilim Dalında Doktora eğitimine başlamış, halihazırda TSK bünyesinde görevine devam etmektedir.

