

Türkiye Akdeniz Kıyılarında Derin Su Pembe Karidesinde (*Parapenaeus longirostris*, H. Lucas 1846) Oksidatif Stres Parametreleri, Metal Birikimi ve Sağlık Risk Değerlendirmesi

Serdar DOĞAN^{1*}, Önder DUYSAK², Taner DUYSAK³, Erkan UĞURLU⁴

¹Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Tıbbi Biyokimya ABD, Tıp Fakültesi, Hatay, Türkiye, ^{2,4}İskenderun Teknik Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Fakültesi, İskenderun, Hatay, Türkiye, ³Chonnam Ulusal Üniversitesi, Moleküler Tıp Bölümü, Gwangju, Kore

¹<https://orcid.org/0000-0001-6854-2197>, ²<https://orcid.org/0000-0002-7484-3102>, ³<https://orcid.org/0000-0001-7603-0458>

⁴<https://orcid.org/0000-0001-8940-8421>

✉: drserdardogan@hotmail.com

ÖZET

Bu çalışmada; Akdeniz'in İskenderun ve Antalya lokal balıkçılarından Eylül 2020'de temin edilen derin su pembe karideslerinde (*Parapenaeus longirostris*, H. Lucas 1846) kas dokusunda birikim gösteren demir (Fe), bakır (Cu), çinko (Zn), manganez (Mn), nikel (Ni), kobalt (Co), Alüminyum (Al), krom (Cr), kadmiyum (Cd) ve kurşun (Pb) metal düzeyleri, ve yine aynı dokulardaki Malondialdehit (MDA) seviyesi ve Katalaz (KAT) enzim aktivitesi belirlenmiştir. Bu iki bölgede tüketilen karideslerde insan sağlığı riskleri, haftalık tüketim miktarları ve kanser risk değerlendirmeleri hesaplanmıştır. Hesaplanan en yüksek metal konsantrasyonu Antalya'da Fe ($35.976 \pm 2.992 \text{ mg kg}^{-1}$), en düşük birikim ise aynı istasyonda Cd ($0.002 \pm 0.001 \text{ mg kg}^{-1}$) için hesaplanmıştır. Oksidatif stres parametrelerinden MDA miktarı İskenderun'da avlanan karideslerde $11.06 \pm 0.36 \text{ nmol mg}^{-1}$ protein, Antalya'da avlanan karideslerde $8.63 \pm 0.13 \text{ nmol mg}^{-1}$ protein, KAT enzim aktivitesinin ise Antalya'da $3.7 \pm 0.15 \text{ k g}^{-1}$ protein ve İskenderun'da $6.6 \pm 0.4 \text{ k g}^{-1}$ protein olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre ağır metal birikiminin karides türünde lipid peroksidasyonuna neden olduğu anlaşılmıştır. İnsan sağlığı riskleri, tahmini haftalık tüketim (EWI) değerlerinin, Avrupa Gıda Güvenliği (EFSA) ve Gıda Tarım/Dünya Sağlık Örgütü (FAO/WHO) tarafından belirlenen tolere edilebilir haftalık alım (PTWI) değerlerinin altında olduğu belirlenmiştir. Tüketici açısından kanser dışı sağlık risklerinin göstergesi olan hedef tehlike katsayısı (THQ) ve tehlike indeksi (HI) değerleri <1 olarak hesaplanmıştır. Kanserojen risk açısından Pb, Cr ve Cd değerlerinin risk teşkil etmediği anlaşılmıştır. Sonuç olarak, çalışmamız İskenderun ve Antalya bölgesinde satışa sunulan karideslerin kaslarındaki toksik element konsantrasyonlarının tüketiciler için önemli bir sağlık riski oluşturmadığını ortaya koymuştur.

Biyokimya

Araştırma Makalesi

Makale Tarihçesi

Geliş Tarihi : 05.08.2021

Kabul Tarihi : 24.09.2021

Anahtar Kelimeler

Parapenaeus longirostris

Metal Birikimi

MDA

KAT

Sağlık Riski Değerlendirmesi

Oxidative Stress Parameters, Metal Accumulation and Health Risk Assessment in Deep Water Rose Shrimp (*Parapenaeus longirostris*, H. Lucas 1846) in the Turkish Mediterranean Sea Coasts

ABSTRACT

In this study, deep water rose shrimp (*Parapenaeus longirostris*, H. Lucas 1846) obtained in September 2020 from the Iskenderun Bay and Antalya Bay local fishermen of the Mediterranean Sea were investigated in terms of iron (Fe), copper (Cu), zinc (Zn), manganese (Mn), nickel (Ni), cobalt (Co), aluminum (Al), chromium (Cr), cadmium (Cd), and lead (Pb) bioaccumulation as well as Malondialdehyde (MDA) accumulation levels, and catalase (CAT) activity in their muscle tissues. Human health risks, weekly consumption amounts, and cancer risk assessments for deep water rose shrimp consumed in these two regions were calculated. The highest metal concentration calculated from *P. longirostris* was Fe ($35.976 \pm 2.992 \text{ mg kg}^{-1}$) in Antalya, and the lowest concentration was

Biochemistry

Research Article

Article History

Received : 05.08.2021

Accepted : 24.09.2021

Keywords

Parapenaeus longirostris

Metal Accumulation

MDA

CAT

Health Risk Assessment

Cd (0.002 ± 0.001 mg kg⁻¹) in the same station. The level of MDA was determined as 11.06 ± 0.36 nmol mg⁻¹ protein in Iskenderun station and as 8.63 ± 0.13 nmol mg⁻¹ protein in Antalya station while CAT enzyme activity was determined as 6.6 ± 0.4 k g⁻¹ protein and 3.7 ± 0.15 k g⁻¹ protein for Iskenderun and Antalya, respectively. According to our results, the metal accumulation caused lipid peroxidation in the muscle tissues of the shrimps studied. Human health risks were determined to be below the estimated weekly consumption (EWD) values and the provisional tolerable weekly intake (PTWI) values determined by European Food Safety Authority (EFSA) and Food and Agriculture Organization/ World Health Organization (FAO/WHO). Target hazard coefficient (THQ) and hazard index (HI) values, which are indicators of non-cancer health risks for the consumer, were calculated as <1. This study shows that Pb, Cr, and Cd bioaccumulations from the two stations do not pose a carcinogenic risk and toxic element concentrations in the muscles of the *P. longirostris* sold in the Iskenderun and Antalya regions do not pose a significant health risk for consumers.

- Atıf Şekli :** Dogan S, Duysak O, Duysak T, Uğurlu E 2022. Türkiye Akdeniz Kıyılarında Derin Su Pembe Karidesinde (*Parapenaeus longirostris*, H. Lucas 1846) Oksidatif Stres Parametreleri, Metal Birikimi ve Sağlık Risk Değerlendirmesi. KSÜ Tarım ve Doğa Derg 25 (4): 838-846. <https://doi.org/10.18016/ksutarimdog.vi.978862>.
- To Cite :** Dogan S, Duysak O, Duysak T, Uğurlu E 2022. Oxidative Stress Parameters, Metal Accumulation and Health Risk Assessment in Deep Water Rose Shrimp (*Parapenaeus longirostris*, H. Lucas 1846) in the Turkish Mediterranean Sea Coasts. KSU J. Agric Nat 25 (4): 838-846. <https://doi.org/10.18016/ksutarimdog.vi.978862>.

GİRİŞ

Son yıllarda nüfus artışı ile birlikte endüstriyel faaliyetlerde artış olmuştur. Üretim artmasıyla alıcı ortam olan sucul ekosisteme ağır metaller ve diğer kirleticilerin girdi miktarları da artmaktadır. Bu durum sonucunda planktonik ve bentik omurgasızlar, balıklar, balinalar gibi ekolojik besin ağında yer alan sucul canlılar her geçen gün daha fazla kirleticiye maruz kalmaktadır (Karunanidhi ve ark., 2017; Lao ve ark., 2019). Endüstriyel kaynaklardan, tarımsal faaliyetlerden ve evsel atıklardan su ortamına karışan organik ve inorganik kirleticilerin yanı sıra ağır metaller de ekosistemlere girerek suda ve askıdaki katı maddelere tutunabilmektedir (Fang ve ark., 2016; Yi ve ark., 2017; Duysak, 2019). Denizel canlı kaynaklardan biri olan karidesler, içerdikleri yüksek protein miktarı nedeniyle pek çok ülkede yüksek oranlarda tüketilmektedirler. *Parapenaeus longirostris* (H. Lucas, 1846), Avrupa Atlantik kıyısı, Baltık denizi ve Akdeniz'de yayılış gösteren ekonomik türler arasında yer almaktadır (Marra ve ark., 2005; Sezgin ve ark., 2007). Ticari önemlerinin yanı sıra ekolojik olarak da oldukça önemli olan karidesler, ağır metal indikatörleri olarak da kullanılmaktadır (Baboli ve Velayatzadeh, 2013).

Canlılarda serbest radikaller ile bunlara karşı süpürücü etki gösteren antioksidanlar arasındaki dengenin bozulması oksidatif stres olarak tanımlanır (Özcan ve ark., 2015). Ağır metaller reaktif oksijen türlerinin (ROS) oluşumuna sebep olan faktörlerden biridir. Bu etkilerini DNA, lipid ve protein gibi çeşitli

moleküller üzerinde gösterebilir (Turan ve ark., 2020). Reaktif oksijen ürünleri özellikle poliansatüre yağ asitlerinde oksidasyona neden olarak lipid peroksidasyonunu başlatır. Malondialdehit (MDA), ROS kaynaklı lipid peroksidasyonunun bir metaboliti olarak rol oynar. Bununla birlikte canlılarda ROS'un hücresel yapılara vereceği zararı engellemek için antioksidan savunma mekanizmaları arasında en güçlü enzimlerden biri olan katalaz (KAT) görev yapar. Katalaz enzimi canlıda biriken hidrojen peroksitin vücuttan uzaklaştırılmasında rol oynamaktadır (Özcan ve ark., 2015).

İnsan gıdası olarak tüketime sunulan su ürünlerindeki ağır metal düzeylerinin belirlenmesi, ekosistem ve halk sağlığını yakından ilgilendirdiği gibi ilgili canlıların avlandıkları bölgedeki kirlilik düzeyi hakkında da bilgi vermektedir. Besin değerleri açısından oldukça yeterli olan karideslerin en çok tüketildiği yerler ise turizm faaliyetlerinin yoğun olduğu denize kıyısı olan bölgelerdir. İnsanlarda ve sucul canlılarda kadmiyum (Cd), kurşun (Pb) gibi ağır metaller, çok az dozlarda bile toksik etki göstermektedir. Bununla birlikte metabolik faaliyetler için gerekli olan ve düşük miktarlarda sürekli tüketildiğinde toksik etki gösteren bakır (Cu), çinko (Zn), nikel (Ni) gibi metallerin maksimum sınır değerlerine ulaşması hem insan sağlığı hem de çevre kirliliği açısından risk oluşturmaktadır (Rainbow ve White, 1989; Pourang ve ark., 2005; Çelik ve Oehlenschläger, 2007).

Bu çalışmanın amacı, Türkiye'nin Akdeniz kıyılarında farklı kirlilik yüklerine sahip iki önemli

bölgesi olan İskenderun ve Antalya istasyonlarında dağılım gösteren derin su pembe karideslerinin (*P. longirostris*) kas dokularındaki demir (Fe), manganez (Mn), kobalt (Co), alüminyum (Al), krom (Cr), Cu, Zn, Ni, Cd ve Pb birikimlerini, MDA ve KAT düzeylerini tespit etmektir. Ayrıca *P. longirostris* tüketiminin insan sağlığı açısından herhangi bir risk teşkil edip etmediğini haftalık tahmini alım düzeyleri (EWI), kanserojen olmayan risk düzeyleri (THQ), tehlike indeksi (HI) ve yaşam boyu kanser riski (CR) hesaplamalarını yaparak belirlemektir.

MATERYAL ve METOD

Çalışma Alanı

Çalışma Eylül 2020 tarihinde gerçekleştirilmiş olup, farklı koordinat ve kirlilik yüküne sahip İskenderun ve Antalya Körfezi'nde çalışan lokal balıkçılardan

rastgele örnekleme yoluyla her bir istasyondan 20 adet olmak üzere, toplam 40 adet *P. longirostris* karidesi temin edilmiştir (Şekil 1). Çalışılan karides bireylerine ait total boy (cm) ve toplam ağırlıkları (g) verileri Çizelge 1'de verilmiştir.

Örneklerin Hazırlanması

Karides örnekleri kilitli plastik kaplar içerisinde buz ile direk temas ettirilmeden soğuk zincirde İskenderun Teknik Üniversitesi Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Fakültesi laboratuvarına getirilmiştir. Laboratuvara getirilen bireylerin toplam boyları dijital kumpas yardımı ile telson ucundan rostruma kadar (TB) ölçülüp toplam ağırlıkları (TA) dijital terazi (0,01 g hassasiyet) yardımıyla tartılmıştır (Çizelge 1).



Şekil 1. Çalışma alanı.
Figure 1. Study area.

Çizelge 1. Derin su pembe karidesi (*P. longirostris*) toplam boy (TB, cm) ve toplam ağırlıkları (TA, g).
Table 1. Average wet weights, and total lengths of deep water rose shrimp were measured.

İstasyonlar	Sayı	Toplam Boy (TB±SS)	Ağırlık (TA±SS)
İskenderun	20	11.58±1.05	6.25±1.62
Antalya	20	12.46±0.60	8.71±1.32

Laboratuvar analizleri

Ağır Metal Analizi

Karideslerin kas dokularında birikim gösteren ağır metal düzeylerinin belirlenmesi için, karideslerin tüketilen kısmı olan abdominal kaslarından ortalama 1g tartılıp polietilen tüplere konulmuştur. Ardından tüplere 5 ml nitrik asit (HNO₃) eklenmiştir. 15 gün oda sıcaklığında bekletilerek dokuların parçalanması sağlanmıştır. Çözeltide tamamen parçalanan dokular Whatman (42µ) filtre kâğıdı ile süzölmüştür. Tüp içerisindeki toplam hacim 10 ml olacak şekilde bidistile su ile tamamlanmıştır. Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn metallerinin birikim

düzeylerinin belirlenmesi için Mustafa Kemal Üniversitesi Teknoloji ve Araştırma Geliştirme Uygulama ve Araştırma Merkezi'ndeki (MARGEM) Plasma Quant MS Series (Jena, Germany) marka ICP-MS (Endüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrometresi) cihazı kullanılmıştır. Metal konsantrasyonları mg/kg yas ağırlık olarak hesaplanmıştır (Canlı ve Atlı, 2003).

Malondialdehit (MDA) ve Katalaz (KAT) Analizi

İskenderun ve Antalya körfezinden alınan karides örneklerinin kas dokuları alüminyum folyo içine sarılarak sıvı nitrojen içine bırakılmış ve sonrasında

çalışma gününe kadar -80 °C'de saklanmıştır. Örnek hazırlanması işleminde kas dokusundan 2 gram alınmıştır. Ağırlığa uygun fosfat tamponu (50 mM, pH=7.1) eklenmiş, buz üzerinde homojenize edilmiştir. Homojenizasyon sonrası 10000xg'de 30 dakika süreyle santrifüj işlemi yapılmıştır. MDA ölçümleri için tamponad, KAT ölçümleri için ise süpernatant kısmı kullanılmıştır.

Malondialdehit düzeyi ölçümü Hammouda ve ark. (1995) tarafından modifiye edilen çift kaynatma esasına dayalı yöntem ile yapılmıştır. İlk kaynatmada Trikloro Asetik Asit (TCA) kullanılarak proteinlere bağlı MDA'nın serbestleşmesi için proteinler çöktürülmüştür. İkinci kaynatmada ise sıcak ve asidik ortamda total MDA, Tiyobarbitürik asit ile reaksiyona girerek renkli bir kompleks oluşturulmuştur. Oluşan renkli kompleks 532 nm dalga boyunda spektrofotometrik olarak ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları nmol/mg protein cinsinden verilmiştir (Hammouda ve ark., 1995).

Katalaz enzim aktivitesi Aebi (1974), metoduna göre çalışılmıştır. H₂O₂'nin maksimum absorbans verdiği dalga boyu 240 nm'dir (Schimadzu UV 1601, Japonya). Bu metod katalazın deney ortamına eklenen H₂O₂'nin su ve oksijene dönüşümünün 240 nm'de spektrofotometrik olarak ölçümü esasına dayanmaktadır. Katalaz aktivitesi absorbans değişimine göre hesaplanmıştır ve sonuç k g⁻¹ protein olarak verilmiştir. Bu çalışmada k, reaksiyon için tanımlanan hız sabitidir (Aebi, 1974).

Protein Miktarı Tayini

Örneklerdeki protein miktarı tayini Bradford yöntemi ile çalışılmıştır (Bradford, 1976).

Tüketici Risk Değerlendirmesi

Akdeniz'de geniş yayılım alanına sahip *P. longirostris* satışa sunulan ve insanlar tarafından yoğun olarak tüketilen bir tür olmasından dolayı tüketimi halinde insan sağlığı açısından tehdit olup olmadığının anlaşılabilmesi için haftalık tüketim değerleri hesaplanmıştır. Karides tüketiminden kaynaklı olası tüketici risklerin belirlenmesi için EWİ, THQ, HI ve CR hesaplamaları yapılmıştır. Yetişkinler için vücut ağırlığı 70 kg ve yaşam süresi 70 yıl (USEPA, 2019) kullanılmıştır. Hesaplamalar yapılırken incelenen tüm metaller için enstrümental analiz sonuçları doğrudan kullanılmıştır. Tüketici risk değerlendirmeleri kapsamında EWİ (Denklem 1), THQ (Denklem 2), HI (Denklem 3) ve CR (Denklem 4) hesaplamaları aşağıdaki formüller kullanılarak yapılmıştır (Saha ve ark., 2016).

$$EWI = (EF \times ED \times FIR \times Cm) / (BW \times AT) / 1000$$

EF: Maruz kalma sıklığı (365 gün/yıl),

ED: Maruz kalma süresini (70 yıl)

FIR: Tüketim miktarını (16.71 g/kişi/gün),

CM: Karides dokusundaki metal konsantrasyonunu

BW: Vücut ağırlığı,

AT: Kanserojen olmayan ortalama süreyi (356 gün/yıl x ED).

TÜİK 2019 verilerine göre (TÜİK, 2019) Türkiye'deki deniz ürünleri tüketimi kişi başına (FIR) günlük 16.71 g/kişi/gün.

Metallerin referans dozu (RfD) ile metallere maruz kalma arasındaki oran Hedef Tehlike Oranı (THQ), THQ; tüketiciler açısından vücuda alınan metallerin konsantrasyonlarının kanserojen olmayan etki risklerini de ifade etmektedir (Saha ve ark., 2016). RfD: Oral referans doz (Fe, Cu, Zn, Mn, Al, Cr, Cd, Pb, Co ve Ni elementleri için sırasıyla; 0.7, 0.04, 0.3, 0.14, 1.00, 3.10⁻³, 1.10⁻³ ve 4.10⁻³, 3.10⁻⁴ ve 2.10⁻²).

$$THQ = EDI / RfD$$

Total THQ ya da HI (Tehlike İndeksi) olarak ifade edilen değer, araştırılan tüm elementlerin toplam THQ değerleri ile hesaplanır (USEPA, 2019). HI değerinin 1'den büyük olması tüketici açısından kanserojen olmayan sağlık risklerinin olduğunu göstergesidir.

$$HI (THQ) = THQ1 + THQ2 + \dots + THQn$$

Yaşam boyu kanser riski (CR) hesaplamaları USEPA 2019 tarafından belirlenmiş olan formüle göre hesaplanmıştır. CR değerlerinin >10⁻⁵ olması, tüketilen gıdanın tüketici için kanserojen etki riskinin daha yüksek olduğunu göstermektedir (USEPA, 2019). Yaşam boyu kanser riski hesaplamalarında, EWİ THQ formüllerinin yanı sıra farklı olarak CsF (cancer slope factor) değeri kullanılmaktadır. CsF hesaplamalarında kullanılan CsF değerleri (Pb, Cr ve Cd için sırasıyla 8.5x10⁻³, 0.5 ve 6.3) kullanılmıştır (USEPA, 2019).

$$CR = EDI \times CsF$$

İstatiksel Analizler

Manto (kas) dokudan hesaplanan verilerin istatiksel analizi öncesinde normal dağılım gösterdiği tespit edilmiştir. Ağır metal birikim seviyeleri arasındaki farkların tespiti için tek yönlü varyans analizi (One Way ANOVA) ve istasyonlar arasındaki farklılıkları belirlemek için T testi kullanılmıştır. İstatistik analizler SPSS 17.0 paket programı (SPSS Inc., Chicago, IL. USA) kullanılarak yapılmıştır.

BULGULAR ve TARTIŞMA

P. longirostris dokularındaki metal birikim düzeyleri

P. longirostris bireylerinin kas dokularında Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn birikim düzeyleri belirlenmiştir (Çizelge 2). En fazla metal birikimi Antalya'da Fe (35.976±2.992 mg kg⁻¹) metalinde, en az birikiminin ise yine aynı istasyonun Cd (0.002±0.001 mg kg⁻¹) metalinde rastlanmıştır.

İskenderun'da metal birikim düzeyleri Fe> Zn> Al> Cu> Mn> Cr> Pb> Ni> Co> Cd ve Antalya'da Fe> Al> Zn> Cu> Mn> Pb> Ni> Cr> Co> Cd şeklinde sıralanmıştır. İskenderun istasyonunda Fe den sonra en fazla birikimin Zn ve Al olduğu, Antalya istasyonunda ise Fe den sonra en fazla birikimin Al olduğu tespit edilmiştir. Cd, Cr, Co, Ni ve Pb en fazla İskenderun, Al, Fe ve Zn ise en fazla Antalya istasyonundan hesaplanmıştır (Çizelge 2).

Çizelge 2. Derin su pembe karidesi (*P. longirostris*) kas dokusundaki metal birikim düzeyleri (ORT±SS).

Table 2. Metal accumulation levels in mantle tissues of deep water rose shrimp (*P. longirostris*) (mg/kg, wet weight).

Metaller	İstasyonlar	
	İskenderun	Antalya
Al	7,958±0,219 ^a	21,748±1,776 ^b
Cr	0,647±0,154 ^a	0,103±0,004 ^b
Co	0,030±0,002 ^a	0,017±0,001 ^b
Ni	0,417±0,079 ^a	0,122±0,005 ^b
Cd	0,010±0,002 ^a	0,002±0,001 ^b
Pb	0,477±0,048 ^a	0,259±0,141 ^a
Mn	1,005±0,168 ^a	1,292±0,172 ^{a,b}
Fe	14,287±1,651 ^a	35,976±2,992 ^b
Cu	1,293±0,134 ^a	2,112±0,115 ^b
Zn	8,417±0,871 ^a	10,023±0,523 ^a

(a,b) yatay olarak aynı metalin istasyonlar arasındaki farklılığını gösterir. Farklı harflerle gösterilen veriler, istatistiksel olarak anlamlıdır (p<0,05).

Letters a and b show differences among stations. Data shown with different letters are statistically significant at the differences p<0.05 level.

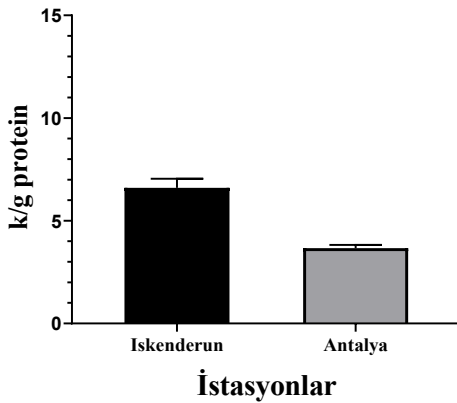
Kas dokudan hesaplanan Cr, Co, Ni, Cd, Fe ve Cu birikim ortalamaları incelenmiş ve İskenderun ile Antalya'dan yakalanan karidesler arasındaki farklılığının önemli olduğu tespit edilmiştir (p<0,05). Pb ve Zn birikim düzeyleri farklılıklarının önemli olmadığı belirlenmiştir (p>0,05).

Oksidatif Stres Parametreleri MDA ve KAT

İskenderun ve Antalya istasyonlarından yakalanan derin su pembe karidesinin kas dokularından hesaplanan MDA ve KAT seviyeleri Şekil 3 de verilmiştir. İskenderun ve Antalya istasyonlarından alınan derin su pembe karidesinin MDA seviyeleri sırasıyla 11,06±0,37 nmol mg⁻¹ protein ve 8,63±0,13 nmol mg⁻¹ protein hesaplanmıştır. İskenderun ve Antalya körfezlerinden yakalanan derin su pembe karidesinin KAT seviyeleri ise sırasıyla; 6,61±0,44 kg⁻¹ protein ve 3,67±0,16 k g⁻¹ protein hesaplanmıştır.

İskenderun ve Antalya bölgesinden alınan derin su pembe karidesinin kas dokusundaki MDA ve KAT düzeyleri arasındaki farklılığın istatistiksel olarak önemli olmadığı belirlenmiştir (p<0,05) (Çizelge 3).

KAT



Şekil 3. Derin su pembe karidesinin (*P. longirostris*) MDA ve KAT değerleri.
Figure 3. MDA and CAT values of deep water rose shrimp (*P. longirostris*).

Çizelge 3. *P. longirostris*'in MDA ve KAT hesaplamaları.

Table 3. MDA and CAT levels of *P. longirostris*.

	MDA	CAT
İskenderun	11,0660±0,367 ^a	6,606±0,440 ^a
Antalya	8,626±1,133 ^a	3,670±0,157 ^a
F	4,837	5,316
Sig	0,093	0,082

Independent Simple T Test.

Tüketici Sağlığı Açısından THQ, HI ve CR

İnsan gıdası olarak tüketime sunulan derin su pembe karidesi tüketiminin muhtemel sağlık risklerinin değerlendirilmesi amacıyla yapılan EWI hesaplamaları sonuçları Çizelge 4'de, THQ hesaplamaları sonuçları Çizelge 5'de ve CR hesaplamaları ise Çizelge 6'da verilmiştir.

Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn için otoriteler tarafından belirlenen tolere edilebilir haftalık alım

(PTWI) değerleri sırasıyla 2000, 2450, 700, 35, 6250, 1750, 980, 5600, 3500 ve 7000 ($\mu\text{g kg}^{-1}$) dir. Bu kapsamda Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn için PTWI limitleri birey vücut ağırlıkları göz önünde bulundurularak sırasıyla; 140000, 171500, 49000, 2450, 437500, 122500, 68600, 392000, 245000 ve 490000 ($\mu\text{g kg}^{-1}$) hesaplanmıştır. Hesaplanan EWI

değerlerinin PTWI düzeyleri ile karşılaştırılabilen Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn birikimleri bakımından limitlerin altında olduğu ve derin su pembe karidesi tüketiminde bu metallerin haftalık alım tolerans limitleri açısından herhangi bir risk oluşturmadığı belirlenmiştir.

Çizelge 4. Derin su pembe karidesinden hesaplanan tahmini haftalık alım düzeyleri (EWD).

Table 4. The estimated weekly intake (EWI) levels of deep water rose shrimp.

		Metaller										
		İstasyon	Al	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
EWI	İskenderun		1×10^{-2}	2×10^{-5}	5×10^{-5}	1×10^{-3}	2×10^{-3}	2×10^{-1}	2×10^{-3}	7×10^{-4}	8×10^{-4}	1×10^{-2}
	Antalya		4×10^{-2}	4×10^{-6}	3×10^{-5}	2×10^{-4}	4×10^{-3}	6×10^{-2}	2×10^{-3}	2×10^{-4}	4×10^{-4}	2×10^{-2}

Çizelge 5. Derin su pembe karidesinden hesaplanan hedef tehlike oranı (THQ).

Table 5. The target hazard quotient (THQ) of deep water rose shrimp.

		Metaller										
		İstasyon	Al	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
THQ	İskenderun		2×10^{-6}	2×10^{-6}	2×10^{-5}	5×10^{-5}	8×10^{-6}	5×10^{-6}	2×10^{-5}	5×10^{-6}	3×10^{-5}	7×10^{-6}
	Antalya		5×10^{-6}	5×10^{-7}	1×10^{-5}	8×10^{-6}	1×10^{-5}	1×10^{-5}	2×10^{-5}	1×10^{-5}	2×10^{-5}	8×10^{-6}

TTHQ (HI)	
İskenderun	0,000119
Antalya	0,000102

Derin su pembe karidesi tüketimi ile oluşabilecek olası sağlık riskleri doğrudan ve kesin bir şekilde belirlenemese de potansiyel sağlık risklerinin belirlenmesi amacıyla THQ değeri önemli bir parametredir. THQ>1 olması; metal tüketiminin tüketici açısından risk teşkil ettiğini ortaya koymaktadır. İncelenen tüm metallerde ait THQ değerlerinin tehlikeli eşik altında olduğu (<1) belirlenmiştir.

Çizelge 6. Derin su pembe karidesinden hesaplanan yaşam boyu kanser riski düzeyleri (CR).

Table 6. The lifetime cancer risk (CR) levels of deep water rose shrimp.

		Metaller			
		İstasyonlar	Pb	Cd	Cr
CR	İskenderun		9,6811E-07	1,5714E-05	7,7233E-06
	Antalya		5,26535E-07	3,45506E-06	1,2385E-06

CR: Yaşam Boyu Kanser Riski.

Sağlıklı insanlarda CR değerinin USEPA'ya göre 1×10^{-5} ve altında olması gerekmektedir. İskenderun ve Antalya Körfezi'nden yakalanan *P. longirostris* tüketimi ile vücuda alınan metallerden kaynaklı olası kanserojen riskleri incelendiğinde USEPA tarafından belirlenen risk düzeylerin altında olduğu ve ömür boyu tüketildiğinde insanlarda kanserojen etkilere neden olmayacağı belirlenmiştir.

Yazkan ve ark. (2004), Antalya Körfezi'nde bazı yumuşakça ve karideslerdeki Cu, Zn ve Cd birikim düzeylerini araştırmışlardır. Araştırmacılar derin su

pembe karidesinde Cu birikimini 5.73 mg kg^{-1} , Zn birikimini 12.66 mg kg^{-1} ve Cd birikimini 0.27 mg kg^{-1} tespit etmişlerdir. Çalışmada Cu birikimi $2.112 \pm 0.115 \text{ mg kg}^{-1}$, Zn birikimi $10.023 \pm 0.523 \text{ mg kg}^{-1}$ ve Cd birikimi $0.002 \pm 0.001 \text{ mg kg}^{-1}$ hesaplanmıştır. İki çalışmada da kas dokularından hesaplanan Cu, Zn ve Cd birikimi düzeyleri arasındaki farklılığın çalışmaların yapıldığı zaman farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Gökoğlu ve ark., (2008) Antalya Körfezi'nde 3 farklı karides türünde yaptıkları çalışmada *P. longirostris* bireylerinin kas dokularında birikim gösteren Cu, Cd, Zn, Fe ve Mn düzeylerini araştırmıştır. Araştırmacılar çalışmalarının sonucunda birikim düzeylerini Zn> Fe> Mn> Cu> Cd, şekilde sıralamışlardır. Çalışmada ise Fe> Zn> Cu> Mn> Cd olarak hesaplanmıştır.

Ayas ve ark. (2016), Mersin Körfezi'nde yaptıkları çalışmalarında derin su pembe karidesi kas dokusunda Cd, Cr ve Pb birikimi düzeylerini sırasıyla $0.50 \pm 0.22 \mu\text{g g}^{-1}$, $2.38 \pm 0.51 \mu\text{g g}^{-1}$ ve $3.78 \pm 0.88 \mu\text{g g}^{-1}$ bildirmişlerdir. Bu çalışmada İskenderun ve Antalya'dan yakalanan derin su pembe karideslerinin kas dokularında Cd birikimleri sırasıyla $0.010 \pm 0.002 \text{ mg kg}^{-1}$ ve $0.002 \pm 0.001 \text{ mg kg}^{-1}$, Cr birikimleri $0.647 \pm 0.154 \text{ mg kg}^{-1}$ ve $0.103 \pm 0.004 \text{ mg kg}^{-1}$, Pb birikimleri ise $0.477 \pm 0.048 \text{ mg kg}^{-1}$ ve $0.259 \pm 0.141 \text{ mg kg}^{-1}$ hesaplanmıştır.

Korkmaz ve ark., (2016) Mersin ilinde tüketilen *P. semisulcatus* karidesinin tüketilebilir kas dokusunda Cr, Mn ve Ni birikimlerinin tolere edilebilir günlük ve

haftalık limitlerin oldukça altında olduğu ve insan tüketimi açısından sorun teşkil etmeyeceği kanısına varıldığı bildirilmiştir. Bu çalışma ile kıyaslandığında, tüketilebilirlik açısından günlük ve haftalık limitlerin benzer şekilde olduğu, her iki çalışmada da insan gıdası olarak ilgili türlerin tüketiminin risk teşkil etmediği anlaşılmaktadır.

Kaya ve Türkoğlu, (2017) İskenderun Körfezi'nden yakalanan yeşil kaplan karidesinde Ni, Mn, Cr, Cd, Pb ve Co birikimlerini araştırmışlardır. Çalışmalarında Ni, Mn, Cr, Cd, Pb ve Co birikimlerini sırasıyla 0.110 ± 0.010 mg kg⁻¹, 0.382 ± 0.018 mg kg⁻¹, 0.215 ± 0.020 mg kg⁻¹, 0.008 ± 0.001 mg kg⁻¹, 0.100 ± 0.009 mg kg⁻¹ ve 0.027 ± 0.003 mg kg⁻¹ tespit etmişlerdir. Bu çalışma ile kıyaslandığında araştırmacıların yeşil kaplan karideslerinden hesapladıkları Pb birikimini, çalışmada derin su pembe karidesinin kas dokusunda hesaplanan birikimden daha düşük hesaplamışlardır. Diğer tüm metal seviyeleri ise, çalışmada hesaplanan konsantrasyonlardan yüksek olup, Ni konsantrasyonu seviyeleri ise her iki çalışmada da benzerlik göstermektedir.

Çiftçi ve ark., (2021) İskenderun Körfezi'nde yaptıkları birikim çalışmasında kış mevsiminde *Penaeus semiculcatus* bireylerinin kas dokularında birikim gösteren Al, Fe ve Zn konsantrasyonlarını sırasıyla 6.2139 ± 1.23 µg g⁻¹, 61.2304 ± 3.31 µg g⁻¹ ve 48.1944 ± 1.58 µg g⁻¹ hesaplamışlardır. Çalıştıkları metalleri birikim açısından Fe>Zn>Al şeklinde sıralamışlardır. Benzer şekilde bu çalışmada da İskenderun Körfezi'nden yakalanan *P. longirostris* bireylerinin kas dokularında birikim gösteren metaller Fe>Zn>Al şeklinde sıralanmıştır. Konsantrasyon miktarları olarak değerlendirildiğinde, Al birikimlerinin her iki çalışmada da birbirine yakın olduğu fakat araştırmacıların yeşil kaplan karidesi bireylerinden hesapladıkları Fe ve Zn birikimlerinin, çalışmada derin su pembe karideslerinden hesaplanan birikimlerden çok daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bu farklılığın çalışmaların yapıldığı tür farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir.

El-Said ve ark., (2021) Mısır bölgesindeki kabuklu (Crustacean) şubesine ait denizel canlılardaki Al, Fe, Zn, Cu, Mn, Ni, Co, Cd ve Pb metal birikim düzeylerini araştırmışlardır. Çalışmaları neticesinde derin su pembe karidesinde Al, Fe, Zn, Cu, Mn, Ni, Co, Cd ve Pb birikim düzeylerini sırasıyla 225.32 µg g⁻¹, 43.17 µg g⁻¹, 53.18 µg g⁻¹, 11.75 µg g⁻¹, 1.93 µg g⁻¹, 1.94 µg g⁻¹, 0.94 µg g⁻¹, 0.65 µg g⁻¹ ve 3.39 µg g⁻¹ bildirmişlerdir. Ayrıca çalışmalarında EDI, THQ ve TTHQ hesaplamaları yapmışlar ve karides tüketiminden kaynaklı bir risk olmadığı sonucuna varmışlardır.

Çalışmada derin su pembe karideslerinin kas dokularında yapılan analizlerde lipid peroksidasyonu

göstergesi olan MDA düzeyleri ile antioksidan bir enzim olan KAT aktivitesi İskenderun Körfezi'nde dağılım gösteren karideslerin Antalya Körfezi'nde dağılım gösteren karideslerden daha yüksek bulunmuştur. İskenderun istasyonunda özellikle Co ve Cr birikiminin Antalya istasyonunda yaşayan karideslerde hesaplanan birikimlerden daha fazla olduğu dikkati çekmektedir. Belirtilen metallerin daha önce yapılan çalışmalarda oksidatif strese neden olarak MDA düzeylerini arttırdığı gösterilmiştir. Zhang ve ark. (2021), Palaemonid (*Palaemon macrodactylus*) türü karideste yaptıkları çalışmada canlıları farklı konsantrasyonlarda Cd metaline maruz bırakmışlar ve karideslerin fizyolojik tepkisini test etmişlerdir. Cd metalindeki artışın KAT enzim aktivitesi üzerinde önemli bir inhibasyona ve MDA düzeylerinde artışa neden olduğu, buna bağlı olarak canlıda total antioksidan kapasitede azalmaya sebep olduğunu belirlemişlerdir. Bu çalışmaya paralel olarak İskenderun Körfezi'ndeki Cd birikiminin MDA içeriğinin yüksek olmasına ve buna paralel KAT aktivitesinde inhibasyona neden olduğu tespit edilmiştir. Aynı şekilde çalışmada da Antalya Körfezi'nde yaşayan karideslerdeki Cd birikiminin İskenderun Körfezi'nde yaşayan karideslerdeki birikime göre daha düşük olduğu tespit edilmiş olup Cd metalinin canlıya olan etkisini desteklemektedir.

Wang ve ark., (2012) beyaz karidesi (*Litopenaeus vannamei*) farklı pH değerlerine (5.4, 6.7, 8.0 ve 9.3) maruz bırakıp, stres değerlerini KAT enzim aktivitesi ve MDA üretim seviyesine göre değerlendirmişlerdir. Bu çalışmada asidik pH (5.4 ve 6.7) ve bazik pH (9.3) değerlerine uzun süre maruz kalan karideslerde radikal değerlerin yükseldiği, buna bağlı olarak KAT enziminin mRNA sentezindeki artışla canlının ROS'a karşı kendini korumaya aldığını kanıtlamışlardır. Buna ek olarak pH değişiminin MDA değerindeki artışa neden olduğunu bulmuşlardır. Buna ek olarak pH 8.0 değerinin beyaz karideslerde MDA değerinde artışa neden olmadığı böylece bu pH değerinin beyaz karideslerde optimum değer olduğu sonucuna varmışlardır.

Kaymak ve ark. (2015), Yeşilirmak akarsuyunda tatlı su kefali (*Squalius cephalus*) ve *Capoeta banarescui* türleriyle yaptıkları çalışmada ağır metal kirliliğinin canlılar üzerindeki etkisini oksidatif stres parametreleriyle karşılaştırmışlardır. Çalışmalarında ağır metal kirliliğinin yoğun olduğu örnekleme bölgesindeki canlılarda KAT ve SOD enzim aktivite değerlerinde düşüş, buna karşılık MDA değerlerinde ise artış gözlemlenmiştir.

Chen ve ark., (2020) Pasifik beyaz karidesi (*Litopenaeus vannamei*) 4 hafta boyunca üç farklı Co konsantrasyonuna (0, 100 ve 1000 µg l⁻¹) maruz bırakılmışlardır. Kobalta kronik maruz kalmanın MDA düzeylerinde artışa ve antioksidan savunma mekanizmalarında azalmaya neden olduğunu

gözlemlemiştir. Bununla birlikte ortaya çıkan oksidan hasara karşı antioksidan savunma mekanizmaları devreye girmiş ve güçlü antioksidan enzimlerden biri olan KAT seviyesi artış göstermiştir.

SONUÇ ve ÖNERİLER

Çalışmada Doğu Akdeniz'in İskenderun ve Antalya Körfezi'nde dağılım gösteren derin su pembe karidesinin (*P. longirostris*) insan gıdası olarak tüketilen kas dokularında en fazla metal birikimine Antalya Körfezi'nden yakalanan karideslerde Fe (35.976±2.992 mg kg⁻¹) rastlanmıştır. İskenderun Körfezi'nden yakalanan karideslerde metal birikim düzeyleri Fe> Zn> Al> Cu> Mn> Cr> Pb> Ni> Co> Cd ve Antalya Körfezi'nden yakalanan karideslerde birikim Fe> Al> Zn> Cu> Mn> Pb> Ni> Cr> Co> Cd şeklinde sıralanmıştır (Çizelge 2). İskenderun Körfezi'nden yakalanan karideslerde Fe den sonra en fazla birikimin Zn ve Al olduğu, Antalya Körfezi karideslerinde ise Fe den sonra en fazla birikimin Al olduğu tespit edilmiştir. Cd, Cr, Co, Ni ve Pb en fazla İskenderun, Al, Fe ve Zn ise en fazla Antalya Körfezi'nde yaşayan karideslerde hesaplanmıştır. Mevcut çalışmada kas dokusunda yapılan analizlerde lipid peroksidasyonu göstergesi olan MDA düzeyleri ile antioksidan bir enzim olan KAT aktivitesi İskenderun Körfezi'ndeki karideslerden alınan kas örneklerinde Antalya Körfezi karideslerine göre daha yüksek bulunmuştur. İskenderun Körfezi'nde yaşayan karideslerde özellikle Co ve Cr birikiminin Antalya Körfezi karideslerinden daha fazla olduğu dikkati çekmektedir. Belirtilen metallerin daha önce yapılan çalışmalarda oksidatif strese neden olarak MDA düzeylerini arttırdığı bilinmektedir. Çalışmada bulduğumuz sonuçlar da önceki çalışmaları desteklemektedir.

Çalışmada İskenderun ve Antalya Körfezi'nde dağılım gösteren derin su pembe karidesi tüketiminin kısa vadede veya uzun vadede tüketici sağlığı risk değerlendirmeleri açısından herhangi bir risk teşkil etmediği anlaşılmıştır. Ayrıca ağır metal riski açısından ilgili türün ömür boyu tüketildiğinde insanlarda kanserojen etkilere neden olmayacağı hesaplanmıştır. İnsan popülasyonunun her yıl arttığı ve her geçen gün alıcı ortam olarak yoğun bir şekilde su kaynaklarının kullanıldığı düşünüldüğünde, denizlerin xenobiotik yükü de her geçen gün artmaktadır. Yapılan bu güncel çalışma bir durum tespit çalışması niteliğinde olmakla birlikte bir biyozileme çalışmasıdır. Çalışmanın yapıldığı tarihte derin su pembe karidesinin insan sağlığı açısından risk oluşturmadığı sonucuna varılmıştır. Fakat bu sonuç ileride yapılacak izleme çalışmaları ile periyodik olarak tekrarlanmalıdır. Böylece sağlıklı yaşam için tercih edilen su ürünleri kaynaklarının gerçekte ne derecede sağlıklı olduğu da kontrol edilmiş ve tasdiklenmiş olacaktır.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

KAYNAKLAR

- Aebi H 1974. Catalase. In: Bergmeyer HU ed. Methods of enzymatic analysis academic. New York. 673-7.
- Ayas D, Köşker AR, Durmuş M, Bakan M 2016. Determination of seasonal changes on some heavy metal (Cd, Pb, Cr) levels of shrimp and prawn species from North-Eastern editerranean Sea, Gulf of Mersin, Turkey. Journal of Aquaculture Engineering and Fisheries Research, 2(2): 42-49.
- Baboli MJ, Velayatzadeh M 2013. Determination of heavy metals and trace elements in the muscles of marine shrimp, *Fenneropenaeus merguensis* from persian gulf. Journal of Animal and Plant Sciences, 23(3): 786.
- Bradford MM 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry, 7(72): 248-254.
- Canlı M, Atli G 2003. The relationships between heavy metal (Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Zn) levels and the size of six Mediterranean fish species. Environmental Pollution, 121: 129-136.
- Chen C, Xu C, Qian D, Yu Q, Huang M, Zhou L, Qin JG, Chen L, Li E 2020. Growth and health status of Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, exposed to chronic water born cobalt. Fish and Shellfish Immunology, 100: 137-145. doi: 10.1016/j.fsi.2020.03.011. Epub 2020 Mar 6. PMID: 32151686.
- Çelik U, Oehlenschläger J 2007. High contents of cadmium, lead, zinc and copper in popular fishery products sold in Turkish supermarkets. Food Control, 18: 258-260.
- Çiftçi N, Ayas D, Bakan M 2021. The Comparison of Heavy Metal Level in Surface Water, Sediment and Biota Sampled from the Polluted and Unpolluted Sites in the Northeastern Mediterranean Sea. Thalassas: An International Journal of Marine Sciences, 37(1): 319-330.
- Duysak Ö 2019. Determination of seasonal metal concentrations in seawater of the İskenderun Bay in the Eastern Mediterranean, Turkey. Fresenius Environmental Bulletin, 28(1): 495-501.
- El-Said GF, El-Sadaawy MM, Shobier AH, Ramadan SE 2021. Human health implication of major and trace elements present in commercial crustaceans of a traditional seafood marketing region, Egypt. Biological Trace Element Research, 199(1): 315-

- 328.
- Fang W, Wei Y, Liu J 2016. Comparative characterization of sewage sludge compost and soil: heavy metal leaching characteristics. *Journal of Hazardous Materials*, 310: 1-10.
- FAO 1983. Compilation of legal limits for hazardous substances in fish and fishery products pp. 5–100, FAO fishery circular, 464 sy.
- Gokoglu N, Yerlikaya P, Gokoglu M 2008. Trace elements in edible tissues of three shrimp species (*Penaeus semisulcatus*, *Parapenaeus longirostris* and *Palaemon serratus*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88(2): 175-178.
- Hammouda A, el-R Khalil MM, Salem A 1995. Lipid peroxidation products in pleural fluid for separation of transudates and exudates. *Clinical Chemistry*, 41(9): 1314-1315.
- Karunanidhi K, Rajendran R, Pandurangan D, Arumugam G 2017. First report on distribution of heavy metals and proximate analysis in marine edible puffer fishes collected from Gulf of Mannar Marine Biosphere Reserve, South India. *Toxicology Reports*, 4: 319-327.
- Kaya G, Turkoglu S 2017. Bioaccumulation of heavy metals in various tissues of some fish species and green tiger shrimp (*Penaeus semisulcatus*) from Iskenderun Bay, Turkey, and risk assessment for human health. *Biological Trace Element Research*, 180(2): 314-326.
- Kaymak N, Winemiller KO, Akin S, Altuner Z, Polat F, Dal T 2015. Stable isotope analysis reveals relative influences of seasonal hydrologic variation and impoundment on assimilation of primary production sources by fish in the Upper Yesilirmak River, Turkey. *Hydrobiologia*, 753(1): 131-147.
- Korkmaz C, Ay Ö, Çolakfakıoğlu Ç 2016. Mersin İlinde Tüketime Sunulan Kabuklu ve Yumuşakça Türlerinin Kas Dokularında Ağır Metal Düzeyleri. *Süleyman Demirel Üniversitesi Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, 12(2): 101-109. Doi: 10.22392/egirdir.283168
- Lao Q, Su Q, Liu G, Shen Y, Chen F, Lei X, Qing S, Wei C, Zhang C, Gao J 2019. Spatial distribution of and historical changes in heavy metals in the surface seawater and sediments of the Beibu Gulf, China. *Marine Pollution Bulletin*, 146: 427-434.
- Marra A, Mona S, Sà RM, D'Onghia G, Maiorano P 2015. Population genetic history of *Aristeus antennatus* (Crustacea: Decapoda) in the western and central Mediterranean Sea. *PloS one*, 10(3): e0117272.
- Özcan O, Erdal H, Çakırca G, Yonden Z 2015. Oksidatif stres ve hücre içi lipid, protein ve DNA yapıları üzerine etkileri. *Journal of Clinical and Experimental Investigations*, 6(3): 331-336. Doi: 10.5799/ahinjs.01.2015.03.0545.
- Pourang NJ, Dennis H, Ghourchian H 2005. Distribution of heavy metals in *Penaeus semisulcatus* from Persian Gulf and possible role of metallothionein in their redistribution during storage. *Environmental Monit Assess*, 100: 71.
- Rainbow PS, White SL 1989. Comparative strategies of heavy metal accumulation by crustaceans: Zinc, copper and cadmium in a decapod, an amphipod and a barnacle. *Hydrobiologia*, 174: 245–262.
- Saha N, Mollah MZI, Alam MF, Rahman MS 2016. Seasonal investigation of heavy metals in marine fishes captured from the Bay of Bengal and the implications for human health risk assessment. *Food Control*, 70: 110-118.
- Sezgin M, Aydemir E, Ateş AS, Katağan T, Özcan T 2007. On the presence of the non-native estuarine shrimp, *Palaemon longirostris* H. Milne-Edwards, 837 (Decapoda, Caridea), in the Black Sea. *Aquatic Invasions*, 2(4): 464-465.
- TGK (Türk Gıda Kodeksi) 2011. Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Yönetmeliği. Erişim 20.06.2021. <http://www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/yonetmelik/7.5.15692ek.doc>
- TÜİK 2019. Su Ürünleri İstatistikleri. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Su-Urunleri-2018-30697#:~:text=Kişi%20başın%20ortalama%20balık%20tüketimi,6%20C14%20kg%20olarak%20gerçekleşti.> Erişim Tarihi: 18.06.2021
- Turan F, Eken M, Ozyılmaz G, Karan S, Uluca H 2020. Heavy metal bioaccumulation, oxidative stress and genotoxicity in African catfish *Clarias gariepinus* from Orontes river. *Ecotoxicology*, 29(9): 1522-1537. doi: 10.1007/s10646-020-0225w.
- USEPA (U.S. Environmental Protection Agency) (2019) Regional screening level (RSL) summary table (TR=1E06 THQ=1.0). <https://semspub.epa.gov/work/HQ/197414.pdf>
- Wang WN, Li BS, Liu JJ, Shi L, Alam MJ, Su SJ, Wu J, Wang L, Wang AL 2012. The respiratory burst activity and expression of catalase in white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, during long-term exposure to pH stress. *Ecotoxicology*, 21(6): 1609-1616.
- Yazkan M, Özdemir F, Gölükcü M 2004. Cu, Zn, Pb and Cd contents in some molluscs and crustacea caught in the Gulf of Antalya. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 28(1): 95-100.
- Yi Y, Tang C, Yi T, Yang Z, Zhang S 2017. Health risk assessment of heavy metals in fish and accumulation patterns in food web in the upper Yangtze River, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 145: 295-302.
- Zhang C, Jin Y, Yu Y, Xiang J, Li F 2021. Cadmium-induced oxidative stress, metabolic dysfunction and metal bioaccumulation in adult palaemonid shrimp *Palaemon macrrodactylus* (Rathbun, 1902). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 208: 111591.