

## Heavy Metal Quantity and Health Risk Assessments in Frozen Shrimp Samples

Halil YALÇIN<sup>1</sup>, Tuncer ÇAKMAK<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Food Hygiene and Technology, Faculty of Veterinary Medicine, Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Burdur, Türkiye

<sup>2</sup>Department of Food Hygiene and Technology, Faculty of Veterinary Medicine, Van Yüzüncü Yıl University, Van, Türkiye

### ABSTRACT

In this study, it was aimed to determine the residual levels of toxic heavy metals cadmium (Cd), total mercury (THg), and lead (Pb) in a total of 48 frozen shrimp samples obtained from randomly selected sales points, and thus to evaluate the potential risks to public health associated with shrimp consumption. It was determined that the Cd level in the examined shrimp samples varied between <LOD-2.054 mg kg<sup>-1</sup>/wet weight, while the mean THg and Pb concentrations were found to be 0.144±0.010 and 0.094±0.090 mg kg<sup>-1</sup>/wet weight, respectively. Target Hazard Quotient (THQ) and Hazard Index (HI) values calculated for Cd, THg and Pb are <1, the Estimated Daily Intake (EDI) amount remains within the reference values of the Provisional Maximum Tolerable Daily/Weekly Intake (PTDI-PTWI) excluding Cd and methHg, and the Consumption Rates (CR<sub>lim</sub>) were determined not to exceed the RfDo (Oral Reference Dose) limits. However, it was determined that the Cd and Pb concentrations detected in some samples exceeded the national/international legal limits determined for fishery products including shrimps and may pose a risk in terms of public health. It is thought that increasing the frequency of inspections by the competent authorities and monitoring the level of heavy metal contamination by including it in the annual sample plan of the enterprises that produce and sell frozen shrimp will provide significant benefits for reducing/preventing health risks.

**Keywords:** Bioaccumulation, heavy metal, public health, shrimp.

\*\*\*

### Dondurulmuş Karides Örneklerinde Ağır Metal Miktarı ve Sağlık Risk Değerlendirmeleri

#### ÖZ

Bu çalışmada; rasgele seçilmiş satış noktalarından temin edilen toplam 48 adet dondurulmuş karides örneğinde, toksik ağır metallerden olan kadmiyum (Cd), toplam cıva (THg) ve kurşun (Pb) kalıntı düzeylerinin belirlenmesi ve böylece karides tüketimi ile ilişkili halk sağlığına yönelik potansiyel risklerin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. İncelenen karides örneklerinde Cd düzeyinin <LOD-2,054 mg kg<sup>-1</sup>/yaş ağırlık arasında değiştiği saptanırken, THg ve Pb yoğunluğu ortalamasının sırasıyla 0,144±0,010 ve 0,094±0,090 mg kg<sup>-1</sup>/yaş ağırlık olduğu tespit edilmiştir. Cd, THg ve Pb için hesaplanan Hedef Tehlike Katsayısı (Target Hazard Quotient/THQ) ve Tehlike İndeksi (Hazard Index/HI) değerlerinin <1 olduğu, Tahmini Günlük Alım Düzeyi (Estimated Daily Intake/EDI) miktarının Cd ve metHg hariç Tolere Edilebilir Günlük/Haftalık Alım (Provisional Maximum Tolerable Daily/Weekly Intake/PTDI-PTWI) referans değerleri içinde kaldığı ve İzin Verilen Maksimum Balık Tüketim Oranı'nın (Consumption Rates/CR<sub>lim</sub>), RfDo (Oral Referans Doz) limitlerini aşmadığı belirlenmiştir. Ancak bazı örneklerde tespit edilen Cd ve Pb yoğunluğunun karideslerin de dahil olduğu su ürünleri için belirlenen ulusal/uluslararası yasal limitleri aştığı ve halk sağlığı açısından risk taşıyabileceği saptanmıştır. Yetkili otoritelerin denetim sıklığını arttırmaları ve dondurulmuş karides üretimi ile satışı yapan işletmelerin yıllık numune planına dahil edilerek ağır metal kontaminasyon düzeyinin izlenmesinin, sağlık risklerinin azaltılmasına/önlenmesine yönelik önemli faydalar sunacağı düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Ağır metal, biyoakümülyasyon, halk sağlığı, karides.

To cite this article: Yalçın H. Çakmak T. Heavy Metal Quantity and Health Risk Assessments in Frozen Shrimp Samples. Kocatepe Vet J. (2023) 16(3): 277-286

Submission: 16.06.2023 Accepted: 17.08.2023 Published Online: 23.08.2023

ORCID ID: HY: 0000-0003-2162-2418, TÇ: 0000-0002-9236-8958

\*Corresponding author e-mail: [tuncercakmak@yyu.edu.tr](mailto:tuncercakmak@yyu.edu.tr)

## GİRİŞ

Tarımsal ve endüstriyel süreçler gibi antropojenik (madencilik, zirai ilaçlar, endüstriyel atıklar vb.) ve jeojenik (mineralleşmiş bölgenin doğal değişimi) faaliyetler nedeniyle su ve diğer ekosistemler kimyasal kirletici veya kirletici gruplarına (ağır metaller, kalıcı organik kirleticiler, radyonüklitler vb.) maruz kalabilmektedir (Muhammad ve Ahmad 2020; Nirmal ve ark. 2020). Toksik metaller; toksisite, biyoakümülyasyon ve biyomagnifikasyon özelliklerinden dolayı su ekosistemlerini (su, sediment, biyota) en çok kirleten, su ortamlarında uzun süre bozulmadan kalabilen ve su canlılarına zarar veren en önemli kontaminantlardandır.

Ağır metaller suda çözünmüş formda, suda asılı yükler şeklinde veya dip sedimentlerde bulunmaktadır (Sabir ve ark. 2017). Bu kimyasallar akümüle olabilmeleri, besin zincirinde bileşenler arası transfer ve başka besin zincirlerine aktarılabilmesi nedeniyle ekosistem için ayrıca bir risk oluşturmaktadır. Saha ve laboratuvar araştırmalarının sonuçlarına göre balık dokularındaki ağır metal biyobirikimi metal tipi, yoğunluk ve maruz kalma süresi, sıcaklık, alkalinite, sertlik, pH, tuzluluk oranı ile bazı metaller ve organik karbon gibi su kalite parametrelerinden etkilenebilmektedir. Ayrıca habitat, beslenme alışkanlıkları, büyüklük, cinsiyet, yaşam süresi ile akuatik besin ağlarındaki konumu gibi türle ilişkili ekolojik ve fizyolojik faktörlerin de ağır metal akümülyasyonuna etkisi bulunmaktadır (USEPA 2016; Miri ve ark. 2017; Solgi ve ark. 2019). Yenilebilir su canlıları tüketiminin insanların çeşitli kimyasal kirleticilerin alımında önemli bir faktör olduğu bilinmektedir (Ezemonye ve ark. 2019). Bu kontaminantlar tüketilebilir su canlıları yoluyla besin zincirine dahil olmakta ve insan sağlığı için potansiyel tehlike oluşturmaktadır (Copat ve ark. 2013; Aytekin ve ark. 2019; Nirmal ve ark. 2020).

Ağır metaller, toksisitelerine ve besin değerlerine bağlı olarak esansiyel ve esansiyel olmayan (toksik metaller) olarak sınıflandırılmaktadır. Bakır (Cu), Mangan (Mn), Demir (Fe), Çinko (Zn) ve Kobalt (Co) canlıların normal işlevlerin sürdürülmesi ve hayatta kalabilmesi için eser miktarlarda alınması gerekli metallere dendir (Muhammad ve ark. 2019). Esansiyel metallerin yeterli miktarda alınmaması durumunda organizmada işlevsel bozukluklar görülebilirken, bu metallerin yüksek konsantrasyonları ciddi sağlık sorunlarına neden olabilmektedir (Alves ve ark. 2018). Kurşun (Pb) Kadmiyum (Cd), Cıva (Hg), Nikel (Ni) ve Krom (Cr) gibi ağır metaller, potansiyel olarak toksik elementler olup insanlarda ve hayvanlarda güvenlik eşiğinin üzerinde çok küçük miktarlarda bile önemli hastalıkların (nörolojik problemler, baş ağrısı ve karaciğer ve böbrek hastalığı gibi kanserojen olmayan tehlikeler, mide hastalıkları, anoreksiya, kalp hastalıkları, hipertansiyon ve kanser vb.) ortaya çıkmasına yol açabilmektedir (Miri ve ark. 2017; Ezemonye ve ark. 2019; Muhammad ve Ahmad

2020). Toksisiteleri ve akümülyasyon davranışları nedeniyle hem deniz canlılarının çeşitliliğine hem de ekosistemlere zarar verebilmekte ve daha sonra besin zinciri yoluyla insanlara geçebilmektedirler. İnsanların ağır metaller gibi toksik kimyasallara maruz kalmasının ana kaynaklarından biride kontamine gıdaların, özellikle deniz ürünlerinin diyetle alınmasıdır. Bu nedenle, insan sağlığına yönelik olası riskleri değerlendirmek için deniz organizmalarının kimyasal kalitesinin, özellikle metal seviyelerinin belirlenmesi ve periyodik olarak izlenmesi önem arz etmektedir (Nabavi ve ark. 2012; Miri ve ark. 2017).

Balıklar ve diğer su canlıları genellikle içinde yaşadıkları ortamın önemli bir biyoindikatörü olarak kabul edilirler. İnsan beslenmesinde besin zincirinin son halkasını oluşturan bu canlılar, insanlara ağır metal aktarımında önemli gruplardan biri olarak kabul edilirler (Miri ve ark. 2017; Aytekin ve ark. 2019). Metallerin su canlılarına geçişi sindirim sistemi (diyet maruziyeti) ve solungaç yüzeyi (su maruziyeti) ile olmaktadır. Daha sonra kan yoluyla karaciğer gibi diğer hedef organlara aktarılmaktadır. Eser metaller esas olarak metalotiyoninler (yüksek sistein içeriğine sahip düşük moleküler ağırlıklı proteinler) yoluyla detoksifikasyon için karaciğerde depolanmaktadır. Kaslar, genelde cıva hariç metal aglomerasyonunda önemli bir doku değildir. Kaslardaki potansiyel metal birikimlerinin incelenmesinin nedeni halk sağlığı açısından olası tehlikelerin tespitine yöneliktir (Nabavi ve ark. 2012).

Kabuklu su canlıları, dünya çapında protein açısından zengin gıda arzı sağlayan en büyük deniz ürünlerinden biridir. Karides yüksek kaliteli protein, yağ asiti, vitamin ve mineral kaynağı olup tüm dünyada yaygın olarak tüketilen bir üründür. Karidesler genellikle piyasa talebine göre kabuklu/işlenmiş şekilde taze veya dondurulmuş formlarda satışa sunulmaktadır. Küresel karides üretimi 2020'de 5,03 milyon tona ulaşırken, 2020'den 2025'e kadar %6,1 bileşik yıllık büyüme oranı ile 2025'e kadar 7,28 milyon tona çıkması beklenmektedir (Nirmal ve ark. 2020).

Ağır metaller kararlı bileşikler olması, biyolojik olarak parçalanmaması, çevresel kompartımanlarda uzun süre kalıcılıkları ve potansiyel sağlık riskleri gibi daha birçok faktörden dolayı bu kontaminantlara ilişkin küresel endişeler bulunmaktadır (Miri ve ark. 2017). Ekosistemlerin sağlığının ve sürdürülebilirliğinin değerlendirilmesine yönelik yapılan araştırmalar, çevre ve halk sağlığının korunmasına yönelik önemli bilimsel veriler sunmaktadır. Bu nedenle sucul ekosistemlerdeki zamansal varyasyonları belirlemek için ağır metal kontaminasyon seviyesinin düzenli olarak ölçülmesi çok önemlidir (Muhammad ve Ahmad 2020). Cd, Pb ve toplam cıva (THg), çevrede yaygın olarak bulunan ve önemli sağlık sorunlarına neden olabilen toksik ağır metallerdir. Bu araştırmada, dondurulmuş olarak satışa sunulan karideslerdeki Cd, Pb ve THg gibi bazı toksik kontaminantların

yoğunluğunun belirlenmesi ve tüketimle ilişkili olarak potansiyel halk sağlığı risklerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

## MATERYAL ve METOT

### Örneklerin Toplanması ve Analizlere Hazırlanması

Araştırmada; Nisan-Mayıs 2021 tarihinde, satış noktalarından (süpermarket, şarküteri, zincir market vs.) temin edilen, farklı markalara ait (farklı parti numaralı) 400-500 gr'lık ambalajlarda dondurulmuş formda satışa sunulan toplam 48 paket karides örneği ( $n=48$ ) değerlendirildi. Toplanan karides örnekleri, içerisinde buz bulunan polietilen strafor kutulara konularak soğuk zincir içerisinde kısa sürede laboratuvara ulaştırıldı ve analizlere kadar derin dondurucuda (Arçelik 2501, Türkiye)  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de muhafaza edildi.

### Ağır Metal Analizleri

Çalışmada kullanılacak tüm cam eşyalar bir gün boyunca  $\text{HNO}_3$  (%30, Merck, Germany) içerisinde bekletilmiş ve ultra saf suyla (Synergy® Water Purification System, Germany) iyice durulandıktan sonra oda sıcaklığında kurutulmuştur. Dondurulmuş örnekler oda sıcaklığında bekletilerek çözünmeleri sağlanmıştır. Daha sonra homojen hale getirilen örnekler (0,5 gr) teflon tüplere aktarılmış, üzerine 9 ml Nitrik asit (%65,  $\text{HNO}_3$ , Merck, Germany)+3 ml Hidroklorik asit (%35 HCl, Merck, Germany) eklenerek mikrodalga fırınında (1450 W-45 bar) (Milestone Start D, İtalya) iki aşamada (15 dakikada  $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye yükseltme,  $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de 15 dakika bekleme) yaş yakmaya alınmış ve bozundurma süreci tamamlanmıştır (USEPA 2007). Soğutulan teflon tüpler ultra saf suyla yıkanarak polipropilen santrifüj tüplerine alınmış ve yine ultra saf su ile 50 ml'ye tamamlanarak İndüktif Eşleşmiş Plazma-Optik Emisyon Spektrometresi (Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectroscopy/ICP-OES, Perkin Elmer Optima 8000, USA) ile üç tekerrürlü ölçümleri yapılmıştır. THg analizi; hidrid sistem (%0,2  $\text{NaBH}_4$  (%0,05  $\text{NaOH}$ +%3 HCl) kullanılarak yapılmıştır. Karides örneklerine ait Cd, THg ve Pb ölçüm sonuçları entegre yazılım ile  $\text{mg kg}^{-1}/\text{yaş}$  ağırlık şeklinde hesaplanmıştır. Analitik kalite kontrol parametreleri ilgili metot prosedürleri doğrultusunda gerçekleştirilmiştir. Sertifikalı referans materyali (SRM) ile (QCS-27, Belçika) ile analitik prosedürün parametreleri değerlendirilmiştir. Korelasyon katsayısı  $r^2>0,999$ , SRM ve spike yapılmış örneklere ait geri kazanım oranları %92 ile %106,4 arasında olup Cd, THg ve Pb için tespit limitlerinin (Limit of Detection/LOD) sırasıyla 0,003, 0,001 ve 0,005 olduğu belirlenmiştir (Tablo 1).

### Sağlık Risk Değerlendirmeleri

Bu çalışmada, karides tüketimine yönelik potansiyel sağlık risklerinin belirlenmesi amacıyla Tahmini

Günlük Alım Düzeyi (Estimated Daily Intake/EDI), Hedef Tehlike Katsayısı (Target Hazard Quotient/THQ), Tehlike İndeksi (Hazard Index/HI) ve İzin Verilen Maksimum Balık Tüketim Oranı (Consumption Rates/ $\text{CR}_{\text{lim}}$ ) değerlendirilmiştir.

EDI; gıdadan insanlara gıda kontaminant transferinin tahmini için yaygın olarak kullanılan bir indekstir ve tüketilen gıdanın miktarına, tüketim süresine ve kontaminasyon düzeyine bağlıdır (Solgi ve ark. 2019). THQ; uzun süreli maruz kalma, yutulan miktar ve vücut ağırlığı ile ilişkili boyutsuz bir risk indekstir. Kimyasal kirleticilere uzun süre maruz kalmayla ilişkili potansiyel sağlık risklerinin tahmini için USEPA tarafından geliştirilmiştir. Maruz kalma süresi ve sıklığı, alınan miktar ve vücut ağırlığıyla ölçülen konsantrasyon ile oral referans doz arasındaki oran olarak tanımlanmaktadır. THQ, ilgili toksik elemente maruz kalmanın neden olduğu kanserojen olmayan sağlık riskini göstermektedir.  $\text{THQ}<1$  ise, kanserojen olmayan sağlık etkileri beklenmemektedir. Bununla birlikte  $\text{THQ}>1$  ise, maruz kalma seviyesinin güvenli referans sınırdan daha yüksek olduğunu ve potansiyel bir sağlık riski olasılığını göstermektedir (Yu ve ark. 2020; USEPA 2021).

Oral Referans doz ( $\text{RfD}_o$ ); insan popülasyonuna (hassas alt gruplar dâhil) belirli bir süre boyunca kayda değer yan etki riski olmaksızın günlük oral maruz kalma tahmini olarak tanımlanmaktadır ve değerlendirilen eser elemente özgü bir değerdir (USEPA 2011).

HI veya Toplam Tehlike İndeksi (Total Hazard Index/THI); her gıda türü için değerlendirilen unsurların bireysel hedef tehlike oranlarının toplamıdır. HI, tüketilen gıdada potansiyel olarak toksik olan birkaç elemente aynı anda maruz kalılabileceği varsayımı üzerinden yapılan değerlendirmedir (USEPA 1989; Antoine ve ark. 2017).

Analizler sonucunda karides numunelerinde saptanan Cd, THg ve Pb yoğunluklarına göre EDI, THQ ve HI değerleri aşağıdaki formüllere göre hesaplanmıştır (Copat ve ark. 2014; Antoine ve ark. 2017; Solgi ve ark. 2019; Çiftçi ve ark. 2021; USEPA 2023a; USEPA 2023b; Varol ve Kaçar 2023).

Analiz edilen ağır metallerin  $\text{EDI}_{\text{Cd}}$ ,  $\text{EDI}_{\text{THg}}$ ,  $\text{EDI}_{\text{metgHg}}$  ve  $\text{EDI}_{\text{Pb}}$  sonuçları, karides örneklerindeki ortalama yoğunluğu ve gram cinsinden günlük alım miktarına göre belirlenmiştir.

$$\text{EDI (mg kg}^{-1}/\text{gün)} = \frac{\text{C} \times \text{F}_{\text{IR}}}{\text{BW}}$$

EDI (Estimated Daily Intake): Öğün başına Tahmini Günlük Alım Miktarı

C (Metal concentration): Metal konsantrasyonu (ortalama,  $\text{mg kg}^{-1}/\text{yaş}$  ağırlık)

$\text{F}_{\text{IR}}$  (Fish Ingestion Rate): g/gün/kişi cinsinden günlük balık tüketim miktarı

(17,81 g/gün/kişi; TEPGE 2022)

BW (Body Weight): Vücut Ağırlığı, yetişkinler için ortalama 70 kg (Varol ve Sünbül 2020)

$$THQ = \frac{EF \times ED \times C \times F_{IR}}{RfD_o \times BW \times AT_n} \times 10^{-3}$$

EF (*Exposure Frequency*): Yıl boyunca maruz kalma sıklığı (350 gün/yıl; USEPA 1991)

ED (*Exposure Day*): Maruz kalma süresi: ~26 yıl (USEPA 1989; USEPA 2011)

RfD<sub>o</sub> (*Reference Dose*): Oral referans doz (mg kg<sup>-1</sup>/gün) (Cd: 0,001 (1,0E-03), iHg: 0,0003 (3,0E-04), metHg: 0,0001 (1,0E-04), (Pb: -) mg kg<sup>-1</sup> vücut ağırlığı/gün (USEPA 2021; USEPA 2023a).

AT<sub>n</sub> (*AT<sub>noncancer</sub>, Average Exposure Time for Noncarcinogens*): Kanserojen Olmayanlar İçin Ortalama Maruz Kalma Süresi (AT<sub>n</sub>: 365 gün/yıl × 26 yıl; USEPA 1989)

$$HI = \sum_{i=1}^n THQ \quad (HI = THQ_{Cd} + THQ_{THg} + THQ_{Pb})$$

CR<sub>lim</sub>, tüketicileri metallerin olumsuz etkilerinden korumak amacıyla bir kirleticinin kanserojen olmayan sağlık riskleri açısından gün bazında güvenle tüketilmesi gereken maksimum balık miktarını belirlemek için kullanılmaktadır (USEPA 2000).

$$CR_{lim}(\text{kg/gün}) = \frac{RfD_o \times BW}{C_m}$$

CR<sub>lim</sub> (*Consumption Rates*): İzin verilen maksimum balık tüketim oranı (g/gün)

C<sub>m</sub> (*Metal concentration*): Metal konsantrasyonu (ortalama, mg kg<sup>-1</sup>/yaş ağırlık)

Ülkemizde kişi düzeyinde günlük/aylık karides tüketim miktarına yönelik detaylı istatistiki bir veri tespit edilemediği için hesaplamalarda 2021 yılı kişi başı ortalama su ürünleri tüketim miktarı 17,81

g/kişi/gün (6,5 kg/kişi/yıl) baz alınmıştır (TEPGE 2022). Yetişkinler için ortalama vücut ağırlığı 70 kg varsayılmıştır (Varol ve Sünbül 2020). EDI değerleri, Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (European Food Safety Authority/EFSA) ve Gıda Katkı Maddeleri Ortak Uzman Komitesi (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives/JECFA) tarafından önerilen Geçici Tolere Edilebilir Günlük/Haftalık Alım (Provisional Tolerable Daily/Weekly Intake/PTDI-PTWI) miktarıyla, THQ, HI ve CR<sub>lim</sub> ise Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (United States Environmental Protection Agency/USEPA) tarafından belirlenen standartlara ait verilerle karşılaştırılmıştır.

### İstatistiksel analiz

İncelenen metallerle ait konsantrasyonlar ortalama±standart sapma şeklinde verilmiştir. Cd, THg ve Pb arasındaki ilişki korelasyon analizi ile değerlendirilmiştir. p<0,05 istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmiştir. Veri analizi SPSS (IBM, Endicott, NY, ABD) versiyon 20 kullanılarak yapılmıştır.

## BULGULAR

Karides örneklerinde tespit edilen Cd, THg (iHg ve metHg) ve Pb konsantrasyonları ve diğer parametreler Tablo 1'de, Cd, THg (iHg ve metHg) ve Pb için belirlenen EDI, THQ, HI, CR<sub>lim</sub> ile referans PTDI, PTWI ve PTMI değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Karides örneklerinde Cd, THg (iHg ve metHg) ve Pb miktarı

**Table 1.** Cd, THg (iHg ve metHg) and Pb quantity in shrimp samples

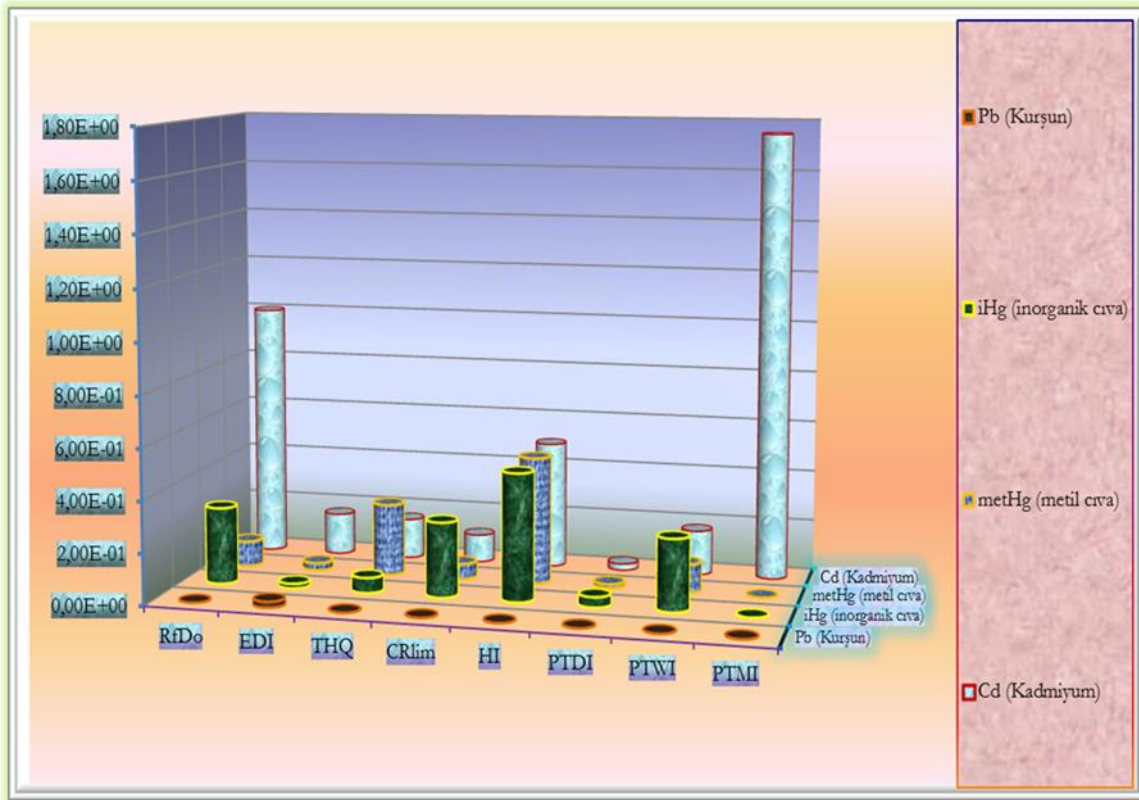
Metal	Örnek sayısı (n: 48)		LOD (ppm)	Konsantrasyon (mg kg <sup>-1</sup> YA)	Ortalama±SS (mg kg <sup>-1</sup> YA)	Maksimum Limit <sup>a</sup> (mg kg <sup>-1</sup> YA)	>0.50 (mg kg <sup>-1</sup> YA)
	(+)	(-)					
Cd	47	1	0,003	<LOD-2,054	0,643±0,490	0,50	25
THg				<LOD-0,364	0,144±0,100		TE
iHg	47	1	0,001	-	0,072±0,000	0,50	
metHg					0,115±0,000		
Pb	47	1	0,005	<LOD-0,620	0,094±0,090	0,30/0,50	1

(+): pozitif örnek sayısı, (-): <LOD örnek sayısı, LOD (*Limit of Detection*): Tespit Limiti, YA: Yaş Ağırlık, SS: Standart Sapma, TE: Tespit Edilemedi, a: EC (2014; 2015; 2022; 2023), JECFA (2018), TGK (2011)

**Tablo 2.** Karides örneklerinde Cd, THg (iHg ve metHg) ve Pb için belirlenen EDI, THQ, HI, CR<sub>lim</sub>, PTDI, PTWI ve PTMI referans değerleri  
**Table 2.** EDI, THQ, HI, CR<sub>lim</sub>, and PTDI, PTWI and PTMI reference values determined for Cd, THg (iHg ve metHg) and Pb in shrimp samples

Metal	RfD <sub>o</sub> (mg kg <sup>-1</sup> /gün)	EDI (mg kg <sup>-1</sup> )	THQ (mg kg <sup>-1</sup> )	CR <sub>lim</sub> (kg/gün)	HI (mg kg <sup>-1</sup> )	PTDI (mg kg <sup>-1</sup> ) (vücut ağırlığı: 70 kg)	PTWI (mg kg <sup>-1</sup> ) (vücut ağırlığı: 70 kg)	PTMI (mg kg <sup>-1</sup> ) (vücut ağırlığı: 70 kg)	
		<i>Tüketim (gün/kişi)</i>	<i>Tüketim (gün/kişi)</i>	<i>Tüketim (gün/kişi)</i>	<i>Tüketim (gün/kişi)</i>				
Cd	1,0E-03 (0,001)	0,163	1,57E-01	0,109		0,025/0,060 (EFSA, 2011; JECFA, 2018)	0,175 (PTWI: 0,0025 mg kg <sup>-1</sup> va) (EFSA, 2011)	1,75 (PTMI: 0,0250 mg kg <sup>-1</sup> va) (JECFA, 2018)	
THg	iHg (THgX0.5)	3,0E-04 (0,0003)	0,018	5,90E-02	0,292	4,97E-01	0,040 (iHg) (Tolere Edilebilir Haftalık Alım miktarı üzerinden hesaplanmıştır)	0,280 (iHg) PTWI: inorganik cıva 0,004 mg kg <sup>-1</sup> va (EFSA, 2012a; JECFA, 2018)	PTMI belirlenmemiştir (EFSA, 2012a; JECFA, 2018)
	metHg (THgX0.8)	1,0E-04 (0,0001)	0,029	2,81E-01	0,061		0,016 (metHg) (Tolere Edilebilir Haftalık Alım miktarı üzerinden hesaplanmıştır)	0,112 (metHg) (PTWI: metil cıva 0,0016 mg kg <sup>-1</sup> va) (EFSA, 2012a; JECFA, 2018)	PTMI belirlenmemiştir (EFSA, 2012a; JECFA, 2018)
Pb	RfD <sub>o</sub> belirlenmemiştir (USEPA, 2021) (USEPA, 2023a)	0,023	-	-	-	-	PTWI belirlenmemiştir (EFSA, 2010; JECFA, 2018)	PTMI belirlenmemiştir (EFSA, 2010; JECFA, 2018)	

RfD<sub>o</sub> (Reference Dose): Oral Referans Doz, EDI (Estimated Daily Intake): Tahmini Günlük Alım, THQ (Target Hazard Quotient): Hedef Tehlike Katsayısı, HI (Hazard Index): Tehlike İndeksi, PTDI (Provisional Maximum Tolerable Daily Intake): Tolere Edilebilir Günlük Alım, PTWI (Provisional Tolerable Weekly Intake): Tolere Edilebilir Haftalık Alım, PTMI (Provisional Tolerable Monthly Intake): Tolere Edilebilir Aylık Alım, va: vücut ağırlığı, THg: Toplam cıva, iHg: İnorganik cıva, metHg: Metil cıva



**Şekil 1:** Pb, iHg, metHg ve Cd için Referans doz (RfDo,  $\mu\text{g kg}^{-1}/\text{gün}$ ), karides tüketimine yönelik belirlenen Tahmini Günlük Alım Düzeyi (EDI,  $\text{mg kg}^{-1}/\text{gün}$ ), Tahmini Hedef Tehlike Katsayısı (THQ), İzin verilen maksimum balık tüketim oranı (CR<sub>lim</sub>,  $\text{kg}/\text{gün}$ ), Tehlike İndeksi (HI) ile Tolere Edilebilir Günlük/Haftalık/Aylık Alım PTDI/PTWI/PTMI ( $\text{mg kg}^{-1}/\text{vücut ağırlığı}$ ) referans değerleri

**Figure 1:** Reference dose (RfDo,  $\mu\text{g kg}^{-1}/\text{day}$ ) for Pb, iHg, metHg and Cd and Estimated Daily Intake Level (EDI,  $\text{mg kg}^{-1}/\text{day}$ ) for shrimp consumption, Estimated Target Hazard Coefficient (THQ), Maximum allowable fish consumption rate (CR<sub>lim</sub>,  $\text{kg}/\text{day}$ ), Hazard Index (HI) and Tolerable Daily/Weekly/Monthly Intake PTDI/PTWI/PTMI ( $\text{mg kg}^{-1}/\text{body weight}$ ) reference values

## TARTIŞMA

Dondurulmuş karideslerde ağır metal miktarının belirlendiği bu çalışmanın sonuçlarına göre ağır metal yoğunluğunun ortalama değerler üzerinden  $\text{Cd} > \text{THg} > \text{Pb}$  şeklinde olduğu saptanmıştır. İncelenen örneklerde Cd konsantrasyonu  $< \text{LOD} - 2,054 \text{ mg kg}^{-1}/\text{yaş ağırlık}$  ile en yüksek yoğunluklu ağır metal olurken, THg ve Pb düzeyinin sırasıyla ortalama  $0,144 \pm 0,100$  ve  $0,094 \pm 0,090 \text{ mg kg}^{-1}/\text{yaş ağırlık}$  olduğu tespit edilmiştir (Tablo 1).

Cd, Hg ve Pb “Tehlikeli Maddelerin Öncelik Listesi” içerisinde rapor edilen en toksik 10 madde arasında tanımlanan ağır metallerdir (ATSDR 2013). Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization/WHO), USEPA, JECFA ve EFSA tarafından insanlar için toksik maddelere yönelik tolere edilebilir maruz kalma (tolere edilebilir alım referans dozu ve sağlık risk faktörleri) için sağlığa dayalı bir çok kılavuz yayınlanmıştır (Copat ve ark. 2013).

Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Yönetmeliği’nde farklı balık türlerinde Cd, Hg ve Pb için yasal limitler  $0,05$  ile  $0,50 \text{ mg kg}^{-1}/\text{yaş ağırlık}$  arasında değişirken, kabuklularda (*Crustaceans*) (başlı gövde kısmı hariç

karın ve karın uzantısı kas eti) bu metaller için limit değer  $0,50 \text{ mg kg}^{-1}/\text{yaş ağırlık}$  olacak şekilde düzenlenmiştir (TGK 2011).

Avrupa Birliği direktiflerinde kabuklularda (*Crustaceans*) (başlı gövde kısmı hariç karın ve karın uzantısı kas eti) Cd, Hg ve Pb miktarına yönelik maksimum düzeyin  $0,50 \text{ mg kg}^{-1}/\text{yaş ağırlık}$  olarak belirlendiği görülmektedir (EC 2014; EC 2015; EC 2022; EC 2023). JECFA, balık etlerinde kadmium için herhangi bir limit değer belirtmemiş olup cıva ve kurşun için sırasıyla en fazla  $0,50$  ve  $0,30 \text{ mg kg}^{-1}/\text{yaş ağırlık}$  olacak şekilde sınırlamalar getirmiştir (JECFA 2018).

Tüm karides örneklerinde THg miktarının, kabuklular için TGK (2011), EC (2022) ve EC (2023) ile balık etlerine yönelik JECFA (2018) tarafından yapılan düzenlemelerdeki limit değerlerin altında olduğu saptanmıştır (Tablo 1). 25 örnekte Cd düzeyinin ve bir (1) örnekte Pb seviyesinin ( $0,620 \text{ mg kg}^{-1}/\text{yaş ağırlık}$ ) TGK (2011), EC (2014), EC (2015) ve EC’na (2023) göre tüketilebilirlik sınırını ( $0,50 \text{ mg kg}^{-1}/\text{yaş ağırlık}$ ) aştığı, JECFA’ne (2018) göre ise 1 (bir)



örneğin Pb açısından limit değerin üzerinde olduğu tespit edilmiştir (Tablo 1). Araştırma sonuçlarımıza benzer şekilde Aytekin ve ark. (2019), araştırmalarında karides örneklerinde tespit edilen Cd (6,52-8,33 µg/g kuru ağırlık) ve Pb (22,18-62,75 µg/g kuru ağırlık) düzeylerinin çeşitli sağlık kuruluşları tarafından belirlenmiş insan tüketimi için kabul edilebilir değerlerin üzerinde olduğunu bildirmişlerdir.

Yapılan bir araştırmada karideslerde saptanan Cd ve Pb yoğunluğunun 0,93 ve 22,39 mg kg<sup>-1</sup> olarak saptandığını ve uluslararası düzenlemelere göre belirlenen limitleri aştığı bildirilmiştir (Ezemonye ve ark. 2019). Başka bir araştırmada ise farklı karides türlerinde 2,127-2,802 mg kg<sup>-1</sup> Cd ve 1,294-2,723 mg kg<sup>-1</sup> konsantrasyonlarında Pb varlığı tespit edildiği, örneklerdeki ağır metal düzeyinin özellikle JECFA'ya göre tolere edilebilir sınırı aştığı, ağır metal konsantrasyonlarının sudan tortuya ve nihayet karideslere doğru arttığı ve biyolojik birikimin görüldüğü belirtilmiştir (Herliwati ve ark. 2022). Yu ve ark. (2020), farklı karides türlerinde Cd ve Pb miktarını sırasıyla 0,001-0,236 ve <LOD-0,330 mg kg<sup>-1</sup> olduğunu belirlerken; Yipel ve Tekeli (2022), araştırmalarında Cd ve Pb yoğunluğunun tespit sınırı altında (<LOD) kaldığını belirtmişlerdir. Farklı bulguların örneklerin temin edildiği aquatik ortamdaki metal kontaminasyon yoğunluğundan kaynaklanabileceği değerlendirilmektedir. Metaller genellikle karidesler tarafından doğal habitatı içerisinde yer alan besinlerle birlikte suların alınmakta, dolaşımına vücuda dağılmakta ve sonunda hedef organlarda birirmektedir (Agah ve ark. 2009).

Kadmiyum, mineral yataklarında ve çevrede düşük konsantrasyonlarda yaygın olarak bulunan doğal olarak oluşan bir metaldir. Kadmiyumun birincil endüstriyel kullanımları pillerin, pigmentlerin, plastik stabilizatörlerin, metal kaplamaların, alaşımların ve elektroniklerin imalatı içindir. Son zamanlarda kadmiyum, güneş pillerinde ve renkli ekranlarda kullanılmak üzere nanopartiküllerin (kuantum noktaları) üretiminde kullanılmaktadır. Karidesler diğer kabuklu deniz canlıları gibi doğal kadmiyum toplayıcılarıdır. Kadmiyum, suda yaşayan hayvanlarda biyolojik işlevi olmayan non-esansiyel bir metaldir. Yüzeysel suda çözünür minerallerin (özellikle kalsiyum ve daha az ölçüde magnezyum) miktarı olan su sertliği, kadmiyumun toksisitesini etkileyen önemli bir su kalitesi parametresi olup yumuşak sulara sert suya göre daha akut toksik olduğu bilinmektedir (USEPA 2016; JECFA 2018). Gıda ve sigara, genel nüfus için kadmiyum maruziyetinin iki ana kaynağını oluşturmaktadır. Kadmiyum kontaminasyonu böbrek, karaciğer gibi bir çok gıdada özellikle en yüksek konsantrasyonları kabuklu deniz canlılarında bulunmaktadır. Kadmiyumun insanlarda biyolojik yarı ömrü yaklaşık olarak 10-30 yıl arasında olduğu bilinen ve insanlarda teratojen kanserojen etkileri olan en toksik elementlerden biridir. İnsanlarda aşırı Cd alımı böbrek yetmezliği ve kısırlığa neden olabilmektedir (Yıldırım ve ark. 2009; USEPA 2016).

USEPA, Pb'yi çoğu yaşam biçimi için potansiyel olarak tehlikeli ve toksik olarak sınıflandırmaktadır. Pb zehirlenmesi genellikle en yaygın çevresel sağlık tehlikeleri içerisinde ilk sırada yer almaktadır. İşitme bozuklukları, anemi, böbrek yetmezliği, zayıflamış bağışıklık sistemi, düşük doğum ağırlıkları, ölü doğumlar ve abort, erken doğumlar, yüksek kan ve idrar kurşun seviyeleri Pb zehirlenmesinin en sık görülen semptomlarıdır (Yıldırım ve ark. 2009; Nabavi ve ark. 2012).

Araştırma sonuçlarımıza göre karides örneklerinde tespit edilen toplam Hg (THg) düzeyinin <LOD-0,364 ve ortalama 0,144±0,010 mg kg<sup>-1</sup>/yaş ağırlık olduğu tespit edilmiştir (Tablo 1). İstatistiksel analizler açısından THg ve Pb arasında negative yönlü bir korelasyon (-0,359) olduğu belirlenmiştir (p<0,05). Yu ve ark. (2020); farklı türlere ait karides örneklerinde Hg miktarının <LOD-0,860 mg kg<sup>-1</sup> arasında olduğunu, Sultana ve ark. (2022); kültür karideslerinde Hg yoğunluğunu ortalama 0,02±0,006 mg kg<sup>-1</sup> olarak tespit edildiğini bildirmişlerdir. Balıklarda bulunan toplam cıvanın yaklaşık %75-90'ı tehlikeli organik form (metilciva, CH<sub>3</sub>Hg<sup>+</sup>) şeklinde bulunmaktadır. EFSA verilerinde göre balık ve diğer deniz ürünleri, tüketicilerin metilciva'ya maruz kalmasına en çok katkıda bulunan gıdalar olduğu belirtilmektedir. Yetişkin popülasyonun diyet yoluyla metilciva maruziyetinin haftalık ortalama 0,24 µg kg<sup>-1</sup> civarında olduğu bildirilmektedir (EFSA 2012a; Hong ve ark. 2012).

Kabuklu deniz canlıları için inorganik Hg için dönüşüm faktörü olarak 0,5 kullanılırken CH<sub>3</sub>Hg için dönüşüm faktörü olarak 0,8 kullanılmaktadır (EFSA 2012b; Hong ve ark. 2012; Omeragic ve ark. 2020). Bu değerlendirmeye göre araştırmamızda karides örneklerindeki ortalama iHg ve metHg miktarının sırasıyla 0,072 ve 0,115 mg kg<sup>-1</sup>/yaş ağırlık olabileceği varsayılmıştır. Cıva, farklı kimyasal formlarda (elemental-metalik cıva, inorganik cıva bileşikler, metilciva ve diğer organik bileşikler) bulunan nörotoksik bir elementtir. İnsanların metil cıvaya maruz kalmasının ana yolu, dokularında cıvanın oldukça zehirli bir formu olan yüksek düzeyde metilciva içeren balık ve kabuklu deniz canlılarının tüketilmesidir. Metil cıva özellikle sinir sistemi ve gelişmekte olan beyin için toksik olduğu için hamilelik sırasında maruz kalma metilciva toksisitesi için en kritik dönem olarak kabul edilmektedir (EFSA 2012a). Deniz organizmalarının boyutu, balık dokularının metal içeriklerinde çok önemli bir rol oynamaktadır (Dang ve Wang 2012). Bu durum özellikle cıva için oldukça belirgindir. Ancak büyüklükle birlikte ağır metal konsantrasyonlarında görülen güvenilir istatistiksel artış eğilimi, diğer metaller için yeteri kadar belirgin değildir (Canlı ve Atlı 2003).

Deniz organizmalarındaki kirletici içeriğini değerlendirmenin en önemli avantajlarından biri de insan diyet maruziyetini ve potansiyel sağlık problemlerinin tahmin edilmesidir (Traina ve ark.

2019). Kanser riski, bir kişinin yaşamı boyunca potansiyel kanserojenlere maruz kalması nedeniyle kanser geliştirme olasılığı olarak değerlendirilmektedir (USEPA 2016). Cd; grup 1 (insanlar için kanserojen) ve Pb; grup 2A (insanlar için muhtemel kanserojen) kanser riski taşıırken Hg ve iHg; grup 3, metHg ise grup 2B (insanlar için muhtemelen kanserojen) kanserojen kimyasallar olarak sınıflandırılmaktadır (IARC 2022). Araştırma bulgularımıza göre EDI<sub>Cd</sub> ve EDI<sub>metHg</sub> miktarının, PTDI/PTWI referans değerlerini aştığı görülürken EDI<sub>iHg</sub> miktarının ise limit düzeylerin altında kaldığı belirlenmiştir (Tablo 2, Şekil 1). Bu durum incelenen örneklerin Cd ve metHg açısından insan sağlığına yönelik potansiyel risk taşıyabileceğini göstermektedir.

Gıda maddesindeki elementler için bireysel THQ'lar tek başına birden (<1) düşük olsa bile, tüketimin kümülatif etkisi olumsuz sağlık etkilerine neden olabilir. İki veya daha fazla ağır metale bu şekilde maruz kalma, potansiyel risklerin additif etkisine yol açabilir (Antoine ve ark. 2017). Bazı toksik metaller arasında sinerjik etkinin varlığı bilinmektedir. Örneğin çocuklarda As ve Pb toksisitesinde birincil hedefin merkezi sinir sistemi olduğu ve bu durumda zihinsel hasar olasılığının arttığı görülmektedir (Tokatlı ve Ustaoglu 2021). HI>1 ise, kanserojen olmayan olumsuz sağlık sorunları potansiyeli bulunmaktadır. HI≤1,0, önemsiz yan etkilerin tahmin edildiğini ve HI>1,0 kronik toksik etkilerin olası olduğunu ifade etmektedir (USEPA 1989; Antoine ve ark. 2017).

Karides örneklerinde tek ve/veya toplam metal yoğunluğunun (THQ<1 ve HI: 0,49) kanserojen olmayan sağlık riskleri açısından güvenlik marjı içerisinde kaldığı görülmektedir (Tablo 2, Şekil 1). Bu veriler kanserojen olmayan sağlık risklerinin ortaya çıkma ihtimalinin düşük olduğunu göstermektedir. THQ değerinin 1'den büyük olması, maruz kalma seviyesinin güvenli referanslı sınırdan daha yüksek olduğunu ve potansiyel bir sağlık riski oluşturabileceğini göstermektedir (Copat ve ark. 2014). Referans alınan güvenli sınırdan daha yüksek günlük maruz kalma seviyeleri, olumsuz sağlık etkilerine, iki veya daha fazla ağır metale bu şekilde maruz kalma, potansiyel risklerin additif etkisine yol açabilmektedir (Yu ve ark. 2020). Yapılan çalışmalarda toksik metallerle kontamine balık ve kabuklu deniz canlıları tüketimine yönelik nonkanserojen etki tespit edilemediğine yönelik veriler bulunmaktadır (Ezemonye ve ark. 2019; Arisekar ve ark. 2022). CR<sub>lim</sub>, 70 kg ağırlığındaki bir yetişkinin bir günde güvenle tüketebileceği maksimum balık miktarını (kg) temsil etmektedir. Karides örneklerinde incelenen toksik metaller için CR<sub>lim</sub> değerlerinin (≥61 g/gün-metHg) kişi başı günlük balık tüketim oranı (17,81 g) üzerinden kıyaslandığında kanserojen olmayan sağlık riskleri açısından herhangi bir tehlike oluşturmadığı görülmüştür (Tablo 2, Şekil 1).

Elde edilen bulgular, karides tüketimine ilişkin halk sağlığı açısından olası risklerin değerlendirilmesine yönelik ağır metal kontaminasyonu hakkında güncel veriler sunmakta olup toksik metal kirliliğini önlemek için önlemler alınması gerektiğini göstermektedir. Araştırmada elde edilen bulgulara bakıldığında, bazı örneklerde saptanan toksik metal (Cd ve Pb) seviyelerinin TGK (2011), EC (2014), EC (2015), EC (2023) ve diğer bazı sağlık kuruluşları (JECFA) tarafından insan tüketimi için belirlenen limit değerleri (0,30-0,50 mg kg<sup>-1</sup>/yaş ağırlık) aştığı görülmektedir. Bu veriler nedeniyle insanların karides tüketimi yoluyla bu toksik elementlere maruz kalma durumu ve olası risklerin değerlendirilmesi için devamlı şekilde periyodik izleme çalışmaları yapılmasının faydalı olacağı düşünülmektedir. Hem THQ hem de HI sonuçlarının 1'den düşük olması, tüketiciler açısından kanserojen olmayan sağlık etkilerinin ortaya çıkma olasılığının zayıf olduğunu göstermektedir. Taze, işlenmiş ve dondurulmuş karides üretimi yapan işletmelerin İyi Üretim Uygulamaları (Good Manufacturing Practice/GMP) ve/veya Tehlike Analizi ve Kritik Kontrol Noktaları (Hazard Analysis and Critical Control Point/HACCP) gibi gıda güvenliği kontrol sistemleri içerisinde ürünlerdeki ağır metal yoğunluğunun sürekli olarak izlenmesi, çevre ve su ekosistemlerinde her türlü metal kontaminasyonu açısından önleyici tedbirlerin alınması, gıda güvenliği kontrolünün güçlendirilmesi ve potansiyel sağlık risklerinin önlenmesi açısından olumlu katkıları olacaktır.

**Yazar Katkıları:** Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan etmişlerdir.

**Çıkar Çatışması:** Yazarlar makale için gerçek, potansiyel veya algılanan çıkar çatışması olmadığını beyan etmişlerdir.

**Proje Destek Bilgileri:** Bu çalışmada herhangi bir kurumdan finansal destek alınmamıştır.

**Teşekkür:** İstatistiksel analizlerin yapılmasına katkıda bulunan Sayın Doç. Dr. Memiş BOLACALI'ya teşekkürlerimizi sunarız.

**Sunum Bilgileri:** Araştırma verileri herhangi bir bilimsel etkinlikte sözlü veya poster bildiri olarak sunulmamıştır.



## KAYNAKLAR

- Agah, H., Leermakers, M., Elskens, M., Fatemi, S. M. R., & Baeyens, W. (2009). Accumulation of trace metals in the muscle and liver tissues of five fish species from the Persian Gulf. *Environmental Monitoring and Assessment*, 157, 499-514. <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0551-8>.
- Agency for Toxic Substance and Disease Registry (ATSDR) (2013). Priority List of Hazardous Substances that Will Be the Subject of Toxicological Profiles. p. 30333, Atlanta, Georgia, USA.
- Alves, R. N., Maulvault, A. L., Barbosa, V. L., Fernandez-Tejedor, M., Tediosi, A., Kotterman, M., ... & Marques, A. (2018). Oral bioaccessibility of toxic and essential elements in raw and cooked commercial seafood species available in European markets. *Food Chemistry*, 267, 15-27. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.11.045>.
- Antoine, J. M., Fung, L. A. H., & Grant, C. N. (2017). Assessment of the potential health risks associated with the aluminium, arsenic, cadmium and lead content in selected fruits and vegetables grown in Jamaica. *Toxicology Reports*, 4, 181-187.
- Arisekar, U., Shakila, R. J., Shalini, R., Jeyasekaran, G., Padmavathy, P., Hari, M. S., & Sudhan, C. (2022). Accumulation potential of heavy metals at different growth stages of Pacific white leg shrimp, *Penaeus vannamei* farmed along the Southeast coast of Peninsular India: A report on ecotoxicology and human health risk assessment. *Environmental Research*, 212, 113105.
- Aytekin, T., Kargın, D., Çoğun, H. Y., Temiz, Ö., Varkal, H. S., & Kargın, F. (2019). Accumulation and health risk assessment of heavy metals in tissues of the shrimp and fish species from the Yumurtalık coast of Iskenderun Gulf, Turkey. *Heliyon*, 5(8), e02131. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02131>.
- Canlı, M., & Atlı, 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(1), 129-136. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(02\)00194-X](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(02)00194-X).
- Copat, C., Arena, G., Fiore, M., Ledda, C., Fallico, R., Sciacca, S., & Ferrante, M. (2013). Heavy metals concentrations in fish and shellfish from eastern Mediterranean Sea: consumption advisories. *Food and Chemical Toxicology*, 53, 33-37. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2012.11.038>.
- Copat, C., Vinceti, M., D'Agati, M. G., Arena, G., Mauceri, V., Grasso, A., ... & Ferrante, M. (2014). Mercury and selenium intake by seafood from the Ionian Sea: A risk evaluation. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 100, 87-92. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2013.11.009>.
- Çiftçi, H., Çalışkan, Ç. E., & Öztürk, K. (2021). Bazı Balık Türlerinde İz ve Toksik Metal Düzeylerinin Belirlenmesi ve İnsan Sağlığı Riskinin Değerlendirilmesi. *Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences*, 7(2), 219-233. <https://doi.org/10.28979/jarnas.883611>.
- Dang, F., & Wang, W. X. (2012). Why mercury concentration increases with fish size? Biokinetic explanation. *Environmental Pollution*, 163, 192-198. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.12.026>.
- European Commission (EC). (2014). Commission Regulation (EU) No 488/2014 of 12 May 2014 amending Regulation (EC) No 1881/2006 as regards maximum levels of cadmium in foodstuffs (Text with EEA relevance). The Official Journal of the European Union.
- European Commission (EC). (2015). Commission Regulation (EU) 2015/1005 of 25 June 2015 amending Regulation (EC) No 1881/2006 as regards maximum levels of lead in certain foodstuffs (Text with EEA relevance). The Official Journal of the European Union.
- European Commission (EC). (2022). 2022/617 of 12 April 2022 amending Regulation (EC) No 1881/2006 as regards maximum levels of mercury in fish and salt (Text with EEA relevance). The Official Journal of the European Union.
- European Commission (EC). (2023). Commission Regulation (EU) 2023/915 of 25 April 2023 on maximum levels for certain contaminants in food and repealing Regulation (EC) No 1881/2006 (Text with EEA relevance). The Official Journal of the European Union.
- European Food Safety Authority (EFSA). (2010). Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM); Scientific Opinion on Lead in Food. *EFSA Journal*, 8(4):1570. [151 pp.]. doi:10.2903/j.efsa.2010.1570.
- European Food Safety Authority (EFSA). (2011). Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM); Scientific Opinion on tolerable weekly intake for cadmium. *EFSA Journal*, 9(2):1975. [19 pp.] doi:10.2903/j.efsa.2011.1975.
- European Food Safety Authority (EFSA). (2012a). EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM); Scientific Opinion on the risk for public health related to the presence of mercury and methylmercury in food. *EFSA Journal*, 10(12):2985. [241 pp.] doi:10.2903/j.efsa.2012.2985.
- European Food Safety Authority (EFSA). (2012b). EFSA Scientific Committee. Scientific panels and units in the absence of actual measured data. *EFSA Journal*, 2012; 10: 2579. doi: 10.2903/j.efsa.2012.2579.
- Ezemonye, L. I., Adebayo, P. O., Eruneku, A. A., Tongo, I., & Ogbomida, E. (2019). Potential health risk consequences of heavy metal concentrations in surface water, shrimp (*Macrobrachium macrobrachion*) and fish (*Brycinus longipinnis*) from Benin River, Nigeria. *Toxicology Reports*, 6, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2018.11.010>.
- Herliwati, H., Rahman, M., Hidayat, A. S., Amri, U., & Sumantri, I. (2022). The Occurrences of Heavy Metals in Water, Sediment and Wild Shrimps Caught from Barito Estuary, South Kalimantan, Indonesia. *HAYATI Journal of Biosciences*, 29(5), 643-647. <https://doi.org/10.4308/hjb.29.5.643-647>.
- Hong, Y. S., Kim, Y. M., & Lee, K. E. (2012). Methylmercury exposure and health effects. *Journal of Preventive Medicine and Public Health*, 45(6), 353. 10.3961/jpmp.2012.45.6.353.
- International Agency for Research on Cancer (IARC) (2022). Agents Classified by the IARC Monographs, Volumes 1–132/. <https://monographs.iarc.fr/agents-classified-by-the-iarc/>.
- Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA) (2018). Joint FAO/WHO food standards programmed codex committee on contaminants in foods. 12th Session Utrecht, The Netherlands, 12-16 March 2018, CF/12 INF/1, 1-169.

- Miri, M., Akbari, E., Amrane, A., Jafari, S. J., Eslami, H., Hoseinzadeh, E., ... & Taghavi, M. (2017). Health risk assessment of heavy metal intake due to fish consumption in the Sistan region, Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189, 1-10. <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6286-7>.
- Muhammad, S., & Ahmad, K. (2020). Heavy metal contamination in water and fish of the Hunza River and its tributaries in Gilgit–Baltistan: evaluation of potential risks and provenance. *Environmental Technology & Innovation*, 20, 101159. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101159>.
- Muhammad, S., Ullah, R., & Jadoon, I. A. (2019). Heavy metals contamination in soil and food and their evaluation for risk assessment in the Zhob and Loralai valleys, Baluchistan province, Pakistan. *Microchemical Journal*, 149, 103971. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2019.103971>.
- Nabavi, S. F., Nabavi, S. M., Latifi, A. M., Eslami, S., & Ebrahimzadeh, M. A. (2012). Determination of trace elements level of pikeperch collected from the Caspian Sea. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 88, 401-405. <https://doi.org/10.1007/s00128-011-0513-7>.
- Nirmal, N. P., Santivarangkna, C., Rajput, M. S., & Benjakul, S. (2020). Trends in shrimp processing waste utilization: An industrial prospective. *Trends in Food Science & Technology*, 103, 20-35. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.07.001>.
- Omeragic, E., Marjanovic, A., Djedjibegovic, J., Turalic, A., Causevic, A., Niksic, H., ... & Sober, M. (2020). Arsenic, cadmium, mercury, and lead in date mussels from the Sarajevo fish market (Bosnia and Herzegovina): a preliminary study on the health risks. *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences*, 44(2), 435-442. <https://doi.org/10.3906/vet-1908-13>.
- Sabir, M. A., Muhammad, S., Umar, M., Farooq, M., & Fardiullah, N. A. (2017). Water quality assessment for drinking and irrigation purposes in upper Indus basin, northern Pakistan. *Fresenius Environ Bull*, 26(6), 4180-4186.
- Solgi, E., Alipour, H., & Majnooni, F. (2019). Investigation of the concentration of metals in two economically important fish species from the Caspian Sea and assessment of potential risk to human health. *Ocean Science Journal*, 54, 503-514. <https://doi.org/10.1007/s12601-019-0024-8>.
- Sultana, S., Hossain, M. B., Choudhury, T. R., Yu, J., Rana, M. S., Noman, M. A., ... & Arai, T. (2022). Ecological and Human Health Risk Assessment of Heavy Metals in Cultured Shrimp and Aquaculture Sludge. *Toxics*, 10(4), 175. <https://doi.org/10.3390/toxics10040175>.
- Tarimsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü (TEPGE). (2022). Ürün Raporu, Su Ürünleri. TEPGE YAYIN NO: 355, Ankara.
- Tokatlı, C., Ustaoglu, F. (2021). Meriç delta balıklarında toksik metal birikimlerinin değerlendirilmesi: muhtemel insan sağlığı riskleri. *Acta Aquatica Turcica*, 17(1), 136-145. <https://doi.org/10.22392/actaqua.769656>.
- Traina, A., Bono, G., Bonsignore, M., Falco, F., Giuga, M., Quinci, E. M., ... & Sprovieri, M. (2019). Heavy metals concentrations in some commercially key species from Sicilian coasts (Mediterranean Sea): Potential human health risk estimation. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 168, 466-478. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.10.056>.
- Türk Gıda Kodeksi (TGK). (2011). Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Yönetmeliği. RG 29 Aralık 2011, 28157 (3. Mükerrer). Ankara.
- United State Environmental Protection Agency (USEPA). (1989). Risk Assessment Guidance for Superfund. Volume I: Human Health Evaluation Manual (Part A) (p. 205). Interim Final. Office of Emergency and Remedial Response. EPA/540/1-89/002.
- United State Environmental Protection Agency (USEPA). (1991). Human health evaluation manual, supplemental guidance: "standard default exposure factors". OSWER Directive. 1991/9285:6-03.
- United State Environmental Protection Agency (USEPA). (2000). Guidance for assessing chemical contaminant data for use in fish advisories, Volume 2: Risk assessment and fish consumption limits. (EPA 823-B-00-008). Third edition. United States Environmental Protection Agency, Washington, DC. November 2000.
- United State Environmental Protection Agency (USEPA). (2007). "Method 3051A (SW-846): Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Oils," Revision 1. Washington, DC.
- United State Environmental Protection Agency (USEPA). (2011). Exposure Factors Handbook: 2011 Edition. National Center for Environmental Assessment, Washington, DC; EPA/600/R-09/052F. Available from the National Technical Information Service, Springfield, VA, and online at <http://www.epa.gov/ncea/efh>.
- United State Environmental Protection Agency (USEPA). (2016). Aquatic Life Ambient Water Quality Criteria. EPA-820-R-16-002, Office of Water, Washington DC, USA.
- United State Environmental Protection Agency (USEPA). (2021). Integrated Risk Information System. Regional Fish Consumption Screening Levels. <https://www.epa.gov/risk/regional-fish-consumption-screening-levels-spring-2021>.
- United State Environmental Protection Agency (USEPA). (2023a). Regional Screening Level (RSL) Summary Table (TR=1E-06, HQ=1) May 2023. [Erişim tarihi: 15.05.2023].
- United State Environmental Protection Agency (USEPA). (2023b). Regional screening levels (RSLs)—equations May 2023. <https://www.epa.gov/risk/regional-screening-levels-rsls-equations#fish>. [Erişim tarihi: 15.05.2023].
- Varol, M., Sünbül, M. R. (2020). Macroelements and toxic trace elements in muscle and liver of fish species from the largest three reservoirs in Turkey and human risk assessment based on the worst-case scenarios. *Environmental Research*, 184, 109298. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109298>
- Varol, M., Kaçar, E. (2023). Bioaccumulation of metals in various tissues of fish species in relation to fish size and gender and health risk assessment. *Current Pollution Reports*, 1-11. <https://doi.org/10.1007/s40726-023-00263-w>.
- Yildirim, Y., Gonulalan, Z., Narin, I., & Soylak, M. (2009). Evaluation of trace heavy metal levels of some fish species sold at retail in Kayseri, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 149, 223-228. <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0196-7>
- Yipel, M., Tekeli, İO (2022). Essential and non-essential metal concentrations in shrimps from Iskenderun bay, Türkiye. *Harran Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 11(2), 257-262. <https://doi.org/10.31196/huvfd.1197900>.
- Yu, B., Wang, X., Dong, K. F., Xiao, G., & Ma, D. (2020). Heavy metal concentrations in aquatic organisms (fishes, shrimp and crabs) and health risk assessment in China. *Marine Pollution Bulletin*, 159, 111505. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111505>.