



The Assessment of the Accumulation and Consumption Hazard of Five Heavy Metals in Eleven Species of Fish in Persian Gulf Waters (Bandar Mahshahr, Khuzestan Province)

ARTICLE INFO

Article Type

Original Research

Authors

Norouzi M.¹ PhD,
Bagheri Tavani M.^{*2} MS

How to cite this article

Norouzi M, Bagheri Tavani M. The Assessment of the Accumulation and Consumption Hazard of Five Heavy Metals in Eleven Species of Fish in Persian Gulf Waters (Bandar Mahshahr, Khuzestan Province). Journal of Fisheries Science and Technology. 2018;7(4):263-270.

ABSTRACT

Aims The goal of this study was to determine the absorption of five toxic heavy metals (Lead, Cadmium, Mercury, Chromium, and Arsenic) in muscle tissues of eleven species of fish in the waters of Khuzestan province- Bandar Mahshahr.

Material and Methods For this purpose, 66 fishes, with the typical market weight were randomly selected. After performing biometrics assessment on samples, the muscle tissue was removed. The amount of estimated daily intake (EDI), estimated weekly intake (EWI), maximum allowable consumption limit (Crlim), maximum allowable meals consumed (CRmm) in children and adults and the hazard quotient of the consumption of these fishes with regard to non-cancerous diseases (THQ) for 11 species were calculated.

Findings The concentration of metals was lower in comparison with the standards of MAF, NHMRC and WHO, but in some cases was higher than USEPA standard. The hazard quotient for non-cancerous diseases for all eleven species was less than one, and for lead, cadmium, mercury, chromium, and arsenic, was calculated to be 0.018, 0.0237, .0428, 0.1146, and 0.0295, respectively. Also, the total hazard index (HI) in this research was obtained to be 0.221.

Conclusion The analysis of the accumulation and consumption hazard of five heavy metals in eleven species under study from the coastal waters of Khuzestan- Bandar Mahshahr shows that although the consumption of these fishes do not pose any hazard to consumers in connection with their health, however, with regard to the amount of their consumption by pregnant women and children considerations must be complied with.

Keywords Fish; Toxic (heavy) metals; Persian Gulf; Hazard index; Target Hazard Quotient (THQ)

CITATION LINKS

[1] Mercury bioaccumulation in some commercially valuable ... [2] Ingestion of microplastics by commercial fish ... [3] Seasonal differences in the trace metal and macrominerals ... [4] World Health Organization & International Programme on Chemical ... [5] Risk assessment to consumers from mercury in ... [6] Risk to consumers from mercury in croaker ... [7] Risk assessment of mercury due to consumption ... [8] Investigating a probable relationship between microplastics and potentially toxic ... [9] Heavy metals bioaccumulation in fish of Southern Iran and risk assessment of fish ... [10] Measurement and comparative of iron levels and Hazard Quotient (HQ) on muscle ... [11] Fish consumption limit for mercury ... [12] Heavy metal contamination and health risk ... [13] Morphological and biological characteristics of Southern Iranian fishes ... [14] Heavy metals accumulation in five commercially important fishes of Parangipettai, Southeast ... [15] Interspecific variation in heavy metal body concentrations in Hong Kong marine ... [16] Sampling of selected marine organisms and sample preparation for trace metal ... [17] Supplemental guidance for developing soil screening levels for superfund ... [18] EPA/823-B94-004: Guidance for assessing chemical contamination data for use in fish ... [19] EPA/600/R-09/052F: Exposure actors ... [20] Risk-based concentration table environmental protection ... [21] EPA-503/8-89-002: Assessing human health risks from chemically contaminated ... [22] Risks of consumption of contaminated seafood: The Quincy ... [23] Daily intake of TBT, Cu, Zn, Cd and As for fishermen in ... [24] The relationships between heavy metal (Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Zn) levels ... [25] Analysis of trace elements (Cu, Cd, and Zn) in the muscle, gill, and liver tissues of some fish ... [26] Spatial monitoring of heavy metals in the inland waters ... [27] Concentrations and health risk assessments of heavy metals ... [28] Bioaccumulation of copper and zinc in *Oreochromis mossambicus* ... [29] Fish Consumption Limit for Mercury ... [30] The state of world fisheries and ...

¹Marine Biology & Fisheries Sciences Department, Marine Biology Faculty, Tonekabon Branch, Islamic Azad University, Tonekabon, Iran
²Young Researchers & Elite Club, Tonekabon Branch, Islamic Azad University, Tonekabon, Iran

*Correspondence

Address: Islamic Azad University Complex, Vali Abad, 3 Kilometer of Chalous Road, Tonekabon, Iran.
Postal Code: 4684161167
Phone: +98 (11) 54271102
Fax: +98 (11) 54274409
mostafa.bagheri@toniau.ac.ir

Article History

Received: August 9, 2018
Accepted: September 25, 2018
ePublished: December 20, 2018

ارزیابی تجمع و ریسک خطر مصرف پنج فلز سنگین در یازده گونه ماهی در آب‌های خلیج فارس (استان خوزستان - بندر ماهشهر)

مهرنوش نوروزی PhD

گروه زیست‌شناسی دریا، دانشکده علوم زیستی، واحد تنکابن، دانشگاه آزاد اسلامی، تنکابن، ایران

مصطفی باقری‌توانی * MS

باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد تنکابن، دانشگاه آزاد اسلامی، تنکابن، ایران

چکیده

اهداف: پژوهش حاضر با هدف تعیین جذب پنج فلز سنگین سمی (سرب، کادمیوم، جیوه، کروم و آرسنیک) در بافت عضله یازده گونه ماهی در آب‌های خوزستان - بندر ماهشهر بود.

مواد و روش‌ها: به همین منظور، ۶۶ قطعه ماهی با وزن بازاری به‌طور تصادفی انتخاب شدند. پس از زیست‌سنجی نمونه‌ها، بافت عضله جداسازی شد. آماده‌سازی و هضم شیمیایی نمونه‌ها مطابق با دستورالعمل استاندارد و براساس میکروگرم بر گرم وزن تر محاسبه شد. میزان جذب روزانه (EDI) و هفتگی (EWI)، حد مجاز مصرف (Crlim)، وعده مجاز مصرف (CRmm) در کودکان و بزرگسالان و ریسک خطر مصرف این ماهیان نسبت به بیماری‌های غیرسرطانی (THQ) برای ۱۱ گونه محاسبه شد.

یافته‌ها: غلظت فلزات در مقایسه با استانداردهای MAFF، WHO و NHMRC پایین‌تر بود اما در برخی موارد از استاندارد USEPA بالاتر بود. احتمال ریسک خطرپذیری به بیماری‌های غیرسرطانی از هر یازده گونه کمتر از یک بود و در فلزات سرب، کادمیوم، جیوه، کروم و آرسنیک به‌ترتیب ۰/۰۱۸، ۰/۰۲۳۷، ۰/۰۴۲۸، ۰/۱۱۴۶ و ۰/۰۲۹۵ محاسبه شد. همچنین مقدار شاخص خطر کل (HI) در این مطالعه ۰/۲۲۱ به دست آمد.

نتیجه‌گیری: تجزیه و تحلیل تجمع و ریسک خطر مصرف پنج فلز سنگین در یازده گونه مورد بررسی در سواحل آب‌های خوزستان - بندر ماهشهر نشان می‌دهد که هرچند مصرف این ماهیان مخاطراتی از لحاظ سلامتی برای مصرف‌کننده به دنبال نخواهد داشت اما در مورد میزان مصرف آنها توسط زنان باردار و کودکان باید ملاحظات را رعایت نمود.

کلیدواژه‌ها: ماهی، فلزات سمی، خلیج فارس، شاخص خطر (THQ)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۵/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۷/۳

*نویسنده مسئول: mostafa.bagheri@toniau.ac.ir

مقدمه

آبزیان به‌دلیل داشتن مقادیر زیادی چربی غیراشباع و کلسترول کم، بالا بودن میزان هضم و جذب پروتئین؛ اهمیت زیادی در سفره غذایی دارند. با این وجود این آبزیان می‌توانند دارای میزان خطرناکی از بعضی فلزات باشند که ممکن است هم برای ماهی و هم برای افرادی که آنها را مصرف می‌کنند مخاطره‌آمیز باشد^[1]. رژیم غذایی، مسیر اصلی ورود فلزات سنگین به بدن است، از این رو خطر ارزیابی این عناصر برای انسان مهم است. از آنجایی که ماهی بخش مهمی از رژیم غذایی انسان را تشکیل می‌دهد، پایش فلزات سنگین و سمی برای متخصصان علوم تغذیه و پزشکان مهم است^[2, 3]. سازمان بهداشت جهانی (WHO) و کمیته کدکس آلیمنتراریوس مشترک سازمان خواربار جهانی (FAO/WHO) (CAC) سه فرآیند ارزیابی خطرهای احتمالی، مدیریت خطرهای احتمالی، ارتباط خطرهای احتمالی را به‌منظور سلامت، بهداشت و امنیت غذایی تصویب نمودند. فرق اساسی بین خطر و احتمال خطر در این است که خطر، عامل بیولوژیک، شیمیایی یا فیزیکی در

غذا یا وضعیتی از غذا است که به‌طور بالقوه دارای عامل مخاطره‌آمیز است. در مقابل احتمال خطر، برآورد احتمال و شدت اثرهای زیانبار برای سلامت افراد در معرض خطر قرارگرفته با غذای حاوی عامل مخاطره‌آمیز است^[4]. طی سال‌های گذشته، افزایش فعالیت‌های صنعتی و پالایشگاهی در سواحل خلیج فارس منجر به افزایش آلاینده‌های مختلف شده که بخش عمده‌ای از آنها وارد آب‌های خلیج فارس می‌شود. بندر ماهشهر از بزرگ‌ترین واحدهای صنعتی موجود در استان خوزستان است که تحت تاثیر طرح‌های توسعه‌ای، موقعیت نگران‌کننده‌ای از لحاظ میزان آلاینده‌ها پیدا نموده است.

مطالعات اندکی با هدف ارزیابی ریسک مصرف آبزیان خلیج فارس از جهت فلزات سنگین و ارزیابی میزان خطر احتمالی ناشی از مصرف روزانه ماهی با توجه غلظت فلزات تجمع‌یافته به بدن مصرف‌کنندگان انجام شده است. از جمله مطالعه ارزیابی خطر برخی فلزات سنگین روی ماهیان مختلف مانند شانک زرد باله^[5]، ماهی شوریده^[6]، ماهی حلوا سیاه (*Parastromateus niger*)، میگوی سفید هندی (*Fenneropenaeus indicus*)، میگوی پا سفید (*Lithopenaeus vannamei*) و خرچنگ دراز (*Astacus leptodactylus*)^[7] و تعدادی دیگر از ماهیان جنوب^[8-12] می‌توان اشاره کرد. با این وجود اطلاعات چندانی از میزان ورود سایر فلزات سنگین سمی به بدن مصرف‌کنندگان و ارزیابی میزان خطر احتمالی ناشی از مصرف روزانه گونه‌های مختلف ماهیان خلیج فارس با توجه غلظت فلزات تجمع‌یافته در آنها وجود ندارد. هدف پژوهش حاضر تعیین سطح فلزات سنگین سرب، کادمیوم، جیوه، کروم و آرسنیک در عضله یازده گونه ماهی تجاری مهم و در دسترس مردم بندر ماهشهر است. علت انتخاب این یازده گونه، به‌جز ارزش اقتصادی و بارارزپسندی مردم منطقه؛ نوع تغذیه و محل زندگی آن گونه نیز در نظر گرفته شد. به‌طوری که گونه‌ها شامل ماهی گوشت‌خوار ساحلی از جمله شوریده (*Otolithes ruber*)، شهری دم زرد (*Lethrinus crocineus*)، گیش گوشت‌پشت (*Alectis indicus*)، گوشت‌خوار کفزی ساحلی از جمله کفشک گرد (*Euryglossa orientalis*)، گوشت‌خوار کفزی از جمله ماهی زبان گاوی درشت‌پولک (*Cynoglossus arel*)، زمین کن خال باله زردباله (*Grammolites suppositus*)، شانک زردباله (*Acanthopagrus latus*)، هامور منقوط قرمز (*Epinephelus areolatus*)، هامور منقوط قهوه‌ای (*Epinephelus chlorostigma*)، سرخو مخطط زرد (*Lutjanus lemniscatus*) و همه‌چیزخوار ساحلی از جمله کفال پشت‌سبز (*Liza subviridis*) بود^[13].

هدف پژوهش حاضر، بررسی غلظت فلزات سنگین و سمی سرب، کادمیوم، جیوه، کروم و آرسنیک در بافت خوراکی عضله و مقایسه با استانداردهای جهانی نظیر آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (USEPA)، وزارت کشاورزی، شیلات و مواد غذایی آمریکا (MAFF)، سازمان ملی تحقیقات بهداشت و پزشکی استرالیا (NHMRC) و WHO بود. همچنین میزان جذب روزانه و هفتگی در کودکان و بزرگسالان و حد مجاز مصرف برای آنها مشخص شد. علاوه بر آن ریسک احتمال خطر مصرف این ماهی نسبت به بیماری‌های غیرسرطانی نیز محاسبه و با استانداردهای سازمان بهداشت جهانی مقایسه می‌شود. نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش قادر به ارزیابی ایمنی مصرف ماهیان صیدشده در آب‌های استان خوزستان است.

فلز در بافت عضله ماهی مورد مصرف (میکروگرم/گرم): MS_D = نرخ مصرف روزانه ماهی؛ (۳۲/۵۷ گرم در روز براساس استاندارد EPA)؛ MS_W = نرخ مصرف هفتگی ماهی؛ (۲۲۸ گرم در هفته براساس استاندارد EPA)

محاسبه حد و تعداد وعده مجاز مصرف ماهی: برای تعیین حد مجاز مصرف ماهی، از روش آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا EPA [18] که بر پایه میزان فلزات در بافت‌های خوراکی ماهی با استفاده از دوز مرجع (RfD) مطابق با فرمول ۴ استفاده شد که به وسیله آن می‌توان حد قابل قبول مصرف ماهی و محصولات شیلاتی را در یک دوره زمانی خاص به دست آورد. میزان دز مرجع برای فلزات سرب ۰/۰۰۳۵، کادمیوم ۰/۰۰۱ [19]؛ جیوه ۰/۰۰۰۱، کروم ۰/۰۰۵ [18]؛ آرسنیک ۰/۰۰۳ [17] در نظر گرفته شد:

فرمول (۴)

$$CR_{lim} = \frac{RfD \times BW}{C} \times 7$$

CR_{lim} = حد مجاز مصرف ماهی برحسب (کیلوگرم/روز)؛ BW = وزن بدن (بزرگسالان ۷۰ کیلوگرم، کودکان ۱۴/۵ کیلوگرم)؛ RfD = دوز مرجع (میکروگرم بر گرم وزن بدن در روز) همچنین به منظور محاسبه تعداد وعده‌های مجاز مصرف در ماه نیز از فرمول ۵ استفاده شد [17]:

فرمول (۵)

$$CR_{mm} = \frac{CR_{lim} \times Tap}{MS}$$

CR_{mm} = نرخ مجاز مصرف ماهی (وعده در ماه)؛ MS = مقدار در هر وعده (بزرگسالان ۲۲۷ گرم- کودکان ۱۱۴ گرم)؛ Tap = متوسط دوره زمانی (۴/۳ هفته در ماه)

محاسبه ریسک خطرپذیری- شاخص خطر (THQ): پتانسیل خطر عبارت است از نسبت غلظت عناصر به حداکثر غلظتی از آن عنصر که در بدن ایجاد مشکل نمی‌کند. برای محاسبه احتمال خطرپذیری افراد به بیماری‌های غیرسرطانی از فرمول ۶ ارایه شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا استفاده شد [20]. با این پیش فرض که میزان فلز وارد شده، برابر با میزان جذب شده در بدن است [21]؛ پخت و پز اثری را روی آلاینده‌ها ندارد [22]؛ مکانیزم این شاخص به این صورت است که اگر عدد حاصله بالاتر از یک باشد نشان دهنده بالابودن احتمال به بیماری‌های غیرسرطانی است. همچنین اگر عدد حاصله کمتر از یک باشد نشان دهنده آن است که مصرف آبی اثر مضر برای مصرف کنندگان ندارد:

فرمول (۶)

$$THQ = \frac{EF \times ED \times IR \times C}{BW \times RfD \times AT} \times 0.001$$

THQ = شاخص خطر؛ EF = فرکانس مواجهه (بسامد در معرض قرارگیری) ۳۶۵ روز در سال؛ ED = کل مدت زمان مواجهه (میزان در معرض قرارگیری) ۷۰ سال؛ IR = نرخ مصرف روزانه ماهی؛ (۳۲/۵ گرم در روز براساس استاندارد EPA)؛ AT = میانگین روزهای در معرض قرارگیری (روز ۲۵۵۰ = سال ۷۰ × روز ۳۶۵). شاخص خطر کل (HI) که از حاصل جمع خطرپذیری ۵ فلز طبق فرمول ۷ به دست می‌آید [23]:

فرمول (۷)

$$HI = \Sigma THQ = THQ_{Pb} + THQ_{Cd} + THQ_{Hg} + THQ_{Cr} + THQ_{As}$$

مواد و روش‌ها

نمونه‌گیری و روش آماده‌سازی هضم شیمیایی: بندر ماهشهر در جنوب استان خوزستان با طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۱۳ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۳۳ دقیقه واقع شده است. در این تحقیق یازده گونه ماهی تجاری و خوراکی شامل شهری دم‌زرد، کفال پشت‌سبز، کفشک گرد، ماهی زبان گاوی درشت‌پولک، زمین کن خال باله، شوریده، شانک زردباله، هامور منقوط قرمز، هامور منقوط قهوه‌ای، گیش گوژپشت، سرخو مخطط زرد از سواحل بندر ماهشهر به وسیله لنج‌های تور ترال توسط صیادان صید شد. شناسایی نمونه‌ها توسط کلید شناسایی انجام شد [13] و به ترتیب گونه‌ها از یک تا ۱۱ شماره‌گذاری و سپس در دمای ۲۰۰°C منجمد شدند. در مجموع تعداد ۶۶ قطعه ماهی صید و به صورت منجمد به آزمایشگاه تحقیقات شیلات منتقل شدند. روز قبل از شروع آزمایش، نمونه‌ها از فریزر به یخچال انتقال یافت تا فرآیند انجمادزدایی به آرامی صورت پذیرد. بعد از آن تمامی نمونه‌ها به خوبی با آب مقطر شست و شو داده شدند تا پوشش مخاطی جذب کننده فلزات از سطح بدن دفع شود. پس از گذشت زمان کافی برای خروج آب اضافه، تمامی نمونه‌ها زیست‌سنجی شدند. به منظور انجام عمل هضم شیمیایی پس از توزین ۱۰ گرم بافت عضله ماهیان و قراردادن در بالن حاوی ۵ میلی‌لیتر آب اکسیژنه و اسیدنیتریک (۶۵٪) با نسبت ۱ به ۳ به مدت ۵ ساعت در دمای حداکثر ۱۴۰°C در درون دستگاه Heater Digest قرار داده شدند. سپس محلول شفاف حاصل از هضم با کاغذ فیلتر واتمن شماره یک فیلتر و سپس محلول صاف شده با آب مقطر به حجم حدود ۵ سی‌سی رسانده شد و داخل تیوپ‌های هضم، جداگانه ریخته شد [14، 15]. برای اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین (سرب، کادمیوم، جیوه، کروم و آرسنیک) از دستگاه طیف‌سنجی اتمی پلاسما (ICP-AES) استفاده شد.

محاسبه جذب فلزات برحسب وزن تر: طبق مطالعات سازمان FAO حدود ۸۰٪ وزن ماهیان را رطوبت تشکیل می‌دهد. برای به دست آوردن فاکتور تصحیح تبدیل وزن خشک به وزن تر از فرمول ۱ استفاده شد که در این رابطه CF برابر ۰/۲ محاسبه شد و با ضرب نمودن فاکتور تصحیح در مقادیر فلزات مورد مطالعه در عضله ماهیان برحسب وزن تر به دست می‌آید [16]:

فرمول (۱)

$$CF = 1 - (100 / \text{میزان رطوبت عضله ماهی})$$

محاسبه جذب روزانه و هفتگی: به منظور مشخص نمودن میزان جذب آلاینده از طریق ماده غذایی به ازای هر کیلوگرم از وزن بدن در روز (EDI) و هفته (EWI) براساس روش پیشنهادی آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا با استفاده از فرمول‌های ۲ و ۳ محاسبه شد [17]:

فرمول (۲)

$$EDI = \frac{C \times MS_D}{BW}$$

فرمول (۳)

$$EWI = \frac{C \times MS_W}{BW}$$

EDI = میزان جذب روزانه فلزات از طریق مصرف ماهی (میکروگرم/گرم/وزن بدن/روز)؛ EWI = میزان جذب هفتگی فلزات از طریق مصرف ماهی (میکروگرم/گرم/وزن بدن/هفته)؛ C = غلظت

روش تجزیه و تحلیل داده‌ها: برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه و برای مقایسه بین میانگین‌ها از آزمون دانکن نرم‌افزار SPSS 20 در سطح اطمینان ۹۵٪ استفاده شد.

یافته‌ها

خلاصه نتایج آماری حاصل از زیست‌سنجی ماهیان نشان داد، نمونه‌ها از نظر طول و وزن با هم اختلاف معنی‌داری در سطح ۹۹٪ داشتند. به‌طوری که بیشترین وزن و طول مربوط به ماهی گیش گوژپشت و کمترین آن در کفشک گرد اندازه‌گیری شد (جدول ۱). میزان تجمع فلزات سنگین سرب، کادمیوم، جیوه، کروم و آرسنیک براساس میکروگرم بر گرم وزن تر در بافت عضله ماهیان مورد بررسی متفاوت بود (جدول ۲). براساس نتایج آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه، این تفاوت در تجمع فلزات سنگین در بافت عضله ماهیان از نظر آماری معنی‌دار بود ($p < 0.05$). به‌طوری که بیشترین و کمترین مقدار به‌ترتیب در مورد فلز سرب در ماهی کفال پشت‌سبز (۲۵/۰ میکروگرم بر گرم) و ماهی زبان گاوی درشت‌پولک (۰/۰۲۵ میکروگرم بر گرم)، فلز کادمیوم در ماهی هامور منقوط قرمز (۰/۰۵۷ میکروگرم بر گرم) و ماهی زمین کن خال بال (۰/۰۳۶ میکروگرم بر گرم)، فلز جیوه در ماهی هامور منقوط قرمز (۰/۰۰۵ میکروگرم بر گرم) و ماهی شوریده (۰/۰۳۹ میکروگرم بر

گرم)، فلز کروم در ماهی شانک زرد باله (۰/۹۵ میکروگرم بر گرم) و ماهی کفال پشت‌سبز (۰/۳۸ میکروگرم بر گرم)، فلز آرسنیک در ماهی هامور منقوط قرمز (۰/۴۲ میکروگرم بر گرم) و ماهی زمین کن خال بال (۰/۱۳ میکروگرم بر گرم) بود. به‌طور کلی میزان تجمع فلزات سنگین در بافت عضله ماهیان مورد بررسی به‌صورت کروم < سرب < آرسنیک < کادمیوم < جیوه بود (جدول ۲).

برای ارزیابی خطر انباشت فلزات و سرب، کادمیوم، جیوه، کروم و آرسنیک در عضله ماهیان مورد بررسی در این تحقیق، این مقادیر با استانداردهای بین‌المللی موجود در این زمینه مانند USEPA، WHO، NHMRC، MAFF مقایسه شد که نتیجه این مقایسه در جدول ۲ ذکر شده است. همچنین میزان استاندارد جذب هفتگی (PTWI) براساس کیلوگرم در ۷۰ کیلوگرم وزن بدن برای فلز سرب، ۲۵؛ کادمیوم، ۷؛ جیوه، ۵؛ کروم، ۳/۲۳ و آرسنیک ۱۵ به دست آمد. میزان شاخص خطر کل ۰/۲۲۱ محاسبه شد.

در جدول‌های ۳ تا ۷ میزان ریسک خطر، حد مجاز مصرف و تعداد مجاز وعده در ماه نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود حد مجاز مصرف فلزات سنگین پایین‌تر از استاندارد سازمان بهداشت جهانی بود. محاسبه شاخص خطر نشان داد که همگی مقادیر کمتر از یک دارند که نشان‌دهنده آن است که مصرف ماهیان مورد بررسی اثر مضر برای مصرف‌کنندگان ندارد.

جدول ۱) میانگین آماری و نتایج آزمون واریانس یک‌طرفه وزن و طول گونه‌های مختلف ماهیان

شماره ماهی	گونه ماهی	وزن (گرم)	طول کل (سانتی‌متر)
۱	شهری دم‌زرد	۸۹۰/۲۶±۲۰/۰۶ ^{c*}	۲۹/۶±۰/۴ ^f
۲	کفال پشت‌سبز	۵۸۰/۳۵±۵۰/۲۲ ^{ef}	۲۶/۸±۰/۶ ^{fg}
۳	کفشک گرد	۵۵۰±۱۶۴/۲۷ ^f	۲۹/۵±۳/۱۴ ^f
۴	زبان گاوی درشت‌پولک	۶۷۲/۵±۱۵۶/۸۴ ^{de}	۲۴/۴±۱/۴۵ ^g
۵	زمین کن خال بال	۶۱۶/۶±۵۴/۰۱ ^{ef}	۳۷/۶±۳/۱۱ ^{bc}
۶	شوریده	۶۶۶/۶±۳۸/۷۹ ^{de}	۳۰±۲/۳۸ ^{ef}
۷	شانک زرد باله	۶۳۳/۳±۴۵/۸۸ ^{ef}	۳۲/۹±۱/۵۵ ^{de}
۸	هامور منقوط قرمز	۷۶۴±۵۶/۹۵ ^d	۳۵/۳±۰/۲۸ ^{cd}
۹	هامور منقوط قهوه‌ای	۱۰۴۱/۶±۳۶/۸۵ ^b	۴۴/۶±۰/۲۸ ^a
۱۰	گیش گوژپشت	۱۲۰۳/۳±۳۲/۱۴ ^a	۴۷/۳±۰/۵۷ ^a
۱۱	سرخو مخطط زرد	۹۶۶/۶±۷/۶۳ ^{bc}	۳۹/۶±۰/۲۸ ^b
	سطح معنی‌داری	**	**

* متفاوت بودن حروف نشان از معنی‌دار بودن بین میانگین‌ها است.

** سطح معنی‌داری ۰/۰۱

جدول ۲) میزان جذب استانداردهای جهانی، میانگین آماری میزان جذب ۵ فلز (میکروگرم بر گرم وزن تر)

ماهی	سرب	کادمیوم	جیوه	کروم	آرسنیک
۱	۰/۰۰۳±۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۵±۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۸±۰/۰۰۰۲	۰/۰۷۹±۰/۰۱	۰/۰۰۷±۰/۰۰۱۵
۲	۰/۰۲۱±۰/۰۰۱	۰/۰۰۲۱±۰/۰۰۲۴	۰/۰۰۰۸±۰/۰۰۰۱	۰/۰۳۷±۰/۰۰۱۴	۰/۰۱۴±۰/۰۰۰۶
۳	۰/۰۰۲۸±۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۳±۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۸±۰/۰۰۰۱	۰/۰۵۱±۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۳±۰/۰۰۰۶
۴	۰/۰۰۲۷±۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۴±۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۹±۰/۰۰۰۱	۰/۰۴۶±۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۶±۰/۰۰۰۵
۵	۰/۰۰۳±۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۳±۰/۰	۰/۰۰۱±۰/۰۰۰۱	۰/۰۴۹±۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۱±۰/۰۰۰۳
۶	۰/۰۱۴±۰/۰۰۲۵	۰/۰۰۶±۰/۰۰۱۷	۰/۰۰۰۷±۰/۰۰۰۱	۰/۰۱۴±۰/۰۰۵۲	۰/۰۰۶±۰/۰۰۰۸
۷	۰/۰۱۶±۰/۰۰۱	۰/۰۰۸±۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۰۸±۰/۰۰۰۱	۰/۰۱۹±۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۷±۰/۰۰۰۶
۸	۰/۰۰۷±۰/۰۰۰۹	۰/۰۱۱±۰/۰۰۲۴	۰/۰۰۱±۰/۰۰۰۱	۰/۰۱۵±۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۸±۰/۰۰۰۵
۹	۰/۰۰۲±۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۴±۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۱±۰/۰۰۰۱	۰/۰۱۲±۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۲±۰/۰۰۰۳
۱۰	۰/۰۰۳±۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۷±۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۳±۰/۰۰۰۴	۰/۰۱۷±۰/۰۰۱۸	۰/۰۰۲±۰/۰۰۰۳
۱۱	۰/۰۰۳±۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۹±۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۳±۰/۰۰۰۰	۰/۰۱۸±۰/۰۰۱۷	۰/۰۰۱±۰/۰۰۰۴
USEPA	۰/۰۰۵	۰/۰۰۸	۰/۰۰۳	۰/۰۰۵	-
WHO	۰/۰۰۴	۰/۰۰۲	۰/۰۰۵	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲
MAFF	۱/۵-۲	۰/۰۰۵-۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	-	-
NHMRC	۱/۵	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	-	-

جدول ۳) محاسبات شاخص‌های ریسک خطر برای فلز سرب در گونه‌های مختلف ماهیان

ماهی	کودکان	بزرگسالان	ED1	کودکان	بزرگسالان	EWI	کودکان	بزرگسالان	Crlim	کودکان	بزرگسالان	CRmm	THQ
۱	۰/۰۰۷	۰/۰۰۱	۰/۰۵۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۵۱	۰/۰۰۱	۱۵/۶۱۹	۷۵/۴۰۵	۰/۵۸۹	۱/۴۲۸	۰/۰۰۴۳
۲	۰/۰۴۷	۰/۰۰۹	۰/۳۳۲	۰/۰۶۸	۰/۰۰۵	۰/۰۶۸	۰/۳۳۲	۰/۰۰۹	۲/۴۰۵	۱۱/۶۱۱	۰/۰۰۹	۰/۲۱۹	۰/۰۰۲۸
۳	۰/۰۰۶۴	۰/۰۰۱۳	۰/۰۴۵	۰/۰۰۹	۰/۱۹۳	۰/۰۰۹	۰/۰۴۵	۰/۰۰۱۳	۱۹/۱۹۳	۹۲/۶۶	۰/۷۲۳	۱/۷۵	۰/۰۰۰۳
۴	۰/۰۰۶	۰/۰۰۱۲	۰/۰۴۲	۰/۰۰۸	۱۹/۴۳۱	۰/۰۰۸	۰/۰۴۲	۰/۰۰۱۲	۱۹/۴۳۱	۹۳/۸۰۷	۰/۷۳۲	۱/۷۷۶	۰/۰۰۰۳۵
۵	۰/۰۰۶	۰/۰۰۱۴	۰/۰۴۸	۰/۰۰۹	۱۶/۸۴۴	۰/۰۰۹	۰/۰۴۸	۰/۰۰۱۴	۱۶/۸۴۴	۸۱/۳۱	۰/۶۳۵	۱/۵۴۰	۰/۰۰۰۴
۶	۰/۰۳۳	۰/۰۰۶۹	۰/۲۳۳	۰/۰۴۸	۳/۴۸۹	۰/۰۴۸	۰/۲۳۳	۰/۰۰۶۹	۱۶/۸۴۴	۱۶/۸۴۴	۰/۱۳۱	۰/۳۱۹	۰/۰۰۱۹
۷	۰/۰۳۶۹	۰/۰۰۷۶	۰/۲۵۸	۰/۰۵۳	۰/۲۸۳	۰/۰۵۳	۰/۲۵۸	۰/۰۰۷۶	۱۴/۹۶۱	۱۴/۹۶۱	۰/۱۱۶	۰/۲۸۳	۰/۰۰۲۱
۸	۰/۰۱۷	۰/۰۰۳۵	۰/۱۱۲	۰/۰۲۴	۱۷/۸۰۷	۰/۰۲۴	۰/۱۱۲	۰/۰۰۳۵	۸۵/۹۶	۸۵/۹۶	۰/۶۷۱	۱/۶۲۸	۰/۰۰۱
۹	۰/۰۰۶	۰/۰۰۱۲	۰/۰۴۲	۰/۰۰۸	۱۸/۹۹	۰/۰۰۸	۰/۰۴۲	۰/۰۰۱۲	۹۱/۶۷۹	۹۱/۶۷۹	۰/۷۱۶	۱/۷۳۶	۰/۰۰۰۳
۱۰	۰/۰۰۷	۰/۰۰۱۵	۰/۰۵۱	۰/۰۱۰۶	۱۵/۶۱۹	۰/۰۱۰۶	۰/۰۵۱	۰/۰۰۱۵	۷۵/۴۰۳	۷۵/۴۰۳	۰/۵۸۹	۱/۴۲۸	۰/۰۰۰۴۳
۱۱	۰/۰۰۸	۰/۰۰۱۶	۰/۰۵۶	۰/۰۱۱۶	۱۴/۳۳	۰/۰۱۱۶	۰/۰۵۶	۰/۰۰۱۶	۶۹/۲۱۳	۶۹/۲۱۳	۰/۵۴۰	۱/۳۱۱	۰/۰۰۰۴۷
											۰/۰۰۸		ΣTHQ

واحد(ها): ED1: میکروگرم بر گرم در روز; EWI: میکروگرم بر گرم در هفته; Crlim: کیلوگرم در روز; CRmm: وعده در ماه

جدول ۴) محاسبات شاخص‌های ریسک خطر برای فلز کادمیوم در گونه‌های مختلف ماهیان

ماهی	کودکان	بزرگسالان	ED1	کودکان	بزرگسالان	EWI	کودکان	بزرگسالان	Crlim	کودکان	بزرگسالان	CRmm	THQ
۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۷۸	۰/۰۰۱۶	۲۹/۸۰۵	۱۴۳/۸۸۸	۱/۱۲۴	۲/۷۲۵	۰/۰۰۰۲				
۲	۰/۰۰۴۷	۰/۰۰۰۹	۰/۰۳۳۵	۰/۰۰۶۹	۱۵/۰۶۳	۷۲/۷۲۲	۰/۵۶۸	۱/۳۷۷	۰/۰۰۰۹				
۳	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۴۷	۰/۰۰۰۹	۵۲/۳۶۱	۲۵۲/۷۷	۱/۹۷۵	۴/۷۸۸	۰/۰۰۰۱				
۴	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۶۲	۰/۰۰۱۳	۳۷/۸۶۱	۱۸۲/۷۷	۱/۴۲۸	۳/۴۶۲	۰/۰۰۰۱				
۵	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۵	۰/۰۰۱	۴۶/۰۹۲	۲۲/۵۱۴	۱/۷۳۸	۴/۲۱۵	۰/۰۰۰۱				
۶	۰/۰۱۴۳	۰/۰۰۲۹	۰/۱	۰/۰۰۰۸	۲/۳۸۷	۱۱/۵۲۴	۰/۰۰۹	۰/۲۱۸	۰/۰۰۲۹				
۷	۰/۰۱۸۸	۰/۰۰۳۹	۰/۱۳۲	۰/۰۰۲۳	۱/۷۶۳	۸/۵۱۲	۰/۰۶۶	۰/۱۶۱	۰/۰۰۳۹				
۸	۰/۰۲۵۷	۰/۰۰۵۳	۰/۱۸۰	۰/۰۰۳۷۳	۱/۳۰۲	۶/۲۸۶	۰/۰۴۹	۰/۱۱۹	۰/۰۰۵۳				
۹	۰/۰۱۰۴	۰/۰۰۲۱	۰/۰۷۳۳	۰/۰۱۵۲	۳/۲۲۸	۱۵/۵۸۴	۰/۱۲۱	۰/۲۹۵	۰/۰۰۲۱				
۱۰	۰/۰۱۵۷	۰/۰۰۳۲	۰/۱۱	۰/۰۰۲۲	۲/۱۰۰	۱۰/۱۳۸	۰/۰۷۹	۰/۱۹۲	۰/۰۰۳۲				
۱۱	۰/۰۲۱۴	۰/۰۰۴۴	۰/۱۴۹	۰/۰۰۳۱۰	۱/۵۲۳	۷/۳۵۶	۰/۰۵۷	۰/۱۳۹	۰/۰۰۴۴				
							۰/۰۲۳۷						ΣTHQ

واحد(ها): ED1 : میکروگرم بر گرم در روز; EWI: میکروگرم بر گرم در هفته; Crlim: کیلوگرم در روز; CRmm: وعده در ماه

جدول ۵) محاسبات شاخص‌های ریسک خطر برای فلز جیوه در گونه‌های مختلف ماهیان

ماهی	کودکان	بزرگسالان	ED1	کودکان	بزرگسالان	EWI	کودکان	بزرگسالان	Crlim	کودکان	بزرگسالان	CRmm	THQ
۱	۰/۰۰۱۷۹	۰/۰۰۰۳	۰/۰۱۲۵	۰/۰۰۲۶	۱/۸۹۳	۹/۱۳۸	۰/۰۷۱	۰/۱۷۳	۰/۰۰۳۷				
۲	۰/۰۰۱۸۴	۰/۰۰۰۳۸	۰/۰۱۲۸	۰/۰۰۲۷	۱/۸۲۷	۸/۸۲۴	۰/۰۸	۰/۱۶۷	۰/۰۰۳۸				
۳	۰/۰۰۱۹۱	۰/۰۰۰۳۹	۰/۰۱۳۴	۰/۰۰۲۷	۱/۷۲۳	۸/۳۲۰	۰/۰۶۵	۰/۱۵۷	۰/۰۰۳۹				
۴	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۴۳	۰/۰۱۴۶	۰/۰۰۳	۱/۵۷۰	۷/۵۸۳	۰/۰۵۹۲	۰/۱۴۳	۰/۰۰۴۳				
۵	۰/۰۰۲۳	۰/۰۰۰۴۹	۰/۰۱۶۷	۰/۰۰۳۴	۱/۳۶۹	۶/۶۱۱	۰/۰۵۱۶	۰/۱۲۵	۰/۰۰۴۹				
۶	۰/۰۰۱۷۳	۰/۰۰۰۳۶	۰/۰۱۲۱	۰/۰۰۲۵	۱/۹۱۱	۹/۲۲۹	۰/۰۷۲۱	۰/۱۷۴	۰/۰۰۳۵				
۷	۰/۰۰۱۸۵	۰/۰۰۰۳۸	۰/۰۱۲۹	۰/۰۰۲۶	۱/۷۸۳	۸/۶۰۹	۰/۰۶۷۲	۰/۱۶۳	۰/۰۰۳۸				
۸	۰/۰۰۲۴	۰/۰۰۰۵۱	۰/۰۱۷۲	۰/۰۰۳۵	۱/۳۲۵	۶/۳۹۸	۰/۰۴۹۹	۰/۱۲۱	۰/۰۰۵۱				
۹	۰/۰۰۳۱	۰/۰۰۰۶۵	۰/۰۲۲	۰/۰۰۵۵۶	۱/۰۹۷	۵/۲۹۶	۰/۰۴۱۳	۰/۱	۰/۰۰۶۵				
۱۰	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۱۶	۰/۰۰۵۴	۰/۰۰۱۱	۴/۲۴۱	۲۰/۴۷۳	۰/۱۵۹	۰/۳۸۷	۰/۰۰۱۶				
۱۱	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۱۴	۰/۰۰۴۷	۰/۰۰۰۹	۵/۰۱۲	۲۴/۱۹۵	۰/۱۸۹	۰/۴۵۸	۰/۰۰۱۳				
							۰/۰۴۲۸						ΣTHQ

واحد(ها): ED1: میکروگرم بر گرم در روز; EWI: میکروگرم بر گرم در هفته; Crlim: کیلوگرم در روز; CRmm: وعده در ماه

جدول ۶) محاسبات شاخص‌های ریسک خطر برای فلز کروم در گونه‌های مختلف ماهیان

ماهی	کودکان	بزرگسالان	ED1	کودکان	بزرگسالان	EWI	کودکان	بزرگسالان	Crlim	کودکان	بزرگسالان	CRmm	THQ
۱	۰/۱۷۸	۰/۰۳۷	۱/۲۵۱	۰/۲۵۹	۰/۹۲۰	۴/۴۴۳	۰/۳۴۷	۰/۸۴	۰/۰۷۴	۰/۰۰۷۴	۰/۰۰۷۴	۰/۰۸۴	۰/۰۰۷۴
۲	۰/۰۸۴	۰/۰۱۷۴	۰/۵۸۸	۰/۱۲۱	۱/۹۴۰	۹/۳۶۷	۰/۰۷۳	۰/۱۷۷	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳۴	۰/۱۷۷	۰/۰۰۳۴
۳	۰/۱۱۵	۰/۰۲۳۸	۰/۸۰۷	۰/۱۶۷	۱/۴۳۵	۶/۹۲۹	۰/۰۵۴	۰/۱۳۱	۰/۰۰۴۷	۰/۰۰۴۷	۰/۰۰۴۷	۰/۱۳۱	۰/۰۰۴۷
۴	۰/۱۰۵	۰/۰۲۱۷	۰/۷۳۵	۰/۱۵۲	۱/۵۸۱	۷/۶۳۳	۰/۰۵۹	۰/۱۴۴	۰/۰۰۴۳	۰/۰۰۴۳	۰/۰۰۴۳	۰/۱۴۴	۰/۰۰۴۳
۵	۰/۱۱۲	۰/۰۲۳۲	۰/۷۸۴	۰/۱۶۲	۱/۴۶۰	۷/۰۴۸	۰/۰۵۵	۰/۱۳۳	۰/۰۰۴۶	۰/۰۰۴۶	۰/۰۰۴۶	۰/۱۳۳	۰/۰۰۴۶
۶	۰/۳۲۷	۰/۰۶۷۹	۲/۲۹۵	۰/۴۷۵	۰/۴۹۷	۲/۳۹۹	۰/۱۸۷	۰/۴۵	۰/۰۱۳۵	۰/۰۱۳۵	۰/۰۱۳۵	۰/۴۵	۰/۰۱۳۵
۷	۰/۴۲۸	۰/۰۸۸۷	۲/۹۹۸	۰/۶۲۱	۰/۳۸	۱/۸۳۸	۰/۱۴۳	۰/۳۴	۰/۰۱۷۷	۰/۰۱۷۷	۰/۰۱۷۷	۰/۳۴	۰/۰۱۷۷
۸	۰/۳۵۰	۰/۰۷۲۵	۲/۴۵۲	۰/۵۰۸	۰/۴۶۷	۲/۲۵۸	۰/۱۷۶	۰/۴۲۷	۰/۰۱۴۵	۰/۰۱۴۵	۰/۰۱۴۵	۰/۴۲۷	۰/۰۱۴۵
۹	۰/۲۶۹	۰/۰۵۵۸	۱/۸۸۶	۰/۳۹۰	۰/۶۱۵	۲/۹۷۲	۰/۲۳۳	۰/۵۶	۰/۰۱۱۱	۰/۰۱۱۱	۰/۰۱۱۱	۰/۵۶	۰/۰۱۱۱
۱۰	۰/۳۹۰	۰/۰۸	۲/۷۳۶	۰/۵۶۶	۰/۴۱۹	۲/۰۲۷	۰/۱۵۸	۰/۰۳۸	۰/۰۱۶۱	۰/۰۱۶۱	۰/۰۱۶۱	۰/۰۳۸	۰/۰۱۶۱
۱۱	۰/۴۰۵	۰/۰۸۴	۲/۸۴۰	۰/۵۸۸	۰/۴۰۳	۱/۹۴۸	۰/۱۵۲	۰/۰۳۶	۰/۰۱۶۸	۰/۰۱۶۸	۰/۰۱۶۸	۰/۰۳۶	۰/۰۱۶۸
							۰/۱۱۴۶						ΣTHQ

واحد(ها): ED1: میکروگرم بر گرم در روز; EWI: میکروگرم بر گرم در هفته; Crlim: کیلوگرم در روز; CRmm: وعده در ماه

ماهی	کودکان	بزرگسالان	EDI	کودکان	بزرگسالان	EWI	کودکان	بزرگسالان	Crlim	کودکان	بزرگسالان	CRmm	بزرگسالان	THQ
۱	۰/۰۱۶۱	۰/۰۰۳۳	۰/۱۱۳۲	۰/۰۲۳۴	۰/۰۰۳۴	۰/۱۱۳۲	۰/۰۲۳۴	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۱
۲	۰/۰۳۲۲	۰/۰۰۶۸	۰/۰۲۵۹	۰/۰۴۶۷	۰/۰۰۳۴	۰/۰۲۵۹	۰/۰۴۶۷	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۲۲
۳	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۱۶۷	۰/۰۰۵۶۶	۰/۰۰۱۱۷	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۵۶۶	۰/۰۰۱۱۷	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۰۰۵
۴	۰/۰۰۱۳۶	۰/۰۰۰۲۸	۰/۰۰۹۵	۰/۰۰۱۹۷	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۹۵	۰/۰۰۱۹۷	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۰۰۹
۵	۰/۰۰۰۲۳	۰/۰۰۰۰۴	۰/۰۰۱۶۷	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۱۶۷	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۰۰۱
۶	۰/۰۰۱۵۱	۰/۰۰۰۳۱	۰/۰۰۵۸	۰/۰۰۲۱۹	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۵۸	۰/۰۰۲۱۹	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۰۱
۷	۰/۰۰۱۶۱	۰/۰۰۰۳۳	۰/۰۰۱۱۳	۰/۰۰۲۳۴	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۱۱۳	۰/۰۰۲۳۴	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۰۱۱
۸	۰/۰۰۱۸۸	۰/۰۰۰۳۹	۰/۰۰۱۳۲	۰/۰۰۲۷۳	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۱۳۲	۰/۰۰۲۷۳	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۰۱۳
۹	۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۳۵۶	۰/۰۰۰۷۳	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳۵۶	۰/۰۰۰۷۳	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۰۰۳
۱۰	۰/۰۰۰۰۶	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۴۲۹	۰/۰۰۰۸۹	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۴۲۹	۰/۰۰۰۸۹	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۰۰۴۲
۱۱	۰/۰۰۰۰۴	۰/۰۰۰۰۸	۰/۰۰۲۸۳	۰/۰۰۰۵۸	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۲۸۳	۰/۰۰۰۵۸	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۰۰۲۷
ΣTHQ	۰/۰۲۹۵													

واحدها) EDI: میکروگرم بر گرم در روز؛ EWI: میکروگرم بر گرم در هفته؛ Crlim: کیلوگرم در روز؛ CRmm: وعده در ماه

بحث

هامور منقوط قهوه‌ای، گیش گوشت و سرخو مخطط زرد بالاتر بود. بنابراین با توجه به خطرهای احتمالی سمیت فلزات فوق، مصرف این ماهیان برای کودکان و زنان باردار باید با نظارت بیشتری صورت گیرد.

نتایج بررسی حاضر نشان داد، میزان تجمع فلزات سنگین مورد بررسی در بافت عضله ماهیان با یکدیگر متفاوت بود. به‌طوری که بالاترین غلظت فلزی در بافت عضله برای کروم و کمترین آن برای فلز جیوه به دست آمد. معمولاً غلظت فلزات بسته به گونه ماهی متفاوت است که علت آن تفاوت در میزان حرکت و جنب‌وجوش، جیره غذایی و دیگر رفتارها است. عادات تغذیه‌ای و جیره غذایی گوشت‌خواری و همچنین قرارگرفتن این ماهیان در انتهای زنجیره غذایی نیز عامل دیگری برای افزایش تجمع برخی فلزات سنگین است. فعالیت اقتصادی و توسعه بندر ماهشهر، استخراج نفت و گاز و فعالیت‌های وابسته به آن، کشتیرانی، کشت محصولات کشاورزی است. پتروشیمی بندر امام و پتروشیمی اروند نیز در منطقه ویژه اقتصادی ماهشهر قرار دارد. این موارد سواحل استان خوزستان را به یکی از آلوده‌ترین استان‌های کشور تبدیل کرده است. از طرفی دیگر، ماهی به‌عنوان یک منبع ارزشمند در سبد غذایی مردم عادی و جوامع صیادی این استان است. هرچند که آمار دقیقی از سرانه مصرف ماهی در این استان وجود ندارد.

ماهیان مورد بررسی از طیف تغذیه‌ای همه‌چیزخوار تا گوشت‌خوار هستند، بنابراین می‌توانند در معرض میزان بالایی از این فلزات باشند. اگرچه مقادیر کمی از فلزات در عضله ماهی انباشته می‌شوند که علت آن سطوح پایین پروتئین‌های متصل به آن بیان شده است [27]. وضعیت فیزیولوژیک ماهی می‌تواند بر انباشت زیستی هر فلز موثر باشد [28] و میزان تجمع فلزات مختلف در بافت‌ها به نقش فیزیولوژیک آنها نیز بستگی دارد [14]. با وجود این که عضلات اولین مکان برای انتقال زیستی و انباشت فلزات نیستند، اما از آنجایی که در زیستگاه‌های آبی آلوده غلظت فلزات در عضلات ماهی ممکن است از محدوده مجاز برای مصرف انسان تجاوز کند بنابراین ممکن است تهدیدی بسیار جدی برای سلامتی باشند. فلزات سنگین سرب، کادمیوم، جیوه، آرسنیک و کروم متعلق به گروه فلزات غیرضروری و سمی هستند و هیچ عملکرد شناخته‌شده‌ای در فرایندهای بیوشیمیایی ندارند و این فلزات دارای پتانسیل بالا برای تغلیظ زیستی و انباشت در اندام‌های گوناگون ماهی هستند. باید توجه داشت که مصرف ماهی تنها مسیر ورود فلزات سنگین به بدن نیست و مصرف غذاهای حاوی

به‌طور معمول عضله آبیان از مهم‌ترین بافت‌هایی است که در آن غلظت فلزات سنگین اندازه‌گیری می‌شود، زیرا این بخش خوراکی است و سلامت انسان را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد. مسیر ورود فلزات سنگین به بدن انسان متفاوت است، ولی خوردن ماهی آلوده یکی از راه‌های ورود فلزات سنگین به بدن است. از این رو، در این پژوهش بافت عضله به‌عنوان عضو خوراکی در تغذیه انسان مورد بررسی قرار گرفت. از آنجایی که در این مطالعه، نمونه‌ها از میان ماهیان با وزن‌های بارازپسند که مصرف خوراکی دارند انجام شد، بنابراین ارتباط بین شاخص طول و وزن با میزان تجمع فلزات در گونه‌ها مورد توجه قرار نگرفت. نهادهای نظارتی در سراسر جهان، به‌علت توانایی سمیت فلزات سنگین، حدود قابل قبولی از این آلاینده‌ها را در برخی از مواد غذایی مانند ماهی مشخص کرده‌اند. نتایج مطالعات متعددی نشان داده است که میانگین غلظت فلزات ضروری و غیرضروری در ماهیان متفاوت است [24]. همچنین انباشت فلزات سنگین در بافت و ارتباط آن با عوامل رشد در ماهیان تأثیر عوامل مختلفی از جمله طول، وزن و جنس آبی، وضعیت فیزیولوژیکی آبی، متابولیسم و فعالیت‌های تنظیمی هوموئاستازی بدن، روند رشد، غلظت و زمان ماندگاری فلزات در آب، فعالیت متابولیک، زمان در معرض قرارگیری و عوامل محیطی (شوری، pH و درجه حرارت) قرار دارد [25]. عملکرد ویژه فلز در بافت مورد نظر، روابط متقابل عوامل بیوشیمیایی بافت مورد نظر با عوامل زیستی، تأثیر افزایش رشد بافت (خاصیت رقیق‌کنندگی غلظت فلزها) و نرخ متابولیسمی گونه مورد نظر، نیمه‌عمر فلزها و دسترسی به فلز در زیستگاه بستگی دارد [26].

مقایسه سطوح فلزات اندازه‌گیری شده در عضله ماهیان مورد بررسی حاضر با حداکثر محدوده مجاز پیشنهاد شده برای مصرف انسان با استانداردهای جهانی در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج به‌دست‌آمده از میانگین غلظت هر پنج فلز در گونه‌های مورد بررسی با استانداردهای WHO، NHMRC، MAFF و USEPA مقایسه شدند. نتایج نشان داد که میزان غلظت هر پنج فلز در گونه‌های مورد بررسی به‌طور معنی‌داری کمتر از حداکثر مقدار مجاز استانداردهای WHO، NHMRC، MAFF بودند، بنابراین از لحاظ آلودگی خطری ندارد اما در مقایسه با استاندارد USEPA بالاتر بود که باید به آن توجه ویژه شود. مثلاً غلظت سرب در ماهی شوریده و شانک زردباله؛ کادمیوم در هامور منقوط قرمز و سرخو مخطط زرد؛ کروم در شهری دم‌زرد، شوریده، شانک زردباله، هامور منقوط قرمز،

افزایش خواهد یافت^[30]. از این رو توصیه می‌شود در راستای با تلاش برای افزایش سهم سرانه مصرف ماهی و جانداختن در فرهنگ مصرف، باید توجه ویژه‌ای به ایمنی غذاهای دریایی شود.

تشکر و قدردانی: این تحقیق با حمایت دانشگاه آزاد اسلامی واحد تنکابن و در آزمایشگاه تحقیقات شیلات انجام پذیرفت. از تمامی عزیزان که در انجام این پژوهش یاری کردند تشکر و قدردانی می‌شود.

تاییدیه اخلاقی: اینجانب مصطفی باقری/توانی با اطلاع کامل از ابلاغ وزارت علوم، تحقیقات و فناوری به شماره ۳/۲۵۰۹۷۳ مورخ ۹۰/۱۲/۰۳ در خصوص "منشور و موازین اخلاق پژوهش" بدین‌وسیله تعهد می‌نمایم که به تمام موازین و مقررات ابلاغیه مذکور در راستای تحقیق حاضر عمل کرده و خواهم کرد.

تعارض منافع: نویسندگان اعلام می‌دارند هیچ‌گونه تعارض منافی وجود ندارد.

سهم نویسندگان: مهنوش نوروزی (نویسنده اول)، نگارنده مقدمه/پژوهشگر کمکی/نگارنده بحث (۵۰٪)؛ مصطفی باقری/توانی (نویسنده دوم)، روش‌شناس/پژوهشگر اصلی/تحلیلگر آماری (۵۰٪)

منابع مالی: این پژوهش به‌صورت آزاد و با هزینه شخصی نویسندگان انجام شده است.

منابع

- 1- Mortazavi MS, Sharifian S. Mercury bioaccumulation in some commercially valuable marine organisms from Mosa Bay, Persian Gulf. *Int J Environ Res*. 2011;5(3):757-62.
- 2- Neves D, Sobral P, Ferreira JL, Pereira T. Ingestion of microplastics by commercial fish off the Portuguese coast. *Mar Pollut Bull*. 2015;101(1):119-26.
- 3- Ozden O. Seasonal differences in the trace metal and macrominerals in shrimp (*Parapenaeus longirostris*) from Marmara Sea. *Environ Monit Assess*. 2010;162(1-4):191-9.
- 4- World Health Organization & International Programme on Chemical Safety. Guidelines for drinking-water quality, health criteria and other supporting information. 2nd Volume. 2nd Edition. Geneva: World Health Organization; 1996. pp. 31-388.
- 5- Koshafar A, Velayatzadeh M. Risk assessment to consumers from mercury in *Acanthopagrus latus*. *J Food Hyg*. 2016;6(3):21-33. [Persian]
- 6- Mardoukhi S, Hosseini SV, Hosseini SM. Risk to consumers from mercury in croaker (*Otolithes ruber*), from the Mahshahr port. *Fish Sci Technol*. 2013;2(3):43-55. [Persian]
- 7- Ahmadi Kordestani Z, Hamidian A, Hosseini V, Ashrafi S. Risk assessment of mercury due to consumption of edible aquatic species. *J Mar Biol*. 2013;5(1):63-70. [Persian]
- 8- Akhbarizadeh R, Moore F, Keshavarzi B. Investigating a probable relationship between microplastics and potentially toxic elements in fish muscles from northeast of Persian Gulf. *Environ Pollut*. 2018;232:154-63.
- 9- Malakootian M, Seddiq Mortazavi M, Ahmadi A. Heavy metals bioaccumulation in fish of Southern Iran and risk assessment of fish consumption. *Environ Health Eng Manag J*. 2016;3(2):61-8.
- 10- Askary Sary A, Karimi Sary V. Measurement and comparative of iron levels and Hazard Quotient (HQ) on

فلزات سنگین از راه‌های دیگر مانند برنج، گندم و سبزیجات که قسمت اعظم تشکیل‌دهنده سفره ایرانیان است، ممکن است موجب ورود بیشتر فلزات سنگین برای مصرف‌کنندگان را موجب شود.

اگرچه غذا یکی از روش‌های بسیار مهم و عمده در جذب آلودگی در انسان است، ولی برخلاف هوا یا آب، در جوامع مختلف یا حتی شهرها یکسان نیست (به‌علت سلیقه متفاوت در افراد)، بنابراین میزان جذب آن تابعی از نحوه تغذیه است. از آنجایی که فرهنگ غذایی در ایران از نظر وسعت بسیار گسترده و از نظر عادت‌های غذایی بسیار متفاوت است، طبیعی است آرایه یک الگوی مشخص برای میزان استاندارد در مواد غذایی امکان‌پذیر نیست و اصولاً نمی‌تواند از اعتبار لازم برخوردار باشد. به همین دلیل در اغلب کشورهای جهان تفاوت‌هایی در تعیین میزان استاندارد آلاینده‌ها در مواد غذایی وجود دارد که بیشتر ناشی از عادت‌های غذایی و همچنین ویژگی‌های خاص مرتبط با اقلیم، صنعت و کشاورزی است. این شاخص‌ها الزاماً منجر به تفاوت‌هایی در تعیین استانداردهای منطقه‌ای شده است که حتی با استانداردهای سازمان بهداشت جهانی نیز متفاوت است. در رابطه با فرآورده‌های دریایی و آبزیان این تفاوت چشمگیرتر است زیرا میزان مصرف در استان‌های مختلف بسیار متفاوت است و به همین دلیل نمی‌توان یک الگو برای کل جامعه در نظر گرفت بنابراین معیار استاندارد با توجه به شاخصه‌های نظیر مصرف سرانه، سمیت مواد، ویژگی‌های مصرف‌کننده (زن-مرد-کودک) و پتانسیل جذب باید تعیین شود^[29].

یافته‌های شاخص خطر نشان‌دهنده نسبت دوز برآورد شده در معرض قرارگرفتن فلزات به دوز مرجع (RFD) است. در این مطالعه شاخص خطر برای هر ۵ فلز مورد بررسی زیر یک بود. چنین نتیجه‌ای نشان‌دهنده آن است که در ارزیابی ریسک خطر، مصرف این ماهی به منزله عدم عوارض نامطلوب بهداشتی برای مصرف‌کننده است. بنابراین، مصرف ماهیان مورد بررسی در منطقه مورد مطالعه یعنی سواحل بندر ماهشهر تهدید جدی برای مصرف‌کنندگان ندارد. هرچند میزان پایین مصرف آبزیان در کشورمان را نباید نادیده گرفت و با افزایش مصرف ماهی، این میزان نیز افزایش خواهد یافت. همچنین مقدار شاخص خطر کل (HI) در این مطالعه زیر یک (۰/۲۲۱) به دست آمد. یافته‌های این پژوهش با نتایج ارزیابی خطر فلز جیوه در ماهی شانگ زردباله^[5] و ماهی شوریده^[6]، هماهنگی دارد.

نتیجه‌گیری

براساس میزان جذب روزانه، هفتگی و شاخص خطر کل به نظر می‌رسد در حال حاضر مصرف یازده گونه ماهی مورد بررسی صیدشده در سواحل بندر ماهشهر تهدید جدی برای مصرف‌کنندگان ندارد، اگرچه برای زنان باردار و نوزادان برای مصرف این ماهیان باید دقت نظر شود. زیرا جنین، نوزادان شیرخوار و کودکان زیر ۱۰ سال حساس‌تر هستند. نکته دیگر آن است که شاخص خطر برای وزن بدن بزرگسالان ۷۰ کیلوگرم و کودکان ۱۴/۵ کیلوگرم محاسبه شد. بدیهی است که میزان مصرف مطلوب، برای افراد با وزن بیشتر و کمتر از وزن پیش‌فرض نیز تغییر می‌یابد. از آنجایی که الگوی مصرف ماهی در ایران به‌صورت ناهمگن و غیریکنواخت توزیع شده است، بنابراین جامعه صیادی و حتی افرادی که در نواحی ساحلی زندگی می‌کنند ممکن است در طول یک ماه به دفعات از غذاهای دریایی استفاده کنند و با افزایش مصرف ماهی، این میزان نیز

based concentration table environmental protection agency. Philadelphia PA/Washington DC: 2011.

21- EPA. EPA-503/8-89-002: Assessing human health risks from chemically contaminated fish and shellfish: A guidance manual [Internet]. Washington DC: US Environmental Protection Agency; 1989 [cited 2017 Sep 19]. Available from: <http://bit.ly/2JGUFdM>

22- Cooper CB, Doyle ME, Kipp K. Risks of consumption of contaminated seafood: The Quincy Bay case study. *Environ Health Perspect*. 1991;90:133-40.

23- Chien LC, Hung TC, Choang KY, Yeh CY, Meng PJ, Shieh MJ, et al. Daily intake of TBT, Cu, Zn, Cd and As for fishermen in Taiwan. *Sci Total Environ*. 2002;285(1-3):177-85.

24- Canli M, Atli G. The relationships between heavy metal (Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Zn) levels and the size of six Mediterranean fish species. *Environ Pollut*. 2003;121(1):129-36.

25- Sobhanardakani S, Tayebi L, Farmany A, Cheraghi M. Analysis of trace elements (Cu, Cd, and Zn) in the muscle, gill, and liver tissues of some fish species using anodic stripping voltammetry. *Environ Monit Assess*. 2012;184(11):6607-11

26- Milošković A, Dojčinović B, Kovačević S, Radojković N, Radenković M, Milošević D, Simić V. Spatial monitoring of heavy metals in the inland waters of Serbia: a multispecies approach based on commercial fish. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2016;23(10):9918-33.

27- Akoto O, Bismark Eshun F, Darko G, Adei E. Concentrations and health risk assessments of heavy metals in fish from the Fosu lagoon. *Int J Environ Res*. 2014;8(2):403-10.

28- Kotze P, Du Preez HH, Van Vuren JHJ. Bioaccumulation of copper and zinc in *Oreochromis mossambicus* and *Clarias gariepinus*, from the Olifants River, Mpumalanga, South Africa. *Water SA*. 1999;25(1):99-110.

29- Esmaili Sari A, Abdollahzadeh E, Joorabian Shoostari Sh, Ghasempouri M. Fish Consumption Limit for Mercury Compounds. *J Fasa Univ Med Sci*. 2011;2(1):24-31. [Persian]

30- FAO Fisheries and Aquaculture Department. The state of world fisheries and aquaculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations; Rome: 2009.

muscle of farmed and marine fishes from Khuzestan, South West of Iran. *Iran Sci Fish J*. 2017;25(5):1-10. [Persian]

11- Esmaili Sari A, Abdollahzadeh E, Joorabian Shoostari Sh, Ghasempouri SM. Fish consumption limit for mercury compounds. *J Fasa Univ Med Sci*. 2011;1(2):82-9. [Persian]

12- Keshavarzi B, Hassanaghaei M, Moore F, Rastegari Mehr M, Soltanian S, Lahijanzadeh AR, et al. Heavy metal contamination and health risk assessment in three commercial fish species in the Persian Gulf. *Mar Pollut Bull*. 2018;129(1):245-52.

13- Sadeghi N. Morphological and biological characteristics of Southern Iranian fishes (Persian Gulf and Oman Sea). Tehran: Naghshe Mehr; 2001. [Persian]

14- Lakshmanan R, Kesavan K, Vijayanand P, Rajaram V, Rajagopal S. Heavy metals accumulation in five commercially important fishes of Parangipettai, Southeast coast of India. *Adv J Food Sci Technol*. 2009;1(1):63-5.

15- Blackmore G. 2001. Interspecific variation in heavy metal body concentrations in Hong Kong marine invertebrates. *Environ Pollut*. 2001;114(3):303-11.

16- UNEP, FAO, IAEA, IOC. Sampling of selected marine organisms and sample preparation for trace metal analysis [Internet]. Nairobi: UNEP; 1984. 2015 [cited 2017 Sep 21]. Available from: <http://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/1364?show=full>

17- EPA. Supplemental guidance for developing soil screening levels for superfund sites [Internet]. Washington DC: USEPA; 2002 [cited 2017 Nov 19]. Available from: <http://bit.ly/2x0cm5L>

18- USEPA (US Environmental Protection Agency). EPA/823-B94-004: Guidance for assessing chemical contamination data for use in fish advisories volume II, risk assessment and fish consumption limits. Washington: United States Environmental Protection Agency; 2000.

19- USEPA (US Environmental Protection Agency). EPA/600/R-09/052F: Exposure actors handbook. Washington DC: National Center for Environmental Assessment; 2011.

20- USEPA (US Environmental Protection Agency). Risk-