



Original Paper

Level of Heavy Metals in Muscles of *Cynoglossus arel* and *Pomadasys kaakan* Fishes in Boushehr Coastal Waters, North of the Persian Gulf

Mohammad Gholizadeh (Ph.D)^{*1} , Ahmed Shadi (Ph.D)² , Ammar Maryam Abadi (M.Sc)³
Mahnaz Nemati (Ph.D)⁴ , Venkatramanan Senapathi (Ph.D)⁵ , Sivakumar Karthikeyan ⁶ 

¹ Associate Professor, Department of Fisheries, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran. ² Assistant Professor, Department of Biological Sciences and Technology, Faculty of Nano and Biological Sciences and Technology, Persian Gulf University, Bushehr, Iran. ³ M.Sc in Chemistry, Zayton Lian Branch Laboratory Complex, Bushehr, Iran. ⁴ Ph.D in Food Technology Division, School of Industrial Technology, Universiti Sains Malaysia, Malaysia. ⁵ Assistant Professor, Department of Disaster Management, Alagappa University, Karaikudi – 630003, Tamil Nadu, India. ⁶ Ph.D Candidate in Geology, Department of Geology, Faculty of Science, Alagappa University, Karaikudi, Tamil Nadu, India.

Abstract

Background and Objective: Population growth and pollution caused by the discharge of all kinds of urban, industrial, and agricultural sewage, leachate from landfills, and surface water runoff cause an increase in pollution of water sources. The entry of heavy metals into the environment, especially aquatic ecosystems, due to entering the food chain and jeopardizing human health is one of the concerns of society. This study was conducted to determine the level of heavy metals in muscles of *Cynoglossus arel* and *Pomadasys kaakan* fishes in Boushehr coastal waters, north of the Persian Gulf.

Methods: This descriptive study was conducted on twenty pieces of *Cynoglossus arel* and twenty pieces of *Pomadasys kaakan* fishes take place from three coastal stations of Boushehr, north of the Persian Gulf, Iran during spring of 2022. The samples were randomly selected from the fish market. After preparation, bioassay, and digestion of fish muscle by concentrated nitric acid, the concentration of heavy metals including nickel, zinc, copper, lead, and cadmium ($\mu\text{g/g}$) in the muscle tissue was measured by ICP-OES device. The concentration of heavy metals in the fish muscle tissue for human consumption was compared with international standards (FAO, WHO, FDA, NHMRC, and UKMAFF). According to the method of the US Environmental Protection Agency for fish consumption, daily absorption estimates and heavy metal risk indicators were calculated.

Results: The risk potential index for both species was less than one. The daily and weekly absorption of *Cynoglossus arel* (zinc > copper > nickel > lead > cadmium) and *Pomadasys kaakan* (copper > zinc > nickel > lead > cadmium) were determined. The mean concentration of heavy metals nickel, zinc, copper, lead, and cadmium in the muscle tissue of the studied species was determined to be 1.88 ± 0.07 , 27.16 ± 8.11 , 11.55 ± 4.12 , 1.14 ± 0.06 , and 0.19 ± 0.03 $\mu\text{g/g}$, respectively. The highest amounts of studied metals in aquatic animals were zinc > copper > nickel > lead > cadmium. The concentration of metals in the analyzed samples was lower than the international standards.

Conclusion: Regarding toxicity, the concentration of metals in *Cynoglossus arel* and *Pomadasys kaakan* was evaluated as acceptable for human consumption. In addition, the amount of risk potential and risk index for non-cancerous diseases in adults and children in fish muscle tissue was less than 1, and the consumption of this fish does not cause any problems for human health.

Keywords: Fishes, Heavy Metals, Persian Gulf, Iran

*Corresponding Author: Mohammad Gholizadeh (Ph.D), E-mail: gholizade_mohammad@yahoo.com

Received 22 Oct 2022

Final Revised 20 Nov 2022

Accepted 26 Nov 2022

Published Online 28 Aug 2023

Cite this article as: Gholizadeh M, Shadi A, Maryam Abadi A, Nemati M, Senapathi V, Karthikeyan S. [Level of Heavy Metals in Muscles of *Cynoglossus arel* and *Pomadasys kaakan* Fishes in Boushehr Coastal Waters, North of the Persian Gulf]. J Gorgan Univ Med Sci. 2023; 25(2): 83-91. [Article in Persian]





تحقیقی

میزان فلزات سنگین در عضله ماهیان کفشک زبان گاوی (*Cynoglossus arel*) و سنگسر معمولی (*Pomadasys kaakan*) در سواحل بوشهر، شمال خلیج فارس

دکتر محمد قلی زاده*^۱، دکتر احمد شادی^۲، عمار مریم آبادی^۳، دکتر مهناز نعمتی^۴، دکتر ونکاتر امانان سناباتی^۵، سیواکومار کارتیکیان^۶

^۱ دانشیار، گروه شیلات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران. ^۲ استادیار، گروه علوم و فناوری زیستی، دانشکده علوم و فناوری نانو و زیستی، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، ایران. ^۳ دانش آموخته کارشناسی ارشد شیمی، مجتمع آزمایشگاهی شاخه زیتون لیان، بوشهر، ایران. ^۴ دانش آموخته دکتری صنایع غذایی، گروه بیوتکنولوژی مواد غذایی، دانشگاه علوم مالزی، مالزی. ^۵ استادیار، گروه مدیریت بلایا، دانشگاه آلاکاپا، کارایکودی - ۶۳۰۰۳، تامیل نادو، هند. ^۶ دانشجوی دکتری زمین شناسی، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه آلاکاپا، کارایکودی، تامیل نادو، هند.

چکیده

زمینه و هدف: رشد جمعیت و آلودگی‌های ناشی از تخلیه انواع فاضلاب‌های شهری، صنعتی و کشاورزی، شربابه محل‌های دفن زباله و روان آب‌های سطحی سبب افزایش آلودگی منابع آب می‌گردند. ورود فلزات سنگین به محیط زیست به ویژه بوم‌سازگان آبی به علت ورود به زنجیره غذایی و به خطر افتادن سلامت انسان، یکی از نگرانی‌های جامعه است. این مطالعه به منظور تعیین میزان فلزات سنگین در عضله ماهیان کفشک زبان گاوی (*Cynoglossus arel*) و سنگسر معمولی (*Pomadasys kaakan*) در سواحل بوشهر، شمال خلیج فارس انجام شد.

روش بررسی: این مطالعه توصیفی روی ۲۰ قطعه ماهی کفشک زبان گاوی و ۲۰ قطعه ماهی سنگسر معمولی از ۳ ایستگاه ساحلی استان بوشهر شامل دیر، دیلم و بندر بوشهر طی بهار سال ۱۴۰۱ انجام شد. نمونه‌ها به طور تصادفی از بازار ماهی انتخاب شدند و پس از عملیات آماده‌سازی، زیست‌سنجی و هضم عضله ماهی توسط اسید نیتریک غلیظ، اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین نیکل، روی، مس، سرب و کادمیوم (میکروگرم در گرم) بافت عضله با دستگاه ICP-OES انجام شد. سپس میزان غلظت عناصر در بافت عضله ماهی به منظور مصارف انسانی با استانداردهای بین‌المللی (WHO، FAO، NHMRC، UKMAFF) مقایسه و طبق روش آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا برای مصرف ماهی، برآورد جذب روزانه و شاخص‌های خطر فلزات سنگین محاسبه گردید.

یافته‌ها: شاخص پتانسیل خطر برای هر دو گونه کمتر از یک به دست آمد. جذب روزانه و هفتگی ماهی کفشک زبان گاوی (روی < مس < نیکل < سرب < کادمیوم) و ماهی سنگسر معمولی (مس < روی < نیکل < سرب < کادمیوم) تعیین شد. میانگین غلظت فلزات سنگین نیکل، روی، مس، سرب و کادمیوم در بافت عضله گونه‌های مورد مطالعه به ترتیب 1.11 ± 0.07 ، 27.17 ± 8.11 ، 11.55 ± 4.12 ، 1.14 ± 0.06 و 0.19 ± 0.03 میکروگرم در گرم تعیین شدند. بیشترین مقادیر فلزات مورد مطالعه در آبزیان به ترتیب روی < مس < نیکل < سرب < کادمیوم بود. غلظت فلزات در نمونه‌های آنالیز شده در مقایسه با استانداردهای بین‌المللی پایین‌تر بود.

نتیجه‌گیری: غلظت فلزات در ماهیان کفشک زبان گاوی و سنگسر معمولی از نظر مسمومیت، برای مصارف انسان قابل قبول ارزیابی شد. همچنین میزان پتانسیل خطرپذیری و شاخص خطر برای بیماری‌های غیرسرطانی در بالغین و کودکان در بافت عضله ماهی کمتر از ۱ به دست آمد و مصرف این آبزیان هیچ مشکلی برای سلامت انسان ایجاد نمی‌کند.

واژه‌های کلیدی: ماهیان، فلزات سنگین، خلیج فارس

* نویسنده مسؤل: دکتر محمد قلی زاده، پست الکترونیکی gholizade_mohammad@yahoo.com

نشانی: استان گلستان، گنبد کاووس، دانشگاه گنبد کاووس، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، گروه شیلات، تلفن ۰۱۷-۳۳۲۶۱۷۶۹

وصول ۱۴۰۱/۷/۳۰ اصلاح نهایی ۱۴۰۱/۸/۲۹ پذیرش ۱۴۰۱/۹/۵ انتشار ۱۴۰۲/۶/۶

مقدمه

تهدیدی جدی در زنجیره غذایی تبدیل شده‌اند.^۱ ماهی دارای ارزش غذایی بالایی است و بسیاری از عناصر مورد نیاز بدن از جمله فسفر، کلسیم، انواع مواد معدنی و ویتامین‌ها را تامین می‌کند. همچنین منبع غنی از اسیدهای چرب غیر اشباع به خصوص اسیدهای چرب

فلزات سنگین از منابع آلودگی انسان ساخت به طور مداوم وارد اکوسیستم‌های آبی می‌گردند که به دلیل سمیت بالا، تجمع‌پذیری زیستی، پایداری طولانی مدت و همچنین بزرگنمایی زیستی به

می‌شوند. گروه اول شامل آهن، منیزیم، منگنز، کبالت، روی و مس است که برای اعمال بیوشیمیایی نرمال حیوانات ضروری است.^{۱۲} لازم به ذکر است که مقادیر زیاد عناصر گروه اول نیز اثرات سمی داشته و اعمال بیوشیمیایی را هم در انسان و هم در حیوان بر هم می‌زند.^{۱۳} فلزات گروه دوم نقش مهمی در الگوی متابولیک حیوانات دریایی ندارند و بعضی فلزات (مانند آرسنیک، کادمیم، جیوه و سرب) حتی در مقادیر کم نیز سمی هستند.^{۱۴} معمولاً آلودگی فلزی در سیستم آبی هم به صورت محلول و هم به صورت معلق بوده و در نهایت ته‌نشین شده و توسط موجودات زنده جذب می‌شوند. ماهی‌ها از موجودات مهم آبی در زنجیره غذایی بوده که می‌توانند غلظت زیادی از بعضی فلزات را در خود تجمع دهند.^{۱۵} مطالعه خوش‌بین در خصوص تجمع زیستی سرب، نیکل و کادمیم در بافت عضله، کبد و پوست ماهی شوریده و کوتر چشم درشت از بنادر صیادی کنارک و پزم انجام شد. میزان تجمع فلزات سنگین بین نمونه‌های دو منطقه متفاوت بود. میزان سرب و نیکل در ماهی کوتر چشم درشت کمتر از نمونه‌های شوریده بود. میزان غلظت سرب و کادمیم در بافت عضله ماهیان شوریده و کوتر چشم درشت کمتر از حد مجاز استانداردهای FAO (سازمان جهانی غذا و کشاورزی) و FDA (سازمان غذا و داروی آمریکا) بود؛ به جز غلظت فلز نیکل که در مقایسه با حد مجاز استاندارد سازمان بهداشت و آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا جهانی بیشتر به دست آمد.^{۱۶}

خلیج فارس یکی از مهم‌ترین اکوسیستم‌های آبی بسته جهان محسوب می‌شود که تحت تأثیر افزایش جمعیت و صنعتی شدن کشورهای حاشیه خود قرار گرفته و موقعیت نگران‌کننده‌ای پیدا کرده است. بسته بودن حوزه آبی خلیج فارس، سبب ماندگاری آلودگی‌های وارد شده در آن شده که وارد بدن آبزیان می‌شود.^{۱۷} از جمله گونه‌های شاخص برای سنجش میزان آلودگی می‌توان به ماهی کفشک زبان گاوی، کوتر و ماهی سنگسر معمولی اشاره کرد. چنین گونه‌هایی در مناطق شمالی خلیج فارس یافت می‌شوند که با توجه به ذائقه مردم و بازارپسندی آن نقش مهمی در اقتصاد صیادی جنوب ایران دارند. تجمع فلزات سنگین در بافت‌های مختلف ماهی در اکوسیستم‌های آبی آلوده متفاوت است و به ویژگی‌های بوم‌شناختی، سوخت و ساز بدن و عوامل دیگری از قبیل شوری، سطح آلودگی آب، غذا و رسوب بستگی دارد. از آنجا که فلزات سنگین برخلاف ترکیبات آلی از طریق فرآیندهای شیمیایی یا زیستی در طبیعت تجزیه نمی‌شوند؛ لذا پایش آنها مسأله مهمی برای متخصصان علوم تغذیه، پزشکی و محیط زیست است.^{۱۸} لذا این مطالعه به منظور تعیین میزان فلزات سنگین در عضله ماهیان کفشک زبان گاوی (*Cynoglossus arel*) و سنگسر معمولی (*Pomadasys kaakan*) در سواحل بوشهر، شمال خلیج فارس انجام شد.

امگا-۳ است که برای سلامت قلب و بیماران قلبی-عروقی بسیار مفید است. با این وجود همگام با افزایش تقاضا برای محصولات دریایی، افزایش روند آلودگی محیط‌های دریایی به شکلی جدی، احتمال بروز مشکلات کیفی در این منابع غذایی ارزشمند تشدید کرده است.^۲ اکوسیستم‌های آبی به ویژه دریاها و خطوط ساحلی آنها در معرض آلودگی‌های زیست محیطی مختلفی نظیر ترکیبات آلی، ترکیبات نفتی، سموم علف‌کش، آفت‌کش و فلزات سنگین هستند که در اثر فعالیت‌های طبیعی و نیز به طور عمده در اثر فعالیت‌های انسانی به محیط‌های آبی راه می‌یابند.^۳ پساب واحدهای صنعتی، کشاورزی، سوخت‌های فسیلی، فرسایش زمین، فضولات انسانی منابع تشکیل دهنده فلزات سنگین در منابع آبی هستند.^۵ در مطالعه قبلی که به بررسی خطر سلامت انسان مرتبط با تجمع سرب، مس، روی، نیکل و آرسنیک در ماهیچه *Platycephalus indicus* جمع‌آوری شده از اسکله جفره و بندر بوشهر در دو فصل تابستان و زمستان پرداخته شد؛ شاخص خطر (HI) برای بزرگسالان و کودکان در هنگام مصرف *P.indicus* زیر ۱ بود که بیشترین مقدار HI برای بزرگسالان (۰/۰۶) در بوشهر و کودکان (۰/۱۴) در جفره محاسبه می‌گردد.^۶

برخی از فلزات سنگین نظیر مس، روی، آهن و منگنز در مقادیر کم برای فعالیت‌های زیستی بدن ضروری هستند و بعضی از آنها نظیر جیوه، کادمیم، آرسنیک، نیکل و سرب دارای اثرات مضرند و علاوه بر مختل کردن تعادل زیستی اکوسیستم، باعث بروز اختلال در واکنش‌های بیوشیمیایی بدن نیز می‌شوند.^۷ فلزات سنگین گاهی به علت فعالیت‌های طبیعی زمین و گاهی از طریق فعالیت‌های انسانی به عنوان اصلی‌ترین عامل افزایش سطح فلزات سنگین وارد محیط‌های آبی می‌شوند.^۸ فلزات سنگین از مسیرهای گوناگون مانند نزولات جوی، تخلیه مواد زائد، نشت اتفاقی، تخلیه آب از مخازن تعادل کشتی‌ها، تخلیه فاضلاب‌های صنعتی، کشاورزی و خانگی و فرسایش خاک به محیط‌های آبی منتقل شده^۹ و به دنبال این انتقال، این احتمال به وجود می‌آید که ماهی‌های مقادیری از برخی فلزات سنگین را از طریق زنجیره غذایی یا از طریق آب از محیط جذب نماید.^{۱۰} در مطالعه الصاق و همکاران آلودگی جیوه و شاخص‌های ژئوشیمیایی محیطی رسوبات ساحلی بندرعباس ارزیابی و مشخص گردید که میانگین غلظت جیوه موجود در رسوبات با یکدیگر تفاوت معنی‌داری دارند. آلودگی ناشی از جیوه در رسوبات به شدت بالا و منبع حضور جیوه در منطقه ساخته دست بشر بود.^{۱۱}

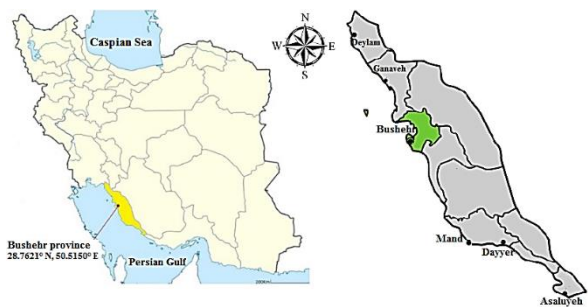
بیشترین نگرانی در مورد فلزاتی شامل کادمیم، کروم، کبالت، مس، آهن، سرب، منگنز، جیوه، نیکل و روی وجود دارد. معمولاً مس، روی، کادمیم، جیوه و سرب فلزاتی هستند که در محیط‌های آبی یافت می‌شوند. فلزات سنگین محیط آبی در دو گروه طبقه‌بندی

روش بررسی

این مطالعه توصیفی روی ۲۰ قطعه ماهی کفشک زبان گاوی و ۲۰ قطعه ماهی سنگسر معمولی از ۳ ایستگاه ساحلی استان بوشهر شامل دیر، دیلم و بندر بوشهر در سال ۱۴۰۱ انجام شد. آلودگی غلظت فلزات سنگین نیکل، روی، مس، سرب و کادمیوم در بافت گونه‌های مورد مطالعه بررسی شدند.

مطالعه مورد تایید صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوریان کشور (INSF) معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری قرار گرفت.

نمونه‌برداری در فصل بهار به صورت تصادفی از بین ماهیان صید شده و آماده عرضه به بازار از ۳ ایستگاه ساحلی استان بوشهر از جمله دیر، دیلم، و بندر بوشهر برای آبریان با کمک صیادان محلی و تور ترال صورت گرفت (شکل یک و جدول یک). ۴۰ نمونه آبری (از هر گونه ۲۰ عدد) در پلاستیک‌هایی اسیدشویی شده و درون ظروف حاوی یخ قرار گرفتند و به آزمایشگاه دانشگاه خلیج فارس منتقل و در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به مرحله آنالیز نگهداری شدند.



شکل ۱: نقشه موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری در استان بوشهر، خلیج فارس ایران

ایستگاه	موقعیت جغرافیایی	مشخصات
دیلم	30°03'30" N, 50°08'20" E	بندر دیلم با ساحل ماسه ای با تفریحات متنوع ساحلی (گردشگری)
بوشهر	28°55'06" N, 50°48'30" E	مرکز استان، تراکم بالای انسانی، آلودگی‌ها بیشتر از نوع شهری و تردد شناورهای تجاری و صیادی، فاقد آلودگی کشاورزی، دارای چندین شناگاه و همجواری با نیروگاه اتمی بوشهر
دیر	27°49'54" N, 51°56'13" E	منطقه تردد شناورهای تجاری و بیشتر آلودگی از نوع شهری و نزدیکترین شهر به عسلویه و شاخص نسبتا مناسبی برای مقایسه با منطقه نسبتا پاک موند و منطقه بسیار آلوده عسلویه

نمونه‌ها با آب شهر و آب مقطر شستشو داده شدند و طول کل با خط‌کش با دقت ۰/۱ سانتی‌متر و وزن با ترازو با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. پس از زیست‌سنجی، بافت عضله جدا و با آب مقطر شستشو شده و در آون با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شد.^{۱۹} به میزان ۳ گرم از نمونه بافت عضله ماهی

پودر شده (وزن تر) را وزن کرده و در ارلن‌مایر ۵۰ میلی‌لیتر قرار دادیم. مقدار ۴ میلی‌گرم اسیدنیتریک ۶۵ درصد به نمونه اضافه و سپس در دمای اتاق، زیر هود به مدت حداقل یک ساعت قرار گرفت تا هضم اولیه صورت گیرد. سپس ۱/۵ میلی‌لیتر اسید پرکلریک ۷۰ درصد به نمونه‌ها اضافه شد. سپس نمونه‌ها بر روی حمام شن (Hot plate) در دمای ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۶ ساعت قرار داده شدند تا هضم کامل انجام گردد. پس از هضم، نمونه‌ها در هوای محیط قرار داده شدند تا سرد شوند. در پایان با استفاده از آب دیونیزه نمونه‌ها را به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسانده و سپس محلول‌های به حجم رسیده توسط کاغذ صافی واتمن (۴۰ میکرون) فیلتر شدند. بعد از آن نمونه‌ها در ظرف پلی اتیلنی درب‌دار و در محیط سرد یخچال در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد تا زمان آنالیز نگهداری شدند.^{۲۰} برای سنجش میزان فلزات سنگین در عضله ماهی از دستگاه ICP-OES مدل Liberty RL استفاده شد.

برای مطالعه میزان انباشت فلزات در بافت عضله ماهی، نتایج به دست آمده با استانداردهای ملی و استانداردهای بین‌المللی (FAO، WHO، FDA، NHMRC و UKMAFF) در این زمینه مقایسه شد. پتانسیل خطر سرطان‌زایی فلزات سنگین وارد شده به بدن انسان به دنبال مصرف ماهی، تخمین EDI و THQ و همچنین برآورد CR با استفاده از معادلات زیر بر اساس میزان سرانه مصرف ملی (میانگین مصرف روزانه ماهی برای بزرگسالان) به مقدار ۳۱/۹۲ گرم^{۲۱} به ازای هر نفر در روز محاسبه شد.^{۲۱} شاخص سیل خطر (THQ) در واقع نسبت بین میزان در معرض قرارگیری فلزات و دز رفرنس آنها است که برای بیان اثرات غیرسمی به کار می‌رود. اگر میزان این نرخ کمتر از یک باشد؛ نشان دهنده عدم وجود هیچگونه خطر قابل مشاهده است. اگر این نسبت برابر یا بزرگتر از یک باشد؛ خطرانی برای سلامتی مصرف‌کنندگان در پی خواهد داشت.^{۲۱}

$$EDI = \frac{C \times FIR}{RW}$$

EDI: میزان جذب روزانه فلزات توسط بدن

C: میزان غلظت تعیین شده فلزات در مواد غذایی مصرفی

FIR: نرخ خوردن غذا بر حسب گرم در روز

$$THQ = \frac{EFr \times EDtot \times FIR \times C}{(RfDo \times BWa \times ATN) \times 10^{-3}}$$

EFr: بسامد در معرض قرارگیری (۳۶۵ روز در سال)

EDtot: میزان در معرض قرارگیری (۷۲ سال)

FIR: نرخ خوردن غذا که برای ماهی حدود ۳۱/۹۲ گرم در روز برای هر فرد در نظر گرفته شد.

C: میزان فلز سنگین در غذای مورد مطالعه (میلی‌گرم بر گرم)

RfDo: دز رفرنس از راه دهان (میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز)

BWa: میانگین وزن افراد بالغ (۷۰ کیلوگرم)

ATN: زمان در معرض قرارگیری برای ترکیبات غیر سرطان‌زا (۳۶۵ روز در سال)

ضربدر تعداد سال‌های در معرض قرارگیری، حدود ۷۲ سال

جدول ۲: میانگین و انحراف معیار طول و وزن و نوع رژیم غذایی و زیستگاه ماهیان کفشک زبان گاوی و سنگسر معمولی سواحل بوشهر طی بهار سال ۱۴۰۱

گونه ماهی	تعداد	طول کل (سانتی‌متر)	وزن کل (گرم)	رژیم غذایی	زیستگاه
کفشک زبان گاوی	۲۰	۳۳/۲±۱۱/۱۴	۷۶۰/۱۲±۲۵۴/۵۱	ژئوبنتوز- نکتون	کفزی
سنگسر معمولی	۲۰	۳۷/۲۱±۶/۵۷	۸۱۰/۰۹±۱۸۹/۴۴	ژئوبنتوز	کفزی

جدول ۳: میانگین و انحراف معیار غلظت فلزات سنگین بر اساس میلی گرم در گرم وزن خشک در بافت عضله ماهیان کفشک زبان گاوی و سنگسر معمولی سواحل بوشهر طی بهار سال ۱۴۰۱

گونه ماهی	نیکل (Ni)	روی (Zn)	مس (Cu)	سرب (Pb)	کادمیوم (Cd)
کفشک زبان گاوی	۰/۹۱±۰/۲۳	۲/۳۲±۰/۶۹	۲/۶۰±۱/۳۴	۰/۵۱±۰/۳۸	۰/۰۹±۰/۰۸
سنگسر معمولی	۱/۱۹±۰/۴۶	۶/۱۲±۵/۳	۵/۷۱±۰/۳	۰/۲۶±۰/۰۴	۰/۰۵۵±۰/۰۳

جدول ۴: تخمین جذب روزانه و هفتگی فلزات سنگین در اثر مصرف ماهیان کفشک زبان گاوی و سنگسر معمولی توسط مصرف کنندگان (بزرگسال و کودکان)

گونه ماهی	فلزات	PTWIa	PTWib	PTDIc	EDId (بزرگسال-کودک)	EWIe (بزرگسال-کودک)
کفشک زبان گاوی	نیکل	۰/۰۳۵	۲/۴۵	۰/۰۱۲	۲/۰۱-۰/۴۳	۱۴/۰۸-۳/۰۲
	مس	۳/۵	۲۴۵	۰/۵	۵/۱۳-۱/۱	۳۵/۸۹-۷/۶۹
	روی	۷	۴۹۰	۱	۵/۷۵-۱/۲۳	۴۰/۲۲-۸/۶۲
سنگسر معمولی	سرب	۰/۰۲۵	۱/۷۵	۰/۰۰۳۵	۱/۱۳-۰/۲۴	۷/۸۹-۱/۶۹
	کادمیوم	۰/۰۰۷	۰/۴۹	۰/۰۰۱	۰/۰۲-۰/۰۰۴	۰/۱۴-۰/۰۳
	نیکل	۰/۰۳۵	۲/۴۵	۰/۰۱۲	۲/۶۳-۰/۵۶	۱۸/۴-۳/۹۴
سنگسر معمولی	مس	۳/۵	۲۴۵	۰/۵	۱۳/۵۳-۲/۹	۹۴/۶۸-۲۰/۲۹
	روی	۷	۴۹۰	۱	۱۲/۶۲-۲/۷	۸۸/۳۳-۱۸/۹۳
	سرب	۰/۰۲۵	۱/۷۵	۰/۰۰۳۵	۰/۵۷-۰/۱۲	۴/۰۲-۰/۸۶
کادمیوم	۰/۰۰۷	۰/۴۹	۰/۰۰۱	۰/۱۲-۰/۰۳	۰/۱۴-۰/۰۳	۰/۸۵-۰/۱۸

a = میزان جذب مجاز قابل تحمل موقت هفتگی (PTWI)، برحسب میکروگرم در هفته به ازای هر کیلوگرم از وزن بدن
 b = میزان جذب مجاز قابل تحمل موقت هفتگی (PTWI) برای افراد بزرگسال با وزن متوسط ۷۰ کیلوگرم، برحسب میکروگرم در گرم در هفته برای یک فرد ۷۰ کیلوگرمی
 c = میزان جذب مجاز قابل تحمل روزانه موقت (PTDI)، برحسب میکروگرم در روز برای یک فرد ۷۰ کیلوگرمی
 d = تخمین جذب روزانه (EDI)، برحسب میکروگرم در روز برای یک فرد ۷۰ کیلوگرمی و کودک ۱۵ کیلوگرمی
 e = تخمین جذب هفتگی (EWI)، برحسب میکروگرم در روز برای یک فرد بالغ ۷۰ کیلوگرمی و کودک ۱۵ کیلوگرمی

ب) پخت و پز اثری بر روی آلاینده‌ها ندارد؛ ج) متوسط عمر ایرانیان ۷۲ سال است و د) متوسط وزن افراد بالغ ۷۰ و کودکان ۱۵ کیلوگرم در نظر گرفته شدند.

یافته‌ها

میانگین و انحراف معیار طول کل ماهی کفشک زبان گاوی ۳۳/۲±۱۱/۱۴ سانتی‌متر و ماهی سنگسر معمولی ۳۷/۲۱±۶/۵۷ سانتی‌متر بود. بیشترین میزان غلظت عناصر در کلاسه طولی ۴۰-۲۰ سانتی‌متر و کلاسه ۱۰۰۰-۵۰۰ گرم مشاهده شد. نتایج بیومتری و مطالعه مشخصات آنها، از جمله رژیم غذایی هردو ژئوبنتوزخوار زیستگاه هر دو گونه مورد مطالعه در بستر، در جدول ۲ آمده است. بیشترین غلظت فلزات نیکل، روی و مس به ترتیب در بافت عضله ماهی سنگسر معمولی بیشتر از ماهی کفشک زبان گاوی مشاهده شد. مقادیر فلزات سرب و کادمیوم در ماهی کفشک زبان گاوی بیشتر از ماهی سنگسر معمولی مشاهده شد (جدول ۳).

شاخص خطر سرطان‌زایی آلاینده (CR) از رابطه $CR=EDI \times CSF$ به دست آمد. در این رابطه EDI میزان جذب روزانه فلزات توسط بدن و CSF فاکتور شیب سرطان است.

شاخص خطر ابتلا به سرطان بین ۱۰-۶ (خطر ابتلا به سرطان در طول زندگی انسان یک به یک میلیون) و ۱۰-۴ (خطر ابتلا به سرطان در طول زندگی انسان یک به ده هزار) نشان‌دهنده فاصله‌ای از خطرات احتمالی پیش‌بینی شده برای عوامل ایجادکننده سرطان است. بنابراین مواد شیمیایی دارای عامل خطر کمتر از ۱۰-۶ به عنوان مواد شیمیایی نگران‌کننده در نظر گرفته نمی‌شوند.^{۱۱} محاسبات مربوطه، براساس پیش‌فرض‌های استاندارد پیشنهاد شده توسط USEPA (U.S. Environmental Protection Agency) انجام شد. طبق طبقه‌بندی IARC (آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان)، ترکیبات نیکل، عنصر سرطان‌زای کلاسه یک هستند. در محاسبه شاخص خطر، مهم‌ترین فرضیات در نظر گرفته شده شامل: الف) میزان فلز وارد شده، برابر با میزان جذب شده در بدن است؛

جدول ۵: میزان حدمجاز (کیلوگرم در روز) و نرخ مجاز مصرف (تعداد وعده در ماه) فلزات سنگین در ماهیان کفشک زبان گاوی و سنگسر معمولی

گونه ماهی	فلزات		CRLim (کیلوگرم در روز)		CRmm (وعده در ماه)	
	بزرگسالان	کودکان	بزرگسالان	کودکان	بزرگسالان	کودکان
کفشک زبان گاوی	نیکل	۱/۵۴	۰/۳۳	۲۳۴/۰۸	۵۰/۱۶	
	روی	۹/۰۵	۱/۹۴	۱۲۱۵/۹۰	۲۶۰/۵۵	
	مس	۱/۰۸	۰/۲۳	۱۴۴/۵۲	۳۰/۹۷	
	سرب	۰/۵۴	۰/۱۲	۴۴/۵۹	۹/۵۶	
	کادمیوم	۷/۷۸	۱/۶۷	۵۱/۵۸	۱۱/۰۵	
سنگسر معمولی	نیکل	۱/۱۸	۰/۲۵	۱۲۱/۶	۲۶/۰۷	
	روی	۳/۴۴	۰/۷۴	۴۶۱/۳۹	۹۸/۸۷	
	مس	۰/۴۹	۰/۱	۴۱۸/۷۴	۸۹/۷۳	
	سرب	۱/۰۸	۰/۲۳	۲۳۰۸/۲۳	۴۹۴/۶۲	
	کادمیوم	۱/۲۷	۰/۲۷	۲۶۸/۱۹	۵۷/۴۷	

جدول ۶: میزان پتانسیل خطر برای بیماری‌های غیر سرطانی (THQ) و شاخص خطر (HI) فلزات سنگین مورد مطالعه، در بزرگسالان و کودکان بر اساس مصرف عضله گونه‌های آبی کفشک زبان گاوی و سنگسر معمولی

گونه ماهی	پتانسیل خطر (THQ)						شاخص خطر (HI)	
	نیکل		روی		مس		سرب	
	بزرگسال	کودک	بزرگسال	کودک	بزرگسال	کودک	بزرگسال	کودک
کفشک زبان گاوی	۰/۰۲	۰/۱	۰/۰۰۴	۰/۰۲	۰/۰۳۱	۰/۱۴	۰/۰۶	۰/۲۸
	۰/۰۳	۰/۱۳	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۳۲	۰/۰۳۱	۰/۱۴
سنگسر معمولی	۰/۰۳	۰/۱۳	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۳۲	۰/۰۳۱	۰/۱۴
	۰/۰۳	۰/۱۳	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۳۲	۰/۰۳۱	۰/۱۴

نشان‌دهنده عدم خطر برای سلامت مصرف کنندگان است. بیشترین میزان در ماهی کفشک زبان گاوی مربوط به سرب و کمترین مقدار متعلق به فلزات روی و کادمیوم بودند؛ اما برای گونه سنگسر معمولی بیشترین میزان مربوط به مس و کمترین میزان متعلق به فلز روی بودند.

بحث

با توجه به نتایج این مطالعه، اختلاف معنی‌داری بین غلظت فلزات در بافت عضله ماهیان کفشک زبان گاوی و سنگسر معمولی در سه ایستگاه ساحلی استان بوشهر (دیر، دیلم و بندر بوشهر) وجود داشت. وجود تفاوت در بین میزان غلظت عناصر سنگین در گونه‌ها و مناطق مختلف می‌تواند به دلیل اعمال شرایط مدیریتی و زیست محیطی مختلف، تخلیه فاضلاب‌ها و فعالیت‌های آبی‌پروری در مناطق مورد بررسی باشد.^{۲۲} مطالعه Dural و همکاران نشان داد که بین غلظت فلزات سنگین در بدن موجودات آبی در مناطق مختلف (خلیج فارس، خلیج مصر، خلیج اسکندریون و تالاب‌های کالیفرنیا) به دلیل شرایط محیطی متفاوت مثل درجه حرارت، نور و وجود فعالیت‌های انسانی اختلاف معنی‌داری وجود دارد.^{۲۳}

شهری و ولایت‌زاده مطالعه‌ای روی اثر فصول بر تجمع فلزات در عضله ماهی شانک زرد باله و زمین کن دم‌نواری در دریای عمان در ارتباط با طول و وزن کل (۴۸ نمونه ماهی) انجام دادند. میانگین میزان کادمیوم، سرب و نیکل در دو گونه ماهی در منطقه ساحلی بالاتر از نواحی دریایی بود. میزان فلزات کادمیوم و سرب در مقایسه با آستانه استانداردهای جهانی سازمان غذا و کشاورزی (FAO)، سازمان بهداشت جهانی (WHO)، وزارت کشاورزی - شیلات

میزان جذب روزانه (EDI) و میزان جذب هفتگی (EWI) برای فلزات نیکل، سرب و کادمیوم در هر دو گونه مورد مطالعه بیشتر از جذب مجاز قابل تحمل روزانه موقت (PTDI) و حد مجاز قابل تحمل موقت هفتگی (PTWI) در یک فرد بزرگسال بود. همچنین عناصر میزان جذب روزانه و میزان جذب هفتگی کمتر از حد مجاز قابل تحمل موقت هفتگی بود (جدول ۴). علاوه بر این در ماهی کفشک زبان گاوی میزان جذب روزانه و هفتگی فلزات سنگین شامل روی < مس < نیکل < سرب < کادمیوم بودند. برای ماهی سنگسر معمولی میزان جذب روزانه و هفتگی فلزات سنگین شامل مس < روی < نیکل < سرب < کادمیوم بودند.

محاسبه حدمجاز مصرف ماهی (کیلوگرم در روز) و نرخ مجاز مصرف ماهی (تعداد وعده در ماه) برای گونه‌های مورد مطالعه در افراد بزرگسال و کودک براساس غلظت فلزات سنگین در جدول ۵ آمده است. به طوری که بالاترین حدمجاز مصرف ماهی برای دو گروه سنی بزرگسال و کودک در ماهی کفشک زبان گاوی (۹/۰۵ کیلوگرم در روز) و ماهی سنگسر معمولی (۳/۴۴ کیلوگرم در روز) برای فلز روی بود. علاوه بر این نرخ مجاز مصرف برای سرب (۲۳۰۸/۲۳ وعده در ماه) در ماهی سنگسر معمولی و در هر دو گروه بزرگسال و کودک بیش از دیگر فلزات بود.

میزان شاخص خطر (THQ) و مجموع خطرات فلزات سنگین (TTHQ) در مصرف کنندگان (کودکان و بزرگسالان) در ماهیان مورد مطالعه ناشی از فلزات سنگین نیکل، روی، مس، سرب و کادمیوم در جدول ۶ آمده است. در هر دو گونه ماهی مورد مطالعه و برای تمامی فلزات، شاخص خطر کمتر از یک به دست آمد که

جدول ۷: مقایسه غلظت فلزات نیکل، مس، روی، سرب و کادمیوم (میکروگرم در گرم) در عضله آبیان کفشک زبان گاوی و سنگسر معمولی با استانداردهای جهانی (میکروگرم در گرم)

USEPA	FDA	WHO	کمیته	بیشینه	میانگین و انحراف معیار	فلزات	گونه ماهی
۰/۵	-	۸۰-۶۰	۰/۴۱	۱/۴۲	۰/۹۱±۰/۲۳	نیکل	کفشک زبان گاوی
۱۲۰	-	۱۰	۱/۵۲	۳/۶۴	۲/۶۰±۱/۳۴	مس	
۱۲۰	-	۱۰۰	۱/۳۹	۳/۰۱	۲/۳۲±۰/۶۹	روی	
۰/۵	۵	۰/۴	۰/۲۷	۱/۲۴	۰/۵۱±۰/۳۸	سرب	
۲	۲	۰/۲	۰/۰۴	۰/۱۱	۰/۰۹±۰/۰۸	کادمیوم	
۰/۵	-	۸۰-۶۰	۰/۵	۲/۴۸	۱/۱۹±۰/۴۶	نیکل	سنگسر معمولی
۱۲۰	-	۱۰	۴/۴۶	۶/۸۱	۵/۷۱±۰/۳	مس	
۱۲۰	-	۱۰۰	۵/۱۶	۸/۰۴	۶/۱۲±۵/۳	روی	
۰/۵	۵	۰/۴	۰/۱۳	۰/۳۵	۰/۲۶±۰/۰۴	سرب	
۲	۲	۰/۲	۰/۰۲	۰/۰۷	۰/۰۵۵±۰/۰۳	کادمیوم	

میزان غلظت فلزات سنگین نیکل و کادمیوم در بافت عضله و کبد ماهی سنگسر معمولی (۲۰ نمونه ماهی) در بندر بوشهر در سال ۱۳۹۴ ارزیابی شد. غلظت فلزات سنگین نیکل و کادمیوم در بافت عضله ماهی سنگسر معمولی در منطقه مورد مطالعه پایین تر از حد مجاز استانداردهای سازمان بهداشت جهانی و سازمان غذا و دارو آمریکا تعیین گردید.^{۲۷}

در مطالعه مهدی آبکناری و همکاران میزان جذب روزانه و هفتگی فلزات سرب و کادمیوم ماهی زبان گاوی در بندر ماهشهر ارزیابی شد. میزان جذب روزانه و هفتگی فلز سرب برای فرد بزرگسال به ترتیب ۰/۰۰۱۲ و ۰/۰۰۰۸ و فلز کادمیوم به ترتیب ۰/۰۰۰۱ و ۰/۰۰۱۳ تعیین گردید.^{۲۸} در حالی که در مطالعه حاضر بیشترین میزان مجاز روزانه ماهی کفشک زبان گاوی ۵/۷۵ گرم برای بزرگسالان و ۱/۲۳ گرم برای کودکان تعیین شد. نتایج نشان داد میانگین غلظت فلزات در بافت عضله ماهی در مقایسه با استانداردهای بین المللی پایین تر از حد مجاز است. علت بالا بودن غلظت فلز نیکل در بافت عضله ماهی در منطقه مورد مطالعه وجود صنایع مختلف در کنار سواحل، تخلیه پساب صنعتی و شهری است که خود انواع فلزات سنگین را دربرداشته و موجب افزایش غلظت این فلز در این منطقه می شود. همچنین نتایج شاخص THQ کمتر از یک برای بافت عضله ماهی در منطقه مورد بررسی محاسبه شد. بدین معنی که THQ کمتر از یک در ارزیابی خطر به منزله عدم عوارض نامطلوب بهداشتی برای مصرف کننده است. بنابراین تهدیدی برای بومیان مصرف کننده نیست و میزان CR در مواجهه با عناصر، خطر کمی در برابر سرطان زایی دارد. در نهایت با توجه به نتایج و پی بردن به آلودگی نسبی و اهمیت بوم شناختی منطقه ساحلی بوشهر ارایه راهکارهای مدیریتی در جهت بهبود شرایط موجود پیشنهاد می شود.

نتیجه گیری

نتایج این مطالعه نشان دهنده وجود اختلاف معنی داری و همبستگی مثبت برای غلظت فلزات نیکل، روی، مس، سرب و کادمیوم در بافت عضله ماهی با کلاسهای طولی است. بیشترین میزان غلظت

انگلستان (UKMAFF) و انجمن ملی بهداشت و سلامت استرالیا (NHMRC) و سازمان غذا و داروی امریکا (FDA) پایین تر بود؛ اما مقادیر نیکل بالاتر به دست آمد.^{۲۴}

مطالعه حاضر نشان داد که بین میزان غلظت عناصر با طول کل ماهی در منطقه مورد مطالعه ارتباط مثبت و معنی داری وجود دارد. به عبارت دیگر هر چه طول کل ماهی بیشتر باشد؛ میزان غلظت عناصر نیز در بافت عضله ماهی نیز بیشتر است. همچنین رابطه غلظت عناصر با وزن ماهی نیز رابطه مثبت و معنی داری نشان داد. در مطالعه دادالهی و همکاران یک رابطه خطی مستقیم بین میزان فلزات سرب و کادمیوم با طول و وزن کل در بافت عضله و آبشش ماهی شیرت وجود داشت.^{۲۵} در مطالعه مهدوی با مطالعه میزان فلزات سنگین در بافت های عضله و کبد دو گونه ماهی شورت نقره ای و یلی خط کمائی در سواحل حوضه جنوبی جزیره قشم نشان داد که بین غلظت فلزات و اندازه بدن ماهی ارتباط معنی دار آماری وجود دارد. به عبارت دیگر با افزایش طول و وزن بدن ماهی شدت آلودگی نیز افزایش می یابد.^{۲۶}

بیشتر اندام های ماهی در برابر مسمومیت با فلزات سنگین حساس هستند. در این مطالعه بافت عضله ماهی به دلیل نقش مهم آن در تغذیه انسان و لزوم اطمینان از سلامت آن جهت مصرف، مورد ارزیابی قرار گرفت. مشهود است که عضلات مکان فعالی برای انتقال زیستی و انباشت فلزات نیستند؛ اما از آنجایی که در زیستگاه های آبی آلوده غلظت فلزات در عضلات ماهی ممکن است از محدوده مجاز برای مصرف انسان تجاوز کند؛ بنابراین امکان تهدیدی جدی برای سلامت انسان است. مقادیر نتایج مطالعه حاضر با استانداردهای مجاز تعیین شده فلزات سنگین در سازمان بهداشت جهانی (WHO) و سازمان غذا و دارو آمریکا (FDA) مقایسه شده است (جدول ۷). مقایسه نتایج نشان داد که میزان غلظت سرب در بافت عضله ماهی کفشک زبان گاوی در مقایسه با استاندارد WHO استفاده بالاتر است. سطح میزان غلظت نیکل در مقایسه با استاندارد USEPA بیش از حد مجاز مشاهده شد. در مطالعه عبیدی و همکاران

تشکر و قدردانی

مقاله حاضر مستخرج از طرح تحقیقاتی (شماره ۹۹۰۱۶۷۳۸) صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (INSF) بود. نویسندگان مقاله مراتب تشکر خود را از ریاست محترم دانشگاه گنبد کاووس و مسؤولان محترم آزمایشگاه آن دانشگاه به خاطر همکاری‌های لازم در پیشبرد اهداف پژوهشی این مطالعه اعلام می‌دارند. نویسندگان اعلام می‌دارند که تضاد منافی وجود ندارد.

References

- Mirzaei M, Marofi S, Solgi E, Abbasi M, Karimi R, Riyahi Bakhtyari HR. Ecological and health risks of soil and grape heavy metals in long-term fertilized vineyards (Chaharmahal and Bakhtiari province of Iran). *Environ Geochem Health*. 2020 Jan; 42(1): 27-43. doi: 10.1007/s10653-019-00242-5.
- Kojadinovic J, Potier M, Le Corre M, Cosson RP, Bustamante P. Bioaccumulation of trace elements in pelagic fish from the Western Indian Ocean. *Environmental Pollution*. 2007; 146(2): 548-66. doi: 10.1016/j.envpol.2006.07.015.
- Doğan-Sağlamtimur N, Kumbur H. Metals (Hg, Pb, Cu, and Zn) bioaccumulation in sediment, fish, and human scalp hair: a case study from the city of mersin along the southern coast of Turkey. *Biol Trace Elem Res*. 2010 Jul; 136(1): 55-70. doi: 10.1007/s12011-009-8516-5.
- Khedmatkon A, Mohammadzadeh B, Gholizadeh M, Kazemi A. [Health risk assessment of Aluminum, Vanadium and Tin due to consumption of, and King soldier bream (*Argyrops spinifer*), Pickhandle Barracuda (*Sphyaena jello*) and Japanese threadfin bream (*Nemipteru japonicus*)]. *JAIR* 2022; 10(2): 61-70. doi: 10.22034/jair.10.2.61.
- Sekhar KC, Chary NS, Kamala CT, Raj DS, Rao AS. Fractionation studies and bioaccumulation of sediment-bound heavy metals in Kolleru lake by edible fish. *Environment international*. 2004; 29(7): 1001-8. doi: 10.1016/S0160-4120(03)00094-1.
- Gholizadeh M, Mohammadzadeh B, Kazemi A. Human health risk assessment via the consumption of *platycephalus indicus* in the Persian Gulf, Iran. *Pollution*, 2022; 8(3): 740-50. doi: 10.22059/poll.2021.330784.1188.
- Khansari FE, Ghazi-Khansari M, Abdollahi M. Heavy metals content of canned tuna fish. *Food Chemistry*. 2005; 93(2): 293-96. doi: 10.1016/j.foodchem.2004.09.025.
- Duruibe JO, Ogwuegbu MO, Egwurugwu JN. Heavy metal pollution and human biotoxic effects. *International Journal of Physical Sciences*. 2007; 2(5):112-18. doi: 10.5897/IJPS.9000289
- Gholizadeh M, Patimar R. Ecological risk assessment of heavy metals in surface sediments from the Gorgan Bay, Caspian Sea. *Mar Pollut Bull*. 2018 Dec; 137: 662-67. doi: 10.1016/j.marpolbul.2018.11.009.
- Gholizadeh M, Mohammadzadeh B, Kazemi A. [Assessment of the Consumption Risk of Heavy Metals in *platycephalus indicus* in the Bushehr port, Persian Gulf]. *JFST*. 2021; 10(2): 93-104. [Article in Persian]
- Elsagh A, Jalilian H, Ghaderi Aslshabestari M. Evaluation of heavy metal pollution in coastal sediments of Bandar Abbas, the Persian Gulf, Iran: Mercury pollution and environmental geochemical indices. *Mar Pollut Bull*. 2021 Jun; 167: 112314. doi: 10.1016/j.marpolbul.2021.112314.
- Lee YH, Stuebing RB. Heavy metal contamination in the river toad, *Bufo juxtasper* (Inger), near a copper mine in East Malaysia. *Bull Environ Contam Toxicol*. 1990 Aug; 45(2): 272-79. doi: 10.1007/BF01700195.
- Güleç A, Cevher Ö, Türk A, Ustel F, Yılmaz F. Accelerated corrosion behaviors of Zn, Al and Zn/15Al coatings on a steel surface. *Materiali in Tehnologije*. 2011; 45(5): 477-82.
- Esmailbeigi M, Kazemi A, Gholizadeh M, Rezaeiye RD. Microplastics and heavy metals contamination in *Atropus atropus* and associated health risk assessment in the northwest of the Persian Gulf, Iran. *Regional Studies in Marine Science*. 2023; 57: 102750. doi: 10.1016/j.rsma.2022.102750.
- Perera P. Heavy metal concentrations in the Pacific oyster *Crassostrea gigas*. Thesis. Master of Applied Science. Auckland University of Technology. 2004.
- Khoshbin A. [Bioaccumulation of lead, nickel and cadmium in the muscle, liver and skin of *Otolithes ruber* and *Sphyaena forsteri*]. *Iranian Scientific Fisheries Journal*. 2022; 31(2): 1-11. [Article in Persian]
- Pourang N, Dennis JH, Ghourchian H. Distribution of heavy metals in *Penaeus semisulcatus* from Persian Gulf and possible role of metallothionein in their redistribution during storage. *Environ Monit Assess*. 2005 Jan; 100(1-3): 71-88. doi: 10.1007/s10661-005-7061-8.
- Dadkhal M, Saboori A, Fino P. An Overview of the Recent Developments in Metal Matrix Nanocomposites Reinforced by Graphene. *Materials (Basel)*. 2019 Sep; 12(17): 2823. doi: 10.3390/ma12172823.
- FAO. World Food and Agriculture – Statistical Yearbook 2022. Rome.
- Nollet LML. Hand book of food analysis. 2nd ed. CRC Press. 2014. doi: 10.1201/9781482276459.
- IFOSY. [Iranian Fisheries Organization Statistical Yearbook, 2014-2019]. 1st . 2019. [Persian]
- Gholizadeh M, Mohammadzadeh B, Kazemi A. [Determination of iron and nickel metals in the muscle of fish *Terapon puta*]. *J Gorgan Univ Med Sci* 2021; 23(1): 121-28. [Article in Persian]
- Dural M, Goksu MZL, Ozak AA. Investigation of Heavy Metal Levels in Economically Important Fish Species Captured from the Tuzla Lagoon. *Food Chemistry*. 2007; 102: 415-21. doi: 10.1016/j.foodchem.2006.03.001
- Shahri E, Velayatzadeh M. [The Effect of Cold and Warm Seasons on Accumulation of Nickel, Cadmium and Lead in Muscle of *Acanthopagrus latus* and *Platycephalus indicus* from Oman Sea (Chababar)]. *Iranian Journal of Marine Science and Technology Research*. 2017; 12(1): 10-21. [Article in Persian]
- Dadolahi S, Nabavi S, Khiror N. [The relationship between biometric characteristics of *Barbus grypus* with heavy metals levels in tissue (muscle and gill) from Arvand River, Iran]. *Iranian Fisheries Scientific Journal*. 2009; 17(4): 27-34. doi: 10.22092/isfj.2009.115356 [Article in Persian]
- Mahdavi E. [Measurement of Lead and Cadmium in Sillago

- sihama and Terapon Jarbua fish tissues in the southern region of Qeshm Island]. *Journal of Marine Science and Technology Research*. 2016; 11(1): 22-29. [Article in Persian]
27. Obeidi R, Pazira A, Ghanbari F, Noghdani S. [Determination of heavy metal (Nickel and Cadmium) concentrations in muscle and liver tissues of (*Pomadasys kaakan*) in Bushehr seaport]. *Iranian Scientific Fisheries Journal*. 2017; 26(1): 55-65. doi: 10.22092/ISFJ.2017.110330 [Article in Persian]
28. Mahdi Abkenari A, Yahyavi M, Bahri A, Jafaryan H. Assessment of heavy metals pollution in muscle of sole (*Cynoglossus arel*), spiny lobster (*Panulirus homarus*) and sediments in the northern coasts of the Oman Sea during pre and post monsoon. *Iranian Journal of Fisheries Sciences (IJFS)*. 2020; 19(4): 1638-56.