JOMB
Journal of Marin Biology
J Marin Bio, 2026; 17(4): 59-65 Doi
https://jmb.ahvaz.iau.ir

Journal of Marin Biology

Islamic Azad university
Ahvaz Branch

Original Article

Evaluation of the concentration of some heavy metals in the muscle tissue of black herati fish (*Capoeta aculeata*) from the Qarachay River in Markazi Province

Masoumeh Najibzadeh[1*], Amir Ansari[2]

1. Department of Biology, Faculty of Sciences, Arak University, Arak, Iran.
2. Department of Environmental Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture and Environment, Arak University, Arak, Iran.

Article history:

Received: 7 January 2026
Revised: 25 April 2026
Accepted: 6 May 2026
ePublished: 6 May 2026

***Corresponding author:** Masoumeh Najibzadeh, Department of Biology, Faculty of Sciences, Arak University, Arak, Iran.

E-mail: m-najibzadeh@araku.ac.ir

Abstract

This study aimed to determine the concentrations of heavy metals (Pb, Cr, Cd, Zn, and Cu) in the muscle tissue of black herati fish (*Capoeta aculeata*) and assess the potential health risks of its consumption from the Qarachay River in Markazi Province. In autumn 2024, 16 fish samples were collected from two stations. Muscle tissue was prepared and digested using microwave-assisted acid digestion, and metal concentrations were measured by ICP-OES. Results were reported on a dry-weight basis and compared with FAO/WHO standards. The accumulation pattern was Zn (4.33 mg/kg) > Cu (2.29 mg/kg) > Cd (0.055 mg/kg) > Cr (0.041 mg/kg) > Pb (0.016 mg/kg). Mean concentrations of all metals were below FAO/WHO guideline values. No significant difference was observed between the two stations ($p > 0.05$), and no significant correlation was found between metal concentrations and biometric indices (length and weight). Although the obtained levels were below permissible limits, direct comparison with international standards (which are defined on a wet-weight basis) requires dry-to-wet conversion considering tissue moisture content. Overall, the initial results indicate that the immediate risk of consuming this species is low, but for a more comprehensive assessment, it is recommended to conduct seasonal sampling, calculate risk indices (EDI, THQ, HI), convert data to wet weight, and examine other tissues (liver, gills) and sediments.

Keywords: Metal accumulation, freshwater fish, index, health impact assessment, international standards.

Please cite this article as follows: Najibzadeh M., Ansari A. Evaluation of the Concentration of Some Heavy Metals in the Muscle Tissue of Black Herati Fish (*Capoeta aculeata*) from the Qarachay River in Markazi Province. J Mar Bio, 2026; 17(4): 59–65. DOI:

Copyright © 2026 Journal of Marin Biology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (*http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/*) which permits copy and redistribute the material just in noncommercial usages, provided the original work is properly cite

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2026-07-01]

JOMB
مجله زیست شناسی دریا
دوره ۱۷، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۴، صفحات: ۵۹-۶۵
https://jmb.ahvaz.iau.ir

مقاله اصلی

ارزیابی غلظت برخی از فلزات سنگین در بافت عضله سیاه ماهی هراتی (*Capoeta aculeata*) رودخانه قره چای استان مرکزی

معصومه نجیب‌زاده[1*]، امیر انصاری[2]

۱. گروه زیست شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه اراک، اراک، ایران.
۲. گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده کشاورزی و محیط زیست، دانشگاه اراک، اراک، ایران.

چکیده

این مطالعه با هدف تعیین غلظت فلزات سنگین (سرب، کروم، کادمیوم، روی و مس) در بافت عضله سیاه‌ماهی هراتی (*Capoeta aculeata*) و ارزیابی پیامدهای بهداشتی بالقوه مصرف آن در رودخانه قره‌چای (استان مرکزی) انجام شد. در پاییز ۱۴۰۳، تعداد ۱۶ نمونه ماهی از دو ایستگاه جمع‌آوری گردید. بافت عضله پس از آماده‌سازی و هضم اسیدی با روش مایکروویو، توسط دستگاه ICP-OES تجزیه شد. غلظت‌ها بر پایه وزن خشک گزارش شده و با استانداردهای FAO/WHO مقایسه گردید. نتایج نشان داد الگوی تجمع به ترتیب روی (۴/۳۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) > مس (۲/۲۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) > کادمیوم (۰/۰۵۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) > کروم (۰/۰۴۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) > سرب (۰/۰۱۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) میلی‌گرم بر کیلوگرم است. میانگین غلظت همه فلزات پایین‌تر از حدود مرجع FAO/WHO بود. تفاوت معنی‌داری بین دو ایستگاه مشاهده نشد ($p > 0/05$) و همبستگی معناداری میان غلظت فلزات و شاخص‌های زیست‌سنجی (طول و وزن) وجود نداشت. با وجود آنکه سطوح به‌دست‌آمده کمتر از حدود مجاز هستند، مقایسه مستقیم با استانداردهای بین‌المللی (که بر پایه وزن تر تعریف شده‌اند) نیازمند تبدیل خشک به تر با در نظر گرفتن درصد رطوبت بافت است. در مجموع، نتایج اولیه نشان می‌دهد خطر فوری مصرف این گونه پایین است، اما برای ارزیابی جامع‌تر توصیه می‌شود نمونه‌برداری‌های فصلی، محاسبه شاخص‌های ریسک (EDI، THQ، HI)، تبدیل داده‌ها به وزن تر و بررسی بافت‌های دیگر (کبد، آبشش) و رسوبات تکمیل گردد.

واژگان کلیدی: تجمع فلزات، ماهی آب شیرین، شاخص، ارزیابی پیامدهای بهداشتی، استانداردهای بین‌المللی.

تاریخچه مقاله
تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۴/۱۰/۱۷
تاریخ ویرایش مقاله: ۱۴۰۵/۲/۵
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۵/۲/۱۶
تاریخ انتشار مقاله: ۱۴۰۵/۲/۱۶

تمامی حقوق برای دانشگاه آزاد اهواز محفوظ است.

* نویسنده مسئول: معصومه نجیب‌زاده، گروه زیست شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه اراک، اراک، ایران.

ایمیل:
m-najibzadeh@araku.ac.ir

استناد: نجیب‌زاده، معصومه؛ انصاری، امیر. ارزیابی غلظت برخی از فلزات سنگین در بافت عضله سیاه‌ماهی هراتی (*Capoeta aculeata*) رودخانه قره‌چای استان مرکزی. مجله زیست شناسی دریا، زمستان ۱۴۰۴؛ ۱۷(۴): ۵۹-۶۵

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2026-07-01]

JOMB
مجله زیست شناسی دریا
دوره ۱۷، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۴، صفحات: ۵۹-۶۵
https://jmb.ahvaz.iau.ir

مقدمه

آلودگی آب‌های سطحی با فلزات سنگین (نظیر Pb، Cd، Cr، Zn و Cu) از معضلات زیست‌محیطی پایدار است، زیرا این عناصر در محیط تجزیه نمی‌شوند و می‌توانند از مسیر آب و زنجیره غذایی وارد ارگانیسم‌های آبزی و در نهایت به انسان منتقل شوند؛ اثرات سمی و تجمعی برخی از این عناصر (به‌ویژه سرب و کادمیوم) شناخته‌شده و نگران‌کننده است (Mehana *et al.*, 2020). ماهی‌ها به‌دلیل موقعیت تروفیکی، زیست در محیط آبی و قابلیت تجمع عناصر در بافت‌های مختلف، به‌عنوان شاخص‌های زیستی (bioindicators) برای پایش آلاینده‌های فلزی کاربرد گسترده‌ای دارند. اندازه‌گیری غلظت فلزات در بافت‌های خاص (به‌ویژه بافتِ ماهیچه/فیله که بخش عمده مصرف انسانی را تشکیل می‌دهد) به‌عنوان راهی مستقیم برای ارزیابی ریسک سلامت انسانی و وضعیت زیست‌محیطی به‌کار می‌رود (Ahmed *et al.*, 2019; Mehana *et al.*, 2020). توزیع و تجمع فلزات در ارگان‌های مختلف ماهی تحت تأثیر عوامل متعدد زیست‌محیطی و زیستی قرار دارد، از جمله غلظت و فرمول شیمیایی عنصر، زمان و مسیر مواجهه (آب در مقابل طعمه) ، پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب (pH، سختی، دما) و خصوصیات زیست‌نگاری گونه (عادات غذائی، اندازه، سن). همین موضوع باعث می‌شود که مطالعات محلی- منطقه‌ای برای درک الگوی تجمع و برآورد خطرات انسانی و اکولوژیک ضروری باشند (Javed & Usmani, 2016; Ahmed *et al.*, 2019). در سطح جهانی، مطالعات متعددی به بررسی غلظت فلزات سنگین در گونه‌های مختلف ماهیان آب شیرین و ارزیابی ریسک مصرف آن‌ها پرداخته‌اند. برای نمونه، Rajeshkumar و Li (۲۰۱۸) در دریاچه تایهو چین نشان دادند که غلظت فلزات در بافت عضله ماهیان کپورماهیان پایین‌تر از استانداردهای بین‌المللی است، اما شاخص THQ برای کودکان در برخی موارد بیش از ۱ بود که بیانگر خطر بالقوه است. همچنین، همکاران Adegbola و همکاران (۲۰۲۱) در نیجریه گزارش کردند حتی با غلظت‌های کمتر از حد مجاز، محاسبه شاخص‌های خطر برای گروه‌های حساس جمعیت ضروری است. در ایران و حوزه‌های آبریز همجوار، گونه‌های سَیاه‌ماهی و دیگر گونه‌های خانواده Cyprinidae (از جمله گونه‌های جنس *Capoeta*) مکرراً در مطالعات پایش فلزات بررسی شده‌اند و نشان داده‌اند که بافت عضلانی معمولاً میزان قابل‌توجهی از فلزات قابل‌توجه را نشان می‌دهد که برای ارزیابی ریسک مصرف‌کنندگان اهمیت دارد (Eroğlu *et al.*, 2016). نشان داد که غلظت کروم (۱۰/۹۷–۲/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و روی (۷۲/۵۵۷–۴۱/۱۱۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در بافت‌های کبد و عضله از حد مجاز استانداردهای بین‌المللی فراتر می‌رود، در حالی که غلظت نیکل، مس، سرب و کادمیوم زیر حد مجاز بود. همچنین بالاترین تجمع فلزات در بافت کبد و پایین‌ترین آن در بافت عضله مشاهده شد (Najibzadeh, 2025). در مطالعه‌ای دیگر، نجیب‌زاده و انصاری (۲۰۲۶) به بررسی همزمان میکروپلاستیک و فلزات سنگین در دو گونه ماهی *Cyprinion macrostomus* و *Barbus grypus* از رودخانه کشکان پرداختند و نشان دادند ۷۹٪ نمونه‌ها آلوده به میکروپلاستیک هستند و بین شاخص آلودگی فلزی و فراوانی میکروپلاستیک همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود دارد. اگرچه مقادیر شاخص‌های خطر (THQ, HI, CR) کمتر از ۱ گزارش شد، اما مصرف احشا ماهی می‌تواند خطرات بلندمدتی به همراه داشته باشد (Najibzadeh & Ansari, 2025). در تازه‌ترین مطالعه، نجیب‌زاده و انصاری (۲۰۲۶) با بررسی همزمان آلودگی میکروپلاستیک و فلزات سنگین در ماهیان (*Barbus luteus, Capoeta damascina, Barbus barbulus*) و دوزیستان رودخانه سیمره نشان دادند که دوزیستان حدود ۹٪ بیشتر از ماهیان میکروپلاستیک جذب می‌کنند و الگوی تجمع فلزات در ماهیان (غلبه روی و مس) با دوزیستان (غلبه سرب و کروم) تفاوت معناداری دارد. همچنین همبستگی مثبت قوی بین فراوانی میکروپلاستیک و غلظت فلزاتی مانند سرب، کادمیوم و آرسنیک یافت شد که نقش میکروپلاستیک‌ها را به عنوان بردار افزایش زیست‌دسترسی فلزات مورد تأکید قرار می‌دهد (Najibzadeh & Ansari, 2026). این شواهد زمینه مطالعات هدفمندتر روی گونه‌ها و رودخانه‌های بومی را توجیه می‌کند. در مطالعات داخلی دیگر، پژوهش‌هایی نظیر Sadeghi و همکاران (۲۰۲۰) بر روی ماهیان رودخانه زاینده‌رود و Norani و همکاران (۲۰۲۳) بر روی ماهیان رودخانه تلار، همگی بر ضرورت پایش منطقه‌ای فلزات سنگین و محاسبه شاخص‌های ریسک تأکید داشته‌اند. با وجود این مطالعات، تاکنون مطالعه‌ای بر روی غلظت فلزات سنگین در بافت عضله سیاه‌ماهی هراتی (*C. aculeata*) در رودخانه قره‌چای استان مرکزی انجام نشده است. این در حالی است که مطالعات نجیب‌زاده (۲۰۲۵) روی گونه‌های همجنس در رودخانه خرم‌رود نشان از تجمع قابل توجه فلزات (به ویژه کروم و روی) داشت که لزوم بررسی وضعیت آلودگی در قره‌چای را دوچندان می‌کند.

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2026-07-01]

JOMB
مجله زیست شناسی دریا
دوره ۱۷، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۴، صفحات: ۵۹-۶۵
https://jmb.ahvaz.iau.ir

همچنین با توجه به تأکید نجیب‌زاده و انصاری (۲۰۲۵) بر لزوم محاسبه شاخص‌های ریسک و تبدیل داده‌ها به وزن تر، مطالعه حاضر سعی دارد با ارائه داده‌های پایه، مسیر را برای ارزیابی جامع‌تر خطرات بهداشتی هموار سازد. قره‌چای به عنوان یکی از دو رودخانه دائمی مهم استان، در معرض ورود فاضلاب‌های شهری، پساب‌های کشاورزی و تخلیه‌های صنعتی پراکنده قرار دارد. بنابراین، مطالعه حاضر با هدف ارزیابی غلظت فلزات سنگین (Pb، Cr، Cd، Zn، Cu) در بافت عضله سیاه‌ماهی هراتی از دو ایستگاه رودخانه قره‌چای (ناحیه خنداب، استان مرکزی) انجام شده است. نتایج این مطالعه می‌تواند دو نقش اساسی داشته باشد: (۱) فراهم آوردن داده‌های پایه‌ای برای ارزیابی وضعیت آلودگی فلزی در رودخانه قره‌چای و تعیین نقاط نگرانی و (۲) ارزیابی پتانسیل خطر بهداشتی برای مصرف‌کنندگان محلی در صورت استفاده از این گونه به‌عنوان منبع غذایی.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری در فصل پاییز۱۴۰۳ از دو ایستگاه رودخانه قره چای واقع در خنداب استان مرکزی انجام شد. قره چای یکی از دو رودخانه بزرگ و دائمی استان مرکزی(قره چای و تیره) است به طول تقریبی ۵۴۰ کیلومتر که از ارتفاعات راسوند شهرستان شازند سرچشمه گرفته، در جهت غرب به شرق استان مرکزی جریان دارد و در نهایت به دریاچه نمک قم می ریزد.این رودخانه که نام دیگرش شراء است در مسیر خود از کوهپایه کوه لجور می گذرد و به خنداب که نام دومش را از آن برگرفته می رسد. در مجموع ۱۶ نمونه با استفاده از روش‌های استاندارد، از جمله تورهای مناسب صید شدند. موقعیت جغرافیایی رودخانه قره چای در شکل ۱ نشان داده شده است. ایستگاه های نمونه برداری با توجه به هدف اصلی مطالعه مبنی بر ارزیابی سطوح آلودگی های فلزات سنگین در گونه سیاه ماهی هراتی از نقاط آلوده انجام شد. نمونه‌ها بلافاصله پس از صید در محفظه های حاوی یخ نگهداری شدند و سپس به آزمایشگاه منتقل و تا زمان بررسی آزمایشگاهی در فریزر با دمای بین ۱۶- تا ۲۰- قرار داده شدند. همچنین برای حذف هر نوع آلودگی سطحی نمونه ها با آب مقطر به دقت شسته شدند. در ادامه هر نمونه کد گذاری شد و ویژگی های زیست سنجی مانند طول (با کولیس با دقت ۱ میلی‌متر) و وزن (ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم) برای هر نمونه اندازه گیری شد.

قبل از کالبد شکافی و آماده سازی نمونه های ماهی با آب مقطر شست و شو داده شدند تا پوشش لزج و ذرات خارجی جذب کننده فلزات از سطح بدن دفع گردد. برای اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین(Pb ، Cr، Cd، Zn، Cu) از بافت عضله هر نمونه استفاده شد. نمونه های بافت عضله توسط تیغه اسکالپل عاری از آلودگی به دقت از بدن ماهی ها جدا شد و درون ورقه های پلاستیکی عاری از آلودگی قرار داده شد. نمونه های بافت کدگذاری شده و تا زمان شروع آنالیز در دمای منهای ۲۰ درجه سانتی گراد قرارداده شدند.

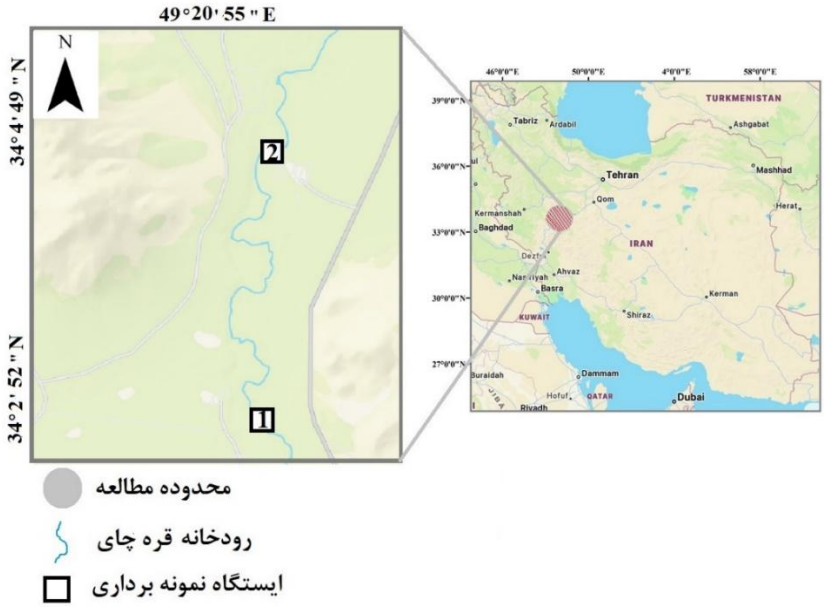
بافت ماهیچه هر ماهی برای خشک کردن به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۱۲۰ درجه سانتی گراد قرار داده شدند.حدود ۱ گرم از پودر بافت خشک‌شده وزن و سپس با ۸ mol/L اسید نیتریک غلیظ (۶۹٪) و ۲ mL پراکسید هیدروژن (۳۰٪) در دستگاه مایکروویو با دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد هضم شد (Irving *et al.*, 2008). محلول شفاف حاصل پس از سرد شدن و رقیق‌سازی با آب مقطر دوبار تقطیر، توسط دستگاه ICP-OES (PlasmaQuant 9100) قرائت شد. مقادیر نهایی بر حسب میلی‌گرم فلز بر کیلوگرم وزن خشک بیان گردید. برای اطمینان از صحت نتایج، از نمونه‌های شاهد (بلانک) و مواد مرجع استاندارد استفاده شد.

پیش از انجام تحلیل‌های آماری، نرمال بودن توزیع داده‌ها برای غلظت فلزات سنگین (Pb ، Cr، Cd، Zn، Cu) با آزمون شاپیرو–ویلک (Shapiro-Wilk) بررسی شد. نتایج نشان داد که در اکثر موارد (بیش از ۹۰ درصد متغیرها)، فرض نرمال بودن رد شد ($p < ۰/۰۵$)، بنابراین برای مقایسه بین گونه‌ها از آزمون‌های غیرپارامتریک استفاده گردید.

برای مقایسه غلظت فلزات مختلف در بافت عضله متعلق به دو ایستگاه آزمون تک متغیره واریانس یک طرفه و چند متغیره مؤلفه اصلی استفاده شد. همچنین آزمون همبستگی پیرسون برای ارزیابی روابط بالقوه بین غلظت فلزات سنگین در بافت عضله و شاخص‌های زیست سنجی مانند وزن و طول انجام شد. کلیه تحلیل‌ها با نرم‌افزار PAST (نسخه۲/۲۰) انجام شد و سطح معنی‌داری ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2026-07-01]

JOMB
مجله زیست شناسی دریا
دوره ۱۷، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۴، صفحات: ۵۹-۶۵
https://jmb.ahvaz.iau.ir



شکل ۱. نمایش موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری از رودخانه قره چای قره چای استان مرکزی

نتایج

در مطالعه حاضر، تعداد کل ۱۶ نمونه متعلق به گونه سیاه ماهی هراتی *C. aculeata* از دو ایستگاه رودخانه قره چای واقع در خنداب استان مرکزی جمع‌آوری شد. اطلاعات مربوط به میانگین وزن، طول کل و تعداد نمونه‌های جمع‌آوری شده برای این گونه در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱. اطلاعات کلی مربوط به میانگین وزن، طول کل، تعداد نمونه‌های جمع‌آوری شده ، غلظت فلزات سنگین (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در بافت عضله سیاه ماهی هراتی (*Capoeta aculeata*) رودخانه قره چای استان مرکزی بر مبنا.

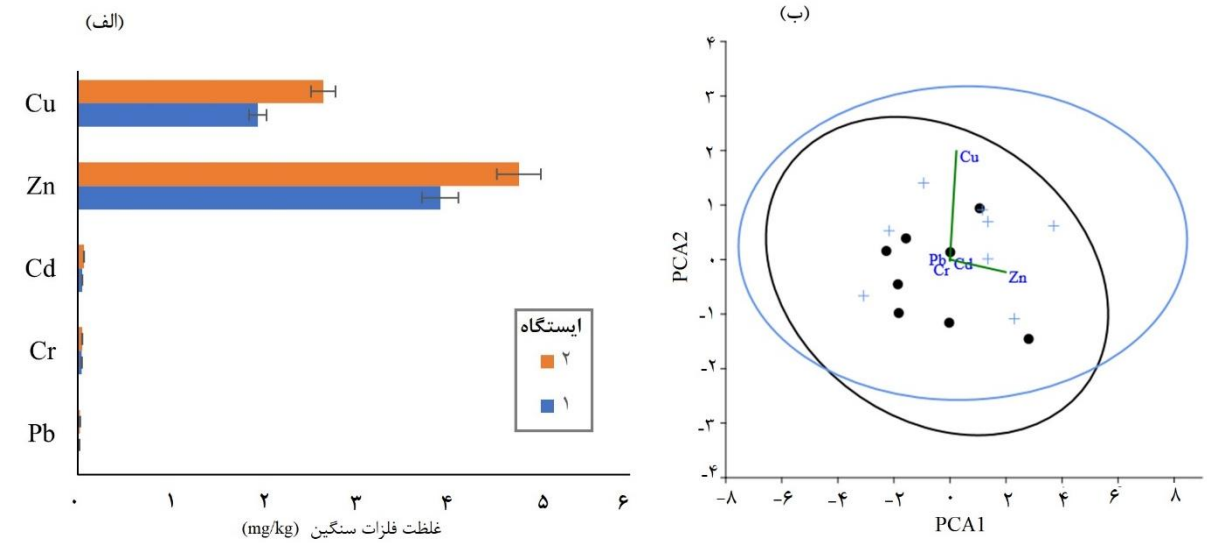
گونه	ایستگاه/تعداد	طول (میلی متر)	وزن (گرم)	Pb	Cr	Cd	Zn	Cu
Capoeta aculeata	۱/۸	۱۴۹/ ۴۴± ۳/۱۰	۵۶/۷۲± ۴/۶۳	۰/۰۱۲۵	۰/۰۳۸۷	۰/۰۴۶۲	۳/۹۱۲۵	۱/۹۴
	۲/۸	۱۶۴/۶۴±۳/۶۷	۶۴/۱	۰/۰۲۱۲	۰/۰۴۵	۰/۰۶۳۷	۴/۷۵۶۲	۲/۶۴۶۲
	Kruskal- Wallis test, p			۰/۲۲۳	۰/۸۳۱	۰/۳۹۷	۰/۳۴۴	۰/۰۹۲
WHO				۲	۰/۱۵	–	–	۳
FAO				۲/۵	۱	۰/۲	–	۱۰

میانگین غلظت سرب، کروم، کادمیوم، روی و مس در بافت عضله گونه سیاه ماهی هراتی که از دو ایستگاه نمونه‌برداری از رودخانه قره چای جمع‌آوری شده بودند، در جدول ۱ ارائه شده است. بر اساس نتایج آزمون کروسکال–والیس و PCA، اگرچه سطح روی، مس، کادمیوم ، کروم و سرب به طور کلی در ایستگاه ۲در مقایسه ایستگاه ۱ بالاتر بود، اما میانگین غلظت تمام این یون‌های مورد مطالعه در بافت عضله سیاه ماهی هراتی در دو ایستگاه معنی‌داری نبود ($p> ۰/۰۵$) (شکل ۲ الف و ب). در دو ایستگاه، الگوی غلظت فلزات سنگین در این گونه از این ترتیب پیروی می‌کرد: روی (۴/۳۳) > مس (۲/۲۹) > کادمیوم (۰/۰۵۵) > کروم (۰/۰۴۱) > سرب (۰/۰۱۶).

مقایسه غلظت فلزات سنگین در بافت عضله سیاه ماهی هراتی با استانداردهای ایمنی بین‌المللی (FAO و WHO) نشان داد که غلظت تمام فلزات مورد مطالعه پایین‌تر از حداکثر سطح مجاز تعیین‌شده توسط این سازمان‌ها است (جدول ۱).

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2026-07-01]

JOMB
مجله زیست شناسی دریا
دوره ۱۷، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۴، صفحات: ۵۹-۶۵
https://jmb.ahvaz.iau.ir



شکل ۲. مقایسه گرافیکی غلظت فلزات سنگین بر اساس نتایج آزمون کروسکال-والیس (الف) و چند متغیره مولفه‌های اصلی (PCA) با استفاده از دو مولفه اصلی اول (PCs) (ب) در سیاه ماهی هراتی (*C. aculeata*) از دو ایستگاه نمونه‌برداری در رودخانه قره چای استان مرکزی

آزمون‌های همبستگی پیرسون برای ارزیابی روابط بالقوه بین غلظت فلزات سنگین در بافت عضله و شاخص‌های زیست سنجی مانند وزن و طول انجام شد که نتایج نشان داد که هیچ همبستگی معنی‌داری در همه غلظت فلزات سنگین با طول یا وزن سیاه ماهی هراتی وجود ندارد ($p>۰/۰۵$). این نشان می‌دهد که تجمع فلزات سنگین در بافت عضله سیاه ماهی هراتی مستقل از پارامترهای زیست سنجی است.

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که میانگین غلظت فلزات سنگین در بافت عضله سیاه‌ماهی هراتی (*C. aculeata*) به ترتیب Zn > Cu > Cd > Cr > Pb بود. این الگو نشان‌دهنده غلبه عناصر ضروری (Zn و Cu) بر عناصر غیرضروری و بالقوه سمی (Pb و Cd) است. چنین الگویی در مطالعات متعدد بر روی ماهیان آب شیرین گزارش شده و بازتابی از نقش زیستی و فیزیولوژیک عناصر ضروری است. روی و مس به‌عنوان ریزمغذی‌های حیاتی در فرآیندهای متابولیک، سیستم ایمنی و رشد بافتی اهمیت دارند و ماهیان مکانیزم‌های هموستاتیک فعالی برای تنظیم سطح آنها در بدن دارند، درحالی‌که برای عناصر غیرضروری مانند سرب و کادمیوم چنین سازوکار تنظیمی وجود ندارد (Rajeshkumar and Li, 2018). بنابراین تجمع بالاتر Zn و Cu نسبت به سایر عناصر، منطقی و قابل انتظار است. مطالعات قبلی بر روی گونه‌های جنس *Capoeta* در ایران و سایر مناطق نیز الگوهای مشابهی گزارش کرده‌اند. برای نمونه، پژوهش Eroğlu و همکاران (۲۰۱۶) بر روی *C. trutta* در ترکیه نشان داد که غلظت Zn و Cu در عضله به‌طور معناداری بالاتر از Pb و Cd است. همچنین مطالعه اخیر Norani و همکاران (۲۰۲۳) بر روی *C. razii* در رودخانه تلار ایران، تجمع بالاتر فلزات ضروری در بافت عضله نسبت به فلزات غیرضروری را گزارش کرد. مقایسه این نتایج با داده‌های حاضر نشان می‌دهد که سیاه‌ماهی هراتی در رودخانه قره‌چای همان الگوی عمومی تجمع فلزات در عضله را دنبال می‌کند. یکی دیگر از یافته‌های این تحقیق آن بود که تفاوت معنی‌داری در غلظت فلزات بین دو ایستگاه نمونه‌برداری مشاهده نشد. این موضوع را می‌توان با چند عامل توضیح داد. نخست، اندازه نمونه (n=16) محدود بود و همین مسئله می‌تواند توان آماری لازم برای شناسایی تفاوت‌های کوچک را کاهش دهد. دوم، پراکنش منابع آلودگی در حوضه آبریز قره‌چای به‌گونه‌ای است که تفاوت مکانی بارزی بین ایستگاه‌ها ایجاد نمی‌کند. این رودخانه تحت تأثیر فاضلاب شهری، پساب کشاورزی و ورودی‌های پراکنده صنعتی است که باعث یکنواختی نسبی در آلودگی می‌شود. سوم، نمونه‌برداری در فصل

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2026-07-01]

JOMB
مجله زیست شناسی دریا
دوره ۱۷، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۴، صفحات: ۵۹-۶۵
https://jmb.ahvaz.iau.ir

پاییز انجام شد که احتمالاً شرایط هیدرولوژیک (مانند جریان‌های سطحی و بارش‌های فصلی) باعث اختلاط و همگن‌شدن غلظت آلاینده‌ها شده است. مطالعات دیگر نیز نشان داده‌اند که الگوهای تجمع فلزات می‌توانند تغییرات زمانی و مکانی قابل توجهی داشته باشند (Balzani *et al.*, 2021). از منظر زیست‌سنجی، نتایج نشان دادند که غلظت فلزات در بافت عضله با طول و وزن ماهی همبستگی معنی‌داری ندارد. این یافته در هماهنگی با برخی از مطالعات مشابه است. در حالی‌که در برخی گونه‌ها رابطه مثبت یا منفی بین اندازه بدن و سطح تجمع گزارش شده است، در بسیاری موارد چنین رابطه‌ای دیده نمی‌شود. این امر می‌تواند ناشی از عوامل متعددی باشد: تفاوت در فیزیولوژی گونه‌ها، تغییرات در رژیم غذایی طی مراحل رشد، یا نقش غالب شرایط محیطی نسبت به فاکتورهای درون‌زاد (Balzani *et al.*, 2021). بنابراین، عدم مشاهده همبستگی در این مطالعه را نمی‌توان به‌عنوان نبود کامل اثرات زیستی دانست، بلکه احتمالاً ناشی از ترکیب عوامل محیطی و ویژگی‌های زیستی گونه است. نکته مهم دیگر، مقایسه نتایج با استانداردهای بین‌المللی است. در این مطالعه میانگین غلظت فلزات در بافت عضله کمتر از حدود مجاز تعیین‌شده توسط FAO/WHO و Codex Alimentarius گزارش شد. این امر در نگاه نخست نشان‌دهنده وضعیت نسبتاً مطلوب و ایمن برای مصرف انسانی است. با این حال باید توجه داشت که داده‌ها در این مطالعه بر اساس وزن خشک (dry weight) ارائه شده‌اند، در حالی‌که بیشتر استانداردهای بین‌المللی بر مبنای وزن تر (wet weight) تعریف شده‌اند. از آن‌جا که رطوبت بافت عضله ماهی معمولاً بین ۶۰ تا ۸۰ درصد است، تبدیل داده‌ها از وزن خشک به وزن تر ضروری است تا مقایسه معتبر باشد (Codex, 1995; USEPA, 2021). عدم توجه به این موضوع می‌تواند منجر به کم‌برآورد یا بیش‌برآورد سطح ایمنی شود. بنابراین توصیه می‌شود در گزارش‌های آینده، داده‌ها هم به‌صورت خشک و هم به‌صورت تر ارائه شوند. از منظر بهداشت عمومی، پایین بودن میانگین غلظت‌ها نسبت به حدود مجاز، نشانه مثبتی است. با این حال، صرف مقایسه با مقادیر مرجع کافی نیست. روش‌های استاندارد ارزیابی ریسک، مانند محاسبه شاخص دریافت روزانه (Estimated Daily Intake, EDI) و شاخص خطر غیرسرطانی (Target Hazard Quotient, THQ) می‌توانند تصویر دقیق‌تری از میزان خطر ارائه دهند. برای مثال، Ahmed و همکاران (۲۰۱۹) در یک مطالعه بر روی ماهیان استوایی نشان دادند که حتی زمانی که غلظت فلزات کمتر از حدود مجاز باشد، شاخص THQ برای کودکان می‌تواند بیش از یک شود و خطر بالقوه را نشان دهد. بنابراین پیشنهاد می‌شود برای تکمیل داده‌های این مطالعه، محاسبات EDI و THQ برای گروه‌های مختلف مصرف‌کننده (بزرگسالان و کودکان) انجام شود (Adegbola *et al.*, 2021). از نظر محدودیت‌ها، این تحقیق تنها به بررسی بافت عضله محدود شد. در حالی‌که بافت‌هایی مانند کبد و آبشش معمولاً سطوح بالاتری از فلزات سمی را نشان می‌دهند و می‌توانند تصویر دقیق‌تری از وضعیت زیستی و منابع آلودگی ارائه دهند (Rajeshkumar and Li, 2018). همچنین نمونه‌برداری تنها در یک فصل انجام شده و تغییرات فصلی در نظر گرفته نشده است. مطالعات نشان داده‌اند که نوسانات فصلی (مانند افزایش بارندگی یا تغییر دما) می‌تواند به تغییرات چشمگیر در سطح آلاینده‌ها منجر شود (Norani *et al.*, 2023). بنابراین برای ارزیابی کامل، انجام نمونه‌برداری فصلی و آنالیز بافت‌های متنوع توصیه می‌شود. بطور کلی یافته‌های این مطالعه نشان داد که غلظت فلزات سنگین (Pb، Cr، Cd، Zn و Cu) در بافت عضله سیاه‌ماهی هراتی (*C. aculeata*) از رودخانه قره‌چای پایین‌تر از حدود مجاز FAO/WHO قرار دارد و در مقایسه با مطالعات مشابه، الگوی عمومی تجمع فلزات (غلبه عناصر ضروری بر غیرضروری) را نشان می‌دهد. این نتایج بیانگر آن است که مصرف این گونه در شرایط فعلی احتمالاً خطری فوری برای سلامت عمومی ایجاد نمی‌کند. با این حال، محدودیت‌هایی همچون حجم نمونه، نمونه‌برداری تک‌فصلی، ارائه داده‌ها بر پایه وزن خشک و عدم بررسی بافت‌های دیگر ایجاب می‌کند که نتایج با احتیاط تفسیر شوند. بنابراین، برای رسیدن به ارزیابی جامع‌تر، انجام نمونه‌برداری‌های فصلی، تحلیل بافت‌های مختلف، تبدیل داده‌ها به وزن تر و محاسبه شاخص‌های ریسک (EDI، THQ و HI) توصیه می‌شود. در مجموع، مطالعه حاضر داده‌های پایه‌ای ارزشمندی در زمینه آلودگی فلزی در رودخانه قره‌چای فراهم کرده که می‌تواند مبنایی برای پایش‌های آینده و اقدامات مدیریتی در راستای حفاظت از سلامت اکوسیستم و مصرف‌کنندگان انسانی باشد.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از سازمان محیط زیست استان مرکزی جهت کمک در انجام این مطالعه تشکر و قدردانی می‌نماییم.

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2026-07-01]

References

1. **Adegbola, I. P., Aborisade, B. A., & Adetutu, A., 2021.** Health risk assessment and heavy metal accumulation in fish species (Clarias gariepinus and Sarotherodon melanotheron) from industrially polluted Ogun and Eleyele Rivers, Nigeria. Toxicology Reports, 8, 1841-1849.
2. **Ahmed, A. S. S., Sultana, S., Habib, A., Ullah, H., Musa, N., Hossain, M. B., et al., 2019.** Bioaccumulation of heavy metals in some commercially important fishes from a tropical river estuary suggests higher potential health risk in children than adults. PLoS ONE, 14(10), e0219336.
3. **Balzani, P., Kouba, A., Tricarico, E., Kourantidou, M., & Haubrock, P. J., 2021.** Metal accumulation in relation to size and body condition in an all-alien species community. Environmental Science and Pollution Research, 29(17), 25848–25857.
4. **Codex Alimentarius Commission (FAO/WHO), 1995.** CXS 193-1995: General Standard for Contaminants and Toxins in Food and Feed. FAO/WHO.
5. **Eroğlu, M., Düşükcan, M., & Canpolat, Ö., 2016.** Some heavy metals in the muscle of Capoeta trutta: Risk assessment for the consumers. Cellular and Molecular Biology (CMB), 62(6), 22–26.
6. **Irving, E. C., Lowell, R. B., Culp, J. M., Liber, K., Xie, Q., & Kerrich, R., 2008.** Effects of arsenic speciation and low dissolved oxygen condition on the toxicity of arsenic to a lotic mayfly. Environmental Toxicology and Chemistry, 27(3), 583–590.
7. **Javed, M. & Usmani, N., 2016.** Accumulation of heavy metals and human health risk assessment via the consumption of freshwater fish Mastacembelus armatus inhabiting, thermal power plant effluent loaded canal. SpringerPlus, 5(1), p.776.
8. **Mehana, E.-S. E., Khafaga, A. F., Elblehi, S. S., Abd El-Hack, M. E., Naiel, M. A. E., Bin-Jumah, M., Othman, S. I., & Allam, A. A., 2020.** Biomonitoring of heavy metal pollution using acanthocephalans parasite in ecosystems: An updated overview. Animals, 10(5), 811.
9. **Najibzadeh, M. & Ansari, A., 2025.** Microplastics and heavy metals in freshwater fish: A comprehensive study of contamination and health risks. Environmental Research, p.123570.
10. **Najibzadeh, M. & Ansari, A., 2026.** Combined contamination of microplastics and heavy metals in a riverine ecosystem: insights from fish and amphibian species. Environmental Pollution, p.127639.
11. **Najibzadeh, M., 2025.** Monitoring and Assessment of Heavy Metal Concentrations in Two Black Fish Species, Capoeta saadii (Heckel, 1847) and Capoeta trutta (Heckel, 1843), in Western Iran. Biological Trace Element Research, 203(9), 4853-4862.
12. **Norani, E., Haghparast, S., Raeisi, H., & Bastami, K. D., 2023.** A spatiotemporal study on contamination and bioaccumulation of heavy metals in sediment and cyprinid fish (Capoeta razii) from Telar River, Iran. Marine Pollution Bulletin, 194, 115421.
13. **Rajeshkumar, S., & Li, X., 2018.** Bioaccumulation of heavy metals in fish species from the Meiliang Bay, Taihu Lake, China. Toxicology Reports, 5, 288–295.
14. **USEPA, 2021.** Technical support document: Conversion of wet to dry tissue weight for fish tissue guidance. United States Environmental Protection Agency.

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2026-07-01]