فیزیولوژی و بیوتکنولوژی آبزیان
سال یازدهم، شماره سوم، پاییز ۱۴۰۲

مقاله پژوهشی

بررسی غلظت فلزات سنگین در عضله کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) تالاب بین المللی هامون پس از دوره بیست ساله خشکسالی

ساحل پاکزاد توچایی[1]*، عبدالعلی راهداری[2]، علی خسروانی‌زاده[2]

DOI: 10.22124/japb.2022.22829.1478

تاریخ دریافت: شهریور ۱۴۰۱ تاریخ پذیرش: آذر ۱۴۰۱

چکیده

تعیین غلظت فلزات سنگین در بافت عضله کپور معمولی *Cyprinus carpio* به دلیل مصرف بالای آن در منطقه سیستان در زمان پرآبی تالاب بین المللی هامون، ضروری به نظر می‌رسد. بر این اساس، در مطالعه حاضر، ماهی کپور معمولی از تالاب‌های هامون پوزک، هیرمند و صابوری تهیه و پس از هضم اسیدی، غلظت برخی فلزات سنگین توسط دستگاه ICP اندازه‌گیری شد. نتایج تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها، اختلاف معنی‌داری را در بین سه دریاچه نشان داد. به گونه‌ای که دریاچه صابوری دارای بیشترین غلظت فلزات بود ($P<0/05$). همچنین الگوی تجمع فلزات در بافت عضله به صورت Zn>Fe>Cu>Mn>Cr>Ni>Pb>Cd به دست آمد. غلظت فلزات Ni، Cr و Mn نیز از استاندارد WHO و FAO بالاتر بود. بیشترین میزان شاخص THQ در کودکان و بالغین به ترتیب ۲/۴۵۸ و ۰/۰۹۷ برای عنصر Cd به دست آمد. مقدار شاخص HI نیز در بالغین کمتر از ۱ محاسبه شد، که نشان می‌دهد، مقدار مصرف ۲۲۷ گرم برای این گروه، خطری به همراه ندارد. در حالی که این شاخص در کودکان ۶/۰۸ محاسبه شد. درنتیجه، مصرف ماهی کپور معمولی می‌تواند برای کودکان بویژه در مورد عنصر Cd آسیب به همراه داشته باشد.

واژگان کلیدی: *هلمند، فرارود، تجمع‌زیستی، برآورد تهدید سلامت.*

۱- استادیار گروه پژوهشی اکوسیستم‌های طبیعی، پژوهشکده تالاب بین المللی هامون، پژوهشگاه زابل، زابل، ایران.
۲- استادیار گروه پژوهشی علوم آبزیان، پژوهشکده تالاب بین المللی هامون، پژوهشگاه زابل، زابل، ایران.
* نویسنده مسئول: s.pakzad@uoz.ac.ir

مقدمه

تالاب بین‌المللی هامون بزرگ‌ترین دریاچه آب شیرین ایران است که از نظر وسعت، سومین دریاچه بزرگ کشور پس از دریاچه‌های خزر و ارومیه و هفتمین تالاب بین‌المللی جهان است و یکی از ذخیره‌گاه‌های زیست‌کره در ایران محسوب می‌شود. این دریاچه از سه بخش هامون پوزک (در شمال شرقی)، هامون صابوری (در شمال) و هامون هیرمند (در غرب و جنوب غربی سیستان) تشکیل شده است که در زمان فراوانی آب به هم می‌پیوندند و دریاچه مشترک هامون بین افغانستان و ایران را تشکیل می‌دهند (Nouri et al., 2007; Maleki et al., 2018). به دلیل اهمیت بوم‌شناختی تالاب هامون و وابستگی مستقیم مردم تالاب از لحاظ معیشت و همچنین صید ماهیان این تالاب و تغذیه مردم منطقه، تعیین وضعیت سلامت این تالاب و مقابله با تهدیدات محیطی آلاینده‌ها ضروری است. از طرفی دیگر، با توجه به نبود اطلاعات دقیق از وضعیت بالادست رودخانه‌های تامین کننده آب تالاب به علت جنگ‌های طولانی در کشور افغانستان و همچنین امکان ورود آلاینده‌ها از منابع مختلف مانند سلاح‌های جنگی و ورود فاضلاب در مسیر رودها (Yuan et al., 2011)، بررسی وضعیت تالاب از منظر آلودگی ضروری به نظر می‌رسد. فلزات سنگین از مهم‌ترین منابع آلاینده بوم‌سازگان‌های آبی هستند که از طریق منابع طبیعی و انسانی به این بوم‌سازگان‌ها وارد می‌شوند. فلزات سنگین غیرقابل تجزیه هستند و به تدریج در بدن موجودات انباشته می‌شوند. زیرا فلزات سنگین پس از ورود به محیط‌های آبی در سطوح مختلف زیستی مانند فیتوپلانکتون‌ها، باکتری‌ها، قارچ‌ها و غیره جذب می‌شوند و به سطوح بالاتر قابل انتقال هستند (Chan et al., 2021).

در بین آبزیان، ماهیان در معرض انواع آلودگی‌های آبی بویژه فلزات سنگین هستند که از طریق آبشش و پوست و یا دریافت از غذای آلوده می‌توانند آنها را جذب کنند (Imanpour Namin et al., 2022). فلزات جذب شده در اندام‌های ماهیان تجمع یافته و قادر هستند از طریق زنجیره غذایی انتقال یابند. بر این اساس در مطالعات متعددی به منظور پایش زیستی بوم‌سازگان از آبزیان استفاده می‌شود (Adegbola et al., 2021). با دستیابی به میزان تجمع آلاینده در بافت‌های آبزیان می‌توان از آنها به عنوان مرجعی برای پایش پراکندگی و اثرات آلودگی استفاده کرد (Wang et al., 2022). بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که

علاوه بر تاثیرپذیری مستقیم از خود بدنه آبی، رژیم غذایی ماهیان نیز موجب تجمع فلزات در بافت‌های ماهیان می‌شود. بنابراین، این دسته از آبزیان قادر هستند وضعیت محیط را به خوبی نشان دهند. Khoshnamvand و همکاران (۲۰۱۰) به منظور بررسی وضعیت کیفی آب دریاچه قشلاق سنندج و همچنین اطمینان از سلامت بافت خوراکی ماهی کپور نقره‌ای (*Hypophthalmichthys molitrix*)، غلظت فلز سنگین جیوه را در بافت عضله این ماهی بررسی کردند. آنها نشان دادند که غلظت جیوه در بافت ماهی از استانداردهای موجود بالاتر است. Pakzad Toochaei (۲۰۱۳) به منظور بررسی وضعیت کیفی منابع آبی چاه نیمه‌های سیستان، غلظت فلزات سنگین نیکل، سرب، مس و روی را در بافت‌های مختلف ماهی کپور نقره‌ای مورد مطالعه قرار داد. در این مطالعه الگوی تجمع عناصر در بافت‌های ماهی متفاوت بوده و پایین‌تر بودن غلظت عناصر سمی نسبت به استانداردهای موجود نشان دهنده آلوده نبودن این منابع آبی به عناصر سنگین بود. در نتیجه از جمله مهم‌ترین روش‌های ارزیابی کیفی محیط، انتخاب گونه‌های مختلف ماهیان به عنوان نشانگر زیستی فلزات مختلف در این بوم‌سازگان‌ها است (Soegianto and Irawan, 2009; Baby et al., 2010; Gautam et al., 2015; Sankhla et al., 2016; Rajeshkumar and Li, 2018). در مطالعه Authman و همکاران (۲۰۱۵) نشان داده شد که فلزات سنگین در بافت‌های ماهی تجمع یافت که می‌تواند در بررسی آلودگی یک بوم‌سازگان قابل استفاده باشد. همچنین از آنجایی که انواع ماهیان مصرف خوراکی دارند، در نتیجه فلزات تجمع یافته در بافت عضله می‌تواند خطراتی را برای مصرف کننده به همراه داشته باشد (Yi et al., 2017). به طوری که در بسیاری از مطالعات، تهدید مصرف خوراکی آبزیان از جنبه فلزات سنگین بررسی شده است (Ob and Lo, 2019; Han et al., 2021).

کپورماهیان نیز از جمله آبزیانی هستند که در مطالعات مختلف برای پایش وضعیت سلامت محیط مورد مطالعه قرار می‌گیرند. کپور معمولی با نام علمی *Cyprinus carpio* در تمام حوضه-های آبریز ایران پراکنش دارد. این ماهی همه‌چیزخوار است و قابلیت زیست را در دمای ۱ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد دارد (Yeganeh et al., 2013). از آنجایی که این ماهی قادر است آلاینده‌های محیط بویژه فلزات سنگین را در بافت‌های خود تجمع دهد، در برخی از مطالعات برای بررسی وضعیت اکوسیستم‌های آبی، مورد

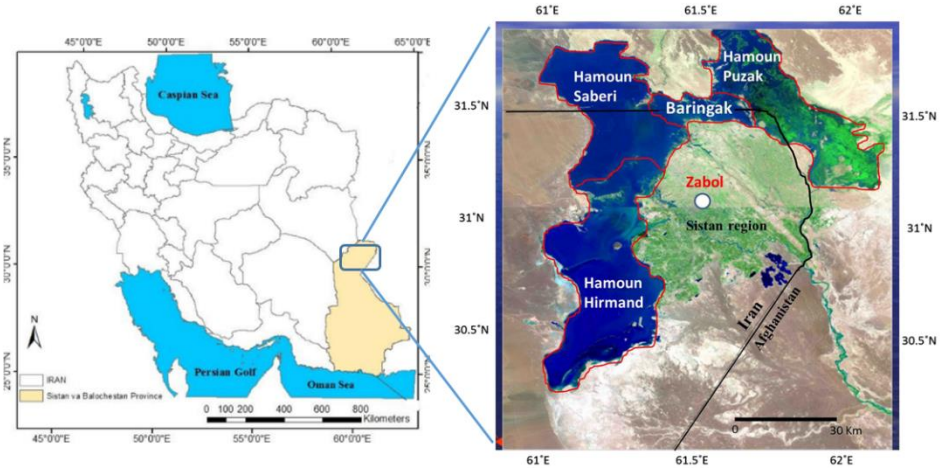
استفاده قرار گرفته است (Aissaoui et al., 2017; Siraj et al., 2018). از طرفی دیگر، با توجه به مصرف خوراکی این ماهی، از منظر تهدید سلامت مصرف‌کنندگان و استانداردهای موجود نیز در مطالعات مختلفی بررسی شده است. به عنوان مثال، Ettefaghdoost (۲۰۱۹) در بررسی غلظت فلزات سنگین در بافت عضله کپور معمولی در رودخانه سیاه‌درویشان گیلان نشان داد که غلظت فلزات آرسنیک، سرب و منگنز در بافت عضله بالاتر از حد استاندارد است. Jilai و همکاران (۲۰۱۹) غلظت فلزات روی، مس، آرسنیک، سرب، کادمیم و جیوه را در آب و عضلات ماهی کپور معمولی در رودخانه Mekong (جنوب شرق آسیا) بررسی کرده و پتانسیل تهدید سلامت فلزات را نیز محاسبه کردند. در این مطالعه شاخص THQ (ضریب خطر بیماری‌های غیر سرطانی، Target Hazard Quotient) برای مصرف کنندگان بالاتر از ۱ بدست آمد و نتایج حاکی از تهدید مصرف ماهی برای مصرف‌کنندگان بویژه برای فلز آرسنیک بود (Jilai et al., 2019).

با آب‌گیری تالاب و آغاز صید و صیادی، مصرف ماهی کپور معمولی در منطقه سیستان، افزایش چشمگیری پیدا می‌کند. در عین حال، از میزان غلظت فلزات سنگین در عضله این ماهی اطلاعاتی موجود نیست و مطالعات انجام شده پیشین در منطقه سیستان تنها در منابع آبی چاه نیمه‌های سیستان انجام شده است. همچنین مطالعه‌ای منسجم در ارتباط با تعیین غلظت فلزات سنگین و تغییرات آن در بین سه بخش تالاب هامون نیز صورت نگرفته است. بنابراین بررسی وضعیت سلامت تالاب هامون از نظر فلزات سنگین به کمک ماهی کپور معمولی و بویژه تعیین تهدید سلامت فلزات سنگین برای مصرف‌کنندگان این ماهی در منطقه ضروری به نظر می‌رسد. از این رو، در پژوهش حاضر به منظور اطمینان از وضعیت سلامت آب‌های ورودی به تالاب بین المللی هامون و لزوم کسب اطمینان از سلامت ماهی کپور معمولی از نظر مصرف‌کنندگان، غلظت فلزات سنگین سمی کادمیم (Cd)، سرب (Pb)، نیکل (Ni) و کروم (Cr) و فلزات ضروری مس (Cu)، روی (Zn)، آهن (Fe) و منگنز (Mn) در بافت عضله ماهی کپور معمولی دریاچه‌های هامون صابوری، هامون هیرمند و هامون پوزک بررسی شد.

مواد و روش‌ها

تهیه و آماده‌سازی نمونه‌ها

تعداد ۲۰ عدد کپور معمولی با اندازه‌های تقریبا یکسان از صیدگاه‌های هامون‌های صابوری، پوزک و هیرمند در طی ماه‌های اردیبهشت و خرداد ۱۳۹۹ (زمان پرآبی تالاب) به روش گوش‌گیر با تور انتظاری به صورت زنده و به کمک صیادان محلی صید شد (شکل ۱). پس از تهیه نمونه‌ها، سطح رویی ماهی به طور کامل توسط آب دو بار تقطیر برای رفع انواع آلودگی‌ها شستشو داده شد و سپس بافت عضله هر یک از ماهی‌ها توسط تیغ اسکالپل فاقد آلودگی جداسازی و در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد تا مرحله هضم، نگهداری شد. برای انجام هضم، بافت مورد نظر در دمای ۵۴- درجه سانتی‌گراد توسط خشک‌کن سرمایشی (OPR-FDU-7012 ،Freeze Drier) به مدت ۲۴ ساعت خشک شد. نمونه‌های خشک شده پس از سرد شدن در دمای آزمایشگاه، توسط هاون چینی به طور کامل پودر شده و سپس در ظروف پلی‌اتیلنی نگهداری شدند (Staniskiene et al., 2006; Zhang et al., 2007).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی تالاب بین المللی هامون (هامون پوزک، صابری و هیرمند)

هضم بافت‌ها و سنجش غلظت فلزات سنگین

برای انجام عمل هضم جهت تعیین غلظت فلزات سنگین از روش FAO/SIDA (۱۹۸۳) با مقداری اصلاحات استفاده شد. یک گرم از بافت خشک شده به همراه ۱۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک خالص غلیظ (Merck، آلمان) در دمای اتاق به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد و پس از هضم اولیه، به روش بن‌ماری هضم کامل نمونه‌ها انجام شد. سپس نمونه‌های هضم شده با استفاده از آب دیونیزه به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شده و توسط کاغذ صافی واتمن ۴۲ میکرون فیلتر شدند. غلظت هر یک از فلزات Cd، Pb، Ni، Cr، Cu، Zn، Fe و Mn توسط دستگاه ICP-MS (4500، HP، آمریکا) بر حسب میکروگرم در گرم وزن خشک اندازه‌گیری شد (رابطه ۱) و به منظور تعیین تهدید سلامت فلزت سنگین برای مصرف کننده، غلظت فلزات بر حسب نسبت وزن بافت تر به خشک (۰/۲) بر حسب میکروگرم در گرم وزن تر تبدیل شد (US EPA, 2000, 2011; Weher 2008).

رابطه ۱:

$$C\ (\mu g/g) = R - CF$$

C: غلظت واقعی؛ R: غلظتی که دستگاه نشان می‌دهد (ppm)؛ CF: فاکتور تغلیظ (وزن نمونه هضم شده به حجم نمونه هضم شده (گرم در لیتر).

تعیین تهدید سلامت فلزات سنگین

غلظت فلزات اندازه‌گیری شده در بافت عضله بر حسب وزن تر با استانداردهای سازمان بهداشت جهانی (Word Health Organization) WHO و سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (Food and Agriculture Organization) FAO مقایسه شدند. همچنین برای تعیین تهدید سلامت فلزات سنگین از طریق مصرف عضله ماهی بر اساس رابطه ۲ میزان جذب روزانه (Estimated Daily Intake: EDI) محاسبه شد. در این بررسی، بر اساس دستورات US EPA فرض شد، فرایند پخت عضله ماهی تاثیری در تغییر غلظت عناصر نخواهد داشت (Hatami et al., 2018). همچنین با فرض این که، تنها منبع دریافت فلزات سنگین مصرف کنندگان ماهی در منطقه، عضله کپور باشد، شاخص بیشترین مصرف مجاز روزانه ماهی (Maximum Allowable Fish Consumption Rate) بر اساس رابطه ۳ محاسبه شد (Hatami et al., 2018). برای محاسبه احتمال خطرپذیری افراد مصرف کننده کپور معمولی به بیماری‌های غیرسرطانی یا THQ از رابطه ۴ استفاده شد (Hatami et al., 2018). شاخص THQ اثرات بهداشتی ناشی از مواجهه با آلاینده‌های شیمیایی مختلف

غیرسرطان‌زا را نشان می‌دهد که به عنوان یک شاخص خطر یکپارچه به منظور مقایسه مقدار دریافت یک آلاینده با غلظت مرجع استاندارد، توسط سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده تعریف شده است (Lahijani et al., 2020). در نهایت خطرپذیری کل مصرف کننده نیز توسط شاخص خطر Hazard Index (HI) بر اساس رابطه ۵ محاسبه شد (Hatami et al., 2018).

رابطه ۲:

$$\mathbf{EDI\ (\mu g/kg.Day) = (M_C \times CR) / AB_W}$$

رابطه ۳:

$$\mathbf{CR_{Lim}\ (kg/Day) = (RfD \times AB_W) / CM}$$

رابطه ۴:

$$\mathbf{THQ = [(EF \times ED \times CR \times M_C) / (RfD \times AB_W \times AET)] \times 0.001}$$

رابطه ۵:

$$\mathbf{HI = \sum THQ = THQ_{Cd} + THQ_{Pb} + THQ_{Ni} + THQ_{Cr} + THQ_{Fe} + THQ_{Mn} + THQ_{Cu} + THQ_{Zn}}$$

EDI: میزان جذب روزانه فلزات سنگین از طریق مصرف ماهی است (میکروگرم از فلز اندازه‌گیری شده بر کیلوگرم از وزن مصرف کننده در روز)؛ M_C و CM: غلظت فلز در بافت عضله ماهی (میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تر)؛ CR: نرخ مصرف روزانه ماهی (برای افراد بالغ ۲۲۷ گرم در روز و برای کودکان تا ۶ سال ۱۱۴ گرم در روز)؛ AB_W: وزن بدن (فرد بالغ ۷۰ کیلوگرم و برای کودکان تا ۶ سال ۱۶ کیلوگرم)؛ CR_{Lim}: بیشترین مقدار مجاز مصرف روزانه ماهی (کیلوگرم در روز)؛ RfD: مقدار مجاز جذب روزانه هر فلز که برای عناصر Cd، Pb، Cr، Ni، Cu، Zn، Fe و Mn به ترتیب ۰/۰۰۱، ۰/۰۲، ۰/۵، ۰/۰۲، ۰/۰۴، ۰/۰۴، ۰/۳، ۰/۷ و ۰/۱۴ میلی‌گرم در کیلوگرم در روز اعمال شد (US EPA, 2000)؛ EF: فرکانس در معرض قرارگیری (بر حسب تعداد دفعات استفاده فرد در ۳۶۵ روز سال)؛ ED: تعداد کل مواجهه یک انسان کامل (برابر ۷۲ سال)؛ AET: میانگین روزها (برابر ED×EF×365ED).

تجزیه و تحلیل آماری

برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۶ استفاده شد. بدین ترتیب که نوع پراکنش داده‌ها به کمک آزمون کولموگروف- اسمیرنف (Kolmogorov-Smirnov test) بررسی شد. میزان اختلاف معنی‌دار عناصر در بین سه بخش تالاب، به کمک آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه (One-way ANOVA) و پس‌آزمون Tukey در سطح اطمینان ۹۵ درصد بررسی شد. همچنین به منظور تعیین میزان همبستگی بین غلظت فلزات سنگین، از آزمون همبستگی پیرسون استفاده شد.

نتایج

میانگین غلظت اندازه‌گیری شده فلزات در بافت عضله ماهی و همچنین نتایج به دست آمده از تحلیل آماری داده‌ها در جدول ۱ آورده شده است. بررسی آماری داده‌های به دست آمده نشان داد که هامون صابوری دارای بالاترین غلظت فلزات سنگین در بافت عضله بود (P<۰/۰۵). بررسی تفاوت آماری تجمع فلزات در بافت عضله ماهی نیز به صورت Zn>Fe>Cu>Mn>Cr>Ni>Pb>Cd به دست آمد. غلظت‌های به دست آمده در بافت عضله به منظور بررسی خطر احتمالی تجمع فلزات سنگین با استاندارد مجاز تعیین شده WHO و FAO مقایسه شد (جدول ۱). ارزیابی تهدید سلامت که طی چهار مرحله تعیین خطر، ارزیابی غلظت- پاسخ، ارزیابی مواجهه و مشخص کردن تهدید انجام می‌شود نیز، محاسبه شد. بر این اساس، نتایج نشان داد که شاخص HI بالغین کمتر از یک بود. در حالی که این مقدار برای کودکان بالاتر از ۱ (۶/۰۸) به دست آمد که نتایج آن در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۱: خلاصه آماری غلظت فلزات سنگین در بافت عضه ماهی کپور معمولی در سه بخش تالاب بین‌المللی هامون (میانگین ± انحراف معیار)

عناصر (µg/g dry W)	تالاب هامون			WHO	FAO
	پوزک	صابوری	هیرمند		
Cd	۰/۰۴۸±۰/۰۲ ^{a}	۰/۰۵۱±۰/۰۱ ^{a}	۰/۰۴۰±۰/۰۲ ^{a}	۱	۰/۵
Pb	۰/۲۳±۰/۰۷ ^{a}	۰/۳۱±۰/۰۴ ^{c}	۰/۲۷±۰/۰۲ ^{b}	۲	۱/۵
Ni	۰/۴۹±۰/۰۵ ^{a}	۱/۲۳±۰/۱۳ ^{b}	۰/۶۰±۰/۱۰ ^{a}	۰/۶	۱
Cr	۱/۰۲±۰/۱۶ ^{a}	۱/۷۰±۰/۲۳ ^{b}	۰/۹۷±۰/۱۸ ^{a}	۰/۱۵	۰/۴۹
Fe	۲۰/۱۳±۰/۴۰ ^{a}	۳۸/۹۰±۸/۳۰ ^{c}	۲۷/۰۰±۰/۰۲ ^{b}	۱۰۰	۵/۶
Mn	۱/۴۶±۰/۰۴ ^{b}	۲/۴۹±۰/۲۳ ^{c}	۱/۱۸±۰/۲۶ ^{a}	۱	-
Cu	۲/۱۹±۰/۲۱ ^{a}	۳/۲۶±۰/۷۵ ^{b}	۱/۶۹±۰/۳۶ ^{a}	۳۰	۱۰
Zn	۲۸/۴±۲/۳۷ ^{a}	۵۶/۷۰±۶/۰۴ ^{b}	۳۲/۷۰±۴/۰۰ ^{a}	۱۰۰	۵۰

در هر ردیف حروف متفاوت نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین بخش‌های مختلف تالاب است (P<۰/۰۵).

جدول ۲: محاسبه شاخص‌های سلامت فلزات سنگین در عضله ماهی کپور معمولی صید شده از تالاب هامون برای دو رده بالغین و کودکان

شاخص		Cd	Pb	Ni	Cr	Fe	Mn	Cu	Zn
EDI (µg/kg.Day)	بالغین	۰/۱۲	۰/۲۷	۰/۷۵	۱/۲۰	۲۸/۴۸	۱/۶۷	۲/۳۱	۳۸/۱۴
	کودکان	۰/۲۷	۰/۶	۱/۶۶	۲/۶۴	۶۲/۵۹	۳/۶۸	۵/۰۹	۸۳/۸۲
CR_{Lim} (kg/Day)	بالغین	۲/۳۳	۳/۵	۶/۰۸	۹/۴۵	۲/۳۹	۱۸/۸۴	۳/۴۹	۰/۲۳
	کودکان	۰/۵۳	۰/۸	۱/۳۹	۲۱/۶۲	۰/۵۴	۴/۳۰	۰/۹۰	۰/۰۵
THQ	بالغین	۰/۰۹۷	۰/۰۶۴	۰/۰۳۷	۰/۰۰۲	۰/۰۹	۰/۰۱۲	۰/۰۵	۰/۰۹
	کودکان	۲/۴۵۸	۱/۶۳	۰/۹۴	۰/۰۶	۰/۲۲	۰/۳	۰/۴۷	۰/۰۰۹
HI	بالغین	۰/۴۴۲							
	کودکان	۶/۰۸							

نتایج به دست آمده از آزمون همبستگی داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که عناصر Zn، Mn و Cr با عنصر Ni ارتباط مثبت و معنی‌داری داشتند. بین عناصر Zn، Pb، Mn و Cr با عنصر Cu نیز ارتباط مثبت و معنی‌داری به دست آمد. تغییرات غلظت عناصر Cr و Fe نیز با عنصر Mn ارتباط مثبت و معنی‌داری نشان داد ($P<0/05$). درحالی که ارتباط بین عناصر دیگر معنی‌دار نبود ($P>0/05$).

جدول ۳: همبستگی بین غلظت فلزات سنگین در بافت ماهی کپور معمولی صید شده از تالاب هامون

	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	Mn	Fe	Cr
Ni	۱							
Cu	۰/۶۴	۱						
Zn	۰/۸۸*	۰/۸۰*	۱					
Cd	-۰/۳۱	-۰/۵۰	-۰/۲۶	۱				
Pb	۰/۶۷	۰/۷۵*	۰/۸۳*	-۰/۰۶	۱			
Mn	۰/۸۲*	۰/۸۴*	۰/۸۸*	-۰/۵۵	۰/۶۶	۱		
Fe	۰/۶۷	۰/۶۸	۰/۸۴*	-۰/۰۲	۰/۸۸*	۰/۷۲*	۱	
Cr	۰/۸۲*	۰/۷*	۰/۷۹*	-۰/۳۹	۰/۶۵	۰/۸۳*	۰/۶۱	۱

علامت ستاره «*» نشان دهنده معنی‌دار بودن همبستگی بین شاخص‌ها است.

بحث

با توجه به تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها، هامون صابوری دارای بالاترین غلظت فلزات سنگین بود. در نتیجه می‌توان عنوان کرد که تفاوت منبع ورودی آب از افغانستان می‌تواند نقش موثری در تفاوت غلظت فلزات سنگین در بین بخش‌های مختلف تالاب داشته باشد. زیرا رودخانه هیرمند و خاش‌رود شریان اصلی ورود به هامون پوزک هستند، در حالی که رودخانه فرارود از شمال سیستان به هامون صابوری وارد می‌شود و در نهایت رودخانه سیستان نیز به هامون هیرمند می‌ریزد (Nouri et al., 2007; Maleki et al., 2018). به طور کلی، رودخانه فرارود از شمال سیستان و رودخانه هلمند از جنوب شرق این منطقه، تامین کننده آب تالاب بین المللی هامون است. رودخانه‌های فرارود و هلمند ممکن است، منابع مختلفی از انواع آلاینده‌ها، مانند فلزات سنگین را که می‌تواند بویژه از فعالیت‌های کشاورزی و نظامی در افغانستان منشا گرفته باشد، دریافت کنند و به تالاب وارد سازند. بنابراین از آنجایی‌که منشا ورودی آب به هر یک از این دریاچه‌ها متفاوت است، می‌تواند منابع مختلفی از انواع ترکیبات مختلف آلاینده را با غلظت متفاوتی به دریاچه‌ها وارد سازد. مسیر انتقالی آب در افغانستان نیز از نواحی مختلف عبور می‌کند و فعالیت‌های انجام شده در اطراف هر یک از شریان‌ها متفاوت است، که می‌تواند تحت تاثیر متفاوتی از هر یک از فعالیت‌های شهرنشینی، کشاورزی و حتی نظامی قرار گیرد. از طرفی دیگر، حدود ۵۹ درصد از هامون صابوری در خاک ایران و بقیه بویژه با مدت ماند بیشتری در خاک افغانستان واقع است. از این رو، بالاتر بودن غلظت فلزات سنگین در این بخش بویژه می‌تواند متاثر از وضعیت بالادست رودخانه در منطقه افغانستان باشد. بنابراین فعالیت‌های صورت گرفته و آبشویی زمین‌های کشاورزی بالادست رودخانه بر کیفیت آب تاثیر می‌گذارد. از این رو، تفاوت آماری به دست آمده در مطالعه حاضر می‌تواند وضعیت این بخش از تالاب را نسبت به دو بخش دیگر نمایان کند. واقع شدن هامون صابوری در منطقه ادیمی نیز موجب شده است که تحت تاثیر شهرنشینی این منطقه قرار بگیرد. به گونه‌ای فاضلاب این شهر در مواقع خشکی و پرآبی، به بخش صابوری تالاب هامون وارد می‌شود که می‌تواند یکی دیگر از عوامل احتمالی افزایش غلظت فلزات سنگین در مقایسه با دو بخش دیگر باشد. برخی از مطالعات انجام شده نیز نشان دادند که فعالیت‌های انسانی می‌تواند نقش موثری در افزایش غلظت فلزات سنگین در

بافت ماهی داشته باشند. به عنوان مثال، غلظت عناصر کادمیم، سرب، کروم، روی، کبالت و مس در هشت گونه ماهی تجاری در تالاب خورخوران (ایران) بررسی شد (Dehghani, 2017) که بیشترین غلظت اندازه‌گیری شده مربوط به عنصر روی در *Platycephalus indicus* و کمترین غلظت مربوط به عنصر سرب در *Sillago sihama* بود. Dehghani (۲۰۱۷) بالاتر بودن غلظت فلزات در بافت ماهی را ورود پساب صنایع به تالاب عنوان کرد. در مطالعه Mehmood و همکاران (۲۰۱۹) نیز غلظت برخی فلزات سنگین در بافت های کبد، آبشش و ماهیچه *Schizothorax niger* و کپور معمولی در رودخانه Jhelum (کشمیر- هیمالیا) بررسی شد. در این بررسی نیز، غلظت فلزات سنگین در بین ایستگاه‌های مختلف، فصول نمونه‌برداری و بافت‌های مورد بررسی اختلاف معنی داری داشت.

الگوی تجمع فلزات سنگین در بافت عضله ماهی به صورت Zn>Fe>Cu>Mn>Cr>Ni> Pb>Cd به دست آمد که با مطالعات انجام شده در دیگر منابع آبی کشور در جدول ۴ مقایسه شده است. این مقایسه روند مشابهی از تجمع فلزات را بر اساس ضروری و غیرضروری بودن نشان داد که با الگوی تجمع فلزات در مطالعه حاضر هماهنگی داشت. بالا بودن غلظت فلزات Cu و Zn در بافت عضله ماهی می‌تواند ناشی از ضروری بودن عناصر برای موجود زنده باشد. این عناصر در متابولیسم سلولی نقش دارند و موجب عملکرد صحیح برخی آنزیم‌ها می‌شوند. همچنین علاوه بر نقش متالوآنزیمی این عناصر برای ایجاد ساختارهای پایدار، به همراه عنصر Fe نقش مهمی در تولید ساخت هموگلوبین و تولید صفرا دارند (Szabo et al., 2021). در عین حال، بالا بودن غلظت Zn در مقایسه با Cu، می‌تواند ناشی از دفع کمتر Zn و در نتیجه تجمع آن در بافت عضله باشد. در مطالعه Mansouri و همکاران (۲۰۱۷) بر غلظت فلزات سنگین در بافت عضله کپور معمولی نیز نتایج مشابهی به دست آمد. آنها نیز عامل افزایش غلظت عناصر ضروری را ناشی از عملکرد این فلزات در بدن جاندار دانستند (Mansouri et al., 2017).

جدول ۴: مقایسه غلظت فلزات سنگین در عضله ماهی کپور معمولی در مطالعه حاضر با مطالعات انجام شده دیگر

منطقه	غلظت فلزات سنگین (میکرو گرم در گرم وزن خشک)								منبع
	Cd	Pb	Ni	Cr	Fe	Mn	Cu	Zn	
سواحل جنوبی دریای خزر	-	-	۱۲۱	-	۷۷/۹۱	۳/۲۹	۱۲/۱۱	۶۳/۴۵	Younesipour et al., 2014
سواحل جنوبی دریای خزر	۰/۰۵	-	-	-	-	-	۴/۶۰	۷/۳۰	Nasrollahzadeh Saravi et al., 2013
تالاب زریوار	۰/۳۳	۰/۴۱	-	۰/۹۷	۱/۴۶	۲/۳۲	۲/۱۰	۳/۶۵	Mansouri et al., 2017
سواحل نوشهر، دریای خزر	۰/۵۱	۰/۷۷	-	-	-	۰/۹۲	۴/۴۱	-	Solgi et al., 2018
تالاب بین المللی هامون	۰/۱۲	۰/۲۸	۰/۷۷	۱/۲۳	۲۹/۲۸	۱/۷۲	۲/۳۸	۳۹/۲	مطالعه حاضر

فلزات سنگین اندازه‌گیری شده در مطالعه اخیر با استانداردهای FAO و WHO مقایسه شدند که نتیجه حاکی از بالا بودن فلزات Mn و Cr در هر سه بخش تالاب و Ni در بخش صابوری بود. از این رو، با توجه به این نتیجه، باید مصرف این ماهی در ارتباط با این عناصر بویژه خطرات احتمالی عنصر Cr با احتیاط بیشتری صورت گیرد. Meshkiniy و Rasooli Aghdam (۲۰۱۹) در مقایسه میزان تجمع فلزات سنگین Hg، Cu و Zn در بافت‌های کبد و عضله ماهی کپور معمولی دریایی و پرورشی نشان دادند که تنها غلظت فلز روی در کپور پرورشی از حد مجاز تمامی استانداردهای موجود بالاتر بود. Ettefaghdoost (۲۰۱۹) نیز در بررسی غلظت فلزات As، Fe، Hg، Zn، Pb، Se، Cu، Mn و Ni در عضله ماهی کپور رودخانه سیاه درویشان استان گیلان نشان داد که تنها As و Mn بالاتر از حد مجاز تعیین شده توسط استاندارد WHO و FAO بود. میزان غلظت چهار عنصر Pb، Cd، Cu و Cr توسط Rajeshkumar و Li (۲۰۱۸) در بافت خوراکی دو گونه کپور معمولی و *Pelteobagrus fulvidraco* در دریاچه Taihu (چین) بررسی شد. نتایج بررسی غلظت پایین‌تر از حد مجاز عناصر را نسبت به استاندارد غذایی چین (Chinese Food Health Criterion) نشان داد. این مطالعه نشان داد که مصرف خوراکی بافت این ماهیان، نمی‌تواند خطری به همراه داشته باشد (Rajeshkumar and Li, 2018). Solgi و همکاران (۲۰۱۸) غلظت فلزات سنگین Cd، Pb، Cu، Mn و Co را در عضله کپور معمولی در جنوب دریای خزر بررسی کردند و

مطالعه آنها نشان داد که غلظت عناصر از استانداردهای موجود کمتر است. Elsagh نیز در سال ۲۰۱۱ غلظت برخی عناصر سنگین شامل Cd، Pb، As و Hg را در بافت عضله ماهی سفید و کپور معمولی در جنوب مرکزی دریای خزر بررسی کرد و نتایج نشان داد که غلظت Cd و Pb در عضله این ماهیان در مناطق بابلسر، فریدون‌کنار، محموآباد، رستم‌رود نور، پارک جنگلی سیسنگان و نوشهر بالاتر از سطح استاندارد بود که نشان دهنده آلوده بودن این منابع از نظر فلزات سنگین است.

میزان تهدید قرارگیری در معرض فلزات سنگین به واسطه مصرف ماهی به وسیله شاخص‌های EDI، CR_{Lim}، THQ و HI قابل محاسبه است. در این مطالعه میزان جذب روزانه (EDI) عنصر Mn در هر دو گروه بالغین و کودکان بالاتر از حد استاندارد WHO و FAO بود. همچنین این شاخص برای عناصر Ni و Cr برای کودکان بالاتر از حد استاندارد به دست آمد. در نتیجه مصرف روزانه ماهی بویژه برای کودکان باید با احتیاط بیشتری صورت گیرد. شاخص CR_{Lim} بیشترین مصرف مجاز روزانه را بدون ایجاد اثر مضر غیرسرطانی در طول زندگی شخص نشان می‌دهد. به عبارتی دیگر، مقداری از ماهی است که فرد در طول عمر خود، بدون این که در معرض آسیب‌های مضر غیرسرطانی باشد، می‌تواند مصرف کند. با توجه به این که این شاخص برای فلزات در گروه کودکان پایین‌تر از بالغین بود، در نتیجه مصرف ماهی در کودکان باید با احتیاط بیشتری صورت گیرد. اگر شاخص THQ و HI کمتر از ۱ به دست آید، نشان دهنده عدم وجود خطر بر سلامتی مصرف کننده است. در این مطالعه نتایج THQ و HI غلظت فلزات سنگین برای بالغین کمتر از ۱ به دست آمد. در حالی که برای کودکان میزان شاخص THQ عناصر Cd و Pb و همچنین شاخص HI بالاتر از ۱ به دست آمد. عناصر Cd و Pb غیرضروری هستند و در صورت دریافت توسط مصرف کننده، به دلیل تجمع زیستی می‌تواند خطرناک باشد. در نتیجه مصرف این ماهی در زمان پرآبی تالاب با مقدار روزانه ۲۲۷ گرم برای بالغین خطری را به همراه نخواهد داشت. اما مصرف آن برای کودکان باید با میزان کمتر از ۱۱۴ گرم در روز و یا با فواصل زمانی بیشتر انجام شود. نتایج این مطالعه با مطالعه Nasrollahzadeh Saravi و همکاران که در سال ۲۰۱۳ در نوار ساحلی جنوب دریای خزر انجام شد، همخوانی داشت. Sadeghi Bajgiran و همکاران (۲۰۱۶) در بررسی عناصر Zn، Ni و V در ماهیان *Alosa caspia* و

Sander lucioperca نشان دادند که بر اساس شاخص THQ، عناصر یاد شده در فرد بالغ نمی‌توانند خطرساز باشند. مقدار شاخص THQ در بررسی غلظت فلزات سنگین Zn، Cu، As، Pb، Cd و Hg در بافت عضله ماهی کپور معمولی در رودخانه Mekong، بالاتر از ۱ به دست آمد که حاکی از تاثیر منفی بر سلامت مصرف‌کنندگان بود (Jilai et al., 2019). بر اساس نتیجه آزمون همبستگی، وجود ارتباط مثبت و معنی‌دار بین غلظت فلزات Zn، Mn و Cr با عنصر Ni و همچنین همبستگی مثبت و معنی‌دار بین عناصر Zn، Pb، Mn و Cr با عناصر Cu و Zn می‌تواند نشان دهنده تاثیرپذیری تغییرات این عناصر از یکدیگر در بافت عضله ماهی باشد.

در مجموع، غلظت فلزات سنگین در بافت عضله ماهی کپور معمولی در بین بخش‌های مختلف تالاب هامون به دلیل منشاگیری متفاوت و تاثیرپذیری از فعالیت‌های مختلف انسانی، متفاوت بوده و بخش صابوری تالاب دارای غلظت بالاتری از فلزات بود. بنابراین ماهی کپور معمولی می‌تواند تغییر غلظت عناصر را در بخش‌های مختلف تالاب منعکس کند. روند تجمع فلزات نیز نشان داد که فلزات ضروری دارای غلظت بالاتری بوده که می‌تواند ناشی از نقش آنها در عملکرد فیزیولوژیک بدن ماهی باشد. از طرفی دیگر، بر اساس شاخص EDI، مصرف این ماهی برای کودکان باید با احتیاط بیشتری صورت گیرد. این نتیجه از طریق شاخص‌های CR_{Lim}، THQ و HI نیز اثبات شد.

تشکر و قدردانی

مقاله حاضر مستخرج از طرح پژوهشی با شماره PR-RIOZ1401-0621-1 است و هزینه انجام آن توسط پژوهشگاه زابل تامین شده است.

منابع

Adegbola I.P., Aborisade B.A. and Adetutu A. 2021. Health risk assessment and heavy metal accumulation in fish species (*Clarias gariepinus* and *Saratherodon melantheron*) from industrially polluted Ogun and Eleyele rivers, Nigeria. Toxicology Reports, 8: 1445–1460. doi: 10.1016/j.toxrep.2021.07.007

Aissaoui A., Sadoudi-Ali D., Cherchar N. and Gherib A. 2017. Assessment and biomonitoring of aquatic pollution by heavy metals (Cd, Cr, Cu, Pb and Zn) in Hamman Grouz dam of Mila (Algeria). International Journal of Environmental Studies, 74(3): 428–442. doi: 10.1080/00207233.2017.1294423

Authman M.M.N., Zaki M., Khallaf E.A. and Abbas H.H. 2015. Use of fish as bio-indicator of the effects of heavy metals pollution. Journal of Aquaculture Research and Development, 6(4): 1–13. doi: 10.4172/2155-9546.1000328

Baby J., Raj J.S., Baby E.T., Sankarjanesh P., Jeevitha M.V., Ajisha S.U. and Rajan S.S. 2010. Toxic effect of heavy metals on aquatic environment. International Journal of Biological and Chemical Sciences, 4(4): 939–952. doi: 10.4314/ijbcs.v4i4.62976

Chan W.Z., Routh J., Luo C., Dario M., Miao Y., Luo D. and Wei L. 2021. Metal accumulations in aquatic organisms and health risks in an acid mine-affected site in south China. Environmental Geochemistry and Health, 43: 4415–4440. doi: 10.1007/s10653-021-00923-0

Dehghani M. 2017. Bioaccumulation of heavy metals in eight fish species of the Khur-e Khuran International Wetland in the Persian Gulf, Iran. International Journal of Aquatic and Biology, 5(1): 33–39. doi: 10.22034/ijab.v5i1.208

Elsagh A. 2011. Determination of some heavy metals in *Rutilus frisii kutum* and *Cyprinus carpio* fillet from south Caspian Sea. Veterinary Research and Biological Products, 23(4): 33–44.

Ettefaghdoost M. 2019. Study of heavy metal bio-accumulation in the edible muscle tissue of common carp (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) from the Siah Darvishan River, Guilan Province, Iran. Journal of Food Science and Technology, 86(16): 251–261.

FAO/SIDA. 1983. Manual of methods in aquatic environment research. Part 9. Analysis of metals and organochlorine in fish. FAO fish Technical paper 212. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Italy. P: 14–20.

Gautam R.K., Sharma S.K., Mayia S., Suresh B., Mahesh C. and Chattopadhyaya A. 2015. Contamination of heavy metals in aquatic media: Transport, toxicity and technologies for remediation. P: 1–24. In: Sanjay Sharma S. (Ed.). Heavy Metals in Water: Presence, Removal and Safety. The Royal Society of Chemistry. UK. doi: 10.1039/9781782620174-00001

Han J.L., Pan X.D., Chen Q. and Huang B.F. 2021. Health risk assessment of heavy metals in marine fish to the population in Zhenjiang, China. Scientific Reports, 11: 1–9 (11079). doi: 10.1038/s41598-021-90665-x

Hatami P., Naji A. and Safaei M. 2018. Accumulation of trace metals (Cd, Cu, Zn and Ni) in the muscle tissue of *Saurida tumbil* (Bloch, 1795) and *Nemipterus japonicus* (Bloch, 1791) from the Oman Sea. Journal of Applied Ichthyological Research, 5(4): 45–62.

Imanpour Namin J. and Forouhar Vajargah M. 2022. Heavy metals accumulation in fish, a growing threat in the Caspian Sea. Water, 2(1): 9–13. doi: 10.52293/WES.2.1.913

Jilai Z., Fang L., Song J.Y., Luo X., Fu K.D. and Chen L.Q. 2019. Health risk assessment of heavy metals in *Cyprinus carpio* (Cyprinidae) from the upper Mekong River. Environmental Science and Pollution Research, 26: 9490–9499. doi: 10.1007/s11356-019-04291-2

Khoshnamvand M., Kaboodvandpour S. and Ghiasi F. 2010. A Survey on accumulated mercury in different tissues of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) from Sanandaj Gheshlagh Dam. Iranian Journal of Health and Environment, 3(3): 291–298.

Lahijani O., Rastegari Mehr M., Shakeri A. and Yeganehfar M. 2020. Study of heavy metals in bottom sediments of Mahabad river and dam, and investigating the risk of consumption of edible fish in the area. Iranian Journal of Health and Environment, 13(1): 49–64.

Maleki S., Soffianian A.R., Soltani Koupaei S., Pourmanafi S. and Sheikholeslam F. 2018. Analysis of changes in the Hamun Wetland water body and land-use/land-cover changes during annual water inundation. Journal of Iran-Water Resources Research, 14(1): 206–225.

Mansouri B., Maleki A., Davari B., Azadi N. and Pordel M.A. 2017. Food risk assessment of heavy metals in consumption of common carp in Zarivar Wetland. Journal of Mazandaran University of Medical Sciences, 26(146): 201–205.

Mehmood M.A., Qadri H., Bhat R.A., Rashid A., Ganie S.A., Dar G.H. and Reman S. 2019. Heavy

metal contamination in two commercial fish species of a trans-Himalayan freshwater ecosystem. Environmental Monitoring and Assessment, 191(2): 1–16 (104). doi: 10.1007/s10661-019-7245-2

Meshkiniy S. and Rasooli Aghdam H. 2019. Comparing accumulation of some heavy metals (mercury, copper, zinc) in liver and muscle tissues of grown carp and sea carp. Veterinary Research and Biological Products, 32(2): 75–83. doi: 10.22092/VJ.2018.120174.1418

Nasrollahzadeh Saravi H., Pourgholam R., Pourang N., Rezaei M., Makhlough A. and Unesipour H. 2013. Heavy metal concentrations in edible tissue of *Cyprinus carpio* and its target hazard quotients in the southern Iranian Caspian Sea coast, (2010). Journal of Mazandaran University of Medical Sciences, 23(103): 33–44.

Nouri G.R., Arbabi T. and Nouri S. 2007. Hamun Wetland, the Life of Sistan (In Persian). Sepehr Publisher, Iran. 152P.

Ob B. and Lo C. 2019. Health risk assessment of heavy metals in fish (*Chrysichthys nigrodigitatus*) from two lagoons in south-western Nigeria. Journal of Toxicology and Risk Assessment, 5: 1–7 (027). DOI: 10.23937/2572-4061.1510027

Pakzad Toochaei S. 2013. Survey of heavy metals (Ni, Pb, Cu and Zn) accumulation in muscle, liver, kidney, gill and scales of *Hypophthalmichthys molitrix* of Sistan's Chahnimeh. Journal of Oceanography, 4(13): 21–28.

Rajeshkumar S. and Li X. 2018. Bioaccumulation of heavy metals in fish species from the Meiliang Bay, Taihu Lake, China. Toxicology Reports, 5: 288–295. doi: 10.1016/j.toxrep.2018.01.007

Sadeghi Bajgiran S., Pourkhabbaz A.R., Hasanpour M. and Sinka Karimi M.H. 2016. A study on zinc, nickel, and vanadium in fish muscle of *Alosa caspia* and *Sander lucioperca* and food risk assessment of its consumption in the southeast of the Caspian Sea. Iranian Journal of Health and Environment, 8(4): 423–432.

Sankhla M.S., Kumari M., Nandan M., Kumar R. and Agrawal P. 2016. Heavy metals contamination in water and their hazardous effect on human health- A review. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 5(10): 759–766. doi: 10.20546/ijcmas.2016.510.082

Siraj M., Khisroon M., Khan A., Zaidi F., Ullah A. and Rahman G. 2018. Biomonitoring of tissue accumulation and genotoxic effect of heavy metals in *Cyprinus carpio* from river Kabul Khyber Pakhtunkhwa Pakistan. Bulletin of Environmental Contamination and

Toxicology, 100: 344–349. doi: 10.1007/s00128-017-2265-5

Soegianto A. and Irawan B. 2009. Bioaccumulation of heavy metals in aquatic animals collected from coastal waters of Gresik, Indonesia. Asian Journal of Water, Environment and Pollution, 6(2): 95–100. doi: 10.1007/978-90-481-3002-3_10

Solgi E., Alipour H. and Majnooni F. 2018. Assessment of heavy metal concentrations in the muscles of common carp (*Cyprinus carpio* L., 1758) from the southern coast of the Caspian Sea and potential risks to human health. Iranian Scientific Fisheries Journal, 27(1): 119–130.

Staniskiene B., Matusevicius P., Budreckiene R. and Skibniewska K.A. 2006. Distribution of heavy metals in tissues of freshwater fish in lithuania. Polish Journal of Environment Study, 15(4): 585–591.

Szabo R., Mocan T. and Bodolea C. 2021. Iron, Copper and Zinc homeostasis: Physiology, physiopathology and nanomediated applications. Nanomaterials, 11(11): 1–17. doi: 10.3390/nano11112958

US EPA. 2000. Guidance for Assessing Chemical Contaminant Data for Use in Fish Advisories, Vol. 1: Fish Sampling and Analysis. United States Environmental Protection Agency, USA. 485P.

US EPA. 2011. Regional Screening Level (RSL) Summary Table. United States Environmental Protection Agency. Retrieved December, 06, 2011, from http://www.epa.gov/regshwmd/risk/human/Index.htmlastupdate.

Wang S., Zhang N., Sun S., An Q., Li P., Li X., Li Z. and Zheng W. 2022. Trends and health risk of trace metals in fishes in Liaodong bay, China, from 2015 to 2020. Frontiers in Marine Science, 8: 1–13 (789572). doi: 10.3389/fmars.2021.789572

Weher S.M. 2008. Levels of heavy metal Cd, Cu and Zn in three fish species collected from the Northern Jordan Valley, Jordan. Jordan Journal of Biological Sciences, 1(1): 41–46.

Yeganeh S., Abedi S.Z. and Rahmani H. 2013. A comparative study on some biological parameters in wild and farmed common carp (*Cyprinus carpio*). Journal of Animal Biology, 5(3): 67–76.

Yi Y., Tang C., Yi T., Yang Z. and Zhang S. 2017. Health risk assessment of heavy metals in fish and accumulation patterns in food web in the upper Yangtze River, China. Ecotoxicology and Environmental Safety, 145: 295–302. doi: 10.1016/j.ecoenv.2017.07.022

Younesipour H., Nasrollahzadeh Saravi H. and Sadatipour S.T. 2014. Study on bioaccumulation of essential (Fe, Cu, Zn) and semi-essential (Ni, Co, Mn) heavy metals in the edible tissue of *Cyprinus carpio* of the Caspian Sea. Journal of Aquaculture Development, 8(1): 95–106.

Yuan H.Z., Shen J., Liu E., Wang J. and Meng X. 2011. Assessment of nutrients and heavy metals enrichment in surface sediments from Taihu Lake, a eutrophic shallow lake in China. Environmental Geochemistry and Health, 33: 67–81. doi: 10.1007/s10653-010-9323-9

Zhang Z., He L., Li J. and Wu Z. 2007. Analysis of heavy metals of muscle and intestine tissue in fish in Banan section of Chongqing from three Gorges reservoir, China. Polish Journal of Environmental Study, 16: 949–958.

Aquatic Physiology and Biotechnology
Vol. 11, No. 3, Autumn 2023

Research Paper

Survey of heavy metal concentration in the muscle of common carp (*Cyprinus carpio*) from Hamoun international wetland after twenty years of drought

Sahel Pakzad Toochaei[1]*, Abdolali Rahdari[2], Ali Khosravani Zadeh[2]

DOI: 10.22124/japb.2022.22829.1478

Received: September 2022 Accepted: December 2022

Abstract

It is crucial to investigate the amount of metals in the muscle tissue of common carp (*Cyprinus carpio*) because of their high consumption in Sistan region, from Hamoun international wetland in wet years. Therefore, in the present study, *C. carpio* was captured from Hamoun Pouzak, Hirmand and Sabouri and prepared through acid digestion method and the concentration of heavy metals was measured using ICP. Statistical analysis showed the significant difference among three lakes in which Sabouri lake had the highest metal concentration ($P<0.05$). Also, the accumulation patterns of metals in the muscle tissue were Zn>Fe>Cu>Mn>Cr>Ni>Pb>Cd. The amount of Ni, Cr and Mn were higher than the WHO and FAO guidelines. The maximum amounts of THQ for Cd in infants and adults were 2.458 and 0.097, respectively. In addition, the HI measured in adults was <1 and showed no health risk in 227g consumption rate. While, it's calculated with an amount of 6.08 in infants. In conclusion, the consumption of *C. carpio* may cause health effects in infants, especially for Cd.

Key words: *Helmand, Fararoud, Bioaccumulation, Health Risk Assessment.*

1- Assistant Professor in Department of Natural Ecosystems, Hamoun International Wetland Institute, Research Institute of Zabol, Zabol, Iran.
2- Assistant Professor in Department of Aquatic Science, Hamoun International Wetland Institute, Research Institute of Zabol, Zabol, Iran.

*Corresponding Author: s.pakzad@uoz.ac.ir