



Bioassay of strontium in Hamoon International Wetland

Sahel Pakzad-Toochaei¹ | Ali Khosravanizadeh²

1. Corresponding Author, Department of Natural Ecosystems, Hamoon International Wetland Research Institute, Research Institute of Zabol, Zabol, Sistan and Baluchestan, Iran. E-mail: s.pakzad@uoz.ac.ir

2. Department of Aquatic Science, Hamoon International Wetland Research Institute, Research Institute of Zabol, Zabol, Sistan and Baluchestan, Iran. E-mail: akhosravanizadeh@gmail.com

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article Article history: Received 22 September 2024 Received in revised form 27 November 2024 Accepted 07 December 2024 Published online 01 July 2025 Keywords: <i>Bioaccumulation,</i> <i>Health Risk Index,</i> <i>Hamoon Pozak,</i> <i>Hamoon Sabouri,</i> <i>Hamoon Hirmand.</i>	In recent decades, the impact of various pollutants, including heavy metals, on aquatic environments has increased. Due to non-biodegradability, toxic metals accumulate in aquatic tissues, including fish, and pose a threat to human health through fish consumption. Also, these aquatic animals are able to show the health status of the environment. Therefore, the purpose of this study is to determine the concentration of strontium in muscle, liver, gill and kidney tissues of common carp (<i>Cypinus carpio</i>) in three parts of Hamoon Pozak, Sabouri and Hirmand of Hamoon International Wetland (during the high-water period of the wetland) in order to survey the quality of the wetland. In terms of metal strontium and also determining the health risk of fish muscle tissue for humans. After catching the fish samples, acidic digestion of the tissues was done and the concentration of elements was measured by atomic absorption ICP-OES. Then, the metal concentration in each of the fish tissues was compared between the three parts of the wetland, and the health risk of the fish muscle tissue for the consumer was investigated. The average concentration of strontium metal in muscle, liver, kidney and gill tissues was 16.66 µg/g dw, 12.41 µg/g dw, 30.05 µg/g dw and 205.80 µg/g dw respectively. The highest concentration of strontium was measured in gill tissue (ANOVA, $P < 0.05$). The results also indicated a higher concentration of strontium in the tissue of the kidney and gill of Hamoon Pozak. The highest amount of risk potential index (THQ) in children and adults was obtained in Hamoon Pozak and Sabouri 0.0170 and 0.038, 0.0198 and 0.043 and for Hirmand 0.0165 and 0.036 respectively (less than 1). The value of the hazard index (HI) was also calculated to be less than 1 in adults (227 g) and children (114 g). Considering the longer route taken by the rivers entering Hamoon Pozak compared to the other two parts, the increase in element concentration can be caused by the environmental effect on the concentration of this element in water and then in carp fish. Therefore, based on the results, it can be said that common carp <i>C. carpio</i> can be used as a suitable indicator to estimate the status of strontium element in Hamoon International Wetland in high water conditions. Also, based on the calculation of the threat to fish muscle health, the concentration of strontium in common carp is not dangerous for the consumers of this fish in Sistan region.

Cite this article: Pakzad-Toochaei, S., & Khosravanizadeh, A. (2025). Bioassay of strontium in Hamoon International Wetland. *Journal of Natural Environment*, 78 (Monitoring and Management of Natural Environmental Pollutants), 101-112. DOI: <http://doi.org/10.22059/jne.2024.382611.2714>



سنجش زیستی استرانسیم در تالاب بین‌المللی هامون

ساحل پاکزاد توچایی^۱ | علی خسروانی زاده^۲

۱. نویسنده مسئول، گروه اکوسیستم‌های طبیعی، پژوهشکده تالاب بین‌المللی هامون، پژوهشگاه زابل، زابل، ایران. رایانامه: s.pakzad@uoz.ac.ir

۲. گروه علوم آبزیان، پژوهشکده تالاب بین‌المللی هامون، پژوهشگاه زابل، زابل، ایران. رایانامه: akhosravanizadeh@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	در دهه‌های اخیر تأثیر آلاینده‌های مختلف از جمله فلزات سنگین بر محیط‌های آبی افزایش یافته است. فلزات سمی به دلیل عدم تجزیه زیستی در بافت‌های آبزیان از قبیل ماهیان تجمع یافته و از طریق مصرف ماهی تهدیدی برای سلامتی انسان هستند. همچنین این آبزیان قادرند وضعیت سلامت محیط را نشان دهند. بنابراین هدف از انجام این مطالعه، تعیین غلظت عنصر استرانسیم در بافت‌های عضله، کبد، آبشش و کلیه ماهی کپور معمولی (<i>Cypinus carpio</i>) در سه بخش هامون پوزک، صابوری و هیرمند تالاب بین‌المللی هامون (در زمان پرآبی تالاب) به منظور بررسی وضعیت تالاب از نظر فلز استرانسیم و همچنین تعیین ریسک سلامت بافت عضله ماهی برای انسان بود. نمونه‌های ماهی در زمان پرآبی تالاب هامون از سه بخش پوزک، صابوری و هیرمند نمونه‌برداری شد. پس از صید نمونه‌های ماهی، هضم اسیدی بافت‌ها انجام شد و غلظت عناصر توسط دستگاه جذب اتمی ICP-OES سنجش گردید. سپس غلظت فلز در بین بافت‌های ماهی و همچنین بین سه بخش تالاب مقایسه شد. همچنین ریسک سلامت بافت عضله ماهی برای مصرف‌کننده بررسی گردید. میانگین غلظت فلز استرانسیم در بافت‌های عضله، کبد، کلیه و آبشش ماهی به ترتیب ۱۶/۶۶، ۱۲/۴۱، ۳۰/۰۵ و ۲۰۵/۸۰ میکروگرم بر گرم وزن خشک به دست آمد. مقایسه غلظت فلز استرانسیم در بین بافت‌های مورد مطالعه، حاکی از بیشتر بودن غلظت این عنصر در بافت آبشش بود ($P < 0.05$). نتایج مقایسه غلظت استرانسیم در بین سه بخش تالاب، همچنین حاکی از بالاتر بودن غلظت استرانسیم در بافت کلیه و آبشش هامون پوزک در مقایسه با سایر بخش‌های تالاب (هامون صابوری و هیرمند) بود. بیشترین میزان شاخص پتانسیل خطر (THQ) در کودکان و بالغین در هامون پوزک و صابوری به ترتیب ۰/۰۳۸ و ۰/۰۱۷۰، ۰/۰۱۹۸ و ۰/۰۴۳ و برای هیرمند نیز ۰/۰۱۶۵ و ۰/۰۳۶ (کمتر از) به دست آمد. مقدار شاخص خطر (HI) نیز در بالغین (۲۲۷ گرم) و کودکان (۱۱۴ گرم) کمتر از ۱ محاسبه شد. رودخانه‌های تأمین‌کننده آب هامون پوزک، در مقایسه با دو بخش دیگر، مسیر طولانی‌تری را در کشور افغانستان طی می‌کنند، بنابراین افزایش غلظت عنصر می‌تواند ناشی از تأثیر محیطی بر غلظت این عنصر در آب و به دنبال آن در ماهی کپور باشد. بنابراین براساس نتایج می‌توان عنوان کرد که ماهی کپور معمولی <i>C. carpio</i> می‌تواند به عنوان شاخص مناسب جهت برآورد وضعیت عنصر استرانسیم در تالاب هامون در شرایط پرآبی باشد. همچنین براساس محاسبه تهدید سلامت عضله ماهی، غلظت استرانسیم در ماهی کپور معمولی برای مصرف‌کنندگان این ماهی در منطقه سیستم خطرآفرین نیست.

استاد: پاکزاد توچایی، ساحل؛ و خسروانی زاده، علی (۱۴۰۴). سنجش زیستی استرانسیم در تالاب بین‌المللی هامون. محیط زیست طبیعی، ۷۸ (ویژه‌نامه پایش و مدیریت آلاینده‌های محیط زیست طبیعی)، ۱۱۲-۱۰۱.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jne.2024.382611.2714>



© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

مقدمه

تالاب‌ها از جمله مهم‌ترین اکوسیستم‌های طبیعی هستند که بسیاری از نیازهای حیاتی موجودات زنده و انسان‌ها را برطرف ساخته و حفاظت و احیای تالاب‌ها برای پایداری آینده سیاره زمین، تولید غذا، آب پاک و رفاه کلی جامعه ضروری است (Groot et al., 2018). تالاب بین‌المللی هامون به‌عنوان ذخیره‌گاه زیست‌کره، از سه بخش هامون صابوری در شمال سیستان، هامون پوزک که ۹۰٪ آن در کشور افغانستان و ۱۰٪ آن در ایران است و هامون هیرمند تشکیل شده است، که هنگام فراوانی آب این سه بخش به یکدیگر پیوسته و دریاچه مشترک هامون میان کشورهای ایران و افغانستان را ایجاد می‌کنند. این تالاب دارای اهمیت بوم‌شناختی ویژه‌ای بوده و مردم محلی جهت تأمین معیشت خود، به‌طور مستقیم به آن وابسته هستند. همچنین در زمان پرآبی تالاب، صید ماهیان جهت تغذیه دارای رونق ویژه‌ای است (Dahmardeh et al., 2017). در عین حال، با توجه به کمبود اطلاعات از وضعیت بالادست رودخانه‌های تأمین‌کننده آب تالاب هامون در کشور افغانستان و همچنین امکان ورود آلاینده‌ها از منابع مختلف مانند رواناب‌های کشاورزی در مسیر رودها، بررسی غلظت آلاینده‌های مختلف از جمله فلزات سنگین، تعیین وضعیت سلامت این تالاب و مقابله با تهدیدات محیطی آلاینده‌ها ضروری است. زیرا اثرات مخرب آلاینده‌های محیطی بر گونه‌های جانوری به‌ویژه آبزیان، قابل چشم‌پوشی نیست. چراکه آلاینده‌هایی مانند فلزات سنگین در زنجیره غذایی تجمع یافته و باعث آسیب‌های مخرب و حتی مرگ می‌شوند. فلزات سنگین منشأ طبیعی و انسانی داشته و افزوده شدن آنها از طریق فعالیت‌های صنعتی در محیط‌های آبی موجب می‌شود که ماهیان مقادیر بیشتری از آنها را از طریق آب، رسوبات و غذا دریافت کنند. بدین ترتیب پس از تجمع فلزات سنگین در بافت‌های ماهیان، بزرگنمایی زیستی رخ می‌دهد (Shah et al., 2020; Tahity et al., 2022).

موجودات زنده برای ادامه حیات به مقادیر کمی از فلزات سنگین از جمله آهن، مس، منگنز و روی نیاز دارند. با این وجود، سطوح بیش از حد استاندارد این فلزات می‌تواند برای آنها مضر باشد. سایر فلزات سنگین از قبیل استرانسیم، جیوه، سرب و کادمیم برای موجودات ضروری نیستند و تجمع آنها در طولانی‌مدت در بدن موجودات می‌تواند باعث بیماری جدی یا مرگ شود (Biólé et al., 2024; Łuczyńska et al., 2024). ماهیان از طریق آبشش، منابع غذایی و تماس با رسوبات در معرض تجمع فلزات سنگین هستند. در عین حال فلزات سنگین انباشته شده در بافت‌های مختلف ماهیان عمدتاً ناشی از رژیم غذایی آنها است (Lipy et al., 2021). از آنجا که استفاده از ماهیان به‌عنوان بخشی از منابع تأمین‌کننده پروتئین به‌علت افزایش جمعیت و نیاز روز افزون انسان به غذا افزایش یافته است، بنابراین با توجه به تجمع فلزات سنگین در بافت‌های ماهیان و امکان انتقال آن به انسان از طریق تغذیه، پایش سطح این فلزات سمی در بافت ماهیان جهت حفظ سلامت انسان ضروری است (Scivico et al., 2024). همچنین در میان آبزیان مختلف، ماهیان شاخص ایده‌آل آلودگی فلزات سنگین در سیستم‌های آبی هستند. زیرا سطوح تغذیه‌ای متفاوتی را اشغال می‌کنند و با اندازه و سن متفاوت می‌توانند وضعیت محیط را به‌خوبی نشان دهند (Krause et al., 2019; Burger et al., 2002). از طرفی دیگر، ماهیان قادرند فلزات را چندین بار بیشتر از غلظت آنها در آب و رسوبات نشان دهند (Selgi and Khatooni, 2014). بنابراین در مطالعات متعددی جهت بررسی وضعیت سلامت یک اکوسیستم آبی، از ماهیان استفاده شده است که نشان‌دهنده وضعیت محیط از لحاظ آلاینده‌های مختلف بوده است (Moodley et al., 2021; Silva et al., 2023; Meng et al., 2023; Setufe et al., 2023).

عنصر استرانسیم یکی از فلزات خطرناک محسوب می‌شود که در صورت وجود در منابع آبی، در بدن ماهیان تجمع یافته و توسط مصرف‌کنندگان به‌ویژه انسان جذب می‌شوند. استرانسیم به‌دلیل شباهت با کلسیم جایگزین این عنصر در فرایندهای زیستی بدن شده و از طریق ارتباط با لیگاندهایی مانند هیدروکسی آپاتیت که جزء معدنی و اصلی استخوان است، در این بافت تجمع می‌یابد (Kołodziejaska et al., 2021). بدین ترتیب این عنصر علاوه بر اختلال در سیستم خون‌سازی و مغز استخوان می‌تواند به پوکی استخوان نیز منجر شود. استرانسیم مازاد می‌تواند موجب گسترش نرمی استخوان و جلوگیری از بلوغ طبیعی کندروسیت‌ها در صفحات اپی‌فیزیال استخوان‌های دراز گردد (Nitiputri, 2016). این عنصر همچنین می‌تواند جایگزین دسته‌ای از پروتئین‌های متصل شونده به کلسیم که در رسوب فیزیولوژیک کلسیم در سلول‌ها نقش دارند، گردد. از طرفی دیگر، محلول بودن اکثر ترکیبات استرانسیم در آب موجب می‌شود تا پس از جایگزینی استرانسیم به‌جای کلسیم در استخوان‌سازی، دوباره وارد جریان خون شده و در بدن به گردش درآید (Wahabi, 2011; Pathak et al., 2020).

گونه ماهی کپور معمولی با نام علمی *Cyprinus carpio* از خانواده کپورماهیان است که در انواع و اقسام منابع آب شیرین شامل رودها، دریاچه ها، سدها، آبگیرها و تالاب ها یافت می شود. این ماهی همه چیز خوار بوده و از گیاهان، موجودات ریز بستر آب، کرم ها، سخت پوستان، نوزاد حشرات و تخم ماهیان تغذیه می کند (Piczak et al., 2023). به علت شرایط آسان تکثیر و تولیدمثل، جمعیت این ماهی در زمان پرآبی تالاب هامون، افزایش یافته و بین ماهیان صید شده از بخش های تالاب هامون، ماهی کپور معمولی سهم بیشتری را به خود اختصاص می دهد. بر این اساس، بررسی سلامت این ماهی ضروری است. از طرفی دیگر، کپور معمولی در برخی از مطالعات به عنوان شاخص زیستی جهت بررسی وضعیت سلامت اکوسیستم های آبی مورد بررسی قرار گرفته است (Aissaoui et al., 2017; Siraj et al., 2018). بنابراین با توجه به خاصیت تجمع زیستی و خطر احتمالی عنصر استرانسیم و همچنین عدم اطلاع از وضعیت غلظت این عنصر در بدنه آبی تالاب هامون، در مطالعه حاضر به بررسی غلظت این در بافت های کبد، عضله، آبشش و کلیه ماهی کپور *C. carpio* پرداخته شده است.

روش شناسی پژوهش

تالاب بین المللی هامون، در شمال استان سیستان و بلوچستان واقع و از سه بخش هامون صابوری، هامون هیرمند و هامون پوزک تشکیل شده است. نمونه ماهی کپور معمولی *C. carpio* از سه بخش این تالاب در زمان پرآبی صید شد (شکل ۱). بدین ترتیب که جهت انجام آزمایش، تعداد ۲۰ عدد ماهی کپور معمولی *C. carpio* با اندازه های تقریباً یکسان در طی ماه های اردیبهشت و خرداد ۱۳۹۹ از هامون های صابوری، پوزک و هیرمند صید شد. پس از تهیه نمونه ها، سطح رویی آنها به طور کامل شستشو داده شده و سپس بافت های عضله، کبد، کلیه و آبشش هر یک از ماهیان جداسازی و در دمای ۲۰- درجه سانتی گراد تا مرحله هضم، نگهداری شد. جهت تهیه بافت خشک، هر یک از بافت های ماهیان توسط خشک کن سرمایشی (Freeze drier) مدل OPR- FDU-7012 خشک شد (Torres et al., 2016; Safitri et al., 2023).

پس از خشک شدن بافت ها، برای هضم از روش اسیدی استفاده شد. بدین ترتیب که یک گرم از هر یک از بافت های کاملاً خشک و پودر شده به همراه ۱۰ سی سی اسید نیتریک خالص غلیظ (شرکت مارک Merck، آلمان) در دمای اتاق به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد و پس از هضم اولیه، به طور کامل در دمای بالا هضم شد. بعد از سرد شدن، با استفاده از آب دیونیزه به حجم ۵۰ سی سی رسانده شده و توسط کاغذ صافی واتمن ۴۲ میکرون فیلتر شد. سپس برای اندازه گیری عنصر مورد مطالعه از دستگاه ICP-MS با مشخصات مدل HP-4500 (ساخت آمریکا)، مجهز به اتوسمپلر Asx-520 استفاده و غلظت عنصر بر حسب میکروگرم بر گرم وزن خشک ($\mu\text{g/g dry weight}$) محاسبه شد (رابطه ۱) (US EPA, 2000; US EPA, 2011; Mohammed et al., 2017). در مطالعه حاضر به دلیل عدم دسترسی به نمونه استاندارد CRM (Certified references material) از نمک کلرید استرانسیم شش آبه ($\text{Cl}_2\text{Sr}.6\text{H}_2\text{O}$) جهت spike نمونه ها استفاده شد (Farhadiamiri et al., 2013; Ahsan et al., 2018; Mayura et al., 2019). سپس درصد بازیابی به کمک رابطه ۲، $92/04\%$ به دست آمد. همچنین به منظور تعیین تهدید سلامت فلز سنگین برای مصرف کننده نیز، غلظت فلزات بر حسب نسبت وزن بافت تر به خشک ($0/2$) بر حسب وزن تر ($\mu\text{g/g wet weight}$) تبدیل شد (US EPA, 2000, 2011; Zaghloul et al., 2022).

رابطه ۱: فاکتور تغلیظ = $\text{ppm R} \times \text{غلظت واقعی فلزات در نمونه ها}$

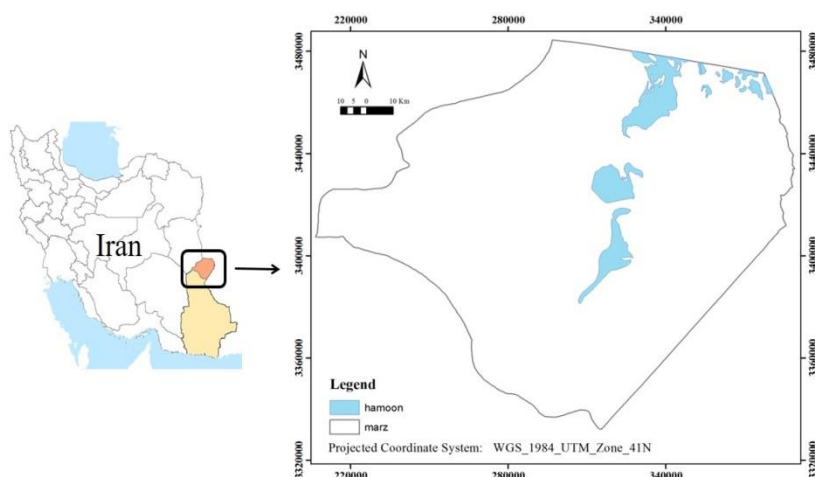
در این رابطه: ppm R = غلظتی که دستگاه نشان می دهد.

فاکتور تغلیظ = وزن نمونه هضم شده / حجم نمونه هضم شده

رابطه ۲:

$$\text{غلظت نمونه spike نشده} - \text{غلظت نمونه spike شده} = \frac{\text{مقدار spike}}{\text{درصد بازیابی}} \times 100$$

تعیین ریسک سلامت فلزات سنگین و آنالیز آماری: جهت بررسی سلامت بافت خوراکی ماهی، ریسک سلامت فلز استرانسیم از طریق مصرف عضله ماهی، براساس رابطه ۳، تعیین و میزان جذب روزانه (MDI) Maximum Daily Intake محاسبه شد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی هامون پوزک، صابوری و هیرمند (سه بخش تالاب هامون)

بدین‌منظور، غلظت به‌دست آمده از فلزات به وزن تر تبدیل شده و بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تر (mg/kg wet weight) در محاسبات استفاده گردید. در این بررسی، براساس دستورات USEPA فرض شد، فرآیند پخت عضله ماهی تأثیری در تغییر غلظت عناصر نخواهد داشت (Hatami et al., 2016).

$$\text{رابطه ۳: } MDI = \frac{Mc \times CR}{AB_W}$$

MDI: میزان جذب روزانه فلزات سنگین از طریق مصرف ماهی است که بر حسب میلی‌گرم از فلز اندازه‌گیری شده در کیلوگرم از وزن مصرف‌کننده در روز به‌دست آمد.

$Mc = C_m$: غلظت به‌دست آمده از فلز در بافت عضله ماهی بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تر.

CR : نرخ مصرف روزانه ماهی که برای افراد بالغ ۲۲۷ گرم و برای کودکان تا ۶ سال برابر ۱۱۴ گرم در روز منظور گردید. AB_W نیز وزن افراد بالغ در رابطه‌های مذکور بوده که برای فرد بالغ ۷۰ کیلوگرم و برای کودکان تا ۶ سال نیز ۱۶ کیلوگرم در نظر گرفته شد. همچنین با فرض اینکه، منبع دریافت‌کننده فلزات سنگین مصرف‌کنندگان ماهی منطقه، تنها عضله کپور باشد، شاخص حداکثر مصرف مجاز روزانه ماهی (Maximum allowable Fish Consumption Rate) براساس رابطه ۴ محاسبه شد (Nyarko et al., 2023).

$$\text{رابطه ۴: } CR_{lim} = \frac{RfD \times AB_W}{C_m}$$

CR_{lim} : حداکثر مقدار مجاز مصرف روزانه ماهی.

RfD : مقدار مجاز جذب روزانه هر فلز بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم در روز است. این مقدار برای عنصر استرانسیم برای کودکان و بالغین ۰/۶ میلی‌گرم بر گرم در روز است (Peng et al., 2021). جهت محاسبه احتمال خطرپذیری افراد مصرف‌کننده کپور معمولی به بیماری‌های غیر سرطانی یا THQ (Target hazard quotient) نیز از رابطه ۵ استفاده شد (Hatami et al., 2016).

$$\text{رابطه ۵: } THQ = 0.001 \times \frac{EF \times ED \times CR \times Mc}{RfD \times AB_W \times AET}$$

در نهایت خطرپذیری کل مصرف‌کننده نیز توسط شاخص خطر Hazard Index (HI) براساس رابطه ۶ محاسبه شد (Hatami et al., 2016).

$$\text{رابطه ۶: } HI = \sum THQ$$

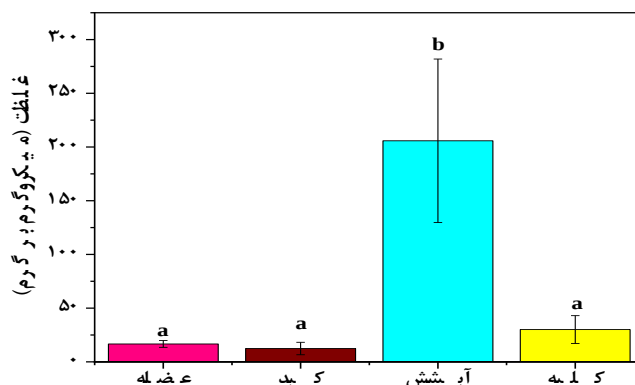
EF : فرکانس در معرض قرارگیری است که بر حسب تعداد دفعات استفاده فرد در ۳۶۵ روز سال و یکبار در هفته برابر با ۵۲ مرتبه در سال است. ED : تعداد کل مواجهه یک انسان کامل (برابر ۷۰ سال) و AET : برابر میانگین روزها است که از طریق $ED \times EF$ بدست می‌آید (Lahijani et al., 2019).

تجزیه و تحلیل آماری: جهت تجزیه و تحلیل آماری از نرم افزار SPSS نسخه ۱۶ استفاده شد. ابتدا توزیع داده ها به کمک آزمون کولموگوروف-اسمیرنوف (Kolmogorov-Smirnov test) بررسی شده و پس از حصول اطمینان از پراکنش نرمال داده ها، سطح اختلاف معنی دار ($P < 0.05$) عنصر استرانسیم در بین سه بخش تالاب و همچنین در بین بافت های مختلف به کمک آزمون ANOVA و پس از آزمون Tukey بررسی شد. جهت رسم نمودارها نیز از نرم افزار Origin نسخه ۱۸ استفاده شد.

یافته های پژوهش و بحث

میانگین غلظت استرانسیم در هر یک بافت های عضله، کبد، آبشش و کلیه ماهی *C. carpio* بر حسب میکروگرم بر گرم وزن خشک محاسبه شد. سپس به کمک آزمون آماری ANOVA و پس از آزمون Tukey میزان تجمع عنصر استرانسیم در بین بافت های مختلف ماهی، مقایسه گردید. میانگین این عنصر در بافت های عضله، کبد، کلیه و آبشش به ترتیب $3 \pm 16/16$ ، $16/66 \pm 41/81$ ، $12/5 \pm 41/81$ و $30/12 \pm 05/96$ میکروگرم بر گرم وزن خشک به دست آمد. بر اساس مقایسه آماری انجام شده، بیشترین غلظت عنصر استرانسیم در بافت آبشش اندازه گیری گردید ($P < 0.05$). درحالی که برای غلظت این عنصر در بین سایر بافت ها تفاوت معنی داری به دست نیامد ($P > 0.05$) (شکل ۲). تفاوت غلظت در بین بافت های مختلف می تواند ناشی از مسیر متفاوت تجمع عنصر در بافت های ماهی و مکانیسم های دفاعی آن باشد. به طوری که در مطالعه Filipović Marijić و همکاران (۲۰۲۰) نیز تفاوت الگوی تجمع فلزات در بافت های ماهی به دست آمد. در این مطالعه، الگوی تجمع و توزیع فلزات در بافت های نرم (عضله، کبد) و سخت (فلس ها، سنگریزه های شنوایی) قزل آلاهی قهوه ای (*Salmo trutta* Linnaeus, 1758) ناشی از فاضلاب های صنعتی و شهری برآورد و مقایسه شد. بیشتر عناصر دارای سطوح بالاتری در فلس ها و کبد نسبت به ماهیچه ها و سنگریزه های شنوایی بودند که احتمالاً منعکس کننده تفاوت در مسیرهای جذب فلز، عملکرد بافت و فعالیت متابولیک است. علی رغم تفاوت های ثبت شده در محتویات فلزی، تمامی شاخص های زیستی اعمال شده شرایط محیطی را به روشی مشابه منعکس می کنند، که نشان دهنده تجمع سطوح بالاتر عناصر در بافت های ماهی از محیط آلوده، در مقایسه با ایستگاه شاهد است. به طور کلی در این مطالعه ترکیب بافت های نرم و سخت اطلاعات زمانی گسترده ای را در مورد قرار گرفتن در معرض فلز ارائه داد. تأثیر فاضلاب به عنوان آلودگی فلزی توسط همه شاخص های اعمال شده مشهود بود و به اختلالات موجود اما درازمدت در رودخانه کرکا و اهمیت نظارت مستمر و اقدامات حفاظتی اشاره کرد.

از طرفی دیگر، سلول های غنی از میتوکندری آبشش ماهیان، همچنین سلول های یونوسیت و به ویژه سلول های کلراید این بافت، در تنظیم فشار اسمزی و جذب یون های مختلف از جمله کلسیم از محیط نقش اساسی دارد. برخی از سلول های کلراید آبشش به صورت تخصصی در انتقال یک طرفه یون ها نقش دارند. درحالی که، برخی از سلول های کلراید، به صورت عمومی عمل کرده و موجب انتقال یون ها به صورت دو طرفه می شوند. انتقال کلسیم از محیط به بافت های ماهی، توسط سیستم انتقال یون کلسیم واقع در سلول های کلراید آبشش، انجام می شود (Flik and Verbost, 1993; Chen et al., 2023). از آنجا که، استرانسیم همتای کلسیم بوده (Saidak and Marie, 2012)، توسط این سیستم از محیط جذب شده و با توجه به خاصیت تجمع زیستی، در بافت آبشش ذخیره می شود. بنابراین افزایش غلظت استرانسیم در بافت آبشش ماهی *C. carpio* تالاب هامون، در مقایسه با سایر بافت ها می تواند ناشی از عملکرد سیستم انتقال کلسیم واقع در سلول های کلراید آبشش این ماهی باشد. همچنین بخشی از عنصر استرانسیم جذب شده، با توجه به همتایی با یون کلسیم، در بافت های استخوانی و کلسیمی تجمع می یابد. به طوری که، Moiseenko و Kudryavtseva (۲۰۰۱) نیز در بررسی غلظت فلز استرانسیم در بافت های مختلف ماهی سفید و قزل آلاهی قهوه ای، بیشترین غلظت را در اسکلت و آبشش ماهیان سنجش کردند. آنها عامل مؤثر را سیستم انتقال یون کلسیم در سلول های کلراید آبششی و همتا بودن استرانسیم با یون کلسیم عنوان کردند. غلظت های حاصل در مطالعه اخیر، بالاتر از مطالعه Afonso و همکاران (۲۰۱۷) بود. این محققین غلظت فلز استرانسیم را در دو گونه *Sarpa salpa* و *Chelon labrosus* بررسی کردند. غلظت این عنصر در عضله *S. salpa* ۳/۴۵ و در *C. labrosus* نیز ۰/۶۵ میکروگرم بر گرم (وزن خشک) به دست آمد درحالی که غلظت آن با تفاوت معنی داری در دو گونه *S. salpa* و *C. labrosus* به ترتیب ۵/۲۵ و ۶ میکروگرم بر گرم وزن خشک سنجش شد. این تفاوت می تواند ناشی از تفاوت منابع تأثیرگذار بر اکوسیستم باشد.



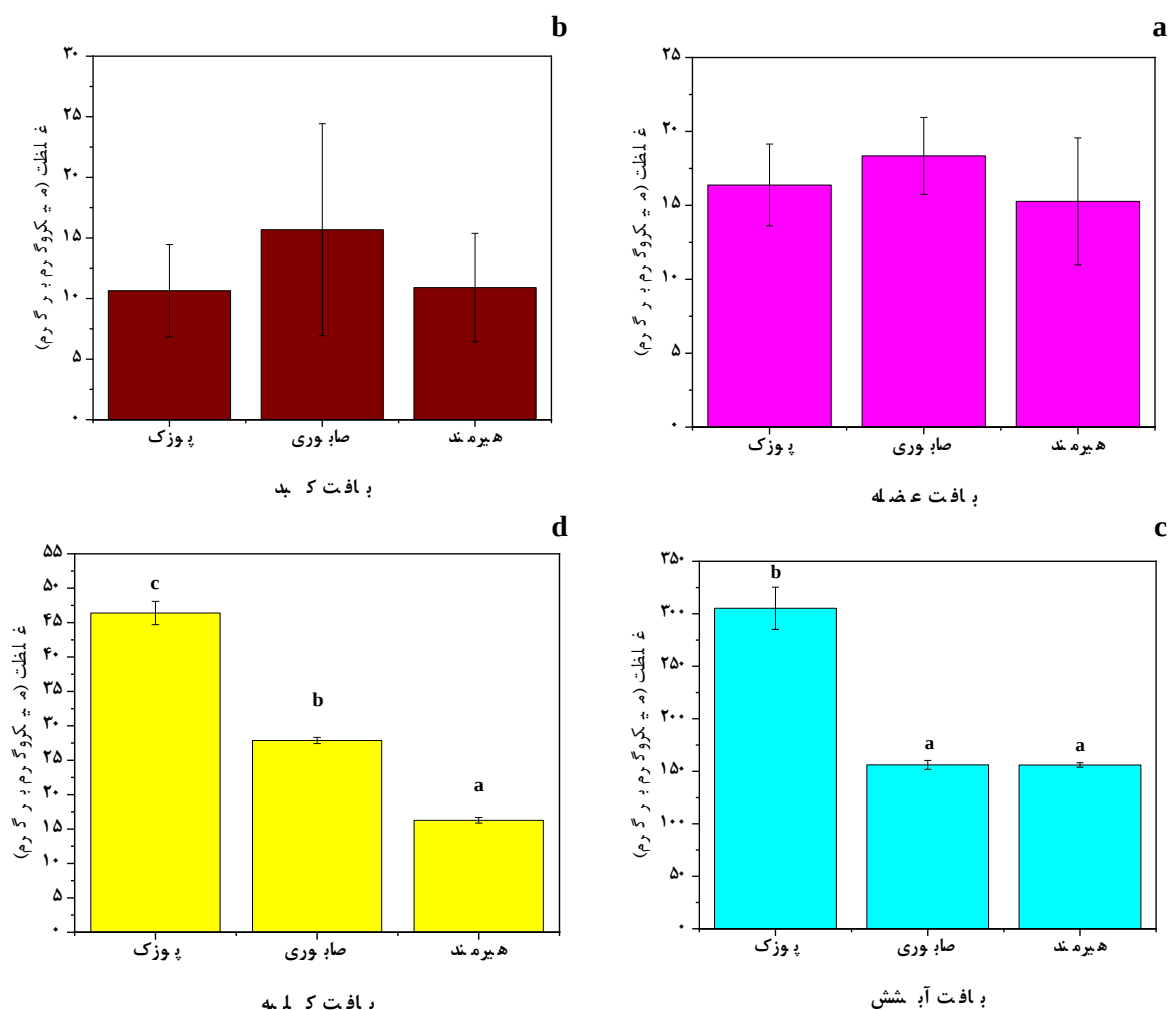
شکل ۲- مقایسه غلظت استرانسیم در بین بافت‌های مختلف ماهی. حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار است ($P < 0.05$).

Chowdhury و Blust (۲۰۱۱) نیز تفاوت غلظت فلز استرانسیم در بافت‌های ماهی را بیشتر ناشی از تأثیر محیط در مقایسه با فرآیندهای فیزیولوژیک ماهی دانستند. Ilyas و همکاران (۲۰۲۳)، غلظت استرانسیم را در عضله ماهی *Oreochromis aureus* رودخانه چناب پاکستان به ترتیب ۰/۰۸ میکروگرم بر میلی‌لیتر به دست آوردند. همچنین Gutiérrez-Ravelo و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی غلظت برخی از عناصر از جمله استرانسیم در ماهی *Sarpa salpa* پرداختند. نتایج حاکی از بالاتر بودن غلظت فلز در کبد ماهی نسبت به عضله بود. جهت برآورد وضعیت تجمع فلز استرانسیم در ماهیان پوزک، صابوری و هیرمند، این مقایسه برای هر بافت در بین سه بخش مذکور نیز ادامه یافت که نتایج حاصل در شکل ۳ نشان داده شده است. میانگین این عنصر در بافت‌های عضله هامون پوزک، صابوری و هیرمند با دارا بودن تفاوت معنی‌دار، به ترتیب 2.16 ± 1.77 ، 18.6 ± 34.58 و 15.27 ± 4.29 میکروگرم بر گرم (وزن خشک) به دست آمد ($P > 0.05$) (شکل ۳-a). تفاوت غلظت عنصر استرانسیم با مقادیر 10.65 ± 3.81 ، 15.8 ± 6.8 و 10.90 ± 4.48 میکروگرم بر گرم (وزن خشک) که به ترتیب در بافت کبد سه بخش پوزک، صابوری و هیرمند به دست آمد نیز معنی‌دار نبود ($P > 0.05$) (شکل ۳-b).

این مقایسه همچنین برای بافت آبشش نیز در بین سه بخش تالاب هامون انجام شد. نتیجه حاصل نشان داد که هامون پوزک با میانگین 30.5 ± 26.51 میکروگرم بر گرم (وزن خشک) دارای بالاترین غلظت این عنصر بود ($P < 0.05$). در حالی که دو بخش صابوری و هیرمند به ترتیب با میانگین‌های 156.4 ± 11.27 و 156.2 ± 2.13 میکروگرم بر گرم (وزن خشک) تفاوت معنی‌داری نداشتند ($P > 0.05$) (شکل ۳-c). بیشترین غلظت عنصر استرانسیم در بافت کلیه بخش پوزک و سپس در صابوری اندازه‌گیری شد. بافت کلیه ماهی در بخش هیرمند نیز دارای کمترین غلظت این عنصر بود ($P < 0.05$) (شکل ۳-d).

Firouzabadi و همکاران (۲۰۲۰) با هدف حصول اطمینان از فعالیت نیروگاه اتمی بوشهر، به بررسی غلظت محیطی استرانسیم در ماهی زمین کن دمنواری *Platycephalus indicus* خلیج فارس پرداختند. نتایج نشان داد که غلظت این عنصر در بافت استخوانی ماهی پایین است. آنها عنوان کردند که این ماهی می‌تواند وضعیت سلامت محیطی را از نظر عنصر استرانسیم نشان دهد. Kupeli و همکاران (۲۰۱۴) نیز به منظور بررسی کیفیت برخی از منابع آبی شامل دریا، دریاچه، رودخانه و نه‌رهای شهر ساکاریا (ترکیه) از نظر غلظت استرانسیم، از ۱۷ گونه ماهی استفاده کرده و غلظت عنصر را در بافت عضله ماهیان سنجش کردند. نتیجه حاکی از پایین بودن غلظت عنصر نسبت به استانداردهای موجود بود. آنها عنوان کردند که براساس یافته‌ها، منابع آبی مورد مطالعه آلوده نیستند.

بررسی ریسک سلامت مصرف کننده: مصرف ماهی به دلیل داشتن پروتئین بالا، انواع ویتامین‌ها، ترکیبات معدنی و اسیدهای چرب غیر اشباع، همیشه توصیه می‌شود (Olgunoglu; 2017). اما وجود آلاینده‌های مختلف به ویژه فلزات سنگین، در بافت خوراکی ماهی می‌تواند از مزایای مصرف ماهی بکاهد. بنابراین در برخی مطالعات بررسی آلاینده‌ها، جهت برآورد ریسک خطر مصرف، شاخص‌های سلامت نیز مورد بررسی قرار می‌گیرد (Yi et al., 2011; Torabi et al., 2024). بدین ترتیب، با ارزیابی پتانسیل ریسک خطر بالقوه سلامت یک آلاینده ویژه که از طریق بررسی احتمال وقوع تأثیر مضر سرطان‌زایی و غیر سرطان‌زایی آن در یک دوره مشخص بررسی می‌شود، قابل محاسبه است (Varol et al., 2018).



شکل ۳- مقایسه غلظت استرانسیم در بین بخش های مختلف تالاب هامون. حروف متفاوت نشان دهنده تفاوت معنی دار است ($P < 0.05$)

جدول ۱- محاسبه شاخص های سلامت استرانسیم در عضله ماهی کپور معمولی صید شده از تالاب هامون در دوره بالغین و کودکان

US EPA, 2011 (HI)	US EPA, 2011 (THQ)	HI	THQ	CR _{Lim} (kg/Day)	MDI ($\mu\text{g/kg}$ Bw/Day)	شاخص	تالاب
<1	<1	0.017	0.017	13/12	10/37	بالغین	پوزک
		0.038	0.038	3	22/8	کودکان	
		0.098	0.098	11/45	11/89	بالغین	صابوری
		0.043	0.043	2/617	26/13	کودکان	
		0.065	0.065	13/75	9/903	بالغین	هیرمند
		0.036	0.036	3/14	21/75	کودکان	

در ارزیابی ریسک سلامت مصرف کننده، شاخص های MDI، CR_{lim} و THQ تعیین شده که به ترتیب نشان دهنده میزان جذب روزانه قابل قبول فلز از طریق مصرف ماهی، حداکثر مقدار مجاز مصرف روزانه ماهی و احتمال ریسک غیر سرطانی آلاینده است (Faisal et al., 2021). همچنین شاخص HI احتمال خطرپذیری کل یک آلاینده را برای مصرف کننده نشان می دهد. در صورتی که مقدار شاخص های HI و THQ بالاتر از یک حاصل شوند، خطرناک محسوب شده و اگر مقدار آنها کمتر از یک باشد، سلامت بافت مورد استفاده، تأیید می گردد (USEPA, 2011, Dehghani, 2023). بدین ترتیب در مطالعه حاضر، مقدار MDI در ماهی کپور هامون صابوری در بالغین و کودکان به ترتیب با مقادیر 11/89 و 26/13 میکروگرم بر کیلوگرم وزن بدن در روز و بالاتر از مقدار حاصل برای هامون پوزک و هیرمند بود، که نشان دهنده بیشتر بودن غلظت این عنصر در بافت ماهی این بخش تالاب، در مقایسه

با سایر بخش‌های تالاب است. در حالی که شاخص CR_{lim} در عضله ماهی هامون صابوری با مقادیر ۱۱/۴۵ برای بالغین و ۲/۶۱۷ برای کودکان، کمتر از بخش‌های دیگر بود. همچنین مقدار شاخص THQ نیز برای بالغین و کودکان در بخش صابوری با مقادیر ۰/۰۴۳ و ۰/۰۱۹۸، بالاتر از سایر بخش‌های تالاب بود. نتایج حاصل از این شاخص‌ها با غلظت حاصل از بافت عضله در بین بخش‌های تالاب همخوانی دارد (جدول ۱). شاخص HI از مجموع THQ حاصل از عناصر مورد بررسی به‌دست می‌آید. از آنجا که در مطالعه حاضر، یک عنصر بررسی شد، مقدار شاخص HI با مقدار THQ برابر است. بدین ترتیب مقدار این شاخص در بالغین و کودکان در هر سه بخش تالاب کمتر از یک بود (جدول ۱). در نتیجه مصرف روزانه بافت ماهی از نظر غلظت این فلز خطری را برای مصرف‌کننده به‌همراه ندارد. در حالی که، Otachi و همکاران (۲۰۱۵) در بررسی برخی فلزات سنگین از جمله استرانسیم در بافت عضله ماهی *Hydrocynus forskahlii* در ریاضه Turkana (کنیا)، شاخص THQ را برای استرانسیم در عضله ماهی ۴/۱ به‌دست آوردند، که بالاتر از مقدار حاصل در مطالعه حاضر بود. آنها عنوان کردند که مصرف ماهی برای افراد این منطقه خطرناک است.

Mortazavi و Hatami Manesh (۲۰۱۹) غلظت فلزات سرب، کروم، مس و روی را در بافت عضله ماهی کپور معمولی (*C. carpio*) و آمور (*Ctenopharyngodon idella*) در رودخانه بشار یاسوج بررسی کرده و سپس به ارزیابی خطر سلامتی این عناصر پرداختند. در این مطالعه، میزان شاخص آلودگی فلزات و حداکثر میزان مجاز مصرف روزانه (CR_{lim}) نشان داد آلودگی و خطر بهداشتی مصرف کپور معمولی به‌مراتب بیشتر از ماهی آمور است. میزان شاخص THQ برای هر دو ماهی کپور معمولی و آمور به‌ترتیب برابر ۰/۳۴۸ و ۰/۲۴۴ و همچنین مقدار (HI) هر دو گونه ماهی نیز کمتر از یک به‌دست آمد که خطری را به‌همراه ندارد. در عین حال، آنها عنوان کردند که ادامه روند ورود آلاینده‌های مختلف به‌وسیله فاضلاب‌های شهری، صنعتی و کشاورزی می‌تواند موجب تجمع عناصر سنگین در زنجیره غذایی این رودخانه شده و همچنین تهدید سلامت موجودات زنده و مصرف‌کنندگان آن‌ها را به‌همراه دارد. Dehghani و همکاران (۲۰۲۳) غلظت فلزات سنگین کادمیم، سرب، روی، کروم و مس را در عضله دو گونه ماهی صوف *Sander lucioperca* و کپور معمولی *C. carpio* در رودخانه ایلگنه‌چای (حوزه آبریز ارس) بررسی کردند. ارزیابی ریسک غذایی نشان داد که بیشترین احتمال خطرپذیری غیر سرطان‌زایی THQ در بین عناصر بررسی شده، مربوط به کادمیم است و احتمال خطرپذیری غیر سرطان‌زایی کل (HI) کمتر از یک است. مقایسه میزان تجمع عناصر در عضلات ماهیان مورد بررسی و مقایسه شاخص‌های سلامتی با شاخص‌های جهانی نیز نشان داد که مصرف این ماهیان در این رودخانه خطر جدی برای انسان به‌همراه ندارد.

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر بیشترین میزان تجمع استرانسیم در بافت آبشش محاسبه شد که می‌تواند به‌دلیل تماس مستقیم این بافت با آب و همچنین هم‌تا بودن این عنصر با یون کلسیم در بافت‌های ماهی و جایگزینی آن باشد. در نتیجه به‌دلیل جذب سطحی موجب افزایش غلظت آن در بافت آبشش گردد. از طرفی دیگر، بالاتر بودن غلظت این عنصر در بافت کلیه و آبشش ماهیان بخش هامون پوزک نیز می‌تواند به‌عنوان شاخصی جهت برآورد کیفیت آب تالاب هامون باشد. با توجه به مسیر طولانی‌تر طی شده توسط رودخانه‌های ورودی به هامون پوزک در مقایسه با دو بخش دیگر، افزایش غلظت می‌تواند ناشی از تأثیر محیطی بر غلظت عنصر مذکور در آب و به‌دنبال آن در ماهی کپور باشد. بنابراین براساس نتایج حاصل می‌توان عنوان کرد که ماهی کپور معمولی *C. carpio* می‌تواند به‌عنوان شاخصی مناسب جهت برآورد وضعیت عنصر استرانسیم در تالاب هامون در شرایط پرآبی باشد. همچنین پیشنهاد می‌شود، در زمان پرآبی تالاب هامون، علاوه بر نمونه ماهی، غلظت عنصر استرانسیم در آب و رسوبات نیز بررسی شده و ارتباط بین بخش‌های مورد مطالعه، نیز مطالعه شود.

References

- Afonso, A., Gutiérrez, A.J., Lozano, G., González-Weller, D., Rubio, C., Caballero, J.M., Revert, C., 2017. Determination of toxic metals, trace and essentials, and macronutrients in *Sarpa salpa* and *Chelon labrosus*: risk assessment for the consumers. *Environmental Science and Pollution Research* 24(11), 10557-10569.

- Ahsan, M.A., Siddique, M.A.B., Munni, M.A., Akbor, M.A., Bithi, U.H., Mia, M.Y., 2018. Analysis of major heavy metals in the available fish species of the Dhaleshwari River, Tangail, Bangladesh. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies* 6(4), 349-354.
- Aissaoui, A., Sadoudi-Ali Ahmed, D., Cherchar, N., Gherib, A., 2017. Assessment and biomonitoring of aquatic pollution by heavy metals (Cd, Cr, Cu, Pb and Zn) in Hammam Grouz Dam of Mila (Algeria). *International Journal of Environmental Studies* 74(3), 428-442.
- Angon, P.B., Islam, M.S., K.C., S., Das, A., Anjum, N., Poudel, A., Suchi, S.A., 2023. Sources, effects and present perspectives of heavy metals contamination. Soil, plants and human food chain. *Heliyon* 10(7), 28357.
- Biolé, F.G., Vegh, S.L., Bavio, M., Tripodi, P., Volpedo, A.V., Thompson, G., 2024. Essential and non-essential elements in marine silverside *Odontesthes argentinensis* from southwestern Atlantic coast: Tissues bioaccumulation, biomagnification and public health risk assessment. *Food and Chemical Toxicology* 185(4), 114452.
- Burger, J., Gaines, K.F., Boring, C.S., Stephens, W.L., Snodgrass, J., Dixon, C., Gochfeld, M., 2002. Metal levels in fish from the Savannah River: potential hazards to fish and other receptors. *Environmental Research* 89(1), 85-97.
- Chen, X., Liu, S., Ding, Q., Teame, T., Yang, Y., Ran, C., Zhou, Z., 2023. Research advances in the structure, function, and regulation of the gill barrier in teleost fish. *Water Biology and Security* 2(2), 100139.
- Chowdhury, M.J., Blust, R., 2011. Strontium. *Fish Physiology* 31(2), 351-390.
- Dehmardeh, M., Yazdani, S., Seluki, M., Piri, A., Azarian, H.A., 2017. Examining the importance of Hamon Wetland in eliminating poverty and unemployment and reducing the migration of marginal residents of Hamon Wetland. Conference: International Water Crisis Conference.
- Dehghani, A., 2023. Assessing the health risk of heavy elements caused by the consumption of common carp (*Cyprinus carpio*) and perch (*Sander lucioperca*) in the catchment area of Ilganechai to Aras River. *Scientific Journal of Iranian Fisheries* 32(1), 61-7.
- Faisal, M., Wu, Z., Wang, H., Hussain, Z., Azam, M.I., 2021. Human health risk assessment of heavy metals in the urban road dust of Zhengzhou metropolis, China. *Atmosphere* 12(9), 1213.
- Farhadiamiri, A., Yavari, V., salaraliabadi, M.A. 2013. Concentration of Heavy Metals in Tissues of Greater Lizardfish (*Sauridarntumbil*) from Hendijan Port- Persian Gulf. *Journal of Fisheries Science and Technology* 2(1), 71-80.
- Filipović Marijić, V., Mijošek, T., Dragun, Z., Retzmann, A., Zitek, A., Prohaska, T., Erk, M., 2022. Application of calcified structures in fish as indicators of metal exposure in freshwater ecosystems. *Environments* 9(2), 14.
- Flik, G., Verboost, P.M., 1993. Calcium transport in fish gills and intestine. *Journal of Experimental Biology* 184(1), 17-29.
- Firouzabadi, M., Jalali Jahromi, H., Anaraki Ardakani, H., 2020. Measurement of Strontium-90 in the Persian Gulf Fish by Extraction Chromatography with Sr-resin and Liquid Scintillation Counter. *Iran South Medicine Journal* 23(6), 541-553.
- Groot, D., Brander, L., Finlayson, C.M., 2018. Wetland ecosystem services. In *The Wetland book: I: Structure and function, management, and methods* (pp. 323-333). Springer Netherlands.
- Gutiérrez-Ravelo, A., Gutiérrez, Á.J., Paz, S., Carrascosa-Iruzebieta, C., González-Weller, D., Caballero, J.M., Hardisson, A., 2020. Toxic metals (Al, Cd, Pb) and trace element (B, Ba, Co, Cu, Cr, Fe, Li, Mn, Mo, Ni, Sr, V, Zn) levels in *Sarpa salpa* from the north-eastern Atlantic Ocean region. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 17(19), 7212.
- Hatami, P., Naji, A., Purity, M., 2016. Accumulation of heavy metals cadmium, copper, zinc and nickel in the muscle tissue of common hason fish (*Saurida tumbil* Bloch, 1795) and Sultan Ibrahim (*Nemipterus japonicus* Bloch, 1791) in Oman Sea. *Applied Fisheries Research* 5(4), 45-62.
- Kołodziejska, B., Stępień, N., Kolmas, J., 2021. The influence of strontium on bone tissue metabolism and its application in osteoporosis treatment. *International Journal of Molecular Sciences* 22(12), 6564.
- Krause, K.P., Wu, C.L., Chu, M.L., Knouft, J.H., 2019. Fish assemblage–environment relationships suggest differential trophic responses to heavy metal contamination. *Freshwater Biology* 64(4), 632-642.

- Kumar, V., Swain, H.S., Upadhyay, A., Ramteke, M.H., Sarkar, D.J., Roy, S., Das, B.K., 2024. Bioaccumulation of potentially toxic elements in commercially important food fish species from lower Gangetic stretch food security and human health risk assessment. *Biological Trace Element Research* 202(3), 1235-1248.
- Küpeli, T., Altundağ, H., İmamoğlu, M., 2014. Assessment of trace element levels in muscle tissues of fish species collected from a river, stream, lake, and sea in Sakarya, Turkey. *The Scientific World Journal* 2014(1), 496107.
- Lahijani, O., Salvation Seal, M., Shakri, A., Yeganehfar, M., 2019. The study of heavy metals in the sediments of the river bed and Mahabad dam, and the risk assessment of the consumption of edible fish in the region. *Health and Environment* 13(1), 49-64.
- Łuczyńska, J., Pietrzak-Fiećko, R., Purkiewicz, A., Łuczyński, M.J., 2022. Assessment of fish quality based on the content of heavy metals. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 19(4), 2307.
- Lipy, E.P., Hakim, M., Mohanta, L.C., Islam, D., Lyzu, C., Roy, D.C., Abu Sayed, M., 2021. Assessment of heavy metal concentration in water, sediment and common fish species of Dhaleshwari River in Bangladesh and their health implications. *Biological Trace Element Research* 199(11), 4295-4307.
- Maurya, P.K., Malik, D.S., Yadav, K.K., Kumar, A., Kumar, S., Kamyab, H., 2019. Bioaccumulation and potential sources of heavy metal contamination in fish species in River Ganga basin: Possible human health risks evaluation. *Toxicology Reports* 6 (1), 472-481.
- Meng, H., Lin, Y., Zhong, W., Zhao, Z., Shen, L., Ling, Z., Xu, S., 2023. Fish biomonitoring and ecological assessment in the Dianchi Lake Basin based on environmental DNA. *Water* 15(3), 399.
- Moiseenko T.I., Kudryavtseva L.P., 2001. Trace metal accumulation and fish pathologies in areas affected by mining and metallurgical enterprises in the Kola region, Russia. *Environmental Pollution* 114(2), 285-297.
- Mortazavi, S., Hatami Manesh, M., 2019. Accumulation and health risk assessment of heavy metals (lead, chromium, copper and zinc) in common carp (*Cyprinus carpio*) and amur fish (*Ctenopharyngodon idella*) of Bashar Yasouj river. *Journal of Aquatic Ecology* 9(3), 1-13.
- Mohammed, E., Mohammed, T., Mohammed, A., 2017. Optimization of an acid digestion procedure for the determination of Hg, As, Sb, Pb and Cd in fish muscle tissue. *MethodsX* 4(1), 513-523.
- Moodley, R., Mahlangeni, N.T., Reddy, P., 2021. Determination of heavy metals in selected fish species and seawater from the South Durban Industrial Basin, KwaZulu-Natal, South Africa. *Environmental Monitoring and Assessment* 193(1), 1-11.
- Nitiputri, K.A.P., 2016. Morphological and chemical changes in in vitro bone mineral and the effect of strontium on in vitro mineralisation. Imperial College London.
- Nyarko, E., Boateng, C.M., Asamoah, O., Edusei, M.O., Mahu, E., 2023. Potential human health risks associated with ingestion of heavy metals through fish consumption in the Gulf of Guinea. *Toxicology Reports* 10(1), 117-123.
- Olgunoglu, I.A., 2017. Review on omega-3 (n-3) fatty acids in fish and seafood. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare* 7(12), 37-45.
- Otachi, E.O., Plessl, C., Körner, W., Avenant-Oldewage, A., Jirsa, F., 2015. Trace elements in water, sediments and the elongate tigerfish *Hydrocynus forskahlii* (Cuvier 1819) from Lake Turkana, Kenya including a comprehensive health risk analysis. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 95, 286-291.
- Pathak, P., Srivastava, R.R., Keceli, G., Mishra, S., 2020. Assessment of the alkaline earth metals (Ca, Sr, Ba) and their associated health impacts. *Strontium Contamination in the Environment* 227-243.
- Peng, H., Yao, F., Xiong, S., Wu, Z., Niu, G., Lu, T., 2021. Strontium in public drinking water and associated public health risks in Chinese cities. *Environmental Science and Pollution Research* 28(18), 23048-23059.
- Piczak, M.L., Bzonek, P.A., Pratt, T.C., Sorensen, P.W., Stuart, I.G., Theysmeijer, T., Cooke, S.J., 2023. Controlling common carp (*Cyprinus carpio*): barriers, biological traits, and selective fragmentation. *Biological Invasions* 25(5), 1317-1338.
- Safitri, N.S., Suratno, S., Suherman, S., 2023. Food Safety Level Assessment on Heavy Metals (As, Cd, Li, Ni, Pb, Ti) Concentration in Tilapia Fish (*Oreochromis sp.*) from Sleman and Bantul Yogyakarta. *Key Engineering Materials* 949(11), 33-39.

- Saidak, Z., Marie, P.J., 2012. Strontium signaling: molecular mechanisms and therapeutic implications in osteoporosis. *Pharmacology and Therapeutics* 136(2), 216-226.
- Scivicco, M., Cacciola, N.A., Esposito, F., Squillante, J., Ariano, A., Borriello, L., Severino, L., 2024. Heavy metals in fishes from the Tyrrhenian Sea and risk assessment. *Journal of Food Composition and Analysis* 128(4), 106027.
- Selgi, A., Khatouni, P., 2014. Investigating the levels of some heavy metals in Zarivar International Wetland by monitoring common carp (*Cyprinus carpio*). *Animal Environment Quarterly* 7(3), 109-118.
- Setufe, S.B., Bilikoni, J., Ofori, E., Ogwu, M.C., 2023. Fish as a Sustainable Biomonitoring Tool in Aquatic Environments. *Biomonitoring of Pollutants in the Global South* 421 p.
- Silva, V.M., Santana, G.M., de Jesus Pinto, M., dos Santos, P.R.M., Braga, L.G.T., Navoni, J.A., de Jesus, R.M., 2023. Bioaccumulation of Toxic Metals in Freshwater Fish in Brazil: Gaps, Applications, and Future Directions for Environmental Biomonitoring. *Water, Air and Soil Pollution* 234(11), 671.
- Siraj, M., Khisroon, M., Khan, A., Zaidi, F., Ullah, A., Rahman, G., 2018. Bio-monitoring 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.
- Shah, N., Khan, A., Ali, R., Marimuthu, K., Uddin, M.N., Rizwan, M., Khisroon, M., 2020. Monitoring bioaccumulation (in gills and muscle tissues), hematology, and genotoxic alteration in *Ctenopharyngodon idella* exposed to selected heavy metals. *BioMed research international*. Wiley 6185231.
- Tahity, T., Islam, M.R.U., Bhuiyan, N.Z., Choudhury, T.R., Yu, J., Noman, M.A., Hossain, M.B., 2022. Heavy metals accumulation in tissues of wild and farmed barramundi from the northern Bay of Bengal coast, and its estimated human health risks. *Toxics* 10(8), 410.
- Torabi, S., Gholizadeh, M., Yazarlo, M., Riahi, Z., 2024. Health risk assessment of heavy metals in marine fish caught from the northwest Persian Gulf. *Biological Trace Element Research* 202(8), 3789-3799.
- Torres, D.P., Martins-Teixeira, M.B., Cadore, S., Queiroz, H.M., 2016. Sequential factorial designs for method development of the determination of Cd and Pb in fish and shrimp by GF AAS after sample freeze-drying and tetramethylammonium hydroxide solubilization. *Analytical Methods* 8(21), 4263-4271.
- US EPA. 2000 (United States Environmental Protection Agency. chemical contaminant data for use in fish advisories. Fish sampling and analysis, vol 1, 3rd edn. Office of Science and Technology, Washington, DC.
- US EPA. 2011. (United States Environmental Protection Agency). USEPA regional screening level (RSL) summary table: Nov 2011. <http://www.epa.gov/regsh/wmd/risk/human/Index.html> Accessed 06 Dec 2011.
- Varol, M., Kaya, G.K., Alp, S.A., Sünbül, M.R., 2018. Trace metal levels in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) cultured in net cages in a reservoir and evaluation of human health risks from consumption. *Biological Trace Element Research* 184(1), 268-278.
- Wahabi, L., 2011. Harmful effects of strontium on bone metabolism. *Faiz Journal of Medical Sciences* 16(7), 599-600.
- Yi, Y., Yang, Z., Zhang, S., 2011. Ecological risk assessment of heavy metals in sediment and human health risk assessment of heavy metals in fishes in the middle and lower reaches of the Yangtze River basin. *Environmental Pollution* 159(10), 2575-2585.
- Zaghloul, G.Y., El-Din, H.M.E., Mohamedein, L.I., El-Moselhy, K.M., 2022. Bio-accumulation and health risk assessment of heavy metals in different edible fish species from Hurghada City, Red Sea, Egypt. *Environmental Toxicology and Pharmacology* 95(7), 103969.