مقاله علمی – پژوهشی:

ارزیابی ریسک سلامتی عناصر سنگین ناشی از مصرف ماهیان کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) و سوف (*Sander lucioperca*) در حوضه آبریز ایلگنه‌چای به رود ارس

امیر دهقانی*[۱]

*a.dehghani93@gmail.com

۱-گروه زیست شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران

تاریخ دریافت: بهمن ۱۴۰۱ تاریخ پذیرش: فروردین ۱۴۰۲

چکیده

امروزه پایش میزان تجمع فلزات سنگین در بافت آبزیان یکی از رویکردهای مهم تحقیقاتی در جهت ارزیابی و اطمینان از سلامت اکوسیستم‌هاست. در مطالعه حاضر، غلظت ۵ فلز سنگین (کادمیوم، سرب، روی، کروم و مس) در عضله دو گونه از ماهیان *Sander lucioperca* و *Cyprinus carpio* در رودخانه ایلگنه‌چای مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق در مجموع، ۵۲ نمونه (۲۵ سوف و ۲۷ ماهی کپور معمولی) طی سال‌های ۱۴۰۱-۱۳۹۹ به طور تصادفی از محل اتصال حوضه آبریز ایلگنه‌چای به ارس جمع‌آوری شد. در آزمایشگاه، بافت‌های هر نمونه جداسازی و هضم گردید. سپس با استفاده از دستگاه جذب اتمی مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفتند. مقایسه میانگین غلظت عناصر نشان داد که بیشترین تجمع زیستی در هر دو گونه ماهی متعلق به مس و کمترین آن کادمیوم است. این مقادیر در مقایسه با حداکثر مجاز اعلام شده از سازمان بهداشت جهانی کمتر است. ارزیابی ریسک غذایی نشان داد که مقدار میزان جذب روزانه (EDI) در مقایسه با میزان جذب قابل تحمل (TDI) کمتر بوده و بیشترین احتمال خطرپذیری غیر سرطان‌زایی (THQ) در بین عناصر بررسی شده متعلق به کادمیوم است و احتمال خطرپذیری غیر سرطان‌زایی کل (HI) بیشتر از یک نیست. علاوه‌براین، بالاترین شاخص ریسک سرطان‌زایی (CR) مربوط به فلز کادمیوم (۸×۱۰^{-۵}) بوده که کمتر از شاخص استاندارد جهانی قابل قبول (۱×۱۰^{-۴}) است. در نهایت، مقایسه میزان تجمع عناصر در عضلات ماهیان مورد بررسی و مقایسه شاخص‌های سلامتی با شاخص‌های جهانی نشان می‌دهد که مصرف این ماهیان در این رودخانه خطر خاصی برای انسان ندارد.

لغات کلیدی: فلزات سنگین، ریسک سلامتی، ایلگنه‌چای، رودخانه ارس

*نویسنده مسئول

مقدمه

آلودگی اکوسیستم‌های آبی که محل زیست موجودات مختلف است یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در جامعه بشری مدرن به‌شمار می‌رود. یکی از این آلودگی‌ها، عناصر سنگین است که دارای طیف گسترده‌ای از اثرات منفی است (Alipour and Banagar, 2018). این عناصر به صورت طبیعی یا تحت تاثیر فعالیت‌های انسانی (کشاورزی، معدن‌کاری، پالایشگاه یا سایر عوامل صنعتی)، وارد محیط می‌شوند. زمانی‌که این آلاینده‌ها به مدت طولانی بدون تجزیه در محیط‌های آبی باقی بمانند، باعث ایجاد آسیب در جانوران آبزی مانند ماهیان می‌شود (Altındağ and Yiğit, 2005). انسان با مصرف آبزیان باعث ورود این عناصر به بدن می‌گردد. گزارش‌های فراوانی از بیماری‌های ناشی از عناصر سنگین ارائه شده است. برای مثال، ورود سرب، آرسنیک و کادمیوم به سبد غذایی انسان باعث ایجاد نارسایی کلیوی، آسیب کبدی، عقب ماندگی ذهنی و در درازمدت باعث بروز انواع سرطان‌ها می‌شود (Shahri *et al*., 2017). در این بین عناصر آهن، مس و روی، عناصر ضروری برای عملکرد آنزیم‌ها هستند، اما هنگامی که غلظت آنها از حد استاندار فراتر رود، باعث ایجاد خطرات قابل‌توجهی برای سلامتی انسان می‌شود (Gulcin and Alwasel, 2022). مطالعات گسترده‌ای در زمینه پایش رسوب آلاینده‌ها در اکوسیستم‌های آبی در نقاط مختلف جهان انجام گرفته یا درحال انجام است. مبانی این تحقیقات بیشتر پایش مقدار غلظت عناصر موجود در آبهای سطحی است که فقط مقدار لحظه‌ای این عناصر را نشان می‌دهد و اگر آب روان باشد، نمی‌تواند استاندارد درستی برای پایش مدت زمان طولانی عناصر باشد. در سال‌های اخیر رویکرد پایش‌های وضعیت سلامت اکوسیستم‌ها بیشتر از نظر زیستی بررسی می‌شود. در این رویکرد پایش عناصر در سطوح یا شبکه‌های غذایی بررسی می‌شود. برای مثال، بافت ماهی‌هایی که از سخت‌پوستان ریز مانند آمفی‌پدا که در معرض عناصر سنگین قرار دارند تغذیه می‌کنند و در سبد غذایی انسان قرار می‌گیرد، مورد بررسی قرار گرفته است و ارزیابی سلامتی غذایی آن از نظر خطرزایی مورد توجه قرار می‌گیرد. همچنین این روش نشانگر مناسبی بر میزان رسوب آلاینده‌ها در درازمدت بوده که شاخص مناسب‌تری است. بدین‌منظور، برای ارزیابی وضعیت سلامتی از رودخانه مهم منطقه ارسباران از روش زیستی استفاده شد.

مطالعات محدودی جهت پایش عناصر سنگین در بافت ماهیان رود ارس انجام گرفته است که برای مثال، می‌توان به مطالعات Nasehi و همکاران (۲۰۱۳) بر ارزیابی میزان تجمع عناصر سرب، کادمیوم، روی و مس در عضله ماهی کپور در نوار مرزی این رود با استان اردبیل اشاره کرد که مقادیر سرب و کادمیوم را زیر حد تشخیص و مقدار مس و روی را کمتر از حد استاندارد جهانی اعلام کردند، زارع رشکوئیه و همکاران (۱۳۹۵) تجمع عناصر سنگین آرسنیک، کادمیوم و مس را در بافت عضله ماهی سیم در سد خدا آفرین بررسی کرده و مقدار آن را بیش از استانداردهای FAO و EPA گزارش نمودند، شاه‌محمدی کلالق و حبیب زاده (۱۳۹۶) به بررسی میزان تجمع عناصر سنگین مس، روی، سرب و نیکل در ماهی زردپر در محدوده منطقه آزاد تجاری- صنعتی رودخانه ارس پرداختند و مقدار آن را کمتر از استانداردهای FAO و WHO گزارش کردند، دوستدار و همکاران (۱۳۹۷) به بررسی و تعیین میزان مس، مولیبدن، آرسنیک و جیوه در چهار گونه ماهی رودخانه ارس در محدوده استان آذربایجان شرقی پرداختند و نشان دادند که مولیبدن بیشترین تجمع و جیوه دارای کمترین تجمع در بین ماهیان است و جدیدترین مطالعه در این حوزه مربوط به پژوهش‌های Dehghani و همکاران (۲۰۲۲) است که میزان رسوب عناصر آرسنیک، سرب، کادمیوم و مس و همچنین ریسک سلامتی آن در ماهی سوف در تمام طول رود ارس و در تمام فصول مورد ارزیابی قرار دادند و سرطان‌زا بودن فلز آرسنیک را در ارس اعلام کردند. در این مطالعه سعی شده است که میزان تجمع چهار عنصر سنگین (کادمیوم، سرب، روی، مس و کروم) در یکی از رودخانه‌های فرعی رود ارس (ایلگنه‌چای) را در دو گونه مهم از ماهیان موجود در این رودخانه مورد بررسی قرار دهند. مبنای انتخاب این عناصر براساس میزان خطرزایی

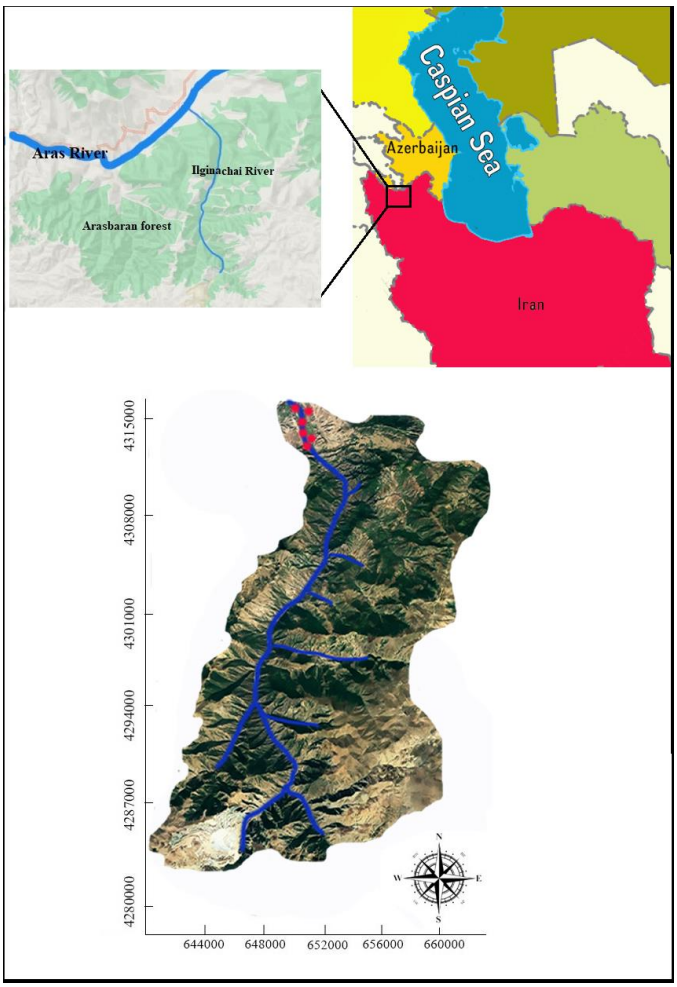
آنها، مقایسه با مطالعات مشابه قبلی و نیز مقرون به صرفه بودن نوع آنالیزها بود.

با توجه به این‌که این رودخانه در پایین‌دست معادن بزرگی همچون معدن مس سونگون واقع شده است، آبهای آن در نهایت وارد رود ارس و دریای خزر می‌شود و اگر آلودگی در این رودخانه صورت پذیرد، می‌تواند تمام حوضه دریای خزر را تحت تاثیر خود قرار دهد و باعث خسارات جبران ناپذیری گردد.

مواد و روش کار

منطقه مورد مطالعه

ایلگنه‌چای یکی از بزرگ‌ترین حوضه‌های تغذیه‌کننده رود ارس است. این رودخانه جمع‌کننده آبهای سطحی حدود ۴۰۷۷۰ هکتار از منطقه ارسباران است (یاراحمدی و همکاران، ۱۳۹۸). قسمت اعظم این حوضه در شهرستان کلیبر واقع شده است که از ناحیه شمالی شهرستان ورزقان و منطقه ازومدل شمالی سرچشمه می‌گیرد. رودخانه مرکزی این حوضه در مختصات جغرافیایی "۱۲ '۴۸ °۳۸ شمالی الی "۴۹ '۴۴ °۴۶ شرقی واقع شده و وجود این رود باعث ایجاد اکوسیستمی منحصربه‌فرد شده است. این رودخانه مرکزی از به‌هم پیوستن رودخانه‌های سونگون‌چای و پخیرچای شکل گرفته است و آب آن در نهایت به سمت دریای خزر روانه می‌شود (شکل ۱).



شکل ۱: محل قرارگیری حوضه آبریز رود ایلگنه‌چای در منطقه مورد مطالعه

Figure 1: Map of the Ilgina River basin showing the study area

نمونه‌برداری

این مطالعه طی سال‌های ۱۴۰۱-۱۳۹۹ انجام گرفت. تعداد ۵۲ نمونه ماهی بالغ از محل اتصال این رودخانه با رود ارس با تور گوشگیر رودخانه‌ای با چشمه‌های کشیده (گره تا گره مقابل) به اندازه ۵۰ میلی‌متر جمع آوری شد.

مطالعات آزمایشگاهی

ماهیان جمع‌آوری شده بلافاصله به آزمایشگاه منتقل شده و با آب دیونیزه شستو داده شدند. پس از شناسایی و ثبت داده‌های ریختی و بیومتری ماهیان (جدول ۱)، ۲۰ گرم از عضله هر ماهی جدا شد. در داخل آون (دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد) به مدت ۳۶ ساعت قرار داده شده، بعد از این مرحله نمونه‌ها برای عدم رطوبت گیری مجدد به دسیکاتور منتقل شده و وزن‌گیری شده و در هاون چینی ساییده شدند. سپس ۰/۵ گرم از نمونه آماده شده در داخل یک بشر با ۵ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۶۵٪ ساخت شرکت مرک آلمان مخلوط گردید. در مرحله بعد محلول به‌دست آمده در دمای ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد تا عناصر مورد نظر به صورت کاملاً شفاف درآید. بعد از انجام این فرایند سوسپانسیون‌های ایجاد شده با استفاده از کاغذ صافی واتمن شماره ۴۲، صاف و به یک بالن شیشه‌ای مدرج منتقل شده و به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانیده شدند (AOAC, 1980).

جدول ۱: مشخصات گونه‌های ماهیان جمع آوری شده از رودخانه ایلگنه چای

Table 1: Characteristics of the fish species sampled from the Ilgineh Chai River

گونه	تعداد	جنسیت		طول بدن (سانتی‌متر)	وزن (گرم)
		نر	ماده		
Sander lucioperca	۲۵	۱۳	۱۲	۳۹/۲±۱/۹	۸۲۰±۱۵۲
Cyprinus carpio	۲۷	۱۴	۱۳	۳۵/۷±۳	۵۷۰±۱۱۷

در مرحله نهایی، محلول به‌دست آمده به دستگاه جذب اتمی شعله ای (مدل Varian 240Z AAS) تزریق شده و مقدار جذب و غلظت آن ثبت شد. حد تشخیص دستگاه LOD برای عناصر کادمیوم، سرب، روی، مس و کروم به‌ترتیب ۰/۰۰۵/۰۰۱، ۰/۰۰۵، ۰/۰۰۴ و ۰/۰۰۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک بود.

برای صحت‌سنجی روش اندازه‌گیری عناصر موجود در نمونه‌های ماهی و نیز اطمینان از مقدار صحیح آنها، از روش افزایش و درصد بازیابی عناصر استفاده گردید. در این روش، ۱۰ میلی‌لیتر از محلول استاندارد (کادمیوم، سرب، مس، روی و کروم) با غلظت ppb ۱ به نمونه مورد آزمایش اضافه شد. سپس دو نمونه به صورت مشابه و در شرایط آزمایشگاهی کاملاً یکسان تهیه گردید. سپس به یکی از این دو نمونه، محلول استاندارد اضافه گردید، آنگاه غلظت هر کدام به صورت جداگانه محاسبه شد. خروجی غلظت دستگاه براساس ppb بود که این مقادیر در این پژوهش برای مقایسه بهتر با سایر مطالعات به میلی‌گرم بر کیلوگرم تبدیل شدند.

روش تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

داده‌های حاصل از این پژوهش با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۲۲ مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت. میانگین تجمع فلزات سنگین در دو گونه مورد بررسی با استفاده از آزمون T-test مقایسه گردید. سپس نتایج حاصله با شاخص‌های بین‌المللی مورد ارزیابی قرار گرفتند.

ارزیابی ریسک بالقوه سلامتی

ارزیابی ریسک بالقوه سلامت، به عنوان یک فرآیند برآورد احتمال وقوع اثر مضر (سرطان‌زایی و غیر سرطان‌زایی) یک آلاینده خاص در یک دوره خاص شناخته می‌شود (Varol and Sünbül, 2018).

برآورد جذب روزانه (EDI)

جذب روزانه[1] عناصر سنگین مطابق معادله ذیل قابل محاسبه است (USEPA, 1989):

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

FIR: میزان مصرف ماهی[2] (گرم در روز) (حدود ۲۰/۵ گرم در روز؛ Alipour and Banagar, 2018)؛ C: غلظت فلز در بافت عضله ماهی (میلی‌گرم بر کیلوگرم)؛ BW: وزن بدن شخص (۷۰ کیلوگرم برای یک فرد بزرگسال)

ریسک غیر سرطان‌زایی (THQ)[3]

از این شاخص برای ارزیابی اثرات بالقوه غیر سرطان‌زایی مواد غذایی مانند ماهیانی که در معرض آلودگی عناصر سنگین قرار دارندT استفاده می‌شود که طبق معادله ذیل قابل محاسبه است (USEPA, 2000):

$$THQ = \frac{FIR \times C \times EF \times ED}{RfD \times Bw \times AT}$$

Ef: فرکانس در معرض قرارگیری (۳۶۵ روز/ سال)؛ ED: طول مدت در معرض قرارگیری (۷۰ سال)؛ AT: متوسط زمان در معرض قرارگیری (۷۰×۳۶۵)؛ RfD: عدد ویژه برای سنجش دوز مرجع فلز سنگین (برای کادمیوم ۱، سرب ۱/۵، کروم ۳۰۰، روی ۵۰۰ و مس ۴۰ میکروگرم/کیلوگرم در روز) (USEPA, 2010).

اگر مقدار این شاخص کمتر از ۱ باشد، بدین معناست که گونه ماهی مصرفی اثرات نامطلوب کمتری بر انسان دارد درحالی‌که اگر مقدار آن بالای ۱ باشد، اثرات زیان‌بار آن بالاست (Copat *et al.*, 2014). همچنین با توجه به این‌که ممکن است آلودگی در اثر دو یا چند فلز سنگین متفاوت ایجاد شود، برای ارزیابی اثرات این عناصر از شاخص ریسک سلامتی کل استفاده می‌شود.

شاخص ریسک غیر سرطان زایی کل (HI)[4]

این شاخص برآیند مجموع آلاینده‌ها مختلف است که در این مطالعه مجموع اثرات غیرسرطان‌زایی عناصر کادمیوم، سرب، کروم، روی، مس و آهن است. این شاخص از معادله ذیل قابل محاسبه است (USEPA, 2010):

$$HI = \sum_{n=1}^{n} (THQ)$$

در این شاخص اگر مقدار HI کمتر یک باشد، میزان رسوب فلز در سطح ایمن است و خطری فرد را تهدید نمی‌کند ولی اگر HI بیشتر از یک باشد، نشانگر تهدید سلامت شخص است.

شاخص ریسک سرطان‌زایی (CR)[5]

این شاخص برای ارزیابی ریسک سرطان‌زایی در یک فرد بوده که در طول عمر خود از آن دسته از مواد غذایی استفاده کرده که در معرض مواد سرطان‌زا قرار داشته است (USEPA, 1989). این شاخص طبق معادله ذیل محاسبه می‌شود (Bonsignore *et al.*, 2018):

$$CR = \frac{EF \times ED \times FIR \times C \times CSF}{Bw \times TA} \times 10^{-3}$$

طبق گزارش USEPA (۲۰۱۰) شاخص سرطان‌زایی تن‌ها برای عناصر آرسنیک، کادمیوم و سرب قابل محاسبه است. این شاخص براساس مقدار عددی شیب سرطان‌زایی عناصر سمی (CSF)[6] تعریف می‌گردد که این عدد برای کادمیوم ۶/۳ و برای سرب $۸/۵\times۱۰^{-۳}$ (میلی‌گرم برکیلوگرم بر روز) است. اگر مقدار عدد این شخص کمتر از ۱×۱۰^{-۴} باشد، ریسک سرطان‌زایی کم، اگر بین $۱۰^{-۴}$ و $۱۰^{-۳}$ باشد، ریسک سرطان‌زایی متوسط، بین $۱۰^{-۴}$ و $۱۰^{-۱}$، ریسک سرطان‌زایی بالا و اگر بیشتر از $۱۰^{-۱}$ باشد، ریسک سرطان زایی بسیار بالاست (USEPA, 1989).

[1] Estimated daily intake (EDI)
[2] Fish ingestion rate (FIR)
[3] Target hazard quotient (THQ)
[4] Hazard index
[5] Carcinogenic risk
[6] Carcinogenic slope factor (CSF)

نتایج

غلظت عناصر در ماهی سوف و ماهی کپور در جدول ۲ ارائه شده است. مقایسه میانگین‌های مقادیر عناصر سنگین در عضله دو گونه مورد بررسی نشان داد که اختلاف آماری معنی‌داری بین میانگین غلظت عناصر سنگین در گوشت ماهیان وجود ندارد ($P>0.05$). همچنین براساس داده‌های به‌دست آمده، بیشترین میزان رسوب پنج عنصر مورد بررسی در ماهی سوف، Cd<Cr<Pb< Zn <Cu و در ماهی کپور ماهی Cd<Cr<Pb< Zn <Cu بوده که در مقایسه با استاندارد سازمان بهداشت جهانی از حداکثر مجاز، کمتر بوده است.

جدول ۲: میانگین آماری میزان رسوب عناصر سنگین بررسی شده در عضله ماهیان سوف و کپور (میلی گرم به کیلوگرم وزن خشک)

Table 2: Mean concentrations of heavy metals in Carp and Pikeperch (d.w mg/kg)

	Cu	Zn	Cr	Pb	Cd
S. lucioperca					
میانگین	۷/۷۶	۲/۳۹	۱/۳۲	۰/۱۳۸	۰/۰۴۹
انحراف معیار	۰/۹۸	۰/۳۷	۰/۱۹	۰/۰۳	۰/۰۲۶
حداقل	۶/۵	۱/۸	۱/۱	۰/۰۹	۰/۰۲
حداکثر	۹/۲	۲/۸	۱/۷	۰/۲	۰/۰۹
C. carpio					
میانگین	۷/۳	۲/۷۴	۱/۳	۰/۱۱	۰/۰۵
انحراف معیار	۱/۵	۰/۷۸	۰/۳	۰/۰۲۷	۰/۰۲۴
حداقل	¾	۱/۲	۰/۹	۰/۰۸	۰/۰۲
حداکثر	۹/۶	۳/۷	۱/۸	۰/۱۶	۰/۰۹

بحث

براساس داده‌های به‌دست آمده برای پنج عنصر در گونه‌های مورد بررسی، نشان می‌دهد که الگوی تجمع زیستی این عناصر در بافت عضله از یک الگوی مشابه پیروی می‌کند و مقدار آنها از حد استاندار جهانی کمتر است (جدول ۳). مقایسه نتایج این پژوهش با نتایج سایر پژوهش‌ها در حوضه رود ارس و سایر مناطق آب شیرین جهان در سال‌های اخیر نشان می‌دهد که تجمع کادمیوم در هر دو گونه ماهی نسبت به مطالعه Nasehi و همکاران (۲۰۱۳) که مقدار این عنصر را در نوار مرزی استان اردبیل را کمتر از حد تشخیص اعلام کردند، بالاتر است، ولی نسبت به مطالعات Dehghani و همکاران (۲۰۲۲) در تمام طول رود ارس (۰/۷ میکروگرم بر گرم) و زارع شکوئیه و همکاران (۱۳۹۵) در سد خداآفرین (۰/۴۳ میکروگرم بر گرم)، کمتر است. همچنین این مقدار نسبت به ماهیان دریای خزر، دجله، رود چناب (پاکستان) و استان‌های چین تقریباً یکسان بوده، ولی نسبت به دریاچه میانکله (ایران) و سد سیدی سالم (تونس) کمتر است (جدول ۴).

تجمع سرب در هر دو گونه ماهی نسبت به مطالعه Nasehi و همکاران (۲۰۱۳) که مقدار این عنصر را زیر حد تشخیص اعلام کردند، بالاتر بوده است و مقدار آن با مطالعات شاه‌محمدی و حبیب‌زاده (۱۳۹۶) که بر ماهی زردپر (۰/۱۹ میکرو گرم) در مصب این رودخانه با رود ارس انجام گرفته بود، تقریباً یکسان است. میزان رسوب سرب در بافت عضله هر دو گونه نسبت به مطالعات Dehghani و همکاران (۲۰۲۲) (۰/۵۳ میکرو گرم بر گرم) کمتر است. تجمع این فلز در مقایسه با سایر نقاط جهان نشان می‌دهد که این مقدار نسبت به ماهیان سد کبان (ترکیه)، سیدی سالم (تونس) و استان‌های چین بیشتر بوده، ولی نسبت به دریاچه میانکله، دریای خزر، رود چناب (پاکستان) و دجله کمتر است.

شاید دلیل اصلی پایین بودن تجمع سرب و کادمیوم در مقایسه با سایر بخش‌های رود ارس، نمونه‌گیری از ورودی رودخانه به رود ارس است که ماهیان این منطقه کمتر با پسماندهایی که از صنایع فعال در کشور ارمنستان به این رود سرازیر می‌شود، (Aazami and Taban, 2018) مواجه هستند، لذا رسوب در بافت آنها کمتر اتفاق می‌افتد.

در این پژوهش میزان رسوب کروم در دو گونه، تقریباً یکسان، ولی نسبت به سایر مطالعات مشروح در جدول ۴، بالاتر، ولی از حد استاندارد بهداشت جهانی پایین‌تر بوده است. شاید دلیل بالا بودن میزان این عنصر نسبت به سایر نقاط جهان، قرارگیری این رودخانه در مجاورت سدباطله معدن سونگون و نیز صنایعی که به‌نحوی با مواد اسیدی و اکسید کننده درگیر هستند، باشد.

جدول ۳: حداکثر سطح میزان رسوب مجاز در بافت ماهیان براساس استانداردهای بین المللی

Table 3: Maximum acceptable levels of heavy metals in fish samples according international standards (mg/kg)

استاندارد	Cu	Zn	Cr	Pb	Cd	منبع
استاندارد غذایی استرالیا نیوزیلند				۰.۵		FSANZ, 2013
وزارت بهداشت چین	۳۰		۵۰	۰.۵	۰.۱	MHPRC, 2013
کمیسیون اروپا				۰.۳	۰.۰۵	EC, 2006
کمیسیون نشانه گذاری مواد غذایی (کدکس)				۰.۳		WHO/FAO, 2014
سازمان غذا و کشاورزی سازمان ملل متحد	۳۰	۳۰				FAO, 1983
سازمان جهانی بهداشت	۳۰	۱۰۰	۵۰		۱	Töre *et al*., 2021

جدول ۴: مقایسه میزان رسوب عناصر سنگین در بافت عضله ماهیان در مطالعه حاضر با سایر مطالعات (میلی گرم بر کیلوگرم)

Table 4: Comparison of the mean concentrations of heavy metals in freshwater fish muscles in this study with other studies (mg/kg).

منطقه مورد مطالعه/ کشور	Cu	Zn	Cr	Pb	Cd	منابع
دریای خزر/ ایران				۰/۵۳	۰/۰۹	Alipour and Banagar (2018)
سد سیدی سالم / تونس				۰/۰۴۶	۰/۱۷۱	Khemis *et al*. (2017)
رود ارس / ایران	۰/۷۶			۰/۷۱	۰/۷	Dehghani *et al*. (2022)
دجله/ ترکیه	۰/۲-۰۵/۸۱	۱۰/۲۲-۰۸/۳۴	۰/۱-۷۸/۶۸	۰/۰-۱۱/۳۳	۰/۰-۰۲/۰۵	Töre *et al*. (2021)
سد کبان / ترکیه	۰/۰-۵۸/۷۴	۴/۹-۳/۸	۰/۰-۷۶/۹	۰/۰-۰۳۸/۰۴۲	<۰/۰۰۱	Varol and Sünbül (2018)
رود چناب / پاکستان	۱/۴-۴/۶	۳۵/۵۴-۵/۴	۰/۰-۲۱/۶۷	۰/۰-۱۴/۳۱	۰/۰-۰۷/۱۲	Alamdar *et al*. (2017)
تالاب میانکاله/ ایران	۱/۶	۷/۲	۰/۰۸	۰/۶۷	۰/۲۶	Alipour *et al*. (2013)
۳۲ استان/ چین	۱/۱۱۹		۰/۱۳۱	۰/۰۳۳	۰/۰۰۷	Yu *et al*. (2020)
رود ارس، نوار مرزی اردبیل/ ایران (ماهی کپور)	۰/۲۲	۰/۳۱				Nasehi *et al*. (2013)
رود ارس، مصب ایگلنه چای (ماهی زردپر)	۲/۱۴	۱۲/۴۴		۰/۱۹		شاه محمدی و حبیب‌زاده (۱۳۹۶)
دریای خزر/ ایران (ماهی کپور معمولی)	۳/۰۲۸	۱۵/۸۶				یونسی پور و همکاران (۱۳۹۳)
رود ارس، نوار مرزی آذربایجانشرقی/ ایران (۴ گونه ماهی)	۰/۳-۵۹/۶۱					دوستدار و همکاران (۱۳۹۷)
سد خداآفرین/ ایران (ماهی سیم)	۳/۳۶				۰/۴۳	زارع رشکوئیه و همکاران (۱۳۹۵)
سدستارخان اهر/ ایران (ماهی سوف)	۱/۹۶				۰/۳۶	زارع رشکوئیه و همکاران (۱۳۹۳)
رودخانه ایلگنه چای/ ایران	۴/۹-۳/۶	۱/۳-۲/۷	۰/۱-۹/۸	۰/۰-۰۹/۲	۰/۰-۰۹/۰۲	(مطالعه حاضر)

تجمع زیستی مس در این رودخانه نسبت به سایر بخش‌های رود ارس و سایر نقاط جهان بالاتر است. حتی این مقدار نسبت به مطالعه مشابه شاه‌محمدی و حبیب‌زاده (۱۳۹۶) در مصب این رودخانه بالاتر است که دلیل اصلی آن قرارگیری این رودخانه در مجاورت بزرگتر معدن مس شمالغرب ایران است که در سال‌های اخیر فعالیت آن بسیار شدت یافته و باعث افزایش میزان رسوب مس در بافت آبزیان شده است.

میانگین تجمع روی در ماهی کپور (۲/۷۴) در مقایسه با مطالعات ناصحی و همکاران (۱۳۹۲) که بر ماهی کپور (۰/۳۱) انجام گرفته است، نشان‌دهنده بالا بودن میزان رسوب این فلز نسبت به سایر حوضه‌های آبریز ارس است. البته این مقدار نسبت به سایر مناطق جهان مانند سد کبان (ترکیه)، دجله، چین، دریاچه میانکاله و رود چناب (پاکستان)، پایین‌تر است.

بیشترین مقدار THQ در ماهی کپور مربوط به مس (۰/۰۹۲۵) و کمترین آن برای فلز کروم (۰/۰۰۱۲) است. این مقادیر برای ماهی سوف به‌ترتیب برای مس (۰/۰۹۸۶) و روی (۰/۰۰۱) است. مقدار خطر زایی کل (HI) برای هر دو گونه کمتر از یک است. همچنین برای بیشترین مقدار عددی برای شاخص سرطان‌زایی ناشی از مصرف هر دو گونه ماهی مربوط به کادمیوم است که مقدار آن کمتر از $۱۰^{-۴}$ بوده و سرطان زایی آن کم است.

بررسی و مقایسه برآورد میزان جذب روزانه (EDI) عناصر سنگین بررسی با مقادیر جذب قابل تحمل (TDI) اعلام شده از کمیته تخصصی مواد غذایی سازمان بهداشت جهانی، نشان می‌دهد که این مقادیر برای تمامی عناصر کمتر از مقدار اعلام شده است. لذا، مصرف روزانه این ماهیان خطر خاصی را بر مصرف کنندگان ایجاد می‌کند (جدول ۵). در ماهی سوف و کپور پایین‌ترین نسبت TDI/EDI مربوط به فلز سرب (تقریباً ۳۵ برابر) و بیشترین نسبت مربوط به فلز روی (تقریباً ۳۵۰۰ برابر) بود. در بین عناصر مورد بررسی، فلز مس EDI بالاتری نسبت به سایر عناصر داشت.

جدول ۵: محاسبه جذب روزانه (EDI، میلی گرم بر گیلوگرم بر روز)، حداکثر میزان مجاز مصرف روزانه (TDI، میکرو گرم بر کیلوگرم بر روز)، شاخص ریسک غیرسرطان‌زایی (THQ)، سرطان‌زایی (CR)، دوز مرجع(Rfd) و شیب خطر سرطان‌زایی (CSFo) ناشی از رسوب عناصر سنگین موجود در بافت ماهیان مورد مطالعه در ایلگنه‌چای

Table 5: Estimated Daily Intakes (EDI, mg/kg Bw/day), TDI, Target hazard quotient (THQ), Total hazard index (HI), Target Cancer Risk (CR), Rfd and CSFo values of metals in muscles tissues of fish in the Ilgineh-Chai River

عنصر	*S. lucioperca*			*C. carpio*			TDI*
	EDI	THQ	CR	EDI	THQ	CR	
Cd	۰/۰۱۴	۰/۰۱۴	$۳/۶\times۱۰^{-۵}$	۰/۰۱۴	۰/۴	۸×۱۰^{-۵}	۰/۸
Pb	۰/۰۴	۰/۰۲۶۶	$۳/۴\times۱۰^{-۷}$	۰/۰۳۲	۰/۰۲۱۳	$۲/۷\times۱۰^{-۷}$	۱/۵
Cr	۰/۳۸۶	۰/۰۰۱۲		۰/۰۳۸	۰/۰۰۱۲		۳۰۰
Zn	۰/۰۸۵	۰/۰۰۰۱		۰/۸۰۲	۰/۰۰۲۶		۳۰۰
Cu	۲/۲۷۲	۰/۰۵۶۷		۲/۱۳۷	۰/۰۵۳۴		۵۰۰
Total THQ (HI)		**۰/۰۹۸۶**			**۰/۰۹۲۵**		

*شاخص TDI برگرفته از Varol و همکاران (۲۰۱۸)

محاسبه ریسک سلامتی غیرسرطان‌زایی در افراد بالغ (THQ) تابع EDI است. لذا، با توجه به پایین بودن مقادیر جذب روزانه، ریسک سلامتی غیر سرطان‌زایی تمام عناصر مورد بررسی کمتر از یک بوده و نشان می‌دهد که میزان رسوب این عناصر به مرحله خطرزایی نرسیده است. در بین عناصر مورد بررسی، مقادیر ریسک سلامتی سرطان‌زایی (CR) تن‌ها برای فلز سرب و کادمیوم، با توجه به ماهیت سرطان‌زایی آنها بررسی شده است. لذا، این مقدار برای فلز سرب کمتر از ۱×۱۰^{-۶} و برای فلز کادمیوم کمتر ۱×۱۰^{-۴} بوده است که نشان‌دهنده خطر

سرطان‌زایی کم برای سرب و درجه متوسط برای کادمیوم است.

این مقادیر در مقایسه با مطالعات Dehghani و همکاران (۲۰۲۲) که در تمام نواحی رود ارس انجام گرفته است (برای فلز سرب $۳/۲\times۱۰^{-۶}$؛ فلز کادمیوم $۲/۳۵\times۱۰^{-۳}$)، کمتر بوده و نشان می‌دهد که آلودگی ماهیان رود ارس از سمت این رودخانه صورت نگرفته است.

رودخانه ارس یکی از پرآب‌ترین رودخانه‌های منطقه شمالغرب ایران است و به عنوان یکی از مهم‌ترین مناطق تولیدکننده کشور به‌شمار می‌رود. این رودخانه در مجاورت بخش‌های صنعتی و معدنی کشورهای مختلف قرار دارد و ورود پساب‌های این صنایع باعث ایجاد خطرات زیست‌محیطی در آن می‌گردد. مطالعه حاضر با بررسی شاخص‌های سلامتی و سنجش آنها در دو گونه ماهی نشان داد که ورود عناصر سنگین به این رودخانه، سهم اندکی در آلودگی ماهیان رود ارس دارد. لذا، برای شناسایی دقیق محل ورود آلاینده‌ها پیشنهاد می‌گردد، سایر رودخانه فرعی بزرگ که از کشورهای مختلف مانند ارمنستان و آذربایجان به رود ارس وارد می‌شوند نیز مورد بررسی قرار گیرند.

منابع

دوستدار، م.، رامین، م.، نصرالله زاده ساروی، ح.، افرایی، م. و رحیمی، ر.، ۱۳۹۷. بررسی و تعیین میزان برخی عناصر فلزی درماهیان رودخانه ارس در محدوده استان آذربایجان شرقی (۹۵-۱۳۹۴). مجله علمی شیلات ایران، ۲۷(۲): ۴۹-۴۱.

زارع رشکوئیه، م.، حمیدیان، ا.، پورباقر، ه. و اشرفی، س.، ۱۳۹۳. بررسی تجمع فلزات سنگین در رسوب، ماهی و گیاه نی در سد ستارخان. نشریه محیط زیست طبیعی، ۶۷(۱): ۹۰-۷۹.

زارع رشکوئیه، م.، پورباقر، ه. و اشرفی، س.، ۱۳۹۵. بررسی تجمع زیستی فلزات سنگین مس، کادمیم و آرسنیک در رسوب و آبزیان سد خداآفرین. نشریه دامپزشکی، ۲۹(۱): ۸۰-۷۲.

شاه‌محمدی کلالق، ش. و حبیب زاده، ن.، ۱۳۹۶. بررسی ژئوشیمیایی و پراکنش فلزات سنگین مس، روی، سرب و نیکل در محدوده منطقه آزاد تجاری-صنعتی رودخانه ارس. نشریه حفاظت منابع آب و خاک، ۶(۴): ۴۴-۲۹.

یاراحمدی، ج.، رستمی زاد، ق. و ساعی، ح.، ۱۳۹۸. آشکارسازی تغییرات پوشش جنگلی به روش شیءگرا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در حوزه آبخیز ایلگنه‌چای جنگل‌های ارسباران. مدیریت پایدار جنگلهای هیرکانی، ۱(۲): ۷۰-۵۹.

یونسی‌پور، ح.، نصراله زاده ساروی، ح. و ساداتی پور، س.م.، ۱۳۹۳. بررسی تجمع زیستی فلزات سنگین ضروری (آهن، مس و روی) و نیمه ضروری (نیکل، کبالت و منگنز) در بافت خوراکی ماهی کپور (*Cyprinus carpio*)دریای خزر. نشریه توسعه توزیع آبزی‌پروری، ۸(۱): ۱۰۶-۹۵.

Aazami, J. and Taban, P., 2018. Monitoring of heavy metals in water, sediment and Phragmites australis of Aras River along the Iranian-Armenian Border. *Iranian Journal of Toxicology*, 12(2): 1-6. DOI: 10.29252/arakmu.12.2.1

Alamdar, A., Eqani, S.A., Hanif, N., Ali, S.M., Fasola, M., Bokhari, H. and Shen, H., 2017. Human exposure to trace metals and arsenic via consumption of fish from river Chenab, Pakistan and associated health risks. *Chemosphere*, 168: 1004-1012. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2016.10.110.

Alipour, H. and Banagar, G., 2018. Health risk assessment of selected heavy metals in some edible fishes from Gorgan Bay, Iran. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 17(1): 21–34. DOI: 10.22092/IJFS.2018.115582.

Alipour, H., Pourkhabbaz, A. and Hassanpour, M., 2013. Assessing of heavy metal concentrations in the tissues of Rutilus *rutilus caspicus* and *Neogobius gorlap* from Miankaleh international wetland. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 91: 517-521.

Altındağ, A. and Yiğit, S., 2005. Assessment of heavy metal concentrations in the food web of lake Beyşehir, Turkey. *Chemosphere*, 60(4): 552-556. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2005.01.009.

AOAC (Association of Official Analytical. Chemists), 1980. Official Methods of Analysis, Association of Official Analytical Chemists, INC., Arlington, Virginia, USA.

Bonsignore, M., Salvagio Manta, D., Mirto, S., Quinci, E.M., Ape, F., Montalto, V., Gristinac, M., Traina, A. and Sprovieri, M., 2018. Bioaccumulation of heavy metals in fish, crustaceans, molluscs and echinoderms from the Tuscany coast. *Ecotoxicology and Environmental Safety*,162: 554–562. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2018.07.044.

Copat, C., Vinceti, M., D'Agati, M.G., Arena, G., Mauceri, V., Grasso, A., Fallico, R., Sciacca, S. and Ferrante, M., 2014. Mercury and selenium intake by seafood from the Ionian Sea: a risk evaluation. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 100: 87–92. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2013.11.009.

Dehghani, A., Roohi Aminjan, A. and Dehghani, A., 2022. Trophic transfer, bioaccumulation, and health risk assessment of heavy metals in Aras River: case study—Amphipoda-zander–human. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(20): 30764-30773. DOI: 10.1007/s11356-021-18036-7.

EC (Commission of the European Communities), 2006. Commission Regulation (EC) No 1881/2006 of 19 December 2006 Setting Maximum Levels for Certain Contaminants in Foodstuffs, Official Journal of the European Union , 364 P.

FAO (Food and Agriculture Organization), 1983. Compilation of legal limits for hazardous substance in fish and fishery products. FAO fishery circular, No. 464, 5–100.

FSANZ (Food Standards Australia and New Zealand), 2013. Australia New Zealand Food Standards Code, Standard 1.4.1, Contaminants and Natural Toxicants. http://www.legislation.gov.au/Details/F2013C00140/, Accessed date: 20 December 2019.

Gulcin, İ. and Alwasel, S.H., 2022. Metal ions, metal chelators and metal chelating assay as antioxidant method. *Processes*, 10(1):132. DOI: 10.3390/pr10010132.

Khemis, I.B., Besbes, N., Hamza, N., M'Hetli, M. and Sadok, S., 2017. Heavy metals and minerals contents in pikeperch (*Sander lucioperca*), carp (*Cyprinus carpio*) and flathead grey mullet (*Mugil cephalus*) from Sidi Salem Reservoir (Tunisia): health risk assessment related to fish consumption. *Environmental Science and Pollution Research*, 24:19494–19507. DOI: 10.1007/s11356-017-9586-0.

MHPRC (Ministry of Health of the People's Republic of China), 2013. National Food Safety Standard, Maximum Levels of Contaminants in Foods (GB2762-2012).

Nasehi, F., Monavari, M., Naderi, G., Vaezi, MA. and Madani, F., 2013. Investigation of heavy metals accumulation in the sediment and body of carp fish in Aras River. *Iran J Fish Sci*, 12:398–410.

Shahri, E., Khorasani, N., Noori, Gh., Kord Mostafa Pour, F. and Velayatzadeh, M., 2017. Risk assessment of some heavy metals in four species of fish from Oman Sea in spring. *Iranian Journal of Research in Environmental Health*, 3(1): 30 -39. DOI: 10.22038/JREH.2017.23262.1145.

Töre, Y., Ustaoğlu, F., Tepe, Y. and Kalipci, E., 2021. Levels of toxic metals in edible fish species of the Tigris River (Turkey); threat to public health. *Ecological Indicators*, 123: 107361. DOI: 10.1016/j.ecolind.2021.107361

USEPA (United States Environmental Protection Agency), 1989. Guidance manual for assessing human health risks from chemically contaminated, fish and shellfish. EPA-503/8-89-002. USEPA, Washington DC.

USEPA (US Environmental Protection Agency), 2000. Guidance for Assessing Chemical Contaminant Data for Use in Fish Advisories, Risk Assessment and Fish Consumption Limit. Office of Science and Technology and Office of Water, Washington, DC.

USEPA (US Environmental Protection Agency), 2010. Risk assessment guidance for superfund. In: Human Health Evaluation Manual (Part A). Volume I. Available at: https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/rags_a.pdf.

Varol, M. and Sünbül, MR., 2018. Biomonitoring of trace metals in the Keban Dam Reservoir (Turkey) using mussels (*Unio elongatulus eucirrus*) and crayfish (*Astacus leptodactylus*). *Biological Trace Element research*, 185(1): 216-224. DOI: 10.1007/s12011-017-1238-1.

Varol, M., Kaya, G.K., Alp, S.A. and 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. DOI: 10.1007/s12011-017-1156-2.

WHO/FAO (World Health Organization/Food and Agriculture Organization), 2014. Codex Committee on Contaminants in Foods, Proposed draft revision of the maximum levels for lead in selected commodities in the general standard for contaminants and toxins in food and feed (CODEX STAN 193-1995). 8th session.

Yu, B., Wang, X., Dong, K.F., Xiao, G. and Ma, D., 2020. Heavy metal concentrations in aquatic organisms (fishes, shrimp and crabs) and health risk assessment in China. *Marine Pollution Bulletin*, 159:111505. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2020.111505.

Health risk assessment of heavy metals due to consumption of common carp (*Cyprinus carpio*) and pikeperch (*Sander lucioperca*) in Ilgineh drainage basin to Aras River

Dehghani A.[1*]

*a.dehghani93@gmail.com

1-Department of Biology, Faculty of Science, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran.

Abstract

Nowadays, monitoring of heavy metals accumulation in aquatic tissue is one of the important research approaches to assessment of ecosystem health. This study investigated bioaccumulation of five heavy metals (cadmium, lead, zinc, chromium, and copper) in muscles of two fish species, *Cyprinus carpio* and *Sander lucioperca* in the Ilganeh Chai River. During 2020-2022, totally 52 samples (25 Zander and 27 Carp) were randomly taken where the Ilgineh River drains into the Ilgineh River Basin. The tissues of each fish were separated and digested in the lab and then analyzed using an atomic absorption spectrophotometer. Comparison of the mean concentrations of the heavy metals showed that the highest bioaccumulation levels in both fish species belonged to copper and the lowest to cadmium. These highest levels were lower than the maximum permissible levels set by the World Health Organization. The food-safety risk assessment of the heavy metals indicated that the estimated daily intake (EDI) value was lower than the tolerable daily intake (TDI) and risk assessment on non-carcinogenicity showed the highest levels of THQ were found for cadmium and the value of total non-carcinogenic (HI) for none of the elements was not higher than one . In addition, the highest value of cancer risk (CR) index belonged to cadmium (8×10^{-5}), which was lower than the international standard permissible limit (1×10^{-4}). Overall, the comparison of the bioaccumulation levels of the heavy metals in muscles of fish species examined with health index and international indicated that consumption of fishes are safe for human in this river.

Keywords: Heavy metals, Risk assessment, Ilgineh-Chai River, Aras River

*Corresponding author