



## مقاله علمی - پژوهشی:

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

امیر دهقانی<sup>۱\*</sup>

\*a.dehghani93@gmail.com

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

تاریخ پذیرش: فروردین ۱۴۰۲

تاریخ دریافت: بهمن ۱۴۰۱

## 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 ۱۳۹۹-۱۴۰۱ 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 تجزیه و تحلیل 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 (TDI) کمتر است. ارزیابی ریسک غذایی نشان داد که مقدار میزان جذب روزانه (EDI) در مقایسه با میزان جذب قبل تحمل (DI) کمتر بوده و بیشترین احتمال خطرپذیری غیر سرطان‌زا (THQ) در بین عناصر بررسی شده متعلق به کادمیوم است و احتمال خطرپذیری غیر سرطان‌زا کل (HI) بیشتر از یک نیست. علاوه بر این، بالاترین شاخص ریسک سرطان‌زا (CR) مربوط به فلز کادمیوم ( $8 \times 10^{-5}$ ) بوده که کمتر از شاخص استاندارد جهانی قابل قبول ( $1 \times 10^{-4}$ ) 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**

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 تجارتی - 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 فضول مورد ارزیابی قرار دادند و سلطان‌زا 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

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. زمانی که 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 قابل توجهی 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 در حال انجام است. میانی 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

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° ۳۸' ۴۸" شمالي إلى "۴۶° ۴۴' ۴۹" شرقی واقع شده و وجود اين رود باعث ايجاد اکوسیستمی منحصر به فرد شده است. اين رودخانه مرکزی از بهم پيوستان رودخانه‌های سونگون‌چای و پخیرچای شکل گرفته است و آب آن در نهايىت به سمت دريای خزر روانه می‌شود (شكل ۱).

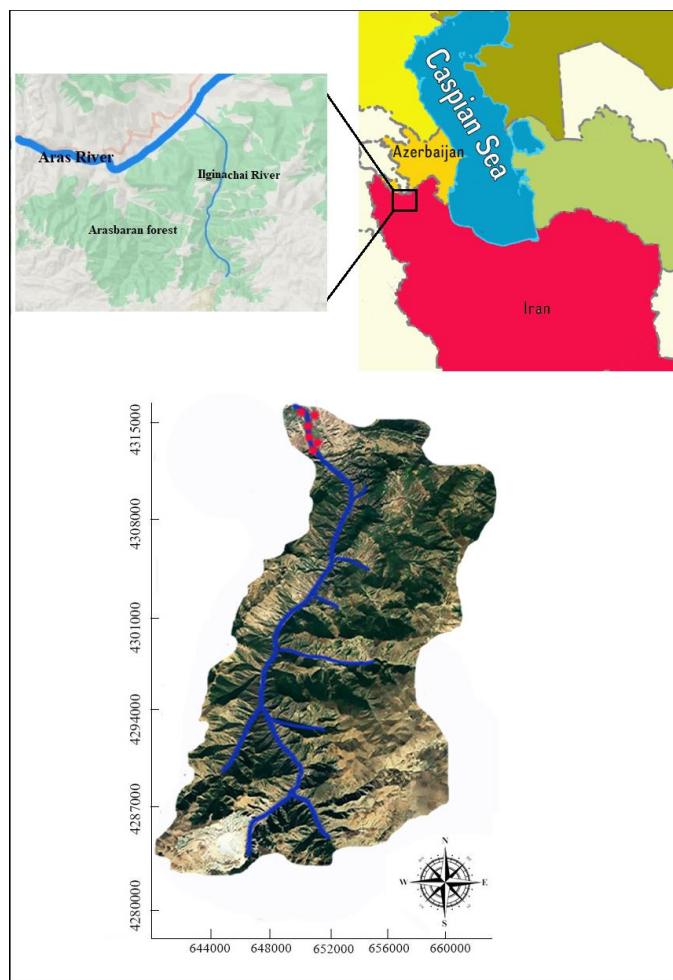
آنها، مقایسه با مطالعات مشابه قبلی و نيز مقرن به صرفه بودن نوع آناليزها بود.

با توجه به اين‌كه اين رودخانه در پايين دست معادن بزرگی همچون معدن مس سونگون واقع شده است، آبهای آن در نهايىت وارد رود ارس و دريای خزر می‌شود و اگر آسودگى در اين رودخانه صورت پذيرد، می‌تواند تمام حوضه دريای خزر را تحت تاثير خود قرار دهد و باعث خسارات جبران ناپذيری گردد.

## مواد و روش کار

### منطقه مورد مطالعه

ایلگنه‌چای يکی از بزرگ‌ترین حوضه‌های تغذیه‌کننده رود



شكل ۱: محل قرارگیری حوضه آبريز رود ايلگنه‌چای در منطقه مورد مطالعه

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

مرحله نمونه‌ها برای عدم رطوبت گیری مجدد به دسیکاتور منتقل شده و وزن گیری شده و در هاون چینی ساییده شدند. سپس  $0/5$  گرم از نمونه آماده شده در داخل یک بشر با  $5$  میلی‌لیتر اسید نیتریک  $65\%$  ساخت شرکت مرک آلمان مخلوط گردید. در مرحله بعد محلول به دست آمده در دمای  $150$  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  $42$ ، صاف و به یک بالن شیشه‌ای مدرج منتقل شده و به حجم  $50$  میلی‌لیتر رسانیده شدند (AOAC, 1980).

### نمونه‌برداری

این مطالعه طی سال‌های  $1399-1401$  انجام گرفت. تعداد  $52$  نمونه ماهی بالغ از محل اتصال این رودخانه با رود ارس با تور گوشگیر رودخانه‌ای با چشم‌های کشیده (گره تا گره مقابل) به اندازه  $50$  میلی‌متر جمع آوری شد.

### مطالعات آزمایشگاهی

ماهیان جمع آوری شده بلافصله به آزمایشگاه منتقل شده و با آب دیونیزه شستو داده شدند. پس از شناسایی و ثبت داده‌های ریختی و بیومتری ماهیان (جدول  $1$ )،  $20$  گرم از عضله هر ماهی جدا شد. در داخل آون (دمای  $95$  درجه سانتی‌گراد) به مدت  $36$  ساعت قرار داده شده، بعد از این

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

نوع	تعداد	نر	جنسيت		مداد	طول بدن (سانتی‌متر)	وزن (گرم)
			ماده	ذكور			
<i>Sander lucioperca</i>	۲۵	۱۳	۱۲	۳۹/۲±۱/۹			$۸۲۰\pm۱۵۲$
<i>Cyprinus carpio</i>	۲۷	۱۴	۱۳	$۳۵/۷\pm۳$			$۵۷۰\pm۱۱۷$

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  $22$  مورد تجزیه و تحلیل 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 (سرطان‌زاوی و غیر سرطان‌زاوی) یک آلاینده خاص در یک دوره خاص شناخته می‌شود (Varol and Sünbul, 2018).

در مرحله نهایی، محلول به دست 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 به ترتیب  $0/001$ ،  $0/005$ ،  $0/004$  و  $0/004$  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،  $10$  میلی‌لیتر از محلول استاندارد (کادمیوم، سرب، مس، روی و کروم) با غلظت  $1$  ppb 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

**شاخص ریسک غیر سرطان زایی کل (HI)<sup>۴</sup>**  
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)<sup>۵</sup>**  
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)<sup>۶</sup> تعریف می‌گردد که این عدد برای کادمیوم  $6/3$  و برای سرب  $8/5 \times 10^{-3}$  (میلی‌گرم بر کیلوگرم بر روز) است. اگر مقدار عدد این شخص کمتر از  $1 \times 10^{-4}$  باشد، ریسک سرطان‌زایی کم، اگر بین  $10^{-4}$  و  $10^{-3}$  باشد، ریسک سرطان‌زایی متوسط، بین  $10^{-4}$  و  $10^{-1}$ ، ریسک سرطان‌زایی بالا و اگر بیشتر از  $10^{-1}$  باشد، ریسک سرطان‌زایی بسیار بالاست (USEPA, 1989).

**برآورده جذب روزانه (EDI)**

جذب روزانه<sup>۱</sup> عناصر سنگین مطابق معادله ذیل قابل محاسبه است (USEPA, 1989):

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

FIR: میزان مصرف ماهی<sup>۲</sup> (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)<sup>۳</sup>**

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

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

ED: فرکانس در معرض قرارگیری (۳۶۵ روز / سال)؛ AT: متوسط طول مدت در معرض قرارگیری (۷۰ سال)؛ RfD: عدد ویژه زمان در معرض قرارگیری (۳۶۵×۷۰)، 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 در حالی که اگر مقدار آن بالای ۱ باشد، اثرات زیان‌بار آن بالاست (Copat *et al.*, 2014). همچنین با توجه به این که 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.

<sup>4</sup> Hazard index

<sup>5</sup> Carcinogenic risk

<sup>6</sup> Carcinogenic slope factor (CSF)

<sup>1</sup> Estimated daily intake (EDI)

<sup>2</sup> Fish ingestion rate (FIR)

<sup>3</sup> Target hazard quotient (THQ)

## نتایج

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 خدآفرین (۰/۴۳ میکروگرم بر گرم)، کمتر است. همچنین این مقدار نسبت به ماهیان دریایی خزر، دجله، رود چناب (پاکستان) و استان‌های چین تقریباً بکسان 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 مطالعات 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) موافق هستند، لذا رسوب در بافت آنها کمتر اتفاق می‌افتد. در این پژوهش میزان رسوب کروم در دو گونه، تقریباً بکسان، 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 سد باطله معدن سونگون و نیز صنایعی که بهنحوی با مواد اسیدی و اکسید کننده درگیر هستند، باشد.

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 میانگین‌های 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 سوف،  $Cd < Cr < Pb < Zn < Cu$  بوده که در مقایسه با استاندارد سازمان بهداشت جهانی از حد اکثر 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)

Cd	Pb	Cr	Zn	Cu	<i>S. lucioperca</i>
۰/۰۴۹	۰/۱۳۸	۱/۳۲	۲/۳۹	۷/۷۶	میانگین
۰/۰۲۶	۰/۰۳	۰/۱۹	۰/۳۷	۰/۹۸	انحراف معیار
۰/۰۲	۰/۰۹	۱/۱	۱/۸	۶/۵	حداقل
۰/۰۹	۰/۲	۱/۷	۲/۸	۹/۲	حداکثر
					<i>C. carpio</i>
۰/۰۵	۰/۱۱	۱/۳	۲/۷۴	۷/۳	میانگین
۰/۰۲۴	۰/۰۲۷	۰/۳	۰/۷۸	۱/۵	انحراف معیار
۰/۰۲	۰/۰۸	۰/۹	۱/۲	۳/۴	حداقل
۰/۰۹	۰/۱۶	۱/۸	۳/۷	۹/۶	حداکثر

## 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

جدول ۳: حداقل 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)

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

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).

منابع	Cd	Pb	Cr	Zn	Cu	منطقه مورد مطالعه / کشور
Alipour and Banagar (2018)	۰/۰۹	۰/۵۳				دریای خزر / ایران
Khemis <i>et al.</i> (2017)	۰/۱۷۱	۰/۰۴۶				سد سیدی سالم / تونس
Dehghani <i>et al.</i> (2022)	۰/۷	۰/۷۱			۰/۷۶	رود ارس / ایران
Töre <i>et al.</i> (2021)	۰/۰-۰/۰۲/۰۵	۰/۰-۱۱/۳۳	۰/۱-۷۸/۶۸	۱۰/۲۲-۰/۸/۳۴	۰/۲-۰/۵/۸۱	دجله / ترکیه
Varol and Sünbül (2018)	<۰/۰۰۱	۰/۰-۰/۳۸/۰/۴۲	۰/۰-۷۶/۹	۴/۹-۳/۸	۰/۰-۵۸/۷۴	سد کبان / ترکیه
Alamdar <i>et al.</i> (2017)	۰/۰-۰/۷/۱۲	۰/۰-۱۴/۳۱	۰/۰-۲۱/۶۷	۳۵/۵۴-۵/۴	۱/۴-۴/۶	رود چناب / پاکستان
Alipour <i>et al.</i> (2013)	۰/۲۶	۰/۶۷	۰/۰۸	۷/۲	۱/۶	تالاب میانکاله / ایران
Yu <i>et al.</i> (2020)	۰/۰۰۷	۰/۰۳۳	۰/۱۳۱		۱/۱۱۹	۳۲ استان / چین
Nasehi <i>et al.</i> (2013)				۰/۳۱	۰/۲۲	رود ارس، نوار مرزی اردبیل / ایران (ماهی کپور)
شاه محمدی و حبیب‌زاده (۱۳۹۶)		۰/۱۹		۱۲/۴۴	۲/۱۴	رود ارس، مصب ایگنه چای (ماهی زردپر)
یونسی پور و همکاران (۱۳۹۳)				۱۵/۸۶	۳/۰۲۸	دریای خزر / ایران (ماهی کپور معمولی)
دوستدار و همکاران (۱۳۹۷)					۰/۳-۵/۶۱	رود ارس، نوار مرزی آذربایجان‌شرقی / ایران (۴) گونه ماهی)
زارع رشکوئیه و همکاران (۱۳۹۵)	۰/۴۳				۳/۳۶	سد خداآفرین / ایران (ماهی سیم)
زارع رشکوئیه و همکاران (۱۳۹۳) (مطالعه حاضر)	۰/۳۶			۰/۱-۹/۸	۱/۹۶	سدستارخان اهر / ایران (ماهی سوف)
	۰/۰-۰/۹/۰۲	۰/۰-۰/۹/۲		۱/۳-۲/۷	۴/۹-۳/۶	رودخانه ایلگنه چای / ایران

این مقادیر برای ماهی سوف به ترتیب 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 سلطان زایی ناشی از مصرف هر دو گونه ماهی مربوط به کادمیوم است که مقدار آن کمتر از  $10^{-4}$  بوده و سلطان 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 (تقريباً  $35\text{ mg/kg}$ ) و بيشترین نسبت مربوط به فلز روی (تقريباً  $350\text{ mg/kg}$ ) بود. در بين عناصر مورد بررسی، فلز مس EDI بالاتری نسبت به سایر عناصر داشت.

تحمع زیستی مس در اين رودخانه نسبت به سایر بخش‌های رود ارس و سایر نقاط جهان بالاتر است. حتی اين مقدار نسبت به مطالعه مشابه شاه‌محمدی و حبيب‌زاده (۱۳۹۶) در مصب اين رودخانه بالاتر است که دليل اصلی آن قرارگيري اين رودخانه در مجاوريت بزرگتر معدن مس شمال‌غرب ايران است که در سال‌های اخير فعاليت آن بسيار شدت یافته و باعث افزایش میزان رسوب مس در بافت آبزیان شده است.

ميانگين تجمع روی در ماهي کپور (۲/۷۴) در مقاييسه با مطالعات ناصحي و همكاران (۱۳۹۲) که بر ماهي کپور (۰/۳۱) انجام گرفته است، نشان‌دهنده بالا بودن میزان رسوب اين فلز نسبت به سایر حوضه‌های آبريز ارس است. البته اين مقدار نسبت به سایر مناطق جهان مانند سد کبان (تركيه)، دجله، چين، درياچه ميانکاله و رود چناب (پاکستان)، پايین‌تر است.

بيشترین مقدار THQ در ماهي کپور مربوط به مس (۰/۰۹۲۵) و کمترین آن برای فلز كروم (۰/۰۱۲) است.

جدول ۵: محاسبه جذب روزانه (EDI)، ميلى گرم بر گيلogram بر روز، شاخص ريسک غيرسلطان زايي (THQ)، سلطان زايي (Rfd) و شيب خطر سلطان زايي (CSFo) ناشي از رسوب عناصر سنگين موجود در بافت ماهياني مورد مطالعه در ايلگنه چاي

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

TDI*	<i>C. carpio</i>			<i>S. lucioperca</i>			عنصر
	CR	THQ	EDI	CR	THQ	EDI	
۰/۸	$8 \times 10^{-5}$	۰/۴	۰/۰۱۴	$2/6 \times 10^{-5}$	۰/۰۱۴	۰/۰۱۴	Cd
۱/۵	$2/7 \times 10^{-7}$	۰/۰۲۱۳	۰/۰۳۲	$2/4 \times 10^{-7}$	۰/۰۲۶۶	۰/۰۴	Pb
۳۰۰		۰/۰۰۱۲	۰/۰۳۸		۰/۰۰۱۲	۰/۳۸۶	Cr
۳۰۰		۰/۰۰۲۶	۰/۸۰۲		۰/۰۰۰۱	۰/۰۸۵	Zn
۵۰۰		۰/۰۵۳۴	۲/۱۳۷		۰/۰۵۶۷	۲/۲۷۲	Cu
		۰/۰۹۲۵			۰/۰۹۸۶		Total THQ (HI)

\*شاخص TDI برگرفته از Varol و همكاران (۲۰۱۸)

در بين عناصر مورد بررسی، مقادیر ريسک سلامتی سلطان زايي (CR) تن‌ها برای فلز سرب و کادمیوم، با توجه به ماهيت سلطان زايي آنها بررسی شده است. لذا، اين مقدار برای فلز سرب کمتر از  $10^{-6}$  و برای فلز کادمیوم کمتر از  $10^{-4}$  بوده است که نشان‌دهنده خطر

محاسبه ريسک سلامتی غيرسلطان زايي در افراد بالغ (THQ) تابع EDI است. لذا، با توجه به پايين بودن مقادير جذب روزانه، ريسک سلامتی غيرسلطان زايي تمام عناصر مورد بررسی کمتر از یک بوده و نشان می‌دهد که میزان رسوب اين عناصر به مرحله خطر زايي نرسيده است.

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

**یاراحمدی، ج.** ۱۳۹۸. رستمی زاد، ق. و ساعی، ح. 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.

**یونسی پور، ح.** ۱۳۹۳. برسی 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 آبزی پروری، 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/araku.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.

سلطان‌زاوی 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  $10 \times 10^{-3}$ ؛ فلز کادمیوم  $2/35 \times 10^{-3}$ )، 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 رودخانه‌های 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 در ماهیان رودخانه ارس در محدوده استان آذربایجان شرقی (۱۳۹۴-۹۵). مجله علمی شیلات ایران، ۲۷(۲): ۴۹-۴۱.
- زارع رشکوئیه، م.، حمیدیان، ا.، پورباقر، ۵. و اشرفی، س.، ۱۳۹۳. بررسی تجمع فلزات سنگین در رسوب ماهی و گیاه نی در سد ستارخان. نشریه محیط زیست طبیعی، ۱(۶۷): ۹۰-۷۹.
- زارع رشکوئیه، م.، پورباقر، ۵. و اشرفی، س.، ۱۳۹۵. بررسی تجمع زیستی فلزات سنگین مس، کادمیم و آرسنیک در رسوب و آبیان سد خدآفرین. نشریه دامپژوهشکی، ۲۹(۱): ۸۰-۷۲.

- 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](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.<sup>1\*</sup>

\*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 ( $8 \times 10^{-5}$ ), which was lower than the international standard permissible limit ( $1 \times 10^{-4}$ ). 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

---

<sup>\*</sup>Corresponding author