JAER

2026, 2(4): 33-40

Journal of Animal Environmental Reaserch

Journal homepage: http://www.journalaer.com

Research Article

Bioaccumulation and Health Risk Assessment of Heavy Metals in Warm-water Fish from Shoushtar County, Khuzestan Province, Iran

Nooshin Ghavami [1], Reza Salighezadeh [1], Seyedeh Ommolbanin Ghasemian [2*], Hamid Mahmoodipour [3], Yaaghub Bazoftizadeh [1]

[1]*Department of Veterinary Medicine, Shoushtar branch, Islamic Azad University, Shoushtar, Iran*
[2]*Department of Veterinary Medicine, Behbahan branch, Islamic Azad University, Behbahan, Iran*
[3]*Department of Nursing and Midwifery, Behbahan branch, Islamic Azad University, Behbahan, Iran*

Key Words

Heavy metals
Cyprinid fish
Health risk assessment
Bioaccumulation
Shushtar

[Downloaded from journalaer.com on 2026-10-28]

Article info

* Corresponding Author's email:
ommolbanin.ghasemian@iau.ac.ir

Received: 21 January 2026
Reviewed: 24 February 2026
Revised: 28 April 2026
Accepted: 2 June 2026

[Doi: 10.22034/aer.2.4.33]

Abstract

Introduction: Heavy metal contamination in aquatic ecosystems is considered a major environmental and public health concern because these elements can enter the human body through the food chain and cause adverse health effects.

Materials & Methods: The aim of this study was to investigate the concentrations of heavy metals in the muscle tissue of four carp species, including common carp (*Cyprinus carpio*), silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*), grass carp (*Ctenopharyngodon idella*), and bighead carp (*Hypophthalmichthys nobilis*), from Shoushtar County, and to assess the health risk associated with their consumption. In this study, the concentrations of arsenic (As), cadmium (Cd), chromium (Cr), cobalt (Co), copper (Cu), iron (Fe), mercury (Hg), manganese (Mn), molybdenum (Mo), nickel (Ni), lead (Pb), tin (Sn), and zinc (Zn) were measured in fish samples.

Results: The results indicated that all examined metals were detectable in the muscle tissues of the studied fish species; however, their accumulation levels varied among species. Among the analyzed elements, zinc and iron exhibited the highest concentrations, whereas cadmium showed the lowest levels. Statistical analysis revealed significant interspecific differences in the concentrations of cobalt, iron, mercury, manganese, molybdenum, lead, and zinc ($P<0.05$), while no significant differences were observed for arsenic, cadmium, chromium, copper, nickel, and tin. The measured metal concentrations were compared with the maximum permissible limits provided by the Codex Alimentarius (FAO/WHO) as well as the European Commission (EC) regulations for contaminants in fish. Health risk assessment based on hazard indices indicated that, in most cases, the estimated risks were within acceptable limits. Nevertheless, long-term and frequent consumption of these fish species may increase the potential cumulative risk associated with certain heavy metals.

Conclusion: Overall, the findings highlight the importance of continuous monitoring of heavy metals in aquatic environments and edible fish species in the region, as well as effective management of pollution sources to protect both ecosystem integrity and consumer health.

مقاله پژوهشی

انباشت زیستی و ارزیابی خطر بهداشتی فلزات سنگین در ماهیان گرمابی شهرستان شوشتر، خوزستان- ایران

نوشین قوامی[۱]، رضا سلیقه‌زاده[۱]، سیده‌ام البنین قاسمیان[۲]، حمید محمودی‌پور[۳]، یعقوب بازفتی‌زاده[۱]*

[۱] گروه دامپزشکی، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران

[۲] گروه دامپزشکی، واحد بهبهان، دانشگاه آزاد اسلامی، بهبهان، ایران

[۳] گروه پرستاری و مامایی، واحد بهبهان، دانشگاه آزاد اسلامی، بهبهان، ایران

کلمات کلیدی

فلزات سنگین
کپورماهیان
ارزیابی ریسک سلامت
زیست‌انباشت
شوشتر

چکیده

مقدمه: آلودگی فلزات سنگین در اکوسیستم‌های آبی یکی از مهم‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی و بهداشتی محسوب می‌شود، زیرا این عناصر می‌توانند از طریق زنجیره غذایی به بدن انسان منتقل شده و پیامدهای نامطلوبی برای سلامت ایجاد کنند. هدف از این مطالعه بررسی غلظت فلزات سنگین در بافت عضله چهار گونه کپورماهیان: کپور معمولی، نقره‌ای، علفخوار و سرگنده منطقه شوشتر و ارزیابی ریسک سلامت ناشی از مصرف آن‌ها بود.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش غلظت عناصر آرسنیک، کادمیوم، کروم، کبالت، مس، آهن، جیوه، منگنز، مولیبدن، نیکل، سرب، قلع و روی در نمونه‌های ماهی اندازه‌گیری شد.

نتایج: نتایج نشان داد که تمامی فلزات مورد بررسی در بافت عضله ماهیان قابل شناسایی بودند، اما میزان تجمع آن‌ها در میان گونه‌ها متفاوت بود. در میان عناصر اندازه‌گیری‌شده، روی و آهن بیشترین غلظت را نشان دادند، درحالی‌که کادمیوم کمترین مقدار را داشت. همچنین نتایج تحلیل آماری نشان داد که غلظت عناصر کبالت، آهن، جیوه، منگنز، مولیبدن، سرب و روی بین گونه‌های مورد مطالعه دارای اختلاف معنی‌دار آماری بود ($P<0/05$)، درحالی‌که برای عناصر آرسنیک، کادمیوم، کروم، مس، نیکل و قلع اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. غلظت فلزات اندازه‌گیری‌شده با حدود مجاز ارائه‌شده توسط کدکس غذایی (Codex Alimentarius؛ FAO/WHO) و همچنین مقررات کمیسیون اروپا (EC) برای آلاینده‌های موجود در ماهی مقایسه شد. همچنین ارزیابی ریسک سلامت بر اساس شاخص‌های خطر نشان داد که در اغلب موارد مقادیر در محدوده قابل قبول قرار دارند، با این‌حال مصرف مداوم این ماهیان می‌تواند در بلندمدت منجر به افزایش خطر تجمعی برخی فلزات شود.

بحث و نتیجه‌گیری: در مجموع، نتایج این پژوهش بر ضرورت پایش مستمر فلزات سنگین در منابع آبی و ماهیان خوراکی منطقه و مدیریت مناسب منابع آلاینده به‌منظور حفاظت از سلامت مصرف‌کنندگان و اکوسیستم‌های آبی تأکید می‌کند.

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول:
ommolbanin.ghasemian@iau.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱ بهمن ۱٤۰٤
تاریخ داوری: ٥ اسفند ۱٤۰٤
تاریخ اصلاح: ۸ اردیبهشت ۱٤۰٥
تاریخ پذیرش: ۱۲ خرداد ۱٤۰٥

[Downloaded from journalaer.com on 2026-10-28]

[DOI: 10.22034/aer.2.4.33]

مقدمه

در دهه‌های اخیر آلودگی منابع آبی به فلزات سنگین به یکی از چالش‌های مهم زیست‌محیطی و بهداشتی در جهان تبدیل شده است. فلزات سنگین به‌دلیل پایداری بالا، تجزیه‌ناپذیری در محیط و قابلیت تجمع زیستی در بافت موجودات زنده می‌توانند از طریق زنجیره غذایی به انسان منتقل شده و اثرات نامطلوبی بر سلامت ایجاد کنند (۱). این عناصر از منابع مختلفی مانند پساب‌های صنعتی، فعالیت‌های کشاورزی، مصرف کودها و سموم شیمیایی، استخراج معادن و فرسایش طبیعی سنگ‌ها وارد اکوسیستم‌های آبی می‌شوند (۲). ماهی‌ها به دلیل قرار گرفتن در سطوح مختلف زنجیره غذایی، تماس مستقیم با آب و رسوبات و همچنین توانایی تجمع فلزات در بافت‌های خود، به عنوان شاخص‌های زیستی مناسب برای ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در محیط‌های آبی شناخته می‌شوند (۳). تجمع فلزاتی نظیر ارسنیک، کادمیوم، سرب و کروم در بافت‌های خوراکی ماهیان می‌تواند در صورت مصرف مداوم توسط انسان منجر به بروز مشکلاتی مانند آسیب‌های کلیوی، اختلالات عصبی، بیماری‌های قلبی- عروقی و حتی سرطان شود (۴). در مقابل، برخی عناصر مانند آهن، روی، مس و منگنز در مقادیر کم برای فعالیت‌های متابولیکی بدن ضروری هستند، اما در غلظت‌های بالا اثرات سمی ایجاد می‌کنند (۵). در سال‌های اخیر توجه زیادی به بررسی آلودگی فلزات سنگین در ماهیان پرورشی معطوف شده است، زیرا این ماهیان بخش مهمی از رژیم غذایی بسیاری از جوامع را تشکیل می‌دهند و افزایش مصرف آن‌ها می‌تواند خطر مواجهه انسان با فلزات سنگین را افزایش دهد (۶). در این میان، گونه‌های کپور ازجمله کپور معمولی (*Cyprinus carpio*)، کپور نقره‌ای (*Hypophthalmichthys molitrix*)، کپور علفخوار (*Ctenopharyngodon idella*) و کپور سرگنده (*Hypophthalmichthys nobilis*) از مهم‌ترین گونه‌های پرورشی در آبزی‌پروری ایران محسوب می‌شوند و سهم قابل توجهی در تولید ماهیان گرمابی دارند (۷). استان خوزستان به دلیل وجود منابع آبی فراوان، شبکه‌های آبیاری و توسعه مزارع پرورش ماهی، یکی از مناطق مهم تولید ماهیان گرمابی در کشور به شمار می‌رود. شهرستان شوشتر نیز با برخورداری از منابع آبی متعدد و فعالیت‌های گسترده کشاورزی و آبزی‌پروری، شرایط مناسبی برای تولید ماهیان کپور دارد. با این حال، ورود آلاینده‌ها از طریق رواناب‌های کشاورزی، پساب‌های شهری و فعالیت‌های صنعتی می‌تواند منجر به افزایش غلظت فلزات سنگین در آب و رسوبات شده و در نهایت در بافت ماهیان تجمع یابد (۹، ۸). ارزیابی تجمع فلزات سنگین در ماهیان پرورشی علاوه بر تعیین وضعیت آلودگی محیطی، برای بررسی خطرات احتمالی ناشی از مصرف این ماهیان برای سلامت انسان نیز اهمیت دارد. در این زمینه شاخص‌هایی مانند میزان دریافت روزانه تخمینی (Estimated Daily Intake: EDI)، ضریب خطر هدف (Target Hazard Quotient: THQ) و شاخص خطر تجمعی (Hazard Index: HI) به‌طور گسترده برای ارزیابی خطرات غیرسرطان‌زای فلزات سنگین در مواد غذایی استفاده می‌شوند (۱۰، ۶). با توجه به اهمیت مصرف ماهیان پرورشی در رژیم غذایی و احتمال آلودگی منابع آبی، بررسی میزان تجمع فلزات سنگین شامل ارسنیک (As)، کادمیوم (Cd)، کبالت (Co)، روی (Zn)، نیکل (Ni)، آهن (Fe)، مس (Cu)، سرب (Pb)، کروم (Cr)، مولیبدن (Mo)، منگنز (Mn) و جیوه (Hg) و قلع (Sn) در گونه‌های مختلف کپور پرورشی از اهمیت زیادی برخوردار است. بنابراین هدف از این مطالعه بررسی انباشت این فلزات در ماهیان پرورشی کپور معمولی، نقره‌ای، علفخوار و سرگنده در شهرستان شوشتر و همچنین ارزیابی خطرات بهداشتی ناشی از مصرف آن‌ها برای انسان می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌صورت مطالعه توصیفی-تحلیلی بر روی ماهیان پرورشی گرمابی شامل کپور معمولی (*Cyprinus carpio*)، کپور نقره‌ای (*Hypophthalmichthys molitrix*)، کپور علفخوار (*Ctenopharyngodon idella*) و کپور سرگنده (*Hypophthalmichthys nobilis*) در مزارع پرورش ماهی شهرستان شوشتر (استان خوزستان) انجام شد. نمونه‌برداری در سال ۱۴۰۲ از چند مزرعه فعال پرورش ماهی در این منطقه صورت گرفت. در مجموع ۴۰ قطعه ماهی بالغ به‌صورت تصادفی انتخاب و نمونه‌برداری شد؛ به‌طوری‌که از هر گونه ۱۰ نمونه جمع‌آوری گردید. در این مطالعه، تمرکز اصلی بر اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین در بافت عضله ماهیان بود و اطلاعات زیست‌سنجی شامل طول و وزن ماهیان به‌صورت کمی ثبت و تحلیل نشد. پس از صید، نمونه‌ها در ظروف استریل قرار داده شده و در دمای پایین با استفاده از یخ به آزمایشگاه منتقل شدند تا از هرگونه تغییر در ترکیب شیمیایی بافت‌ها جلوگیری شود. در آزمایشگاه ابتدا طول کل و وزن هر ماهی اندازه‌گیری شد. سپس بافت عضله که بخش اصلی قابل مصرف برای انسان است با استفاده از ابزار استریل جدا گردید. نمونه‌ها با آب مقطر شستشو داده شده و در ظروف پلی‌اتیلنی تمیز نگه‌داری شدند (۳). برای آماده‌سازی نمونه‌ها جهت اندازه‌گیری فلزات، بافت‌های عضلانی ابتدا در دمای حدود ۶۰ درجه سانتی‌گراد در آون خشک شدند و سپس به‌صورت پودر یکنواخت آسیاب گردیدند. مقدار مشخصی از نمونه خشک شده (معمولاً حدود ۰/۵ گرم) برای انجام فرآیند هضم اسیدی مورد استفاده قرار گرفت. در این مرحله نمونه‌ها با استفاده از

[Downloaded from journalaer.com on 2026-10-28]
[DOI: 10.22034/aer.2.4.33]

اسید نیتریک غلیظ و در برخی موارد ترکیب اسید نیتریک و اسید پرکلریک در دستگاه هضم مایکروویو یا بلوک هضم حرارتی تجزیه شدند تا محلولی شفاف حاصل شود (۱۱). پس از هضم کامل نمونه‌ها، محلول حاصل صاف شده و حجم آن با آب مقطر دیونیزه به مقدار مشخص رسانده شد. سپس غلظت فلزات شامل ارسنیک، کادمیوم، کبالت، روی، نیکل، آهن، مس، سرب، کروم، مولیبدن، منگنز و سدیم با استفاده از دستگاه طیف‌سنجی نشر پلاسمای جفت‌شده القایی (ICP-OES) مدل Agilent 5100 / 5110 ICP-OES (Australia /USA) اندازه‌گیری گردید (۱۲، ۶). برای کنترل کیفیت نتایج از محلول‌های استاندارد، نمونه‌های شاهد و اندازه‌گیری‌های تکراری استفاده شد. به‌منظور ارزیابی خطر بهداشتی ناشی از مصرف ماهیان مورد مطالعه، ابتدا میزان دریافت روزانه تخمینی فلزات (EDI) با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد: $EDI = (C \times IR) / BW$

که در آن C غلظت فلز در بافت ماهی (mg/kg)، IR میزان مصرف روزانه ماهی و BW وزن بدن مصرف‌کننده است (۱۰). سپس ضریب خطر هدف (THQ) برای هر فلز بر اساس روش ارائه شده توسط آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا محاسبه شد. مقدار THQ کمتر از ۱ نشان‌دهنده عدم وجود خطر قابل توجه برای سلامت انسان است، درحالی‌که مقادیر بالاتر از ۱ می‌تواند بیانگر احتمال بروز اثرات نامطلوب سلامتی باشد (۱۰). علاوه بر این، شاخص خطر تجمعی (HI) که از مجموع مقادیر THQ برای همه فلزات به‌دست می‌آید برای ارزیابی خطر کلی ناشی از مصرف ماهی مورد استفاده قرار گرفت.

به‌منظور تحلیل داده‌های به‌دست‌آمده، ابتدا نرمال بودن توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف – اسمیرنوف بررسی شد. سپس برای مقایسه میانگین‌ها از آنالیز واریانس یک‌طرفه (One-way ANOVA) استفاده گردید و در صورت وجود اختلاف معنی‌دار، از آزمون تعقیبی چنددامنه‌ای دانکن برای تعیین تفاوت بین گروه‌ها بهره گرفته شد. به‌منظور مقایسه غلظت فلزات سنگین با حدود مجاز تعیین‌شده توسط سازمان بهداشت جهانی (WHO) و سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (FAO)، از آزمون t تک‌نمونه‌ای (One-sample t-test) استفاده شد. تمامی تحلیل‌های آماری توصیفی و استنباطی با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ انجام گرفت و سطح معنی‌داری آزمون‌ها P<۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

نتایج

غلظت فلزات سنگین در بافت عضله کپورماهیان: مطالعه حاضر به بررسی میزان تجمع ۱۳ فلز سنگین آرسنیک (As)، کادمیوم (Cd)، کبالت (Co)، روی (Zn)، نیکل (Ni)، آهن (Fe)، مس (Cu)، سرب (Pb)، کروم (Cr)، مولیبدن (Mo)، منگنز (Mn) و جیوه (Hg) و قلع (Sn) در بافت عضله ۴ گونه کپورماهی (کپور معمولی، کپور نقره‌ای، کپور علفخوار و کپور سرگنده) از شهرستان شوشتر پرداخت. نتایج آمار توصیفی غلظت این فلزات در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱: میانگین و انحراف معیار غلظت فلزات سنگین در بافت عضله کپورماهیان مورد مطالعه (mg/kg وزن خشک)

Table 1: Mean ± Standard Deviation of heavy metal concentrations in the muscle tissue of the studied cyprinid fish (mg/kg dry weight)

Heavy Metal	Common carp*	Silver carp*	Grass carp*	Bighead carp*	P-value
Arsenic (As)	0.01 ± 0.02	0.01 ± 0.02	0.01 ± 0.02	0.01 ± 0.02	>0.05
Cadmium (Cd)	0.01 ± 0.03	0.01 ± 0.01	0.01 ± 0.01	0.01 ± 0.01	>0.05
Cobalt (Co)	0.02 ± 0.21	0.02 ± 0.60	0.01 ± 0.41	0.06 ± 0.31	<0.05
Chromium (Cr)	0.01 ± 0.07	0.01 ± 0.07	0.01 ± 0.07	0.01 ± 0.07	>0.05
Copper (Cu)	0.01 ± 0.06	0.04 ± 0.09	0.01 ± 0.06	0.01 ± 0.06	>0.05
Mercury (Hg)	0.01 ± 0.04	0.05 ± 0.15	0.01 ± 0.04	0.02 ± 0.06	<0.05
Manganese (Mn)	0.04 ± 0.54	0.02 ± 2.95	0.01 ± 0.93	0.01 ± 0.93	<0.05
Molybdenum (Mo)	0.17 ± 3.46	0.01 ± 3.69	0.01 ± 3.52	0.01 ± 3.12	<0.05
Nickel (Ni)	0.01 ± 0.03	0.01 ± 0.03	0.01 ± 0.03	0.01 ± 0.03	>0.05
Lead (Pb)	0.05 ± 1.06	0.26 ± 1.53	0.01 ± 0.27	0.01 ± 0.27	<0.05
Tin (Sn)	0.01 ± 0.27	0.01 ± 0.27	0.01 ± 0.27	0.13 ± 1.28	>0.05
Zinc (Zn)	0.04 ± 17.31	0.06 ± 20.98	0.04 ± 21.87	0.01 ± 15.69	<0.05
Iron (Fe)	0.12 ± 9.48	0.01 ± 21.12	0.02 ± 14.20	0.14 ± 0.29	<0.05

(Mean ± SD)*

بر اساس نتایج جدول ۱، غلظت فلزات سنگین در بافت عضله کپورماهیان مورد مطالعه متغیر بود. در میان عناصر بررسی‌شده، روی (Zn) با بالاترین غلظت و کادمیوم (Cd) با پایین‌ترین غلظت مشاهده شدند. فلزات ضروری نظیر روی، آهن و مس در مقادیر بالاتری نسبت به فلزات غیرضروری (مانند کادمیوم و جیوه) شناسایی گردیدند که احتمالاً به‌دلیل نقش متابولیکی آن‌ها در فرآیندهای زیستی ماهیان است. بررسی تفاوت‌های بین گونه‌ای نیز نشان داد که بین غلظت برخی فلزات سنگین اندازه‌گیری‌شده در بافت عضله کپورماهیان اختلاف معنی‌دار آماری وجود داشت (P<۰/۰۵). به‌طور خاص، غلظت‌های کبالت، آهن، جیوه، منگنز، مولیبدن، سرب و روی به‌طور معنی‌داری

[Downloaded from journalaer.com on 2026-10-28]

[DOI: 10.22034/aer.2.4.33]

بین گونه‌های مختلف کپور تفاوت داشتند. این یافته‌ها حاکی از آن است که گونه ماهی نقش مهمی در الگوی تجمع زیستی فلزات سنگین ایفا می‌کند. بررسی مقادیر اندازه‌گیری‌شده نشان داد که الگوی تجمع فلزات سنگین در میان گونه‌های مختلف کپورماهیان متفاوت است. نتایج نشان داد که بیشترین غلظت عناصر مربوط به روی (Zn) و آهن (Fe) بوده، درحالی که کادمیوم (Cd) و برخی عناصر دیگر کمترین مقادیر را در بافت عضله ماهیان نشان دادند. همچنین نتایج تحلیل آماری نشان داد که غلظت عناصر کبالت (Co)، آهن (Fe)، جیوه (Hg)، منگنز (Mn)، مولیبدن (Mo)، سرب (Pb) و روی (Zn) بین گونه‌های مورد مطالعه دارای اختلاف معنی‌دار آماری است (P<۰/۰۵). در مقابل، برای عناصر آرسنیک (As)، کادمیوم (Cd)، کروم (Cr)، مس (Cu)، نیکل (Ni) و قلع (Sn) اختلاف معنی‌داری بین گونه‌ها مشاهده نشد (P<۰/۰۵). این نتایج نشان می‌دهد که تفاوت‌های زیستی و اکولوژیکی بین گونه‌های مختلف کپورماهیان می‌تواند بر میزان تجمع فلزات سنگین در بافت عضله آن‌ها تأثیرگذار باشد.

مقایسه غلظت فلزات سنگین با استانداردهای جهانی و ارزیابی ریسک سلامت: به‌منظور ارزیابی وضعیت ایمنی و بهداشتی مصرف ماهیان، مقادیر به‌دست‌آمده با حدود مجاز تعیین‌شده توسط سازمان‌های بین‌المللی FAO/WHO مقایسه شد (۱۳،۱۴). نتایج این مقایسه در جدول ۲ ارائه گردیده است. نتایج براساس آزمون t تک‌نمونه‌ای (one-sample t-test) در مقایسه با مقدار استاندارد FAO/WHO گزارش شده‌اند. مطابق نتایج جدول ۲، میانگین غلظت اکثر فلزات در بافت عضله کپورماهیان مورد مطالعه کمتر از حدود استاندارد FAO/WHO بود. با این حال، میانگین غلظت سرب بالاتر از حد مجاز گزارش شد که می‌تواند از نظر سلامت عمومی و ایمنی غذایی نگران کننده باشد (۱۳، ۱۴). مطابق نتایج جدول ۲، غلظت برخی فلزات در محدوده استاندارد تعیین‌شده توسط FAO/WHO قرار داشت. علاوه بر این، به‌منظور بررسی اثرات احتمالی مصرف این ماهیان بر سلامت انسان، شاخص‌های ارزیابی ریسک سلامت نیز محاسبه شد که نتایج آن در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۲: مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین در چهار گونه کپورماهیان مورد مطالعه با استانداردهای جهانی FAO/WHO (mg/kg) وزن خشک (۱۳، ۱۴)

Table 2: Comparison of the overall mean concentrations of heavy metals in the muscle tissue of the four studied cyprinid fish species with FAO/WHO international standards (mg/kg dry weight (13, 14)

Element	Standard Value (ppm)	Mean Difference from Standard (ppm)	t-Statistic	df	P-Value
Arsenic (As)	0.5	-0.47906	-1.934	7	<0.001
Cadmium (Cd)	0.2	-0.17514	-31666	7	<0.001
Cobalt (Co)	50	-49.61315	-909.701	7	<0.001
Chromium (Cr)	30	-29.92911	-2.643	7	<0.001
Copper (Cu)	100	-99.9325	-1.322	7	<0.001
Iron (Fe)	100	-87.725	-46.671	7	<0.001
Mercury (Hg)	0.2	-0.12005	-6.595	7	<0.001
Manganese (Mn)	50	-48.66125	-135.938	7	<0.001
Molybdenum (Mo)	150	-146.5449	-1.804	7	<0.001
Nickel (Ni)	0.5	-0.463	-1.238	7	<0.001
Lead (Pb)	0.4	0.98652	9.818	7	<0.001
Tin (Sn)	250	-249.72391	-5.512	7	<0.001
Zinc (Zn)	150	-131.03625	-136.014	7	<0.001

جدول ۳: شاخص‌های ارزیابی ریسک سلامت ناشی از مصرف کپورماهیان آلوده مورد مطالعه به فلزات سنگین (۱۴، ۱۳)

Table 3: Health risk assessment indices associated with the consumption of cyprinid fish contaminated with heavy metals (13, 14)

Heavy Metal	Estimated Daily Intake ($mg \cdot kg^{-1}$ $BW \cdot day^{-1}$) – Children	Estimated Daily Intake ($mg \cdot kg^{-1}$ $BW \cdot day^{-1}$) – Adults	MTDI* ($mg \cdot kg^{-1}$ $BW \cdot day^{-1}$)
Arsenic (As)	9.68×10^{-3}	5.53×10^{-3}	-
Cadmium (Cd)	1.15×10^{-2}	6.57×10^{-3}	6×10^{-3}
Cobalt (Co)	1.79×10^{-1}	1.02×10^{-1}	–
Chromium (Cr)	3.28×10^{-2}	1.87×10^{-2}	2
Copper (Cu)	3.12×10^{-2}	1.78×10^{-2}	3×10^{1}
Iron (Fe)	7.527×10^{-2}	4.301×10^{-2}	1×10^{2}
Mercury (Hg)	3.63×10^{-2}	2.11×10^{-2}	–
Manganese (Mn)	6.19×10^{-1}	3.54×10^{-1}	–
Molybdenum (Mo)	1.598	9.13×10^{-1}	–
Nickel (Ni)	$1.71 \times \times 10^{-2}$	9.78×10^{-3}	3×10^{1}
Lead (Pb)	6.41×10^{-1}	3.66×10^{-1}	2.1×10^{-1}
Tin (Sn)	1.28×10^{-1}	7.29×10^{-2}	–
Zinc (Zn)	8.77	5.012	6×10^{1}

*MTDI ; Maximum Tolerable Daily Intake (حداکثر مقدار مصرف روزانه قابل‌تحمل)

[Downloaded from journalaer.com on 2026-10-28]

[DOI: 10.22034/aer.2.4.33]

نتایج جدول ۳ نشان داد که میزان دریافت روزانه برآوردی (EDI) در کودکان بالاتر از بزرگسالان است. با مقایسه EDI با مقادیر قابل تحمل روزانه (MTDI)، نسبت EDI/MTDI برای کادمیوم (Cd) و سرب (Pb) در هر دو گروه سنی بیشتر از ۱ به‌دست آمد که بیانگر احتمال ریسک غیرسرطان‌زایی در مصرف طولانی‌مدت است. در مقابل، برای کروم، مس، آهن، نیکل و روی، مقادیر EDI کمتر از MTDI بوده و در محدوده قابل‌قبول قرار گرفتند.

بحث

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که تمامی فلزات سنگین اندازه‌گیری شده در بافت عضله چهار گونه کپورماهیان مورد بررسی در منطقه شوشتر قابل شناسایی بودند، اما الگوی تجمع آن‌ها میان گونه‌ها تفاوت داشت. بیشترین غلظت به عناصر ضروری نظیر روی (Zn) و آهن (Fe) و کمترین مقدار مربوط به کادمیوم (Cd) بود. یافته‌ها حاکی از اختلاف معنی‌دار آماری ($P<0/05$) در غلظت عناصری همچون کبالت (Co)، آهن (Fe)، جیوه (Hg)، منگنز (Mn)، مولیبدن (Mo)، سرب (Pb) و روی (Zn) در بین گونه‌هاست. این تفاوت در تجمع زیستی، حتی در شرایط محیطی یکسان، نشان‌دهنده نقش کلیدی عوامل فیزیولوژیک و بوم‌شناختی از جمله رژیم غذایی، جایگاه تروفیک و مکانیسم‌های سم‌زدایی اختصاصی هر گونه در جذب و انباشت فلزات است (۱۵، ۲). هرچند تایید قطعی این موضوع مستلزم مطالعات تکمیلی بر روی منابع غذایی و محیط زندگی این ماهیان است. غلبه عناصر روی و آهن بر سایر فلزات در این مطالعه با ماهیت فیزیولوژیک این عناصر در بدن آبزیان هم‌خوانی دارد (۱۶). روی و آهن از عناصر ضروری برای فرآیندهای زیستی از جمله فعالیت‌های آنزیمی، سنتز پروتئین، متابولیسم انرژی، رشد و عملکرد سیستم ایمنی محسوب می‌شوند. به همین دلیل این عناصر معمولاً در مقایسه با فلزات غیرضروری در غلظت‌های بالاتری در بافت‌های بدن ماهیان یافت می‌شوند (۱۶). روی به‌طور خاص در ساختار و عملکرد تعداد زیادی از آنزیم‌ها نقش دارد و در تنظیم فرآیندهای متابولیک و حفظ پایداری سلولی مؤثر است. بنابراین حضور بیشتر این عنصر در بافت عضله ماهیان در بسیاری از مطالعات گزارش شده است (۱۷، ۳). همچنین آهن به دلیل نقش اساسی در انتقال اکسیژن، ساختار هموپروتئین‌ها و متابولیسم سلولی در سطح قابل توجهی در بدن آبزیان وجود دارد. با این حال، افزایش بیش از حد عناصر ضروری در برخی شرایط می‌تواند نشانه‌ای از فشارهای محیطی یا ورود مداوم آلاینده‌ها به اکوسیستم‌های آبی باشد (۱۸). در مقابل، کادمیوم کمترین غلظت را در میان عناصر اندازه‌گیری‌شده نشان داد. این یافته می‌تواند بیانگر پایین بودن میزان ورود این فلز به محیط مورد مطالعه باشد، اما در عین حال با الگوی شناخته‌شده توزیع بافتی کادمیوم در ماهیان نیز مطابقت دارد. مطالعات نشان داده‌اند که کادمیوم تمایل بیشتری به تجمع در بافت‌هایی نظیر کبد، کلیه و آبشش دارد و غلظت آن در عضله معمولاً کمتر است (۱۸). بنابراین پایین بودن غلظت کادمیوم در عضله لزوماً به معنای نبود خطر زیست‌محیطی نیست و ممکن است بازتابی از ویژگی‌های زیست‌انباشت اختصاصی این فلز در بافت‌های متابولیکی باشد (۱۹). اختلاف معنی‌دار مشاهده‌شده در تجمع برخی فلزات میان گونه‌های مختلف از مهم‌ترین یافته‌های این پژوهش بود. گونه‌هایی که از رسوبات کف یا موجودات بنتیک تغذیه می‌کنند معمولاً بیشتر در معرض فلزاتی قرار می‌گیرند که در رسوبات تجمع یافته‌اند، درحالی‌که گونه‌های پلانکتون‌خوار یا گیاه‌خوار ممکن است الگوهای متفاوتی از جذب فلزات نشان دهند (۲). از آن‌جاکه رسوبات یکی از مهم‌ترین مخازن فلزات سنگین در اکوسیستم‌های آبی محسوب می‌شوند، تماس مستقیم یا غیرمستقیم با آن‌ها می‌تواند نقش مهمی در افزایش بار فلزی برخی گونه‌ها داشته باشد. علاوه بر عوامل اکولوژیک، ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گونه‌ها نیز در الگوی تجمع فلزات نقش مهمی دارند. تفاوت در ظرفیت جذب فلزات از طریق آبشش‌ها، میزان نفوذپذیری غشاهای سلولی، فعالیت سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی و بیان پروتئین‌های متالوتیونئین می‌تواند موجب شود گونه‌های مختلف حتی در یک محیط مشابه، سطوح متفاوتی از فلزات را در بافت‌های خود نشان دهند (۱۵). متالوتیونئین‌ها که از پروتئین‌های غنی از سیستئین هستند در اتصال و سم‌زدایی فلزاتی مانند کادمیوم، مس و روی نقش دارند و تغییر در سطح فعالیت آن‌ها می‌تواند تا حدی اختلافات بین گونه‌ای مشاهده شده را توضیح دهد (۱۷، ۳). یافته‌های مطالعه حاضر نشان داد که الگوی تجمع فلزات در میان چهار گونه کپورماهیان مورد بررسی متفاوت است. یافته‌های مطالعه حاضر با نتایج برخی مطالعات پیشین نیز هم‌خوانی دارد (۱۹). برای مثال، Rahmani و همکاران، در بررسی غلظت فلزات سنگین در ماهیان دریای خزر چنین تفاوتی را در بسیاری از مطالعات به‌عنوان پدیده‌ای شناخته‌شده گزارش کردند و معمولاً به تفاوت‌های گونه‌ای در مسیرهای جذب و متابولیسم فلزات، ویژگی‌های تغذیه‌ای و توان سم‌زدایی نسبت داده شد. با این حال، با توجه به این‌که در پژوهش حاضر متغیرهای زیستی/اکولوژیک (مانند رژیم غذایی، جایگاه تروفیک یا ویژگی‌های زیستگاهی) به‌طور مستقیم اندازه‌گیری نشده‌اند، این توضیحات صرفاً در حد تفسیر و بر پایه شواهد موجود در منابع علمی ارائه می‌شود. همچنین لازم به ذکر است که مقایسه مستقیم با اکوسیستم‌هایی مانند دریای خزر- به‌دلیل تفاوت بنیادین شرایط

[Downloaded from journalaer.com on 2026-10-28]

[DOI: 10.22034/aer.2.4.33]

محیطی(شوری، ساختار زیستگاهی، منابع آلودگی)و تفاوت گونه‌های غالب- محدودیت دارد و نتایج چنین مطالعاتی بیشتر برای تأیید اصل وجود تفاوت‌های گونه‌ای در تجمع فلزات قابل استفاده است، نه برای مقایسه کمی یا گونه به گونه (۱۹). از سوی دیگر، حضور فلزات سنگین در منابع غذایی دریایی از منظر سلامت عمومی اهمیت ویژه‌ای دارد. برخی فلزات از جمله کادمیوم دارای سمیت بالایی هستند و در صورت تجمع در بدن می‌توانند موجب بروز اختلالات جدی در عملکرد اندام‌ها شوند. مطالعات نشان داده‌اند که کادمیوم می‌تواند باعث آسیب به کبد و کلیه، اختلال در تعادل مواد معدنی و بروز مشکلات متابولیکی شود و حتی در برخی موارد با افزایش خطر بروز سرطان ارتباط دارد (۲۰) به همین دلیل پایش منظم غلظت فلزات سنگین در منابع غذایی دریایی برای ارزیابی خطر سلامت مصرف‌کنندگان ضروری است. مقایسه غلظت فلزات اندازه‌گیری‌شده با حدود مجاز بین‌المللی نیز نشان داد که اگرچه در بسیاری از موارد مقادیر در محدوده قابل قبول قرار داشتند، مشاهده مقادیر نسبتاً بالاتر برای برخی عناصر می‌تواند نشانه‌ای از ورود آلاینده‌های فلزی به اکوسیستم آبی منطقه باشد. فلزات سنگین می‌توانند از طریق منابع مختلفی وارد محیط‌های آبی شوند. فعالیت‌های کشاورزی، استفاده از کودها و سموم شیمیایی، رواناب سطحی، فرسایش خاک، تخلیه فاضلاب‌های شهری و پساب‌های صنعتی از جمله مهم‌ترین مسیرهای ورود این عناصر به منابع آبی هستند (۲۲، ۲۱). در چنین شرایطی ماهیان به‌عنوان مصرف‌کنندگان سطوح بالاتر زنجیره غذایی در معرض فرآیندهای زیست‌انباشت و در مواردی بزرگ‌نمایی زیستی قرار می‌گیرند. ارزیابی خطر سلامت نیز بخش مهمی از تحلیل نتایج این پژوهش را تشکیل می‌دهد. شاخص‌های Target Hazard Quotient (THQ) و Hazard Index (HI) ابزارهایی هستند که برای ارزیابی احتمال بروز اثرات غیرسرطانی ناشی از مواجهه مزمن با آلاینده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. براساس چارچوب ارائه‌شده توسط آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده، زمانی که مقدار THQ کمتر از ۱ باشد، احتمال بروز اثرات نامطلوب غیرسرطانی در اثر مصرف طولانی‌مدت پایین در نظر گرفته می‌شود، درحالی‌که مقادیر بالاتر از ۱ می‌تواند نشان‌دهنده وجود نگرانی بالقوه برای سلامت مصرف کنندگان باشد. شاخص HI نیز که مجموع مقادیر THQ برای چندین فلز است، تصویری جامع‌تر از خطر تجمعی ناشی از مصرف هم‌زمان چند آلاینده ارائه می‌دهد (۱۰). در این پژوهش، اگرچه در بسیاری از موارد شاخص‌های خطر در محدوده قابل قبول قرار داشتند، اما بالا بودن نسبی برخی عناصر در بعضی گونه‌ها نشان می‌دهد که مصرف مداوم و طولانی‌مدت این ماهیان، به‌ویژه در گروه‌های حساس جمعیتی، ممکن است با خطرات بالقوه‌ای همراه باشد. این موضوع به‌ویژه برای فلزاتی نظیر سرب و جیوه اهمیت بیشتری دارد. سرب به‌عنوان یک نوروتوکسین شناخته‌شده می‌تواند بر رشد سیستم عصبی، عملکرد شناختی و سیستم قلبی- عروقی اثرات منفی داشته باشد (۴). جیوه نیز به‌ویژه در شکل متیل‌جیوه یکی از خطرناک‌ترین آلاینده‌های غذایی در اکوسیستم‌های آبی محسوب می‌شود و می‌تواند اثرات جدی بر سیستم عصبی و رشد جنین داشته باشد (۲۳). به‌طورکلی، الگوی مشاهده‌شده در این پژوهش- یعنی غلبه عناصر ضروری مانند روی (Zn)و آهن (Fe) و مقادیر پایین‌تر کادمیوم (Cd) در بافت عضله- با الگوهای گزارش‌شده در برخی مطالعات دیگر هم‌راستا است. برای نمونه، Yi و همکاران، در ماهیان رودخانه یانگ‌تسه نیز گزارش کردند که Zn و Fe از عناصر با غلظت بالاتر و Cd در مقادیر پایین‌تر مشاهده شده است (۳). همچنین Türkmen و همکاران، نشان دادند که تفاوت‌های گونه‌ای و ویژگی‌های بوم‌شناختی و رفتار تغذیه‌ای می‌تواند به تفاوت در تجمع فلزات در بافت‌های ماهی منجر شود (۱۷). با این‌حال، لازم به تأکید است که به دلیل تفاوت‌های مهم در اکوسیستم، منابع آلودگی، شرایط فیزیکوشیمیایی آب، و ترکیب گونه‌ها، این مطالعات بیشتر برای مقایسه کیفیِ الگوها و جهت‌دهی به تفسیر نتایج به‌کار می‌روند و مقایسه مستقیمِ کمی (غلظت به غلظت) یا نتیجه‌گیری درباره منشأ آلودگی از آن‌ها قابل استنباط نیست. در نتیجه، در این مطالعه از مطالعات مذکور صرفاً برای نشان دادن «عمومیت داشتن پدیده تفاوت گونه‌ای و غلبه عناصر ضروری در عضله» استفاده شده است، نه برای اثبات یکسان بودن شرایط محیطی یا منابع آلودگی. در مطالعات منطقه‌ای نیز نتایج مشابهی گزارش شده است و نشان داده شده که سطح آلودگی فلزی در ماهیان می‌تواند بسته به شرایط محیطی، نوع زیستگاه و گونه مورد مطالعه متفاوت باشد (۲۵، ۲۴). مطالعات نشان می‌دهد فلزات سنگین به‌دلیل پایداری بالا در محیط می‌توانند از طریق زنجیره غذایی وارد بدن موجودات زنده شده و در بافت‌ها تجمع یابند. این عناصر ابتدا توسط گیاهان و سایر موجودات پایه زنجیره غذایی جذب شده و سپس از طریق فرایند زیست‌انباشت و بزرگنمایی زیستی به سطوح بالاتر از جمله ماهی‌ها و انسان منتقل می‌شوند (۲۶). مصرف مداوم غذاهای آلوده، به‌ویژه محصولات دریایی، می‌تواند منجر به افزایش دریافت روزانه فلزات سنگینی مانند کادمیوم، مس، روی و آرسنیک شود و خطرات بالقوه‌ای برای سلامت انسان ایجاد کند (۲۷). بررسی‌ها در ایران نیز نشان داده‌اند که بافت خوراکی برخی گونه‌های ماهی ممکن است حاوی مقادیر قابل توجهی از فلزات سنگین باشد که ارزیابی ریسک سلامت انسانی را ضروری می‌سازد (۲۸). از این رو، شناخت ماهیت فلزات سنگین و پایش مداوم حضور آن‌ها در منابع غذایی برای مدیریت خطرات زیست‌محیطی و بهداشتی اهمیت زیادی

[Downloaded from journalaer.com on 2026-10-28]
[DOI: 10.22034/aer.2.4.33]

دارد (۲۹). با وجود این، نتایج مطالعه حاضر باید با در نظر گرفتن برخی‌محدودیت‌ها تفسیر شود. اندازه‌گیری فلزات تنها در بافت عضله انجام شده است، درحالی‌که بررسی هم‌زمان آب، رسوبات و سایر بافت‌های بدن ماهی می‌تواند تصویر کامل‌تری از منشأ آلودگی و فرآیندهای زیست‌انباشت ارائه دهد. علاوه بر این، عواملی مانند فصل نمونه‌برداری، سن و اندازه ماهیان، شرایط تغذیه‌ای و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آب نیز می‌توانند بر غلظت فلزات تأثیر بگذارند و لازم است در مطالعات آینده با دقت‌بیشتری موردبررسی قرار گیرند.

نتیجه‌گیری: نتایج این مطالعه نشان داد تمامی فلزات سنگین اندازه‌گیری‌شده در بافت عضله ۴ گونه کپورماهیان منطقه شوشتر قابل شناسایی بودند و الگوی تجمع آن‌ها بین گونه‌ها تفاوت داشت. در مجموع، روی و آهن بیشترین غلظت و کادمیوم کمترین مقدار را نشان دادند و برای برخی عناصر (Co، Fe، Hg، Mn، Mo، Pb و Zn) اختلاف معنی‌دار بین گونه‌ها مشاهده شد. مقایسه با حدود مجاز بین‌المللی نشان داد که اگرچه اغلب فلزات در محدوده قابل قبول قرار دارند، اما مشاهده سطوح نسبتاً بالاتر برخی عناصر ضرورت پایش مستمر فلزات در ماهی و نیز در آب و رسوبات منطقه را نشان می‌دهد. بنابراین، ارزیابی ایمنی غذایی باید بر پایه اندازه‌گیری غلظت‌ها، مقایسه با استانداردها و شاخص‌های خطر سلامت انجام شود و برنامه‌های منظم پایش و کنترل منابع آلاینده برای کاهش ریسک انسانی و حفاظت از اکوسیستم توصیه می‌شود.

تشکر و قدردانی

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از تمامی همکارانی که در جهت انجام کارهای آزمایشگاهی و نمونه گیری همکاری نمودند، صمیمانه تقدیر و تشکر نمایند.

تضاد منافع: نویسندگان هیچ‌گونه تعارض احتمالی منافع مثل دریافت وجه در قبال مقاله، یا به‌دست آوردن موجودی یا سهم را که ممکن است از طریق انتشار مقاله به دست بیاید و یا از دست برود، ندارند.

منابع

1. **Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B. and Beeregowda, K.N., 2014.** Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdisciplinary Toxicology.* 7(2): 60-72. https://doi.org/10.2478/intox-2014-0009

2. **Ali, H., Khan, E. and Ilahi, I., 2019.** Environmental chemistry and ecotoxicology of hazardous heavy metals: Environmental persistence, toxicity, and bioaccumulation. *Journal of Chemistry.* 2019: 6730305. https://doi.org/10.1155/2019/6730305

3. **Yi, Y., Yang, Z. and 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. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.06.011

4. **Tchounwou, P.B. Yedjou, C.G., Patlolla, A.K. and Sutton, D.J., 2012.** Heavy metal toxicity and the environment. *Experientia Supplementum***.** 101: 133-164. https://doi.org/10.1007/978-3-7643-8340-4_6

5. **Alloway, BJ., 2013.** Heavy metals in soils: Trace metals and metalloids in soils and their bioavailability. 3rd ed. Dordrecht: Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4470-7

6. **Ahmed, M.K., Shaheen, N., Islam, M.S., Habibullah Al-Mamun, M., Islam, S. and Mohiduzzaman, M., 2020.** Human health risks of heavy metals in fish from the Buriganga River, Bangladesh. *Food Chemistry***.** 306: 125497. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125497

7. **Abdoli, A. and Naderi, M., 2018.** Freshwater fishes of Iran. Tehran: University of Tehran Press. (In Persian)

8. **Saleh, Y., Al Harbi, T. and Al Humaidi, J., 2022.** Assessment of heavy metals in edible fish and associated human health risk. *Environmental Monitoring and Assessment.* 194: 675. https://doi.org/10.1007/s10661-022-10366-7

9. **Kazemi, R., Mohammadi, M. and Hosseini, S., 2019.** Investigation of heavy metal contamination in water resources and aquatic organisms in Khuzestan province. *Iranian Journal of Environmental Sciences.* 16(3): 45-56. (In Persian)

10. **United States Environmental Protection Agency. 2011.** Risk assessment guidance for superfund (RAGS): Human health evaluation manual. Washington DC: United States Environmental Protection Agency.

11. **AOAC International. 2016.** Official methods of analysis of AOAC International**.** 20th ed. Gaithersburg: AOAC International. https://www.aoac.org/official-methods-of analysis

12. **Sivaperumal, P. Sankar, T.V. and Nair, P.V., 2007.** Heavy metal concentrations in fish from seafood markets of India. *Food Chemistry.* 102(3): 612-620. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.06.040

13. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**; 2011.World Health Organization. Joint FAO/WHO food standards programme: Codex committee on contaminants in foods. Rome: FAO/WHO.

14. **World Health Organization. 2007.** Evaluation of certain food additives and contaminants: Sixty-seventh report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). Geneva: World Health Organization. https://apps.who.int/iris/handle/10665/43510

15. **Jezierska, B. and Witeska M., 2012.** Metal toxicity to fish**.** Dordrecht: Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-5385-3

16. **Prabhu, P.A.J., Schrama, J.W. Kaushik, S.J., 2016.** Mineral requirements of fish: A systematic review. *Reviews in Aquaculture.* 8(2): 172-219. https://doi.org/10.1111/raq.12090

17. **Türkmen, M., Türkmen, A., Tepe, Y. and Akyurt, I., 2005.** Heavy metals in three commercially valuable fish species from Iskenderun Bay, Turkey. *Food Chemistry.* 91(1): 167-172. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.05.008

18. **Authman, M.M.N., Zaki, M.S., Khallaf, E.A. and Abbas, H.H., 2015.** Use of fish as bio-indicator of the

[Downloaded from journalaer.com on 2026-10-28]

[DOI: 10.22034/aer.2.4.33]

effects of heavy metals pollution. *Journal of Aquaculture Research and Development.* 6(4): 328. https://doi.org/10.4172/2155-9546.1000328

19. **Rahmani, M., Pourang, N. and Nikouyan, A., 2018.** Heavy metal concentrations in commercially important fish species from the Caspian Sea. *Iranian Journal of Fisheries Sciences.* 17(3): 503-514.

20. **Genchi, G., Carocci, A., Lauria, G., Sinicropi, M.S. and Catalano, A., 2020.** The effects of cadmium toxicity. *International Journal of Environmental Research and Public Health.* 17(11): 3782. https://doi.org/10.3390/ijerph17113782

21. **Islam, M.S., Ahmed, M.K., Al Mamun, M.H., Islam, K.N. and Ibrahim, M., 2015.** Arsenic and lead in foods: A potential threat to human health in Bangladesh. *Food Additives and Contaminants: Part B- Surveillance.* 8(4): 233-242. https://doi.org/10.1080/19393210.2015.1042836

22. **Rahman, M.S., Molla, A.H., Saha, N. and Rahman, A., 2012.** Study on heavy metals levels and its risk assessment in some edible fishes from Bangshi River, Savar, Dhaka, Bangladesh. *Food Chemistry.* 134(4): 1847-1854. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.03.099

23. **Karimi, R., Fitzgerald, T.P. and Fisher, N.S.A., 2012.** quantitative synthesis of mercury in commercial seafood and implications for exposure in the United States. *Environmental Health Perspectives.* 120(11): 1512-1519. https://doi.org/10.1289/ehp.1205002

24. **Dadar, M., Adel, M., Nasrollahzadeh Saravi, H., Fakhri, Y. and Tracey, S.R., 2016.** Trace element concentrations in muscle of common carp and silver carp from freshwater farms and wild fish in Iran: Human health risk assessment. *Biological Trace Element Research.* 170(2): 278-286.

25. **Nabavi, S.M.B., Nabavi, S.N., Ebrahimzadeh, M.A. and Pourmorad, F., 2012.** Heavy metal levels in fish species from the Caspian Sea. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology.* 88: 158-162. https://doi.org/10.1007/s00128-011-0445-8

26. **Khan, A., Khan, S., Khan, M.A., Qamar, Z. and Waqas, M., 2015.** The uptake and bioaccumulation of heavy metals by food plants. *Environmental Science and Pollution Research.* 22: 13772-13799. https://doi.org/10.1007/s11356-015-4881-0

27. **Chien, L.C., Hung, T.C., Choang, K.Y., Yeh, C.Y., Meng, P.J., Shieh, M.J. and Han, B.C., 2002.** Daily intake of tributyltin, copper, zinc, cadmium and arsenic for fishermen in Taiwan. *Science of the Total Environment.* 285(1-3): 177-185. https://doi.org/10.1016/S0048-9697(01)00916-0

28. **Aminzadeh, S., Fakhri, Y. and Keramati, H., 2016.** Heavy metal concentration in edible tissues of fish species from Iran and related human health risk assessment. *Iranian Journal of Fisheries Sciences.* 15(2): 684-697. (In Persian)

29. **Ali, H. and Khan, E., 2018.** What are heavy metals? Long-standing controversy over the scientific use of the term "heavy metals". *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 5(6): 1118. https://doi.org/10.3390/ijerph15061118

[Downloaded from journalaer.com on 2026-10-28]

[DOI: 10.22034/aer.2.4.33]