JAER

2026, 2(3): 43-50

Journal of Animal Environmental Reaserch

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

Research Article

Health Risk Assessment of Heavy Metals Due to Consumption of Pike-Perch (*Sander lucioperca*) Infected with Cestoda Parasites in Northwest Iran (Case Study: Sattarkhan Dam)

Saba Khairkhah, Amir Dehghani *

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

Key Words

Bioaccumulation
Freshwater
Food Chain
Intestinal Parasites
Carcinogenicity

Abstract

Introduction: In Iran and other parts of the world, few studies have investigated the accumulation of heavy metals in the human food chain and the interrelationship between parasites and their hosts. The present study aimed to investigate the effect of parasitic relationships and food chains on the health risk associated with the accumulation of lead, cadmium, and copper due to the consumption of pike-perch (Sander lucioperca) in the Sattarkhan Dam (Ahar County, East Azerbaijan Province).

Materials & Methods: Field sampling was conducted from April 2022 to December 2024. A total of 77 samples, including 28 adult pike-perch, 25 intestinal tapeworm samples, and 24 gammarids (Amphipoda), were collected from different areas of the dam using gill nets. Parasites were identified to the genus level using valid identification keys. After tissue digestion, the concentration of heavy metals was measured using atomic absorption spectrophotometry. Health risk assessment was performed by calculating the EDI, THQ, CR, and %TDI indices.

Results: The mean total length, total weight, and age of infected fish were 52 cm, 550 g, and 3.9 years, respectively. The tapeworms isolated from the intestines of infected fish belonged to two genera of the order Cestoda: *Proteocephalus* and *Caryophyllaeus*. The results showed that, except for copper, the concentration of other metals in the muscle tissue of uninfected fish was significantly higher than in fish infected with parasites. The concentrations of lead and cadmium in uninfected fish (0.31 and 0.47 µg/g dry weight, respectively) were higher than in infected fish (0.20 and 0.30 µg/g). Metal concentrations in the tapeworms were significantly higher than in their hosts and in gammarids. The EDI, THQ, and CR indices for metals in infected fish were 36-45% lower than in uninfected fish.

Conclusion: Consumption of pike-perch from this area poses an acceptable non-carcinogenic risk (Total THQ < 1), but the carcinogenic risk, especially for cadmium, exceeds the permissible threshold (1×10^{-6}). The presence of intestinal tapeworms reduces this risk by approximately 36-45%. These findings highlight the importance of considering host-parasite relationships in health risk assessments and the monitoring of aquatic ecosystem pollution.

Article info

* Corresponding Author's email: a.dehghani93@gmail.com

Received: 5 November 2025
Reviewed: 16 December 2025
Revised: 8 February 2026
Accepted: 18 March 2026

[Downloaded from journalaer.com on 2026-06-18]

مقاله علمی - پژوهشی

ارزیابی ریسک سلامت ناشی از فلزات سنگین در اثر مصرف ماهی سوف (*Sander lucioperca*) آلوده به انگل سستودا در شمال‌غرب ایران (مطالعه موردی: سد ستارخان)

صبا خیرخواه، امیر دهقانی*

گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران

کلمات کلیدی

تجمع‌زیستی
آب‌های شیرین
زنجیره غذایی
انگل‌های روده‌ای
سرطانزایی

چکیده

مقدمه: در ایران و سایر مناطق جهان، مطالعات اندکی به بررسی تجمع فلزات سنگین در زنجیره غذایی انسان و ارتباط متقابل انگل‌ها و میزبان‌ها پرداخته‌اند. پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر روابط انگلی و زنجیره‌های غذایی بر ریسک سلامت ناشی از تجمع سرب، کادمیوم و مس در اثر مصرف ماهی سوف (*Sander lucioperca*) در سد ستارخان (شهرستان اهر، استان آذربایجان‌شرقی) انجام شد.

مواد و روش‌ها: نمونه‌برداری میدانی از فروردین ۱۴۰۱ تا آذر ۱۴۰۳ انجام شد. در مجموع ۷۷ نمونه شامل ۲۸ قطعه ماهی سوف‌بالغ، ۲۵ نمونه انگل کرم پهن روده‌ای و ۲۴ نمونه گاماروس (Amphipoda) با استفاده از تور گوشگیر از مناطق مختلف سد جمع‌آوری شد. انگل‌ها با استفاده از کلیدهای شناسایی معتبر تا سطح جنس شناسایی شدند. پس از هضم بافت‌ها، غلظت فلزات سنگین با استفاده از اسپکتروفتومتری جذب اتمی اندازه‌گیری شد. ارزیابی ریسک سلامت با محاسبه شاخص‌های EDI، THQ، CR و TDI٪ انجام گرفت.

نتایج: میانگین طول کل، وزن کل و سن ماهیان دارای انگل به‌ترتیب ۵۲ سانتی‌متر، ۵۵۰ گرم و ۳/۹ سال بود. انگل‌های کرم پهن جدا شده از روده ماهیان آلوده متعلق به دوجنس از رده‌سستودا (کرم‌های‌نواری) شامل *Proteocephalus* و *Caryophyllaeus* بودند. نتایج نشان داد که به‌جز مس، غلظت سایر فلزات در بافت عضلانی ماهیان فاقد انگل به‌طور معنی‌داری بالاتر از ماهیان آلوده به انگل بود. غلظت سرب و کادمیوم در ماهیان فاقد انگل (به‌ترتیب ۰/۳۱ و ۰/۴۷ میکروگرم بر گرم وزن خشک) نسبت به ماهیان آلوده (۰/۲۰ و ۰/۳۰ میکروگرم بر گرم) بیش‌تر بود. غلظت فلزات در انگل‌های کرم پهن به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از میزبان و گاماروس بود. شاخص‌های EDI، THQ و CR برای فلزات در ماهیان آلوده ۴۵-۳۶ درصد کم‌تر از ماهیان فاقد انگل بود.

بحث و نتیجه‌گیری: مصرف ماهی سوف در این منطقه ریسک غیرسرطان‌زایی قابل قبولی دارد (TTHQ<۱)، اما ریسک سرطان‌زایی به‌ویژه برای کادمیوم بالاتر از آستانه مجاز ($۱۰^{-۶} \times ۱$) است. حضور انگل‌های کرم پهن‌روده‌ای این ریسک‌را حدود ۴۵-۳۶ درصد کاهش می‌دهد. این یافته‌ها اهمیت در نظرگرفتن روابط میزبان-انگل را در ارزیابی‌های ریسک سلامت و پایش آلودگی اکوسیستم‌های آبی نشان می‌دهد.

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول:
a.dehghani93@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴ آبان ۱۴۰۴
تاریخ داوری: ۲۵ آذر ۱۴۰۴
تاریخ اصلاح: ۱۹ بهمن ۱۴۰۴
تاریخ پذیرش: ۲۷ اسفند ۱۴۰۴

[Downloaded from journalaer.com on 2026-06-18]

مقدمه

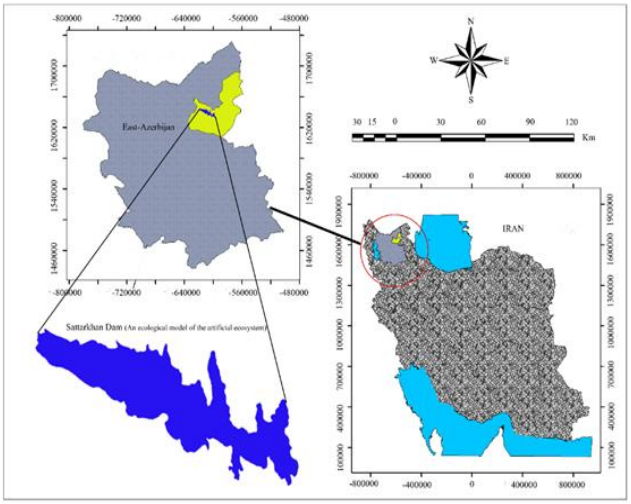
یکی از پیامدهای محیطی پیشرفت‌های صنعتی و توسعه و سایر فعالیت‌های انسانی، ورود آلاینده‌ها به اکوسیستم‌های حساس است. یکی از مهم‌ترین آلاینده‌ها، فلزات سنگین هستند. این عناصر به‌طور طبیعی از طریق فوران‌های آتشفشانی، آتش‌سوزی‌های جنگلی و فرسایش زمین وارد اکوسیستم‌های آبی شوند یا به‌طور مصنوعی از طریق فعالیت‌های صنعتی، استخراج معادن و استفاده از کودهای شیمیایی کشاورزی و زباله‌های شهری به این چرخه‌های بیوژئوشیمیایی وارد می‌شوند (۱). فلزات سنگین به دو گروه فلزات ضروری مانند مس، آهن و روی که در مقادیر کم موجب فعالیت‌های آنزیمی می‌شوند و فلزات غیرضروری مانند سرب، کادمیوم، آرسنیک و جیوه که در غلظت‌های بالاتر از حد مجاز باعث مسمومیت‌های محیطی می‌گردند تقسیم می‌شوند (۲). این عناصر با بخش‌های از درشت مولکول‌های زیستی بدن مانند اکسیژن و نیتروژن ترکیب شده و عملکرد آنزیم‌ها و پروتئین‌ها را تغییر داده و با ایجاد رادیکال‌های آزاد باعث آسیب به DNA می‌شوند (۳). یکی دیگر از خطرات ناشی از این آلودگی‌ها، آلودگی اکوسیستم‌های آبی است که باعث ورود این عناصر به شبکه غذایی شده و در سطوح مختلف غذایی تجمع می‌یابد. در سطوح غذایی به‌خاطر فرایند بزرگ‌نمایی زیستی، مقادیر این فلزات چندین برابر غلظت آن‌ها در آب یا خاک می‌شود که درصورت مصرف توسط انسان‌ها، می‌تواند باعث آسیب‌های تولیدمثلی، بافتی و فیزیولوژیکی شود(۴). آبزیان که بخش مهمی از غذای انسان‌ها را تشکیل می‌دهند، به‌طور مداوم در معرض این آلودگی‌ها قرار دارند. به همین دلیل، تجمع فلزات سنگین در بافت‌های این جانوران، به‌ویژه ماهی‌ها، می‌تواند به‌عنوان یک شاخص زیستی مناسب برای بررسی اثرات آلودگی فلزات‌سنگین در اکوسیستم‌های آبی و پیش‌بینی سمیت آن‌ها استفاده گردد (۵). در مطالعات پیشین، نشانگرهای زیستی نظیر ماهی‌ها، پلانکتون‌ها و بی‌مهرگان معمولاً برای ارزیابی و پایش میزان تجمع آلاینده‌های مختلف در اکوسیستم‌های آبی به‌کار گرفته شده‌اند (۶، ۷). امروزه استفاده از شاخص‌های چندگانه در تحقیقات جدید مورد توجه ویژه قرار گرفته است. به‌طور مثال برای پایش و اندازه‌گیری میزان غلظت فلزات سنگین در یک اکوسیستم آبی از زنجیره‌های غذایی و روابط میزبان-انگل استفاده می‌گردد (۵، ۸). در این رویکردها می‌توان میزان تجمع فلزات سنگین را از پایین‌ترین سطح غذایی (تولیدکنندگان) تا بالاترین سطح زنجیره غذایی (انسان) با استفاده از بزرگ‌نمایی زیستی و روابط متقابل در طول این شبکه بررسی کرد. یکی از این روابط، رابطه انگل و میزبان است، برای مثال انگل‌های روده‌ای، به‌ویژه انگل‌های هلمینتی ماهی‌ها، نسبت به میزبان‌های خود میزان بیش‌تری از عناصر را جذب می‌کنند. زیرا مستقیماً در معرض فلزات سنگین واردشده به دستگاه گوارش قرار دارند (۹). در ایران و دیگر مناطق جهان، مطالعات کم‌تری در زمینه تجمع فلزات سنگین در زنجیره غذایی انسان و ارتباط میان انگل‌ها و میزبان‌ها انجام شده است. از جمله مطالعات شاخص در این حوزه، پژوهش Sardrinezhad و همکاران است که به بررسی تجمع فلزات سنگین در انگل‌های روده‌ای دو گونه ماهی تجاری مهم در دریای خزر پرداختند (۱۰). نمونه‌برداری این مطالعه در سال ۲۰۲۰ از سواحل بندر انزلی انجام شد و غلظت فلزات روی (Zn)، مس (Cu)، سرب (Pb) و کادمیوم (Cd) در بافت‌های مختلف ماهی کفال طلایی (*Rutilus kutum*) و سوف معمولی (*Sander lucioperca*) و هم‌چنین انگل‌های نماتود آن‌ها اندازه‌گیری گردید. نتایج نشان داد که انگل‌ها قادر به تجمع مقادیر قابل توجهی از فلز روی هستند؛ به‌طوری که غلظت روی در انگل *Anisakis simplex* کفال طلایی ۲۳/۲۹ برابر بیش‌تر از روده میزبان بود. هم‌چنین در ماهی سوف، انگل‌های نر *Rafidascaris acus* توانستند ۴/۲۲ برابر بیش‌تر از روده میزبان روی جذب کنند. نکته حائز اهمیت این‌که کادمیوم در بافت‌های سوف و انگل‌های آن شناسایی نشد، اما در کبد و روده کفال طلایی یافت شد. در این مطالعه سعی شده است با استفاده از مطالعات مرتبط، میزان تأثیر انگل‌های روده‌ای بر الگوی تجمع فلزات سنگین و ریسک سلامت‌ناشی از مصرف ماهی سوف در سد ستارخان اهر مورد مطالعه و بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

محل مطالعه: سدستارخان یک سدخاکی واقع بر روی رودخانه اهرچای، در شمال‌غرب ایران، استان آذربایجان‌شرقی و در مجاورت شهر اهر می‌باشد که موقعیت آن در شکل ۱ نشان داده شده است. این سد در مجاورت مناطق حساس اکولوژیکی هم‌چون جنگل‌های ارسباران و رودخانه ارس‌قرار گرفته و آب‌شرب شهرستان‌های اطراف و آب آبیاری برای بیش از ۱۲،۰۰۰ هکتار از زمین‌های کشاورزی پایین‌دست را فراهم می‌کند. هم‌چنین این‌سد یک‌اکوسیستم منحصر به‌فردی را برای زیست گونه‌های مختلف ماهیان مانند سوف و برخی بی‌مهرگان شامل سخت‌پوستان و آمفیپودها را ایجاد کرده است

نمونه‌برداری: نمونه‌برداری میدانی با استفاده از تور گوشگیر از فروردین‌سال ۱۴۰۱ تا آذر ۱۴۰۳ از بخش‌های‌مختلف سد جمع‌آوری گردید. در مجموع طی این نمونه‌برداری ۷۷ نمونه شامل ۲۸ عدد ماهی بالغ سوف، ۲۵ نمونه سستود از ماهیان آلوده به انگل و ۲۴ نمونه آمفی‌پودا به‌دست آمد.

[Downloaded from journalaer.com on 2026-06-18]



شکل ۱: نقشه محل مطالعه، سد ستارخان اهر

Figure 1: Map of the study area, Sattarkhan Dam, Ahar

مطالعات آزمایشگاهی و تجزیه و تحلیل فلزات سنگین: نمونه‌های جمع‌آوری‌شده در ظروف حاوی پودر یخ قرار گرفتند و بلافاصله به آزمایشگاه جانورشناسی شهید مدنی آذربایجان منتقل شده و در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگه‌داری شدند. سپس بعد از ثبت اطلاعات مورفولوژیکی مطابق جدول ۱، با آب مقطر شستشو شدند تا لزج و ذرات خارجی از سطح بدن آن‌ها پاک شود. سپس ماهی‌ها تشریح شده و محتویات دستگاه گوارش برای شناسایی انگل‌ها تخلیه شدند.

جدول ۱: مشخصات زیستی ماهیان سوف مورد مطالعه (میانگین ± انحراف معیار)

Table 1: Biological characteristics of the studied pike-perch (Mean ± Standard Deviation)

Group	Number	Total Weight (g)	Total Length (cm)	Mean Age (Year)
Uninfected	12	580 ± 45	49 ± 2.1	3.6 ± 0.98
Infected with Parasites	16	550 ± 37	52 ± 1.8	3.9 ± 1.2

ماهی‌ها براساس تعداد انگل‌های مشاهده‌شده به‌دو گروه تقسیم شدند: ماهی‌هایی که فاقد انگل بودند یا کم‌تر از پنج انگل داشتند و ماهی‌هایی که بیش از پنج انگل داشتند. سپس وزن کل تمام ماهی‌ها در آزمایشگاه با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۵ گرم اندازه‌گیری شد. انگل‌های جدا شده از روده ماهیان آلوده بر اساس ویژگی‌های ریخت‌شناسی شامل شکل اسکولکس، تعداد و آرایش بادکش‌ها، موقعیت منافذ تناسلی و شکل قطعات (پروگلوتیدها) با استفاده از کلید شناسایی Jalali (1998) شناسایی شدند. براین اساس، دو جنس از راسته سستودا (کرم‌های نواری) شامل *Proteocephalus* و *Caryophyllaeus* تشخیص داده شدند (۱۱). برای هضم بافت‌های مورد نظر به‌طور جداگانه در ظروف پتری قرار گرفته و در دمای ۸۰ درجه به‌مدت ۲۴ ساعت در آون خشک شدند. در مرحله بعدی بافت‌های خشک‌شده در هاون و دسته چینی پودر شدند سپس ۰/۵ گرم از هر نمونه خشک شده به یک لوله هضم منتقل شدند. سپس به هر لوله به‌ازای ۰/۵ گرم ۵ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۶۵٪ اضافه شد. ارلن‌ها به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای آزمایشگاه برای هضم اولیه نگه‌داری شدند. سپس نمونه‌ها به‌مدت ۵ ساعت در دمای ۷۰ درجه روی هات پلیت قرار گرفتند سپس دما به آرامی افزایش داده شد تا محلول نهایی به ۲-۱ میلی‌لیتر برسد. سپس بعد از خنک‌سازی ۲ میلی‌لیتر پراکسیدهیدوژن ۳۰ درصد به آن اضافه شد سپس محلول مجدداً روی هات پلیت قرار داده شد تا محلول به ۲ میلی‌لیتر برسد سپس محلول فوق با آب دیونیزه شستشو داده شد حجم آن به ۱۰ میلی‌لیتر افزایش یافت. سپس محلول با استفاده از کاغذ واتمن شماره ۴۲ عبور داده شد و محلول نهایی به‌دست آمد (۱۰). غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های آماده شده با استفاده از اسپکتروسکوپی جذب اتمی (AAS 240Z Varian) تجزیه و تحلیل شد. برای تعیین دقت این دستگاه، محلول استاندارد سه بار تکرار شدند. حد تشخیص اسپکتروسکوپی جذب اتمی (LOD) برای سرب ۰/۰۵، کادمیوم ۰/۰۰۵ و مس ۰/۰۰۵ میکروگرم در گرم بود. غلظت عناصر تعیین‌شده در بافت ماهی‌های بررسی شده در این تحقیق با محدودیت‌های مجاز حداکثر (MPL) منتشر توسط سازمان‌های بین‌المللی مختلف در جدول ۲ مقایسه شد.

جدول ۲: محدودیت‌های مجاز حداکثر (MPL) فلزات در بافت ماهی (میکروگرم بر گرم وزن خشک) طبق استانداردهای بین‌المللی

Table 2: Maximum Permissible Limits (MPL) of metals in fish tissue (µg/g dry weight) according to international standards

International Standard	Lead (Pb)	Cadmium (Cd)	Copper (Cu)
World Health Organization (12)	-	0.2	30
Codex Alimentarius (13)	0.3	0.1	-
Chinese Ministry of Health (14)	0.5	0.1	30
FAO (15)	0.05	0.5	2

کنترل و تضمین کیفیت: تمامی ابزارهای شیشه‌آلات و ظروف آزمایشگاهی پیش از استفاده، به‌مدت ۲۴ ساعت در محلول ۱۰٪ اسید نیتریک غوطه‌ور و با آب دیونیزه شستشو و خشک شدند. در طول فرآیند هضم و آماده‌سازی نمونه‌ها، تنها از آب فوق‌خالص استفاده گردید. به‌منظور اطمینان از تکرارپذیری، هر نمونه به‌طور دو بار هضم و تجزیه و تحلیل شد. انحراف معیار نسبی بین تکرارها برای تمامی فلزات هدف، کم‌تر از ۹٪ به‌دست آمد. آزمون بازیابی مقادیر مشخصی از استانداردهای سرب، کادمیوم و مس به نمونه‌های حقیقی افزوده شد. نرخ‌های بازیابی به‌ترتیب ۹۵/۴٪، ۹۷/۲٪ و ۹۳/۵٪ بود.

[Downloaded from journalaer.com on 2026-06-18]

تحلیل‌های آماری: برای تحلیل‌های آماری از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ استفاده شد. به‌دلیل عدم توزیع نرمال داده‌ها، از روش‌های ناپارامتریک استفاده گردید. برای مقایسه غلظت فلزات سنگین بین ماهی‌های آلوده و سالم، از آزمون ناپارامتریک من-ویتنی استفاده شد. در نهایت، به‌منظور مقایسه هم‌زمان غلظت فلزات بین گونه‌ها یا گروه‌های مختلف مورد مطالعه، آزمون کروسکال-والیس انتخاب شد.

ارزیابی ریسک سلامت انسان: این ارزیابی به‌عنوان یک شاخص برای بررسی میزان خطرزایی عناصر سنگین مورد استفاده قرار می‌گیرد.

میزان دریافت روزانه (EDI): این شاخص برای فلزات سنگین در بزرگسالان با استفاده از روش آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا از رابطه زیر محاسبه می‌گردد (۱۶):

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

در این رابطه FIR: میزان مصرف ماهی (۳۶ گرم/نفر/روز)؛ C: سطح غلظت فلزات سنگین در بافت‌های ماهی (میکروگرم/گرم وزن خشک)؛ Bw: وزن متوسط برای مصرف‌کننده بزرگسال (۷۰ کیلوگرم). مقدار دریافت روزانه (EDI) هر فلز سنگین با دوز روزانه قابل تحمل (TDI) یا دوز مرجع خوراکی (RfD) مقایسه شد.

شاخص ریسک غیرسرطانزایی (THQ): از این شاخص برای ارزیابی میزان ریسک غیرسرطان‌زای مصرف ماهیانی که در معرض فلزات سنگین قرار داشتند استفاده می‌شود. این شاخص از فرمول زیر محاسبه می‌شود (۱۶):

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

در این معادله، EF: فرکانس در معرض آلاینده (۳۶۵ روز در سال)، ED: مدت زمان میانگین زندگی (۷۰ سال برای بزرگسالان)، RfD: دوز مرجع خوراکی (برای کادمیوم مقدار عددی ۱، سرب ۱/۵ و مس ۴۰؛ میکروگرم/گرم وزن بدن در روز)، TA: مدت زمان میانگین قرارگیری در معرض مواد غیرسرطان‌زا (EF×ED). اگر مقدار این شاخص کم‌تر از یک باشد اثرات خطرزایی کم‌تری نسبت به بالای یک دارد.

ریسک سرطان‌زایی (CR): این شاخص خطر احتمالی بروز سرطان را در طول عمر یک شخص که در مواجه با یک ماده سرطان‌زا مانند عناصر سمی را دارد تخمین می‌زند. از بین فلزات مورد بررسی، کادمیوم و سرب به‌عنوان مواد سرطان‌زا برای انسان شناخته می‌شوند (۱۶). بنابراین، این شاخص برای کادمیوم و سرب با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

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

در این معادله ضریب شیب سرطان‌زایی (CSF) برای سرب ۰/۰۰۸۵ میلی‌گرم/ کیلوگرم/ روز و برای کادمیوم ۰/۳۸ است. براساس گزارش آژانس حفاظت از محیط زیست آمریکا، اگر مقدار $CR \geq 10^{-4}$ باشد نشان دهنده وجود خطر سرطان‌زایی است. اگر $10^{-4} > CR > 10^{-6}$ باشد نشان می‌دهد که خطر سرطان‌زایی در محدوده قابل قبولی قرار دارد. اگر مقدار $CR \leq 10^{-6}$ که خطر سرطان‌زایی بسیار پایین است.

نتایج

از مجموع ۲۸ ماهی مورد مطالعه در این تحقیق، ۱۲ نمونه فاقد انگل و ۱۶ نمونه آلوده به انگل‌های سستود بودند. در گروه‌های مورد مطالعه، غلظت سه فلز سنگین (سرب، کادمیوم و مس) در بافت ماهیان آلوده به انگل و فاقد انگل مورد ارزیابی و آنالیز آماری قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که غلظت هر سه عنصر در گروه فاقد انگل به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از گروه آلوده به انگل است.

جدول ۳: مقایسه غلظت فلزات سنگین (میانگین ± انحراف معیار) در ماهیان آلوده و فاقد انگل

Table 3: Comparison of heavy metal concentrations (Mean ± Standard Deviation) in infected and uninfected fish

Metal	Uninfected (n=12)	Infected (n=16)	Mann-Whitney	Significance
Lead (Pb)	0.31 ± 0.034	0.20 ± 0.017	Z = -2.1	*p = 0.036
Cadmium (Cd)	0.47 ± 0.06	0.30 ± 0.02	Z = -2.15	*p = 0.021
Copper (Cu)	8.5 ± 0.39	4.2 ± 0.18	Z = -2.65	*p = 0.008

*Significant difference ($p < 0.05$)

براساس جدول ۳، غلظت سرب، کادمیوم و مس در گروه فاقد انگل نسبت به گروه آلوده به‌طور معنی‌داری بالاتر بودند، بیش‌ترین اختلاف بین دو گروه مربوط به غلظت مس است به‌طوری‌که اختلاف میانگین مس در گروه فاقد انگل و گروه آلوده، تقریباً دو برابر است. این نتایج نشان می‌دهد که وجود آلودگی انگلی ممکن است باعث کاهش تجمع فلزات سنگین در بافت ماهیان گردد.

ارزیابی غلظت‌های فلزات سنگین در گاماروس و انگل‌ها:

یکی از منابع اصلی تغذیه ماهی سوف، گروهی از سخت پوستان به نام گاماروس است که در این مطالعه به میزان تجمع فلزات سنگین در این جنس نیز پرداخته شد. با بررسی تجمع فلزات در این سخت پوست و هم‌چنین انگل‌های روده‌ای ماهیان آلوده مشخص گردید که غلظت فلزات سنگین در انگل‌های سستود از ماهی‌ها و گاماروس بیش‌تر است. هم‌چنین براساس جدول ۴ مقادیر سرب و کادمیوم در ماهی‌ها بیش‌تر از گاماروس می‌باشد و تنها غلظت مس در گاماروس بیش‌تر از ماهی‌ها است.

[Downloaded from journalaer.com on 2026-06-18]

جدول ۴: میانگین غلظت‌های فلزات سنگین در گاماروس، ماهی سوف و انگل‌های سستود

Table 4. Mean concentrations of heavy metals in Gammarids, Pike-Perch, and Cestode Parasites

Animal Groups	Lead (Pb)	Cadmium (Cd)	Copper (Cu)
Gammarids (n=24)	0.13 ± 0.008	0.14 ± 0.005	5.23 ± 0.2
Infected Pike-Perch (n=16)	0.20 ± 0.017	0.30 ± 0.02	4.2 ± 0.18
Cestode Parasites (n=25)	0.29 ± 0.014	0.37 ± 0.011	4.9 ± 0.12

طبق جدول ۵ غلظت سرب، کادمیوم و مس در سه گروه تفاوت معنی‌داری نشان می‌دهد ($p<۰/۰۰۱$). در مورد سرب و کادمیوم، همه مقایسه‌های دوگانه معنی‌دار بود و انگل‌های سستود بیش‌ترین غلظت را داشتند. در مورد مس، گاماروس و انگل تفاوت معنی‌داری نداشتند، اما هر دو غلظت بالاتری نسبت به ماهی سوف داشتند.

جدول ۵: مقایسه آماری غلظت فلزات سنگین در گاماروس، ماهی سوف آلوده و انگل‌های سستود

Table 5: Statistical comparison (Kruskal-Wallis) of heavy metal concentrations in Gammarids, infected Pike-Perch, and Cestode parasites

Variable	Significant Comparisons (p< 0.05)	Overall Result
Lead (Pb) Concentration	Parasites > Fish > Gammarids	Highly significant difference between groups (H = 32.15, p < 0.001)
Cadmium (Cd) Concentration	Parasites > Fish > Gammarids	Highly significant difference between groups (H = 28.43, p < 0.001)
Copper (Cu) Concentration	Gammarids > Fish Parasites > Fish Gammarids ≈ Parasites	Highly significant difference between groups (H = 18.72, p < 0.001)

نتایج ارزیابی ریسک سلامت ناشی از فلزات سنگین در ماهی سوف: میزان دریافت روزانه (EDI)

این شاخص برای مصرف ماهی نشان می‌دهد که این میزان برای همه فلزات در هر دو گروه کم‌تر از مقادیر مرجع (TDI) است. طبق جدول ۶، بیش‌ترین مقدار این شاخص مربوط به مس است که در ماهی‌های فاقد انگل به $۴/۳۷۱\times۱۰^{-۳}$ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن بدن در روز می‌رسد. الگوی EDI مشابه الگوی غلظت فلزات بود، به‌طوری که مقادیر EDI برای ماهی‌های آلوده به‌ترتیب برای سرب، کادمیوم و مس ۳۵/۳، ۳۶/۲، ۵۰/۵ درصد کم‌تر از ماهی‌های فاقد انگل بود. محاسبه درصد مصرف نسبت به حد مجاز روزانه (TDI) نیز نتایج مشابهی نشان داد. مجموع ٪TDI برای سه فلز در ماهی‌های فاقد انگل ۲۲/۹۶ درصد و در ماهی‌های آلوده ۱۳/۴۳ درصد بود که کاهش قابل توجهی را در حضور انگل نشان می‌دهد. بیش‌ترین ٪TDI مربوط به کادمیوم در ماهی فاقد انگل (۹/۶۷ درصد) بود.

ارزیابی خطر غیرسرطان‌زایی (THQ): این شاخص برای تمامی فلزات در هر دو گروه کم‌تر از ۱ بود که نشان‌دهنده خطر غیر سرطان‌زایی قابل قبول برای مصرف‌کنندگان است. با این‌حال، THQ کل (شاخص خطر مجموع) برای ماهی‌های فاقد انگل (۰/۴۵۷) به‌طور قابل توجهی بالاتر از ماهی‌های آلوده (۰/۲۷۷) بود که نشان‌دهنده کاهش ۳۹/۴ درصدی خطر غیرسرطان‌زایی در حضور انگل است. در بین فلزات مختلف، کادمیوم بیش‌ترین سهم را در THQ داشت.

ارزیابی خطر سرطان‌زایی (CR): این شاخص برای سرب و کادمیوم محاسبه شد. CR کل (مجموع ریسک سرطان‌زایی دو فلز) برای ماهی‌های فاقد انگل $۹/۳۲۱\times۱۰^{-۵}$ و برای ماهی‌های آلوده $۶/۷۳۸\times۱۰^{-۳}$ بود که کاهش ۲۶ درصدی خطر سرطان‌زایی در حضور انگل را نشان می‌دهد. کادمیوم سهم غالب (بیش از ۹۸٪) در ریسک سرطان‌زایی کل داشت. با توجه به این‌که مقادیر CR بیش‌تر از آستانه ۱×۱۰^{-۶} بودند، خطر سرطان‌زایی قابل توجه در نظر گرفته شد.

جدول۶: ارزیابی ریسک سلامت فلزات سنگین (سرب، کادمیوم، مس) در ماهی سوف: نقش محافظتی انگل‌های سستود در کاهش مواجهه انسانی

Table 6: Health risk assessment of heavy metals (lead, cadmium, copper) in Pike-Perch: Protective role of Cestode parasites in reducing human exposure

Groups	Heavy Metals	EDI* (mg/kg/day)	TDI**	%TDI	THQ***	CR****
Uninfected Pike-Perch	Lead (Pb)	1.594×10^{-4}	0.0035	4.55	0.106	1.355×10^{-6}
	Cadmium (Cd)	2.417×10^{-4}	0.0025	9.67	0.242	9.185×10^{-5}
	Copper (Cu)	4.371×10^{-3}	0.05	8.74	0.109	----
Infected Pike-Perch	Lead (Pb)	1.029×10^{-4}	0.0035	2.94	0.069	8.747×10^{-6}
	Cadmium (Cd)	1.543×10^{-4}	0.0025	6.17	0.154	5.863×10^{-5}
	Copper (Cu)	2.16×10^{-3}	0.05	4.32	0.054	----

*EDI: Estimated Daily Intake, **TDI: Tolerable Daily Intake, ***THQ: Target Hazard Quotient, ****CR: Carcinogenic Risk

بحث

مطالعه حاضر برای نخستین‌بار در منطقه سد ستارخان (استان آذربایجان‌شرقی) به بررسی رابطه بزرگ‌نمایی زیستی و میزبان-انگل در تجمع فلزات سنگین (سرب، کادمیوم و مس) و تأثیر آن بر ریسک سلامت ناشی از مصرف ماهی سوف (*S. lucioperca*) پرداخته است. انگل‌های جدا شده از روده ماهیان آلوده متعلق به دو جنس از

[Downloaded from journalaer.com on 2026-06-18]

کرم‌های پهن (*Proteocephalus* sp. و *Caryophyllaeus* sp.) بودند. یافته‌های این مطالعه نشان داد که غلظت فلزات سنگین در بافت عضلانی ماهیان سوف (به‌جز مس) پایین‌تر از حد مجاز اکثر استانداردهای بین‌المللی است. با این‌حال، غلظت کادمیوم در ماهیان فاقد انگل (۰/۴۷ میکروگرم/گرم) بالاتر از حد مجاز سازمان بهداشت جهانی (۰/۲ میکروگرم/گرم) و کدکس غذایی (۰/۱ میکروگرم/گرم) بود (۱۳). این یافته با نتایج Dehghani و همکاران در رودخانه ارس که غلظت بالای کادمیوم را در ماهی سوف گزارش کردند، هم‌خوانی دارد. مجاورت منطقه مطالعاتی با مجتمع مس سونگون می‌تواند یکی از دلایل اصلی این غلظت‌ها باشد (۵). مهم‌ترین یافته این مطالعه، کاهش معنی‌دار غلظت هر سه فلز در ماهیان آلوده به انگل‌های کرم پهن بود. این یافته با نتایج مطالعات متعددی که نقش انگل‌ها را به عنوان "زیست‌انباشتگر" تأیید کرده‌اند، مطابقت دارد (۸، ۹).Amini و همکاران در مطالعه خود روی گاوماهی و انگل نماتود *Dichelyne minutus* در دریای خزر به نتایج قابل توجهی دست یافتند. آن‌ها گزارش کردند که غلظت روی و مس در انگل نماتود به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از بافت‌های کبد و روده میزبان بود که این مقادیر بسیار بالاتر از یافته‌های مطالعه حاضر است و نشان‌دهنده تنوع در قدرت تجمع‌زیستی انگل‌های مختلف است. با این‌حال، اصل کلی یعنی تجمع بیش‌تر فلزات در انگل نسبت به میزبان در هر دو مطالعه تأیید می‌شود (۱۸). در مطالعه حاضر نیز غلظت فلزات در انگل‌های کرم پهن به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از میزبان بود. برای مثال، غلظت سرب در انگل‌ها (۰/۲۹ میکروگرم/گرم) حدود ۱/۵ برابر میزبان (۰/۲ میکروگرم/گرم) بود (جدول ۴). براساس یافته‌های این مطالعه و سایر تحقیقات مشابه مشاهده می‌شود که میزان هر سه فلز بررسی شده در ماهیان آلوده به انگل کم‌تر ماهیان سالم است که کاهش ۳۵ تا ۵۰ درصدی را نشان می‌دهند. در سطح جهانی کاهش غلظت فلزات در میزبان آلوده با نتایج مطالعات رودخانه سند (جهلم) در هند و پاکستان مطابقت دارد که این کاهش را می‌توان به چند مکانیسم مرتبط دانست (۱۸، ۱۹). نخست، تجمع‌زیستی مستقیم: انگل‌های روده‌ای به‌دلیل قرارگیری مداوم و مستقیم در مسیر جذب فلزات از طریق دستگاه گوارش ماهی، فلزات را در بافت خود تجمع می‌دهند. Amini و همکاران این پدیده را با ضرایب تمرکز زیستی بسیار بالا (تا ۱۹۴ برابر برای مس) به‌خوبی نشان دادند (۱۸). دوم، تغییرات فیزیولوژی جذب در روده ماهی: حضور انگل‌ها باعث التهاب موضعی یا تغییر در بیان ناقل‌های غشایی شده و کارایی جذب فلزات را در روده میزبان کاهش می‌دهد. سوم، افزایش دفع فلزات: تحریک ترشح موکوس روده به‌دلیل حضور انگل‌ها یا تغییر در ترکیب صفرا می‌تواند در کاهش غلظت فلزات در بافت ماهی مؤثر باشد. مطالعات مشابه منطقه‌ای در نتیجه‌گیری خود بیان کردند که: انگل‌های نماتود ممکن است تأثیر مفیدی بر سلامت ماهی میزبان داشته باشند و باعث بقای میزبان خود در برابر جذب فلزات سنگین شوند. این نتیجه‌گیری کاملاً با یافته‌های مطالعه حاضر هم‌خوانی دارد. در مطالعه اخیر، حضور انگل‌های کرم پهن باعث کاهش ۴۵-۳۶ درصدی ریسک سرطان‌زایی برای مصرف‌کنندگان انسانی شد. این یافته نشان می‌دهد که نقش محافظتی انگل‌ها فراتر از میزبان و تا سطح زنجیره غذایی انسان نیز گسترش می‌یابد.

انگل‌ها به عنوان زیست نشانگرها: غلظت بالاتر فلزات در انگل‌ها نسبت به میزبان، آن‌ها را به زیست‌نشانگرهای حساس و دقیقی برای پایش آلودگی فلزات سنگین تبدیل می‌کند. Zargar و همکاران در مطالعه خود با عنوان "انگل‌ها به عنوان ابزارهای زیست‌پایشی نوظهور" تأکید می‌کنند که رابطه انگل-میزبان به‌عنوان یک پایشگر دو بخشی می‌تواند اطلاعات جامع‌تری درباره منشأ، مسیرهای انتقال و اثرات زیستی آلاینده‌ها ارائه دهد. در مطالعه حاضر نیز غلظت فلزات در انگل‌های کرم پهن به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از میزبان بود که قابلیت آن‌ها را به‌عنوان زیست‌نشانگر تأیید می‌کند (۲۰).

الگوی تجمع فلزات در زنجیره غذایی: بررسی تجمع فلزات در سطوح مختلف زنجیره غذایی (گاماروس← ماهی← انگل) نشان داد که غلظت فلزات سنگین در انگل‌های سستود از میزبان و گاماروس بیش‌تر است. این مقادیر در ماهی‌ها بیش‌تر از گاماروس بود و تنها غلظت مس در گاماروس بیش‌تر از ماهی‌ها بود (جدول ۴). این یافته با مطالعه Dehghani و همکاران در رودخانه ارس که به بررسی انتقال فلزات در زنجیره غذایی آمفیپودا-سوف-انسان پرداخته بودند، هم‌خوانی دارد. هم‌چنین Sardrinezhad و همکاران نیز الگوی مشابهی از تجمع در انگل نسبت به میزبان گزارش کردند (۵، ۱۰).

ارزیابی ریسک سلامت: یافته‌های ارزیابی ریسک سلامت و محاسبات دقیق شاخص‌های EDI، THQ، TDI% و CR نشان می‌دهد که مصرف ماهی سوف از این منطقه در هر دو گروه (فاقد انگل و آلوده) ریسک غیرسرطان‌زایی قابل قبولی دارد (TTHQ>1). با این حال، ریسک سرطان‌زایی به‌ویژه برای کادمیوم بالاتر از آستانه مجاز (1×10^{-6}) بود. نکته حائز اهمیت این است که حضور انگل‌ها این ریسک را به‌میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد. (جدول ۶). این یافته از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، زیرا نشان می‌دهد که انگل‌ها علی‌رغم بیماری‌زا بودن، می‌توانند در اکوسیستم‌های آلوده نقش محافظتی ایفا کنند. همان طور که Sadrinezhad و همکاران نیز اشاره کردند، این تاثیر انگل‌ها بر سلامت میزبان، دیدگاه سنتی نسبت به انگل‌ها را به چالش می‌کشد (۱۰). یافته‌های این مطالعه دو پیامد مهم برای بهداشت

[Downloaded from journalaer.com on 2026-06-18]

عمومی و مدیریت شیلات دارد: ۱. ارزیابی دقیق‌تر ریسک: در مناطقی که آلودگی انگلی در ماهیان شایع است (مانند بسیاری از آب‌های داخلی ایران)، نادیده گرفتن این متغیر می‌تواند منجر به برآورد افراطی ریسک سلامت و در نتیجه، تصمیم‌گیری‌های نامناسب مدیریتی (مانند ممنوعیت غیرضروری مصرف ماهی) شود. ۲. مدیریت یکپارچه: برنامه‌های پایش و کنترل کیفیت آب و ماهی باید حضور و فراوانی انگل‌ها را نیز به‌عنوان یک فاکتور تعدیل‌کننده ریسک در نظر بگیرند. هم‌چنین، همان‌طور که Anuprasanna و همکاران تأکید کرده‌اند، استفاده هم‌زمان از ماهی و انگل‌های آن می‌تواند اطلاعات کامل‌تری درباره وضعیت آلودگی اکوسیستم‌های آبی ارائه دهد (۴).

نتیجه‌گیری: به‌طور خلاصه، این مطالعه نشان داد که انگل‌های لوله‌گوارشی در ماهیان، با جذب بخش اعظمی از فلزات سنگین، باعث کاهش ریسک سلامت برای مصرف‌کنندگان انسانی می‌شود. هم‌چنین یافته‌ها نشان می‌دهد که روابط اکولوژیک در شبکه‌های غذایی آلوده و مباحث انگل‌شناسی اهمیت ویژه‌ای در برنامه‌های ارزیابی کیفیت محیط‌های آبی و ایمنی غذایی دارد. درنهایت، این تحقیق گامی به‌سوی درک جامع‌تر از نقش انگل‌ها و روابط اکولوژیک آن‌ها به‌عنوان اجزای فعال و تأثیرگذار در اکوسیستم‌های تحت فشار فعالیت‌های انسانی است.

منابع

1. **Zaghloul, G.Y., Ezz El-Din, H.M., Mohamedein, L.I. and El-Moselhy, K.M., 2022**. Bio-accumulation and health risk assessment of heavy metals in different edible fish species from Hurghada City, Red Sea, Egypt. *Environmental Toxicology and Pharmacology*. 95: 103969. doi: 10.1016/j.etap.2022.103969
2. **Samantara, M.K., Panigrahi, S., Mohanty, A.K., Sahu, G., Mishra, S.S., Palaniswami, K., Subramanian, V. and Venkatraman, B., 2023.** Heavy metal concentration in marine edible fishes and associated health risks: An assessment from Tamil Nadu coast, Bay of Bengal. *Environmental Chemistry and Ecotoxicology*. 5: 193-204. doi: 10.1016/j.enceco.2023.09.002
3. **Bai, Y., Zhang, D., Wang, K., Li, F., Chen, N., Zhou, Z. and Ye, J., 2025.** Analysis of Heavy Metal Characteristics and Health Risk Assessment of Dried Fish Marketed in Guangzhou, China. *Biological Trace Element Research*. 203(4): 2041-2057. doi: 10.1007/s12011-024-04291-5
4. **Anuprasanna, V., Riazunnisa, K., Vijaya Lakshmi, D. and Chandrasekhar, T., 2024.** Biomonitoring of metals in fish and their parasites: An update. *Toxicological & Environmental Chemistry*. 106(1-10): 1-23. doi: 10.1080/02772248.2024.2364171
5. **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
6. **Baghdadi, H.B., Abdel-Gaber, R., Al Quraishy, S., Abou Hadied, M.M., Al-Otaibi, T., Elkhadragy, M.F. and Dkhil, M., 2023.** Metal accumulation capacity of raphidascaridid nematode, *Hysterothylacium reliquens*, infecting the king soldier bream (*Argyrops spinifer*). *Journal of King Saud University Science*. 35(4): 102635. doi: 10.1016/j.jksus.2023.102635
7. **Iyiola, A.O., Setufe, S.B., Ofori, E., Bilikoni, J. and Ogwu, M.C., 2024.** Biomarkers for the Detection of Pollutants from the Water Environment. In Izah, S.C., Ogwu, M.C. and Hamidifar, H., (Eds.). *Biomonitoring of Pollutants in the Global South. Singapore: Springer*. 359-383. doi: 10.1007/978-981-97-1658-6-16
8. **Brázová, T., Faragó, T. and Hančuľák, J., 2024.** Relationship between heavy metal accumulation in freshwater fish hosts and parasites in aquatic environments. In Heavy Metals in the Environment-Contamination, Risk, and Remediation. London, UK: Intech Open. 1-20. doi: 10.5772/intechopen.1006612
9. **Radwan, M., Abbas, M.M.M., Afifi, M.A.M., Mohammadein, A. and Al Malki, J.S., 2022.** Fish parasites and heavy metals relationship in wild and cultivated fish as potential health risk assessment in Egypt. *Frontiers in Environmental Science*. 10: 890039. doi: 10.3389/fenvs.2022.890039
10. **Sadrinezhad, A., Golestan, L., Khara, H., Ghorbani Hasansaraei, A. and Ahmadnezhad, M., 2024.** Accumulation of heavy metals in different organs of the Caspian kutum, Pikeperch, and their intestinal parasites from the southern Caspian Sea. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*. 23(2): 275-292. doi: 10.22092/ijfs.2024.130955
11. **Jalali, B., 1998.** Parasites and parasitic diseases of fresh water fishes of Iran. Fisheries Co of Iran. 563-564. (In Persian)
12. **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
13. **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. Rome: FAO.
14. **MHPRC (Ministry of Health of the People's Republic of China). 2013.** National Food Safety Standard, Maximum Levels of Contaminants in Foods (GB2762 2012). Beijing: MHPRC.

[Downloaded from journalaer.com on 2026-06-18]

15. **FAO (Food and Agriculture Organization). 1983.** Compilation of legal limits for hazardous substance in fish and fishery products. FAO Fishery Circular, No. 464. Rome: FAO. 5-100.
16. **USEPA (US Environmental Protection Agency). 2010.** Risk assessment guidance for superfund. In: Human Health Evaluation Manual (Part A). Volume I. Washington, DC: USEPA.
17. **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/s 11356-021-18036-7
18. **Amini, Z., Pazooki, J., Abtahi, B. and Shokri, M.R., 2013.** Bioaccumulation of Zn and Cu in *Chasar bathybius* (Gobiidae) tissue and its nematode parasite *Dichelyne minutus*, southeast of the Caspian Sea, Iran. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*. 42(2): 196-200.
19. **Shah, I.M., Khurshid, I. and Maqbool, N., 2025.** Helminth Parasites as Bioindicators of Heavy Metal Pollution in the Jhelum River: Insights into Bioaccumulation and Ecological Implications. *Water, Air, & Soil Pollution*. 236: 492. doi: 10.1007/s11270-025-08 107-7
20. **Zargar, U.R., Chishti, M.Z. and Rather, M.I., 2022.** Parasites as Emerging Biomonitoring Tools-Promises and Pitfalls. Proceedings of the National Academy of Sciences. *India Section B: Biological Sciences*. 92(4): 731-739. doi: 10.1007/s40011-022-01406-7

[Downloaded from journalaer.com on 2026-06-18]