JAER

2025, 1(3): 115-128

Journal of Animal Environmental Reaserch

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

Research Article

Assessing the environmental potential risk of pollution associated with heavy metals in water and sediment of the Tajan and Babolrood Rivers

Fatemeh Sancholi [1], Hadi Raeisi [1*], Sarah Haghparast [2], Rahman Patimar [1], Hossein Rahmani [2]

[1] *Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran*

[2] *Department of Fisheries, Faculty of Animal Sciences and Fisheries, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran*

Key Words

Heavy Metal
Sediment
Water
Tajan
Babolrood

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-11-16]

Article info

* Corresponding Author's email:
raeisi_hadi@yahoo.com

Received: 30 October 2024
Reviewed: 1 December 2024
Revised: 1 February 2025
Accepted: 6 March 2025

[DOI: 10.22034/AER.1.1.115]

Abstract

Introduction: Preserving river water quality for use in agriculture, fish farming, and industry in the surrounding cities and villages is particularly important. This research was conducted to assess heavy metals level and their pollution status in the water and sediment of the Tajan and Babolrood Rivers, North of Iran, Mazandaran Strait.

Materials & Methods: To do this, water and sediment samples were collected at four sites (inside the sea, estuary, 1km to the estuary, and 2 km to the estuary). A portable multi-problem meter determined water physicochemical parameters including salinity, temperature, pH, electrical conductivity, and dissolved oxygen. The concentration of heavy metals, iron (Fe), cobalt (Co), cadmium (Cd), chromium (Cr), nickel (Ni), lead (Pb), copper (Cu), zinc (Zn), and manganese (Mn) in water and sediment were determined using ICP-EOS. As was read by spectrometry atomic absorption is attached to hybrid generation. To assess the environmental potential risk of pollution associated with heavy metals in sediment, contamination factor (Cf), Pollution load index (PLI), metal index (MI), Environmental potential risk (Er) and total potential risk (RI) were applied.

Results: Results indicated that the concentration of As, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, and Zn in the water of the Tajan and Babolrood were less than the detectable limit (<0.05 µg/l). Heavy metals concentration measured in the sediment of both rivers were as follows: Fe>Mn>Cr>Zn>Ni>Cu>Pb>Co>As. In total, the concentration of heavy metals measured in the sediment of the Babolrood River was much higher than their counterparts in the Tajan River. **Conclusion:** Based on C*f*, PLI, and MI, coastal stations of the Tajan and Babolrood Rivers showed a moderate degree of pollution and metal as polluted the sites much higher than other metals. E*r* and RI indices revealed a low level of ecological risk in the estuarine and downstream sites of the Tajan and Babolrood Rivers.

مقاله علمی - پژوهشی

ارزیابی پتانسیل خطر زیست‌محیطی و آلودگی برخی فلزات سنگین در آب و رسوبات رودخانه‌های تجن و بابلرود

فاطمه سنچولی[۱]، هادی رییسی[۱]، سارا حق‌پرست[۲]، رحمان پاتیمار[۱]، حسین رحمانی[۲]*

[۱] گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس، گنبدکاووس، ایران

[۲] گروه شیلات، دانشکده علوم دامی و شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

کلمات کلیدی

فلزات سنگین
رسوب
آب
تجن
بابلرود

چکیده

مقدمه: حفظ کیفیت آب رودخانه به جهت مصارف آن در کشاورزی، پرورش ماهی و صنعت در شهرها و روستاهای اطراف از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این مطالعه با هدف ارزیابی سطح فلزات سنگین و آلودگی آن‌ها در آب و رسوب رودخانه‌های تجن و بابلرود، واقع در شمال ایران و استان مازندارن صورت گرفت.

مواد و روش‌ها: بدین‌منظور، نمونه برداری از آب و رسوب رودخانه در چهار ایستگاه (داخل دریا، مصب، یک کیلومتر قبل مصب و دو کیلومتر قبل از مصب) در فصل گرم (اواخر بهار و اوایل تابستان ۱۳۹۹) انجام شد. سنجش پارامترهای فیزیکی شیمیایی آب شامل شوری، دما، pH، ضریب هدایت الکتریکی، و اکسیژن محلول با کمک دستگاه پرتابل واترچکر انجام شد. اندازه‌گیری فلزات سنگین شامل آهن، کادمیوم، کروم، کبالت، مس، نیکل، روی، منگنز توسط دستگاه ICP-EOS و برای فلز آرسنیک از اسپکترومتری جذب اتمی و روش هیبرید استفاده شد. جهت ارزیابی ریسک پتانسیل خطر آلودگی رسوب به فلزات سنگین از شاخص‌های ضریب آلودگی (Cf) و بار آلودگی (PLI)، شاخص فلزی (MI)، پتاسیل خطر زیست محیطی (Er) پتانسیل کل خطر زیست محیطی آلودگی (RI) استفاده شد.

نتایج: نتایج حاکی از آن بود که غلظت فلزات آرسنیک، کبالت، کروم، مس، نیکل، سرب، و روی در آب رودخانه‌های بابلرود تجن کم‌تر از محدوده قابل شناسایی (۰/۰۵>میکروگرم بر لیتر) بود. روند تغییرات غلظت فلزات سنگین در رسوب رودخانه‌های مورد مطالعه به‌صورت آهن> منگنز > کروم> روی> نیکل > مس> سرب> کبالت>آرسنیک بود. در مجموع، غلظت تمام فلزات سنگین اندازه‌گیری شده در رسوب رودخانه بابلرود در مقایسه با رودخانه تجن به‌طور قابل توجهی بالاتر بود.

بحث و نتیجه‌گیری: براساس شاخص‌های Cf، PLI و MI رسوب ایستگاه‌های پایین دست در تجن و بابلرود آلودگی متوسط داشتند و سطح آلودگی به آرسنیک در دو رودخانه بالاتر از سایر فلزات بود. شاخص‌های Er و RI نشان‌دهنده خطر اکولوژیک پایین در رسوب مناطق مصبی و پایین‌دست رودخانه‌های تجن و بابلرود بودند.

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول:
raeisi_hadi@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹ آبان ۱۴۰۳
تاریخ داوری: ۱۱ آذر ۱۴۰۳
تاریخ اصلاح: ۱۳ بهمن ۱۴۰۳
تاریخ پذیرش: ۱۶ اسفند ۱۴۰۳

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-11-16]

[DOI: 10.22034/AER.1.1.115]

مقدمه

فلزات سنگین جزء آلاینده‌های اصلی آب‌شیرین محسوب شده که ممکن است از طریق فعالیت‌های روزانه مانند کشاورزی، ابزارهای ماهیگیری و فاضلاب‌های شهری و خانگی و یا توسط منابع طبیعی وارد محیط‌های آب‌شیرین شوند. برخی از فلزات سنگین مانند کبالت، مس، آهن، منگنز و روی در مقادیر کم برای انجام فعالیت‌های آنزیمی و فرآیندهای بیولوژیکی ضروری‌اند در حالی که فلزاتی مانند کادمیوم، سرب و جیوه نقش مهمی در بدن ندارند و حتی در مقادیر بسیار اندک نیز سمی‌اند (۱، ۲). به‌طورکلی، مطالعه درخصوص فلزات سنگین از دو جنبه سلامت عمومی و محیط زیست آبزیان بسیار مهم است. فلزات سنگین موجود می‌توانند در زنجیره غذایی محیط‌های آبی انباشته شوند. بخش اندکی از این فلزات جذب شده ممکن است یا برای استفاده متابولیکی در فرآیندهای ارگانیک حیاتی حفظ شوند و یا تا سطح غیرفعال از لحاظ متابولیکی سم‌زدایی شده و به‌طور موقت یا دائم در بدن ذخیره شوند (۲، ۳). برخی از پارامترهای فیزیکی و شیمیایی و سختی آب نقش قابل توجهی در تجمع فلزات سنگین در بدن موجودات زنده تا سطح مخاطره‌آمیز داشته و به زیست بوم آسیب می‌رسانند (۴). رسوبات رودخانه به‌عنوان بخش مهمی از اکوسیستم آن به‌خوبی شناخته شده‌اند و بسته به نوع فرآیندهای جذب، سهم قابل توجهی از فلزات با مواد معلق آب و یا رسوبات انباشته شده در کف همراه می‌باشد. تحت شرایط هیدرولیک مطلوب، ذرات معلق به همراه آلاینده می‌توانند در کف رودخانه رسوب کرده و در نتیجه به عنوان یک منبع ذخیره اصلی عمل کنند. متعاقباً، قرارگرفتن در معرض محیط شیمیایی متفاوت و تغییر در شیمی رسوب سبب انتقال مجدد آلاینده‌ها شده و می‌تواند آن‌ها را به اشکال شیمیایی زیستی و یا سمی‌تر تبدیل نماید (۵). فلزات سنگین تجمع یافته در رسوب با عبور از زنجیره غذایی و تجمع زیستی در بافت‌های موجودات زنده خطرات اکولوژیکی بالقوه‌ای را ایجاد کرده و به عملکرد ایمنی، گردش خون، عصبی و آنزیمی حیوانات آسیب می‌رسانند (۶). از این رو، آلودگی فلزات سنگین در رسوبات یک موضوع رو به رشد و یکی از مهم‌ترین مشکلات زیست‌محیطی امروزی است. جهت ارزیابی دقیق اثرات سمی فلزات سنگین بر رسوب و تخمین سطح آلودگی، از شاخص‌های متعدد مربوط به خطرات اکولوژیکی استفاده می‌شود. هم چنین، داده‌های پس‌زمینه (background) و دستورالعمل‌های کیفیت رسوب (SQGs: Sediment Quality Guidelines) نیز برای تعیین میزان آلودگی و ارزیابی ریسک اکولوژیکی مرتبط به آلودگی رسوب در محیط آبی به کار گرفته می‌شوند (۷). تاکنون مطالعاتی در اقصی نقاط جهان در زمینه کاربرد شاخص‌های آلودگی جهت ارزیابی میزان آلایندگی فلزات سنگین صورت گرفته است. نتایج ارزیابی سالانه فلزات سنگین در آب و رسوبات رودخانه هوجینگ توسط Hong-Giang Hoang و همکاران، حاکی از آلودگی بالای آب طی دوره ۲۰۱۶-۲۰۱۵ و آلودگی متوسط رسوب طی دوره ۲۰۱۹-۲۰۱۸ بود (۸). Jaskuła و همکاران، خطر اثرات مضر حضور فلزات سنگین در رسوبات کف رودخانه وارتا، سومین رودخانه طویل در لهستان را، با استفاده از فاکتور آلودگی (CF) و، شاخص بار آلودگی (PLI) بررسی کردند (۹). ترتیب میانگین غلظت فلزات سنگین اندازه‌گیری شده در رسوب رودخانه ناکورا- راکرکی در فیجی به‌صورت $Cd < Co < Pb < Cu < Zn < Ni < Cr < Mn < Fe$ و در آب به‌صورت $Cd < Pb < Cu < Ni < Zn < Co < Cr < Fe < Mn$ بود (۱۰). از مطالعات داخلی نیز می‌توان به بررسی و اندازه‌گیری فلزات سنگین در آب دریاچه نئور(استان اردبیل) توسط Babaei و همکاران، اشاره کرد که نشان دادند غلظت فلزات آهن و نیکل از استانداردهای EC، WPCL و TSE-266 بالاتر بودند (۱۱). هم‌چنین Lotfi و Ahmadi Nadoushan، به مطالعه توزیع مکانی فلزات سنگین سرب، روی و کادمیوم در رسوبات تالاب استیل آستارا پرداختند و دریافتند که غلظت فلزات مذکور در بخش‌های مختلف تالاب اختلاف معنی‌داری با یکدیگر دارند (۱۲). رودخانه‌های تجن و بابلرود در شمال ایران، استان مازندران، به‌عنوان ذخیره آب اصلی برای شهرها و روستاهای اطراف به‌حساب آمده و در کشاورزی، آبیاری، ماهیگیری و مصارف خانگی مورد استفاده قرار می‌گیرند. با این حال، فعالیت‌های روزانه در اطراف رودخانه و استفاده مداوم، غیراصولی و کنترل نشده از انواع کودها و مواد شیمیایی برای حذف علف‌های هرز و حشره‌کش‌ها ممکن است منجر به آلودگی شدید و حتی غیرقابل جبران در این زیست بوم‌ها گردد. این امر لزوم نظارت بر کیفیت و سطح آلودگی فلزات سنگین در آب و رسوبات این رودخانه‌ها را ضروری‌تر می‌کند. از این‌رو، مطالعه حاضر با هدف بررسی فلزات سنگین در آب و رسوب رودخانه‌های تجن و بابلرود به عنوان قطب مهم اقتصادی در استان مازندران صورت گرفته است.

مواد و روش‌ها

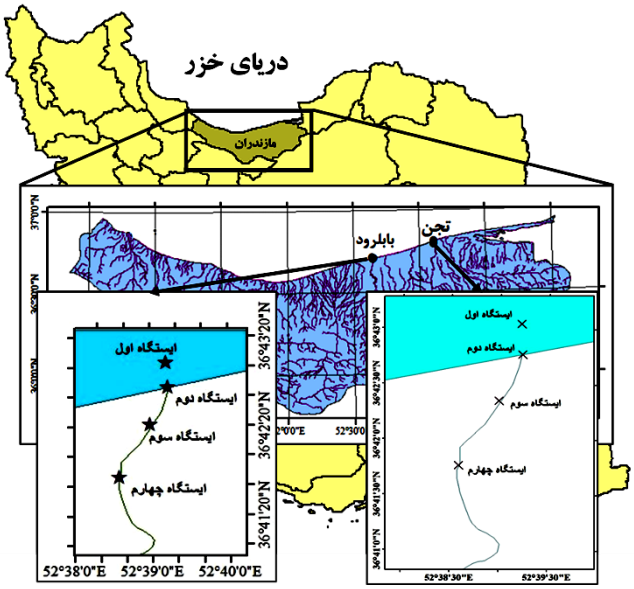
منطقه مورد مطالعه: رودخانه بابلرود، جزو زیرحوضه تالار بابلرود محسوب شده و درمرکز استان مازندران در مختصات ″۲۶ ′۲۴ °۳۰ شمالی و ″۶ ′۹ °۴۸ شرقی واقع شده است. این رودخانه با احتساب سرشاخه‌های اصلی آن یعنی رودخانه‌های سجرو یا بابلک حدود ۱۰۹ کیلومتر طول دارد و پس از عبور از جنگل‌های سوادکوه شمالی و شالیزارهای بابل در بابلسر به دریای مازندران می‌ریزد. رودخانه بابلرود محل مناسبی برای مهاجرت ماهیان خاویاری و سفید بوده و تفرجگاه‌های ساحلی متعددی در اطراف آن وجود دارد (۱۳). به‌طور میانگین از

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-11-16]
[DOI: 10.22034/AER.1.1.115]

سال ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۰ تعداد ۲۵۳۶۰۰۰ قطعه مولدین ماهی سفید در رودخانه بابلرود رهاسازی شده است (۱۳). منابع مختلف آلاینده‌های صنعتی، کشاورزی، لنج‌های صیادی، قایق‌های تفریحی و احداث کردن رستوران‌ها در حاشیه و بستر این رودخانه باعث شده است که تغییرات شدید و بسیاری در ساختار مصب آن به وجود آید (۱۳). رودخانه تجن به طول حدود ۱۲۰ کیلومتر از ارتفاعات جنوبی شهرستان ساری واقع در استان مازندران (رشته کوه‌های البرز) سرچشمه می‌گیرد و حوضه آبریز این رودخانه در فاصله ″۱۷ ′۹ °۳۶ تا ″۴۹ ′۲۹ °۳۶ شمالی و ″۵۷ ′۴ °۵۳ تا ″۲۶ ′۱۸ °۵۳ شرقی قرار دارد. این رودخانه محل مهاجرت ماهی سفید و خاویاری بوده و سالانه ۹۰ درصد بچه ماهیان تکثیر یافته ماهی سفید و ۶۰٪ بچه‌ماهیان تکثیریافته خاویاری جهت رهاسازی به آن معرفی می‌شوند. طی سال‌های ۱۳۹۵ الی ۱۴۰۰، حدوداً ۸ میلیون قطعه بچه ماهی سفید در رودخانه تجن رهاسازی شده‌اند. این رودخانه در طی سال‌های اخیر در معرض برداشت بی‌رویه شن و ماسه قرار داشته و حضور کارگاه‌های متعدد پرورش ماهی و آلاینده‌های صنعتی و کشاورزی از عوامل آلوده‌کننده این رودخانه به حساب می‌آیند (۱۳).

نمونه برداری از آب و رسوب: نمونه برداری از ستون آب به وسیله بطری‌های پلیپروپیلنی که قبلاً با اسیدنیتریک و آب مقطر شستشو شده بودند، انجام شد. ظروف نمونه برداری (بطری‌های پلاستیکی) سه بار با آب رودخانه آبکشی و سپس نمونه‌برداری از یک سوم بالایی آب یعنی از سطح تا عمق ۴۰ سانتی‌متری انجام شد. ابتدا نمونه‌ها از فیلتر غشایی ۰/۴۵ میکرون عبورداده شده و سپس چند قطره اسید نیتریک غلیظ داخل بطری ریخته شد تا pH آن در حد ۴/۵-۴ تثبیت شود (۱۴). نمونه‌برداری از رسوبات سطحی (عمق ۵ سانتی‌متر) توسط اکمن گرب در چهار نقطه از رودخانه‌های تجن و بابلرود طی بهار و تابستان ۱۳۹۹ انجام شد. مکان‌های انتخاب نمونه با توجه به محل رهاسازی بچه‌ماهیان سفید تکثیریافته و مولدین سفید که هرساله به منطقه مصبی رودخانه جهت تخم‌ریزی وارد می‌شوند، انتخاب شدند. ایستگاه اول داخل دریا در عمق ده متری مقابل مصب هر رودخانه با فاصله تقریبی ۱۰-۲۰ متر از مصب، ایستگاه دوم در مصب، ایستگاه سوم به فاصله یک کیلومتر از مصب و ایستگاه چهارم در فاصله دو کیلومتری از مصب انتخاب شدند. پس از نمونه‌برداری، نمونه‌ها همراه با یخ به آزمایشگاه انتقال داده شده و تا زمان آنالیز در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگه‌داری شدند. مختصات جغرافیایی مکان‌های نمونه‌برداری در شکل ۱ آورده شده است.

اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب: جهت سنجش پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب شامل دما، اکسیژن محلول، pH، شوری، TDS و پتانسیل اکسیداسیون-احیا (ORP: Oxidation-Potential Reduction) از دستگاه واترچکر مدل Az-Instrument استفاده شده است. لازم به ذکر است که میزان پانسیل اکسیداسیون- احیا در لایه نزدیک به رسوب (۳ سانتی‌متر بالای رسوب) و سایر پارامترها در ستون آب اندازه‌گیری شدند.



شکل ۱: مختصات جغرافیایی مکان‌های نمونه برداری در رودخانه تجن و بابلرود

اندازه‌گیری فلزات سنگین: سنجش فلزات سنگین در نمونه‌های آب و رسوب شامل آهن، کبالت، کروم، کادمیوم، سرب، نیکل، روی، منگنز توسط دستگاه اسپکترومتری پلاسمای نوری القایی زوج (ICP-OES: Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry) (Perkin Elmer, 8000) انجام شد. جهت تعیین فلزات سنگین در نمونه‌های رسوب، ابتدا رسوب در دمای اتاق مقابل نور آفتاب قرار داده شده و سپس در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ ساعت خشک شد. سپس با هاون چینی به‌صورت پودر درآمده و برای جدا نمودن ذرات کوچک‌تر از ۶۳ میکرون، از الک ۶۳ میکرون رد شدند. سپس ۰/۱ گرم نمونه با استاندارد متد ۶۵۴۸ با استفاده از اسیدهای هیدروفلوئوریک اسید (HF) و هیدروکلریک اسید (HCL) هضم شد. پس از هضم شدن، محلول از کاغذ صافی عبور داده شد و درنهایت میزان فلزات سنگین با استفاده از دستگاه ICP-OES و با در نظر گرفتن فلز آهن به‌عنوان فلز پایه اندازه‌گیری شد. برای مشخص شدن اطمینان و کنترل کیفی (QA/QC) صحت داده‌ها از نمونه‌های استاندارد MESS-3، DS7 و DS8 استفاده شد که براین اساس، بازیابی مقادیر اندازه‌گیری شده بین ۱۰۴/۱۵-۹۱/۹۸ درصد بود. اندازه‌گیری آرسنیک در آب و رسوب با استفاده از روش اسپکترومتری جذب

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-11-16]
[DOI: 10.22034/AER.1.1.115]

اتمی و با استفاده از روش هیبرید (Hybrid Generation)(مدل Solaar M5, Shimadzu, England) صورت گرفت. پس از مشخص شدن غلظت فلزات سنگین در آب و رسوب، شاخص‌های آلودگی زیر محاسبه شد:

ضریب آلودگی (Cf: Contamination Factor) و ضریب بار آلودگی (PLI: Pollution Load Index): ضریب آلودگی از تقسیم کردن غلظت عنصر در نمونه برداشت شده به غلظت همان عنصر در نمونه زمینه که عوامل انسان‌زاد روی آن تأثیرگذار نبوده‌اند، به‌دست می‌آید و نشان دهنده میزان آلودگی رسوبات به عناصرسنگین است (۱۵، ۱۶). نمونه زمینه برای فلزات آهن، آرسنیک، کبالت، کروم، مس، نیکل، سرب و روی به ترتیب برابر ۲۲۵۰۰، ۲/۹۶، ۱۱/۶، ۵۳/۰۱، ۱۴/۳۳، ۲۷/۴۳، ۲۰/۸۵ و ۴۱/۶ میلی گرم بر کیلوگرم بود که از نمونه core K5 در عمق ۱/۶ متر رسوب در مطالعه Bagheri و همکاران، به دست آمده بود (۱۷) و برای فلز منگنز برابر ۴۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم در نظر گرفته شد از مطالعه صورت گرفته توسط Kharat Sadeghi و Karbasi حاصل شد (۱۸):

$$Cf = \frac{C_{Sample}}{C_{Background}}$$

در این رابطه Cf: ضریب آلودگی، n: تعداد فلزات، C_{sample}: غلظت عنصر در نمونه، $C_{background}$: غلظت عنصر در نمونه زمینه است.

در جدول ۱ طبقه‌بندی شاخص C_F^I و درجه آلودگی در هر طبقه نشان داده شده است. ضریب بار آلودگی در هر نقطه (PLI_{site}) و ضریب آلودگی در هر رودخانه (PLI_{zone}) با استفاده از فرمول‌های زیر محاسبه شدند:

$$PLI_{site} = \sqrt[n]{Cf_1 \times Cf_2 \times Cf_3 \times \dots \times Cf_n}$$

$$PLI_{zone} = \sqrt[m]{PLI_1 \times PLI_2 \times PLI_3 \times \dots \times PLI_m}$$

در این رابطه n: تعداد فلزات مورد مطالعه، m: تعداد نقاط مورد مطالعه از لحاظ ضریب آلودگی در هر رودخانه، Cf_n: ضریب آلودگی هر فلز، PLI_{site}: ضریب آلودگی در هر نقطه از فلزات مورد بررسی و PLI_{zone}: ضریب آلودگی در هر رودخانه است (۱۶).

جدول ۱: طبقه‌بندی شاخص‌های آلودگی به فلزات سنگین در رسوب رودخانه‌های مورد مطالعه

مقدار E_r^i		رده خطر	مقدار C_f^i		درجه آلودگی
<۴۰	E_r^i	خطر کم	<۱	C_f^i	آلودگی کم
<۸۰	E_r^i	خطر متوسط	<۳	C_f^i	آلودگی متوسط ≥ ۱
<۱۶۰	E_r^i	خطر بالا	<۶	C_f^i	آلودگی زیاد ≥ ۳
<۳۲۰	E_r^i	خطر شدید	≥ ۶	C_f^i	آلودگی خیلی زیاد
≥ ۳۲۰	E_r^i	خطرخیلی شدید			
مقدار R		**رده خطر**	**PLI**		**درجه آلودگی**
<۱۵۰	RI	کم خطر	<۱	PLI	فاقدآلودگی
<۳۰۰	RI	خطر متوسط	<۲	PLI	آلودگی متوسط ≥ ۱
<۶۰۰	RI	خطر شدید	<۳	PLI	آلودگی بالا ≥ ۲
≥ ۶۰۰	RI	خطر خیلی شدید	≥ ۳	PLI	آلودگی فوق‌العاده شدید

پتانسیل خطر زیست محیطی (E_r: Environmental Risk Potential): شاخص پتانسیل خطر محیط زیستی E_r دارای ۵ رده است که از حاصل ضرب سمیت هر فلز T_r در درجه آلودگی هر عنصر C_f به‌دست می‌آید. بر طبق منابع، مقدار سمیت برای فلزات آرسنیک، کبالت، کروم، مس، نیکل، سرب و روی معادل ۱۰، ۲، ۲، ۵، ۶، ۵ و ۱ در نظر گرفته شد. در جدول ۱ مشخصه هر رده از شاخص فوق آورده شده است (۱۹، ۲۰):

$$E_r^i = T_r^i \times C_f^i$$

پتانسیل کل خطر زیست محیطی آلودگی (RI: Total Risk Index): شاخص پتانسیل کل خطر زیست‌محیطی آلودگی (RI) مطابق رابطه زیر به‌دست آمد:

$$RI = \sum_{i=1}^{n} E_r^i$$

که در آن E_r^i ضریب پتانسیل خطر زیست محیطی است.

Hakanson، چهار طبقه برای RI تعریف کرده است (۱۹) که مطابق جدول ۱ است.

شاخص فلزی (MI: Metal index): شاخص فلزی جهت ارزیابی کیفیت رسوب رودخانه براساس نسبت غلظت فلز سنگین در نمونه رسوب به سطح مجاز رویی (UAC: Upper Allowable Concentration) که توسط راهنمای کیفیت رسوب TEPA (Taiwan Environmental Protection Administration) وضع شده است، به‌کار می‌رود (۲۱). بر اساس این شاخص، شش طبقه جهت تعیین سطح آلودگی رسوب به فلز مورد نظر تعریف شده است: ۱- بسیار خالص (MI<0.3)؛ ۲- خالص (0.3<MI<1)؛ ۳- کمی متأثر (1<MI<2)؛ ۴- متأثر در حد متوسط (2<MI<4)؛ ۵- قویاً متأثر (4<MI<6)؛ ۶- به‌طور جدی متأثر (MI>6) (۲۲). این شاخص مطابق رابطه زیر برآورد شد:

$$MI = \sum_{i=1}^{n} \frac{C_{sample}}{UAC_i}$$

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-11-16]

[DOI: 10.22034/AER.1.1.115]

که در آن UAC_i سطح مجاز رویی فلزات سنگین آرسنیک، کروم، مس، سرب، نیکل و روی است که براساس استاندارد TEPA به‌ترتیب برابر است با ۳۳، ۲۳۳، ۱۵۷، ۱۶۱، ۸۰ و ۳۸۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم.

راهنمای کیفیت رسوب: عموماً دستورالعمل‌های کیفیت رسوب (SQGs) با هدف ارزیابی خطرات اکولوژیکی احتمالی فلزات سنگین در رسوب است. در استاندارد NOAA، دو دسته خطر آلودگی به فلزات سنگین در رسوبات به‌عنوان محدوده اثر کم (ERL)، سطحی که کم‌تر از ۱۰ درصد جوامع بیولوژیکی در معرض خطر هستند و محدوده اثر متوسط (ERM)، سطحی که کم‌تر از ۵۰ درصد از جوامع بیولوژیکی در معرض خطر هستند، بیان شده‌اند (۲۳). برای تعیین وضعیت آلودگی رسوبات سطحی منطقه مورد مطالعه، میانگین غلظت سرب، کادمیوم، کروم، کبالت، نیکل، مس، روی، منگنز، آرسنیک در آن‌ها با استانداردهای CSQGs و NOAA مقایسه شد.

نتایج

پارامترهای فیزیکی و شیمیایی در آب رودخانه‌های بابلرود و تجن: نتایج حاصل از بررسی پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب رودخانه‌های بابلرود و تجن در جدول ۲ ارائه شده است. براساس نتایج، pH ایستگاه‌های مورد مطالعه در رودخانه‌های تجن و بابلرود در زمان نمونه‌برداری (اواخر بهار و اوایل تابستان ۱۳۹۹) بین ۷/۷۵ تا ۸/۱۲ متغیر بود و بالاترین سطح در ایستگاه اول (داخل دریا) هر دو رودخانه مشاهده شد. بالاترین و کم‌ترین اکسیژن محلول به‌ترتیب در ایستگاه سوم (یک کیلومتر قبل از مصب) بابلرود (۱۰/۳ میلی‌گرم برلیتر) و ایستگاه چهارم (دو کیلومتر قبل از مصب) تجن مشاهده شد (۸/۸ میلی‌گرم برلیتر) که به‌طور عکس این دو ایستگاه به‌ترتیب کم‌ترین (۵۷-) و بیش‌ترین (۴۴-) میزان پتانسیل اکسیداسیون-احیا را نیز نشان دادند. میزان شوری در ایستگاه‌های دوم تا چهارم (مصب و پایین دست) رودخانه‌های تجن و بابلرود کم‌تر از ۰/۵ میلی‌گرم برلیتر و در ایستگاه‌های اول (داخل دریا) این مقدار به ۷/۸۱ در رودخانه بابلرود و ۷/۴۲ در رودخانه تجن رسید. رنج تغییرات ضریب هدایت الکتریکی بین ۱/۰۹۷ تا ۸/۰۹ متغیر بود که بالاترین آن در ایستگاه اول (داخل دریا) رودخانه بابلرود و کم‌ترین آن در ایستگاه چهارم (پایین‌دست) رودخانه تجن مشاهده شد.

جدول ۲: پارامترهای فیزیکوشیمیایی اندازه‌گیری‌شده در آب رودخانه‌های بابلرود و تجن (اواخر بهار و اوایل تابستان ۱۳۹۹)

	شماره ایستگاه	درجه حرارت (درجه سانتی‌گراد)	اکسیژن محلول (میلی‌گرم برلیتر)	شوری (میلی‌گرم بر لیتر)	pH	ضریب هدایت الکتریکی (میکروموس برثانیه)	پتانسیل اکسیداسیون-احیا
بابلرود	اول	۲۶/۳	۱۰/۱	۷/۸۱	۸/۰۲	۸/۰۹	-۵۰
	دوم	۲۶/۵	۹/۸	۰/۴۱	۷/۹۳	۷/۷۶	-۵۷
	سوم	۲۶/۸	۱۰/۳	۰/۱	۷/۹۳	۱/۸۳	-۵۷
	چهارم	۲۶/۶	۹	۰/۰۷	۷/۸۴	۱/۲۴	-۵۰
تجن	اول	۲۶/۴	۹/۸	۷/۴۲	۸/۱۲	۶/۷۲	-۴۷
	دوم	۲۶/۵	۹/۳	۰/۱۳	۷/۸۴	۲/۴	-۴۹
	سوم	۲۴/۷	۹	۰/۰۷	۷/۷۵	۱/۴	-۴۶
	چهارم	۲۴/۱	۸/۸	۰/۰۶	۷/۹	۱/۰۹۷	-۴۴

غلظت فلزات سنگین در آب: نتایج حاصل از اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین در آب رودخانه‌های تجن و بابلرود در جدول ۳ ارائه شده است. براساس نتایج، غلظت فلزات آرسنیک، کبالت، کروم، مس، نیکل، سرب، و روی در آب تمام ایستگاه‌های نمونه برداری رودخانه‌های بابلرود و تجن کم‌تر از محدوده قابل شناسایی (۰/۰۵> میکروگرم بر لیتر) بود. میانگین غلظت فلز منگنز در مصب و ایستگاه‌های رودخانه‌ای بابلرود و تجن به‌ترتیب ۰/۱۱ و ۰/۰۹ میکروگرم بر لیتر در ایستگاه‌های دوم تا چهارم بود. میانگین غلظت فلز آهن در مصب و ایستگاه‌های رودخانه‌ای بابلرود و تجن به‌ترتیب برابر با ۰/۰۷ و ۰/۰۴ میکروگرم بر لیتر بود.

غلظت فلزات سنگین در رسوب: نتایج حاصل از اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین در رسوب رودخانه‌های تجن و بابلرود در جدول ۴ آورده شده است. داده‌های حاصله نشان داد که روند تغییر میانگین غلظت فلزات (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در نمونه‌های رسوب چهار ایستگاه رودخانه بابلرود به‌صورت: آهن (۵۳۴۳۳)> منگنز (۵۹۲/۳۵)> کروم (۱۱۲/۸)>روی (۱۱۶/۹۶)> نیکل (۵۵/۲۸)> مس (۳۲/۸۹)> سرب (۲۱/۷۲)> کبالت (۱۹/۲۹)>آرسنیک (۶/۴۷) بود. روند تغییر میانگین غلظت فلزات (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در نمونه‌های رسوب چهار ایستگاه رودخانه تجن به‌صورت آهن (۳۱۴۶۳)>منگنز (۴۵۷)>کروم (۶۴/۰۱)> روی (۶۴/۰۶)> نیکل (۳۲/۵۹)> مس (۱۴/۸۵)> سرب (۱۵/۵۸)>

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-11-16]

[DOI: 10.22034/AER.1.1.115]

کبالت(۱۰/۵۳)>آرسنیک (۶/۰۷) بود. غلظت فلز کادمیوم در تمامی ایستگاه‌های اندازه‌گیری از هردو رودخانه مورد مطالعه کم‌تر از سطح قابل‌اندازه‌گیری (<۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود. در مجموع، غلظت تمام فلزات سنگین اندازه‌گیری شده در رودخانه بابلرود در مقایسه با رودخانه تجن به‌طور قابل توجهی بالاتر بود.

جدول ۳: مقادیر کمینه، بیشینه و میانگین غلظت فلزات سنگین در آب رودخانه‌های تجن و بابلرود (میکروگرم بر لیتر)

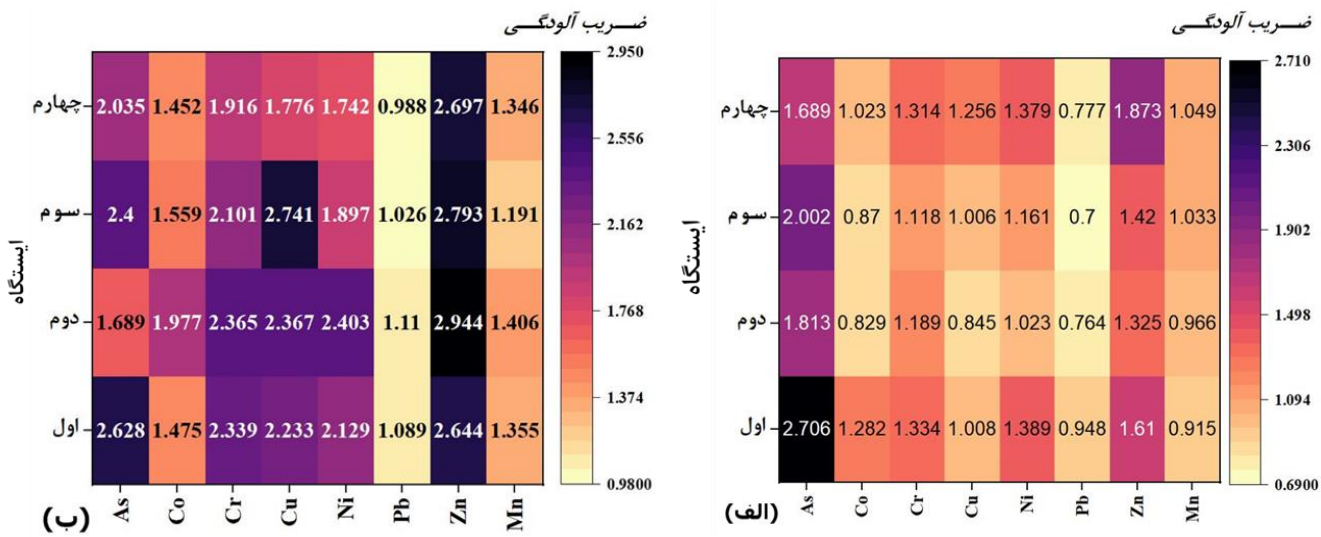
رودخانه	شماره ایستگاه	آهن	آرسنیک	کادمیوم	کبالت	کروم	مس	نیکل	سرب	روی	منگنز
بابلرود	اول	۰/۱۱	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	۰/۰۸
	دوم	۰/۱۴	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	۰/۰۸
	سوم	۰/۰۲	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	۰/۱۴
	چهارم	۰/۰۳	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	۰/۱۲
تجن	اول	۰/۰۳	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	۰/۱۰
	دوم	۰/۰۳	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	۰/۱۲
	سوم	۰/۰۷	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	۰/۰۹
	چهارم	۰/۰۳	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	۰/۰۸
کمینه در کل ایستگاه‌ها		۰/۰۲	–	–	–	–	–	–	–	–	۰/۰۸
بیشینه در کل ایستگاه‌ها		۰/۱۴	–	–	–	–	–	–	–	–	۰/۱۴
میانگین در کل ایستگاه‌ها		۰/۰۵	–	–	–	–	–	–	–	–	۰/۱۰
میانگین در رودخانه و مصب بابلرود		۰/۰۷	–	–	–	–	–	–	–	–	۰/۱۱
میانگین در رودخانه و مصب تجن		۰/۰۴	–	–	–	–	–	–	–	–	۰/۰۹

جدول ۴: غلظت فلزات سنگین در رسوب رودخانه‌های مورد مطالعه

رودخانه	شماره ایستگاه	آهن	آرسنیک	کبالت	کروم	مس	نیکل	سرب	روی	منگنز
بابلرود	اول	۵۸۴۰۰	۷/۷۸	۱۷/۱۲	۱۲۴/۰۴	۳۲/۰۱	۵۸/۴۱	۲۲/۷۲	۱۱۰/۰۳	۶۱۰
	دوم	۶۰۰۹۴	۵	۲۲/۹۴	۱۲۵/۴	۳۳/۹۲	۶۵/۹۳	۲۳/۱۵	۱۲۲/۵	۶۳۳
	سوم	۴۹۱۸۸	۷/۱۰۵	۱۸/۰۹	۱۱۱/۴	۳۹/۳۱	۵۲/۱۱	۲۱/۴	۱۱۶/۲	۵۳۶
	چهارم	۴۶۰۵۱	۶/۰۲۶	۱۶/۸۵	۱۰۱/۶	۲۵/۴۶	۴۷/۸۱	۲۰/۶۲	۱۱۲/۲	۶۰۶
تجن	اول	۳۰۰۳۲	۸/۰۱	۱۴/۸۷	۷۰/۷۵	۱۴/۴۵	۳۸/۱۱	۱۹/۷۸	۶۶/۹۸	۴۱۲
	دوم	۳۰۲۱۲	۵/۳۶	۹/۶۲	۶۳/۰۷	۱۲/۱۲	۲۷/۰۸	۱۵/۹۳	۵۵/۱۲	۴۳۵
	سوم	۳۰۴۱۷	۵/۹۲	۱۰/۱۰	۵۹/۳	۱۴/۴۳	۳۱/۸۵	۱۴/۶۱	۵۹/۱۱	۴۶۵
	چهارم	۳۵۱۹۲	۵/۰۰	۱۱/۸۷	۶۹/۶۷	۱۸	۳۷/۸۵	۱۶/۲۱	۷۷/۹۵	۴۷۲
کمینه در کل ایستگاه‌ها		۳۰۰۳۲	۵	۹/۶۲	۵۹/۳	۱۲/۱۲	۲۷/۰۸	۱۴/۶۱	۵۵/۱۲	۴۱۲
بیشینه در کل ایستگاه‌ها		۶۰۰۹۴	۸/۰۱	۲۲/۹۴	۱۲۵	۳۹/۳۱	۶۵/۹۳	۲۳/۱۵	۱۲۲/۵	۶۳۳
میانگین در کل ایستگاه‌ها		۴۲۴۵۰	۶/۲۲	۱۵/۷۹	۹۰/۵۷	۲۳/۷۱	۴۴/۸۹	۱۹/۳۰	۹۰/۰۱	۵۲۱/۱۲

ضریب آلودگی و ضریب بار آلودگی: نتایج حاصل از ضریب آلودگی (Cf) فلزات‌سنگین رسوب در رودخانه‌های تجن و بابلرود در شکل ۲ نشان داده شده است. براین اساس، مقادیر ضریب آلودگی در رودخانه تجن بین ۰/۷۰۰ تا ۲/۷۰۶ و در رودخانه بابلرود بین ۰/۹۸۸تا ۲/۹۴۴ متغیر بود. بیش‌ترین ضریب آلودگی در رودخانه تجن مربوط به فلز آرسنیک (۲/۷۰۶) رسوب ایستگاه اول (داخل دریا) و در رودخانه بابلرود مربوط به فلز روی (۲/۹۴۴) در ایستگاه دوم (مصب) بود که حاکی از آلودگی متوسط در این نقاط است. در مجموع، ضریب آلودگی فلزات آرسنیک و روی در رودخانه تجن و فلزات آرسنیک، کبالت، کروم، مس، نیکل و روی در رسوب رودخانه بابلرود در تمامی ایستگاه‌های اندازه‌گیری بالاتر از ۱/۴ بود که نشان دهنده آلودگی متوسط به این فلزات است.

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-11-16]
[DOI: 10.22034/AER.1.1.115]



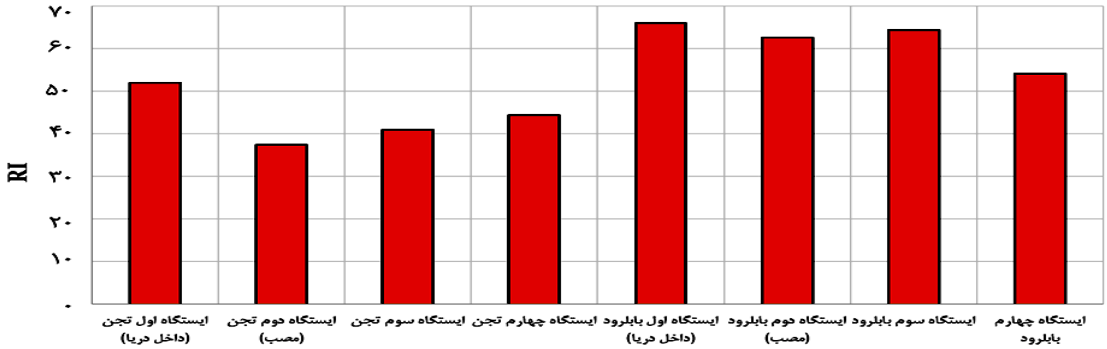
شکل ۲: ضریب آلودگی (C_f) به فلزات سنگین در رودخانه تجن (الف) و بابلرود (ب)

ضریب بار آلودگی (PLI) و شاخص فلزی (MI): نتایج حاصل از ضریب بار آلودگی و شاخص فلزی (MI) در رودخانه‌های تجن و بابلرود به تفکیک ایستگاه و کل در جدول ۵ نشان داده شده است. براساس نتایج جدول، بیش‌ترین (۱/۹۴۷) و کم‌ترین (۱/۰۵۳) ضریب بار آلودگی به ترتیب در ایستگاه دوم (مصب) رودخانه‌های بابلرود و تجن ثبت شد. با توجه به ضریب PLI به‌دست آمده در دو رودخانه، تمام ایستگاه‌های نمونه برداری و کل رودخانه در وضعیت آلودگی متوسط قرار داشتند. مقادیر شاخص فلزی (MI) به‌دست آمده برای ایستگاه‌های واقع در رودخانه تجن (۱/۴۱-۱/۱۰) حاکی از متاثر بودن رسوب از آلاینده‌های فلزی در حد کم و برای رودخانه بابلرود (۲/۱۹-۱/۸) نشان از تأثیرپذیری رسوب از آلاینده‌های فلزی در حد متوسط بود. هم‌چنین بالاترین مقادیر شاخص فلزی در رودخانه تجن در ایستگاه اول (داخل دریا) برابر ۱/۴۱ و در رودخانه بابلرود در ایستگاه دوم (مصب) ۲/۱۹ مشاهده شد.

پتانسیل کل خطر زیست محیطی آلودگی (RI): نتایج پتانسیل کل خطر زیست محیطی آلودگی (RI) در رودخانه‌های تجن و بابلرود در شکل ۳ نشان داده شده است. براین اساس، بالاترین ضریب RI در ایستگاه اول (داخل دریا) رودخانه تجن (۵۲/۰۲۶) و رودخانه بابلرود (۶۵/۹۵۴) مشاهده شد. این امر با توجه به انباشت تدریجی فلزات سنگین در رسوب ساحلی دریا و نزدیک مصب در گذر زمان قابل توجیه است.

جدول ۵: ضریب بار آلودگی (PLI) در ایستگاه‌های رودخانه تجن و بابلرود

رودخانه	ایستگاه	MI	PLI_{site}	PLI_{river}
تجن	اول	۱/۴۱	۱/۳۱۷	۱/۱۷۹
	دوم	۱/۱۰	۱/۰۵۳	
	سوم	۱/۱۷	۱/۱۱۲	
	چهارم	۱/۳۴	۱/۲۵۱	
بابلرود	اول	۲/۱۳	۱/۸۹۸	۱/۸۴۱
	دوم	۲/۱۹	۱/۹۴۷	
	سوم	۲/۰۳	۱/۸۵۴	
	چهارم	۱/۸	۱/۶۷۸	

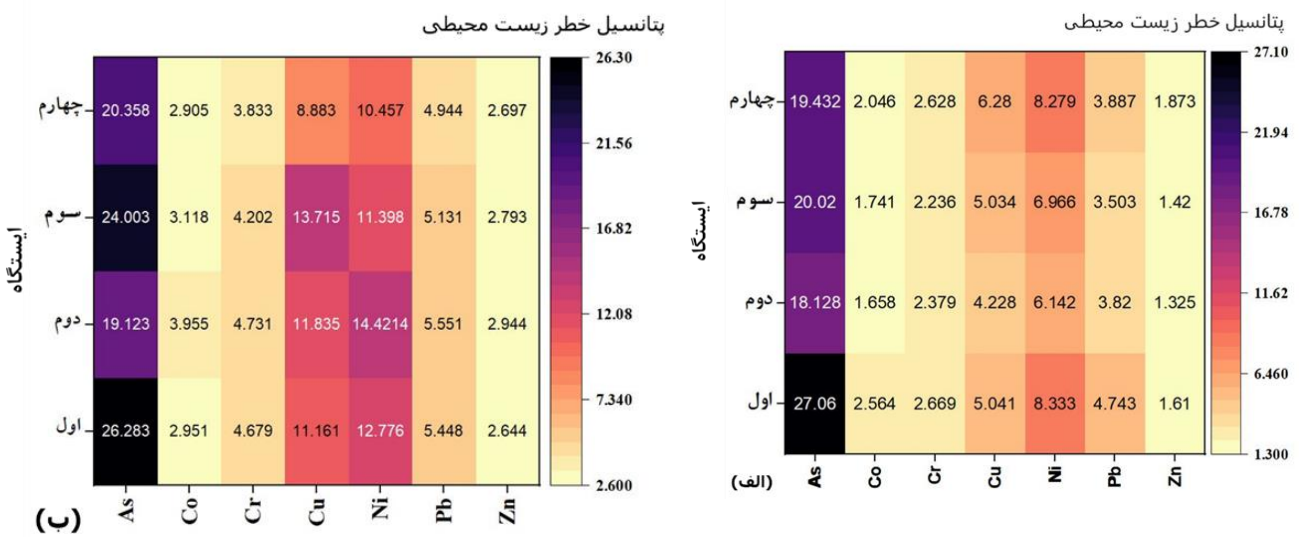


شکل ۳: نمودار پتانسیل کل خطر زیست محیطی آلودگی (RI) در رودخانه‌های تجن و بابلرود

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-11-16]

[DOI: 10.22034/AER.1.1.115]

پتانسیل خطر زیست محیطی (E_r): نتایج حاصل از بررسی ضریب پتانسیل خطر زیست‌محیطی (E_r) فلزات سنگین در رودخانه‌های تجن و بابلرود در شکل ۴ نشان داده شده است. بیش‌ترین ضریب پتانسیل خطر زیست‌محیطی در رودخانه‌های تجن (۲۷/۰۶) و بابلرود (۲۶/۲۸۳) برای فلز آرسنیک مشاهده شد. هم‌چنین فلزات مس و نیکل در بابلرود ضریب پتانسیل خطر زیست‌محیطی بالاتری در مقایسه با رودخانه تجن داشتند.



شکل ۴: پتانسیل خطر زیست محیطی (E_r) فلزات سنگین در رودخانه تجن (الف) و بابلرود (ب)

بحث

در مطالعه حاضر غلظت کل فلزات آرسنیک، کبالت، کروم، کادمیوم، نیکل، سرب، مس و روی از آب و رسوبات سطحی دریا، مصب و ایستگاه‌هایی فاصله یک و دو کیلومتری قبل از مصب رودخانه‌های تجن و بابلرود سنجش شد و به‌منظور تعیین میزان آلودگی رسوبات به این عناصر فلزی از شاخص ضریب آلودگی (C_f)، ضریب بار آلودگی (PLI) و جهت ارزیابی میزان خطرات فلزات بر روی موجودات زنده از شاخص پتانسیل خطر زیست‌محیطی (E_r)، پتانسیل کل خطر زیست محیطی آلودگی (RI) و استاندارد NOAA استفاده شد. در مطالعه حاضر، غلظت عناصر اندازه‌گیری شده در آب رودخانه‌های بابلرود و تجن در مقایسه با استاندارد جهانی WHO و BIS برای آب آشامیدنی و سطح مجاز برای آب‌های داخلی EPR بر حسب میکروگرم بر لیتر پایین‌تر بود (جدول ۶). در مقایسه با سایر رودخانه‌ها مانند رودخانه بهشت آباد به‌عنوان یکی از آب‌های سطحی داخل کشور در مطالعه Najafi و همکاران (۲۴)، تمام فلزات سنگین اندازه‌گیری شده در رودخانه‌های تجن و بابلرود به‌طور قابل توجهی سطح پایین‌تری داشتند. هم‌چنین غیر از فلزات آهن و منگنز که در رودخانه اسوارنامو‌خی در کشور هند نسبت به رودخانه‌های تجن و بابلرود بالاتر بودند، غلظت سایر فلزات تقریباً در یک رنج برابر قرار داشت. فلزات سنگین مورد مطالعه در این تحقیق در مقایسه با رودخانه‌های بوگوچای در ترکیه و نیار در هند غلظت بسیار کم‌تری نشان دادند. غلظت فلزات سرب، روی و منگنز اندازه‌گیری شده در رودخانه بیاس کشور هند نیز بالاتر از سطح سنجش شده در مطالعه حاضر بود اما درخصوص فلزات دیگر مانند کادمیوم، کبالت، کروم و مس به‌دلیل کم‌تر بودن آن‌ها نسبت به‌دقت اندازه‌گیری (<۰/۰۵ میکروگرم بر لیتر) در رودخانه‌های تجن و بابلرود نمی‌توان نظر دقیقی ارائه کرد (جدول ۶). تاکنون مطالعات مختلفی در زمینه سنجش فلزات سنگین در رسوب رودخانه‌های تجن و بابلرود صورت گرفته است و محققین مختلف نتایج متفاوتی از سطح فلزات سنگین گزارش کرده‌اند. در جدول ۷، مقایسه میان غلظت فلزات سنگین در رسوب رودخانه‌های تجن و بابلرود با سایر مطالعات پیشین در داخل و خارج از کشور و استانداردهای کیفیت رسوب نشان داده شده است. براین اساس، غلظت فلزات سنگین روی و مس در مطالعه حاضر در مصب تجن در مقایسه با مقادیر گزارش شده توسط Talesh Pour و همکاران (۳۲) در مصب تجن بالاتر بود ولی فلز سرب در محدوده تقریباً برابر قرار داشت. طبق مطالعه Abadi و همکاران (۳۳) سطح و روند تغییرات فلزات سنگین در مصب رودخانه تجن به صورت روی (۲۴۹۴/۶۶)>منگنز (۷۴۹/۹۹)>نیکل (۳۳/۶۴)> سرب (۲۲/۴۲)> کبالت (۱۷/۵۸)>مس (۱۴/۶۶)>کادمیوم (۷/۲۴)>آهن

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-11-16]
[DOI: 10.22034/AER.1.1.115]

(۲/۰۱) گزارش شد. Talesh Pour و همکاران (۳۲) میانگین روی و مس در مصب تجن و یک کیلومتر قبل از مصب را پایین‌تر از مطالعه حاضر به‌دست آوردند (به‌ترتیب ۲۶/۰۷ و ۶/۳۴ میکروگرم بر گرم در مصب تجن؛ ۲۷/۴۳ و ۱۲/۱۸ میکروگرم بر گرم در یک کیلومتر قبل از مصب) درحالی‌که مقدار سرب بالاتر از میانگین به‌دست آمده در تحقیق حاضر بود(۲۳/۸۴ میکروگرم بر گرم وزن خشک در مصب تجن و ۳۰/۲۵ میکروگرم بر گرم در یک کیلومتر قبل از مصب تجن)(جدول ۷).

جدول۶: مقایسه غلظت فلزات سنگین آب رودخانه‌های تجن و بابلرود با استاندارد آب آشامیدنی و سایر رودخانه‌ها (میکروگرم بر لیتر)

مکان	آهن	آرسنیک	کادمیوم	کبالت	کروم	مس	نیکل	سرب	روی	منگنز	منبع
رودخانه تجن	۰/۰۴	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	۰/۰۹	مطالعه حاضر
رودخانه بابلرود	۰/۰۷	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	۰/۱۱	مطالعه حاضر
رودخانه بهشت آباد	–	۰/۶	۰/۰۸	–	۲/۰۳	۲/۲۴	–	۱/۲۹	۱۷/۰۸		۲۴
رودخانه اسوارناموخی (Swarnamukhi)	۰/۱۷	-	ND	۰/۰۶	ND	۰/۰۳	۰/۰۲	ND	ND	۰/۲۶	۲۵
رودخانه بوگاچای (Bogacayi)	–	۰/۴۳	۰/۲۳	ND	۳/۲	۰/۹۲	۳/۴۷	۰/۴۸	–	۰/۶۲	۲۶
رودخانه نیار (Neyyar)، نزدیک مصب	۶۸۵	–	۳۵	–	۱۴۸	۱۲۰	۱۰۴	۷۷	۱۶۲	۱۰۰	۲۷
رودخانه بیاس(Beas)	–	–	۰/۰۰۵	۰/۰۱۲	۰/۰۳۱	۰/۰۰۴	–	۰/۰۸۱	۰/۲۲	۰/۳۷	۲۸
رودخانه هوجینگ (Hojing)		۱/۰۱	ND		۱۲	۷۲	۴۱	۱۱	۲۱/۱	–	۸
آب آشامیدنی	۳۰۰		۰/۰۰۳		۰/۰۵	۲	۰/۰۷	۰/۰۱	۳	۰/۴	۲۹
آب آشامیدنی	۳۰۰		۰/۰۰۳		۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۱	۵	۰/۱	۳۰
آب‌های سطحی داخلی			۲		۲	۳	۳	۰/۱	۵	۲	۳۱

ND =Not Detected in the sample

هم‌چنین مقدار سرب، روی و مس در مطالعه Talesh Pour و همکاران (۳۲) در مصب رودخانه بابلرود در مقایسه با مطالعه حاضر پایین‌تر بود (به‌ترتیب ۱۰/۲۲، ۳۶/۶۳، ۱۵/۸۲ میکرگرم برکیلوگرم وزن خشک) درحالی‌که در ایستگاه یک کیلومتر قبل از مصب میانگین فلزات سنگین مس و روی (۲۷/۵۹ و۸۱/۲۰ میکروگرم بر گرم وزن خشک) کم‌تر از این مطالعه ولی غلظت سرب (۲۳/۷۷ میکروگرم بر گرم وزن خشک) را بالاتر از تحقیق حاضر به‌دست آوردند (جدول۷) درحالی که سطوح فلزات کادمیوم و سرب را بالاتر گزارش کردند. مقادیر سنجش‌شده برای تمامی‌فلزات‌سنگین، به‌جزسرب، در رسوب رودخانه‌بابلرود‌بالاتر‌از‌سطوح‌گزارش‌شده توسط Bagheri و Darvish Bastami (۳۴) است. در مقایسه با سایر رودخانه‌های داخل کشور، مقادیر به‌دست آمده از فلزات آهن و آرسنیک در مطالعه Malvandi (۳۵) بیش‌تر از سطوح اندازه‌گیری شده در رسوب رودخانه‌های تجن و بابلرود در مطالعه حاضر بود، درحالی‌که سایر فلزات کبالت، کروم، نیکل، روی و منگنز مقادیر بیش‌تری نسبت به مطالعه‌ایشان داشتند. مقادیر اندازه‌گیری‌شده برای‌تمامی‌فلزات، غیر از آرسنیک، در رسوب رودخانه‌تجن در مطالعه‌حاضر نسبت به تحقیق Bagheri و Darvish Bastami (۳۴) بالاتر بود. به‌طورکلی، مقایسه سطوح غلظت فلزات سنگین‌در این تحقیق با مقادیر اندازه‌گیری شده در مطالعات پیشین در رودخانه‌تجن (۳۳، ۳۴، ۳۶، ۳۷، ۳۸) نشان‌دهنده‌تفاوت‌های قابل توجهی در مقادیر فلزات موجود در رسوب بود که این امر را می‌توان به عوامل مختلفی هم‌چون فصل نمونه‌برداری، عمق نمونه‌برداری، حضور یا عدم حضور منابع آلاینده در اطراف محل‌های نمونه‌برداری از‌رودخانه، شرایط فیزیکوشیمیایی آب و رسوب، به‌ویژه‌درفیلم نازکی از سطح‌رسوب‌که می‌تواند بر شدت انحلال‌پذیری و یا ته‌نشین شدن فلزات‌در رسوب اثرگذار‌باشد، نسبت‌داد. هم‌چنین‌زمین‌شناسی‌منطقه نیز می‌تواند بر غلظت عناصر اندازه‌گیری شده اثرگذار باشد؛ چراکه بخش‌های‌شرقی‌دریای‌خزر‌شامل‌مجموعه‌دگرگونی‌گرگان‌وشیست‌های گرگان است‌که به‌دلیل ماهیت آذرین‌بازیک‌در بخش مهمی از سنگ منشاء این مجموعه دگرگونی، عناصر سنگین به‌مقدار زیاد وجود دارند. سنگ‌های الترامافیک در بخش‌های‌مرکزی و غربی دریای خزر نیز حاوی مقادیر زیادی از عناصر آهن، کروم، نیکل، کبالت و منگنز هستند‌که‌تحت‌تأثیر‌شرایط آب‌و هوایی‌گرم‌و مرطوب‌منطقه‌فرسایش یافته و موجب‌آزادسازی عناصر می‌شوند (۳۹). مقایسه غلظت عناصر آرسنیک، مس، سرب و روی‌در‌نمونه‌های‌رسوب سطحی‌رودخانه‌های تجن و بابلرود با استانداردهای کیفیت رسوب نشان داد که مقادیر اندازه‌گیری شده کم‌تر از استانداردهای کیفیت رسوب ERL و ERM می‌باشند. غلظت کروم در رودخانه بابلرود و غلظت نیکل در رودخانه تجن از استاندارد ERL بالاتر ولی از استاندارد ERM کم‌تر بود. عنصر نیکل در رودخانه بابلرود از هر دو استاندارد کیفیت رسوب ERL و ERM بالاتر بود (جدول۶). مقادیر فلزات‌آهن، آرسنیک، کروم و روی در رودخانه بابلرود از مطالعه حاضر بالاتر از میانگین پوسته زمین

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-11-16]

[DOI: 10.22034/AER.1.1.115]

بود، درحالی‌که فلزات کبالت، نیکل، و منگنز پایین‌تر از میانگین پوسته زمین اندازه‌گیری شدند. تمامی فلزات سنگین اندازه‌گیری شده در رودخانه تجن، به‌جز آرسنیک، از مقدار گزارش شده برای میانگین پوسته زمین کم‌تر بودند.

جدول ۶: مقایسه فلزات سنگین در رسوب مطالعه حاضر با سایر مطالعات پیشین و استانداردهای کیفیت رسوب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

رودخانه	آهن	آرسنیک	کادمیوم	کبالت	کروم	مس	نیکل	سرب	روی	منگنز	زمان سنجش	منبع
تجن (به‌جز داخل دریا)	۳۱۹۴۰	۵/۴۲	ND	۱۰/۵۳	۶۴/۰۱	۱۴/۸۵	۳۲/۲۶	۱۵/۵۸	۶۴/۰۶	۴۵۷/۳۳	۱۳۹۹	مطالعه حاضر
بابلرود (به‌جز داخل دریا)	۵۱۷۷۷	۶/۰۴	ND	۱۹/۲۹	۱۱۲/۸	۳۲/۸۹	۵۵/۲۸	۲۱/۷۲	۱۱۶/۹	۵۹۱/۶	۱۳۹۹	مطالعه حاضر
حوزه آبخیز تجن	۴۶۲۰۰	۱۳/۱	۰/۱	۲۵	۱۳۳/۹	-	۹۳/۱	-	۷۱/۶		-	۳۶
تجن	۵۰۰۵/۲۶	۱۲/۷۶	-	۴/۲۳	۱۹/۹۷	-	۸/۲۱	-	۱۹/۷۴	۲۱۵/۳۹	۲۰۱۴	۳۸
تجن	۲۰۱۰۰	-	۷/۲۵	۱۷/۵۸	-	۱۴/۶۶	۳۳/۵۸	۲۲/۴۱	۲۴۹۴/۶۶	۷۵۰	۱۳۹۴	۳۳
تجن	-	۰/۵	۰/۰۴	-	۶	-	-	۱۵/۳	-	-	۱۳۹۸	۳۷
مصب تجن	-	-	۰/۹۵	-	-	۶/۳۴	-	۲۳/۸۴	۲۶/۰۷	-	-	۳۲
تجن	۳۳۳۰۰	۳/۸	-	۲۳/۶۳	۷۶/۴۰	۳۳/۷۰	۴۸/۶۷	۲۸/۶۷	۷۹	-	-	۳۴
مصب بابلرود	-	-	۰/۵۸	-	-	۱۵/۸۲	-	۲۲/۱۰	۳۶/۶۳	-	-	۳۲
بابلرود	۲۶۷۰۰	۲/۲۳	-	۱۲/۲۰	۳۴/۴۰	۲۶/۲۷	۲۱/۷۳	۲۸/۴۰	۶۱/۷۳	-	-	۳۴
رودخانه دوهزار	-	-	-	-	۶۴	۱۸	-	۲۵/۱	۶۸	-	-	۴۰
رودخانه قره آقاج	-	۴۱/۸۳	-	-	-	۱۸/۸۶	۳۸/۰۸	۴/۹۷	۲۴/۴۶	-	-	۴۱
رودخانه محمدآباد	۱۶۱۲۰/۳۶	۲۶	-	۹/۲۳	۳۹/۵۵	-	۱۳/۰۱	-	۳۴/۳۱	۳۰۰/۵۹		۳۵
رودخانه وی (Yi)	-	-	-	-	۲۸/۲۹	۲/۱۸	۳/۹۹	۰/۷۱	۰/۷۶		۲۰۱۷	۴۲
رودخانه ایندوس (Indus)	۲۸۵۰۰	-	۱/۴۱	۶۶/۸	۹۰/۶	۷۱/۷	۱۲۸	۴۷/۳	۲۷/۵			۴۳
رودخانه هوآیهی (Huaihe)		۱۵	۰/۳۲		۱۶۱	۴۰/۴		۱۵/۵	۷۴/۹	۹۳۶		۴۴
رودخانه زیانجیانگ (Xiangjiang)		۹۸/۳۸	۲۳/۳۱		۵۹/۷۱	۷۱/۲۹		۱۰۲/۵۲	۲۵۷/۱۷			۴۵
رودخانه اسوارناموخی (Swarnamukhi)/هند	۲۵/۲۹۸		۰/۲	۱۴/۲۱	۲۵/۸۵	۱۰۰/۹	۲/۴۳	۲۱/۳۹	۶۳/۴	۵۶۲/۴		۲۵
رودخانه هوجینگ (Hojing) /تایوان	-	ND	۲۰/۱	-	۴۶/۱	۱۵۰/۰۲	۶۰/۸	۶۹/۲	۱۴۹/۸	-		۸
میانگین پوسته زمین	۴۱۰۰۰	۱/۸		۲۰	۱۰۰		۸۰		۷۵	۹۵۰		
استاندارد NOAA (ERL)		۷۰		-	۸۱	۳۴	۲۰/۹	۴۶/۷	۱۵۰	-		۲۳
استاندارد NOAA (ERM)		۸/۲		-	۳۷۰	۲۷۰	۵۱/۶	۲۱۸	۴۱۰	-		۲۳

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که میزان شاخص ضریب آلودگی (C_f) عناصر فلزی در رسوبات رودخانه‌های تجن و بابلرود بین ۰/۷ تا ۲/۹۴۴ متغیر بوده و تمامی فلزات در رودخانه‌های تجن و بابلرود آلودگی متوسط را نشان دادند، اگرچه در مجموع سطح آلودگی در رودخانه بابلرود با در نظرگرفتن مقادیر این شاخص بالاتر از رودخانه تجن‌بود. در این میان، فلزات آرسنیک و روی بالاترین مقادیر ضریب آلودگی را به خود اختصاص دادند. به‌طور قابل توجه، در مطالعه Alahabadi و Malvandi، ضریب آلودگی به آرسنیک، کروم، منگنز، آهن، نیکل و روی سطح پایینی از آلودگی و برای سلنیوم درجه بسیار بالایی از آلودگی را نشان داد (۳۸) که از این نظر با مطالعه حاضر مطابقت ندارد. Abadi و همکاران، بالاترین و کم‌ترین ضریب آلودگی‌را به‌ترتیب برای‌عنصر کادمیوم و مس (به‌ترتیب ۲۴/۱ و ۰/۳۲) در رودخانه تجن گزارش کردند (۳۳) که از نظر با مطالعه حاضر هم‌خوانی‌ندارد. تغییرات ضریب آلودگی در مطالعه Bagheri و Darvish Bastami، برای فلزات کبالت، کروم، مس، نیکل، سرب و روی در رودخانه تجن بین مقادیر ۱ تا ۳ بوده که نشان‌دهنده سطح آلودگی متوسط به این فلزات و برای عنصر آرسنیک بالاتر از ۳ به‌دست آوردند که حاکی از آلودگی سنگین به عنصر مذکور است (۳۴) و با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد. در مطالعه Khalili و همکاران، فلزات سرب، آرسنیک و به‌ویژه کروم و کادمیوم در رسوب رودخانه هراز در فصول تابستان و زمستان آلودگی متوسط داشتند (۳۷). تغییرات ضریب بار آلودگی (PLI) در رودخانه‌های مورد مطالعه از

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-11-16]
[DOI: 10.22034/AER.1.1.115]

تحقیق حاضر بین ۱/۰۵۳ تا ۱/۹۴۷ بود که نشان‌دهنده سطح آلودگی متوسط در این رودخانه‌هاست. براساس نتایج Talesh Pour و همکاران، ضریب بار آلودگی فلزات کادمیوم، سرب، روی و مس در مصب و یک کیلومتر قبل از مصب رودخانه‌های تجن و بابلرود در محدوده ۰/۳۶ تا ۰/۵۵ برآورد شد که نشان‌دهنده آلودگی کم در این مناطق است (۳۲) که با مطالعه حاضر مبنی بر آلودگی متوسط در مصب و ایستگاه‌های قبل از مصب هم‌خوانی ندارد. این امر با توجه به زمان نمونه‌برداری در مطالعه ایشان و افزایش بار آلودگی در اطراف رودخانه‌ها و بالارفتن سطح رواناب‌های ناشی از فاضلاب شهری، روستایی، و صنعتی به مناطق مذکور و به‌ویژه رودخانه بابلرود در گذر زمان قابل توجیه است. تغییرات ضریب بار آلودگی در مطالعه Bagheri و Darvish Bastami، در ناحیه مصب و عمق ۱۰ متری مقابل مصب رودخانه‌های تجن و بابلرود (به ترتیب ۱/۷۹ و ۱/۸۷ در تجن، ۱/۱۳ و ۱/۰۶ در بابلرود) (۳۴) با نتایج حاصل از ضریب بارآلودگی در مطالعه حاضر مبنی بر آلودگی متوسط در هر دو رودخانه مطابقت دارد. برخی از ایستگاه‌های واقع در منطقه پایین‌دست رودخانه هراز استان مازندران، به‌ویژه در فصل زمستان آلودگی متوسط داشتند (۳۷). در مطالعه حاضر، هرچند نتایج پتانسیل خطر زیست‌محیطی (E_r) حاکی از خطر کم زیست‌محیطی آرسنیک در رودخانه تجن و بابلرود بود، اما سطوح بالای این عنصر در مقایسه با سایر فلزات سنگین باتوجه به اثر بسیار مخرب و شدید آن بسیار شایان توجه است. این امر می‌تواند به‌دلیل مصرف بیش از حد سموم شیمیایی حاوی آرسنیک در مزارع کشاورزی برنج اطراف این رودخانه‌ها باشد (۴۶). هم‌چنین سطح قابل توجهی از پتانسیل خطر زیست محیطی (E_r) از عناصر نیکل و مس در رودخانه بابلرود مشاهده شد که می‌تواند ناشی از تردد قایق‌های تفریحی و حجم بالای شهرنشینی در اطراف پایین‌دست این رودخانه باشد. در مطالعه Alahabadi و Malvandi، سطح پایینی از شاخص‌های پتانسیل خطر زیست‌محیطی (E_r) و پتانسیل کل خطر زیست‌محیطی (RI) و ضریب بار آلودگی (PLI) در رودخانه تجن به‌دست آمد (۳۸). بالاترین مقدار شاخص پتانسیل خطر زیست‌محیطی در رودخانه تجن در مطالعه Abadi و همکاران، درخصوص عنصر کادمیوم (۷۱۴) ثبت شد (۳۳) که با نتایج تحقیق حاضر هم‌خوانی ندارد. شاخص RI در مطالعه حاضر در ایستگاه‌های مورد مطالعه از رودخانه تجن در محدوده ۳۰ تا ۶۰ قرار داشت، درحالی‌که در مطالعه Abadi و همکاران، میانگین این شاخص در ایستگاه‌های ساحلی و مصب رودخانه تجن برای فلزات مس، کبالت، سرب، کادمیوم، نیکل، روی و منگنز ۷۶۴ به‌دست آمد که ناشی از غلظت بالای کادمیوم در این ایستگاه‌ها بود. در مطالعه Bagheri و Darvish Bastami، مقادیر شاخص RI در مصب و عمق ده متری مقابل مصب رودخانه تجن به ترتیب ۴۰/۴۸ و ۴۰/۰۲ و مقادیر این شاخص در رودخانه بابلرود به‌ترتیب ۳۰/۶۲ و ۲۷/۷۲ بود (۳۴) که با نتایج مطالعه حاضر هم‌خوانی دارد. آلودگی در محیط‌های رودخانه‌ای و نواحی ساحلی استان مازندران، به‌ویژه در دهانه رودخانه‌های اصلی مانند تجن و بابلرود، در سال‌های اخیر به یک مشکل عمده تبدیل شده است. در مطالعه حاضر تجزیه و تحلیل غلظت‌های عناصر آرسنیک، کبالت، کروم، کادمیوم، نیکل، سرب، روی و منگنز در آب و رسوبات مناطق ساحلی، مصب و پایین‌دست رودخانه‌های تجن و بابلرود حاکی از آلودگی متوسط تا سنگین به برخی عناصر، به‌ویژه آرسنیک بود که می‌تواند پیامدهای نامطلوبی بر اکوسیستم این مناطق داشته باشد. شاخص‌های ضریب آلودگی (Cf)، شاخص فلزی (MI) و ضریب بار آلودگی (PLI) حاکی از آلودگی متوسط به عناصر مورد مطالعه بودند درحالی‌که پتانسیل خطر زیست محیطی (E_r) و پتانسیل کل خطر زیست‌محیطی (RI) نشان از خطر پایین آلودگی در رودخانه‌های تجن و بابلرود داشتند. با توجه به بازدیدهای میدانی می‌توان گفت ویژگی‌های زمین‌شناسی منطقه در کنار فعالیت‌های انسانی از عمده عواملی هستند که سهم به‌سزایی در آلایندگی رودخانه‌های مورد مطالعه دارند. بنابراین با توجه به اهمیت این مناطق به‌ویژه در دهانه‌های مصبی، از نظر گردشگری و منابع آبزی می‌بایست پیش از آن‌که به تهدیدی جدی برای سلامت محیط زیست و موجودات منطقه تبدیل شوند، با اقدامات پیشگیرانه، مدیریت و نظارت صحیح از افزایش این آلاینده‌ها جلوگیری نمود.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از زحمات کلیه افرادی که در انجام این پایان‌نامه یاری رسانده‌اند، به‌ویژه پرنسل محترم دانشکده منابع طبیعی دانشگاه گنبدکاووس، قدردانی به‌عمل می‌آید.

منابع

1. **Yi, Y.J. and Zhang, S.H., 2012.** The relationships between fish heavy metal concentrations and fish size in the upper and middle reaches of the Yangtze River. Procedia Environmental Sciences. 13: 1699-1707. https://doi.org/10.1016/j.proenv.2012.01.163

2. **Copat, C., Arena, G., Fiore, M., Ledda, C., Fallico, R., Sciacca, S. and Ferrante, M., 2012.** Heavy metals concentrations in fish and shellfish from eastern Mediterranean Sea: consumption advisories. Food and chemical toxicology. 53: 33-37. https://doi.org/10.1016/j.fct.2012.11.038

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-11-16]

[DOI: 10.22034/AER.1.1.115]

3. **Alina, M., Azrina, A., Mohd Yunus, A.S., Mohd Zakiuddin, S., Mohd Izuan Effendi, H. and Muhammad Rizal, R., 2018.** Heavy metals (mercury, arsenic, cadmium, plumbum) in selected marine fish and shellfish along the Straits of Malacca. International Food Research Journal. 19(1): 135-140.

4. **Alhassan, A., Aliyu, A., Magaji, A., Abdulkareem, N. and Abdullahi, M., 2022.** An Insight into the Importance of Application of Geophysical Methods in Agriculture for National Economic Development. Global Sustainability Research 1(1):1-4. https://doi.org/10. 56556/gssr.v1i1.301

5. **Zoumis, T., Schmidt, A., Grigorova, L. and Calmano, W., 2001.** Contaminants in sediments: Remobilization and demobilization. Science of the Total Environment. 266: 195-202. https://doi.org/10.1016/S0048-9697(00)00740-3

6. **Proshad, R., Kormoker, T., Al M., A., Islam, M.S., Khadka, S. and Idris, A.M., 2022.** Receptor model-based source apportionment and ecological risk of metals in sediments of an urban river in Bangladesh. Journal of hazardous materials. 423: 127030. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127030.

7. **Benson, N.U., Adedapo, A.E., Fred-Ahmadu, O.H., Williams, A.B., Udosen, E.D., Ayejuyo, O.O. and Olajire, A.A., 2018.** New ecological risk indices for evaluating heavy metals contamination in aquatic sediment: A case study of the Gulf of Guinea. Regional Studies in Marine Science. 18: 44-56. https://doi.org/10.1016/j.rsma.2018.01.004

8. **Hoang, H.G., Lin, C., Tran, H.T., Chiang, C.F., Bui, X.T., Cheruiyot, N.K., Shern, C.C. and Lee, C.W., 2020.** Heavy metal contamination trends in surface water and sediments of a river in a highly-industrialized region. Environmental Technology & Innovation. 20: 101043. https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101043

9. **Jaskula, J., Sojka, M., Fiedler, M. and Wróżyński, R., 2021.** Analysis of spatial variability of river bottom sediment pollution with heavy metals and assessment of potential ecological hazard for the Warta River, Poland. Minerals. 3: 327. https://doi.org/10.3390/min11030327

10. **Kumar, S., Islam, A.R.M.T., Hasanuzzaman, M., Salam, R., Khan, R. and Islam, M.S., 2021.** Preliminary assessment of heavy metals in surface water and sediment in Nakuvadra-Rakiraki River, Fiji using indexical and chemometric approaches. Journal of environmental management. 298: 113517. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113517

11. **Babaei, H., Saberi, H. and Khodaparast, S.H., 2021.** Assessment of Heavy Metals and PAHs Concentration of water in Neour Lake (Ardbil Province). Journal of Animal Environment. doi: 10.22034/aej.2020.249124.2356 (In Persian)

12. **Lotfi, G. and Ahmadi Nadoushan, M., 2022.** Determining the spatial distribution of Lead, Cadmium and zinc in the Sediments of Astara's Estil wetland. Journal of Animal Environment. 14(1): 373-386. (In Persian) doi: 10.22034/AEJ.2021.245511.2482

13. **Iranian Fisheries Science Research Institute. 2017.** Identification and survey of habitats and centers of genetic reserves in the northern provinces of the country and the classification of their standards (Freshwater, coastal and marine ecosystems of Iran). Ministry of Agriculture. Agricultural research, education and promotion organization. 46 p. (In Persian)

14. **Kang, M., Tian, Y., Zhang, H. and Lan, Q., 2020.** Distribution, ecological risk assessment, and source identification of heavy metals in river sediments from Hai River and its tributaries, Tianjin, China. Environmental Science and Pollution Research. 231: 38. https://doi.org/10.1007/s11270-020-4404-6

15. **Abrahim, G.M.S. and Parker, R.J., 2008.** Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand. Environmental Monitoring and Assessment. 136: 227-238. https://doi.org/10.1007/s10661-007-9678-2

16. **Adomako, D., Nyarko, B.J.B., Dampare, S.B., Serfor Armah, Y., Osae, S., Fianko, J.R. and Akaho, E.H.K., 2008.** Determination of toxic elements in waters and sediments from river Subin in the Ashanti Region of Ghana. Environmental Monitoring and Assessment. 141: 165-175. doi: 10.1007/s10661-007-9885-x

17. **Bagheri, H., Mahmudy GHaraie, M.H., Moussavi Harami, R. and KHanehbad, M., 2019.** Trace metal environmental contamination records in core sediments of Gorgan Bay in the southeast of the Caspian Sea. Applied Ecology and Environmental Research. 17(4): 9547-9559. http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1704_95479559

18. **Kharat Sadeghi, M. and Karbasi, A.R., 2006.** Investigating the concentration and origin of heavy elements in the sediments of Shiroud River. Science and Environmental Technology. 8(3): 43-51. (In Persian)

19. **Hakanson, L., 1980.** An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. Water Research. 14(8): 975-1001. https://doi.org/10.1016/0043.1354(80)90143-8.

20. **Jamshidi, S. and Bastami, K.D., 2017.** Preliminary assessment of metal distribution in the surface sediments along the coastline of the southern Caspian Sea, Marine Pollution Bulletin. 116(1-2): 462-468. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.12.033.

21. **TEPA. 2010.** Soil and Groundwater Pollution Remediation Act. Environmental Protection Administration, Executive Yuan, Taipei, Taiwan.

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-11-16]

[DOI: 10.22034/AER.1.1.115]

Journal of Environmental Science and Technology. 22(6): 17-30. (In Persian)

33. **Abadi, M., Zamani, A.A., Parizanganeh, A., Khosravi, Y. and Badiee, H., 2019.** Heavy metal contamination in surface sediments of four important rivers leading to the Caspian Sea. Wetland Ecobiology. 11(2): 67-82. (In Persian)

34. **Bagheri, H. and Darvish Bastami, M., 2022.** Investigation of heavy metal concentrations in estuarine sediments of important rivers in the southern part of the Caspian Sea. Environment and Water Engineering. 8(1): 31-46. http://doi: 10.22034/JEWE.2021.286828.1569.

35. **Malvandi, H., 2021.** An assessment of metal contamination risk in sediments of the Mohammad Abad River, Northern Iran. Journal of Biomedical Research Environmental Science. 2(8): 696-704. http://doi: 10.37871/jbres1299.

36. **Ghanbarpour, M.R., Goorzadi, M. and Vahabzade, G., 2014.** Spatial variability of heavy metals in surficial sediments: Tajan River Watershed, Iran. http://dx.doi.org/10.1016/j.swaqe.2014.04.002.

37. **Khalili, R., Zali, A. and Motaghi, H., 2021.** Evaluation of Heavy Metals in Water and Sediments of Haraz River, Using Pollution Load Index (PLI) and Geoaccumulation Index (I_{geo}). Iranian Journal of Soil and Water Research. 52(4): 933-942. (In Persian) doi: 20.1001.1.2008479.1400.52.4.4.6

38. **Alahabadia, A. and Malvandi, H., 2018.** Contamination and ecological risk assessment of heavy metals and metalloids in surface sediments of the Tajan River, Iran. Marine Pollution Bulletin. Marine Pollution Bulletin. 133: 741-749.https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.06.030.

39. **Daesslé, L.W., Rendón-Márquez, G., Camacho-Ibar, V.F., Gutiérrez-Galindo, E.A., Shumilin, E. and Ortiz-Campos, E., 2009.** Geochemistry of modern sediments from San Quintín coastal lagoon, Baja California: Implication for provenance. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas. 26(1): 117-132.

40. **Yarahmadi, S.S. and Ansari, M.R., 2018.** Ecological risk assessment of heavy metals (Zn, Cr, Pb, As, and Cu) in sediments of Dohezar River, North of Iran, Tonekabon city. Acta Ecologica Sinica. 38(2): 126-134. https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2017.06.018

41. **Shahradnia, H., Chamani, A., Zamanpoore, M. and Jalalizand, A., 2021.** Heavy metal pollution in surface sediments of Ghareh-Aghaj River, one of the longest perennial rivers in Iran. Environmental Earth Science. 80: 91. https://doi.org/10.1007/s12665-021-09384-1.

42. **Li, X., Shen, H., Zhao, Y., Cao, W., Hu, Ch. and Sun, Ch., 2019.** Distribution and potential ecological risk of heavy metals in water, sediments, and aquatic macrophytes: a case study of the junction of four rivers in Linyi City, China. International Journal of Environmental

22. **Withanachchi, S.S., Ghambashidze, G., Kunchulia, I., Urushadze, T. and Ploeger, A., 2018.** Water quality in surface water: A preliminary assessment of heavy metal contamination of the Mashavera River, Georgia. International Journal of Environmental Research and Public Health. 15(4): 621. http://dx.doi.org/10.3390/ijerph15040621.

23. **Long, E.R., MacDonald, D.D., Smith, S.L. and Calder, F.D., 1995.** Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. Environmental Management. 19: 18-97. https://doi.org/10.1007/BF02472006

24. **Najafi, M., Zamani-Ahmadmahmoodi, R., Shaluei, F. and Ghorbani-Dashtaki, P., 2021.** Evaluation of heavy metal pollution levels in the Water of the Beheshtabad River. Wetland Ecobiology. 12(1): 17-28 (In Persian)

25. **Patel, N.P., Raju, J., Reddy, B.C., Sundara, R., Suresh, U., Sankar, D.B. and Reddy, T.V.K., 2018.** Heavy metal contamination in river water and sediments of the Swarnamukhi River Basin, India: risk assessment and environmental implications. Environ Geochem Health. 40: 609-623. https://doi.org/10.1007/s10653-017-0006-7

26. **Cengiz, M.F., Kilic, S., Yalcin, F., Kilic, M. and Gurhan, Y.M., 2017.** Evaluation of heavy metal risk potential in Bogacayi River water (Antalya, Turkey). Environmental Monitoring Assessment. 189: 248. http://doi:10.1007/s10661-017-5925-3.

27. **Badusha, M. and Santhosh, S., 2021.** Distribution of Heavy Metals in the Surface Waters of Neyyar River, Kerala, India. Journal of Aquatic Biology & Fisheries. 9: 76-91.

28. **Kumar, V., Sharma, A., Kumar, R., Bhardwaj, R., Kumar Thukral, A. and Rodrigo-Comino, J., 2018.** Assessment of heavy metal pollution in three different Indian water bodies by a combination of multivariate analysis and water pollution indices. Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal. https://doi.org/10.1080/10807039.2018.1497946.

29. **WHO. 2008.** Guidelines for Drinking Water Quality. Incorporating 2nd Addendum (3rd ed.). Geneva: World Health Organization.

30. **BIS. 2012.** Drinking Water Specification. Bureau of Indian Standards, New Delhi.

31. **EPR. 1993.** Guidelines for Inland Surface Waters, Omitted by Rule 2(i)(iii) of the Environment (Protection) Third Amendment Rules. vide G.S.R. 801(E) dated 31.12.1993. 1986.

32. **Talesh Pour, S., Taghavi, L. and Nasrollahzadeh Saravi, H., 2020.** Prioritizing the Amount of Contamination of Metals Using Pollution Load Factors and Potential Biologic Hazards in the Surface Sediments of the Rivers of the Southeast Coast of the Caspian Sea.

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-11-16]

[DOI: 10.22034/AER.1.1.115]

Research and Public Health. 16: 2861. http://doi:10.3390/ijerph16162861

43. **Usman, Q.A., Muhammad, S., Ali, W., Yousaf, S. and Jadoon, I.A.K., 2020.** Spatial distribution and provenance of heavy metal contamination in the sediments of the Indus River and its tributaries, North Pakistan: Evaluation of pollution and potential risks. Environmental Technology & Innovation. 21: 101184. https://doi.org/ 10.1016/j.eti.2020.101184.

44. **You, M., Hu, Y. and Meng, Y., 2023.** Chemical speciation and bioavailability of potentially toxic elements in surface sediment from the Huaihe River, Anhui Province, China. Marine Pollution Bulletin. 188: 114616. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.114616.

45. **Hung, D.Q., Nekrassova, O. and Compton, R.G., 2004.** Analytical methods for inorganic arsenic in water: A review. Talanta. 64(2): 269-277. doi: 10.1016/j.talanta. 2004.01.027

46. **Eberechi, D.G., 2019.** Heavy metal contamination in selected dumpsites in Warri, Niger delta. 321 p.

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-11-16]

[DOI: 10.22034/AER.1.1.115]