مجله سلامت و محیط زیست، فصلنامه‌ی علمی پژوهشی
انجمن علمی بهداشت محیط ایران
دوره چهاردهم، شماره اول، بهار ۱۴۰۰، صفحات ۸۳ تا ۹۸



Available online: https://ijhe.tums.ac.ir
مقاله پژوهشی

مطالعه فلزات سنگین در رسوبات سطحی رودخانه مرداب و بخشی از ساحل دریای خزر، در شهرستان آستارا

سمانه زراعتکاری، عطا شاکری*، میثم رستگاری‌مهر
گروه زمین شناسی کاربردی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۰۶
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۰/۰۲/۲۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۲۱
تاریخ انتشار: ۱۴۰۰/۰۳/۳۱

واژگان کلیدی: فلزات سنگین، خطر بوم‌شناختی، رودخانه مرداب، برنج

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:
atashakeri@khu.ac.ir

چکیده

زمینه و هدف: به‌دلیل اهمیت رودخانه مرداب، غلظت و توزیع فلزات سنگین در رسوبات رودخانه مرداب و بخشی از ساحل دریای خزر؛ متأثر از رودخانه مرداب ارزیابی شد. همچنین با توجه به احتمال آزاد شدن فلزات سنگین رسوبات به ستون آب و انتقال به محصولات زراعی، خطر سلامت ناشی از مصرف برنج در منطقه ارزیابی شد.

روش بررسی: ۲۱ نمونه رسوب و ۴ نمونه برنج از شالیزارها در مسیر رودخانه جمع آوری شد. محتوای فلزات سنگین نمونه‌ها با استفاده از ICP-MS اندازه‌گیری شد. تحلیل داده‌ها با استفاده از ضریب غنی‌شدگی (Enrichment Factor)، شاخص خطر بوم شناختی (Ecological Risk Index)، شاخص خطر سلامت، و تحلیل مولفه اصلی (PCA) و من ویتنی(Mann-Whitney) انجام شد.

یافته‌ها: غلظت عناصر در نمونه‌های رسوب ساحلی بیشتر از رسوبات رودخانه مرداب بود. نتایج، خطر کم تا متوسط عناصر در اکثر ایستگاه‌ها جز دو ایستگاه ساحلی برای کروم با خطر قابل توجه از نظر آلودگی نشان داد. تحلیل مولفه اصلی عناصر را در سه مولفه با منشا متفاوت رده‌بندی کرد. همچنین تخمین دریافت هفتگی عناصر از طریق مصرف برنج کمتر از مقادیر مجاز دریافت این عناصر است.

نتیجه‌گیری: غلظت فلز کروم در رسوبات به ویژه رسوبات ساحلی بالاست که ممکن است بخشی از آن ناشی از تمرکز کانی سنگین (کروم) در رسوبات ساحلی باشد، بنابراین منشأ عناصر به‌ویژه کروم باید از طریق روش‌هایی مانند استخراج ترتیبی تعیین شود. از طرفی با وجود آلودگی رسوبات رودخانه و مصرف بالای برنج در بین مردم منطقه، خطری مصرف کنندگان برنج را از نظر آلودگی فلزات سنگین تهدید نمی‌کند.

Please cite this article as: Zeraatkari S, Shakeri A, Rastegari Mehr M. Evaluation of heavy metals concentration in surface sediments of the Mordab river and parts of the Caspian Sea coast in Astara county. Iranian Journal of Health and Environment. 2021;14(1):83-98.

Copyright © 2021 Iranian Association of Environmental Health, and Tehran University of Medical Sciences. Published by Tehran University of Medical Sciences. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Noncommercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-11-04]

مقدمه

رودخانه‌های ساحلی به طور کلی از خصوصیات زمین ریخت‌شناختی ویژه، ناشی از اثرات متقابل زمین و دریا برخوردار هستند. علاوه بر این، رودخانه‌های ساحلی همواره مسئولیت تخلیه آلاینده‌های زمینی، به ویژه فلزات سنگین را بر عهده دارند (۱). فلزات سنگین مانند نیکل، مس، روی، کروم، سرب و کادمیم و شبه فلز آرسنیک به طور کلی آلاینده‌های فلزی هستند که در رسوبات و خاک‌های کشاورزی (۲)، مناطق جزر و مدی و مرداب‌ها (۳) و سیستم‌های آبی و تالاب‌ها یافت می‌شوند (۴). آلودگی فلزات سنگین در سیستم‌های آبی به دلیل سمیت فلزات سنگین، عدم تجزیه‌پذیری، پایداری و غنی‌سازی زیستی در شبکه‌های غذایی یک مشکل زیست‌محیطی جهانی است (۵). فلزات سنگین هنگام ورود به ستون آب، در معرض ذرات معلق قرار گرفته و سپس جذب این ذرات شده و در رسوبات ته‌نشین می‌شوند (۶). با این حال، فلزات سنگین مرتبط با رسوب به دلیل تغییرات فیزیکوشیمیایی محیط می‌توانند دوباره آزاد شوند (۷، ۸). رسوبات رودخانه‌ها نیز مخزنی برای آلاینده‌ها مانند فلزات سنگین هستند (۹، ۱۰). در مناطقی که تراکم جمعیت زیاد است و استفاده انسان از منابع آب برای مصارف مختلف شدید است، آسیب‌پذیری کیفی آب‌های سطحی و زیرزمینی بالا است (۱۱). آلودگی مواد غذایی توسط فلزات سنگین در سال‌های اخیر به دلیل تجمع احتمالی آنها در سیستم‌های زیستی از طریق منابع آب و خاک آلوده، به یک مشکل جدی تبدیل شده است (۱۲). برنج یکی از پرمصرف‌ترین غلات در جهان به شمار می‌آید. مردم در سراسر جهان تقریبا ۲۷ درصد از انرژی و ۲۰ درصد از پروتئین خود را از طریق مصرف برنج به‌دست می‌آورند (۱۳). شالیکاران برای حاصلخیز شدن محصولات برنج از کودهای شیمیایی استفاده می‌کنند که می‌تواند باعث تجمع فلزات سنگین در آن شود (۱۴).

با توجه به اهمیت خطرات آلودگی فلزات سنگین در رسوبات مطالعات بسیاری در ایران و جهان در این زمینه صورت گرفته است. Yarahmadi و همکار (۱۵) به ارزیابی ریسک اکولوژیکی فلزات سنگین (روی، کروم، سرب، آرسنیک و مس) در رسوبات رودخانه دوزر در شمال ایران، شهرستان تنکابن پرداختند که ضریب غنی‌شدگی برای آرسنیک بالاترین و برای مس کمترین مقدار را داشته و عوامل طبیعی و زمین‌شناختی منبع اصلی آلودگی در رسوبات منطقه بودند. Rastmanesh و همکاران (۱۶) به ارزیابی منشأ و غلظت فلزات سنگین در خاک و برنج مزارع شهرستان‌های اهواز و باهوی پرداختند. بیشترین ضریب غنی‌شدگی مربوط به نقره، آرسنیک، کادمیم و آنتیموان بود که بیانگر ورودی‌های انسان‌زاد به خاک کشاورزی مثل استفاده از کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها در منطقه مورد مطالعه بود. بیشترین میانگین غلظت فلزات در نمونه‌های برنج مربوط به سرب و کمترین مربوط به وانادیم بود. Keshavarzifard و همکاران (۱۷) تاثیر پارامترهای فیزیکوشیمیایی بر زیست‌دسترس‌پذیری عناصر جزئی رسوبات منطقه جزرومدی منطقه عسلویه در خلیج فارس را مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحلیل مولفه اصلی منشأ زمین‌زاد برای Cr، Mn، Ni، Ti، V، Al و منشأ انسان‌زاد برای As و Cd و هر دو منشأ زمین‌زاد و انسان‌زاد را برای Cu، Pb و Zn نشان داد. Liang و همکاران (۱۸) توزیع و انتقال فلزات سنگین در رسوبات سطحی منطقه نزدیک ساحل ژجیانگ (Zhejiang)، دریای شرق چین و اثرات زیست‌محیطی آن را مورد بررسی قرار دادند. نتایج ضریب همبستگی نشان داد که تمام عناصر آلاینده همبستگی مثبت و معنی‌داری با بافت رسوب دارند که بیانگر ارتباط قابل توجه بین آلاینده‌ها با اندازه ذرات رسوب است. همچنین Brito و همکاران (۱۹) به ارزیابی زیست‌دسترس‌پذیری فلزات بالقوه سمی رسوبات سطحی جمع آوری شده از رودخانه پاراگوآجو (Paraguaçu) بین شهرهای کاچیرا (Cachoeira) و سائو فلیکس (São Félix) در ایالت باهیا (Bahia) واقع در برزیل پرداختند. با مقایسه داده‌های مربوط به غلظت فلزات سنگین با حدود تعیین شده بین المللی، تمام مقادیر یافت شده، کمتر

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-11-04]

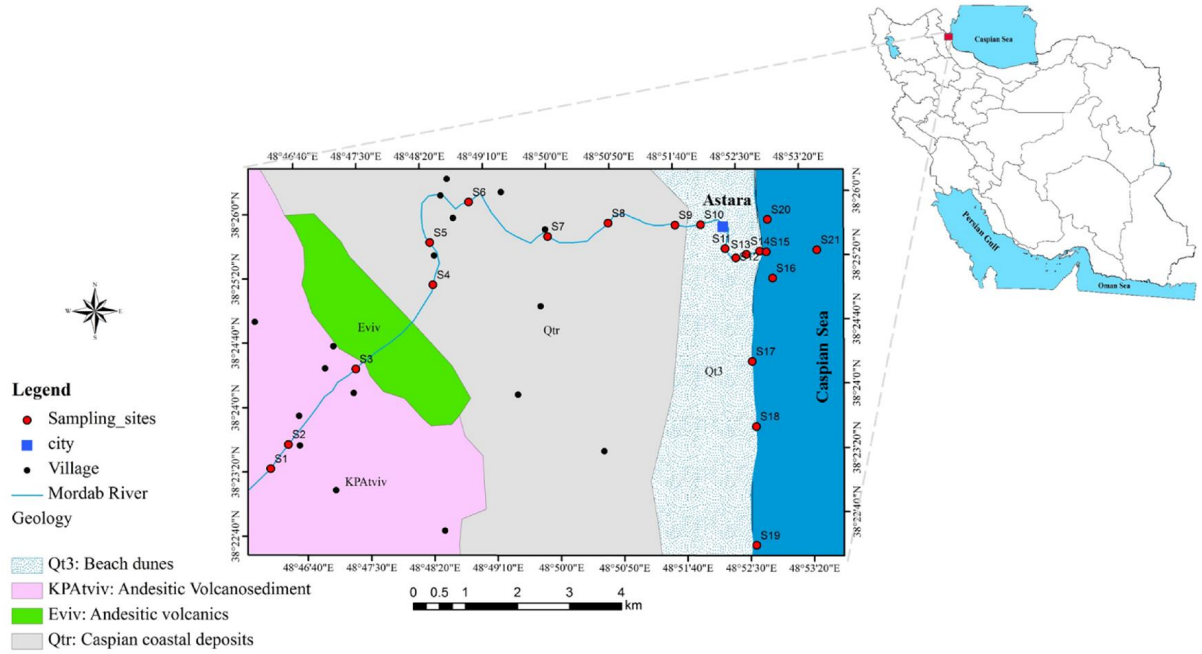
از مقادیر بحرانی بوده و خطرات سمی برای بوم‌سامانه اطراف ایجاد نمی‌کند. Hedayatsafa و همکار (۲۰) به بررسی و تعیین آلودگی فلزات سنگین دانه‌های برنج ایرانی در نمونه‌های اصلی و کشت دوم (Ratoon) پرداختند. میزان غلظت فلزات نیکل، سرب و کادمیم در نمونه برنج کشت دوم نسبت به نمونه اصلی بیشتر بوده و همچنین هر دو نمونه در حد مجاز دریافت قابل تحمل روزانه و هفتگی طبق استاندارد FAO/WHO برای بدن انسان قرار داشتند. Shokrzade و همکاران (۲۱) به بررسی میزان سرب، کادمیم و کروم در برنج هندی وارداتی به ایران و برنج طارم تولید شده در استان گلستان پرداختند. نتایج نشان داد که در میزان سرب تفاوت معنی‌داری وجود ندارد در صورتی‌که میزان کروم در برنج هندی بیشتر از برنج ایرانی و میزان کادمیم در برنج ایرانی بیشتر از برنج هندی بود. رودخانه مرداب مهمترین رودخانه داخلی و بوم‌سامانه فعال آبی در محدوده شهرستان آستارا است که با آبیاری شالیزارهای برنج و زمین‌های کشاورزی در بالادست، از میان روستاها و شهر آستارا گذر کرده و به دریای خزر می‌ریزد. سلامت این بوم‌سامانه به لحاظ تغذیه مزارع شالیکاری و فعالیت ماهیگیری در این رودخانه حائز اهمیت است. بنابراین در صورت آلودگی به فلزات سنگین می‌تواند منجر به آلودگی محصولات کشاورزی در مزارعی که از آب رودخانه تغذیه می‌کنند به ویژه شالیزارهای برنج که از اصلی‌ترین و پرمصرف‌ترین محصولات کشاورزی در منطقه مورد مطالعه است، شود. از طرفی رودخانه مرداب با گذر از مزارع و روستاها و شهر آستارا پساب‌های کشاورزی و فاضلاب‌های روستایی و شهری را جمع آوری کرده و وارد دریای خزر می‌کند. با توجه به جنبه بین المللی سواحل دریای خزر، حفظ سلامت بوم‌شناختی و زیست‌شناختی آن هم برای شهر آستارا و هم قلمرو حوضه آبریز آن حائز اهمیت فراوانی است. با توجه به ارتباط دو محیط آب و رسوب، و امکان آزادسازی عناصر از رسوب به آب و درنتیجه ورود عناصر محلول در آب به محصولات زراعی آبیاری شده با آب رودخانه، در این مطالعه علاوه بر مطالعه عناصر جزئی در رسوب، نمونه‌های برنج آبیاری شده با آب رودخانه مرداب نیز تجزیه و از نظر آلودگی بررسی شدند. هدف اصلی این مطالعه ارزیابی خطر بوم‌شناختی فلزات سنگین سرب، کروم، نیکل، کبالت، آرسنیک، مس، منگنز، وانادیوم و روی در رسوبات رودخانه مرداب و بخش ساحلی دریای خزر؛ تاثیرپذیر از رودخانه مرداب و همچنین ارزیابی ریسک سلامت ناشی از مصرف برنج در این منطقه است.

مواد و روش‌ها

_ *منطقه مورد مطالعه*

شهرستان آستارا در ۳۸° تا ´۳۰ ۳۸° عرض شمالی و ´۳۰ ۴۸° تا ۴۹° طول شرقی در شمال غربی ایران واقع شده است و دارای آب و هوای گرم، معتدل و مرطوب است (شکل ۱). این شهرستان از شرق به دریای خزر، از شمال به آستارای کشور آذربایجان، از غرب به استان اردبیل و از جنوب به نصرت آباد و کشلی محدود شده است. حوضه آبریز تالش ـ مرداب انزلی یکی از حوضه‌های باز ایران است که رودهای کوچک نیمه غربی استان گیلان از جمله رودخانه مرداب را دربرمی‌گیرد. رودخانه مرداب مهمترین رودخانه شهرستان آستارا با طول km ۲۳ و مساحت حوضه آبخیز حدود km^2 ۵۳/۵۷ است. این رودخانه از دامنه‌های ارتفاعات لاتون (بخشی از ارتفاعات تالش) سرچشمه گرفته و از میان روستاها و شالیزارها و شهر آستارا عبور می‌کند. پساب‌های کشاورزی و فاضلاب‌های شهری و روستایی در طول رودخانه وارد آن می‌شوند و درنهایت به دریای خزر ختم می‌شود. از نظر ترکیب سنگ‌شناختی بخش عمده‌ای از حوضه (۴۴/۵ درصد) از تناوب توف، ماسه‌سنگ توفی به همراه گدازه‌های برشی و گدازه پیروکسن آندزیت به سن پالئوسن تشکیل شده است (۲۲). در بخش‌هایی از حوضه شیل و ماسه‌سنگ با لایه‌هایی از توف، پیروکسن آندزیت فلدسپاتوئید دار، برش‌های ولکانیکی همراه با گدازه‌های پیروکسن آندزیت، کنگلومرای پلی ژنیک سازند فجن، گدازه‌های برشی و گدازه‌های پیروکسن نیز وجود دارد که این موضوع می‌تواند سبب افزایش حد زمینه بعضی از عناصر در منطقه شود. بخش ساحلی رودخانه از رسوبات دشت ساحلی خزر به سن کواترنر تشکیل شده است (۲۳).

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-11-04]



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه، زمین شناسی و ایستگاه‌های نمونه‌برداری

_ نمونه‌برداری، روش‌های آزمایشگاهی و روش شناسی تحلیل داده‌ها

در این مطالعه ۲۱ نمونه از رسوبات سطحی رودخانه مرداب و بخشی از ساحل دریای خزر و همچنین یک نمونه مرکب از ماسه‌های رودخانه مرداب در بالادست رودخانه به عنوان نمونه زمینه (Background) برای تعیین غلظت فلزات سنگین جمع‌آوری شد. انتخاب موقعیت، فاصله و تعداد نقاط نمونه‌برداری به روش قضاوتی با توجه به کاربری اراضی، پراکندگی زمین‌های کشاورزی و با در نظر گرفتن عارضه‌ها و ورودی پساب‌های کشاورزی و فاضلاب‌های شهری و روستایی به رودخانه مرداب از رسوب سطحی (عمق ۰ تا ۱۰ cm) به صورت ترکیبی به وسیله بیلچه پلاستیکی و گرب (Grab-Sampler) از رودخانه مرداب (۱۴ نمونه) و بخشی از ساحل دریای خزر (۷ نمونه) انجام شد. نمونه‌ها در کیسه‌های پلی اتیلن کدگذاری شده قرار داده شد و برای آماده‌سازی به آزمایشگاه منتقل گردید. سپس مواد زائد از قبیل تکه‌های پلاستیک، چوب و ریشه‌های گیاه به صورت دستی جدا شدند. نمونه‌ها در دمای اتاق خشک و توسط هاون چینی همگن شدند. نمونه‌های رسوب از الک با مش ۲۳۰ عبور داده شدند. نمونه ماسه‌ای زمینه نیز به وسیله آسیاب عقیق خرد شده و سپس نمونه‌ها برای تعیین غلظت عناصر انتخابی با هضم ۴ اسید و تجزیه با ICP-MS به آزمایشگاه ارسال شدند. بخشی از نمونه‌ها پس از عبور از الک با مش ۱۰، براساس روش ارائه شده توسط Ryan و همکاران (۲۴) برای اندازه‌گیری pH و هدایت الکتریکی، و روش افت اشتعال (۲۵) برای اندازه‌گیری کربن آلی استفاده شد.

با توجه به اینکه برنج از مواد غذایی اصلی ساکنین منطقه بوده و از طرفی مزارع برنج کاری در بالادست و اطراف شهر آستارا از کاربری اصلی زمین در منطقه است، از این‌رو برای تعیین غلظت فلزات سنگین در دانه و پوسته برنج، ۴ نمونه مرکب ۵۰۰ گرمی برنج از شالیزارهایی که در مسیر رودخانه مرداب قرار داشتند گرفته شد. ابتدا نمونه‌ها کدگذاری شدند سپس برای آماده‌سازی به آزمایشگاه ارسال شدند. نمونه‌ها ابتدا با آب مقطر شستشو داده شدند و سپس در دمای اتاق به خوبی خشک شدند و سپس پوسته از دانه برنج جدا شد. سپس

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-11-04]

نمونه‌های برنج و پوسته آنها برای آنالیز عناصر آرسنیک، کروم، مس، نیکل، سرب و روی به روش ICP-MS به آزمایشگاه ارسال شد.

_ ضریب غنی‌شدگی (Enrichment Factor (EF))

به منظور ارزیابی شدت آلودگی فلزات در منطقه مورد مطالعه، ضریب غنی‌شدگی (EF) برای نمونه‌های رسوب با استفاده از معادله ۱ محاسبه شد (۲۶):

$$(C_X/C_{Sc})_{Sample} / (C_X/C_{Sc})_{Backgroun} \quad (۱)$$

در این معادله، $(C_X/C_{Sc})_{Sample}$ غلظت فلز موردنظر به عنصر مرجع (در این مطالعه اسکاندیم) در نمونه‌ها است و $(C_X/C_{Sc})_{Background}$ بیانگر نسبت غلظت فلز به اسکاندیم در نمونه زمینه است. براساس طبقه بندی Zhang و همکار (۲۷) ضریب غنی‌شدگی کمتر از ۱/۵ نشان دهنده منشأ طبیعی (زمین‌زاد) مانند هوازدگی سنگ مادر و ضریب غنی‌شدگی بیش از ۱/۵ نشان دهنده منشأ انسان‌زاد عناصر است. براساس ضریب غنی‌شدگی می‌توان نمونه‌ها را نسبت به زمینه به پنج دسته، غنی‌شدگی کم (EF<۲)، غنی‌شدگی متوسط (۲<EF<۵)، غنی‌شدگی زیاد (۵<EF<۲۰)، بسیار غنی‌شده (۲۰<EF<۴۰) و به شدت غنی‌شده (EF>۴۰) طبقه‌بندی کرد (۲۸).

_شاخص خطر بالقوه بوم‌شناختی (Ecological Risk Index(RI))

شاخص خطر بالقوه بوم‌شناختی برای ارزیابی درجه آلودگی فلزات سنگین در رسوبات استفاده می‌شود. معادلات محاسبه این شاخص توسط Hakanson (۲۹) به صورت معادلات ۲ تا ۴ ارائه شده است:

$$Cf = C_s / C_n \quad (۲)$$

$$E_r = T_r \times Cf \quad (۳)$$

$$RI = \sum_{r=1}^{n} E^i_r \quad (۴)$$

که در این معادلات C_f فاکتور آلودگی فلز، C_s و C_n به ترتیب غلظت فلز سنگین در نمونه و غلظت فلز سنگین در نمونه زمینه (Background) بوده، و E_r خطر بوم‌شناختی هر عنصر است. Hakanson (۲۹) T_r را به عنوان فاکتور پاسخ سمی برای یک ماده معین تعریف کرد که مقادیر آن به ترتیب به صورت Cu = Ni = Pb = ۵ < As = ۱۰ < Cd = ۳۰ < Zn = ۱ < Cr = ۲ است. شاخص پتانسیل خطر بوم‌شناختی هر عنصر به پنج رده، خطر کم (E_r≤۴۰) تا خطر بسیار زیاد (E_r≥۳۲۰) تقسیم می‌شود (۳۰). همچنین خطر بوم‌شناختی کل (RI) به ۴ رده خطر کم (RI < ۱۵۰) تا خطر زیاد (RI > ۶۰۰) رده بندی می‌شود.

_ تجزیه و تحلیل آماری

در این مطالعه علاوه بر آمار توصیفی و سنجش توزیع داده‌ها (test of normality) آزمون آماری Mann-Whitney (با توجه به توزیع غیرنرمال) برای مقایسه اختلاف غلظت عناصر بین رسوبات رودخانه مرداب و ساحل دریای خزر، و تحلیل مولفه اصلی (Principal component analysis) برای بررسی ارتباط عناصر در رسوب با استفاده از نرم افزار SPSS19 انجام شد.

_ ارزیابی ریسک سلامت

ارزیابی خطر سلامت انسان و قرار گرفتن در معرض فلزات سنگین از طریق مصرف برنج مطابق روشی که به طور گسترده‌ای در مطالعات مختلف استفاده شده است انجام گرفت (۳۱). برای این منظور، میزان برآورد دریافت هفتگی فلزات سنگین از طریق مصرف برنج (EWI)، مصرف هفتگی قابل تحمل (PTWI) محاسبه و با مقادیر توصیه شده توسط WHO/FAO (۳۱) مقایسه شد. EWI توسط معادله ۵ به‌دست می‌آید:

$$EWI = C \times (WC/BW) \quad (۵)$$

در این معادله، EWI تخمین مصرف هفتگی بر حسب ($mg\ kg^{-1}$.bw.week)، C میانگین محتوای فلزات سنگین در برنج بر حسب ($mg\ kg^{-1}$ dry weight) است، WC (weekly rice consumption) نشان دهنده مصرف هفتگی برنج برای هر فرد ایرانی (۷۷۰ g per capita per week) و BW (Body weight) متوسط وزن بدن بر حسب (kg) است. متوسط وزن بدن هر فرد ایرانی ۶۰ kg است (۳۲).

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-11-04]

یافته‌ها

خلاصه آماری غلظت عناصر مورد مطالعه در نمونه‌های رسوب رودخانه مرداب و بخشی از ساحل دریای خزر و غلظت زمینه محلی آنها و همچنین خواص فیزیکوشیمیایی رسوب از جمله pH، هدایت الکتریکی (EC) و درصد کربن آلی (OC) در جدول ۱ ارائه شده است. براساس نتایج، کمینه و بیشینه مقدار pH، هدایت الکتریکی و کربن آلی به ترتیب ۶/۲۸ و ۸/۰۸، ۷۸/۴ و ۶۲۳۰ µs/cm، و ۱/۹۷ و ۸/۳۳ درصد است که ماهیت خنثی تا کمی قلیایی، شوری متوسط تا زیاد و مقدار بالای کربن آلی را در بیشتر نمونه‌ها نشان می‌دهد. غلظت میانگین عناصر کبالت، کروم، مس، منگنز، نیکل، سرب، وانادیم و روی در نمونه‌های رسوب از غلظت زمینه محلی (Background) آنها بیشتر است. تنها غلظت میانگین عنصر آرسنیک از غلظت زمینه محلی آن کمتر است. حداکثر غلظت عناصر آرسنیک، مس، سرب و روی در ایستگاه S۱۷ و حداکثر غلظت عناصر کبالت، کروم و نیکل در ایستگاه S۱۹ مشاهده شد که هر دو نمونه مربوط به رسوبات ساحلی است. غلظت کروم در نمونه‌های رسوب نسبت به غلظت زمینه محلی به صورت قابل توجهی بالاست و بالاترین غلظت آن در ایستگاه ساحل صدف S۱۹ که یک منطقه گردشگری است مشاهده شد (جدول ۱). براساس ضریب تغییرات، کروم بیشترین تغییرات غلظت را در نمونه‌های مورد بررسی داشته و پس از آن هدایت الکتریکی، سرب، وانادیم و مس تغییرات زیادی را در منطقه نشان می‌دهند. مقایسه غلظت عناصر با آزمون من ویتنی (Mann-Whitney) نیز نشان دهنده اختلاف معنی‌دار ($p < ۰/۰۵$) غلظت اسکاندیم، کبالت، کروم، نیکل، سرب، و انادیم و روی بین نمونه‌های رسوب رودخانه مرداب و ساحل دریای خزر است (جدول ۲).

جدول ۱- خلاصه آماری غلظت عناصر انتخابی در رسوبات سطحی رودخانه مرداب و بخشی از ساحل دریای خزر (برحسب mg/kg)

پارامتر	OC (%)	EC (µs/cm)	pH	Zn	V	Pb	Ni	Mn	Cu	Cr	Co	As	Sc
میانگین	۳/۶۲	۱۷۷۵/۶۳	۷/۳۲	۱۵۵/۰۵	۳۱۸/۴۳	۳۷/۵۲	٦٤/۸۱	۱٦۰۰/۲٤	۸۷/٤۳	۱۱۳۸/۳۳	۳۰/۲۳	۷/۹۲	۱۷/٤۱
ضریب تغییرات	۰/٤٤	۰/۹۵	۰/۰۷	۰/۵٤	۰/٦۸	۰/۷۵	۰/۳۲	۰/۵	۰/٦۵	۱/٤٦	۰/٤۷	۰/٤٤	۰/۳٤
حداکثر	۸/۳۳	٦۲۳۰	۸/۰۸	٤۱۷	۹٦٦	۱٤۵	۱۲۳	٤۵۷۳	۳۰۸	٦۵۷۳	۷۱/۹	۱٦/۵	۳۷/۸
حداقل	۱/۹۷	۷۸/٤	٦/۲۸	۸۸	۱۳۰	۱۹	٤۷	۹٤۸	٤٦	۱٦۸	۱۷/٤	۱/۲	۱۲
غلظت زمینه محلی	-	-	-	٦۷	۱۵۲	۱۳	۲۵	۹۹٤	٤٦	۹۰	۱۵/۹	۸/۹	۱۲/۸

جدول ۲- نتایج آزمون Mann-Whitney نمونه‌های رسوب رودخانه مرداب و ساحل دریای خزر

آزمون / فلزات	Zn	V	Pb	Ni	Mn	Cu	Cr	Co	As	Sc
Mann-Whitney U	۲/۵	۰	۲	۱	۳۵	٤۹	۰	۵	۲۸	۱۱
Wilcoxon W	۱۰۷/۵	۱۰۵	۱۰۷	۱۰٦	۱٤۰	۷۷	۱۰۵	۱۱۰	۱۳۳	۱۱٦
Z	-۳/٤۷	-۳/٦۵۷	-۳/۵۱٤	-۳/۵۸۵	-۱/۰٤٤	۰	-۳/٦۵٦	-۳/۲۸۳	-۱/۵٦۷	-۲/۸۳
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	۰	۰	۰	۰	۰/۳۲۲	۱	۰	۰	۰/۱۲۸	۰/۰۰۳

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-11-04]

غلظت میانگین، حداکثر و حداقل عناصر آرسنیک، کروم، مس، نیکل، سرب و روی در دانه و پوسته نمونه‌های برنج برداشت شده از منطقه مورد مطالعه در جدول ۳ ارائه شده است. میانگین غلظت عناصر در دانه و پوسته برنج به ترتیب از روند روی> مس> سرب> نیکل> کروم> آرسنیک و روی> سرب> مس> نیکل> آرسنیک> کروم تبعیت می‌کند. همچنین غلظت میانگین عناصر انتخابی به جز کروم در پوسته نسبت به دانه نمونه‌های برنج بیشتر است. نتایج ارزیابی خطر قرار گرفتن در معرض فلزات سنگین از طریق مصرف برنج با استفاده از روش میزان تخمین دریافت هفتگی فلزات سنگین از طریق مصرف برنج (EWI) و مقایسه آن با دریافت هفتگی قابل تحمل (PTWI) که توسط WHO/FAO (۳۱) ارائه شده در جدول ۴ آمده است که برای همه عناصر مقدار دریافت هفتگی عناصر در منطقه مطالعاتی کمتر از میزان قابل تحمل هفتگی ارائه شده توسط سازمان‌های جهانی است.

جدول ۳- خلاصه آماری غلظت عناصر بالقوه سمی در پوسته و دانه نمونه‌های برنج برداشت شده از منطقه مورد مطالعه (برحسب mg/kg)

نمونه	پارامتر	Zn	Pb	Ni	Cu	Cr	As
	میانگین	۲۸/۹۹٦	۰/۷۹۱	۰/٦٤۸	٤/۲٥	۰/۳٦۸	۰/۱۲۱
دانه برنج	حداکثر	۳۷/۲۳۹	۱/٦۲۷	۰/۸۸۹	٥	۰/۷۷٥	۰/۳۷
	حداقل	۲٥/۳٦۱	۰/۰۸۸	۰/٤۲۹	٤	۰/۱۹٦	۰/۰۲۱
	میانگین	۳۸/۰۱۷	۹/٥۸٤	٥/۲۷٤	۹/۲٥	۰/۲۹	۰/۷۸٤
پوسته برنج	حداکثر	٦٦/۰۳٤	۳۲/٥٥۹	٦/۳٦	۱۳	۰/۷۹۸	۱/۲۸۱
	حداقل	۲۰/٥۷۲	۰/۰۸۸	۳/۸۱۷	٥	۰/۰۷۱	۰/۰۲۱

جدول ۴- میزان تخمین دریافت هفتگی فلزات سنگین از طریق مصرف برنج (EWI) برای ساکنین منطقه و مقایسه آن با مصرف هفتگی قابل تحمل (PTWI) ارائه شده توسط WHO/FAO (۳۱)

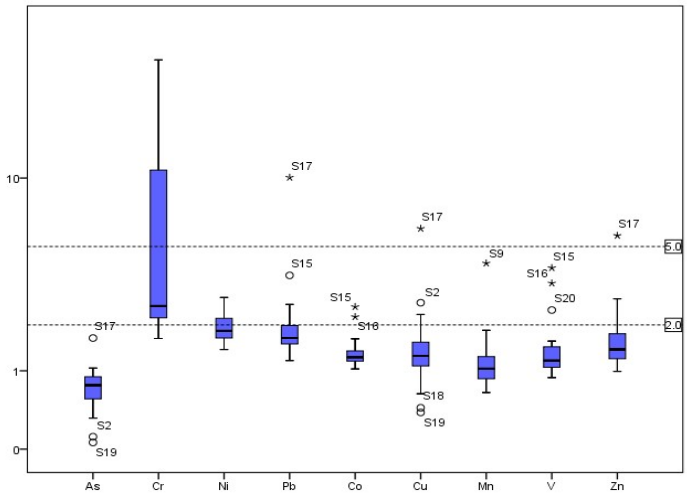
عنصر	EWI (µg. kg^{-1}.BW)	PTWI (µg. kg^{-1}.BW)
As	۱/٥٥	۱٥
Cr	٤/۷۲	۲۳/۳
Cu	٥٤/٥٤	٥۰۰
Ni	۸/۳۱	۳٥
Pb	۱۰/۱٥	۲٥
Zn	۳۷۲/۱۱	٤۲۰

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-11-04]

بحث

براساس نتایج ضریب تغییرات (جدول ۱) ضریب تغییرات بالای کروم، سرب و وانادیم در منطقه مورد مطالعه می‌تواند ناشی از اختلاف غلظت این عناصر بین رسوبات رودخانه مرداب و ساحل دریای خزر و نیز وجود بیش از یک منبع عمده برای این عناصر در منطقه باشد. تفاوت در غلظت عناصر بین نمونه‌های رسوب رودخانه مرداب و ساحل دریای خزر که متأثر از همین رودخانه است می‌تواند به دلیل منابع آلاینده متعدد در مسیر رودخانه مرداب از جمله پساب‌های کشاورزی، فاضلاب‌های شهری و روستایی و همچنین زباله‌هایی باشد که در مسیر رودخانه وارد آن می‌شوند. علاوه بر این، منشأ زمین‌زاد عناصری مانند کروم نیز به صورت حضور در کانی‌های سنگین رسوبات ساحلی دور از انتظار نیست.

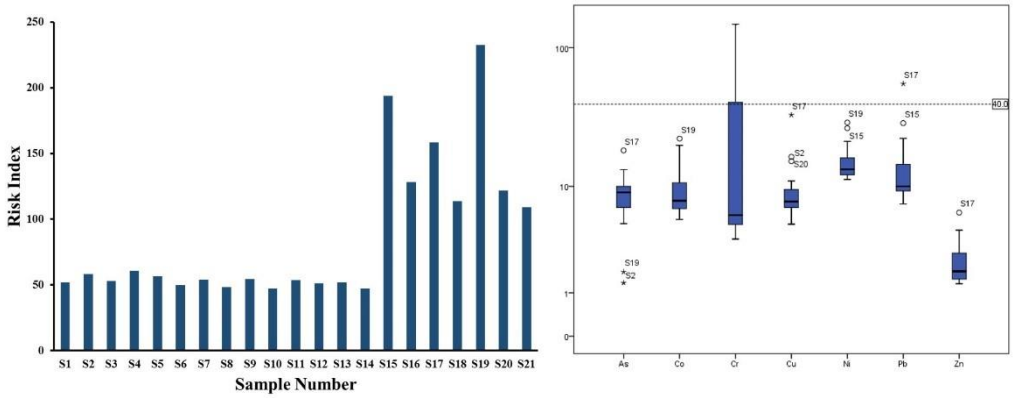
برای بررسی شدت آلودگی رسوبات رودخانه مرداب و ساحل دریای خزر از ضریب غنی‌شدگی (EF) استفاده شد. نتایج ضریب غنی‌شدگی در نمودار ۱ ارائه شده است. میانگین غنی‌شدگی عناصر مورد مطالعه به ترتیب Cr>Ni > Pb > Zn> Cu> V> Co> Mn> As است. نتایج به‌دست آمده از ضریب غنی‌شدگی براساس زمینه محلی نشان داد که کروم از نظر غنی‌شدگی در محدوده کم تا بسیار غنی‌شده قرار دارد. نیکل، کبالت، منگنز و وانادیم غنی‌شدگی کم تا متوسط نشان دادند. سرب، روی و مس در محدوده غنی‌شدگی کم تا زیاد قرار دارند. آرسنیک در تمام نمونه‌های رسوب غنی‌شدگی کم دارد. عناصر نیکل، سرب، کبالت، مس، منگنز، وانادیم و روی به ترتیب در ۹۵/۲۳، ۸۰/۹۵، ۹/۵۲، ۲۸/۵۷، ۹/۵۲، ۱۴/۲۸ و ۴۲/۸۵ درصد از نمونه‌های رسوب احتمالا تحت تاثیر منشأ انسان‌زاد قرار دارند. کروم در نمونه‌های رسوب پارک ساحلی که محل ورود رودخانه به دریا است، ساحل سفیر امید و ساحل صدف به ترتیب ضریب غنی‌شدگی ۳۰/۲۶، ۲۰/۳۳ و ۲۴/۷۰ را نشان می‌دهد. غنی‌شدگی عنصر کروم، سرب، روی و کبالت در بالا دست شهر آستارا می‌تواند ناشی از ورود پساب‌های مزارع شالیکاری به دلیل استفاده از کودهای فسفاته باشد (۳۳)، اما غنی‌شدگی بسیار بالای کروم در تمام رسوبات نواحی ساحلی و غنی‌شدگی متوسط عناصر سرب، نیکل و کبالت می‌تواند با توجه به چرخش جریان آب از سواحل کشور جمهوری آذربایجان به سمت سواحل آستارا، از منابع آلاینده این کشور نیز باشد که می‌تواند توسط جریان آب دریا در جهت پاد ساعتگرد وارد سواحل ایران شود. براساس طبقه‌بندی Zhang و همکار (۲۷) آرسنیک منشأ زمین‌زاد دارد و کروم به شدت تحت تاثیر منشأ انسان‌زاد قرار دارد. البته این احتمال نیز وجود دارد که این غنی‌شدگی بالا نشان‌دهنده صرفا انسان‌زاد بودن منشأ این عناصر نباشد چون در محاسبه ضریب غنی‌شدگی از غلظت زمینه محلی رودخانه استفاده شده است که اختلاف معنی‌دار زیادی بین غلظت عناصر در رودخانه مرداب و ساحل دریای خزر وجود دارد و با توجه به این که بافت نمونه‌های ساحلی درشت دانه‌تر از رودخانه است احتمال این که این غنی‌شدگی بالا ناشی از تمرکز کانی‌های سنگین در رسوبات ساحلی باشد زیاد است، که برای تایید این احتمال نیاز به انجام استخراج ترتیبی برای تعیین قرار گرفتن عنصر کروم در فازهای مختلف تبادل پذیر، احیاشونده، اکسید شونده و باقیمانده دارد.



نمودار ۱- نمودار جعبه‌ای ضریب غنی‌شدگی عناصر مورد مطالعه در رسوبات رودخانه مرداب و بخشی از ساحل دریای خزر

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-11-04]

نتایج خطر بوم‌شناختی عناصر در نمودار ۲ ارائه شده است. نتایج به طور کلی نشان می‌دهد که خطر بوم‌شناختی (E_r) برای عناصر آرسنیک، کبالت، مس، نیکل و روی در همه ایستگاه‌ها در محدوده خطر کم ($E_r < ۴۰$) قرار دارد. سرب در همه ایستگاه‌ها (به جز ایستگاه S۱۷، ($۸۰ < E_r < ۴۰$)) در محدوده خطر کم قرار دارد. کروم در ایستگاه‌های S۱۶، S۱۸، S۲۰ و S۲۱ خطر متوسط و در ایستگاه‌های ساحلی S۱۵ و S۱۹ خطر قابل توجهی ($۱۶۰ > E_r > ۸۰$) را نشان می‌دهد. همچنین نتایج به‌دست آمده از شاخص خطر بالقوه بوم‌شناختی (RI) نشان می‌دهد که به جز دو ایستگاه S۱۵ و S۱۹ بقیه ایستگاه‌ها از نظر خطر بالقوه بوم‌شناختی در محدوده خطر کم قرار می‌گیرند. مقایسه شاخص بالقوه بوم‌شناختی در این مطالعه با برخی مطالعات مشابه در سایر نقاط جهان نشان می‌دهد که این شاخص در رودخانه مرداب و بخشی از ساحل دریای خزر متأثر از رودخانه مرداب کمتر از رودخانه Halda در بنگلادش (۳۴)، رودخانه Lijiang در چین (۳۵)، بیشتر از رودخانه و سد مهاباد (۳۶)، رودخانه تجن ایران (۳۷) و رودخانه چشمه کیله مازندران (۳۸) است. دلیل بالا بودن خطر بالقوه بوم‌شناختی در رودخانه Halda فعالیت‌های انسانی متعدد در اطراف این رودخانه و در رودخانه Lijiang به دلیل فعالیت‌های کشاورزی و شهرنشینی در اطراف رودخانه است.



نمودار ۲- نمودار جعبه‌ای خطر بالقوه بوم شناختی عناصر مورد مطالعه در رسوبات رودخانه مرداب و بخشی از ساحل دریای خزر

تحلیل مولفه اصلی با استفاده از استخراج مولفه‌ها به ویژه مقدار بزرگ‌تر از ۱ و پس از چرخش واریمکس داده‌ها (Varimax rotation) با نرمال‌سازی کیزر (Kaiser normalization) استفاده شد. نتایج حاصل از تحلیل مولفه اصلی عناصر موردمطالعه نمونه‌های رسوب در جدول ۵ ارائه شده است. سه مولفه بیش از ۸۰ درصد از واریانس داده‌ها را استخراج می‌کنند. مولفه اول با توضیح ۴۳/۰۳ درصد از واریانس کل شامل اسکاندیم، کبالت، کروم، نیکل، وانادیم و pH است. این عناصر در منطقه دارای منشأ یکسان هستند که با توجه به توزیع آنها و قرارگیری اسکاندیم در این مولفه می‌توان نتیجه گرفت که این عناصر دارای منشأ عمدتا طبیعی هستند. فاکتور یا مولفه دوم با توضیح ۲۲/۴۸ درصد از واریانس کل شامل عناصر سرب، مس و روی بوده و می‌توان دریافت که این عناصر دارای منشأ عمدتا انسان‌زاد هستند و بیش از عناصر مولفه اول تحت تاثیر پساب‌های شهری قرار گرفته‌اند. آرسنیک نیز همراه با EC و OC در مولفه سوم با توضیح ۱۴/۹۶ درصد از واریانس کل قرار گرفته است و می‌توان نتیجه‌گیری کرد که این عنصر نیز دارای منشأ عمدتا انسان‌زاد است، با این تفاوت که نسبت به عناصر مولفه دوم بیشتر از پساب‌های کشاورزی و فاضلاب شهری منشأ گرفته است.

به طور کلی در صورت اثر منابع انسان‌زاد بر غلظت عناصر مورد مطالعه، غلظت این عناصر می‌تواند تحت تأثیر پساب‌های کشاورزی ورودی به رودخانه قرار گرفته باشد (۳۹). همچنین

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-11-04]

سوخت ناقص بنزین و رواناب‌های شهری می‌تواند دلیل دیگر آلودگی فلز سنگین سرب در رسوبات باشد (۴۰). در طول رودخانه فاضلاب‌های خانگی نیز وارد رودخانه می‌شود که در آلودگی آن تأثیر مهمی دارد. با در نظر داشتن این که آستارا شهر توریست پذیری است و سالانه میزبان مسافران زیادی است در نتیجه زباله‌های بیشتری تولید و وارد محیط زیست و در نهایت رودخانه مرداب می‌شود. نتایج به‌دست آمده لزوم توجه بیشتر نسبت به کاربرد کود و سموم کشاورزی و همچنین مدیریت پساب‌های شهری در منطقه را نشان می‌دهد. با این وجود، به دلیل انجام نشدن آزمایش استخراج گزینشی و تعیین فاز مرتبط با آلاینده‌ها در رسوب امکان تعیین دقیق منشأ طبیعی یا انسان‌زاد عناصر در رسوب وجود ندارد. همچنین تعداد محدود نمونه‌ها از کاستی‌های دیگر این مطالعه است که به این دلیل، امکان انجام آنالیز PMF (Positive Matrix Factorization) و بررسی دقیق‌تر منابع انتشار عناصر به رودخانه وجود ندارد.

جدول ۵- تحلیل مولفه اصلی عناصر در نمونه‌های رسوب

	Component		
	۱	۲	۳
Sc	۰/۸۵۳	-۰/۱۱٤	۰/۱٤۹
As	-۰/۳۰۳	۰/۳۹۵	۰/٦۲۲
Co	۰/۹۷۹	۰/۱۱۸	-۰/۰۰۹
Cr	۰/۹۷٤	۰/۱۱٤	۰/۱۱۹
Cu	-۰/۱۷۹	۰/۹٤۸	۰/۱۱۸
Mn	۰/۳٦۹	-۰/۱۲۷	-۰/۳٤٦
Ni	۰/۹۵۱	۰/۲۱۷	۰/۰۲٦
Pb	۰/۲۷۳	۰/۹۱۰	۰/۱۷٤
V	۰/۸۹۱	۰/۲۱۸	۰/۰۸٤
Zn	۰/٤۸۸	۰/۸٤۸	۰/۱۰۳
pH	۰/٦۰٤	۰/۲۱۷	۰/۳۱۱
EC(µS/cm)	۰/٤۵٦	-۰/۰۲۲	۰/۸۵۲
OC (%)	-۰/۱۷۷	۰/۲۲۵	۰/۵۱۲

براساس نتایج به‌دست آمده در جدول ۳ به طور کلی میانگین غلظت عناصر آرسنیک، مس، نیکل، سرب و روی در نمونه‌ها در پوسته برنج بیشتر از دانه برنج است. تنها کروم در دانه برنج غلظت بیشتری نسبت به پوسته دارد. این امر به ماهیت شیمیایی عناصر مختلف و گونه گیاهی مورد مطالعه بستگی دارد به طوری‌که آرسنیک عمدتا تمایل به تجمع در ریشه گیاهان داشته و بیشترین تجمع این عنصر معمولا در گیاهان غده‌ای مانند سیب زمینی و تربچه صورت می‌گیرد (۴۱-۴۳). به منظور ارزیابی خطر قرار گرفتن در معرض فلزات سنگین از طریق مصرف برنج (دانه) در منطقه مورد مطالعه، مقادیر نتایج تحقیق با مقادیر دریافت هفتگی قابل تحمل (PTWI) براساس استاندارد ارائه شده توسط WHO/FAO در

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-11-04]

جدول ۴ مقایسه شد. براساس آن، تخمین دریافت هفتگی (EWI) عناصر آرسنیک، کروم، مس، نیکل، سرب و روی از طریق مصرف g ۷۷۰ برنج در هفته برای فرد ایرانی با وزن متوسط kg ۶۰ کمتر از مقادیر مجاز دریافت ارائه شده این عناصر توسط WHO/FAO است. بنابراین مصرف برنج برای مصرف کنندگان مشکلی ایجاد نمی‌کند. البته با توجه به اینکه ویژگی بارز این عناصر پایداری آنهاست و مانند اکثر مواد آلی طی فرایندهای زیستی و شیمیایی تجزیه نمی‌شوند تجمع این فلزات در مواد غذایی و یا تجمع زیستی آنها در بافت‌های بدن باعث ایجاد صدمات مهمی در انسان می‌شود (۴۴). مقایسه نتایج حاصل از محاسبه تخمین دریافت هفتگی در این مطالعه با سایر مطالعات انجام شده نشان داد که در برنج‌های هندی وارداتی ایران (۴۵) مقادیر دریافت هفتگی قابل تحمل عناصر کروم، نیکل و کادمیم هر فرد در هفته از طریق مصرف برنج هندی میزان کمتری از دریافت این فلزات از استاندارد مشخص شده توسط WHO/FAO است. در مطالعه دیگری که توسط Naseri و همکاران (۴۶) در شیراز انجام شد، تخمین دریافت هفتگی عناصر نیکل، کروم از طریق مصرف برنج وارداتی و داخلی کمتر از PTWI بود ولی تخمین دریافت هفتگی سرب به طور قابل توجهی بالاتر از سایر فلزات سمی اندازه گیری شده بود و بالاترین مقدار میانگین EWI برای سرب در برخی از نمونه‌های برنج وارداتی (۲۵/۷۶ µg/kg BW) مشاهده شد. به دلیل تعداد محدود نمونه‌های برداشته شده (به ویژه نمونه برنج) امکان انجام آزمون‌های آماری مانند ضریب همبستگی بین نتایج آنالیز رسوب و برنج وجود ندارد. با این وجود، نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که تجمع عناصر در رسوب، اگرچه به میزان کم صورت گرفته باشد اما با توجه به منابع، تغییر شرایط فیزیکوشیمیایی امکان زادسازی آنها به محیط آب و انتقال به شالیزارها و محصولات منطقه را فراهم می‌آورد. از طرفی، علاوه استخراج ترتیبی، تعیین گونه‌های عنصری نیز اهمیت زیادی در تعیین سمیت آنها در محیط و مواد غذایی دارد (که در این مطالعه مورد توجه قرار نگرفته است) به طوری‌که کروم شش ظرفیتی گونه‌ای سرطانزاست درحالی‌که کروم سه ظرفیتی عنصری ضروری برای بدن محسوب می‌شود (۴۲).

نتیجه‌گیری

این مطالعه به منظور تعیین شدت آلودگی و ارزیابی خطر بوم‌شناختی عناصر آرسنیک، کبالت، کروم، مس، منگنز، نیکل، سرب، وانادیم و روی در رسوبات رودخانه مرداب و بخش تحت تاثیر آن در رسوبات ساحلی دریای خزر و نیز ارزیابی خطر سلامت مصرف برنج در شهرستان آستارا صورت گرفت. براساس نتایج میانگین ضریب غنی‌شدگی و خطر بوم‌شناختی این عناصر خطر کم تا متوسطی در اکثر ایستگاه‌ها داشتند اما در ایستگاه‌های ساحلی کروم خطر قابل توجهی از نظر آلودگی را نشان داد که می‌تواند نشان دهنده این باشد که علاوه بر پساب‌های کشاورزی و شهری دارای منابع آلودگی دیگری از جمله پساب‌های صنایع چرم و رنگ از کشورهای همسایه است. علاوه بر این، حضور عنصر کروم به صورت کانی سنگین در رسوبات ساحلی منطقه نیز کاملا محتمل است. براساس تحلیل مولفه اصلی اسکاندیم، کبالت، کروم، نیکل و وانادیم منشأ عمدتا زمین‌زاد، و سایر عناصر تحت تأثیر منابع انسانی قرار دارند. با این وجود انجام استخراج گزینشی یا نمونه‌برداری تکمیلی و افزایش تعداد نمونه‌ها برای استفاده از روش‌های دقیق‌تر منشأیابی مانند PMF منجر به تعیین منشأ دقیق عناصر خواهد شد. از نظر مصرف برنج، خطری برای مصرف کنندگان وجود ندارد اما با گذشت زمان و تجمع عناصر در محیط رودخانه‌ای امکان افزایش غلظت عناصر در محصولات زراعی نیز وجود دارد. بنابراین پایش منظم و دوره‌ای رسوبات رودخانه مرداب و ساحل دریای خزر از نظر آلودگی فلزات سنگین و نیز تعیین گونه‌های عناصر در رسوب و برنج در کنار نمونه‌برداری و آنالیز آب رودخانه پیشنهاد می‌شود.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-11-04]

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل بخشی از پایان نامه با عنوان "بررسی آلودگی ذرات میکروپلاستیک و تحرک‌پذیری عناصر جزئی در رسوبات رودخانه مرداب و ساحل دریای خزر، شهرستان آستارا" در مقطع کارشناسی ارشد در سال ۱۳۹۹ و کد ۱۵۴۶۸۴۹ است که با حمایت دانشگاه خوارزمی اجرا شده است.

References

1. Islam MS, Hossain MB, Matin A, Sarker MSI. Assessment of heavy metal pollution, distribution and source apportionment in the sediment from Feni River estuary, Bangladesh. Chemosphere. 2018;202:25-32.
2. Zhang C, Appel E, Qiao Q. Heavy metal pollution in farmland irrigated with river water near a steel plant—magnetic and geochemical signature. Geophysical Journal International. 2013;192(3):963-74.
3. Bai J, Xiao R, Zhang K, Gao H. Arsenic and heavy metal pollution in wetland soils from tidal freshwater and salt marshes before and after the flow-sediment regulation regime in the Yellow River Delta, China. Journal of Hydrology. 2012;450:244-53.
4. Ayeni OO, Ndakidemi PA, Snyman RG, Odendaal JP. Chemical, biological and physiological indicators of metal pollution in wetlands. Scientific Research and Essays. 2010;5(15):1938-49.
5. Liu Q, Wang F, Meng F, Jiang L, Li G, Zhou R. Assessment of metal contamination in estuarine surface sediments from Dongying City, China: use of a modified ecological risk index. Marine Pollution Bulletin. 2018;126:293-303.
6. Zhang Y, Han Y, Yang J, Zhu L, Zhong W. Toxicities and risk assessment of heavy metals in sediments of Taihu Lake, China, based on sediment quality guidelines. Journal of Environmental Sciences. 2017;62:31-38.
7. Liu Q, Jia Z, Li S, Hu J. Assessment of heavy metal pollution, distribution and quantitative source apportionment in surface sediments along a partially mixed estuary (Modaomen, China). Chemosphere. 2019;225:829-38.
8. Zhang Z, Lu Y, Li H, Tu Y, Liu B, Yang Z. Assessment of heavy metal contamination, distribution and source identification in the sediments from the Zijiang River, China. Science of the Total Environment. 2018;645:235-43.
9. Okoro HK, Fatoki OS, Adekola FA, Ximba BJ, Snyman RG. Geochemical assessment of sediment in Cape Town harbour, South Africa. Bulletin of the Chemical Society of Ethiopia. 2014;28(1):17-28.
10. Yusuf K, Osibanjo O. Trace metals in water and sediments from Ologe lagoon, southwestern Nigeria. Pakistan Journal of Scientific and Industrial Research. 2006;49(2):88.
11. Alrumman SA, El-kott AF, Keshk S. Water pollution: Source and treatment. American Journal of Environmental Engineering. 2016;6(3):88-98.
12. Lokeshwari H, Chandrappa G. Impact of heavy metal contamination of Bellandur Lake on soil and cultivated vegetation. Current Science. 2006:622-27.
13. Juliano BO. Rice in Human Nutrition. Rome, Italy: FAO; 1993.
14. Khaniki G, Zazoli M. Cadmium and lead contents in rice (Oryza sativa) in the North of Iran. International Journal of Agriculture and Biology. 2005;6:1026-29.
15. Yarahmadi SS, Ansari MR. Ecological risk assessment of heavy metals (Zn, Cr, Pb, As and

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-11-04]

Cu) in sediments of Dohezar River, North of Iran, Tonekabon city. Acta Ecologica Sinica. 2018;38(2):126-34.

16. Rastmanesh F, Hosna R, Zarasnandi A. Enrichment, origin, and health risk of heavy metals in rice fields: A case study of Ahvaz and Bavi counties. Advanced Applied Geology. 2019;9(1):75-84 (in Parsian).
17. Keshavarzifard M, Moore F, Sharifi R. The influence of physicochemical parameters on bioavailability and bioaccessibility of heavy metals in sediments of the intertidal zone of Asaluyeh region, Persian Gulf, Iran. Geochemistry. 2019;79(1):178-87.
18. Liang J, Liu J, Xu G, Chen B. Distribution and transport of heavy metals in surface sediments of the Zhejiang nearshore area, East China Sea: sedimentary environmental effects. Marine Pollution Bulletin. 2019;146:542-51.
19. Brito GB, da Silva Júnior JB, Dias LC, de Santana Santos A, Hadlich GM, Ferreira SLC. Evaluation of the bioavailability of potentially toxic metals in surface sediments collected from a tropical river near an urban area. Marine Pollution Bulletin. 2020;156:111215.
20. Hedayatsafa M, Mohammadian Roshan N. Investigating the amount of rice contamination in the main samples and ratoon. Paramedical Sciences and Military Health. 2019;14(2):1-7 (in Persian).
21. Shokrzadeh M, Paran-Davaji M, Shaki F. Study of the amount of Pb, Cd and Cr in imported Indian Rice to Iran and Tarom rice produced in the province of Golestan. Journal of Mazandaran University of Medical Sciences. 2014; 23 (109): 115-23 (in Persian).
22. Maryam Zare Khosha, Shahriar Sobh Z. Determination of heavy metal pollution by different enrichment methods in the sediments of Khajeh Kari river in Astara city. The First National Electronic Conference on Agriculture and Sustainable Natural Resources; 2013; Tehran (in Persian).
23. Ministry of Science, Research, and Technology. Study of metamorphic rocks of Astara region. Tehran: Ministry of Science, Research, and Technology; 2013 (in Persian).
24. Ryan J, Estefan G, Rashid A. Soil and Plant Analysis Laboratory Manual. Beirut, Lebanon: ICARDA; 2001.
25. Nelson DW, Sommers LE. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: Sparks DL, Page AL, Helmke PA, Loeppert RH, Soltanpour PN, Tabatabai MA, et al., editors. Methods of soil analysis. New York: John Wiley & Sons; 1996. p. 961-1010..
26. Loska K, Wiechuła D, Korus I. Metal contamination of farming soils affected by industry. Environment International. 2004;30(2):159-65.
27. Zhang J, Liu C. Riverine composition and estuarine geochemistry of particulate metals in China—weathering features, anthropogenic impact and chemical fluxes. Estuarine, coastal and Shelf Science. 2002;54(6):1051-70.
28. Sutherland R. Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii. Environmental Geology. 2000;39(6):611-27.
29. Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. Water Research. 1980;14(8):975-1001.
30. Suresh G, Ramasamy V, Sundarrajan M, Paramasivam K. Spatial and vertical distributions of heavy metals and their potential toxicity levels in various beach sediments from high-background-radiation area, Kerala, India. Marine Pollution

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-11-04]

Bulletin. 2015;91(1):389-400.
31. WHO. Evaluation of certain food additives and contaminants: thirty-third report of the joint FAO/WHO Expert Committee on food additives. Geneva: WHO; 1989.
32. Jafari A, Kamarehie B, Ghaderpoori M, Khoshnamvand N, Birjandi M. The concentration data of heavy metals in Iranian grown and imported rice and human health hazard assessment. Data in Brief. 2018;16:453-59.
33. Shakeri A, Shakeri R, Mehrabi B. Contamination, toxicity and risk assessment of heavy metals and metalloids in sediments of Shahid Rajaie Dam, Sefidrood and Shirinrood Rivers, Iran. Environmental Earth Sciences. 2016;75(8):679.
34. Islam MA, Das B, Quraishi SB, Khan R, Naher K, Hossain SM, et al. Heavy metal contamination and ecological risk assessment in water and sediments of the Halda river, Bangladesh: A natural fish breeding ground. Marine Pollution Bulletin. 2020;160:111649.
35. Xiao H, Shahab A, Xi B, Chang Q, You S, Li J, et al. Heavy metal pollution, ecological risk, spatial distribution, and source identification in sediments of the Lijiang River, China. Environmental Pollution. 2021;269:116189.
36. Lahijani O, Rastegari MM, Shakeri A, Yeganeh FM. Study of heavy metals in bottom sediments of Mahabad river and dam, and investigating the risk of consumption of edible fish in the area. Iranian Journal of Health and Environment. 2020;13(1):49-64 (in Persian).
37. Alahabadi A, Malvandi H. Contamination and ecological risk assessment of heavy metals and metalloids in surface sediments of the Tajan River, Iran. Marine Pollution Bulletin. 2018;133:741-49 (in Persian).
38. Malvandi H, Hassanzadeh N. Environmental and ecological risk evaluation of heavy metals in surface sediments of the CheshmeKile River, Mazandaran. Iranian Journal of Health and Environment. 2018;11(3):419-32 (in Persian).
39. Charkhabi A, Sakizadeh M. Land use effects on heavy metal pollution of river sediments in Guilan, southwest of the Caspian sea. Caspian Journal of Environmental Sciences. 2008;6(2):133-40.
40. Grzebisz W, Ciesla L, Komisarek J, Potarzycki J. Geochemical assessment of the heavy metals pollution of urban soils. Polish Journal of Environmental Studies. 2002;11(5):493-500.
41. Hashemi S. Investigation of zinc uptake in flooded and non-flooded soils: emphasis on mineralogy of soil components. Journal of Soil and Water Conservation Research. 2018;25(4):189-205 (in Persian).
42. Selinus O, Alloway B, Centeno JA, Finkelman RB, Fuge R, Lindh U, et al. Essentials of Medical Geology. New York: Springer; 2016.
43. Kabata-Pendias A, Mukherjee AB. Trace Elements from Soil to Human. New York: Springer; 2007.
44. Gulson BL, Davis JJ, Bawden-Smith J. Paint as a source of recontamination of houses in urban environments and its role in maintaining elevated blood leads in children. Science of the Total Environment. 1995;164(3):221-35.
45. Malakootian M, Yaghmaeian K, Meserghani M, Mahvi A. Determination of Pb, Cd, Cr and Ni concentration in imported Indian rice to Iran. Iranian Journal of Health and Environment. 2011;4(1):77-84 (in Persian).
46. Naseri M, Vazirzadeh A, Kazemi R, Zaheri F. Concentration of some heavy metals in rice types

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-11-04]

available in Shiraz market and human health risk assessment. Food Chemistry. 2015;175:243-48.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-11-04]

Available online: https://ijhe.tums.ac.ir

Orginal Article

Evaluation of heavy metals concentration in surface sediments of the Mordab river and parts of the Caspian Sea coast in Astara county

Samane Zeraatkari, Ata Shakeri*, Meisam Rastegari Mehr

Department of Applied Geology, Faculty of Earth Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran

ARTICLE INFORMATION:

Received: 24 February 2021
Revised: 08 May 2021
Accepted: 11 May 2021
Published: 21 June 2021

Keywords: Heavy metals, Ecological risk, Mordab river, Rice

***Corresponding Author:**
atashakeri@khu.ac.ir

ABSTRACT

Background and Objective: Due to the importance of Mordab river, the concentration and distribution of heavy metals in sediments and part of Caspian sea coast, mostly affected by the Mordab river, were evaluated. Additionally, considering the possibility of heavy metals release from sediments to water column and transfer to crops, the health risk of rice consumption in the region was assessed.

Materials and Methods: 21 sediments samples and 4 rice samples from paddy fields along the Mordab River were collected. Heavy metal contents of the samples were measured using ICP-MS. Data analysis was performed using enrichment factor (EF), ecological risk index (RI), health risk index, principal component analysis (PCA) and Mann-Whitney test.

Results: The maximum concentrations of elements was higher in coastal sediments than the Mordab River. The results showed low to moderate risk of elements in most stations except for two coastal stations which exhibited considerable risk of contamination with regard to Cr. Principal component analysis categorized the elements into three components of different origin. Moreover, the estimation of weekly intake of elements through rice consumption were less than their permissible concentration set by World Health Organization.

Conclusion: The concentration of chromium in sediments, especially coastal sediments, is high, which may be partly due to the concentration of heavy minerals (chromium) in this fraction. Therefore, the origin of elements, particularly chromium, should be determined through sequential extraction methods. On the other hand, despite the pollution of river sediments and high consumption of rice among the residents of the study area, there is no danger to rice consumers in terms of heavy metals.

Please cite this article as: Zeraatkari S, Shakeri A, Rastegari Mehr M. Evaluation of heavy metals concentration in surface sediments of the Mordab river and parts of the Caspian Sea coast in Astara county. Iranian Journal of Health and Environment. 2021;14(1):83-98.

Copyright © 2021 Iranian Association of Environmental Health, and Tehran University of Medical Sciences. Published by Tehran University of Medical Sciences. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Noncommercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-11-04]