

The Evaluation of Heavy Metals Pollution in the Surface Sediments of Mahabadchai River

ABSTRACT

Background and Aim: River sediments are one of the most important environmental indicators to determine the level of pollution in the ecosystems. This study aims to investigate the quality of Mahabad river sediments in West Azerbaijan province.

Materials and Methods: For this purpose, 15 samples of surface sediments (from 0-20 cm depth) of river were collected. Physical and chemical properties of sediments, including texture, organic matter, total neutralizing value, electrical conductivity, pH, and the total amount of heavy metals were measured. The correlation between physical and chemical properties of the sediments with heavy metals was performed using the Pearson correlation test in SPSS software.

Results: Mean total concentrations of the heavy metals, including arsenic, nickel, zinc, cadmium, lead, cobalt, chromium and copper were respectively, 13.29, 63.40, 60.53, 0.47, 0.39, 18.40, 44.47 and 25.93 mg / kg. Arsenic, nickel, and cadmium had the higher levels of the standard concentrations of heavy metals in the sediments. Regarding the results of the Pearson correlation coefficient, cation exchange capacity, organic matter, clay, and silt have the most significant positive correlation with the distribution of heavy metals. On the other hand, except for copper, chromium, and cobalt, all other elements show a significant positive correlation of 99%. The results showed that all elements have the same origin.

Conclusion: According to the results obtained from upstream and downstream samples, it can be said that the concentration of elements in the upstream was in terms of natural factors, and downstream, heavy metal pollution has increased by increasing human activity.

Keywords: Pollutants, River sediments, Standard concentration of heavy metals, Mahabadchai

Reza Kheiri Soltan Ahmadi

MSc student, Department of Range and Watershed Management, Urmia University, Urmia, Iran.

Habib Nazarnejad

* Associate Professor, Department of Range and Watershed Management, Urmia University, Urmia, Iran.

Associate Professor, Department of Range & Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources, Gorgan, Iran.

(Corresponding author):

Email: h.nazarnejad@gau.ac.ir

Farrokh Asadzadeh

Associate Professor, Department of Soil Science, Urmia University, Urmia, Iran.

Received: 2021/12/16

Accepted: 2022/01/31

Document Type: Research article

► **Citation:** Kheiri Soltan Ahmadi R, Nazarnejad H, Asadzadeh F. The evaluation of heavy metals pollution in the surface sediments of Mahabadchai River. *Iranian Journal of Research in Environmental Health*. Spring 2022; 8(1): 46-58.

ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات سطحی رودخانه مهابادچای

چکیده

زمینه و هدف: تعیین غلظت فلزات سنگین در رسوبات رودخانه‌ای، یکی از شناساگرهای زیست‌محیطی بسیار مهم برای تعیین میزان آلودگی در بوم‌سازگان هستند. مطالعه حاضر با هدف بررسی کیفیت رسوبات از لحاظ وجود فلزات سنگین در رودخانه مهاباد در استان آذربایجان غربی انجام شد.

مواد و روش‌ها: بدین منظور ۱۵ نمونه رسوبات سطحی (از عمق ۰-۲۰ سانتی‌متری) رودخانه برداشت شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی رسوبات شامل: بافت، مواد آلی، مواد خنثی‌شونده، هدایت الکتریکی، pH و مقدار کل فلزات سنگین اندازه‌گیری شد. همبستگی بین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی رسوبات با فلزات سنگین، با استفاده از آزمون همبستگی پیرسون در نرم‌افزار SPSS، وزن ۲۲ انجام شد.

یافته‌ها: میانگین غلظت کل فلزات سنگین آرسنیک، نیکل، روی، کادمیوم، سرب، کبالت، کروم و مس به‌ترتیب ۱۳/۲۹، ۶۳/۴۰، ۶۰/۵۳، ۰/۴۷، ۰/۳۹، ۱۸/۴۰، ۴۴/۴۷ و ۲۵/۹۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. آرسنیک، نیکل و کادمیوم، مقادیری بالاتری از غلظت استاندارد فلزات سنگین در رسوبات را داشتند. بر اساس نتایج همبستگی پیرسون، ظرفیت تبادل کاتیونی، ماده آلی، رس و سیلت بیشترین همبستگی مثبت معنی‌دار را با نحوه توزیع فلزات سنگین داشتند. از طرف دیگر به‌غیر از مس، کروم و کبالت، بقیه عناصر با هم همبستگی مثبت معنی‌دار ۷۹۹٪ را نشان دادند. بر اساس نتایج، همه عناصر دارای منشأ یکسانی هستند.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج به‌دست آمده از نمونه‌های بالادست و پایین‌دست می‌توان گفت غلظت عناصر در بالادست ناشی از عوامل طبیعی بوده و در پایین‌دست با افزایش فعالیت‌های انسانی، آلاینده‌ی فلزات سنگین بیشتر شده است.

کلید واژه‌ها: آلاینده، رسوبات رودخانه‌ای، غلظت استاندارد فلزات سنگین، مهابادچای

رضا خیری سلطان احمدی

دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

حمیب نظرزاد

* دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.
دانشیار، گروه آبخیزداری، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم و کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

(نویسنده مسئول): پست الکترونیک:

h.nazarnejad@gau.ac.ir

فرخ اسدزاده

دانشیار گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۱۱

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

◀ استناد: خیری سلطان احمدی، نظرزاد ح.، اسدزاده ف. ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات سطحی رودخانه مهابادچای. فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط. بهار ۱۴۰۱؛ ۱(۸): ۴۶-۵۸.

مقدمه

رودخانه‌ها از دیرباز به‌عنوان مهم‌ترین منابع تأمین آب شرب و یکی از مهم‌ترین بوم‌سازگان‌های زیستی محسوب می‌شوند (۱). با گسترش صنعتی شدن جوامع و افزایش بهره‌وری از آب‌های سطحی، امکان آلودگی رودخانه‌ها توسط آلاینده‌های کشاورزی، صنعتی و فاضلاب‌های انسانی افزایش یافته است. آب‌های سطحی با شست‌وشو و حمل عناصر مختلف باعث آلودگی می‌شوند و رسوبات رودخانه‌ای، به‌عنوان اصلی‌ترین جاذب و ذخیره آلاینده‌ها با اثر ماندگاری بالا و طولانی‌مدت در منابع طبیعی و محیط زیست دارای اهمیت بسیاری هستند (۲). تجمع فلزات سنگین در رسوبات و تأثیرات سمی آن‌ها در نمونه‌های بیولوژیکی موجود در رسوبات، می‌تواند سلامت انسان را به مخاطره اندازد. دریافت فلزات سنگین از طریق مواد غذایی آلوده و آب و آبزیان می‌تواند منجر به جهش‌های سرطان‌زا، کاهش قدرت سیستم ایمنی بدن و ناتوانی‌های مرتبط با سوء تغذیه شود (۳). قرار گرفتن حاد در معرض فلزات سنگین می‌تواند منجر به آسیب یا کاهش عملکرد عصبی مرکزی و ذهنی و آسیب به سلول‌های خونی، کلیه‌ها، کبد، ریه‌ها و سایر اندام‌های حیاتی انسان شود (۴). برای مثال، قرار گرفتن طولانی‌مدت در معرض حتی غلظت‌های پایین آرسنیک می‌تواند خطر ابتلاء به سرطان پوست و ریه را افزایش دهد (۵). فلزات سنگین از جمله آلاینده‌های مهم رسوبات به‌شمار می‌آیند که می‌توانند از منابع انسان‌زاد و زمین‌زاد وارد محیط زیست شوند. اگرچه ورود عناصر سمی به محیط زیست اجتناب‌ناپذیر است، با این حال با مدیریت منابع ورود آلاینده‌ها، می‌توان تا اندازه‌ای اثرات آلودگی این فلزات را به حداقل رساند (۶). مطالعات بسیاری به‌منظور شناسایی منبع آلودگی و عوامل مؤثر در توزیع و پراکندگی فلزات سنگین در رودخانه‌های جهان صورت گرفته است (۷-۱۰). نتایج پژوهش‌های قبلی نشان داد فلزات سنگین موجود در رسوبات، همبستگی معنی‌داری با سلیت ریز رسوبات دارد که می‌تواند نشان‌دهنده تأثیرگذاری توزیع اندازه ذرات رسوبات در میزان غلظت فلزات سنگین باشد (۱۱).

مرتضوی و جودکی در ارزیابی آلودگی فلزات سنگین و پهنه‌بندی کیفی رسوبات رودخانه قره‌سو نشان دادند که رسوبات رودخانه از نظر آلودگی به عنصرهای روی، سرب و کروم در طبقه غیرآلوده و از نظر آلودگی به فلز مس با درجه آلودگی ۱، در طبقه از غیرآلوده تا آلودگی متوسط قرار می‌گیرد. همچنین رودخانه از نظر آلودگی فلزات سنگین در طبقه ریسک اکولوژیکی قابل ملاحظه قرار داشته و احتمال آلودگی به مس و سرب در منطقه وجود دارد (۱۲). مطالعه ژئوشیمیایی آب و رسوب رودخانه بادآور استان لرستان رسوبات در بخش آلودگی فلزات سنگین کادمیم، سرب، کروم، روی، مس، منگنز و نیکل نشان داد که در نمونه‌های رسوب برداشت شده، منشأ عمدتاً انسان‌زاد برای روی، مس، منگنز و نیکل متصور است و بیشتر آلودگی‌ها در محدوده شهر است. نتایج این پژوهش بر لزوم مدیریت تخلیه فاضلاب‌های شهری و پساب‌های کشاورزی به رودخانه تأکید داشت (۱۳). نظری و همکاران به‌منظور تعیین اثرگذاری عناصر مضر به‌ویژه فلزات سنگین، مقادیر این عناصر را در رسوبات سطحی دریاچه ارومیه به‌صورت موردی در قسمت میان‌گذر در سه ایستگاه مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که غلظت فلزات مس و آرسنیک بیشتر از میانگین پوسته‌ای بوده و نمونه‌های مطالعه شده از لحاظ وجود این عناصر نسبت به مقادیر پوسته‌ای آلوده می‌باشند (۱۴). کوکینا و لبوس با مطالعه فلزات سنگین در رودخانه Cai به این نتیجه رسیدند عناصر آهن، منگنز، کروم، کبالت، نیکل و مس از منابع طبیعی نشأت گرفته‌اند. غنی‌شدگی این عناصر کمتر از ۱/۵ و شاخص زمین‌انباشت آن‌ها کمتر از صفر بوده است، درحالی‌که سرب با غنی‌شدگی بین ۱ تا ۲ دارای آلودگی متوسط است (۱۵). یانگ و همکاران در بررسی زیست‌فراهمی فلزات سنگین کادمیوم، کروم، مس، روی و سرب با کمپوست بیوجار کاه برنج عنوان کردند علاوه بر عوامل محیطی، ارتباط شیمیایی و بیوشیمیایی فلزات سنگین با هم، از عوامل مهم کاهش زیست‌فراهمی فلزات سنگین بوده است، با این حال، کمپوست کاه برنج در کاهش خطر زیست‌فراهمی فلزات سنگین

غلظت عناصر بالقوه سمی موجود در رسوبات سطحی رودخانه مهابادچای و تعیین نقش این رسوبات در جذب عناصر بالقوه سمی و بررسی احتمال رهاسازی عناصر از رسوب و ورود آن‌ها به آب به‌عنوان عامل تهدیدکننده، از اهداف دیگر این مطالعه بود که در توسعه راهبردی این حوضه با توجه به حفظ کیفیت و کمیت آب و حوضه‌های آبخیز مشابه در دیگر نقاط اهمیت بالایی دارد.

روش کار

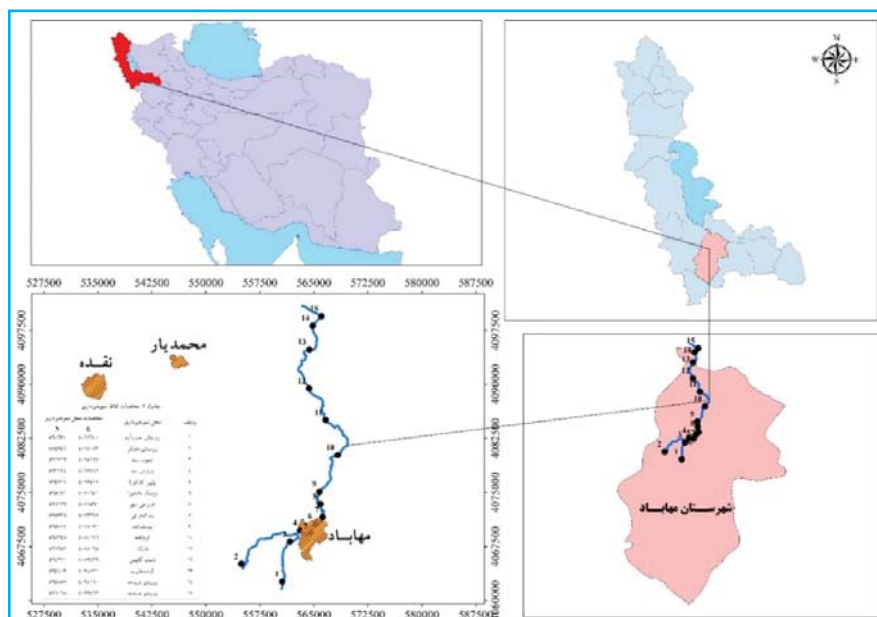
توصیف منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در استان آذربایجان غربی، شهرستان مهاباد واقع شده است. رودخانه مهاباد یکی از مهم‌ترین و پرآب‌ترین رودخانه‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه به‌شمار می‌آید که با طول ۸۰ کیلومتر، از دو شاخه عمده به نام‌های چم‌قوره و داغه و چند شاخه کوچک تشکیل شده است. مساحت حوضه آبخیز رودخانه مهاباد ۸۰۶ کیلومتر مربع و متوسط آورد سالانه آن ۲۹۵ میلیون متر مکعب است (۲۰). این رودخانه در دشت‌های پایین‌دست سد مهاباد جریان یافته و پس از مشروب کردن شهر مهاباد و بخش‌های تابعه آن، وارد سد انحرافی یوسف‌کندی می‌شود. سپس از روستاهای ایری‌قاش، قم‌قلعه و قره‌قشلاق عبور کرده و در شمال روستای خورخوره وارد باتلاق‌های جنوب دریاچه ارومیه می‌شود. منطقه مورد مطالعه بین طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۳ دقیقه و ۴۵ ثانیه تا ۴۵ درجه و ۳۹ دقیقه و ۱۴ ثانیه شرقی، و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳ دقیقه و ۵۷ ثانیه تا ۳۶ درجه و ۴۲ دقیقه و ۴۰ ثانیه شمالی واقع شده است. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و مختصات نقاط نمونه‌برداری را نشان می‌دهد.

نحوه نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه‌ها

نمونه‌برداری در طول رودخانه مهاباد و با در نظر گرفتن مواردی مانند محل‌های نزدیک به زهکش‌های احداث شده در سواحل رودخانه و مکان‌های تخلیه پساب‌های کشاورزی و خانگی انجام شد. نمونه‌برداری از مناطق بالادست سد مهاباد و از محل‌های تخلیه فاضلاب‌های شهری و صنعتی، مناطق دارای احتمال آلودگی و

مؤثر بود (۷). بریتو و همکاران با ارزیابی فلزات سنگین کادمیوم، سرب، مس، نیکل و روی در رسوبات رودخانه پاراگوچو در برزیل نشان دادند مقدار فلزات سنگین در دسترس گیاهان و جلبک‌ها کمتر از حد استاندارد مشخص شده است و هیچ خطر اکولوژیکی در محیط آبی این رودخانه متصور نیست (۱۶). اکثر و همکاران غلظت فلزات سنگین در آب و رسوبات رودخانه Meghna را در طول فصل تر و خشک اندازه‌گیری کردند که نتایج آنها نشان داد غلظت عناصر در طول فصل خشک، مقادیر بالاتری را نشان می‌دهند. غلظت روی و مس در رسوبات بالاتر از استاندارد بودند (۱۷). ناسکیمتو و همکاران با ارزیابی زیست‌فراهمی فلزات سنگین در خاک جنگل‌های حرا در Alagoas برزیل نشان دادند که همه فلزات سنگین در رسوبات وجود دارند، با این حال غلظت کادمیوم بالاتر از حد استاندارد CONAMA است (۱۸). مالوکو و همکاران در بررسی آلودگی فلزات سنگین رودخانه Ereniku کوزوو در ۱۳ ایستگاه نشان دادند که غلظت کروم در تمام ایستگاه‌ها بیشتر از حد استاندارد تعیین شده است، البته این فلز بیشتر منشأ زمین‌شناسی دارد، درحالی‌که سایر فلزات سنگین که غلظت آن‌ها کمتر از محدوده مجاز بودند، منشأ انسانی دارند (۱۰). از آنجایی که میزان تولیدی فاضلاب و آلاینده‌های منابع روزبه‌روز در حال گسترش است، لذا بررسی آلودگی رودخانه‌ها جهت برنامه‌ریزی‌های منطقه‌ای و زیست‌محیطی از حساسیت ویژه‌ای برخوردار است. در این بین، آلودگی به فلزات سنگین را باید یکی از مهم‌ترین عوارض جدی فشار به منابع و از آلاینده‌های بسیار قوی محیطی به حساب آورد. فلزات سنگین اضافه شده از معادن و منابع انسانی به رودخانه‌ها و جابجایی آن‌ها در طول مسیر انتقال رودها در بین بخش‌های مختلف، بررسی مقایسه‌ای اثرات منفی و تأثیرگذاری آن‌ها، در جلوگیری از خطرات احتمالی زیست‌محیطی رودخانه کاملاً ضروری به‌نظر می‌رسد (۱۹). مطالعه حاضر با هدف تعیین غلظت فلزات سنگین تجمع‌یافته در رسوبات بستر مناطق مختلف رودخانه مهابادچای و مقایسه قدرت آلودگی فلزات سنگین در نقاط بالادست و پایین‌دست رودخانه انجام شد. تحلیل



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه برداری

به وسیله تیتراسیون برگشتی با هیدروکسید سدیم انجام شد و برای تعیین غلظت کل عناصر سنگین در رسوبات از روش هضم اسیدی پیشنهاد شده توسط اسپوزیتو استفاده شد (۲۶). مقادیر فلزات سنگین با استفاده از دستگاه جذب اتمی (مدل Agilent-AA240) اندازه گیری شد (۲۶). برای مطالعه ارتباط و همبستگی بین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی رسوبات، غلظت کل نمونه های مورد مطالعه از آزمون همبستگی پیرسون در نرم افزار SPSS، ورژن ۲۲ استفاده شد.

یافته ها

مطالعه حاضر با هدف ارزیابی کیفیت رسوبات رودخانه مهاباد در استان آذربایجان غربی انجام شد. بر اساس نتایج جدول ۱ و نمودار ۱، حداکثر ظرفیت تبادل کاتیونی ۱۷/۳۰ سانتی مول بار بر کیلوگرم در ایستگاه شماره ۱۰ در میانه رودخانه و حداقل آن ۸/۴۵ سانتی مول بار بر کیلوگرم در نمونه های بالادست رودخانه مشاهده شد و درصد تغییرات آن ۲۱/۳۵ بود. درصد تغییرات کل مواد خنثی شونده ۷/۶ بود که اختلاف بین کمترین و بیشترین مقادیر اندک و در دامنه ۱۱/۸ تا ۱۵/۱۰ در نوسان بود. ماده آلی

قابلیت دسترسی شروع و در محدوده داخلی شهر و روستاهای اطراف رودخانه ادامه داشته و نقطه پایانی برداشت نمونه، از مصب رودخانه مهابادچای، از باتلاق ها و تالاب های اقماری نزدیک به دریاچه ارومیه انتخاب و انجام شد؛ بدین ترتیب که از هر ۱۵ نقطه انتخابی مسیر رودخانه، یک نمونه مرکب (از هر محل تعداد ۳ نمونه به فواصل ۵۰ تا ۱۰ متری از یکدیگر) از رسوب سطحی (۰-۲۰ سانتی متری) برداشت شد (۲۱، ۲۲) (شکل ۱).

تعیین ویژگی های فیزیکی و شیمیایی نمونه های رسوب

نمونه ها به آزمایشگاه انتقال داده شد. پس از خشک نمودن در معرض هوا و عبور از الک ۲ میلی متری، بافت رسوبات رودخانه ای بر پایه قانون استوکس (جداسازی ذرات بر اساس چگالی) و به روش هیدرومتری تعیین شد. pH و قابلیت هدایت الکتریکی نمونه های رسوب در عصاره گل اشباع و عصاره ۱:۵ به ترتیب با استفاده از دستگاه pH متر (Clean PH500) و دستگاه هدایت سنج (۹۵۰ BANTE) اندازه گیری شدند (۲۳). درصد ماده آلی به روش اکسیداسیون تر تعیین شد (۲۴) و اندازه گیری ظرفیت تبادل کاتیونی با روش باور^۱ (۲۵) انجام شد. کل مواد خنثی شونده رسوب

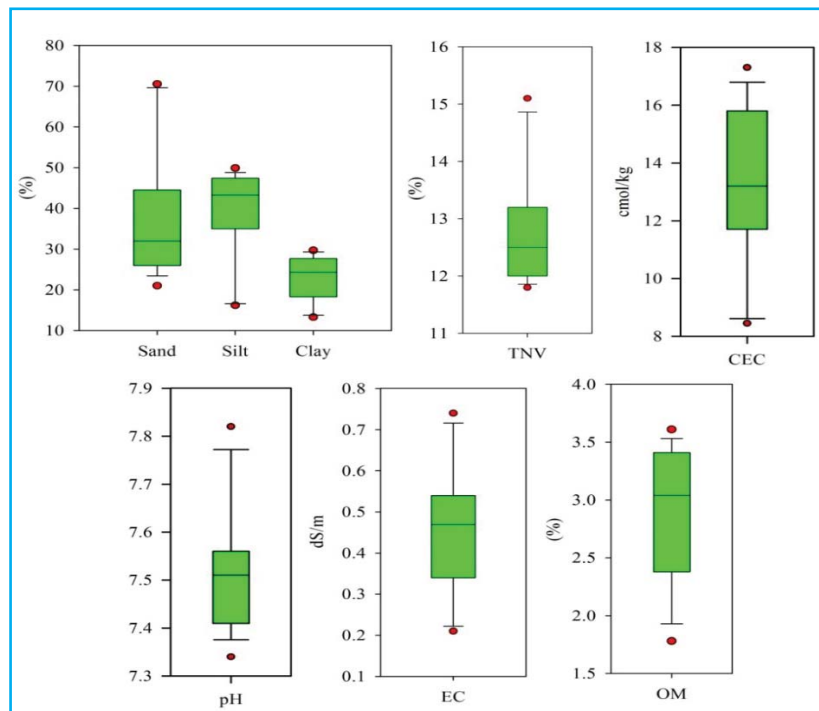
1. Bower

بالادست و ورودی دریاچه ارومیه بود. حداقل و حداکثر ماسه، سیلت و رس به ترتیب ۲۱ و ۱۶ و ۱۳ درصد و ۷۰ و ۴۹ و ۲۹ درصد بود و ماسه، سیلت و رس، به ترتیب بیشترین ضریب تغییرات را داشتند. درصد ماسه در بالادست رودخانه بیشتر بود و تا پایین دست کاهش چشمگیر داشت؛ درحالی که سیلت و رس، افزایش تدریجی در طول رودخانه داشتند.

در محدوده بین ۱/۷۸ تا ۳/۶۱ درصد در نوسان بود و حداقل و حداکثر ماده آلی به ترتیب مربوط به نمونه‌های بالادست و نمونه‌های ورودی دریاچه ارومیه بود. مقدار pH تمامی رسوبات، خنثی و اندکی قلیایی و بین ۷/۳۴ تا ۷/۸۲ متغیر بود. ضریب تغییرات pH ۱/۷٪ و بسیار ناچیز بود. حداقل و حداکثر هدایت الکتریکی ۰/۲۱ تا ۰/۷۱ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب مربوط به نمونه‌های

جدول ۱. آمار توصیفی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی رسوبات

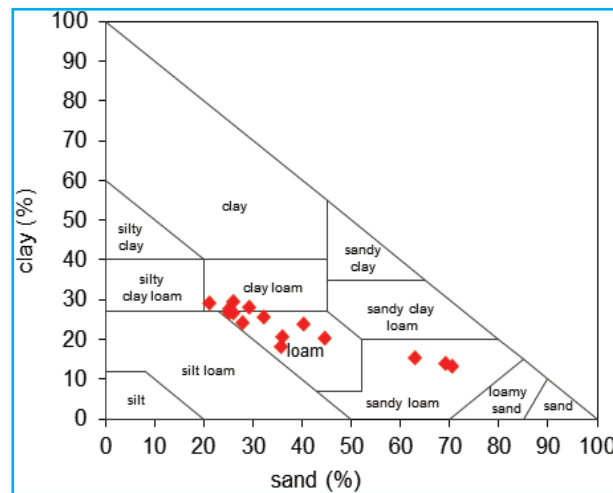
پارامترهای آماری	حداکثر	حداقل	میانگین	انحراف معیار	درصد تغییرات
حداکثر ظرفیت تبادل کاتیونی (سانتی‌مول بار بر کیلوگرم)	۱۷/۳۰	۸/۴۵	۱۳/۳۱	۲/۸۴	۲۱/۳۵
تغییرات کل مواد خنثی‌شونده (%)	۱۵/۱۰	۱۱/۸۰	۱۲/۸۵	۰/۹۹	۷/۶۹
ماده آلی (%)	۳/۶۱	۱/۷۸	۲/۸۹	۰/۶۱	۲۱/۱۵
pH	۷/۸۲	۷/۳۴	۷/۵۲	۰/۱۳	۱/۷۶
هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	۰/۷۴	۰/۲۱	۰/۴۸	۰/۱۵	۳۳/۰۸
شن (%)	۷۰/۵۰	۲۱/۰۱	۳۸/۰۷	۱۶/۵۳	۴۳/۴۳
سیلت (%)	۸۹/۴۹	۱۶/۲۰	۳۸/۹۵	۱۱/۵۹	۲۹/۷۴
رس (%)	۲۹/۷۰	۱۳/۳۰	۲۲/۹۷	۵/۵۵	۲۴/۱۷



نمودار ۱. نمودار باکس‌پلات خصوصیات فیزیکی و شیمیایی رسوبات

بافت رسوبات

بافت رسوبات با استفاده از مثلث بافت تعیین شد (نمودار ۲). نمونه‌های بالادست در رده رسوبات دانه‌درشت با بافت ماسه‌ای لوم و سپس نمونه‌های میانه رودخانه که بیشترین تعداد نمونه‌ها بودند، بافت لومی داشتند، نمونه‌های پایین دست رودخانه بافت دانه ریزتر رسی لومی داشتند.



نمودار ۲. مثلث طبقه‌بندی بافت رسوبات

آمار توصیفی فلزات سنگین

جدول ۲ و نمودار ۳ آمار توصیفی فلزات سنگین در رسوبات رودخانه مهاباد را نشان می‌دهد، مقادیر این فلزات با غلظت استاندارد رسوب آمریکا (NOAA) ^۱ مقایسه شد. میانگین غلظت فلزات سنگین روند $Ni > Zn > Cr > Cu > Co > As > Pb > Cd$ را نشان داد. غلظت کل روی، کادمیوم، سرب، کبالت، کروم و مس در همه ایستگاه‌ها کمتر از غلظت استاندارد کیفیت رسوب آمریکا بود. غلظت متوسط آرسنیک نسبت به استاندارد دامنه اثر متوسط (ERM) ^۲ کمتر از حد استاندارد بود، ولی میانگین بالاتری از استاندارد دامنه اثر حداقل (ERL) ^۳ را داشت (۲۷). بیشتر بودن غلظت آرسنیک نسبت به استاندارد ERL هشدار جدی برای احتمال آلودگی در آینده به فلزات سنگین بوده و حفاظت از منابع آب ضروری است. همچنین غلظت نیکل در تمام ایستگاه‌ها بالاتر از استاندارد ERL و ERM بود، بنابراین کانون‌های آلودگی رسوبات به فلزات سنگین به‌ویژه نیکل باید شناسایی شوند و برای جلوگیری از آلودگی رسوبات تصمیم‌گیری شود.

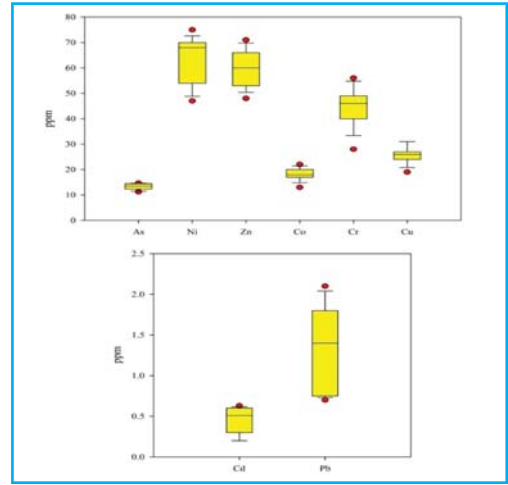
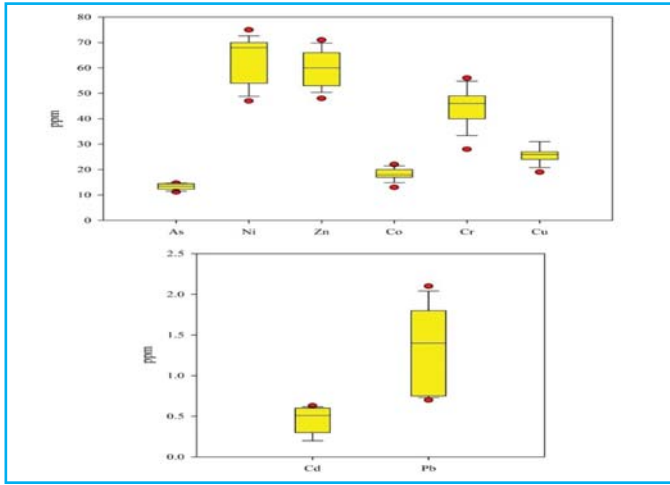
جدول ۲. آمار توصیفی فلزات سنگین در نمونه‌های برداشت شده و استانداردهای ERL و ERM برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم (ppm)

عناصر	حداکثر	حداقل	میانگین	انحراف معیار	درصد تغییرات	ERL	ERM
As(ppm)	۱۴/۶۷	۱۱/۲۰	۱۳/۲۹	۱/۱۹	۸/۹۵	۸/۲	۷۰
Ni(ppm)	۷۵	۴۷	۶۳/۴۰	۸/۶۱	۱۳/۵۸	۲۵/۹	۵۱/۶
Zn(ppm)	۷۱	۴۸	۶۰/۵۳	۶/۹۵	۱۱/۴۸	۱۵۰	۴۱۰
Cd(ppm)	۰/۶۳	۰/۲۰	۰/۴۷	۰/۱۵	۳۲/۰۲	۱/۲	۹/۶
Pb(ppm)	۲/۱۰	۰/۷۰	۱/۳۹	۰/۴۹	۳۵/۰۶	۴۶/۷	۲۱۸
Co(ppm)	۲۲	۱۳	۱۸/۴۰	۲/۲۰	۱۱/۹۴	-	-
Cr(ppm)	۵۶	۲۸	۴۴/۴۷	۷/۱۵	۱۶/۰۸	۸۱	۳۷۰
Cu(ppm)	۳۱	۱۹	۲۵/۹۳	۳/۰۸	۱۱/۸۸	۳۴	۲۷۰

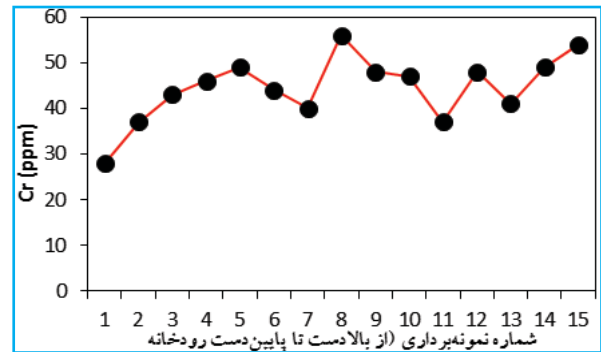
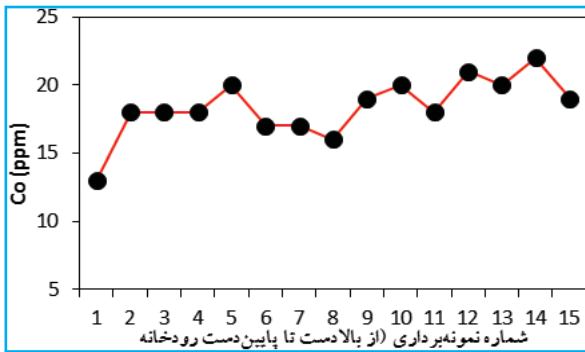
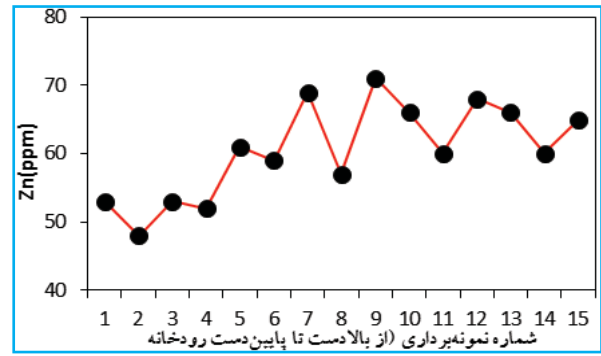
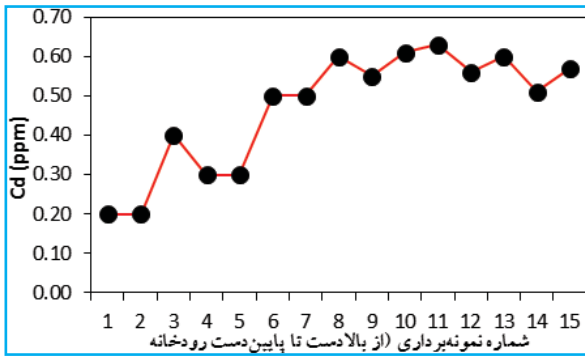
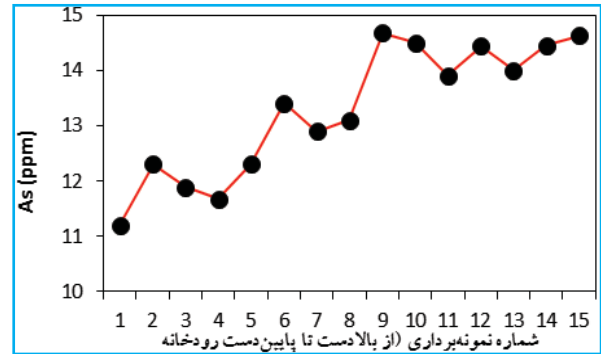
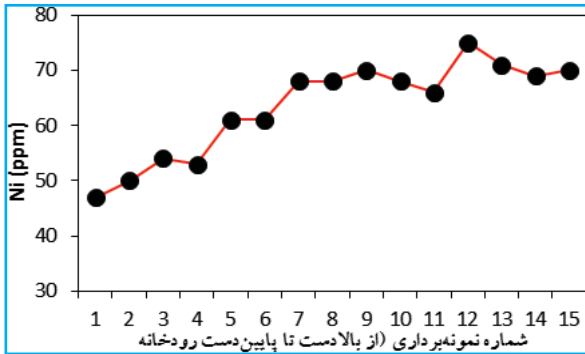
1. National Oceanic and Atmospheric Administration

2. Effect Range Median

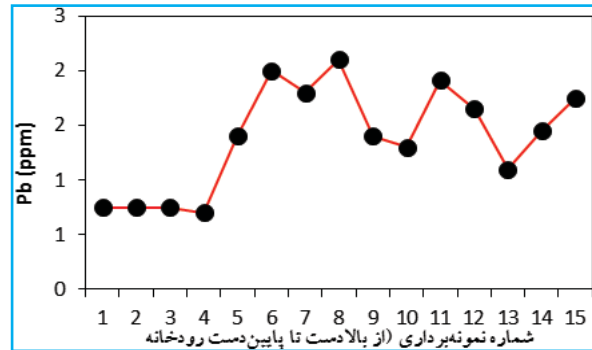
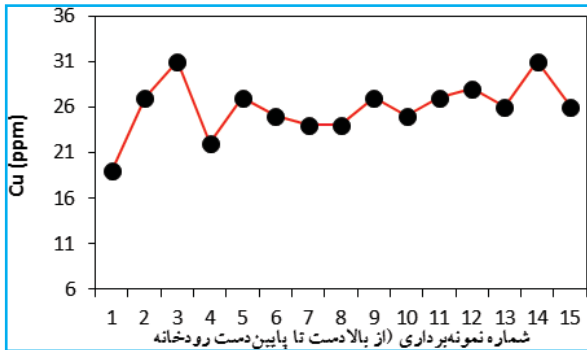
3. Effects Range Low



نمودار ۳. نمودار باکس پلات فلزات سنگین در رسوبات



نمودار ۴. روند تغییرات میزان فلزات سنگین در رسوبات رودخانه مهاباد



ادامه نمودار ۴. روند تغییرات میزان فلزات سنگین در رسوبات رودخانه مهاباد

نتایج نشان داد که با ورود رودخانه به محدوده شهری با فعالیت‌های صنعتی و نیمه‌صنعتی، مقدار غلظت فلزات سنگین در رسوبات به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. با در نظر گرفتن این نکته که در مناطق بالادست رودخانه و قبل از ورودی شهر، غلظت‌ها کم هستند؛ می‌توان نتیجه‌گیری کرد این افزایش غلظت و آلودگی بیش از اینکه منشأ زمین‌شناختی داشته باشد، بیشتر در نتیجه فعالیت‌های انسانی^۲ است.

همبستگی بین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی رسوبات و فلزات سنگین

همان‌طور که در جدول ۳ نشان داده شده است، آرسنیک، نیکل، روی و کادمیوم دارای ارتباط مثبت و معنادار $(p < 0.01)$ با ظرفیت تبادل کاتیونی، ماده آلی، هدایت الکتریکی، pH، سیلت و رس بودند. در این مطالعه از بالادست به طرف پایین‌دست ذرات دانه‌ریز مانند رس و سیلت و محیط‌هایی با میزان ظرفیت تبادل کاتیونی و ماده آلی و هدایت الکتریکی بالا افزایش یافت؛ این حقیقت مشخص است که غلظت این عناصر بیشتر شده و فعالیت شیمیایی بیشتری دارد. هرچه مواد خنثی‌شونده و اندازه ذرات در بالادست رودخانه افزایش داشته باشد، غلظت این عناصر کم می‌شود.

سرب با میزان رس و سیلت رابطه معنادار در سطح 99% $(p < 0.01)$ و با ظرفیت تبادل کاتیونی، ماده آلی و هدایت الکتریکی رابطه مثبت و معنادار در سطح 95% $(p < 0.05)$

غلظت آرسنیک در طول رودخانه روند افزایشی داشت و افزایش و کاهش‌های پی‌درپی در طول رودخانه رخ داده بود. ایستگاه‌های شماره ۲، ۶، ۹، ۱۲ و ۱۵ بیشترین غلظت آرسنیک در طول رودخانه را داشتند. همان‌گونه که در نمودار ۴ نشان داده شده است، میزان نیکل از بالادست تا پایین‌دست افزایش یافته بود و حداکثر میزان نیکل در ایستگاه ۱۲ مشاهده شد. تغییرات روی کاملاً حالت نوسانی داشت و در طول رودخانه افزایش و کاهش مداوم داشته است. ایستگاه‌های شماره ۷، ۹ و ۱۲ دارای اوج اصلی غلظت روی در طول رودخانه بودند. تغییرات کادمیوم تدریجی و افزایشی بوده است، فقط نمونه شماره ۳ و ۵ با افزایش ناگهانی میزان غلظت کادمیوم در طول رودخانه مواجه بوده‌اند. تغییرات سرب در طول رودخانه تابعی از فاصله از مراکز شهری و صنعتی بود. غلظت سرب در بالادست رودخانه کمترین میزان را داشت. نمونه‌های ۵ و ۶ و ۸ و ۱۱ و ۱۵ حالت افزایشی و نمونه‌های ۷ و ۹ و ۱۲ حالت کاهش‌ی داشتند. برای کبالت، ۲ روند کلی مشاهده شد، ۵ نمونه بالادست افزایش تدریجی داشتند، پس از آن نمونه‌های ۶ و ۷ و ۸ روند کاهش‌ی داشتند و در نهایت سایر نمونه‌های پایین‌دست رودخانه به‌صورت نوسانی افزایش یافته بودند. روند تغییرات کروم با فراز و فرودهایی همراه بود. در نمونه‌های بالادست رودخانه (۱ تا ۵) افزایش تدریجی مشاهده شد. سپس نمونه‌های ۶ و ۷ کاهش‌ی بوده و سپس روند کاهش‌ی و افزایش‌ی دیگری مشاهده شد. به‌طور کلی تغییرات مس نوسانی و پایدار بوده و بیشترین مقدار آن مربوط به ایستگاه‌های ۳ و ۱۴ بود.

1. Geogenic pollution
2. Anthropogenic pollution

با هیچ یک از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی رسوبات ارتباطی نداشت و به صورت مستقل عمل می کرد.

آرسنیک، نیکل، روی، کادمیوم و سرب دارای ارتباط مثبت و معنادار در سطح ۹۹٪ ($p < 0/01$) بوده و بیانگر رفتار شیمیایی یکسان این عناصر در رسوبات و منشأ یکسان برای عناصر بود (۲۸). کربال و کروم نیز در سطح ۹۵٪ ($p < 0/05$) با نیکل ارتباط مثبت و معنادار داشتند، همچنین مس و کربال ارتباط ۹۹٪ ($p < 0/01$) مثبت با هم داشتند. از آنجایی که فعالیت های انسانی در طول رودخانه افزایش یافته اند، احتمال ورود آلاینده ها از کودهای شیمیایی و آفت کش ها دور از انتظار نیست (۲۹).

داشت. همچنین سرب با ماسه و مواد خنثی شونده به ترتیب رابطه منفی ۹۹٪ و ۹۵٪ داشت.

غلظت کربال تابعی از میزان سیلت، pH، درصد ماده آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی است. افزایش هر یک از این پارامترها تأثیر معنادار و مثبت در سطح ۹۵٪ ($p < 0/05$) با غلظت کربال داشت. همانند سایر عناصر، مواد خنثی شونده و درصد ماسه در رسوبات ارتباط معنادار منفی با کربال داشتند.

افزایش ماده آلی و سیلت در سطح ۹۵٪ ($p < 0/05$) باعث افزایش غلظت کروم شد. مواد خنثی شونده و ذرات ماسه اثر منفی و معنادار ۹۵٪ ($p < 0/05$) بر غلظت کروم داشت. غلظت مس

جدول ۳. تعیین ضریب همبستگی پیرسون بین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و فلزات سنگین رسوبات

Cr	Co	Pb	Cd	Zn	Ni	As	Clay	Silt	Sand	EC	pH	OM	TNV	CEC	
														-0/86**	TNV
													-0/92**	0/94**	OM
												0/69**	-0/46	0/66*	pH
											0/78**	0/85**	-0/75**	-0/82**	EC
										0/86**	-0/59*	-0/92**	-0/88**	-0/94**	Sand
									-0/98**	0/80**	0/54*	0/85**	-0/82**	0/90**	Silt
								0/84**	-0/93**	0/89**	0/63*	0/97**	-0/92**	0/90**	Clay
							0/87**	0/81**	-0/86**	0/81**	0/69**	0/91**	-0/82**	0/89**	As
						0/89**	0/91**	0/86**	-0/91**	0/81**	0/55*	0/92**	-0/89**	0/89**	Ni
					0/86**	0/76**	0/71**	0/75**	-0/76**	0/69*	0/37	0/75**	-0/73**	0/77**	Zn
			0/71**	0/89**	0/84**	0/88**	0/79**	-0/84**	0/71**	0/39	0/87*	0/17*	-0/78*	0/84*	Cd
			0/53*	0/69**	0/57	0/63**	0/70**	-0/70**	0/65*	0/26	0/56*	0/56*	-0/58*	0/56*	Pb
		0/10	0/40	0/45	0/61*	0/65	0/56	0/60*	-0/61*	0/52	0/68*	0/65	-0/64	0/63	Co
	0/52*	0/47	0/49	0/35	0/59*	0/50	0/55	0/67*	-0/66*	0/45	0/40	0/54	-0/55	0/52	Cr
0/35	0/73**	0/10	0/30	0/15	0/36	0/43	0/29	0/24	-0/27	0/23	0/38	0/37	-0/49	0/24	Cu

** ارتباط مثبت معنادار در سطح 0/01، * ارتباط مثبت معنادار در سطح 0/05

بحث

غلظت آرسنیک و کادمیم بالاتر از غلظت استاندارد است. اقبالی و معطر در بررسی علت آلودگی رسوبات رودخانه سفیدرود (۱)؛ میرزایی و سلگی (۳۰) در بررسی آلودگی رسوبات زاینده رود؛ زمانی و همکاران (۳۱) در پهنه بندی مقدار فلزات سنگین خاک سطحی اطراف کارخانه سیمان کردستان؛ شهیدی کاویانی و پیکانپورفرد (۳۲) در بررسی آلودگی خاک به فلزات سنگین در منطقه کارون

در این پژوهش از غلظت استاندارد رسوب آمریکا به عنوان یکی از متداول ترین شاخص های مورد استفاده در پژوهش های مختلف استفاده شد. بالا بودن غلظت فلزات سنگین در نمونه های میانی رودخانه (محدوده شهر مهاباد) و پایین دست آن بیانگر این است که فعالیت های صنعتی و تخلیه فاضلاب های شهری و روستایی، علت آلودگی رودخانه است. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که

غذایی، باعث مخاطراتی برای سلامت انسان‌ها و محیط زیست شده است. ماده آلی و سیلت مهم‌ترین پارامتر تحرک فلزات سنگین می‌باشند زیرا با افزایش میزان ماده آلی و افزایش سطح مقطع، ظرفیت تبادل کاتیونی بیشتر شده و تأثیر مستقیم در واکنش‌های آب و رسوب و دسترسی زیستی فلزات را دارند (۳۴). همبستگی مثبت عناصر آرسنیک، کادمیوم، نیکل، روی، سرب و کروم نشان از منشأ یکسان آن‌ها در منطقه مورد مطالعه دارد.

با توجه به نتایج حاصل از شاخص‌ها، غلظت عناصر کروم، سرب، مس و روی کمتر از استاندارد بود که نشان می‌دهد در رابطه با آلودگی این عناصر در شرایط فعلی، جای نگرانی وجود ندارد، ولی با در نظر گرفتن اینکه غلظت فلزات سنگین در نواحی صنعتی، شهری و مناطق کشاورزی بسیار بیشتر از سایر مناطق بود، پیشنهاد می‌شود که پایش رسوبات از نظر آلودگی به‌طور مستمر انجام شود.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان تمام نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند. همچنین هرگونه تضاد منافع حقیقی یا مادی که ممکن است بر نتایج یا تفسیر مقاله تأثیر بگذارد را رد می‌کنند.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه ارومیه که ما را در انجام این پژوهش با کد پایان‌نامه کارشناسی ارشد شماره ۴۰۶۶ یاری نمودند تشکر و قدردانی می‌شود.

خوزستان و انصاری‌نیا و همکاران (۳۳) در ارزیابی آلودگی رسوبات با فلزات سنگین در تالاب گندمان نیز نتیجه گرفتند که میزان غلظت کادمیوم بیشتر از غلظت استاندارد است. وجود غلظت بالای کادمیوم ناشی از راه‌یابی بقایای کود و سموم کشاورزی از اراضی اطراف رودخانه به آب و رسوب است. این موضوع نشان می‌دهد عنصر کادمیوم، از عناصر اصلی آلودگی رسوبات است که از طریق پساب‌های کشاورزی و رواناب شهری وارد بوم‌سازگان رودخانه‌ای و تالاب می‌شوند. توسعه اراضی زراعی در اطراف شهر مهاباد و تالاب کانی‌برازان، می‌تواند عامل اصلی آلودگی رسوبات به عنصر کادمیوم باشد.

نتایج مطالعه شمس و همکاران (۵) نیز نشان داد که میانگین سطوح کروم در آب‌های سطحی، زیرزمینی و خاک اطراف کارخانه دباغی مغان به دلیل آلودگی ایجاد شده توسط کارخانه بالا بوده که نیازمند توجه بیشتر و اجرای روش‌های پیشگیری از آلودگی بیشتر توسط متخصصان محیط‌زیست و تصمیم‌گیرندگان است. در این پژوهش نیز بر نقش اثرات توسعه انسانی بر آلودگی منابع آب و محیط زیست تأکید شد.

نتیجه‌گیری

رودخانه‌ها به‌عنوان یکی از اجزای بوم‌سازگان نقش مهمی در انتقال آلاینده‌ها دارند. رسوبات نیز با توجه به توانایی بالا در نگهداشت آلاینده‌ها، نقش اساسی در سلامت آب‌های سطحی دارند. فلزات سنگین با تنوع زیاد در خصوصیات شیمیایی، در رسوبات تجمع یافته و همراه آن جریان می‌یابند. ورود فلزات سنگین به زنجیره

References

1. Eghbali Shamsabad P MM, Moattar F. Study on the heavy metals (Cr, Cd, Pb,) and organic materials of sefid-Rud River with respect to their geological origin. Journal of wetland biology. 2011;2(3):39-55. (Persian).
2. Morseli M MM, NasrAbadi T, Harati H. Geochemical Study of Heavy Metals in Dam Reservoir Water of Kalghan Dam (Bostanabad City, East Azarbaijan). Geochemistry. 2016;5(2):60-71. (Persian).
3. Surana R MG, Ekhalak A. Mohini G, Ekhalak A. Assessment of Heavy Metal Contamination in Estuarine Sediment, Gujarat, India. IJRAR. 2019;6(1):104-9.
4. Sadeghi H FM, Zarei A, Mahvi AH, Nazmara S. Spatial distribution and contamination of heavy metals in surface water, groundwater and topsoil surrounding Moghan's tannery site in Ardabil, Iran. International Journal of Environmental Analytical Chemistry. 2020(23):1-11.
5. Shams M TNN, Dehghan A, Alidadi H, Paydar M, Mohammadi AA, Zarei A. Heavy metals exposure, carcinogenic and non-carcinogenic human health risks assessment of groundwater around mines in Joghatai, Iran. International Journal of Environmental Analytical Chemistry. 2020(22):1-6.
6. Keshavarzi B EP, Moore F, Hamzeh MA. Geochemistry and distribution of heavy metals in coastal and marine

- sediments of Chabahar Bay. *Advanced Applied Geology*. 2013;3(1): 74-81. (Persian).
7. Yang T MJ, Jeyakumar P, Cao T, Liu Z, He T, Cao X, Chen W, Wang H. Effect of pyrolysis temperature on the bioavailability of heavy metals in rice straw-derived biochar. *Environmental Science and Pollution Research*. 2021;28(2):2198-208.
 8. Lai TM LW, Hur J, Kim Y, Huh IA, Shin HS, Kim CK, Lee JH. Influence of sediment grain size and land use on the distribution of heavy metals in sediments of the Han River basin in Korea and assessment of anthropogenic pollution. *Water Air Soil Pollution*. 2013;224(7):1-12.
 9. Li M ZQ, Sun X, Karki K, Zeng C, Pandey A, Zhang F. Heavy metals in surface sediments in the trans-Himalayan Koshi River catchment: Distribution, source identification and pollution assessment. *Chemosphere*. 2020;244:125410.
 10. Maloku F AA, Kopali A, Doko A, Malltezi J, Brahushi F, Sulçe S. Water and sediment heavy metal pollution in Ereniku River of Kosovo. *Albanian journal of agricultural sciences*. 2015;14(2):137-48.
 11. Arfania H AF. Heavy Metals Bio-availability (Zn, Cd, Ni, Cu, and Pb) in Sediments of Abshineh River. *Soil Management and sustainable production*. 2016;5(4):133-46. (Persian).
 12. Mortazavi S H-MM, Joudaki F. Evaluation of toxicity and ecological risk assessment of heavy metals in surface sediments of Sezar River, Lorestan Province. *International Journal of Health and Environmen*. 2019; 487-504. (Persian).
 13. Hasanvand N FTG. Geochemical study of water and sediments in the Badavar River, Lorestan Province: environmental implications. *Journal of stratigraphy and sedimentology researches*. 2020;35(4): 105-28. (Persian).
 14. Nazari F MM, Asghari Moghaddam A, Simons V. Investigation of heavy metals concentration and their environmental consequences in surface sediments in the Urmia Lake intermediate section as a source of fine dust. *International conference on Geographic and Environmental impacts of Urmia Lake conditions Tabriz, Iran* (Persian) 2016.
 15. Koukina SE LN. Relationship between enrichment, toxicity, and chemical bioavailability of heavy metals in sediments of the Cai River estuary. *Environmental monitoring and assessment*. 2021;192:5.
 16. Brito GB dSJJ, 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.
 17. Akter B IM, Hoque MMM, Kabir MH, Rehnuma M. Assessment of Heavy metals contents in water and sediments of the Meghna River in Bangladesh. *Bangladesh Journal of Environmental Science*. 2019;37:32-9.
 18. Nascimento V X BA, Azevedo JA, Miranda PR, da Costa JG. Bioavailability of heavy metals in mangrove soil in Alagoas, Brazil. *Bioscience Journal*. 2019;35(3):25-818
 19. Bazzi A. Determining the level of heavy metal pollution in surface sediments of the Gulf of Chabahar. *International Journal of Health and Environment* 2015;8(1):45-56. (Persian).
 20. Tanhaei V RKN. Water Qualitative monitoring of water of Mahabad River in terms of microbiological parameters Based on Protocol 1011 of the National Iranian Standards Organization. *New cellular and molecular biotechnology journal*. 2018;8(31):57-64. (Persian).
 21. Chen Z CL, Chen C, Huang Q, Wu L, Zhang W. Organotin contamination in sediments and aquatic organisms from the Yangtze Estuary and adjacent marine environments. *Environmental Engineering Science*. 2017;34(4):227-35.
 22. Wei J DM, Li Y, Nwankwegu AS, Ji Y, Zhang J. Concentration and pollution assessment of heavy metals within surface sediments of the Raohe Basin, China. *Scientific Reports*. 2019;9(1):1-7.
 23. GW. T. Soil pH and soil acidity, P 475-490. In: A. Klute (Ed.), *methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods*. Madison, Wisconsin, USA.; 1996.
 24. DL. R. *Soil science: Methods and application*. Longman Group, Harlow; 1994.
 25. Bower CA RR, Fireman M. Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. *Soil science*. 1952;73(4):251-62.
 26. Sposito G LL, Chang AC. Trace metal chemistry in arid-zone field soils amended with sewage sludge: I. Fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd and Pb in solid phases. *Soil Science Society of American Journal*. 1982;46:260-4.
 27. GA. BJ. Sediment quality criteria in use around the world. *Limnology*. 2002;3(2)::65-76.
 28. Kederman P OA. Effect of redox potential on heavy metal binding forms in polluted canal sediments in Delft (The Netherlands). *Water Research* 2007;41(18):4251-61.
 29. Surana R MG, Ekhalak A. Assessment of Heavy Metal Contamination in Estuarine Sediment, Gujarat, India. *International Journal of Research and Analytical Reviews*. 2019;6(1):104-9.
 30. mirzaei M SE. Evaluation of heavy metals concentration (cadmium, copper, manganese, nickel, lead and zinc) in sediments of Zayandehrood River. *Iranian Journal of Research in Environmental Health*. 2015;1(4):251-65. (Persian).
 31. Zamani A AE, Zanganeh A, Khosravi Y. Mapping the heavy metals proportions in surface soils of the closed Kurdistan cement factory zone. *Iranian Journal of Research in Environmental Health*. 2017;3(1):40-55. (Persian).
 32. Shahidi Kaviani I PFP. Study of Soil Pollution with Heavy Metals Cadmium, Lead, and Copper in West Karoun Oilfields, Khuzestan Province, Iran. *Journal of Research in*

- Environmental Health. 2020;6(2):161-72. (Persian).
33. Ansari Nia M SM, Ghaneei- Bafghi MJ, Iranmanesh Y. Assessment and Measurement of Heavy Metals Contamination in Sediments of Gandoman Wetland. Wetland Ecobiology. 2021;13(1):35-50. (Persian).
34. Liu B AS, Zhang W, Huang D, Zhang Y. Assessment of the bioavailability, bioaccessibility and transfer of heavy metals in the soil-grain-human systems near a mining and smelting area in NW China. Science of the Total Environment 2017;609:822-9.