

Monitoring of Heavy Metals Contamination (Pb, Zn, Cr and Cu) in Sediments of Balkhlou River of Ardebil by Implication of Sediment pollution Indices

Maryam Shaddel¹, Samar Mortazavi^{2*}, Lima Tayebi³, Behnaz Raheli namin⁴

1. MS. Candidate of Environmental Pollution, Malayer University, Malayer, Iran

2. Assistant Professor, Department of Environmental Science, Malayer University, Malayer, Iran

3. Assistant Professor, department of Fisheries, Malayer University, Malayer, Iran

4. Ph.D of Environmental Science, Malayer University, Malayer, Iran

* E-mail: mortazavi.s@gmail.com

Received: 20 Jul 2018 ; Accepted: 10 Jan 2019

ABSTRACT

Background and Objectives: Water contamination of heavy metals is one of the major threats to human health and food chain. In this study, concentration of heavy metals of Lead, Chromium, Copper and Zinc in sediment was measured in order to assess their ecological effects and their risk.

Methods: To determine the concentration of metals, 12 stations were selected along the river and 3 samples from the sediment were taken in each station. After the preparation and acid digestion of the samples, the concentration of these metals was determined using atomic absorption device.

Results: The average total concentration of Lead, Copper, Chromium and Zinc metals in sediments was obtained in mg / kg (22.24 ± 8.08). The results showed that the pollution load and ecological risk of heavy metals in the area are in lower risk category. The environmental hazard of metals was also evaluated (Zinc <Chromium <Copper> Lead). Also, by calculating the geochemical index of molars and contamination coefficient of Balkhloo sediments, the pollution of heavy metals was classified with zero degree of contamination and in non-contaminated area.

Conclusion: Based on the results, the contamination and the ecological risk level of metals in the sediments of the region are evaluated at a low level.

Key words: Heavy metals, Ecological risk assessment, Sediment quality index, Balkhloo.

پایش آلودگی فلزات سنگین (سرب، روی، کروم و مس) در رسوبات رودخانه بالخلو اردبیل با شاخص های برآورد آلودگی رسوب

مریم شاددل^۱، ثمر مرتضوی^{۲*}، لیما طیبی^۳، بهناز راحلی نمین^۴

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد آلودگی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

^۲ استادیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

^۳ استادیار گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

^۴ دکتری محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۷/۴/۲۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۲۰

چکیده

زمینه و هدف: آلودگی بوم سازگان‌های آبی به فلزات سنگین یکی از خطرات و تهدیدهای مهم سلامت جامعه انسانی و زنجیره غذایی محسوب می‌شود. در پژوهش حاضر غلظت فلزات سنگین سرب، کروم، مس و روی در رسوبات رودخانه بالخلو، به منظور ارزیابی اثرات و خطر اکولوژیکی آنها مورد اندازه‌گیری قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: جهت سنجش غلظت فلزات ۱۲ ایستگاه در طول رودخانه انتخاب و در هر ایستگاه ۳ نمونه از رسوب برداشت شد. پس از آماده سازی و هضم اسیدی نمونه‌ها، غلظت فلزات مذکور با استفاده از دستگاه جذب اتمی تعیین گردید.

یافته‌ها: متوسط کل غلظت فلزات سرب، مس، کروم و روی در رسوبات به ترتیب به میزان $(5/41 > 6/08 > 13/29 > 22/04)$ میلی‌گرم بر کیلوگرم بدست آمد. یافته‌ها نشان داد بار آلودگی و خطر اکولوژیکی فلزات سنگین منطقه در طبقه خطر پایین قرار دارد. همچنین خطر محیط‌زیستی فلزات به صورت (روی > کروم > مس > سرب) ارزیابی گردید. همچنین، با محاسبه شاخص ژئوشیمیایی مولر و ضریب آلودگی رسوبات رودخانه بالخلو از نظر آلودگی به عناصر سنگین مورد بررسی، با درجه آلودگی صفر و در محدوده غیر آلوده طبقه بندی شد.

نتیجه‌گیری: براساس نتایج حاصل وضعیت آلودگی و میزان خطر اکولوژیکی فلزات در رسوبات منطقه، در حد پایین ارزیابی می‌گردد که بر لزوم حفظ و کنترل شرایط موجود تاکید دارد.

کلمات کلیدی: فلزات سنگین، ارزیابی خطر اکولوژیکی، شاخص کیفیت رسوبات، روخانه بالخلو

مقدمه

آب برای زندگی و همه فعالیت های انسان لازم و ضروری است و مهم ترین و با ارزش ترین ماده موجود در میان منابع تجدید پذیر که ی زمین محسوب می گردد. دسترسی به آب سالم، کافی و با کیفیت مناسب، از بارزترین شرایط دستیابی به توسعه پایدار است. رودخانه ها به عنوان یکی از منابع اساسی تامین آب برای همه موجودات زنده تلقی می شوند و در مصارف گوناگون از جمله کشاورزی، شرب و صنعت مطرح می باشند. در این میان فلزات سنگین به طور طبیعی به مقدار اندک در بوم سازگان های طبیعی یافت می شوند. این عناصر جزء آلاینده های بسیار پایدار بوده و طی فرایند زیستی تجزیه نمی شوند. در حالت کلی فلزات سنگین دارای دو منشأ طبیعی و انسانی هستند. که در طبیعت به واسطه هوازدگی و فرسایش سنگ ها و از منابع انسانی به واسطه فعالیت های شهری، صنعتی، کشاورزی، رواناب های زمینی و دفع فاضلاب وارد بوم سازگان های آبی می شوند.^۱ محیط های آبی به طور طبیعی دریافت کننده ی نهایی فلزات هستند. رسوبات حمل کننده های بسیار مهم فلزات سنگین بوده و نقش مهمی در انتقال و ذخیره سازی آلاینده ها در چرخه ی آبی محیط زیست ایفا می نمایند.^۲ به همین جهت امروزه آلودگی ناشی از فلزات سنگین در محیط های آبی به یکی از بزرگترین مشکلات و نگرانی ها در سراسر جهان تبدیل شده است.^۳ این فلزات دارای خواص و ویژگی های همچون سمیت، پتانسیل سرطان زایی و جهش زایی زیاد، پایداری بسیار طولانی، تجمع پذیری بالا در سطوح مختلف زنجیره غذایی هستند.^۴ بنابراین بررسی خصوصیات کیفی رسوبات سطحی و اندازه گیری آلودگی فلزات سنگین در مکان های مختلف اعم از ساحلی و بستر رودخانه ها یک ابزار مدیریتی مهم به منظور ارزیابی و سنجش سلامتی بوم سازگان ها محسوب می شود.^۵ این منابع آلاینده، با داشتن ترکیبات و آلودگی های مضر که در اکثر مواقع به

صورت پایدار سیستم تولید و توزیع آب شرب و سلامتی مردم را با خطراتی مواجه ساخته، از دیدگاه اقتصادی و محیط زیستی نیز دارای اهمیت بسیاری می باشد. بر این اساس مطالعه ژئوشیمیایی رسوبات پیکره های آبی مانند رودخانه ها و مصب ها می تواند گام موثری برای یافتن منشأ آلودگی، الگوی پراکنش عناصر و ارزیابی محیط زیستی فلزات سنگین برای مدت محدود در یک منطقه باشد.

مطالعات متعددی در این زمینه انجام شده است. برای نمونه، در مطالعه ای که مرتضوی و همکاران در بررسی که میزان فلزات سنگین تالاب هشیلان (استان کرمانشاه) با نمونه برداری از رسوبات سطحی آن در پنج ایستگاه با سه تکرار پرداختند. غلظت کل فلزات و همچنین غلظت فلزات سنگین در بخش های ژئوشیمیایی رسوبات با روش استخراج پی در پی اندازه گیری گردید. میانگین غلظت کل مس، سرب و آهن به ترتیب ۱۸/۵۷، ۶/۹۵ و ۲۴/۳۷۹ میکروگرم بر گرم تعیین گردید. نتایج سهم فلزات در بخش های مختلف ژئوشیمیایی رسوبات، بیانگر غالب بودن منشأ طبیعی برای دو فلز سرب و آهن، و منشأ انسانی برای فلز مس می باشد.^۶ مطالعات بهادر و مرادی در رسوبات سطحی مصب رودخانه شور، شرق بندرعباس نشان داد که آلودگی فلزات سنگین (سرب، روی، نیکل، آهن) با استفاده از استاندارد های کیفیت رسوب و با مقادیر زمینه ای فلزات در رسوبات جهانی مقایسه کردند، نشان داد که مقادیر نیکل در منطقه مورد مطالعه از مقادیر این فلز در همه مناطق دیگر بیشتر و میزان سرب از دیگر مناطق مقایسه شده در این پژوهش کم تر بود.^۷ در مطالعه ای دیگر که Kadhum و همکاران به بررسی غلظت فلزات سنگین کادمیوم، نیکل، کروم و قلع در رسوبات سطحی رودخانه Langat پرداختند. سنجش شاخص های زمین انباشت مولر (Igeo)، ضریب غنی شدگی (EF)، شاخص بار آلودگی (PLI) و ضریب آلودگی (CF) نشان داد رسوبات منطقه دارای غنی شدگی شدید نسبت به قلع و غنی شدگی متوسط نسبت

های گوناگون هریک در تغییر محیط زیست رودخانه بالخلو موثر بوده و موجب کاهش کیفیت رودخانه شده است.^۲ در این راستا اندازه‌گیری فلزات سرب، کرم، روی و مس بعنوان عناصر مهمی که امکان حضور از منابع محیطی در منطقه دارند و همچنین امکانات آزمایشگاهی در دسترس، امکان سنجش آنها را محقق می‌نماید بعنوان عناصر آلاینده هدف انتخاب شدند.

از آنجاکه آنالیز رسوبات، سهم مهمی در تعیین وضعیت آلودگی مناطق دارد^{۲۲} و از آنجاکه غلظت کل فلزات سنگین شاخص مفیدی برای ارزیابی وضعیت آلودگی خاک می‌باشد اما اطلاعات کافی در ارتباط با قابلیت جذب و سمیت فلزات سنگین و حتی منشا آنها ارایه نمی‌نماید در پژوهش حاضر آلودگی رسوبات منطقه به فلزات سنگین با استفاده از شاخص‌های ژئوشیمیایی ضریب انباشتگی (Igeo)، ضریب آلودگی (Cf) و شاخص بار آلودگی (PLI) پرداخته شده و همچنین مقایسه میانگین غلظت کلی فلزات سرب، کروم، مس و روی با استانداردهای NOAA و SQGs منطقه مورد مطالعه برای تشخیص فعالیت‌های تأثیر گذار انسان روی محیط‌زیست آن صورت گرفته است. نتایج تحقیق حاضر می‌تواند در مدیریت شهری از دیدگاه کنترل و کم کردن آلودگی فلزات سنگین در دوره گسترش شهرها و صنعتی شدن سودمند باشد.

مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه شامل رودخانه رودخانه بالخلو، که این رودخانه از جمله رودخانه‌های دائمی استان اردبیل می‌باشد که از گردنه بالخلو در جنوب غربی شهرستان نیر حدفاصل دو رشته کوه بزقوش و سبلان سرچشمه می‌گیرد و سرشاخه‌های مهمی نظیر برجلوچای، سقرچای، آغلاغان، جوراب چای، درویش چای، لاطران چای و... در طول مسیر به این رودخانه می‌پیوندد و با پیوستن به رود قره سو در شمال اردبیل به

به کادمیوم است^{۲۹}. همچنین Gurumoorthi و Venkatachalapathy به ارزیابی غلظت فلزات آهن، کادمیوم، مس، سرب و روی در رسوبات سطحی در طول ساحل Kanyakumari در هند پرداختند. در این مطالعه غلظت فلزات با استفاده از طیف سنج جذب اتمی برای بررسی تغییرات مکانی و فصلی فلزات اندازه‌گیری شد. برای بررسی ریسک محیط زیستی این فلزات در طول ساحل فاکتور غنی شدگی، شاخص مولر، شاخص بار آلودگی و شاخص خطر محیط زیستی محاسبه شد. با توجه به مقادیر شاخص بار آلودگی (PLI) و شاخص تجمع زیستی (Biological Cross (BCF) (index Flock) رسوبات ساحلی منطقه به آهن، مس، سرب و روی آلوده نبود در حالی که برای کادمیوم آلودگی کم تا متوسطی در رسوبات منطقه گزارش شد.^{۳۰}

در این میان رودخانه‌ها، با وجود اهمیت فراوان محیط زیستی، تنوع زیستی بالا و نقش مهم آن در تامین و تغذیه شبکه توزیع آب شهری، در حال حاضر در معرض آلاینده‌های آلی و معدنی ناشی از چاه‌های جذبی فاضلاب مناطق مسکونی، و نفوذ پساب و شیرابه‌های حاصل از کارگاه‌های کوچک صنعتی به آبخوان‌های زیر زمینی قرار گرفته است که استفاده از این موهبت طبیعی را محدود و حیات رودخانه و موجودات آن را به شدت مورد تهدید قرار داده است. مطالعه و بررسی فلزات سنگین به عنوان بخشی از آلاینده‌های محیطی در رودخانه بالخلو که یکی از مهم‌ترین رودخانه‌های دائمی استان اردبیل است ضروری به نظر می‌رسد. این رودخانه جدا از تغییرات طبیعی تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی در معرض دگرگونی‌هایی چون مهار رودخانه‌ها از طریق احداث سد یا مچپی در پایین دست آن، و وجود کارگاه‌ها و کارخانه‌ها در محدوده رودخانه بالخلو، همچنین بهره برداری از شن و ماسه و آلودگی‌های ناشی از تخلیه فاضلاب‌های شهری در نتیجه گذر از شهر اردبیل و همچنین ورود پساب‌های کشاورزی قرار دارد. شکل‌گیری و توسعه جوامع انسانی و سکونت‌گاه-

جغرافیای محل با دستگاه GPS) براساس ورودی منابع آلاینده در داخل و اطراف شهر صورت گرفت. در هر ایستگاه پلاتی با ابعاد ۱×۱ متر به طور جداگانه انتخاب و از هر پلات ۳ نمونه رسوب از لایه سطحی (۰-۲۰ سانتی متر) با استفاده از بیلچه پلاستیکی برداشت و در کیسه های پلاستیکی جهت انتقال به آزمایشگاه ذخیره شد. ایستگاه و نمونه ها به گونه ای انتخاب شد که تا حد امکان بتواند وضعیت ورود آلودگی های ناشی از فلزات سنگین و منابع آنها را به رودخانه نشان دهد جدول (۱) مختصات ایستگاه ها و کاربری مشاهده شده در رودخانه بالخلو نشان می دهد.

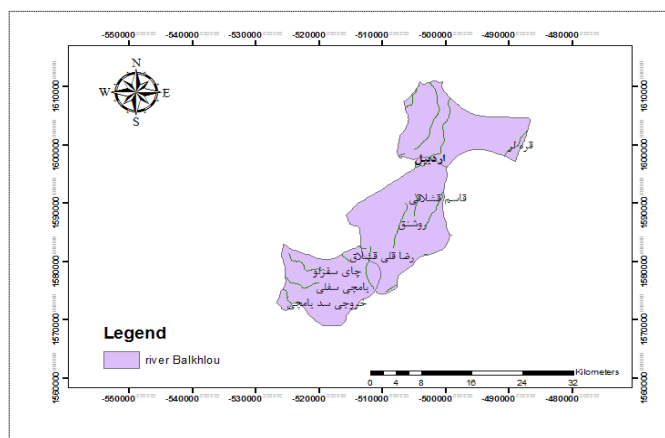
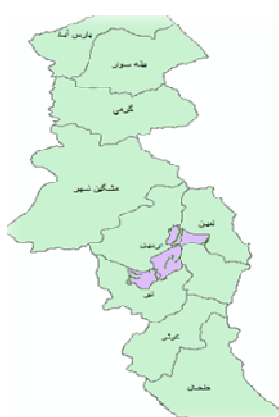
آماده سازی و آنالیز نمونه ها

برای اندازه گیری غلظت عناصر فلزی مورد بررسی آماده سازی، نمونه های رسوب ابتدا هوا خشک شد، سپس نمونه ها در یک هاون سنگی کوبیده و برای از بین بردن خطای آماده سازی ناشی از اندازه ذرات از الک ۶۳ میکرومتری گذرانده شد. در این روش حدود یک گرم هر نمونه خشک شده (رسوب) توسط ترکیبی از اسید نیتریک، اسید پرکلریک و اسید کلریدریک به نسبت ۱:۱:۳ در دستگاه هضم کننده ابتدا در دمای پایین (۴۰ درجه) به مدت ۱ ساعت و سپس در دمای ۱۴۰ درجه به مدت ۳ ساعت هضم می گردد.

رودخانه ارس تخلیه و در نهایت به دریای خزر سرازیر می شود. حوضه بالخلو چای در غرب استان اردبیل بین عرض های جغرافیایی "۳۷°۵۱'۲۷" تا "۳۸°۱۵'۱۹" شمالی و "۵۳°۴۶'۱۸" تا "۵۴°۱۲'۴۲" شرقی واقع شده است. در پایین دست حوضه مورد مطالعه، سد یامچی وجود دارد که محل تامین آب شرب شهرستان های اردبیل و سرعین است. مساحت حوضه بالخلو چای ۱۰۴۴ کیلومتر مربع و طول رودخانه ۶۸ کیلومتر مربع می باشد. این رودخانه که در سال های نه چندان دور از رودخانه های پرآب و دائمی استان بوده هم اکنون با خشکسالی مواجه شده و در معرض آلودگی های محیط زیستی قرار دارد. شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه برداری را نشان می دهد.

جمع آوری نمونه ها

برای دستیابی به اطلاعات در سطح کیفی مطلوب و قابل اعتماد نمونه برداری صحیح از اهمیت بالایی برخوردار است به همین دلیل جهت جمع آوری نمونه از رسوبات سطحی در طول رودخانه بالخلو اردبیل به منظور ارزیابی آلودگی فلزات سنگین و همچنین باتوجه به وضعیت محیط زیست منطقه و آلودگی آن، نمونه برداری از رسوبات سطحی در طول مسیر حدود ۶۸ کیلومتر در ۱۲ ایستگاه (با ثبت مختصات



شکل ۱: موقعیت ایستگاه های مطالعاتی رودخانه بالخلو در شهرستان اردبیل

جدول ۱: مختصات ایستگاه ها و کاربری مشاهده شده در رودخانه بالخلو

شماره ایستگاه	موقعیت مکانی	عرض جغرافیایی اعشار - دقیقه - درجه	طول جغرافیایی اعشار - دقیقه - درجه سطح دریا (متر)	ارتفاع از سطح دریا (متر)	توضیحات
۱	شمال خروجی سد یامچی	۳۸ ۰۴ ۲۰/۰۱۶	۴۹/۱۰۸ ۴۸ ۰۴	۱۵۱۱/۷	پرورش قزل آلا - سد - جاده
۲	شمال شرقی یامچی سفلی	۳۸ ۰۴ ۴۳/۸۵۳	۱۹/۰۸۰ ۴۸ ۰۵	۱۵۰۴/۵	جاده ، تصفیه خانه فاضلاب
۳	شمال چای سقرلو	۳۸ ۰۵ ۵۶/۵۶۸	۵۲/۷۰۴ ۴۸ ۰۶	۱۴۹۳/۴	جاده - کشت دیم - اراضی کشاورزی - باغات
۴	غرب قشلاق رضا قلی	۳۸ ۰۶ ۱۸/۶۹۴	۳۷/۱۴۳ ۴۸ ۰۸	۱۴۹۹/۲	مناطق مسکونی - جاده
۵	شمال شرقی روشنق	۳۸ ۰۹ ۲/۰۳۲	۲۷/۳۹۷ ۴۸ ۱۱	۱۴۲۶/۹	زراعت - جاده - نزدیک رستوران - سد
۶	شمال قاسم قشلاقی	۳۸ ۰۸ ۲۲/۹۹۶	۳۸/۸۲۸ ۴۸ ۱۰	۱۴۳۲/۰	اراضی کشاورزی - روستا - مناطق مسکونی
۷	شرق تپه نادری	۳۸ ۱۳ ۲۹/۰۴۳	۱۵/۹۶۵ ۴۸ ۱۶	۱۳۶۲/۲	خیابان - پل - مناطق مسکونی
۸	شمال شرقی میدان قدس	۳۸ ۱۳ ۵۵/۰۱۵	۱۰/۰۳۸ ۴۸ ۱۷	۱۳۵۵/۸	منطقه مسکونی - جاده - سفره خانه - پل
۹	شمال شرقی میدان ورزش	۳۸ ۱۴ ۲۸/۱۴۴	۵۲/۹۸۸ ۴۸ ۱۷	۱۳۵۰/۰	منطقه مسکونی - جاده - مدرسه
۱۰	شمال شرقی میدان توحید	۳۸ ۱۵ ۱/۴۰۷	۴۸/۳۲۶ ۴۸ ۱۸	۱۳۴۲/۸	منطقه مسکونی - خیابان - پل
۱۱	شمال غربی شهید رجایی	۳۸ ۱۵ ۱۲/۰۸۳	۵۷/۲۸۷ ۴۸ ۱۸	۱۳۳۹/۶	منطقه مسکونی - جاده
۱۲	شمال زرناس	۳۸ ۱۵ ۵۴/۵۴۳	۳۲/۲۰۳ ۴۸ ۱۹	۱۳۳۰/۶	پارک - منطقه مسکونی - پل

شاخص های محیط زیستی

جهت بررسی و سنجش میزان آلودگی رسوبات به فلزات سنگین؛ دو شاخص انباشت ژئوشیمیایی، فاکتور آلودگی و بار آلودگی برای فلزات مورد بررسی استفاده گردید. شاخص های ذکر شده به عنوان روش های متداول برای ارزیابی میزان انباشت فلزات سنگین در رسوبات مازاد از مقادیر پایه یا زمینه ای آن در منطقه می باشد. همچنین خطر بوم شناسی فلزات سنگین در منطقه ارزیابی و میزان آنها با معیارهای کیفیت رسوب مقایسه شد.

الف - شاخص انباشت ژئوشیمیایی Geochemical Accumulation Index (Igeo)

شاخص انباشت ژئوشیمیایی، درجه آلودگی رسوبات را به فلزات سنگین در قالب ۷ کلاس، براساس مقادیر کمی

سپس نمونه ها با کاغذ فیلتر واتمن شماره ۱ فیلتر شده و محلول صاف شده و در بالن با آب مقطر به حجم ۲۵ میلی - لیتر رسانده شد^{۲۵} و^{۲۶}. نمونه ها در نهایت با دستگاه جذب اتمی مدل Analiticaljena Contra 700 به روش شعله برای عناصر روی، مس و کرم و به روش کوره میزان سرب آنالیز شد^{۱۹}. جهت رفع خطاهای احتمالی از آماده سازی نمونه ها و عدم تأثیر مواد بر غلظت فلزات، در هر نوبت از عملیات هضم یک نمونه شاهد استفاده گردید (نسبت یک به چهار اسید پرکلریک و اسید نیتریک) و مقدار آن از غلظت نمونه ها کم شد. در این تحقیق داده ها به کمک آمار توصیفی و استنباطی تحلیل شدند. فراکافت آماری یافته ها با نرم افزار SPSS ویرایش ۲۴ و ۲۰۱۳ Office Excel انجام شد.

پایش آلودگی فلزات سنگین (سرب، روی، کروم و مس) در رسوبات رودخانه بالخلو اردبیل با شاخص های برآورد آلودگی رسوب

اصولا مقادیر ضریب آلودگی و درجه آلودگی به ترتیب می توانند توصیفی از آلودگی مربوط به عنصر سنگین مورد بررسی و آلودگی محیط رسوب را ارائه دهد، فاکتور آلودگی توصیفی از آلودگی مربوط به فلز مورد بررسی را ارائه می دهد. ضریب آلودگی هاکنسون^{۱۱}.

$$CF = \frac{C_i}{C_n} \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این رابطه C_i : غلظت عنصر در نمونه و C_n : غلظت همان فلز در ماده مرجع (میانگین شیل) است. که بیان کننده رابطه ۲ است. رده بندی مربوط به شاخص ضریب آلودگی در جدول (۳) آمده است.

برآورد شده در رسوبات منطقه ارزیابی می نماید (جدول ۲). بر اساس رابطه ارائه شده، با در اختیار داشتن غلظت زمینه ای و غلظت فعلی فلز سنگین در رسوبات می توان شاخص انباشت ژئوشیمیایی را که بیانگر شدت آلودگی می باشد محاسبه نمود:

$$I_{geo} = \log_2 \left(\frac{C_n}{1.5B_n} \right) \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این معادله؛ I_{geo} : شاخص انباشت ژئوشیمیایی یا شاخص شدت آلودگی در رسوبات، C_n : غلظت فلز سنگین در رسوب و B_n : غلظت زمینه (غلظت عنصر در شیل، جدول ۱) است. ضریب ۱/۵ به منظور کمینه کردن اثر تغییر احتمالی در غلظت های زمینه که بطور عمومی به تغییرات سنگ شناسی رسوبات و تاثیر عوامل زمینی نسبت داده می شود، منظور شده است^{۱۸}.

ب- فاکتور آلودگی (CF)

جدول ۲: طبقه بندی درجه آلودگی براساس شاخص شدت آلودگی مولر (Muller, ۱۹۶۹)

مقادیر I_{geo}	درجه آلودگی	وضعیت آلودگی رسوبات
۰	۰	غیرآلوده
۰-۱	۱	غیرآلوده تا آلودگی متوسط
۱-۲	۲	آلودگی متوسط
۲-۳	۳	آلودگی متوسط تا زیاد
۳-۴	۴	آلودگی زیاد
۴-۵	۵	آلودگی زیاد تا به شدت آلوده
>۵	۶	به شدت آلوده

جدول ۳: طبقه بندی درجه آلودگی براساس شاخص فاکتور آلودگی (Hakanson, ۱۹۸۰)

مقدار CF	طبقه بندی
$CF < 1$	کم
$1 \leq CF \leq 3$	متوسط
$3 \leq CF \leq 6$	زیاد
$CF \geq 6$	خیلی زیاد

$$RI = \sum_{i=1}^7 E_r^i \quad (4)$$

در معادلات E_r^i : شاخص پتانسیل خطر اکولوژیکی، C_i^i و C_0^i به ترتیب مقدار اندازه‌گیری شده و مقدار مقادیر طبیعی (Background value)، T_r^i : برابر فاکتور پاسخ سمیت فلز، جدول ۴، میزان خطر اکولوژیکی و محیطی فلزات سنگین مورد بررسی را نمایش می‌دهد.

ذ- معیارهای کیفیت رسوب (NOAA, SQGs)

یکی از روش‌های متداول در توصیف داده‌های حاصل از تعیین آلاینده‌ها، استفاده از راهنمای کیفیت رسوبات می‌باشد که در آن، نتایج به دست آمده با مقادیر مرجع و مجاز مقایسه می‌گردد و معیارهای مورد استفاده بر پایه پاسخ بیولوژیک موجودات به شرایط ایجاد شده توسط آلاینده‌ها استوار است^{۳۳}. مقادیر مختلف از آلاینده‌ها از جمله فلزات سنگین قادرند اثرات متفاوتی را در موجوداتی که در معرض این آلاینده‌ها قرار گرفته‌اند ایجاد نمایند. به همین منظور در برخی از کشورها، استانداردهایی برای مواد آلاینده ارائه شده است که از معروفترین و متداولترین آنها استانداردهای کیفیت رسوب آمریکا (NOAA) با دو سطح اثر ERM، ERL و استاندارد کیفیت رسوب کانادا (SQGs) با دو سطح اثر متداول PEC، TEC می‌باشد^{۲۴} در این مطالعه مقادیر فلزات محاسبه شده با استانداردهای موجود در جدول ۹ مقایسه می‌شوند.

ج- شاخص بار آلودگی (PLI) Pollution Load Index

شاخص بار آلودگی برای مشخص کردن سطح آلودگی بکارمی‌رود و نشانگر تخمینی از میزان آلودگی می‌باشد. این شاخص با کمک حاصل ضرب شاخص‌های آلودگی فلزات از به صورت فرمول زیر قابل محاسبه است^۴.

$$PLI = \sqrt[4]{CF_{Cu} \times CF_{Zn} \times CF_{Cr} \times CF_{Pb}} \quad (3)$$

در رابطه بالا CF فاکتور آلودگی بوده از که رابطه (۲) بدست می‌آید در این رابطه C_i : غلظت فلزات سنگین در نمونه‌ی رسوب و C_n : میزان فراوانی فلز مورد نظر در زمینه محلی است. مقادیر شاخص بار آلودگی از صفر (غیر آلوده) تا ۱۰ (بسیار آلوده) تغییر می‌کند که به طور معمول مقادیر کوچکتر از ۱ نشان دهنده عدم آلودگی و مقادیر بزرگتر از یک نشان‌دهنده‌ی آلودگی نسبت به فلزات سنگین می‌باشد^۵.

د- ارزیابی خطر بوم‌شناسی فلزات سنگین

شاخص ارزیابی خطر اکولوژیکی برای ارزیابی خطر آلودگی رسوبات بوسیله فلزات سنگین ارایه شده است. براساس رویکرد Hakanson (۱۹۸۰) فاکتور پاسخ سمیت برای فلزات جیوه، کادمیوم، مس، سرب، نیکل، کروم و روی به ترتیب برابر ۴۰، ۳۰، ۵، ۵، ۲ و ۱ می‌باشد. که در این تحقیق پتانسیل خطر اکولوژیکی براساس معادله زیر محاسبه گردید.

$$E_r^i = \frac{C^i}{C_0^i} \times T_r^i \quad (3)$$

جدول ۴: شاخص‌های خطر بوم‌شناسی فلزات سنگین

E_r^i	شاخص پتانسیل خطر اکولوژیکی	RI	خطر اکولوژیکی
$E_r^i \leq 40$	خطر کم	$RI \leq 150$	خطر کم
$40 \leq E_r^i \leq 80$	خطر متوسط	$150 \leq RI \leq 300$	خطر متوسط
$80 \leq E_r^i \leq 160$	خطر قابل توجه	$300 \leq RI \leq 600$	خطر قابل توجه
$160 \leq E_r^i \leq 320$	خطر بالا	$RI \geq 600$	خطر بالا و معنا دار
$E_r^i \geq 320$	خطر بسیار بالا	-	-

پایش آلودگی فلزات سنگین (سرب، روی، کروم و مس) در رسوبات رودخانه بالخلو اردبیل با شاخص های برآورد آلودگی رسوب

جدول ۵: میانگین غلظت فلزات در ایستگاه‌های مختلف (میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک)

Stations	Cu	Zn	Cr	Pb
۱	۹/۲۹±۱/۰۲	۵/۸۲±۰/۲۳	۱۰/۴۵±۱/۰۸	۱۵/۵۳±۰/۳۰
۲	۵/۷۹±۱/۰۴	۵/۸۷±۰/۲۱	۶/۵۴±۰/۸۹	۱۳/۸۳±۱/۱۵
۳	۹/۳۷±۲/۱۶	۶/۲۴±۰/۳۰	۶/۰۱±۰/۳۹	۱۱/۹۱±۰/۴۵
۴	۱۴/۰۵±۱/۱۲	۶/۳۸±۰/۲۱	۸/۲۷±۰/۹۵	۱۳/۷۵±۰/۳۷
۵	۸/۶۰±۳/۷۶	۶/۴۳±۰/۲۶	۶/۰۸±۲/۹۳	۱۱/۲۴±۲/۹۳
۶	۹±۲/۰۳	۵/۸۰±۰/۸۰	۳/۳۹±۰/۵۳	۱۲/۸۴±۰/۴۱
۷	۱۱±۱/۰۷	۵/۸۱±۰/۲۳	۳/۲۱±۰/۷۰	۱۶/۷۶±۲/۳۷
۸	۱۳/۳۸±۱/۱۸	۶/۴۲±۰/۲۷	۲/۲۲±۱/۳۳	۱۷/۲۰±۰/۶۱
۹	۱۶/۰۷±۲/۴۲	۶/۱۳±۰/۲۶	۲/۶۸±۰/۷۸	۴۵/۲۱±۱۶/۷۲
۱۰	۲۱/۷۱±۸/۴۵	۶/۴۳±۰/۲۸	۵/۵۱±۱/۲۷	۴۳/۲۸±۳/۸۹
۱۱	۲۴/۰۷±۸/۴۳	۵/۹۳±۰/۴۴	۵/۲۹±۱/۸۲	۳۱/۵۴±۷/۷۹
۱۲	۱۷/۲۰±۹/۵۴	۵/۷۴±۰/۶۱	۵/۳۲±۲/۰۷	۲۸/۵۰±۱۱/۷۷
میانگین کل	۱۳/۲۹±۳/۱۵	۶/۰۸±۰/۱۷	۵/۴۱±۰/۶۹	۲۲/۰۴±۴/۷۴

*نتایج مربوط به میانگین غلظت ۳ تکرار می‌باشد.

یافته‌ها

به منظور طبقه‌بندی رسوبات از نظر شدت آلودگی به عناصر مورد ارزیابی، بیانگر آن بود که رسوبات رودخانه بالخلو از نظر آلودگی به هر ۴ عنصر سنگین با درجه آلودگی صفر، در طبقه غیرآلوده قرار می‌گیرد (جدول ۶).

نتایج شاخص بار آلودگی

یافته‌های بررسی شاخص بار آلودگی و خطر اکولوژیکی فلزات در جدول (۷) ارائه شده است. همانطور مشاهده می‌شود مقادیر PLI برای تمام ایستگاه‌ها کمتر از ۱ است. که این موضوع نشان‌دهنده عدم آلودگی منطقه به فلزات سنگین بوده و در بین ایستگاه‌های مختلف ایستگاه شماره ۱۰ (محدوده‌ی شهر) و ایستگاه شماره یک به ترتیب دارای بیشترین و کمترین بار آلودگی به میزان ۰/۰۲۱ و ۰/۰۰۹۵ می‌باشد. همچنین با محاسبه شاخص ارزیابی اکولوژیکی، نتایج نشان داد، تمام ایستگاه‌های مورد بررسی، از نظر خطر اکولوژیکی فلزات سنگین در طبقه خطر کم قرار دارند (جدول، ۷).

میانگین غلظت فلزات سنگین کروم، سرب، مس و روی در رسوبات منطقه برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم در جدول (۵) آورده شده است. یافته‌های بدست آمده نشان داد، حداکثر غلظت فلزات سرب، کروم، روی و مس در ایستگاه شماره ۹، ۱، ۵ و ۱۰، ۱۱ به ترتیب ۴۵/۱۳، ۱۰/۴۵۹، ۶/۴۳۱ و ۲۴/۰۷۵ میکروگرم بر گرم بوده است. حداقل غلظت سرب، کروم، روی و مس به ترتیب ۱۱/۲۴، ۲/۲۲۷، ۵/۷۴۵ و ۵/۷۹۱ میکروگرم بر گرم بوده که در ایستگاه شماره ۵، ۸، ۱۲ و ۲ مشاهده شده است. همچنین توالی غلظت کلی فلزات سنگین در رسوبات منطقه به ترتیب به صورت (روی > کروم > مس > سرب) بدست آمد (جدول، ۵).

نتایج شاخص انباشت ژئوشیمیایی و فاکتور آلودگی فلزات سنگین

نتایج محاسبه شاخص ژئوشیمیایی مولر و ضریب آلودگی

جدول ۶: مقادیر محاسبه شده شاخص مولر و ضریب آلودگی فلزات سنگین مورد مطالعه در رسوبات

Stations	Cu		Zn		Cr		Pb	
	CF	I _{geo}	CF	I _{geo}	CF	I _{geo}	CF	I _{geo}
۱	۰/۲۰۶	-۰/۸۶۱	۰/۶۱۳	-۱/۳۸۴۹	۰/۱۱۶	-۱/۱۰۸	۰/۰۶۲	-۰/۳۸۲
۲	۰/۱۲۸	-۱/۰۶۵	۰/۶۱۸	-۱/۳۸۵۰	۰/۰۷۲	-۱/۳۱۴	۰/۰۵۵	-۱/۳۸۲
۳	۰/۲۰۸	-۰/۸۵۷	۰/۶۵۶	-۱/۳۵۸۵	۰/۰۶۶	-۱/۳۵۰	۰/۰۴۷	-۱/۴۹۸
۴	۰/۳۱۲	-۰/۶۸۱	۰/۶۷۲	-۱/۳۴۸۵	۰/۰۹۱	-۱/۲۱۲	۰/۰۵۵	-۱/۴۳۵
۵	۰/۰۸۵	-۱/۲۴۳	۰/۶۷۶	-۱/۳۴۵۲	۰/۰۳۴	-۱/۶۳۹	۰/۰۴۵	-۱/۵۱۶
۶	۰/۲	-۰/۸۷۵	۰/۶۱۱	-۱/۳۸۹۸	۰/۰۳۷	-۱/۵۹۴	۰/۰۵۱	-۱/۴۶۵
۷	۰/۲۴۴	-۰/۷۸۷	۰/۶۱۹	-۱/۳۸۹۳	۰/۰۳۵	-۱/۶۲۳	۰/۰۶۷	-۱/۳۴۹
۸	۰/۲۹۷	-۰/۷۰۲	۰/۶۷۵	-۱/۳۴۶۲	۰/۰۲۴	-۱/۷۸۲	۰/۰۶۸	-۱/۳۸۴
۹	۰/۳۵۷	-۰/۶۲۳	۰/۶۴۵	-۱/۳۶۲۱	۰/۰۲۹	-۱/۷۰۷	۰/۱۸۰	-۰/۹۱۸
۱۰	۰/۶۲۲	-۰/۳۸۱	۰/۶۷۷	-۱/۳۴۵۴	۰/۰۶۱	-۱/۳۸۴	۰/۱۷۳	-۰/۹۳۷
۱۱	۰/۴۲۰	-۰/۵۲۷	۰/۶۲۴	-۱/۳۸۰۳	۰/۰۴۳	-۱/۵۳۵	۰/۱۲۶	-۱/۰۷۵
۱۲	۰/۲۶۶	-۰/۷۵۰	۰/۶۰۴	-۱/۳۹۴۹	۰/۰۳۳	-۱/۶۵۱	۰/۰۹۳	-۱/۲۰۵
میانگین کل		-۰/۸۶۱		-۱/۳۸۴۹		-۱/۱۰۸		-۰/۳۸۲

جدول ۷: نتایج مقادیر شاخص بار آلودگی (PLI)

Stations	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
PLI	۰/۰۰۹	۰/۰۰۵	۰/۰۰۶	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۵	۰/۰۰۶	۰/۰۰۶	۰/۰۱۱	۰/۰۲۱	۰/۰۱۱	۰/۰۰۷
RI	۵/۲۰۸	۴/۳۰۷	۴/۲۱۷	۵/۲۴۹	۳/۹۷۸	۴/۳۴۶	۵/۵۴۴	۵/۹۰۳	۱۳/۲۱۲	۱۳/۴۲۲	۱۰/۷۳۹	۹/۲۱۴

بحث و نتیجه گیری

آنالیز رسوبات، از اهمیت بسزایی در ارزیابی شرایط آلودگی بوم‌سازگان‌های آبی برخوردار می‌باشند. از طرفی رسوبات، موجود در رودخانه‌های همجوار مناطق شهری و صنعتی که رودخانه بالخلو نیز این چنین است. توانایی بالقوه جذب و ته نشین کردن آلاینده‌های گوناگون از جمله فلزات سنگین را دارا می‌باشند^۴. اگرچه آلاینده‌ها برای مدت طولانی در رسوبات باقی می‌مانند، ولی در اثر فعالیت‌های زیست-شناختی و تغییر شرایط فیزیکی و شیمیایی می‌توانند وارد آب-های فوقانی شوند. لذا اندازه گیری غلظت کل عنصر سنگین می‌تواند تصویری واقعی از آلودگی یک محیط آبی را

فراهم آورد^۱.

در این مطالعه به اندازه گیری غلظت عناصر سنگین سرب، روی، کروم و مس در ۱۲ ایستگاه رسوبات سطحی رودخانه بالخلو واقع در بخش مرکزی استان اردبیل پرداخته شد که نتایج کلی را می‌توان به صورت زیر خلاصه نمود: تجمع فلز سرب و مس در رودخانه بالخلو بخصوص در ایستگاه ۹ و ۱۱ (در مجاورت میدان شهر) که به دلیل تردد و توقف زیاد وسایل نقلیه در این منطقه، مقادیر زیادی از سرب ناشی از سوخت‌های فسیلی ممکن است به رودخانه منتقل گردد. در مقابل ایستگاه شماره ۱۰ و ۱۱ دارای غلظت بیشتری از فلزات کروم و روی است. به نظر می‌رسد دلیل

که در مطالعات تکمیلی می توان به اندازه گیری همزمان فلزات سنگین در آب، رسوبات و آبزیان و تعیین شاخص های غنی- سازی و ارزیابی ریسک اکولوژیکی و نیز اندازه گیری ضریب جذب فلزات سنگین توسط ساکنین محلی که از موجودات معیشت می کنند اشاره کرد.

مقادیر شاخص زمین انباشتگی و شاخص فاکتور آلودگی نشان داد که عناصر مورد مطالعه در تمامی ایستگاه ها به حالت غیرآلوده قرار دارند که هم راستا و موید شاخص بار آلودگی است که برای همه نمونه های رسوب کمتر از یک بدست آمد و نشان دهنده عدم آلودگی منطقه به فلزات سنگین و سمیت پایین آنها در رودخانه بالخلو می باشد. در بین ایستگاه ها مختلف، ایستگاه شماره ۱۰ (محدوده ی شهر) و ایستگاه قبل از شهر به ترتیب دارای بیشترین و کمترین بار آلودگی و ایستگاه شماره یک به ترتیب دارای بیشترین و کمترین بار آلودگی به میزان ۰/۰۲۱ و ۰/۰۰۹۵ می باشد. احتمال می رود بالا بودن آلودگی به علت تردد زیاد وسایل نقلیه در این منطقه باشد. کروم و روی از فلزات سنگینی هستند که منبع اصلی آنها بیشتر ناشی از مناطق شهری و صنعتی انسانی است. فلز روی جز عناصر فراوان در پوسته زمین است (روی بیست و پنجمین عنصر فراوان) که بین ۰/۰۰۰۵ و ۰/۰۲ درصد پوسته- ی زمین را تشکیل می دهد.

افزایش غلظت این فلزات در این ایستگاه و کل منطقه مطالعاتی در ارتباط با منشاء طبیعی این فلزات است. همچنین می توان رودخانه بالخلو را از نظر غلظت کل عناصر و درجه ی آلاینده ی رسوبات به فلزات بررسی شده در این پژوهش، به ترتیب زیر رتبه بندی کرد:

سرب < مس < کروم < روی

از طرفی نتایج نشان می دهد که غلظت فلزات در درون و محدوده شهر به مراتب بیشتر از میزان آنها در بیرون از شهر (قبل و بعد از شهر) است که این موضوع نشان از تاثیر و اهمیت فعالیت های شهر اعم از ورود رواناب، فاضلاب شهری و صنعتی بر غلظت آلاینده ها دارد که این نتایج با یافته های Guan و همکاران (۲۰۱۶) نیز مطابقت دارد.

مجاورت رودخانه بالخلو با مناطق مسکونی و صنعتی در گذر از شهر در ورود آلاینده ها و ته نشین کردن آلودگی های فلزی فراهم نموده است. همان گونه که مشاهده شد مقادیر فلزات سنگین اندازه گیری شده در رسوبات ایستگاه های مورد مطالعه نسبت به مقادیر اندازه گیری شده در برخی موارد بیشتر است. همچنین از آنجا که غلظت های بالای سرب ممکن است بر اثر فعالیت های انسانی باشد، می توان نتیجه گرفت که منابع ورودی این آلاینده ها به محیط رودخانه نتیجه پتانسیل ایجاد خطر در منطقه مورد مطالعه را ایجاد می نماید.

جدول ۸: مقایسه غلظت فلزات سرب، روی، کروم و مس (میکروگرم بر گرم) در مطالعه حاضر با مطالعات انجام شده در ایران و سایر نقاط جهان

منبع	Cu	Zn	Pb	Cr	مکان
Cheraghi et al, 2017	۹/۷	-	۱/۴	۱/۲۳	River Dry Shiraz, Iran
Mail et al, 2017	۴۱/۰	۸۲/۳	۵۲/۲	-	Italy Apulia region,
Carolina et al, 2016	۱۱/۰۵	۲۶/۳۳	۵/۸۹	۱۴/۴۹	River Pardo, Brazil
Mokhtar et al, 2015	۳۰	-	۲۵	۶۰	Langat River estury, Selangor
Remeikaite et al, 2017	۱/۱	۲/۸	۵/۵	۱/۷	South eastern Baltic Sea, North Europe
مطالعه حاضر	۱۳/۲۹	۶/۰۸	۲۲/۰۴	۵/۴۱	رودخانه بالخلو، شهرستان اردبیل: ایران

جدول ۹: مقایسه میانگین غلظت کلی فلزات سرب، کروم، مس و روی، (میلی گرم بر کیلوگرم) با استانداردهای NOAA و SQGs

عناصر مورد مطالعه	استاندارد محیط زیست کانادا		استاندارد آمریکا		مطالعه اخیر
	(CCME, 1999) SQGs		NOAA (Long et al., 1995)		
	TEC	PEL	ERL	ERM	
Pb	۳۵/۸	۱۲۸	۴۷	۲۱۸	۲۲/۴۹
Cu	۳۶/۶	۱۴۹	۳۴	۲۷۰	۱۳/۲۹
Zn	۱۲۱	۴۵۹	۱۵۰	۴۱۰	۶/۰۴
Cr	۴۳/۴	۱۱۱	۸۱	۳۷۰	۵/۴۱

دارند، از استانداردهای کیفیت رسوب کانادا SQGs (Sediment Quality Guidelines) و راهنمای کیفیت رسوب آمریکا (National Oceanic and Atmospheric Administration) استفاده گردید^{۱۵}. در استاندارد NOAA دو خطر برای آلودگی فلزات در رسوبات بیان شده است که به صورت ERL (Effect RangLow) حدی که کمتر از ۱۰ درصد جوامع بیولوژیکی در خطرند و ERM (Effect Range Medium) حدی که کمتر از ۵۰ درصد جوامع بیولوژیکی در خطرند ارائه شده است. استاندارد کیفیت رسوب (SQGs) با دو شاخص TEC (Threshold effect concentration) و PEC (Probable Effect Concentration) بیانگر آستانه تاثیر غلظت و غلظت تاثیر نشان داده می‌شوند. در استاندارد کیفیت رسوب کانادا دو سطح LEL (Lowest Effect Level) مشخص کننده سطحی از آلودگی است که برای عمده جانوران کفزی قابل تحمل بوده و اثر خاصی در جوامع بیولوژیک مشاهده نمی‌شود و نیز SEL (Sever Effect Level) که نشان دهنده آلودگی شدید بوده و سلامت موجودات بتیک را به خطر می‌اندازد مطرح می‌گردد^{۲۰}. در مطالعه حاضر میانگین کلی غلظت فلزات مورد بررسی (سرب، کروم، مس و روی) در رسوبات منطقه در مقایسه با استانداردهای بیان شده نشان می‌دهد. میانگین غلظت فلزات سرب، روی، کروم و مس از مقادیر PEL و TEC بر اساس استاندارد کیفیت رسوب

اما می‌تواند به شکل $ZnCO_3$ در محیط‌های آبی رسوب نماید. میزان غلظت بالای آن می‌تواند نشان دهنده فعالیت‌های انسانی و نرخ بالای رسوب‌گذاری باشد. Jiang و همکاران در سال ۲۰۱۳ غلظت فلزات سنگین کادمیوم، سرب، مس و روی را در رسوبات رودخانه Xiawangang (کشور چین) ناشی از ورود فاضلاب‌ها، فاضلاب‌های شهری و صنعتی حامل این آلاینده‌ها به رودخانه عنوان کردند^{۱۲}. کروم و ترکیباتش کاربردهای صنعتی متنوعی بخصوص در صنعت آبکاری و چرم دارد. و مطابق شواهد موجود با نزدیک شدن به محل ورود پساب‌های مراکز صنعتی و شهری غلظت آن افزایش می‌یابد^{۱۱}، از طرفی فلزات سرب و مس نیز دارای کاربردهای فراوانی در محیط‌های شهری و صنعتی می‌باشند، که از طریق رواناب و پسابهای شهری و صنعتی وارد محیط‌های آبی و در نتیجه رسوبات می‌گردند. بنابراین می‌توان منشأ اصلی آنها را ورود پسابهای شهری و خانگی تصفیه نشده و همچنین پساب تصفیه خانه شهر عنوان نمود^{۱۰} که در مطالعه مرتضوی و حاتمی منش نیز در رودخانه بشار یاسوج این امر تایید شد^{۲۱}. از آنجاکه رسوبات می‌توانند به عنوان یک مسیر مهم در مواجهه موجودات آبی به آلاینده‌ها عمل نمایند در مطالعه حاضر به منظور ارزیابی درجه آلودگی رسوبات و نیز پیش‌بینی احتمال بروز اثرات سوء زیستی آلاینده‌ها بر موجودات زنده و آبیانی که در تماس با این رسوبات قرار

سپاسگزاری

این مقاله حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد است نویسندگان مقاله بدین وسیله مراتب سپاس و قدردانی خود را از آقای مهندس میرشاولد ریاست و خانم ها مهندس فرناز محمودی و بهاره روزبهانی کارشناسان آزمایشگاه های دانشگاه ملایر اعلام می دارند.

کانادا پایین تر بوده همچنین میانگین غلظت فلزات سرب، روی، کروم و مس در رسوبات رودخانه بالخلو، از مقادیر ERL و ERM مربوط به استاندارد کیفیت رسوب آمریکا پایین تر می باشد (جدول ۸).

References

1. Bagheri, H., Darvish Bastami, K., Sharmad, T., Bagheri, Z. Assessment of Heavy Metal Distribution in Gorgan Bay. *J Oceanogr* 2012; 3(11): 65-72. [In persian]
2. Kamran M. Review of Environmental and Legal Laws of the Balkhloo River in Ardebil. Master's Degree in Natural Resources Engineering, Environmental Pollution, Islamic Azad University, Ardebil Science and Research Branch (Dissertation). Heights. 2012; 9-15. [In persian]
3. Statistics Center of Iran 2012, Statistical Yearbook of Ardabil Province. [In persian]
4. Sabzalizadeh, S., Dehghan mediseh, S. Assessment of Heavy Metals Pollution in the sediments of Life- Bussaf (noffthe st Persian Gulf) using Geo-accumulation Index. *Iran Sci Fish J* 2010; 3(19):51-60.
5. Al-Taani, A., Batayneh, T., El-Rasaideh, N., Ghrefat, H., Zumlot, T., Al-Rawabdeh, A. M., AlMamani, T. and Taani, A. Spatial distribution and pollution assessment of trace metal in surface sediments of Ziqlab Reservoir, Jordan. *Environ Monit Assess* 2015; 187:415-28.
6. Cevik, F., Goksu, M.Z.L., Dericci, O.B., Findik, O. An assessment of metal pollution in surface sediments of Seyhan dam by using enrichment factor, geoaccumulation index and statistical analyses, *Environ Monit Assess* 2009; 152; 309-17.
7. Ficat, S., Roussiez, V., Ludwig, w., Probst, J., Monaco, A. Background Levels of heavy metals in surficial sediments of the Gulf of Lions (NW Mediterranean): An approach based on 133Cs normalization and lead isotope measurments. *Environ Pollut* 2001;138: 167-77.
8. Gurumoorthi, k., Venkatachalapathy, R. Spatial and Seasonal Trend of Trace Metals and Ecological Risk Assessment along Kanyakumari Coastal Sediments, Southern India. *Pollut* 2016; 2(1): 267-87.
9. Guan Q, Wang L, Pan B, Guan W, Sun X, Cai A. Distribution features and controls of heavy metals in surface sediments from the riverbed of the Ningxia-Inner Mongolian reaches, Yellow River, China. *Chemosphere* 2016;29(144):29-42.
10. Hatami Manesh M, Mirzayi M, Bandegani M, Sadeghi M, Sabet F N. Determination of mercury, lead, arsenic, cadmium and chromium in salt and water of Maharloo Lake, Iran, in different seasons. *J Mazandaran Univ Med Sci* 2014; 23(108):91-8 [In persian].
11. Hakanson, I. An ecological risk index for aquatic pollution control: a sedimentological approach. *Water Res* 1980; 14(8):975-1001.
12. Jiang M, Zeng G, Zhang C, Ma X, Chen M, Zhang J, et al. Assessment of heavy metal contamination in the surrounding soils and surface sediments in Xiawangang River, Qingshuitang District. *Plos one* 2013;8:71176.
13. Karimi M, Qasmpvr Sh S. The geochemical distribution and the degree of pollution of heavy metals (lead, zinc, nickel, chromium, and arsenic) in sediments kour river (South Marvdasht). *J Appl Geol* 2012;8(2):133-45. [In persian]
14. Leng., F. Study of source of heavy metal contamination in sediments from Anzali Wetland North of Iran. *J Environ Stud* 1996; 57(37):1-12.
15. Long ER, Macdonald DD, Smith SL, Calder FD. Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. *Environ Manage* 1995; 19(1):81-97.
16. Mashal, K., Salahat, M., Al-Qinna, M. and AlDegs, Y. Spatial distribution of cadmium concentrations in street dust in an arid environment. *Arab J Geosci* 2014; 10:125-35.
17. Maanan, M., Saddik, M., Maanan, M., Chaibi. M., Assobhei, O., Zourarah, B. Environmental and ecological risk assessment of heavy metals in sediments of Nador lagoon, Morocco. *Ecol Indic* 2014; 48:616-26.
18. Muller, G. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *Marine Pollut Bull* 1969; 2(3):108-18.
19. Yap C, Ismail A, Tan S, Oma H. Correlations between speciation of Cd, Cu, Pb and Zn in sediment and their concentrations in total soft tissue of green-lipped mussel *Perna viridis* from the west coast of Peninsular Malaysia.

- Environ Int 2002; 28(1):117-26.
20. Hongyi NI, Wenjing DE, Qunhe WU, Xingeng CH. Potential toxic risk of heavy metals from sediment of the Pearl River in South China. *J Environ Sci* 2009; 21(8):1053-8.
 21. Mortazavi S, Hatamimanesh M. Determination of Heavy Metals Pollution Load Index in Sediments and A quatic Plant (*Nasturtium microphyllum*) in Bashar River, Yasuj. *J Environ Health Eng* 2018; 5(2):157-172 [In persian].
 22. Morillo, J., Usero, J., and Gracia, I. Heavy metal distribution in marine sediments from the southwest coast of Spain, *Chemosphere* 2015;55:431-42.
 23. MacDonald, D.D., Ingersoll, C.G., Berger, T.A. Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems. *Arch Environ Contam Toxicol* 2000;39:20-31.
 24. Long, E.R., MacDonald, D.D., Smith, S.L., Calder, F.D. Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. *Environ Manage* 2016;19:81-97.
 25. Ismail, A. Heavy metal concentrations in sediments off Bintulu, Malaysia. *Marine Pollut Bull* 1993;26(12):706-17.
 26. Naji, A and Ismail, A. Sediment quality assessment of Klang Estuary, Malaysia, *J Aquat Ecosyst Health Manag* 2012;15(3):287-93
 27. Mortazavi, S., Abdolkarimi, Sh. 2017. Risk Assessment and Geochemical Separation of Heavy Metals in Surface Sediments (Case Study: Hasheyilan Wetland, Kermanshah, Iran). Master's Degree Environmental, Faculty of Environment, Malayer University (Dissertation):56. [In Persian]
 28. Bahador, M., Moradi, A.S. Monitoring of contamination using heavy metals (lead, zinc, nickel and iron) in surface sediments of Shoor River, east of Bandar Abbas. *J Environ Sci Technol* 2018;17(4):56-71. [In Persian]
 29. Kadhun, S.A., Ishak, M.Y., Zulkifli, S.Z., Hashim, R. Evaluation of the status and distributions of heavy metal pollution in surface sediments of the Langat River Basin in Selangor Malaysia. *Mar Pollut Bull* 2016;101:391-6.
 30. Venkatramanan, S., Ramkumar, T. and Anithamary, I. Speciation of selected heavy metals geochemistry in surface sediments from Tirumalairajan river estuary, east coast of India. *Environ Monit Assess* 2013;185:6563-78.