Journal of Environmental Health Engineering, February 2018; Vol. 6, No. 2: 213-226

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

Maryam Shaddel[1], Samar Mortazavi[2]*, Lima Tayebi [3] , Behnaz Raheli namin[4]

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.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2025-09-16]

[DOI: 10.29252/jehe.6.2.213]

مجله مهندسی بهداشت محیط، زمستان ۱۳۹۷، سال ٦، شماره ۲: ۲۱۳-۲۲٦

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[٤]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد آلودگی محیط‌زیست، 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

[٤] دکتری محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر ، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۷/٤/۲۹ ؛ 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 (۵/٤۱ < ٦/۰۸ < ۱۳/۲۹ < ۲۲/۰٤) 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

[*] **نویسنده مسئول:** گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران
ایمیل: mortazavi.s@gmail.com - تلفن تماس: ۰۹۱۲-۶۶۵۲۰۰۸

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2025-09-16]

[DOI: 10.29252/jehe.6.2.213]

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 پذیرکره ی زمین محسوب می‌گردد. 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 می‌شوند و در مصارف گوناگون از جمله کشاورزی، شرب و صنعت مطرح می‌باشند. در این میان فلزات سنگین به طور طبیعی به مقدار اندک در بوم سازگان‌های طبیعی یافت می-شوند. این عناصر جزء آلاینده‌های بسیار پایدار بوده و طی فرایند زیستی تجزیه نمی شوند. در حالت کلی فلزات سنگین دارای دو منشاء طبیعی و انسانی هستند. که در طبیعت به واسطه هوازدگی و فرسایش سنگ‌ها و از منابع انسانی به واسطه فعالیت‌های شهری، صنعتی،کشاورزی، رواناب‌های زمینی و دفع فاضلاب وارد بوم‌سازگان‌های آبی می شوند[6]. محیط های آبی به طور طبیعی دریافت کننده ی نهایی فلزات هستند. رسوبات حمل کننده های بسیار مهم فلزات سنگین بوده و نقش مهمی درانتقال و ذخیره سازی آلاینده‌ها در چرخه ی آبی محیط زیست ایفا می‌نمایند[14]. به همین جهت امروزه آلودگی ناشی از فلزات سنگین در محیط های آبی به یکی از بزرگترین مشکلات و نگرانی ها درسراسر جهان تبدیل شده است [16]. این فلزات دارای خواص و ویژگی های همچون سمیت، پتانسیل سرطان زایی و جهش زایی زیاد، پایداری بسیار طولانی، تجمع پذیری بالا درسطوح مختلف زنجیره غذایی هستند[5]. بنابراین بررسی خصوصیات کیفی رسوبات سطحی و اندازه گیری آلودگی فلزات سنگین درمکان‌های مختلف اعم از ساحلی و بستر رودخانه ها یک ابزار مدیریتی مهم به منظور ارزیابی و سنجش سلامتی بوم‌سازگان‌ها محسوب می‌شود[15،17]. 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 رودخانه‌ها و مصب‌ها می‌تواند 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 مطالعه‌ای 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 درپی اندازه گیری گردید. میانگین غلظت کل مس، سرب و آهن به ترتیب ۱۸/۵۷، ۶/۹۵ و ۲٤/۳۷۹ میکروگرم برگرم 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[27]. 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 زمینه‌ای 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. [28]. در مطالعه‌ای دیگر که Kadhum و همکاران به بررسی غلظت فلزات سنگین کادمیوم، نیکل، کروم و قلع در رسوبات سطحی رودخانه Langat پرداختند. سنجش شاخص‌های 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

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2025-09-16]

[DOI: 10.29252/jehe.6.2.213]

بـــه کـــادمیوم اســـت[۲۹]. همچنـــین Gurumoorthiو Venkatachalapathy به ارزیابی غلظت فلزات آهن، کادمیوم، مـس، سـرب و روی در رسـوبات سـطحی در طـول سـاحل Kanyakumari در هند پرداختند. در این مطالعه غلظت فلزات با استفاده از طیف سنج جذب اتمـی بـرای بررسـی تغییـرات مکانی و فصلی فلزات اندازه‌گیری شد. بـرای بررسـی ریسـک محیط زیستی این فلزات در طول ساحل فاکتور غنـی شـدگی، شاخص مولر، شاخص بار آلـودگی و شـاخص خطـر محـیط زیستی محاسبه شد. با توجه به مقادیر شـاخص بـار آلـودگی (PLI)و شاخص تجمع زیسـتی (Biological Cross (BCF) index Flock) رسوبات ساحلی منطقه به آهن، مس، سرب و روی آلوده نبود در حالی کـه بـرای کـادمیوم آلـودگی کـم تـا متوسطی در رسوبات منطقه گزارش شد. [۳۰]

در این میان رودخانه‌ها، با وجـود اهمیـت فـراوان محـیط زیستی، تنوع زیستی بالا و نقـش مهـم آن در تـامین و تغذیـه شبکه توزیع آب شهری، در حال حاضر درمعرض آلاینده‌های آلـی و معـدنی ناشـی از چـاه‌هـای جـذبی فاضـلاب منـاطق مسکونی، و نفوذ پساب و شیرابه های حاصل از کارگـاه هـای کوچک صنعتی به آبخوان های زیر زمینی قرار گرفته است کـه استفاده از این موهبت طبیعی را محدود و حیـات رودخانـه و موجودات آن را به شدت مورد تهدید قرار داده است. مطالعـه و بررسی فلزات سنگین به عنوان بخشی ازآلاینده های محیطی در رودخانه بالخلو که یکی از مهم ترین رودخانه‌هـای دایمـی استان اردبیل است ضروری به نظر می‌رسد. این رودخانه جـدا از تغییرات طبیعی تحت تاثیر فعالیت های انسـانی در معـرض دگرگونی‌هایی چون مهار رودخانه هـا از طریـق احـداث سـد یامچی در پایین دست آن، و وجود کارگاه ها و کارخانه ها در محدوده رودخانه بالخلو ، همچنین بهره برداری از شن و ماسه و آلودگی های ناشی از تخلیه فاضلاب‌های شـهری در نتیجـه گذر از شهر اردبیل و همچنـین ورود پسـاب‌هـای کشـاورزی قرار دارد. شکل گیری و توسعه جوامع انسانی و سکونت‌گـاه-های گوناگون هریک در تغییر محیط زیست رودخانـه بـالخلو موثر بوده و موجب کاهش کیفیت رودخانـه شـده اسـت[۲]. در این راستا اندازه‌گیری فلزات سرب، کرم، روی و مـس بعنـوان عناصر مهمی که امکان حضور از منابع محیطی در منطقه دارند و همچنین امکانات آزمایشگاهی در دسترس، امکـان سـنجش آنها را محقق می‌نماید بعنوان عناصـر آلاینـده هـدف انتخـاب شدند.

از آنجاکه آنالیز رسوبات، سهم مهمـی در تعیـین وضـعیت آلودگی مناطق دارد[۲۲] و از آنجاکه غلظت کـل فلـزات سـنگین شاخص مفیدی برای ارزیابی وضعیت آلودگی خاک مـی‌باشـد اما اطلاعات کافی در ارتباط با قابلیت جذب و سمیت فلـزات سنگین و حتی منشا آنها ارایه نمـی‌نمایـد در پـژوهش حاضـر آلـودگی رسـوبات منطقـه بـه فلـزات سـنگین بـا اسـتفاده از شاخص‌هـای ژئوشـیمیایی ضـریب انباشـتگی (I_{geo})، ضـریب آلودگی (Cf) و شاخص بار آلـودگی (PLI) پرداختـه شـده و همچنین مقایسه میانگین غلظت کلی فلزات سرب، کروم، مس و روی با استانداردهای NOAA و SQGs منطقه مورد مطالعـه برای تشخیص فعالیت‌های تأثیر گذار انسان روی محیط‌زیست آن صـورت گرفتـه اسـت. نتـایج تحقیـق حاضـر میتوانـد در مدیریت شهری از دیدگاه کنترل و کم کـردن آلـودگی فلـزات 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 مـی باشـد که از گردنه بالخلو در جنوب غربی شهرستان نیر حدفاصل دو رشته کوه بزقوش وسبلان سرچشمه می‌گیرد و سرشـاخه‌هـای مهمی نظیر برجلوچای، سـقزچای، آغلاغـان، جـوراب چـای، درویش چای، لاطران چای و... در طول مسیر به این رودخانـه می‌پیوندد و با پیوستن به رود قـره سـو در شـمال اردبیـل بـه

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2025-09-16]

[DOI: 10.29252/jehe.6.2.213]

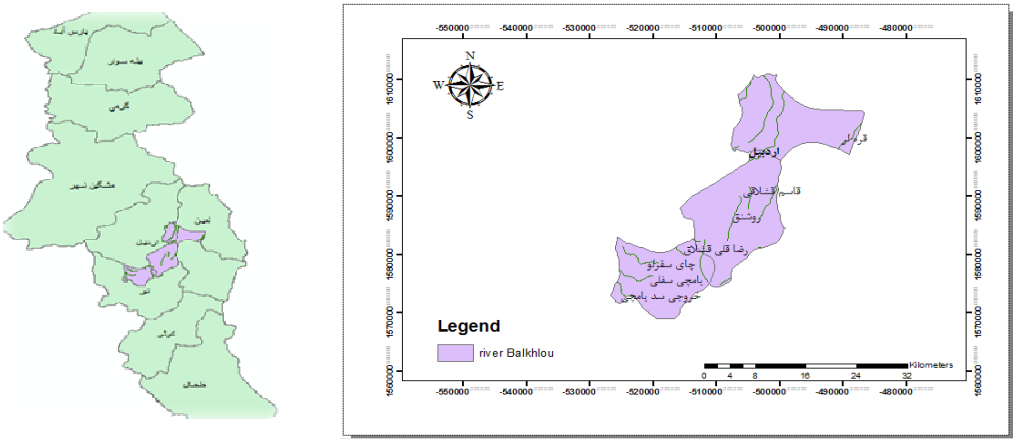
رودخانه ارس تخلیه ودر نهایت به دریای خزر سرازیر می‌شود. حوضه بالخلو چای در غرب استان اردبیل بین عرض‌های جغرافیایی ″۲۷′۵۱°۳۷ تا ″۱۹′۱۵°۳۸ شمالی و ″۱۸′۴۶°۵۳ تا ″۴۲′۱۲°۵۴ شرقی واقع شده است. در پایین دست حوضه مورد مطالعه، سد یامچی وجود دارد که محل تامین آب شرب شهرستان‌های اردبیل و سرعین است. مساحت حوضه بالخلو چای ۱۰۴۴ کیلومتر مربع و طول رودخانه ۶۸ کیلومتر مربع می‌باشد. این رودخانه که در سال‌های نه چندان دور از رودخانه های پرآب و دائمی استان بوده هم اکنون با خشکسالی مواجه شده و در معرض آلودگی‌های محیط زیستی قرار دارد. شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه برداری را نشان می‌دهد[۳].

جمع آوری نمونه‌ها

برای دستیابی به اطلاعات درسطح 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 محیط‌زیست منطقه و آلودگی آن، نمونه برداری از رسوبات سطحی درطول مسیرحدود ۶۸ کیلومتر در۱۲ ایستگاه (با ثبت مختصات 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 سانتی‌متر) با استفاده از بیلچه پلاستیکی برداشت و در کیسه‌های پلاستیکی جهت انتقال به آزمایشگاه ذخیره شد. ایستگاه و نمونه‌ها به گونه‌ای انتخاب شد که تا حد امکان بتواند وضعیت ورود آلودگی‌های ناشی از فلزات سنگین و منابع آنها را به رودخانه نشان دهد جدول (۱) مختصات ایستگاه‌ها و کاربری مشاهده شده در رودخانه بالخلو نشان می‌دهد.

آماده‌سازی و آنالیز نمونه‌ها

برای اندازه گیری غلظت عناصر فلزی مورد بررسی آماده سازی، نمونه‌های رسوب ابتدا هوا خشک شد، سپس نمونه‌ها 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 هرنمونه خشک شده (رسوب) توسط ترکیبی از اسید نیتریک، اسید پرکلریک و اسید کلریدریک به نسبت ۱:۱:۳ در دستگاه هضم‌کننده ابتدا در دمای پایین (۴۰ درجه) به مدت ۱ ساعت و سپس در دمای ۱۴۰ درجه به مدت ۳ ساعت هضم می‌گردد.



شکل ۱: موقعیت ایستگاه‌های مطالعاتی رودخانه بالخلو در شهرستان اردبیل

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2025-09-16]

[DOI: 10.29252/jehe.6.2.213]

جدول۱: مختصات ایستگاه ها و کاربری مشاهده شده در رودخانه بالخلو

شماره ایستگاه	موقعیت مکانی	عرض جغرافیایی اعشار- دقیقه- درجه	طول جغرافیایی اعشار- دقیقه-درجه	ارتفاع از سطح دریا(متر)	توضیحات
۱	شمال خروجی سد یامچی	۲۰/۰۱۶ ۰٤ ۳۸	٤۹/۱۰۸ ٤۸ ۰٤	۱۵۱۱/۷	پرورش قزل آلا- سد- جاده
۲	شمال شرقی یامچی سفلی	٤۳/۸۵۳ ۰٤ ۳۸	۱۹/۰۸۰ ٤۸ ۰۵	۱۵۰٤/۵	جاده ،تصفیه خانه فاضلاب
۳	شمال چای سقرلو	۵٦/۵٦۸ ۰۵ ۳۸	۵۲/۷۰٤ ٤۸ ۰٦	۱٤۹۳/٤	جاده-کشت دیم-اراضی کشاورزی - باغات
٤	غرب قشلاق رضا قلی	۱۸/٦۹٤ ۰٦ ۳۸	۳۷/۱٤۳ ٤۸ ۰۸	۱٤۹۹/۲	مناطق مسکونی -جاده
۵	شمال شرقی روشنق	۲/۰۳۲ ۰۹ ۳۸	۲۷/۳۹۷ ٤۸ ۱۱	۱٤۲٦/۹	زراعت- جاده -نزدیک رستوران- سد
٦	شمال قاسم قشلاقی	۲۲/۹۹٦ ۰۸ ۳۸	۳۸/۸۲۸ ٤۸ ۱۰	۱٤۳۲/۰	اراضی کشاورزی- روستا-مناطق مسکونی
۷	شرق تپه نادری	۲۹/۰٤۳ ۱۳ ۳۸	۱۵/۹٦۵ ٤۸ ۱٦	۱۳٦۲/۲	خیابان-پل-مناطق مسکونی
۸	شمال شرقی میدان قدس	۵۵/۰۱۵ ۱۳ ۳۸	۱۰/۰۳۸ ٤۸ ۱۷	۱۳۵۵/۸	منطقه مسکونی-جاده -سفره خانه-پل
۹	شمال شرقی میدان ورزش	۲۸/۱٤٤ ۱٤ ۳۸	۵۲/۹۸۸ ٤۸ ۱۷	۱۳۵۰/۰	منطقه مسکونی-جاده-مدرسه
۱۰	شمال شرقی میدان توحید	۱/٤۰۷ ۱۵ ۳۸	٤۸/۳۲٦ ٤۸ ۱۸	۱۳٤۲/۸	منطقه مسکونی-خیابان-پل
۱۱	شمال غربی شهید رجایی	۱۲/۰۸۳ ۱۵ ۳۸	۵۷/۲۸۷ ٤۸ ۱۸	۱۳۳۹/٦	منطقه مسکونی-جاده
۱۲	شمال زرناس	۵٤/۵٤۳ ۱۵ ۳۸	۳۲/۲۰۳ ٤۸ ۱۹	۱۳۳۰/٦	پارک-منطقه مسکونی-پل

سپس نمونه‌ها 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 ۲٦]. نمونه‌ها 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 نمونه‌ها و عدم تأثیر مواد بر غلظت فلزات، در هر نوبت از عملیات هضم یک نمونه‌ی شاهد استفاده گردید (نسبت یک به چهار اسید پرکلریک و اسید نیتریک) و مقدار آن از غلظت نمونه‌ها کم شد. در این تحقیق داده‌ها به کمک آمار توصیفی و استنباطی تحلیل شدند. فراکافت آماری یافته‌ها با نرم افزار SPSS ویرایش ۲٤ و Office Excel ۲۰۱۳ انجام شد.

شاخص‌های 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. شاخص‌های ذکر شده به عنوان روش‌های متداول برای ارزیابی میزان انباشت فلزات سنگین در رسوبات مازاد از مقادیر پایه یا زمینه‌ای آن درمنطقه می‌باشد. همچنین خطر بوم‌شناسی 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

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2025-09-16]

[DOI: 10.29252/jehe.6.2.213]

برآورد شده در رسوبات منطقه ارزیابی می‌نماید(جدول۲). بر اساس رابطه ارائه شده، با در اختیار داشتن غلظت زمینه‌ای و غلظت فعلی فلز سنگین در رسوبات می‌توان شاخص انباشت ژئوشیمیایی را که بیانگر شدت آلودگی می‌باشد محاسبه نمود:

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

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، جدول۱) است. ضریب ۱/۵ به منظور کمینه کردن اثر تغییر احتمالی در غلظت‌های زمینه که بطور عمومی به تغییرات سنگ شناسی رسوبات و تاثیر عوامل زمینی نسبت داده می‌شود، منظور شده است [۱۸].

ب- فاکتور آلودگی (Cf)

اصولا مقادیر ضریب آلودگی و درجه آلودگی به ترتیب می‌توانند 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 می‌دهد. ضریب آلودگی هاکنسون [۱۱].

رابطه (۲)
$$CF = \frac{C_i}{C_n}$$

در این رابطه C_i : غلظت عنصر در نمونه و C_n: غلظت همان فلز در ماده مرجع (میانگین شیل) است.که بیان کننده رابطه۲ است. رده بندی مربوط به شاخص ضریب آلودگی در جدول (۳) آمده است.

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

وضعیت آلودگی رسوبات	درجه آلودگی	مقادیرIgeo
غیرآلوده	۰	۰
غیرآلوده تا آلودگی متوسط	۱	۰-۱
آلودگی متوسط	۲	۱-۲
آلودگی متوسط تا زیاد	۳	۲-۳
آلودگی زیاد	٤	۳-٤
آلودگی زیاد تا به شدت آلوده	٥	٤-٥
به شدت آلوده	٦	>٥

جدول ۳: طبقه بندی درجه آلودگی براساس شاخص فاکتورآلودگی (Hakanson، ۱۹۸۰)

مقدار CF	طبقه بندی
CF<۱	کم
۱≤ CF≤۳	متوسط
۳≤ CF≤٦	زیاد
CF≥٦	خیلی زیاد

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2025-09-16]

[DOI: 10.29252/jehe.6.2.213]

ج- شاخص بار آلودگی Pollution Load Index (PLI)

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[۸].

$$PLI = \sqrt[4]{CF_{Cu} \times CF_{Zn} \times CF_{Cr} \times CF_{Pb}} \quad (۳)$$ رابطه

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.

$$E_r^i = \frac{C^i}{C_0^i} \times T_r^i \quad (۳)$$

$$RI = \sum_{i=1}^{7} E_r^i \quad (۴)$$

در معادلات E_r^i : شاخص پتانسیل خطر اکولوژیکی، C^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 ٤، میزان خطر اکولوژیکی و محیطی فلزات سنگین مورد بررسی را نمایش می‌دهد.

ذ- معیارهای کیفیت رسوب (NOAA ،SQG_S)

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[۲۳]. 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 (SQG_S) با دو سطح اثر متدوال PEC ، TEC می‌باشد[۲٤] در این مطالعه مقادیر فلزات محاسبه شده با استانداردهای موجود در جدول ۹ مقایسه می‌شوند.

جدول٤: شاخص‌های خطر بوم‌شناسی فلزات سنگین

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

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2025-09-16]

[DOI: 10.29252/jehe.6.2.213]

جدول۵: میانگین غلظت فلزات در ایستگاه‌های مختلف (میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک)

Stations	Cu	Zn	Cr	Pb
۱	۹/۲۹±۱/۰۲	۵/۸۲۵±۰/۲۳	۱۰/٤۵±۱/۰۸	۱۵/۵۳±۰/۳۰
۲	۵/۷۹±۱/۰٤	۵/۸۷۰±۰/۲۱	٦/۵٤±۰/۸۹	۱۳/۸۳±۱/۱۵
۳	۹/۳۷±۲/۱٦	٦/۲٤۰±۰/۳۰	٦/۰۱±۰/۳۹	۱۱/۹۱±۰/٤۵
٤	۱٤/۰۵±۱/۱۲	٦/۳۸٦±۰/۲۱	۸/۲۷±۰/۹۵	۱۳/۷۵±۰/۳۷
۵	۸/٦۰±۳/۷٦	٦/٤۳۱±۰/۲٦	٦/۰۸±۲/۹۳	۱۱/۲٤±۲/۹۳
٦	۹±۲/۰۳	۵/۸۰۵±۰/۸۰	۳/۳۹±۰/۵۳	۱۲/۸٤±۰/٤۱
۷	۱۱±۱/۰۷	۵/۸۱۳±۰/۲۳	۳/۲۱±۰/۷۰	۱٦/۷٦±۲/۳۷
۸	۱۳/۳۸±۱/۱۸	٦/٤۲۰±۰/۲۷	۲/۲۲±۱/۳۳	۱۷/۲۰±۰/٦۱
۹	۱٦/۰۷±۲/٤۲	٦/۱۳۱±۰/۲٦	۲/٦۸±۰/۷۸	٤۵/۲۱±۱٦/۷۲
۱۰	۲۱/۷۱±۸/٤۵	٦/٤۳۱±۰/۲۸	۵/۵۱±۱/۲۷	٤۳/۲۸±۳/۸۹
۱۱	۲٤/۰۷±۸/٤۳	۵/۹۳۵±۰/٤٤	۵/۲۹±۱/۸۲	۳۱/۵٤±۷/۷۹
۱۲	۱۷/۲۰±۹/۵٤	۵/۷٤۵±۰/٦۱	۵/۳۲±۲/۰۷	۲۸/۵۰±۱۱/۷۷
میانگین کل	۱۳/۲۹±۳/۱۵	٦/۰۸٤±۰/۱۷	۵/٤۱±۰/٦۹	۲۲/۰٤±٤/۷٤

*نتایج مربوط به میانگین غلظت ۳ تکرار می‌باشد.

یافته‌ها

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 ٤۵/۱۳، ۱۰/٤۵۹، ٦/٤۳۱ و ۲٤/۰۷۵ میکروگرم بر گرم بوده است. حداقل غلظت سرب، کروم، روی و مس به ترتیب ۱۱/۲٤، ۲/۲۲۷، ۵/۷٤۵ 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 به منظور طبقه‌بندی رسوبات از نظر شدت آلودگی به عناصر مورد ارزیابی، بیانگر آن بود که رسوبات رودخانه بالخلو از نظر آلودگی به هر ٤ عنصر سنگین با درجه آلودگی صفر، در طبقه غیرآلوده قرار می‌گیرد (جدول ٦).

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. همچنن 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).

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2025-09-16]

[DOI: 10.29252/jehe.6.2.213]

جدول۶: 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	۰/۰۶۱۳	−۱/۳۸۴۹	۰/۱۱۶	−۱/۱۰۸	۰/۰۶۲	−۰/۳۸۲
۲	۰/۱۲۸	−۱/۰۶۵	۰/۰۶۱۸	−۱/۳۸۵۰	۰/۰۷۲	−۱/۳۱٤	۰/۰۵۵	−۱/۳۸۲
۳	۰/۲۰۸	−۰/۸۵۷	۰/۰۶۵۶	−۱/۳۵۸۵	۰/۰۶۶	−۱/۳۵۰	۰/۰٤۷	−۱/٤۹۸
٤	۰/۳۱۲	−۰/۶۸۱	۰/۰۶۷۲	−۱/۳٤۸۵	۰/۰۹۱	−۱/۲۱۲	۰/۰۵۵	−۱/٤۳۵
۵	۰/۰۸۵	−۱/۲٤۳	۰/۰۶۷۶	−۱/۳٤۵۲	۰/۰۳٤	−۱/۶۳۹	۰/۰٤۵	−۱/۵۱۶
۶	۰/۲	−۰/۸۷۵	۰/۰۶۱۱	−۱/۳۸۹۸	۰/۰۳۷	−۱/۵۹٤	۰/۰۵۱	−۱/٤۶۵
۷	۰/۲٤٤	−۰/۷۸۷	۰/۰۶۱۹	−۱/۳۸۹۳	۰/۰۳۵	−۱/۶۲۳	۰/۰۶۷	−۱/۳٤۹
۸	۰/۲۹۷	−۰/۷۰۲	۰/۰۶۷۵	−۱/۳٤۶۲	۰/۰۲٤	−۱/۷۸۲	۰/۰۶۸	−۱/۳۸٤
۹	۰/۳۵۷	−۰/۶۲۳	۰/۰۶٤۵	−۱/۳۶۲۱	۰/۰۲۹	−۱/۷۰۷	۰/۱۸۰	−۰/۹۱۸
۱۰	۰/۶۲۲	−۰/۳۸۱	۰/۰۶۷۷	−۱/۳٤۵٤	۰/۰۶۱	−۱/۳۸٤	۰/۱۷۳	−۰/۹۳۷
۱۱	۰/٤۲۰	−۰/۵۲۷	۰/۰۶۲٤	−۱/۳۸۰۳	۰/۰٤۳	−۱/۵۳۵	۰/۱۲۶	−۱/۰۷۵
۱۲	۰/۲۶۶	−۰/۷۵۰	۰/۰۶۰٤	−۱/۳۹٤۹	۰/۰۳۳	−۱/۶۵۱	۰/۰۹۳	−۱/۲۰۵
میانگین کل		−۰/۸۶۱		−۱/۳۸٤۹		−۱/۱۰۸		−۰/۳۸۲

جدول۷: نتایج مقادیر شاخص بار آلودگی (PLI)

Stations	۱	۲	۳	٤	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	٤/۳۰۷	٤/۲۱۷	۵/۲٤۹	۳/۹۷۸	٤/۳٤۶	۵/۵٤٤	۵/۹۰۳	۱۳/۲۱۲	۱۳/٤۲۲	۱۰/۷۳۹	۹/۲۱٤

بحث و نتیجه‌گیری

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[٤]. 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 فراهم‌آورد[1].

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 و۱۱ (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 ۱،۵ و ۱۰ دارای غلظت بیشتری از فلزات کروم و روی است. به نظر می‌رسد دلیل

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2025-09-16]

[DOI: 10.29252/jehe.6.2.213]

افـزایش غلظـت ایـن فلـزات در ایـن ایسـتگاه و کـل منطقـه مطالعاتی در ارتباط با منشاء طبیعی این فلزات است. همچنـین می‌توان رودخانه بالخلو را از نظر غلظت کل عناصر و درجه‌ی آلایندگی رسوبات به فلزات بررسی شده در این پـژوهش، بـه ترتیب زیر رتبه‌بندی کرد:

سرب> مس> کروم> روی

از طرفی نتایج نشان می‌دهد که غلظت فلـزات در درون و محدوده شهر به مراتب بیشتر از میزان آنهـا در بیـرون از شـهر (قبل و بعد از شهر) است کـه ایـن موضـوع نشـان از تـاثیر و اهمیت فعالیت‌های شهر اعم از ورود رواناب، فاضلاب شهری و صنعتی بر غلظت آلاینده‌ها دارد که این نتـایج بـا یافتـه‌هـای Guan و همکاران(۲۰۱٦) نیز مطابقت دارد[۹].

مجاورت رودخانه بالخلو با مناطق مسـکونی و صـنعتی در گذر از شهر در ورودآلاینده ها و ته‌نشین کـردن آلـودگی‌هـای فلزی فراهم نموده است. همان‌گونه کـه مشـاهده شـد مقـادیر فلزات سنگین اندازه‌گیری شده در رسوبات ایستگاه‌های مـورد مطالعه نسبت به مقادیر انـدازه گیـری شـده در برخـی مـوارد بیشتر است. همچنین از آن‌جا کـه غلظـت‌هـای بـالای سـرب ممکن است بر اثر فعالیت‌های انسانی باشـد، مـی‌تـوان نتیجـه گرفت که منابع ورودی این آلاینده‌ها به محیط رودخانه نتیجـه پتانسیل ایجاد خطر در منطقه مورد مطالعه را ایجاد می نمایـد. که در مطالعات تکمیلی می توان به اندازه‌گیری همزمان فلزات سنگین در آب، رسوبات و آبزیان و تعیین شاخص‌های غنـی-سازی و ارزیابی ریسک اکولوژیکی و نیز اندازه‌گیری ضـریب جذب فلزات سنگین توسط ساکنین محلی کـه از موجـودات معیشت می کنند اشاره کرد.

مقادیر شاخص زمین انباشتگی و شاخص فـاکتور آلـودگی نشان داد که عناصر مورد مطالعه در تمامی ایستگاه‌ها به حالت غیرآلوده قرار دارند که هم راستا و موید شاخص بـار آلـودگی است که برای همه نمونه‌های رسوب کمتر از یک بدست آمـد و نشان‌دهنده عدم آلودگی منطقه به فلزات سـنگین و سـمیت پایین آنها در رودخانه بـالخلو مـی‌باشـد. در بـین ایسـتگاه‌هـا مختلف، ایستگاه شماره ۱۰ (محدوده‌ی شهر) و ایستگاه قبل از شهر به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین بار آلودگی و ایسـتگاه شماره یک به ترتیب دارای بیشترین و کمترین بار آلـودگی بـه میزان ۰/۰۲۱ و ۰/۰۰۹۵ می‌باشد. احتمـال مـی‌رود بـالا بـودن 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 وصنعتی انسانی اسـت. فلـز روی جـز عناصـر فـراوان در پوسـته زمـین اسـت (روی بیسـت و پنجمین عنصر فراوان) که بین ۰/۰۰۰۵ و ۰/۰۲ درصد پوسـته-ی زمین را تشکیل می‌دهد.

جدول ۸: مقایسه غلظت فلزات سرب، روی، کروم ومس (میکروگرم برگرم) 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	–	۱/٤	۱/۲۳	River Dry Shiraz, Iran
Mail et al, 2017	٤۱/۰	۸۲/۳	۵۲/۲	–	Italy Apulia region,
Carolina et al, 2016	۱۱/۰۵	۲٦/۳۳	۵/۸۹	۱٤/٤۹	River Pardo, Brazil
Mokhtar et al, 2015	۳۰	–	۲۵	٦۰	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	٦/۰۸	۲۲/۰٤	۵/٤۱	رودخانه بالخلو، شهرستان اردبیل: ایران

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2025-09-16]

[DOI: 10.29252/jehe.6.2.213]

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

عناصر مورد مطالعه	استاندارد آمریکا NOAA(Long et al., 1995)		استاندارد محیط زیست کانادا (CCME, 1999) SQGs		مطالعه اخیر
	ERM	ERL	PEL	TEC	
Pb	۲۱۸	٤٧	۱۲۸	۳٥/۸	۲۲/٤۹
Cu	۲۷۰	۳٤	۱٤۹	۳٦/٦	۱۳/۲۹
Zn	٤۱۰	۱٥۰	٤٥۹	۱۲۱	٦/۰٤
Cr	۳۷۰	۸۱	۱۱۱	٤۳/٤	٥/٤۱

اما می‌تواند به 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 منشا 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 آبزی 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 آبزیانی که در تماس با این رسوبات قرار دارند، از استانداردهای کیفیت رسوب کانادا SQGs (Sediment Quality Guidelines) و راهنمای کیفیت رسوب آمریکا OAA (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 وERM (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 بنتیک 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

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2025-09-16]

[DOI: 10.29252/jehe.6.2.213]

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 می‌باشد (جدول،۸).

سپاسگزاری

این مقاله حاصل پایان‌نامه کارشناسی ارشد است نویسندگان مقاله بدین وسیله مراتب سپاس و قدردانی خود را از آقای مهندس میرشاولد ریاست و خانم‌ها مهندس فرناز محمودی و بهاره روزبهانی کارشناسان آزمایشگاه‌های دانشگاه ملایر اعلام می‌دارند.

References

1. Bagheri, H., Darvish Bastsami, 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 (nofthwe 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., AlMomani, 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., Derici, 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, l. 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) inediments 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 Manage1995; 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.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2025-09-16]

[DOI: 10.29252/jehe.6.2.213]

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: Hasheylan 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. Kadhum, S.A. ,Ishak, M.Y. ,Zulkifli, S.Z. ,Hashim, R. Evaluation of the status and distributions of heavy metal pollution insurface 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.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2025-09-16]

[DOI: 10.29252/jehe.6.2.213]