



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

مقاله پژوهشی

ارزیابی ریسک زیست محیطی و بوم‌شناسی فلزات سنگین در رسوبات سطحی رودخانه چشمه کیله، مازندران

حسن ملوندی^{۱*}، نسرین حسن زاده^۲

۱- گروه محیط زیست، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران
۲- گروه محیط زیست، دانشکده محیط زیست و منابع طبیعی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

چکیده

زمینه و هدف: آلودگی فلزات سنگین به‌راحتی در اکوسیستم‌های آبی تجمع یافته و منجر به افزایش غلظت‌ها در زنجیره غذایی می‌شوند، به‌طوری‌که تهدیدی جدی برای سلامت انسان، موجودات وابسته به آب و اکوسیستم‌های آبی هستند. هدف از مطالعه حاضر تعیین غلظت فلزات سنگین در رسوبات سطحی رودخانه چشمه کیله، ارزیابی خطرات زیست محیطی و بوم‌شناسی و تعیین درجه آلودگی عناصر مورد مطالعه بود.

روش بررسی: در این مطالعه ۲۵ نمونه از رسوبات سطحی رودخانه چشمه کیله جمع‌آوری شد. محتوای فلزات سنگین نمونه‌ها با استفاده از اسپکتروسکوپی نشری نوری پلاسما جفت شده القایی سنجش شد. با توجه به محتوای فلزات سنگین نمونه‌های رسوب، شاخص‌های خطر زیست محیطی و اکولوژیکی محاسبه شدند. همچنین آلودگی رودخانه با مقایسه مقادیر عناصر مورد مطالعه با مقادیر رهنمودهای کیفیت رسوب ارزیابی شد.

یافته‌ها: میانگین غلظت‌های کروم، منگنز، آهن، کبالت، نیکل، روی و آرسنیک به ترتیب ۴۱/۲۷، ۳۵۶/۳۵، ۱۶۷۵۶/۳۲، ۹/۱۷، ۱۱/۸۷، ۴۱/۲۴ و ۲۴/۶۰ $\mu\text{g/g}$ بودند. بر مبنای مقادیر شاخص‌های I_{geo} و CF همه عناصر به استثنای آرسنیک درجه آلودگی اندک داشتند. همچنین شاخص‌های E_i^r و RI نشان‌دهنده کمترین ریسک بوم‌شناسی بودند.

نتیجه‌گیری: نتایج این مطالعه نشان داد که رسوبات سطحی رودخانه چشمه کیله در استان مازندران از نظر آرسنیک تا حدودی آلوده بود. با این حال، رسوبات این رودخانه از نقطه نظر محتوای فلزات کروم، منگنز، آهن، کبالت، نیکل و روی خوشبختانه کیفیت مناسبی داشت.

اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۶/۱۸
تاریخ ویرایش: ۹۷/۰۹/۱۰
تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۹/۱۷
تاریخ انتشار: ۹۷/۰۹/۲۸

واژگان کلیدی: فلزات سنگین، رودخانه چشمه کیله، رسوب، ریسک زیست محیطی، ریسک بوم‌شناسی

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:

hmalvandi@gmail.com

مقدمه

افزایش بی رویه جمعیت و گسترش فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی، سبب شده تا مقادیر بسیار زیادی از آلاینده‌ها از طریق مختلف وارد اکوسیستم‌های آبی شوند (۱، ۲). سلامت انسان و گونه‌های مختلف از طریق تولید و انتشار مواد شیمیایی سمی به اتمسفر، آب و خاک در حال تهدید است. از میان مواد آلاینده وارد شده به محیط‌های آبی، عناصر سنگین به علت پایداری، غیر قابل تجزیه بودن، سمیت و پتانسیل تجمع زیستی از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. به علاوه آنها می‌توانند در طول زنجیره غذایی بزرگنمایی زیستی پیدا کرده و به طور بالقوه منجر به عواقب جدی برای موجودات و به ویژه موجودات سطوح بالای زنجیره غذایی، از قبیل انسان‌ها شوند (۵-۲). از جمله اثرات این ترکیبات می‌توان به اختلال در تولید هموگلوبین، اختلال غدد درون ریز، مشکلات استخوانی، خونی، کلیوی و اثر بر سلول‌های سیستم عصبی مرکزی اشاره کرد. همچنین فلزات سنگین اثرات زیانباری بر نوزادان داشته و می‌تواند سبب عقب ماندگی ذهنی آنها شوند (۸-۶).

آلودگی فلزات سنگین در اکوسیستم‌های آبی در ماتریس‌های مختلف تحقیق شده است. در این بین رسوبات به عنوان شاخص مناسبی برای پایش آلاینده‌ها در بسترهای آبی مطرح بوده‌اند، به طوری که در آنها بسیاری از مواد آلاینده سمی و خطرناک پیدا شده است (۱). در طول چرخه هیدرولوژیکی، کمتر از ۱ درصد از آلاینده‌ها در آب به صورت محلول بوده، و بیش از ۹۹ درصد در رسوبات ذخیره می‌گردند. بنابراین رسوبات به عنوان منبع نهایی و مخزن اصلی ذخیره آلاینده‌ها در محیط‌های آبی هستند (۹). آلاینده موجود در رسوبات ممکن است تهدید ویژه‌ای برای بیوتای وابسته به آنها و حتی دیگر موجودات در سراسر زنجیره غذایی محسوب شوند. اهمیت رسوبات آلوده به عنوان عاملی برای اختلال در بسترهای آبی منجر به توسعه چندین روش برای سنجش کیفیت رسوب شده است. اثرات اغلب با استفاده از مجموعه ویژه‌ای از معیارهای سمیت رسوب برآورد می‌شود، که معمولاً برای توصیف میزان آلاینده‌ها در رسوبات همراه با طبقه‌بندی اثرات مخرب پذیرفته شده‌اند (۱۰). برای مثال

می‌توان به رهنمودهای کمترین سطح اثر (LEL)، سطح اثر آستانه (TEL)، سطح اثر احتمالی (PEL)، محدوده اثر کم (ERL) و محدوده اثر متوسط (ERM) و همچنین شاخص واحد سمیت (TUI) و رهنمودهای کیفیت رسوب (SQGs) اشاره کرد (۱۳-۱۱).

رودخانه‌ها به عنوان شریان‌های حیاتی محسوب می‌شوند، اما به واسطه ورود آلاینده‌های سمی به ویژه فلزات سنگین به آنها، وضعیت‌شان وخیم شده و در نتیجه موجودات وابسته به خود را نیز تحت تاثیر قرار می‌دهند. به همین دلیل تعیین غلظت فلزات سنگین در برخی رودخانه‌ها و بسترهای آبی ایران و سایر نقاط جهان مورد توجه محققین قرار گرفته است. برای نمونه، Ghanadpour و همکاران (۱۴) تجمع عناصر سنگین در رسوبات رودخانه اروند و بهمنشیر را مورد مطالعه قرار داده‌اند، میانگین غلظت فلزات سنگین در رسوبات منطقه از استانداردهای محیط زیست کانادا و آمریکا پایین تر بوده است. از دیگر مطالعات مشابه می‌توان به تحقیقات Malvandi، (۲۰۱۷) در رودخانه زرین گل (۱۵)، Alahabadi و همکار، (۲۰۱۸) در رودخانه تجن (۱۶)، Thuong و همکاران، (۲۰۱۳) در رودخانه Lich ویتنام (۱۷)، Möller و همکار، (۲۰۱۳) در رودخانه Saale آلمان (۱۸) و Oliveira و همکاران، (۲۰۱۶) در رودخانه Murucupi برزیل (۱۹) اشاره کرد.

یکی از رودخانه‌های مهم و پرآب در شمال کشور، رودخانه چشمه کیله واقع در استان مازندران، شهرستان تنکابن است. این رودخانه دائمی بوده که به لحاظ گونه‌های ساکن آن و مناسب بودن جهت تخم‌ریزی در آن اهمیت فوق العاده‌ای دارد. با این وجود سلامت این اکوسیستم مهم و موجودات وابسته به آن به واسطه ورود آلاینده‌های مختلف ناشی از فعالیت‌های انسانی از قبیل فاضلاب‌ها و پساب‌های شهری، روستایی، صنعتی، کشاورزی و باغبانی، فعالیت‌های کارگاه‌های پرورش ماهی و فعالیت‌های معدن کاوی (از قبیل برداشت شن و ماسه) در معرض تهدید است (۲۰).

با توجه به اهمیت حضور فلزات سنگین در اکوسیستم‌های رودخانه‌ای و تاثیرات مخرب و مضر این آلاینده‌ها بر سلامت

سپس نمونه‌ها در بسته‌های پلی اتیلنی تمیز قرار داده شدند و در دمای 0°C -۲۰ تا زمان آماده‌سازی ذخیره گردیدند.

- آماده‌سازی نمونه‌ها

نمونه‌های رسوب با استفاده از دستگاه فریز - درایر (Freeze drier)، کاملاً خشک شدند (۲۱). سپس با استفاده از الک، بصورت پودر در آمدند. در ادامه، ۱ g از هر نمونه رسوب با استفاده از مخلوط اسیدهای HNO_3 (۸ mL)، HClO_4 (۵ mL) و HF (۳ mL) در دمای 160°C به مدت ۶ h هضم گردید و پس از فیلتر، با آب یون زدایی شده (deionized) به حجم ۲۵ mL رسانده شد (۱۵، ۱۶). محلول‌های نهایی برای سنجش عناصر آرسنیک، کروم، کبالت، منگنز، نیکل، روی و آهن با استفاده از اسپکتروسکوپی نشری نوری پلاسمای جفت شده القایی (ICP-OES) مورد آنالیز قرار گرفتند. از آزمون پیرسون (Pearson correlation) برای تعیین همبستگی بین عناصر (SPSS, 15) استفاده شد.

- ارزیابی ریسک خطر فلزات سنگین

شاخص فاکتور آلودگی (CF):

مقادیر شاخص CF طبق معادله ۱ به دست می‌آید.

$$CF = C_n / C_B \quad (1)$$

که در این معادله، C_n غلظت عنصر مورد مطالعه n و C_B غلظت پس زمینه عنصر مدنظر است (۲۲). تفسیر درجه آلودگی این شاخص و سایر شاخص‌ها در جدول ۱ ذکر شده است.

شاخص بار آلودگی (PLI):

این شاخص براساس معادله ۲ محاسبه می‌شود.

$$PLI = (CF_1 \times CF_2 \times CF_3 \times \dots \times CF_n)^n \quad (2)$$

در این معادله: CF فاکتور آلودگی و n تعداد عناصر مورد بررسی است. مقدار شاخص بار آلودگی بیش از یک، نشان‌دهنده این است که سایت مدنظر آلوده است و مقدار این شاخص کمتر

انسان‌ها، موجودات وابسته به رودخانه‌ها و خود اکوسیستم و همچنین با توجه به عدم وجود اطلاعات در مورد مقادیر فلزات سنگین و ارزیابی خطرات این آلاینده‌ها در رودخانه چشمه کیله؛ انجام این تحقیق ضروری بود. بنابراین در تحقیق حاضر اهداف زیر دنبال شد: (۱) تعیین غلظت عناصر کروم، منگنز، آهن، کبالت، نیکل، روی و آرسنیک در رسوبات سطحی رودخانه چشمه کیله، (۲) ارزیابی خطرات زیست محیطی این عناصر در مناطق مورد مطالعه با استفاده از مقایسه با رهنمودهای کیفیت رسوب (SQGs)، (۳) دسته بندی آلودگی رودخانه براساس شاخص‌های پر کاربرد آلودگی.

مواد و روش‌ها

- توصیف منطقه و روش نمونه برداری

رودخانه چشمه کیله از کوه‌های تخت سلیمان و الموت سرچشمه گرفته و در نهایت از طریق شهر تنکابن به دریای خزر می‌ریزد. در تحقیق حاضر، پنج سایت در طول رودخانه از بالادست به پایین دست بر مبنای خصوصیات بوم شناسی، بکر بودن، فعالیت‌های انسانی، بود و نبود منابع آلاینده انتخاب شدند. مشخصات سایت‌ها از بالادست رودخانه به سمت پایین دست به صورت زیر بود: سایت ۱، منطقه‌ای بکر بدون فعالیت انسانی، ارتفاع از سطح دریا ۵۱۵ m و فاصله با سایت بعدی حدود ۱۱ km؛ سایت ۲، تقریباً در ابتدای فعالیت‌های کشاورزی، ارتفاع از سطح دریا ۱۶۸ m و فاصله با سایت بعدی حدود ۵ km؛ سایت ۳، حدوداً در میانه فعالیت‌های کشاورزی و بالادست مناطق مسکونی متمرکز، ارتفاع از سطح دریا ۸۶ m و فاصله با سایت بعدی حدود ۸ km؛ سایت ۴، تقریباً در بالادست شهر تنکابن، ارتفاع از سطح دریا ۱۳ m - و فاصله با سایت بعدی حدود ۱/۵ km؛ سایت ۵، در پایین دست شهر تنکابن و مصب رودخانه، ارتفاع از سطح دریا ۲۱ m - بود.

با استفاده از نمونه بردار گرب از رسوبات سطحی در اواخر بهار ۱۳۹۳ نمونه برداری شد. به این صورت که از هر سایت پنج نمونه از عمق تقریبی ۰ تا ۱۰ cm برداشته شد (در کل ۲۵ نمونه)، که هر نمونه نیز خود ترکیبی از پنج زیر نمونه بود.

جدول ۱- تفسیر درجه آلودگی شاخص های CF, I_{geo}, EF, RI (۱۵, ۱۶, ۲۳)

شاخص		پارامتر						
CF	شماره طبقه	۵	۴	۳	۲	۱		
	مقدار CF	-	CF > ۶	۳ < CF < ۶	۱ < CF < ۳	CF < ۱		
	درجه آلودگی	-	خیلی آلوده	قابل توجه	متوسط	کم		
E _r ⁱ	مقدار E _r ⁱ	۳۲۰ > E _r ⁱ	۱۶۰ > E _r ⁱ > ۳۲۰	۸۰ > E _r ⁱ > ۱۶۰	۴۰ > E _r ⁱ > ۸۰	۴۰ > E _r ⁱ		
	مقدار RI	-	۶۰۰ > RI	۳۰۰ > RI > ۶۰۰	۱۵۰ > RI > ۳۰۰	۱۵۰ > RI		
	ریسک بوم شناسی	شدید	زیاد	قابل ملاحظه	متوسط	کم		
I _{geo}	شماره طبقه	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۰
	مقدار I _{geo}	I _{geo} > ۵	۴ < I _{geo} < ۵	۳ < I _{geo} < ۴	۲ < I _{geo} < ۳	۱ < I _{geo} < ۲	۰ < I _{geo} < ۱	I _{geo} ≤ ۰
	درجه آلودگی	به شدت آلوده	زیاد تا به شدت آلوده	زیاد	متوسط تا زیاد	متوسط	غیر آلوده تا متوسط	عملاً غیر آلوده
EF	شماره طبقه	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱
	مقدار EF	EF > ۵۰	۵۰ < EF < ۲۵	۱۰ < EF < ۲۵	۵ < EF < ۱۰	۳ < EF < ۵	۱ < EF < ۳	EF < ۱
	درجه آلودگی	غنی سازی فوق العاده شدید	غنی سازی خیلی شدید	غنی سازی شدید	غنی سازی بیش از متوسط	غنی سازی متوسط	غنی سازی جزئی	عدم غنی سازی

در این تحقیق عنصر آهن به عنوان عنصر مرجع در نظر گرفته شده است. در این فرمول C_n غلظت عنصر n در نمونه رسوب، C_{ref} غلظت عنصر مرجع در نمونه رسوب، B_n غلظت پس زمینه عنصر n و B_{ref} غلظت پس زمینه عنصر مرجع است (۲۳).

شاخص های ریسک بوم شناسی بالقوه (PERI):

برای ارزیابی ریسک بوم شناسی بالقوه عناصر مورد مطالعه از این شاخص استفاده شد. این شاخص براساس معادلات ۵ و ۶ محاسبه گردید.

$$E_r^i = T_r^i \times CF \quad (5)$$

$$RI = \sum_{i=1}^n E_r^i \quad (6)$$

که در معادله ۵، CF نشان دهنده فاکتور آلودگی و T_rⁱ بیانگر فاکتور ضریب سمیت عنصر است. مقادیر T_rⁱ برای عناصر منگنز، روی، کروم، کبالت، نیکل و آرسنیک به ترتیب برابر با ۱، ۱، ۲، ۲، ۵ و ۱۰ است (۱۵، ۱۶).

از یک، بیانگر این است که سایت مدنظر غیر آلوده است (۱۶). شاخص زمین انباشتگی (I_{geo}): این شاخص توسط شخصی بنام Müller (۲۲) ارائه شده است. این شاخص براساس معادله ۳ به دست می آید.

$$I_{geo} = \text{Log}_2(C_n)/1.5(B_n) \quad (3)$$

که در معادله فوق، C_n غلظت عنصر مورد مطالعه n در نمونه های رسوب و B_n غلظت پس زمینه عنصر n است. از مقادیر شل (Shale) برای غلظت پس زمینه در این تحقیق استفاده شده است، اطلاعات بیشتر در تحقیق Malvandi (۱۵) بیان شده است.

شاخص فاکتور غنی شدن (EF):

فاکتور غنی شدن عناصر مورد مطالعه را از طریق معادله ۴ می توان محاسبه کرد.

$$EF = (C_n/C_{ref})/(B_n/B_{ref}) \quad (4)$$

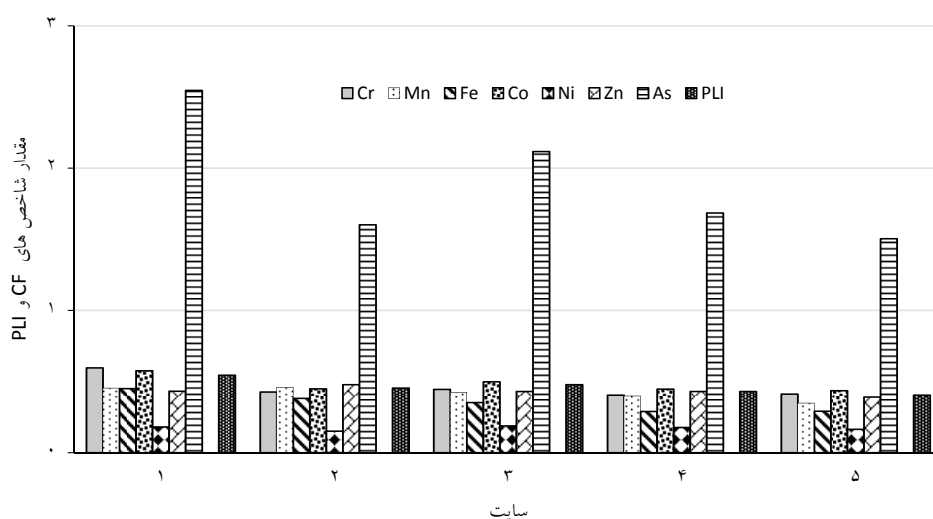
یافته‌ها

مقادیر عناصر مورد مطالعه در ایستگاه‌های نمونه برداری از رسوبات رودخانه چشمه کیله، در جدول ۲ نشان داده شده است. محدوده مقادیر عنصر کروم بین ۳۴/۴۰ و ۶۶/۹۵، منگنز بین ۲۹۴/۴۵ و ۴۵۴/۳۵، آهن بین ۱۲۰۵۸/۶۹ و ۲۴۸۹۹/۳۴، کبالت بین ۸/۰۲ و ۱۳/۰۴، نیکل بین ۹/۷۲ و ۱۴/۱۱، روی بین ۳۲/۴۷ و ۵۵/۱۳ و آرسنیک بین ۱۴/۶۰ و ۳۶/۹۸ $\mu\text{g/g}$ بودند. میانگین غلظت عناصر کروم، منگنز، آهن، کبالت، نیکل، روی و آرسنیک به ترتیب برابر ۴۱/۲۷، ۳۵۶/۳۵، ۴۱۰۰۰، ۱۴، ۵۲ و ۷۵ $\mu\text{g/g}$ بود (نمودار ۱).

مورد مطالعه بودند (جدول ۲).
محدوده مقادیر شاخص CF برای عناصر کروم بین ۰/۴۱ و ۰/۶۰، منگنز بین ۰/۳۵ و ۰/۴۶، آهن بین ۰/۲۹ و ۰/۴۵، کبالت بین ۰/۴۴ و ۰/۵۸، نیکل بین ۰/۱۵ و ۰/۱۹، روی بین ۰/۳۹ و ۰/۴۸ و آرسنیک بین ۱/۵۱ و ۲/۵۵ بودند. همچنین مقادیر شاخص PLI در محدوده ۰/۴۱ تا ۰/۵۵ بود. در تمام سایت‌های مورد مطالعه مقادیر این شاخص کمتر از ۱ بود (نمودار ۱).

جدول ۲- غلظت فلزات سنگین در رسوبات سطحی رودخانه چشمه کیله بر حسب $\mu\text{g/g}$ وزن خشک

سایت	عناصر	کروم	منگنز	آهن	کبالت	نیکل	روی	آرسنیک
۱		۵۳/۷۸	۳۸۷/۸۶	۲۱۳۲۰/۳۴	۱۰/۹۷	۱۲/۴۳	۴۱/۲۰	۳۳/۱۳
۲		۳۸/۴۷	۳۹۲/۶۱	۱۸۰۸۸/۶۲	۸/۵۵	۱۰/۴۵	۴۵/۶۶	۲۰/۸۴
۳		۴۰/۲۳	۳۶۲/۷۵	۱۶۷۱۴/۰۷	۹/۵۰	۱۲/۹۴	۴۰/۹۹	۲۷/۵۵
۴		۳۶/۶۱	۳۴۰/۵۸	۱۳۷۹۱/۴۹	۸/۵۳	۱۲/۲۱	۴۰/۹۷	۲۱/۹۴
۵		۳۷/۲۶	۲۹۷/۹۷	۱۳۸۶۷/۰۹	۸/۳۰	۱۱/۳۰	۳۷/۳۸	۱۹/۵۷
	مقادیر میانگین کل سایت‌ها	۴۱/۲۷	۳۵۶/۳۵	۱۶۷۵۶/۳۲	۹/۱۷	۱۱/۸۷	۴۱/۲۴	۲۴/۶۰
	میانگین جهانی رسوبات	۷۰	۷۷۰	۴۱۰۰۰	۱۴	۵۲	۹۵	-
	میانگین پوسته زمین	۱۰۰	۹۵۰	۴۱۰۰۰	۲۰	۸۰	۷۵	۱/۸



نمودار ۱- مقادیر شاخص‌های فاکتور آلودگی (CF) و شاخص بار آلودگی (PLI) در سایت‌های رودخانه چشمه کیله

شده است، مقادیر این شاخص برای عنصر کروم در محدوده ۱/۱۲ تا ۱/۴۱، منگنز ۱/۰۱ تا ۱/۳۷، کبالت ۱/۱۷ تا ۱/۵۴، نیکل ۰/۴۰ تا ۰/۶۱، روی ۰/۹۶ تا ۱/۴۸ و آرسنیک ۴/۱۸ تا ۵/۹۸ بودند. بیشترین مقدار این شاخص مربوط به آرسنیک و کمترین نیکل بود. به این صورت که آرسنیک در طبقه چهار و نیکل در طبقه اول قرار داشتند.

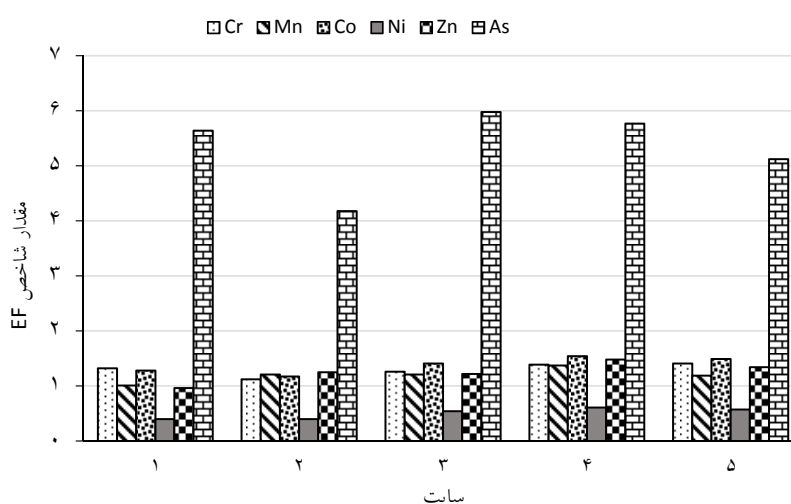
محدوده مقادیر شاخص E_r^i نیز از ۰/۳۵ تا ۲۵/۴۹ متغیر بود. مقادیر این شاخص برای کروم بین ۰/۸۱ تا ۱/۲، منگنز بین ۰/۳۵ تا ۰/۴۶، کبالت بین ۰/۸۷ تا ۱/۱۶، نیکل بین ۰/۷۷ تا

مقادیر شاخص I_{geo} برای تمام عناصر به استثنای آرسنیک منفی به دست آمد. بدین صورت که محدوده مقادیر شاخص I_{geo} برای عناصر کروم بین $(-1/33)$ تا $(-1/88)$ ، منگنز بین $(-1/70)$ تا $(-2/10)$ ، آهن بین $(-1/73)$ تا $(-2/36)$ ، کبالت بین $(-1/38)$ تا $(-1/78)$ ، نیکل بین $(-2/98)$ تا $(-3/29)$ ، روی بین $(-1/64)$ تا $(-1/93)$ و آرسنیک بین ۰/۰۱-۰/۷۶ بودند (جدول ۳). بر مبنای این نتایج عنصر آرسنیک در طبقه اول و سایر عناصر در طبقه صفر قرار داشتند.

در نمودار ۲ مقادیر به دست آمده از شاخص EF نشان داده

جدول ۳- مقادیر شاخص زمین انباشتی (I_{geo}) در سایت‌های رودخانه چشمه کبله

سایت	عناصر	کروم	منگنز	آهن	کبالت	نیکل	روی	آرسنیک
۱		-۱/۳۳	-۱/۷۲	-۱/۷۳	-۱/۳۸	-۳/۰۴	-۱/۷۹	۰/۷۶
۲		-۱/۸۱	-۱/۷۰	-۱/۹۷	-۱/۷۴	-۳/۲۹	-۱/۶۴	۰/۱۰
۳		-۱/۷۵	-۱/۸۱	-۲/۰۸	-۱/۵۸	-۲/۹۸	-۱/۸۰	۰/۵۰
۴		-۱/۸۸	-۱/۹۰	-۲/۳۶	-۱/۷۴	-۳/۰۶	۱/۸۰	۰/۱۷
۵		-۱/۸۶	-۲/۱۰	-۲/۳۵	-۱/۷۸	-۳/۱۷	-۱/۹۳	۰/۰۱



نمودار ۲- مقادیر شاخص فاکتور غنی شدن (EF) در سایت‌های رودخانه چشمه کبله

میانگین پوسته زمین و میانگین جهانی رسوبات نشان داد که میانگین تمام عناصر مورد مطالعه، به‌استثنای آرسنیک کمتر از مقادیر میانگین پوسته زمین و میانگین جهانی رسوبات بودند (جدول ۲) (۱۶). غلظت‌های بالای آرسنیک در رسوبات احتمالا نشان‌دهنده ورود این آلاینده از فعالیت‌های انسانی از قبیل رشد صنعتی، شهرنشینی و همچنین فعالیت‌های باغبانی و کشاورزی به منطقه مورد مطالعه است.

تحقیقات زیادی در سراسر دنیا در مورد غلظت فلزات سنگین رسوبات در بسترهای آبی انجام شده است. برای نمونه می‌توان به تحقیقات انجام شده در رودخانه‌های کر (۲۴)، ارون و بهمنشیر (۱۴)، زرین گل (۱۵)، تجن (۱۶) (ایران)، Guadaia (۲۵) (اسپانیا)، Gomti (۲۶) Ganga (۲۷) Cauvery (۲۸) (هند)، Kubanni (۲۹) (نیجریه)، Seybouse (۳۰) (الجزایر)، Karnaphuli (۳۱) Paira (۳۲) Korotoa (۳۳) (بنگلادش)، Chenab (۳۴) (پاکستان)، Luanhe (۳۵) (۳۶) Guangdong (چین) و Guaracara (۳۷) (ترینیداد) اشاره کرد. مقادیر برخی فلزات سنگین در تحقیق حاضر بیشتر و برخی کمتر از مقادیر گزارش شده در رودخانه‌های بالا بود. مقادیر عنصر کبالت در رودخانه‌های چشمه کیله، بیشتر از تمام مطالعات ذکر شده است. در مجموع در بین رودخانه‌های اشاره شده بیشترین مقدار عناصر کروم، منگنز، آهن، کبالت، نیکل،

روی بین ۰/۳۹ تا ۰/۴۸ و آرسنیک بین ۱۵/۰۵ تا ۲۵/۴۹ متغیر بود. همچنین مقادیر شاخص RI بین محدوده ۱۸/۳۲ تا ۲۹/۶۵ بود. بیشترین مقدار این شاخص مربوط به سایت شماره ۱ و کمترین مربوط به سایت شماره ۵ بود (جدول ۴).
بین بیشتر عناصر مورد مطالعه همبستگی معنی‌دار مشاهده شد و کمترین میزان همبستگی معنی‌دار بین عنصر روی با سایر عناصر مشاهده شد (روی فقط با عنصر منگنز همبستگی معنی‌دار داشت). همبستگی به‌دست آمده بین عناصر به شرح زیر بود: کروم-آهن، کروم-کبالت، کروم-آرسنیک، منگنز-آهن، منگنز-روی، آهن-کبالت، آرسنیک-آهن، و آرسنیک-کبالت با سطح معنی‌داری $p < 0.01$ و نیکل-کروم، نیکل-کبالت و نیکل-آرسنیک با سطح معنی‌داری $p < 0.05$.

بحث

غلظت عناصر مورد مطالعه در جدول ۲ نشان داده شده است، برای تمام عناصر بیشترین غلظت در سایت شماره ۱ مشاهده شد (به‌استثنای روی)، درحالی‌که بیشترین غلظت روی در سایت ۲ مشاهده شد. کمترین مقدار عناصر آرسنیک، منگنز و آهن در سایت ۵، کمترین مقدار عناصر کبالت و نیکل در سایت ۲ و کمترین غلظت روی در سایت ۱ به‌دست آمد. مقایسه نتایج به‌دست آمده از غلظت فلزات سنگین با مقادیر

جدول ۴- مقادیر شاخص‌های ریسک بوم‌شناسی بالقوه E_r^i و RI در سایت‌های رودخانه چشمه کیله

شاخص RI	E_r^i شاخص						شاخص و عناصر سایت
	آرسنیک	روی	نیکل	کبالت	منگنز	کروم	
۲۹/۶۵	۲۵/۴۹	۰/۴۳	۰/۹۱	۱/۱۶	۰/۴۶	۱/۲	۱
۱۹/۴۹	۱۶/۰۳	۰/۴۸	۰/۷۷	۰/۹۰	۰/۴۶	۰/۸۵	۲
۲۴/۸۹	۲۱/۱۹	۰/۴۳	۰/۹۵	۱/۰۰	۰/۴۳	۰/۸۹	۳
۲۰/۳۱	۱۶/۸۷	۰/۴۳	۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۴۰	۰/۸۱	۴
۱۸/۳۲	۱۵/۰۵	۰/۳۹	۰/۸۳	۰/۸۷	۰/۳۵	۰/۸۳	۵
۲۲/۵۴	۱۸/۹۳	۰/۴۳	۰/۸۷	۰/۹۷	۰/۴۲	۰/۹۲	میانگین کل سایت‌ها

روی و آرسنیک، به ترتیب مربوط به رودخانه Korotoa از بنگلادش (۳۳)، Guaracara از ترینیداد (۳۷)، Ganga از هند (۲۷)، چشمه کیله از ایران، کر از ایران (۲۴)، Guaracara از ترینیداد (۳۷) و Karnaphuli از بنگلادش (۳۳) است. عناصری که در سایر رودخانه‌ها بیشتر از رودخانه چشمه کیله بودند، به‌طور کلی، حدود ۱/۵ تا ۲۷ برابر بیشتر از مقادیر گزارش شده از رسوبات مورد بررسی در مطالعه حاضر بودند. نتایج شاخص CF نشان داد که آرسنیک در تمام سایت‌های مورد مطالعه در طبقه دوم یعنی درجه آلودگی متوسط و سایر عناصر در تمام سایت‌ها در طبقه اول یعنی درجه آلودگی اندک دسته‌بندی شدند. در بین سایت‌های مورد مطالعه بیشترین مقدار شاخص CF در سایت شماره ۱ مشاهده شد. از آنجایی که این سایت در بالادست رودخانه واقع شده است و فعالیت انسانی قابل توجهی در آنجا وجود ندارد، بنابراین به نظر می‌رسد که آلودگی این سایت به احتمال زیاد مرتبط به فعالیت‌های طبیعی و زمین‌شناختی است. نتایج به‌دست آمده در این تحقیق مشابه تحقیق انجام شده در رودخانه‌های Trepça and Sitnica از کوزوو بود، به‌طوری‌که در آن مطالعه نیز عنصر آرسنیک بیشترین مقدار شاخص را داشت، هرچند که با درجه آلودگی زیاد دسته‌بندی شده بود (۳۸). همچنین در مطالعه انجام شده در رودخانه Douro در پرتغال (۲۳) و در رودخانه Bonny از نیجریه نیز تمام عناصر مورد مطالعه درجه آلودگی اندک را نشان دادند (۳۹). در برخی مطالعات نتایج متفاوتی در مقایسه با مطالعه حاضر گزارش شده است، برای نمونه عناصر کروم، سرب، نیکل بر مبنای شاخص CF درجه آلودگی متوسط در رودخانه‌های Couva و Caparo؛ و درجه آلودگی قابل توجه در رودخانه Guaracara از ترینیداد را نشان داده‌اند. در بین عناصر مورد مطالعه در آن تحقیق، روی بیشترین درجه آلودگی را نشان داده است، این عنصر درجه آلودگی خیلی زیاد در رودخانه‌های Caparo و Guaracara را به خود اختصاص داده است (۳۷). در مطالعه انجام شده در رودخانه Mangonbangon فیلیپین نیز روی بیشترین میزان شاخص CF را داشته است. درجه آلودگی روی متوسط بوده، در حالی که سایر عناصر درجه آلودگی

اندک را داشته‌اند (۴۰). در رودخانه Djendjen از الجزایر نیز مقدار شاخص CF برای تمام عناصر بیشتر از ۱ بوده است و تمام عناصر درجه آلودگی متوسط و قابل توجه را نشان داده‌اند (۴۱). به‌علاوه باید خاطر نشان کرد که نتایج تحقیق حاضر عکس نتایج به‌دست آمده از رودخانه زرین گل و تجن بود (۱۵، ۱۶). در آن تحقیق‌ها، سایت‌های واقع در پایین دست نسبت به سایت‌های بالادست، مقادیر بیشتری از این شاخص را نشان دادند، که دلیل احتمالی آن فعالیت‌های شهری و روستایی در سایت‌های پایین دست ذکر شده است.

در تمام سایت‌های مورد مطالعه مقادیر شاخص PLI کمتر از ۱ بود که این نتایج نشان می‌دهد میزان غلظت عناصر در تمام سایت‌ها کمتر از مقادیر پس زمینه بوده و در نتیجه از لحاظ آلودگی، در طبقه غیرآلوده قرار می‌گیرند. بنابراین براساس این شاخص نگرانی جدی از لحاظ آلودگی این عناصر وجود ندارد. نتایج به‌دست آمده در این مطالعه مشابه نتایج به‌دست آمده از رودخانه‌های تجن (۱۶)، زرین گل (۱۵) و Bonny (۳۹) بود. در حالی که در برخی مطالعات نتایج، مشابه نتایج تحقیق حاضر نبودند. برای نمونه، مقادیر این شاخص در تمام سایت‌های مورد مطالعه در رودخانه‌های Caparo، Couva، Guaracara (۳۷) و Djendjen بیشتر از یک بود و این امر نشان‌دهنده آلودگی زیاد این رودخانه‌ها است (۴۱). در رودخانه Mangonbangon مقادیر این شاخص نیز متغیر بود (۰/۴۹ تا ۱/۲۱)، در این رودخانه در برخی از سایت‌های نمونه‌برداری مقدار شاخص بیشتر از ۱، یعنی آلوده طبقه بندی شده بود (۴۰).

براساس نتایج شاخص I_{geo} پیشنهاد می‌شود که آلودگی رسوبات سطحی رودخانه مورد مطالعه برای عناصر کروم، منگنز، آهن، کبالت، نیکل و روی در سطح غیرآلوده و برای عنصر آرسنیک در سطح نسبتاً آلوده در نظر گرفته شود. در رودخانه‌های Bonny (۳۹) و Mangonbangon (۴۰) نیز نتایج تقریباً مشابهی به‌دست آمده است. در رودخانه Bonny تمام عناصر مورد مطالعه در تمام سایت‌های نمونه‌برداری در طبقه صفر این شاخص قرار گرفته‌اند و در رودخانه Mangonbangon نیز عناصر مورد مطالعه در آن تحقیق به غیر از روی و مس

نتایج مشابهی به دست آمد در آن تحقیق در تمام سایت‌ها و برای تمام عناصر مقدار E_p^i کمتر از ۴۰ بود (به استثنای یک سایت برای عنصر روی)، همچنین مقدار شاخص RI نیز کمتر از ۱۵۰ یعنی آلودگی اندک بود (۳۷).

برای بررسی ویژگی‌های مشترک (رفتار و منشأ) فلزات در رودخانه چشمه کیله، تجزیه و تحلیل همبستگی بین عناصر انجام شد. غلظت برخی از فلزات مورد مطالعه در رسوبات به طور معنی‌داری همبستگی داشتند و بیشترین همبستگی بین عنصر کروم، کبالت و آرسنیک با سایر عناصر مشاهده شد. در بین عناصر تنها عنصر روی کمترین همبستگی معنی‌داری را داشت (فقط با عنصر منگنز) ($p < 0.05$). این روابط احتمالاً نشان‌دهنده منشأ و یا رفتار زمین-شیمیایی مشابه و فرایندهای پراکندگی مشابه در سایت‌های مورد مطالعه برای عناصری با همبستگی معنی‌دار است. به علاوه عواملی از جمله منبع سنگ و یا نوع خاک، فرایندهای اقلیمی، پدیده جذب سطحی، و ویژگی‌های محیط رسوبی، می‌تواند توزیع فلزات در رسوبات را تحت تاثیر قرار دهد (۴۳). طبق تحقیق Zabetoglou و همکاران (۴۴) اکسید/هیدروکسیدهای آهن میل ترکیبی بالا با اکثر فلزات کمیاب دارند و آهن اغلب با مقادیر سایر فلزات در محیط‌های آبی همبستگی دارد. در این مطالعه نیز همبستگی بالایی بین آهن و سایر عناصر مشاهده شد. در برخی مطالعات همبستگی بین غلظت فلزات سنگین در رسوبات مورد بررسی قرار گرفته است. در مطالعه انجام شده در رسوبات رودخانه Wuli از چین همبستگی معنی‌داری بین اکثر فلزات (۴۵) و در رسوبات رودخانه Luanhe، ارتباط معنی‌داری میان برخی از عناصر گزارش شده است (۳۵). در مطالعه انجام شده در رودخانه زرین گل نیز همبستگی معنی‌داری در بین غلظت برخی از فلزات سنگین در رسوبات رودخانه مشاهده شده است، هر چند که در آن مطالعه برخلاف مطالعه حاضر، عنصر کروم با هیچ کدام از عناصر همبستگی معنی‌دار نداشته است (۱۵).

همچنین برای ارزیابی منشأ احتمالی عناصر از شاخص EF نیز استفاده شد. این شاخص یک روش نسبتاً مناسب برای تمایز بین منابع انسانی و طبیعی عناصر است (۴۶). مقادیر

در طبقه صفر یعنی غیرآلوده طبقه‌بندی شده‌اند. در حالی که در تحقیق انجام شده در رودخانه Douro عناصر روی، کروم، نیکل و کبالت در تمام سایت‌ها در بالاترین طبقه آلودگی این شاخص یعنی به شدت آلوده دسته‌بندی شده بودند (۲۳). در مطالعه انجام شده در رودخانه‌های Couva, Caparo و Guaracara تنها عنصر کادمیوم و سرب در طبقه صفر یعنی غیرآلوده قرار داشتند، و آلودگی سایر عناصر مانند کروم، منگنز، نیکل و روی بالا بوده و حتی در طبقه چهار آلودگی نیز قرار داشتند، که علت آن صنایع خودروسازی و سایر فعالیت‌های انسانی ذکر شده است (۳۷). همچنین در رودخانه Djendjen برای تمام عناصر مورد مطالعه مقادیر این شاخص در طبقه ۱ و ۲ قرار گرفته بودند، به طوری که درجه آلودگی اکثر رسوبات از غیرآلوده تا آلودگی متوسط طبقه بندی شده بودند (۴۱). در تحقیق حاضر، مقادیر به دست آمده از شاخص EF نشان داد که رسوبات رودخانه چشمه کیله در طیف گسترده‌ای از غنی‌سازی یعنی از محدوده بدون غنی‌سازی تا غنی‌سازی بیش از متوسط قرار می‌گیرند (نمودار ۲). بیشترین میزان این شاخص متعلق به آرسنیک بود، که این عنصر در سایت ۲ در طبقه ۳ یعنی غنی‌سازی متوسط و در سایر سایت‌ها در طبقه چهار یعنی غنی‌سازی بیش از متوسط دسته‌بندی گردید. نتایج این تحقیق تقریباً مشابه نتایج به دست آمده از رودخانه تجن بود، در آن مطالعه نیز عنصر نیکل کمترین میزان این شاخص و عنصر آرسنیک بیشترین را به خود اختصاص دادند (۱۶).

برای ارزیابی ریسک بوم‌شناسی عناصر مورد مطالعه از شاخص‌های ریسک بوم‌شناسی بالقوه E_p^i و RI استفاده شد. براساس هر دو شاخص بالا، میزان غلظت عناصر مورد مطالعه در حال حاضر دارای درجه خطر اندک هستند (جدول ۴). بنابراین براساس شاخص‌های E_p^i و RI می‌توان بیان کرد که خطرات زیست‌محیطی بالقوه‌ای از لحاظ مقادیر عناصر مورد مطالعه در رودخانه چشمه کیله وجود ندارد. نتایج حاصل مشابه نتایج به دست آمده در رودخانه‌های زرین گل (۱۵)، تجن (۱۶)، Mangonbangon (۴۰) و سواحل مدیترانه مصر (۴۲) بود. همچنین در رودخانه‌های Couva, Caparo و Guaracara

به استثنای عنصر آرسنیک، احتمالاً منشأ طبیعی دارند. هر چند لازم به ذکر است که برای تعیین دقیق منشأ عناصر نیاز به استفاده از روش‌های گونه‌سازی یا جزء به جزء شدگی است. نتایج به دست آمده از شاخص‌های آلودگی CF ، I_{geo} و EF تقریباً مشابه بوده و در تمام این شاخص‌ها عنصر آرسنیک میزان آلودگی بیشتری را نسبت به سایر عناصر در سایت‌های نمونه برداری نشان داد. براساس یافته‌های به دست آمده از شاخص‌های CF ، PLI ، I_{geo} ، EF ، E_i^i و RI و همچنین مقایسه نتایج با استانداردهای بین المللی، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که گرچه میزان عناصر روی، نیکل، آهن، کبالت و منگنز نشان‌دهنده محیطی بی‌خطر از لحاظ آلودگی این عناصر هستند، اما با این وجود، به نظر می‌رسد عنصر آرسنیک در منطقه مورد مطالعه تهدیدی بالقوه برای محیط زیست، آبریزان و سایر موجودات وابسته به آن هستند. هر چند به طور کلی، می‌توان گفت که خوشبختانه بستر رودخانه مورد نظر از نقطه نظر غلظت اکثر فلزات سنگین کیفیت مناسب دارد، بنابراین از نظر این عناصر می‌تواند به عنوان رودخانه‌ای رفرنس در مطالعات بوم سم شناسی یا مطالعات مرتبط محسوب شود. گرچه برای نتیجه‌گیری صحیح‌تر در مورد وضعیت آلودگی این رودخانه و سایر رودخانه‌ها لازم است که تعداد سایت‌های بیشتر، تعداد نمونه‌های بیشتر، تعداد عناصر بیشتر و همچنین انواع آلاینده‌های متنوع مورد ارزیابی قرار گیرد.

ملاحظات اخلاقی

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

تشکر و قدردانی

از دکتر جابر اعظمی، رضا قوسی و محمد آخوندی به دلیل کمک‌های صمیمانه و بی‌دریغشان کمال تشکر را دارم.

شاخص EF بین $0/05$ و $1/5$ نشان‌دهنده منشأ طبیعی و مقادیر EF بیشتر از $1/5$ بیانگر منابع انسانی عنصر مدنظر است (۱۵). بنابراین بر مبنای تفسیر بالا، مقادیر میانگین این شاخص برای عناصر کروم، منگنز، آهن، کبالت، نیکل و روی در تمام سایت‌ها کمتر از $1/5$ بود، که این نتایج نشان داد این عناصر در سایت‌های مورد مطالعه از منابع طبیعی منشأ گرفته‌اند، در حالی که مقادیر شاخص EF برای عنصر آرسنیک در تمام سایت‌ها و برای عنصر روی فقط در سایت ۴ بیشتر از $1/5$ بودند، که این نتایج نشان‌دهنده انسان‌زاد بودن منشأ این عناصر در سایت‌ها است.

برای درجه‌بندی آلودگی و اثرات مخرب احتمالی بر موجودات آبرزی، مقادیر عناصر سنگین در رودخانه چشمه کیله با استانداردهای کیفیت رسوبات مقایسه شد. در تمام سایت‌های مورد مطالعه، مقادیر عناصر منگنز، آهن، نیکل و روی در تمام سایت‌ها کمتر از راهنمای ارائه شده برای رسوبات بود، در حالی که مقادیر عنصر کروم از مقادیر TEL و LEL تجاوز کرده و همچنین غلظت عنصر آرسنیک نیز از مقادیر دستورالعمل TEL ، LEL ، MET ، PEL و TET بیشتر بود. به علاوه براساس طبقه بندی سمیت رسوبات توسط EPA ، عناصر آهن، نیکل و روی عدم آلودگی، عناصر کروم و منگنز آلودگی متوسط و آرسنیک آلودگی شدید را نشان دادند. در مطالعه انجام شده در تالاب شیرین سو واقع در شیراز، با توجه به غلظت عناصر کادمیوم، کروم، آهن، سرب و روی نتایج نشان داده است که مقادیر این آلاینده‌ها از لحاظ طبقه آلودگی، در طبقه غیرآلوده قرار می‌گیرند (۴۷). همچنین در مطالعه دیگری در دریاچه خانپور واقع در پاکستان، عناصر کروم، مس و روی در طبقه آلودگی متوسط، منگنز در طبقه آلودگی شدید و آهن طبقه غیرآلوده دسته بندی شده‌اند (۴۸).

نتیجه‌گیری

برای این تحقیق غلظت فلزات سنگین کروم، منگنز، آهن، کبالت، نیکل، روی و آرسنیک در رسوبات رودخانه چشمه کیله مورد سنجش قرار گرفت. نتایج نشان داد که بیشتر عناصر

References

1. Pekey H, Karakaş D, Ayberk S, Tolun L, Bakoğlu M. Ecological risk assessment using trace elements from surface sediments of Izmit Bay (Northeastern Marmara Sea) Turkey. *Marine Pollution Bulletin*. 2004;48(9-10):946-53.
2. Khosravi M, Bahramifar N, Ghasempour M. Survey of heavy metals (Cd, Pb, Hg, Zn and Cu) contamination in sediment of three sites Anzali wetland. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2011;4:223-31 (in Persian).
3. Mohammad Moradi B, Sobhanardakani S, Cheraghi M. Ecological risk of heavy metals in surface soils of urban parks. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2018;10(4):429-42 (in Persian).
4. Crini G. Recent developments in polysaccharide-based materials used as adsorbents in wastewater treatment. *Progress in Polymer Science*. 2005;30(1):38-70.
5. Zhang R, Zhou L, Zhang F, Ding Y, Gao J, Chen J, et al. Heavy metal pollution and assessment in the tidal flat sediments of Haizhou Bay, China. *Marine Pollution Bulletin*. 2013;74(1):403-12.
6. Farahmand Kia Z, Mehrasbi M, Sekhawatju M, Shahrokh H, Ramezanzadeh Z. Study of heavy metals in the atmospheric deposition in Zanjan, Iran. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2010;2(4):240-49 (in Persian).
7. Çoğun HY, Şahin M. The effect of lead and zeolite on hematological and some biochemical parameters in Nile fish (*Oreochromis niloticus*). In: Silva-Opps M, editor. *Current progress in biological research*. London: IntechOpen; 2013.
8. Kamarehei B, Mirhosseini S, Jafari A, Asgari G, Bajerjandi M, Rostami Z. Study of heavy metal concentration (As, Ba, Cd, Hg, Pb, Cr) in water resources and river of Borujerd city in 2008-2009. *Yafteh*. 2010;11(4):45-51 (in Persian).
9. Bartoli G, Papa S, Sagnella E, Fioretto A. Heavy metal content in sediments along the Calore river: relationships with physical-chemical characteristics. *Journal of Environmental Management*. 2012;95:S9-S14.
10. Binelli A, Sarkar SK, Chatterjee M, Riva C, Parolini M, deb Bhattacharya B, et al. A comparison of sediment quality guidelines for toxicity assessment in the Sunderban wetlands (Bay of Bengal, India). *Chemosphere*. 2008;73(7):1129-37.
11. Burton Jr GA. Sediment quality criteria in use around the world. *Limnology*. 2002;3(2):65-76.
12. Mossop D, Kellar C, Jeppe K, Myers J, Rose G, Weatherman K, et al. Impacts of intensive agriculture and plantation forestry on water quality in the Latrobe catchment, Victoria: EPA Victoria; 2013.
13. Sanches Filho PJ, Betemps GR, Mesenburg AP, Alfonso PI. Determination of trace metals in sediment samples of the Santa Brbara Channel/Pelotas/RS/Brazil. *Journal of Environmental Chemistry and Ecotoxicology*. 2013;5(7):190-95.
14. Ghannadpour J, Safahieh A, Zand Moghadam A. Heavy metals (Pb, Zn, Ni and Cd) accumulation in sediment and (*Typha latifolia*) from Bahmaneshir and Arvand rivers in the winter. *Journal of Wetland Ecology*. 2010;2(5):29-36 (in Persian).
15. Malvandi H. Preliminary evaluation of heavy metal contamination in the Zarrin-Gol River sediments, Iran. *Marine Pollution Bulletin*. 2017;117(1-2):547-53.
16. Alahabadi A, Malvandi H. Contamination and ecological risk assessment of heavy metals and metalloids in surface sediments of the Tajan River, Iran. *Marine Pollution Bulletin*. 2018;133:741-49.
17. Thuong NT, Yoneda M, Ikegami M, Takakura M. Source discrimination of heavy metals in sediment and water of To Lich River in Hanoi City using multivariate statistical approaches. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2013;185(10):8065-75.
18. Möller S, Einax JW. Metals in sediments—spatial investigation of Saale River applying chemometric tools. *Microchemical Journal*. 2013;110:233-38.
19. Oliveira DC, Lafon JM, de Oliveira Lima M. Distribution of trace metals and Pb isotopes in bottom sediments of the Murucupi River, North Brazil. *International Journal of Sediment Research*. 2016;31(3):226-36.
20. Abbaspour R, Hedayati Fard M, Alizadeh Sabet H, Hassanzadeh H, Masgaran Karimi J. Biological assessment of Cheshmekile River of Tonekabon (Mazandaran) with use biological indicators, population

- structure and biomaas of large invertebrate macrobiotic. *Environmental Sciences and Engineering*. 2013;1(2):59-73 (in Persian).
21. Malvandi H, Ghasempouri SM, Esmaili-Sari A, Bahramifar N. Evaluation of the suitability of application of golden jackal (*Canis aureus*) hair as a non-invasive technique for determination of body burden mercury. *Ecotoxicology*. 2010;19(6):997-1002.
 22. Müller G. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *Geology Journal*. 1969;2:108-18.
 23. Ribeiro C, Couto C, Ribeiro A, Maia A, Santos M, Tiritan M, et al. Distribution and environmental assessment of trace elements contamination of water, sediments and flora from Douro River estuary, Portugal. *Science of The Total Environment*. 2018;639:1381-93.
 24. Karimi M, Ghassempoorshirazi M. Geochemical distribution and pollution rate of heavy metals (Pb, Zn, Ni, Cr & As) in Kor River sediments (south of Marvdasht). *Journal of Geotechnical Geology (Applied Geology)*. 2012;8(2):133-45 (in Persian).
 25. González AE, Rodríguez MT, Sá JJ, Espinosa AF, De La Rosa FB. Assessment of metals in sediments in a tributary of Guadalquivir River (Spain). Heavy metal partitioning and relation between the water and sediment system. *Water, Air, and Soil Pollution*. 2000;121(1-4):11-29.
 26. Singh KP, Mohan D, Singh VK, Malik A. Studies on distribution and fractionation of heavy metals in Gomti river sediments-a tributary of the Ganges, India. *Journal of Hydrology*. 2005;312(1-4):14-27.
 27. Pandey J, Singh R. Heavy metals in sediments of Ganga River: up-and downstream urban influences. *Applied Water Science*. 2017;7(4):1669-78.
 28. Raju KV, Somashekar R, Prakash K. Heavy metal status of sediment in river Cauvery, Karnataka. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2012;184(1):361-73.
 29. Butu A, Iguisi E. Concentration of heavy metals in sediment of river Kubanni, Zaria, Nigeria. *Journal of Natural Sciences Research*. 2013;2(1):10-17.
 30. Louhi A, Hammadi A, Achouri M. Determination of some heavy metal pollutants in sediments of the Seybouse River in Annaba, Algeria. *Air, Soil and Water Research*. 2012;5:91-101.
 31. Ali MM, Ali ML, Islam MS, Rahman MZ. Preliminary assessment of heavy metals in water and sediment of Karnaphuli River, Bangladesh. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*. 2016;5:27-35.
 32. Islam MS, Ahmed MK, Habibullah-Al-Mamun M, Hoque MF. Preliminary assessment of heavy metal contamination in surface sediments from a river in Bangladesh. *Environmental Earth Sciences*. 2015;73(4):1837-48.
 33. Islam MS, Ahmed MK, Raknuzzaman M, Habibullah-Al-Mamun M, Islam MK. Heavy metal pollution in surface water and sediment: a preliminary assessment of an urban river in a developing country. *Ecological Indicators*. 2015;48:282-91.
 34. Hanif N, Eqani SAMAS, Ali SM, Cincinelli A, Ali N, Katsoyiannis IA, et al. Geo-accumulation and enrichment of trace metals in sediments and their associated risks in the Chenab River, Pakistan. *Journal of Geochemical Exploration*. 2016;165:62-70.
 35. Liu J, Yin P, Chen B, Gao F, Song H, Li M. Distribution and contamination assessment of heavy metals in surface sediments of the Luanhe River Estuary, northwest of the Bohai Sea. *Marine Pollution Bulletin*. 2016;109(1):633-39.
 36. Zhao G, Lu Q, Ye S, Yuan H, Ding X, Wang J. Assessment of heavy metal contamination in surface sediments of the west Guangdong coastal region, China. *Marine Pollution Bulletin*. 2016;108(1-2):268-74.
 37. Mohammed FK, Deonarine DL, Seepersaud M. An assessment of contamination and ecological risk of metals in sediments of the Guaracara, Caparo and Couva rivers in Trinidad, West Indies. *Chemistry and Ecology*. 2018;34(3):241-58.
 38. Ferati F, Kerolli-Mustafa M, Kraja-Ylli A. Assessment of heavy metal contamination in water and sediments of Trepça and Sitnica rivers, Kosovo, using pollution indicators and multivariate cluster analysis. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2015;187(6):338.
 39. Bubu A, Ononugbo C, Avwiri G. Determination of heavy metal concentrations in sediment of Bonny River, Nigeria. *Archives of Current Research International*. 2018;11(4):1-11.

40. Decena SCP, Arguilles MS, Robel LL. Assessing heavy metal contamination in surface sediments in an urban river in the Philippines. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2018;27(5):1983-95.
41. Krika A, Krika F. Assessment of heavy metals pollution in water and sediments of Djendjen River, North Eastern Algeria. *Pollution*. 2018;4(3):495-502.
42. Soliman NF, Nasr SM, Okbah MA. Potential ecological risk of heavy metals in sediments from the Mediterranean coast, Egypt. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*. 2015;13(1):70.
43. Çevik F, Göksu MZL, Derici OB, Fındık Ö. An assessment of metal pollution in surface sediments of Seyhan dam by using enrichment factor, geoaccumulation index and statistical analyses. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2009;152(1-4):309-17.
44. Zabetoglou K, Voutsas D, Samara C. Toxicity and heavy metal contamination of surficial sediments from the Bay of Thessaloniki (Northwestern Aegean Sea) Greece. *Chemosphere*. 2002;49(1):17-26.
45. Zheng N, Wang Q, Liang Z, Zheng D. Characterization of heavy metal concentrations in the sediments of three freshwater rivers in Huludao City, Northeast China. *Environmental Pollution*. 2008;154(1):135-42.
46. Aprile F, Bouvy M. Distribution and enrichment of heavy metals in sediments at the Tapacurá River basin, north eastern Brazil. *Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology*. 2008;12(1):1-8.
47. Sobhanardakani S. Investigation of heavy metals content in sediments of Shirin Su Wetland, Western Iran. *Journal of Chemical Health Risks*. 2016;6(4):305-10.
48. Iqbal J, Shah MH. Occurrence, risk assessment, and source apportionment of heavy metals in surface sediments from Khanpur Lake, Pakistan. *Journal of Analytical Science and Technology*. 2014;5(1):28.



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

Original Article



Environmental and ecological risk evaluation of heavy metals in surface sediments of the CheshmeKile River, Mazandaran

H Malvandi^{1,*}, N Hassanzadeh²

1- Department of Environmental Sciences and Engineering, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran

2- Department of Environmental Sciences, Faculty of Environment and Natural Resource, Malayer University, Malayer, Iran

ARTICLE INFORMATION:

Received: 9 September 2018

Revised: 1 December 2018

Accepted: 8 December 2018

Published: 19 December 2018

Keywords: Heavy metals, CheshmeKile River, Sediment, Environmental risk, Ecological risk

***Corresponding Author:**
hmalvandi@gmail.com

ABSTRACT

Background and Objective: Heavy metals contaminations are readily bioaccumulated in aquatic systems and lead to increased concentrations in food chains, posing a serious threat to human health, water-related organisms and aquatic ecosystems. The purpose of the present study was to determine the concentration of heavy metals in surface sediments of CheshmehKile River, to evaluate environmental and ecological risk and to determine the degree of contamination of the elements studied.

Materials and Methods: In this study, 25 samples of surface sediment were collected from the CheshmehKile River. The heavy metals content of the samples was measured by inductively coupled plasma-optical emission spectrometry. According to the content of heavy metals in sediment samples, environmental and ecological risk indices were calculated. Also, river contamination was evaluated by comparing the elements studied values with the sediment quality guidelines values.

Results: The mean concentration of chromium, manganese, iron, cobalt, nickel, zinc and arsenic were 41.27, 356.35, 16756.32, 9.17, 11.87, 41.24 and 24.60 $\mu\text{g/g}$, respectively. Based on the values of the CF and I_{geo} indices, all of the elements, with the exception of arsenic, showed a low degree of contamination. The indices of E_r^i and RI also showed the lowest ecological risk at all stations.

Conclusion: The results of this study showed that the surface sediments of CheshmeKile River in Mazandaran province were somewhat contaminated with arsenic. However, fortunately, the river sediments were of good quality from the point of view of the content of chromium, manganese, iron, cobalt, nickel and zinc.